

과학 창의성 계발을 위한 프로그램 개발 - 이론과 예시를 중심으로 -

정현철^{1,*} · 한기순² · 김병노¹ · 최승언¹

¹서울대학교 지구과학교육과, 151-742 서울시 관악구 신림동 산56-1

²인천대학교 교육학과, 402-749 인천시 남구 도화동 177

Development of Programs to Enhance the Scientific Creativity - Based on Theory and Examples -

Hyun-Chul Jung^{1,*} · Ki-Soon Han² · Byung-No Kim¹ · Seung-Urn Choe¹

¹Department of Earth Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²Department of Education, University of Incheon, Incheon 402-749, Korea

Abstract : In this study we have developed programs to enhance the scientific creativity by reviewing literature on the creativity and analyzing the theoretical models related to gifted education. The scientific creativity is regarded as the process of problem solving and problem finding, in particular, solving and finding the ill-defined but significant problems. In general, the important components of the scientific creativity are considered as the scientific knowledge, process skill, divergent/critical thinking, ill-defined problem, and problem finding. The program developed for the purpose of the study is composed of three stages based on Renzulli's model : general exploratory activities, group training activities and individual and small group investigations of real problems. The developed program in this study consists of 4 themes, 15 school hours in the earth science area. The process and products of the program development as well as the background of the present research are described and discussed in detail.

Keywords : program, creativity, science education

요 약 : 본 연구에서는 문헌을 통해 과학 창의성의 구성요소를 밝히고 창의성 계발 교육에 중요성을 두고 있는 영재 교육과정을 분석하여 과학 창의성 계발을 위한 프로그램을 개발하였다. 문헌연구를 통하여 본 연구에서는 과학 창의성을 특수한 문제(특히 잘 정의되지 않은 문제) 해결의 과정 또는 새로운 문제의 발견으로 보았다. 과학 창의성이 발현되는 중요 요소로서 과학지식, 과정지식, 확산적/비판적 사고, 문제의 종류, 문제의 발견력을 제시하였다. 과학 창의성 계발을 위해 3 단계의 구분된 교수-학습 모형을 제시하였다. 1단계는 주제의 도입단계, 2단계는 소규모 과정 훈련단계 그리고 3단계는 실제문제를 해결하는 독립연구단계로 구성된다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 지구과학영역에서 4개 주제 15차시 분량이다. 본 연구의 프로그램 개발과정과 산출물뿐만 아니라 프로그램의 특징, 운영 시 문제점들이 논의되었다.

주요어 : 교수-학습 프로그램, 창의성, 과학교육

서 론

최근 들어 전 세계적으로 창의성의 신장은 교육의 가장 큰 목적으로 부각되고 있다. 지식기반사회의 21세기 한국 교육 역시 정보화, 개방화, 다양화 사회를 이끌어 나갈 미래의 주역들을 개성의 신장과 창의력

계발 교육을 통해 삶을 자기 주도적으로 개척해 나가는 능력 있는 인간 육성에 목표를 두고 있다(교육부, 1997). 지식과 정보의 양이 기하급수적으로 증가하는 요즈음 상황에서 단편적인 지식의 습득과 이해에 그치지보다는 지식의 형성과정과 그 구조를 이해하고 자기 주도적으로 지식을 재조직할 수 있는 창의적인 능력이 무엇보다도 중요하게 되었다. 이제 우리 사회는 소 품종 대량생산의 사회에서 다 품종 소

량생산의 시대로 넘어섰고 기존지식의 재창출의 단계를 넘어 점차 새로운 새 지식의 창출을 요구하고 있다. 따라서 인간의 독창성, 통찰력 및 창의력 등이 더욱 필요한 사회가 되었고, 그러한 자질을 갖춘 인력의 배출을 위하여 교육 방식에 있어서도 전통적인 교사 중심의 수동적, 일방적 교수-학습에서 벗어나 학습자의 주체성과 자율성을 중심으로 사고력을 증진시키고, 개성과 창의성을 중심으로 한 교육에 대한 요구가 증가되었다.

이러한 시대적 요청에 부응하여 7차 교육과정에서는 학교 재량시간 운영을 통해 창의적 재량 활동을 제시하며 학교 교육을 통한 창의성 교육 방법을 보다 구체적으로 제시하고 있고, 7차 교육과정에서의 과학과 성격에서도 “과학의 단편적인 지식 전달보다는 기본 개념을 유기적이고 통합적으로 이해하도록 하고, 창의성, 개방성, 객관성, 합리성, 협동심을 기르는데 유의한다.”라고 지적하고 있다(교육부, 1997). 2001년 전국 과학교육 학회 세미나의 주제가 “미래를 대비하는 과학창의력 교육”일 만큼 최근 “창의성 신장을 위한 과학교육”의 중요성 역시 더 이상 부연 설명이 필요가 없을 만큼 강조되고 있다.

한편 최근에 교육계에서 주목받고 있는 영재교육에서 창의성이란 영재교육의 전부라 해도 과언이 아닐 정도로 커다란 비중을 차지하고 있다. 많은 연구들이 창의성 계발을 위한 영재교육모형을 제시하고 있다(Davis and Rimm, 1998). 하지만 영재의 능력과 특성을 고려하여 만들어진 교수학습모형을 직접 일반 학교에 적용시키기에는 상당히 어려운 부분이 존재한다. 특히 Renzulli와 그의 동료들은 창의성을 향상시키기 위해 모든 학생들을 위한 교육과정을 제공해야 한다고 주장한 바 있다(Renzulli and Reis, 1997). Parnes and Brunelle(1967)은 창의적 문제해결과정을 통한 교수-학습의 결과 90% 이상의 학생의 창의성이 향상되었음을 밝히고 있다.

흔히 가장 창의적인 사람의 예를 들 때 아인슈타인을 예시하면서도 실제적으로 과학에서 창의성에 대한 연구는 그리 많지 않다. 실제로 과학자나 과학교육자들의 과학 창의성에 대한 인상은 매우 부정적이다. 대부분의 과학자들이 과학에서 창의성이란 고난도 문제해결력이며 많은 양의 과학적 지식과 정확한 해를 찾는 것이 중요하지 일반적인 상황에서 나타나는 확산적 사고와 같은 것은 의미가 없다고 생각하는 경우가 많다. 대부분의 과학교육연구들도 주어진

문제에 대한 정확한 해답을 찾아가는 문제해결의 과정에서 나타나는 요소에 중점을 두고 있으며 창의성이라는 요소는 거의 고려되고 있지 않은 실정이다. 또한 교사 스스로 창의성에 대한 올바른 인식과 창의성 계발을 위한 여러 가지 전략적 노력을 피하지 않는다면 교실 수업에서의 창의성 계발은 불가능하고 실패할 수밖에 없다고 많은 연구들은 지적한다(Houtz, 1994). 다양한 연구들은 실제현장에서 교사들의 창의성에 대한 인식의 부족과 교실의 수업과정에서의 비판적 사고력이나 창의적 문제해결력 등의 부재를 지적하고 있고, 몇몇 연구들은 85% 이상의 교사의 질문이 간단한 기억이나 이해의 수준이며, 종합이나 평가 등 상위 사고력이나 창의력을 다루는 질문은 거의 없다고 지적한다(Trefz, 1996). 또한 최경희 외(1998)는 실제 중학교 과학 수업현장을 관찰하고 교사와의 면담을 분석해 본 결과, 수업현장에서는 창의성 계발을 위한 활동은 거의 일어나지 않고 있음을 지적했다. 특히 과학교사와의 면담에서 과학교사들은 교과 진도 문제, 지식 중심의 교과내용, 교사의 준비 부족 등으로 창의성 계발을 위한 수업을 거의 하지 못하고 있다고 밝혔다.

창의성 연구 내지는 창의성 교육방법에 관한 연구가 최근까지는 심리학 분야에서 이루어져 왔다. 따라서 학교교육을 통해서 길러질 수 있는 요인에 관해 집중적으로 연구하기보다는 창의성의 제반 관련변인을 찾아내는 연구가 주류를 이루어 왔고, 창의성 계발 방법으로는 영역 특수적 입장에서 교과교육의 내용을 고려하기보다는 영역 보편적 입장에서 내용과 별 관련이 없는 일반적인 창의적 사고를 기르는 프로그램이 대부분이었다(조연순, 2001). 또한 지금까지 주로 창의성 교육은 영재교육과 동일시되어 과학영역에서는 영재성의 판별에 관한 수단으로서 과학창의성의 요소들이 고려되었기 때문에 과학창의성 요소들의 측정측면에서만 연구되었으며 창의성 계발을 위한 교수학습에 대한 연구는 거의 없는 실정이다(김주훈 외, 1996). 과학영역에서 창의성의 계발을 위한 교육 방법의 모색과 그에 따른 창의성 교육 프로그램 개발은 최근의 요구에 부응하기에는 미약한 실정이다. 학교 현장에서 창의성 교육의 필요성을 인식하고 있으면서도 실제로 창의성을 증진시키는 교육에는 한계가 있는 것도 사실이다. 먼저 교육자들의 과학창의성에 대한 이해도가 매우 낮으며, 창의성 지도 자료 확보율도 낮아 창의성 신장 교육이 별로 이루어지지 못

하고 있다는 것도 부인할 수 없는 현실이다. 과학이라는 구체적인 영역 속에서 학생의 발달 수준에 맞는 창의성 교육 프로그램 및 자료의 개발과 함께 창의성 교육 프로그램의 효과성 검증이 그 어느 때보다도 필요한 실정이다.

본 연구에서는 많은 문헌연구를 통하여 과학 창의성 개념 및 과학 창의성의 구성요소를 밝히고, 과학 창의성 계발을 목적으로 하는 교수학습모형과 지구과학이라는 구체적인 영역을 접합하여 중등학교 학생들에게 적합한 과학 창의성 교육 프로그램을 개발하였고, 그에 따른 과학창의성 신장을 위한 시사점을 도출하고자 하였다.

이론적 배경

과학 창의성의 요소

창의성이란 매우 복잡한 개념으로서 여러 요소들의 복합적인 작용으로서 나타난다. 많은 연구들에 의하면 창의성을 주로 확산적, 독창적 사고의 요소들을 포함하는 지적인 능력의 일부분(Guilford, 1950, 1967)으로 보는 경향이 있는가 하면, 특수한 인성적 특성(MacKinnon, 1962)으로 보는 경향이 있고, 문제 해결 능력의 한 형태(Newell *et al.*, 1962)로 보기도 한다. 그러나 최근에 창의성에 대한 정의는 “새로우면서도 유용한 산출물을 생성해낼 수 있는 능력”이라고 합의가 이루어지고 있다(Lubart, 1994). 이와 같이 창의성이 정의되었을 때 많은 요소들이 관여하고 있음을 짐작할 수 있다. 그와 같은 요소들로서 지식(Weisberg, 1999), 기본적인 인지과정(Sternberg, 1988), 적성과 능력(Guilford, 1950), 개인적인 특성(Barron and Harrington, 1981), 환경에 대한 인식(Simonton, 1988), 문화적 특성(Lubart, 1994) 등이 창의성 연구에서 고려되어져 왔다. 그러나 지금까지의 창의성 연구를 살펴보면 가시적이지 않은 범위와 절차적 구조 속에서 창의성의 요소들을 설명하고 있음으로 해서, 연구가 추상적인 상태에 머물러 있는 것으로 보이며, 창의성 계발을 위해서는 좀 더 가시적인 체계로서의 접근이 필요하다(조연순, 2001).

창의성에 대한 많은 이론들 중 학교교육의 측면에서 가장 용이하게 고려할 수 있는 이론적 관점은 창의성을 인지적 과정으로 보는 관점이다. 창의성에 대한 최근의 인지적 접근에서는 창의적 사고과정을 문제해결의 한 형태로 개념화한다(Mumford *et al.*,

1991). 한편 창의성과 문제해결의 관계는 문제해결을 무엇으로 보느냐에 따라 달라질 수 있다. 다시 말해서 문제해결은 이미 잘 알려져 있거나 기억되어 있는 절차를 사용하여 해결하는 일반적인 문제해결과 독창적인 사고를 활용하여 문제를 해결하는 창의적인 문제해결로 나누어 생각해 볼 수 있으며 창의성은 문제해결의 특수한 형태로서 ‘창의적 문제’의 해결로서 개념화할 수 있다(성진숙, 2001). Mayer(1999)는 창의적 사고과정을 문제해결과정으로 보고 문제해결력의 구성 요소들을 살펴본 결과 지식, 과정지식, 문제 등이 중요하게 작용하며 각 분야에서 확산적, 비판적 사고가 작용할 수 있음을 나타내었다.

과학지식: 과학지식과 과학적 창의성의 관계에 대한 경험적 연구로, Sternberg 와 Lubart(1993)의 연구를 들 수 있다. 그들은 성인들을 대상으로 자신들이 투자이론에서 제시했던 창의성을 위해 필요한 자원인 지적과정, 지식, 지적유형, 성격, 동기의 다섯 가지 자원을 과학을 포함한 많은 영역에서 검증하는 연구를 실시하였다. 이 연구 결과에 의하면, 과학지식 자원과 과학에서의 창의적 수행 간에 유의한 상관관계가 있다고 보고하고 있다. 많은 영역 관련 지식이 창의성을 증진시킬 수 있다는 또 다른 증거로 물리학자들에 대한 연구를 들 수 있다. 동료들에 의해 가장 창의적이라고 지명된 물리학자들은 자신의 학문분야에 대한 정보를 능동적으로 탐구하고, 다른 과학분야의 정보도 접하는 경향이 매우 높았다(Kasperson, 1978). 창의성에서 보는 지식의 역할은 두 가지의 관점이 있다. 하나는 창의적 산출물을 내기 위해 반드시 필요하다는 관점과 너무 많은 지식은 창의적 활동에 방해가 될 수 있다는 관점이다(Scott, 1999). 창의적 사고과정에서 중요한 것은 단순히 단편적인 사실들을 많이 기억하고 있기보다는 지식을 구조적인 개체로서 이해하고 있는 것이 중요하다 (Barsalou, 1982, 1983). 이러한 구조적인 지식의 저장은 유추와 같은 과정을 통해 정보의 응용과 정교화 과정을 통해 경험되어질 때 가장 잘 이루어짐을 연구들은 보이고 있다(Scott, 1999). 전문가와 초보자들의 물리학 문제해결에 대한 연구(Larkin *et al.*, 1980)에 의하면, 학생들과 전문가들은 상당히 다르게 행동하였다. 다시 말해서 학생들은 이미 알고 있는 것과 문제를 풀기 위해 요구되는 것이 무엇인지를 비교하였고, 필요한 지식을 개발하기 위해 어떻게 해야 하는 가를 질

문하였으나, 전문가들은 물리 문제들을 특정한 유형의 한 예로 받아들이고, 그러한 유형의 문제를 해결하기 위하여 기억 속에 저장된 문제해결 도식에 더 의존하였다. 즉, 전문가들에게 각 문제는 익숙한 유형의 문제가 됨으로써 기존의 도식에 의존해서 문제를 해결한다는 것이다. 따라서 창의성에서 지식의 역할은 단순히 지식의 양이 많은 것이 중요한 것이 아니라 지식이 어떻게 구조화되어 있으며 어떻게 접근이 가능한가가 창의성 발현에 매우 중요함을 시사하고 있다. 특정 사실들의 집합체보다 일반적인 원리를 중심으로 조직된 지식이 더 유용성이 크며 높은 수준의 창의성에 기여할 것이다(Amabile, 1983, 1996).

문제: 창의성을 문제해결의 특수한 형태로 보는 관점에서는 문제의 특성이 매우 중요하다. 문제의 특성에 따라 문제의 유형은 크게 “잘 정의된 문제”와 “잘 정의되지 않은 문제”로 나눌 수 있다(Hunt, 1994). “잘 정의된 문제”란 정확한 답이 있고 문제를 해결하기 위해서 과거의 경험을 기초로 이미 알려진 문제해결 절차를 이용하거나 재생산하여 해결이 가능한 문제들을 말한다. 보통 학교 과학교육에서 제시되는 문제들로서 이 경우 관계되는 과학지식과 탐구과정을 통한 수렴적, 비판적 사고가 매우 중요한 역할을 하며 창의성의 개발과는 별 관계가 없는 문제들이다. 반면 “잘 정의되지 않은 문제”란 개방적이며 기존의 문제해결 절차를 사용하여 해답이나 사용될 전략이 명확히 나타나지 않는 문제들을 말한다. 우리가 실생활에서 접하게 되는 대부분의 문제들이 이와 같은 범주에 속한다고 할 수 있다. 이와 같은 문제의 해결을 위해서는 개인이 가지는 개념들을 이용한 확산적 사고가 매우 중요하며 창의성이 가장 잘 발휘될 수 있다(Scott, 1999). 따라서 창의성 개발을 위한 교육에서는 “잘 정의되지 않은 문제”에 학생들이 많이 접할 수 있게 하는 것이 매우 중요하다.

과정지식: 과정지식이란 문제해결과정에서 문제해결 전략에 대한 지식을 말한다. 이와 같은 과정 지식은 특수한 과정지식과 일반적 과정지식으로 나누어질 수 있다. Greeno(1978)는 창의성이란 그 분야에 수년 동안의 집중적인 참여를 통해서 획득되어질 수 있으며 그 분야의 특수한 문제해결 과정지식을 습득하는 것이 중요하다고 지적하고 있다. 과학에서의 특

수한 과정지식이란 탐구과정을 나타낸다. 과학적 탐구과정은 관찰, 분류, 측정, 예상, 추리, 문제인식, 가설설정, 변인통제, 자료변환, 자료해석, 결론도출, 일반화로 구성되어진다(교육부, 1997). 결국 과학에서의 과정지식은 과학적 사고기능으로 볼 수 있는데, 창의적인 과학자들이 창의적 문제해결의 과정에서 사용하는 사고과정은 이와 같은 과학탐구과정에 대한 지식 이외에 일반적 문제해결에서 사용되는 일반적인 과정지식도 매우 중요하게 작용함을 알 수 있다(Hoover and Feldhusen, 1994). 이와 같은 일반적인 과정지식으로는 새로운 문제해결 전략을 찾거나, 문제의 전환, 문제의 해체, 판단의 유보, 형식의 파괴, 구속조건의 정교화, 가설의 비판과 인식, 수단-목표 관계분석, 불확실성의 평가, 유추의 사용 등이 있다. 특히 이와 같은 일반적인 과정지식은 전문가 집단이라도 새롭게 접하는 분야에서 가장 많이 쓰이는 전략이며 “잘 정의되지 않은 문제”에 접했을 때 가장 필요로 하는 요소이다.

문제발견: 최근의 창의성 연구에 의하면 문제해결력 뿐만 아니라, 문제 발견력 역시 창의성의 중요한 요소임을 강조하고 있다. Guilford(1950)가 창의성과 연관된 능력으로 언급한 문제에 대한 민감성(sensitivity to problem)이 바로 문제 발견력과 관련 있는 것으로 아인슈타인은 다음과 같이 문제 발견력의 중요성을 강조했다. 문제의 발견은 단순히 수학적 혹은 실험적 기술을 사용하여 문제를 푸는 것보다 더 중요하다. 새로운 질문과 가능성을 떠올리는 것은 상상력을 요구하며, 과학에서 큰 장점이 된다. Getzels와 Csikszentmihali(1968)의 창의적 예술가 연구에서 문제 발견력이 창의성과 상관이 있으며, 그들의 성공과도 상관이 높아 예언 타당도를 갖는다고 제안한 이후로 문제 발견력은 창의성의 중요한 요소로 널리 인정받고 있다. 문제 발견이란 문제의 인식, 문제의 재정의, 문제의 변화 등의 형태로 나타나기도 한다. Dunbar(1999)는 예기치 않았던 발견을 다루는 방법이 과학적 발견에서 중요한 요소로 작용한다고 밝히고 있다.

이상의 논의에 따라서 과학에서의 창의성이란 “과학의 기본지식과 탐구과정기술을 기반으로 확산적 사고와 비판적 사고과정을 통하여 새로운 문제를 발견해 내며 적절하고 새로운 해결방법을 발견하는 것”이라고 정의할 수 있다. 특히 과학 창의성이 발현되기 위해서

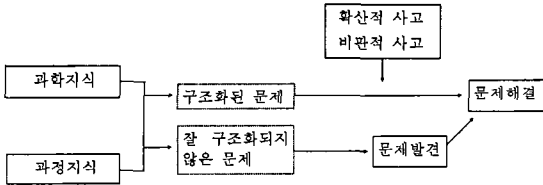


Fig. 1. Scientific creativity model through the interaction of the components.

는 과학지식을 과학적 맥락에서 이해하고 쉽게 적용할 수 있게 원리를 중심으로 저장하는 것이 중요하며 과학활동에 필요한 탐구과정 지식뿐만 아니라 일반적인 인지전략의 습득도 매우 중요하다. 또한 창의성이 발휘되는 문제는 개방적이고 잘 구조화되지 않은 문제를 접했을 때 가장 잘 나타나게 된다(Fig. 1).

Renzulli의 삼부심화 모형

최근에 교육계에서 많은 관심을 받고 있는 영재교육은 비판적 사고, 창의적 문제해결력과 같은 고등사고력의 계발에 중점을 두고 있다. 이러한 측면들이 고려되는 교수학습모형으로는 Renzulli(2001)의 심화학습 3단계모형(Enrichment Triad model), Treffinger and Isaksen(1985)의 창의적 문제해결학습모형(Creative Problem Solving), Gallagher(2001)의 문제중심학습(Problem-Based Learning) 등이 있다. 특히 Renzulli의 삼부심화 모형은 영재교육에서 가장 널리 활용되고 있는 영재 교수·학습 모형중의 하나이며 영재뿐만 아니라 일반 학생들에게 학습 선택의 자유와 개별화 교수의 학습환경을 제공해 주는 것을 기본 원리로 삼고 있다. 다음은 각 단계에서 이루어지는 구체적인 교수/학습 과정이다.

1단계 심화(general exploratory): 1단계 심화의 주요 목적은, 학생들로 하여금 3단계 심화에서 다루게 될 독립 프로젝트를 찾게 하고, 이에 대한 동기를 부여하는 것이다. 이를 위해 학생들은 광범위하고 다양한 내용에 접근해 볼 기회를 가져야 한다. 1단계에서 가장 주의할 사항은, 1단계가 탐색 단계라는 점이다. 학생들은 이 단계에서 3단계 심화에서 수행할 연구를 위해서 여러 가지 아이디어를 확인하고 흥미 있는 영역을 탐사해야 한다. 어떤 학생들의 경우 이미 3단계 심화 활동에 알맞은 장기적인 흥미와 취미를 가지고 있을 수 있는데, 이러한 경우 1단계 활동은 학생들에

Table 1. Training activities for stage 2.

상위 사고력	창의적 사고력, 문제 해결력, 비판적 사고력, 감상, 평가
탐구 능력	청취, 관찰, 기록, 요약, 면담, 조사, 분류, 데이터 분석 및 조작, 결론 도출
참고 자원 활용 능력	안내책자, 적요, 정보 검색 체계 사용 능력
다양한 의사소통 기능	산출물의 영향을 최대화하기 위한 능력으로서 쓰기, 말하기, 시각화하기 능력
정의적 영역	긍정적인 자아 관념, 자아 효능감, 타인의 지각이나 관점·문제·장애에 대한 인식, 교육적·전문적인 동기

게 새로운 아이디어를 노출시키는 것이어야 한다.

2단계 심화(group training activities): 2단계 심화의 주요 목적은 3단계 심화의 독립 프로젝트를 수행하기 위한 여러 가지 능력을 개발하는 데 있다. 이 단계에서 개발해야 할 능력들은 Table 1과 같다.

2단계의 심화의 특징은, 2단계 활동이 목표가 되는 능력들의 신장에 용이하도록, 소집단활동으로 구성된다는 것이다. 이 단계에서 유의할 점은 목표가 되는 능력들이 그 자체로서 목적이 되어서는 안된다는 것이다. Renzulli(2001)는 많은 영재 프로그램들의 2단계 심화에서 과정 활동(process activity)만을 지나치게 강조하는 데에 문제를 제기했다. 과정 활동은 학생의 연구 활동을 위한 수단이지, 그 자체가 목적이 아니기 때문이다.

3단계 심화(investigation of real problem): 3단계 심화의 주요 목적은, 학생들 스스로 실제적인 문제에 대한 연구를 수행하면서 새롭고 독창적인 산출물을 제작하는 것이다. 이 단계에서 학생들은 단순한 정보의 소비자가 아니라 지식과 예술의 생산자로서 활동해야 한다. 즉, 학생들은 백과사전이나 교과서, 혹은 이미 요약된 자료에 의거하여 보고서를 작성하는 것이 아니라, 기존의 자료는 원 자료(raw data)로서 다루면서, 자신들만의 결론을 도출해야 한다.

이 교수·학습모형의 장점은 학생들의 흥미와 학습양식을 존중하며, 실생활에 기초하고 있다는 데 있다. 또한 이 모형은 프로그램의 철학적 기초, 교수 활동, 그리고 프로그램 평가를 위한 전략 등을 포함하는 전체적인 프로그램 틀을 제공한다. 뿐만 아니라, 이 모형은 넓은 범위의 학생에게 다양한 수준과 형태의 심화학습 프로그램을 제공함으로써 경쟁적인 분위기

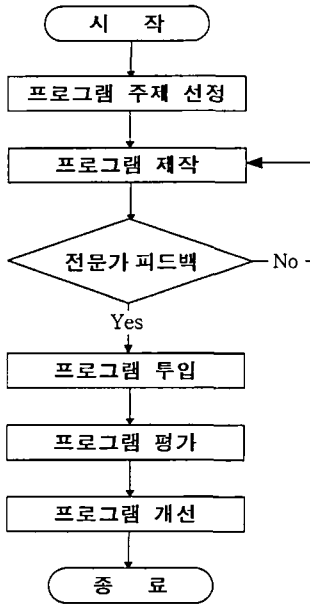


Fig. 2. Research procedure.

보다는 협동적인 분위기를 조성하며 점진적인 심화 단계를 거쳐가면서 학생들이 체계적으로 프로젝트에 접근할 수 있게 한다.

연구의 내용 및 방법

앞에서 과학 창의성 개발을 위한 프로그램을 개발하기 위해 과학 창의성에 관한 문헌 연구를 통해 심리학, 교육학, 과학의 본성의 관점에서 과학 창의성의 개념을 정리하였다. 이와 같은 과학 창의성의 요소들을 잘 포괄할 수 있는 학습모형으로 창의성 개발 교육에 가장 중점을 두는 영재 교육과정 중 일반 학교상황에 적용이 가능한 모델을 선택하여 그 모형의 특징을 분석한 후 과학 창의성의 구성요소가 적용될 수 있도록 예시프로그램을 개발하였다.

프로그램을 개발하기 이전에 프로그램 제작의 효율성을 높이기 위하여 프로그램 제작 단계를 설정하고, 각 단계에서 수행해야 할 지침을 마련하였다. Fig. 2는 영재 교육 프로그램 제작 단계이다.

각 단계의 세부 사항은 다음과 같다.

프로그램 주제 선정: 프로그램 개발의 첫 단계는 프로그램의 주제를 선정하는 것이다. 보통의 경우 교육 프로그램의 주제는 교사에 의해 임의로 선정되는

경우가 많으나, 이는 교사의 주관적인 판단일 뿐이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 과학 교육 연구들과 영재 교육 과정 모형에 바탕을 두어 프로그램 주제 선정 기준을 설정하였고, 주제 선정에 있어 최대한 신중을 기하였다. 본 연구에서 설정한 프로그램 주제 선정 기준은 다음과 같다.

첫째, 프로그램 주제는 교사와 학생 모두에게 흥미로운 것이어야 한다. 특히 학생들의 흥미와 관심 분야를 주제 선정에 반영하기 위하여 학생들의 흥미 영역을 조사하였다. 둘째, 정답이 없는 문제이어야 한다. 학생들은 정답이 있는 문제의 경우 정답만을 찾으려 하고 더 이상 창의적인 사고를 하려 하지 않는다. 따라서 개방적인 질문 위주의 주제를 선정한다. 셋째, 실제 제작을 통한 원리와 개념의 이해를 증진할 수 있는 주제를 선정한다. 넷째, 실험 설계 능력을 향상시킬 수 있는 주제를 선정한다. 다섯째, 일상 생활과 관련성이 큰 주제를 선정하고, 여섯째, 간 학문적 주제를 선정한다.

프로그램 제작: 프로그램의 주제가 선정되면, 실제로 교육 프로그램을 제작하게 된다. 본 연구에서는 Renzulli의 심화 학습 3단계 모형(2001)을 바탕으로, 기초학습 단계, 심화학습 단계, 독립 연구 과제 단계의 3단계로 프로그램을 구성하였다.

전문가 피드백: 프로그램 구성 방침에 따라 제작된 프로그램은 전문가의 피드백을 통해서 수정·보완되어야 한다. 본 연구에서는 4개 주제 15차시(1차시는 1시간) 분량의 프로그램을 개발하여, 프로그램을 투입하기 이전에 영재 전문가와 교과 전문가 2인에게 검토를 의뢰하였다(김병노, 2002). 이 과정을 통하여 프로그램의 객관성과 효율성을 재고할 수 있게 된다.

프로그램 투입: 개발된 프로그램은 pilot test를 통하여 검증되어야 한다. 실제 수업에 프로그램을 적용해봄으로써 프로그램의 문제점을 진단하고, 프로그램 운영에 있어서의 효과적인 교수/학습 전략을 고찰해볼 수 있기 때문이다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 다음과 같은 방법으로 투입되었다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 서울대학교 과학영재교육센터 지구과학분과 31명에게 투입되었다. 서울대학교 과학영재교육센터의 교육 프로그램은 학기 중에는 토요일 3시간, 방학중에는 일주일 동안 매일 4~5시간 정도

이루어진다. 총 교육 시간은 15시간이었다.

프로그램 평가: 개발된 프로그램은 다양한 평가를 통해 그 타당도와 신뢰도를 검증하여 적절성과 효율성을 확인하여야 한다. 본 연구에서는 Diet Cola Test, 문제인식능력 평가 등 다양한 평가 도구를 사용하여 본 연구에서 개발된 프로그램을 평가하였다.

프로그램 개선: 프로그램의 평가를 통하여 기 제작된 프로그램은 수정·보완되어야 한다. 본 연구에서는 평가 결과를 적극적으로 반영하여 프로그램을 수정·보완하였다.

연구 결과 및 논의

프로그램 주제 선정결과

본 연구의 프로그램의 주제를 선정하는 데 있어서 학생들의 흥미 영역을 고려하기 위하여 서울대학교 영재센터 지구과학분과 학생들을 대상으로 지구과학 흥미 영역 조사를 실시하였다. 복수 응답을 허용하였고, 조사에 응답한 학생은 27명이었다. 응답 결과는 Table 2 과 같다.

조사 결과 지구과학 영재들은 천문 영역에 가장 많은 흥미를 가지고 있으며, 세부적으로는 블랙홀에 가장 많은 관심이 있는 것으로 나타났다. 학생들의 이러한 흥미 영역과 프로그램 주제 선정 기준 등을 고려하여 4가지 주제를 선정하였다.

Table 2. The topics in earth science suggested by students for the stage 1.

영역	세부 흥미 영역
천문 (24)	블랙홀 (5)*
	천체 관측 (3)
	외계 생명 (2)우주 탐사 (2)
	달 착륙 조작설 (2)
	우주론 (2)
지질 (8)	기타 (8)
	지각변동 및 판구조론 (4) 지사 (4)
대기 (3)	산란과 하늘빛 (1)
	대기 오염 물질 (1) 대기 온도 변화 (1)
해양 (1)	해수의 성분 (1)
환경 (2)	환경문제 (2)

*괄호안의 숫자는 빈도임.

프로그램 개발

프로그램 주제 선정 기준에 입각하여 4가지 프로그램의 주제를 선정하였고, 프로그램 제작 기준을 바탕으로 총 15차시 분량의 프로그램을 개발하였다. Table 3은 개발된 프로그램의 주제와 개요이다. 완성된 프로그램의 예시는 부록에 실었다.

개발된 프로그램은 모듈식으로 제작되었고, 교사를 위한 교사용 지침서를 별도로 제작하였다. 교사용 지침서에는 프로그램의 교육 목표를 제시하여 프로그램의 운영 방향을 제시하고, 탐구 활동의 실험 절차와 다양한 교수 방법 등을 소개하거나 관련 내용을 첨부하여 교사에게 실질적인 도움이 되도록 하였다. 그리고 프로그램 개발에 참고했던 자료를 제시하여 교사가 프로그램을 확장, 발전시키거나 학생들이 참고 자료로 이용할 수 있도록 하였다.

Table 3. The outlines of the developed programs.

주제	차시	프로그램 내용
천체 관측	6	기초학습 천체 관측에 필요한 기본 지식 별자리 틀 제작하여 별자리 확인하기 자신만의 별자리 만들기
		심화학습 별자리 시계 제작하여 현재 시각 맞추기 사분의 제작하여 천체 관측하기 밤하늘에는 별이 몇 개나 있을까? 독립연구과제 천체 관측에 관련된 실제적인 문제 4가지
행성 탐사	3	기초학습 행성 탐사의 원리 알아보기 행성 탐사의 역사 살펴보기
		심화학습 행성 사진을 이용하여 행성 분류하기 행성 탐사선 모형 설계 독립연구과제 행성 탐사에 관련된 실제적인 문제 5가지
외계 문명 탐사	3	기초학습 외계 문명의 존재 확률 - 드레이크 방정식 외계 문명과의 조우 가능성
		심화학습 외계 문명으로부터 전송된 메시지 해석하기 I 외계 문명으로부터 전송된 메시지 해석하기 II 외계 문명으로 보내는 메시지 작성 및 평가 독립연구과제 외계 문명 탐사에 실제적인 문제 4가지
소행성 충돌	3	기초학습 유성체와 운석, 크레이터의 정의 크레이터 생성 과정 시뮬레이션으로 보기
		심화학습 크레이터 생성 모의 실험 독립연구과제 소행성 충돌에 관련된 실제적인 문제 4 가지

Table 4. Means and standard deviations of DCT test.

	평균	표준편차	표준오차
사전검사	5.375	1.416	0.289
사후검사	6.729	1.757	0.359

프로그램 평가

Diet Cola Test: Diet Cola Test(이하 DCT)는 Fowler(1990)에 의해 개발된 것으로서, 학생들의 실험 설계 능력을 볼 수 있는 개방적(open-ended) 검사 도구이다. DCT는 최근 들어 영재 프로그램의 적절성을 평가하는 목적으로도 자주 사용되고 있다. DCT는 사전·사후 검사로 구성되어 있고, 여러 가지 대체 형식이 존재한다. Adams와 Callahan(1995)의 연구에서 DCT의 대체형식간 신뢰도는 0.76, 채점자간 신뢰도는 0.90~0.95 등, 대체로 높은 것으로 나타났고, 과학적 탐구 능력의 평가 도구로서 DCT를 사용하는 것도 타당한 것으로 밝혀졌다.

본 연구에서는 프로그램 투입 전/후에 DCT를 실시하여 학생들의 과학적 탐구 능력의 향상 정도를 보고자 하였다. 검사 시간은 15분이었다. 프로그램 투입 대상이었던 지구과학 분과 31명 학생들 중에서 사전 검사에는 28명, 사후 검사에는 27명이 응답하였다. 사전 검사와 사후 검사 모두 응답한 학생은 24명이었다.

두 명의 채점자가 사전 검사와 사후 검사를 각각 채점하였고, 채점자간 신뢰도는 사전 검사에 대한 채점자간 신뢰도는 0.85, 사후 검사에 대한 신뢰도는 0.88로서, 채점자간 신뢰도는 상당히 높은 것으로 나타났다. 개별 학생의 검사 점수를 두 명의 채점자가 각각 부여한 점수의 평균으로 하여 DCT에 참여한 24명의 사전·사후 검사 점수를 비교하여 보았다. 결과는 Table 4와 같다. 사전 검사보다 사후 검사의 전체 평균 점수가 1.354 상승하였다.

사전·사후 검사 결과에 유의미한 차이가 있는지 알아보기 위해서 Table 5와 같이 Paired Samples t-test를 실시하였고, 그 결과 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 따라서 프로그램이 학생들의 과학적 탐구 능력 향상에 기여했다고 할 수 있다. 물론, 비교 집단 없이 DCT가 시행되었다는 점과 프로그램 이외의 효과가 있을 수도 있기 때문에 단정적인 결론은 무리일 것이다.

Fig. 3은 개별 학생의 사후 검사 점수와 사전 검사 점수의 차이를 나타낸 것이다. 24명의 학생 중에서

Table 5. Paired Samples t-test results between pre-test and post-test.

	평균	표준편차	표준오차	t 값	자유도	Sig. (2-tailed)
사전-사후검사	1.354	2.056	0.420	3.226	23	0.004

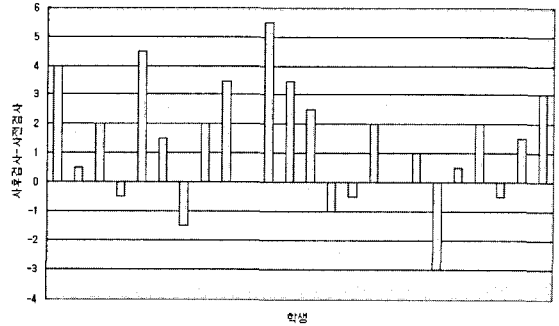


Fig. 3. Change of individual student's DCT test score.

16명의 학생이 향상되었고, 2명의 학생은 변화가 없었으며, 6명의 학생은 하락한 것으로 나타났다. 점수가 하락한 학생 중 5명은 대부분 소폭의 하락 양상을 보였으나, 한 명은 큰 하락 폭을 나타냈다. 이는 사후 검사를 실시할 당시 이 학생의 검사 태도 때문인 것으로 여겨진다. 이 학생은 검사 자체에 상당히 불만스러운 태도를 보였는데, 실제 사후 검사를 실시하는 데 있어서, 1분 여 만에 검사를 끝내고 남은 시간에 다른 일을 하였다. 이상의 결과로부터 프로그램이 모든 학생들의 과학적 탐구 능력을 길러주는데 효과적이라고 할 수는 없으나, 대체적으로 긍정적인 반응이 나타났다고 할 수 있겠다.

학생들의 문제 인식 능력 변화 연구: Table 1의 「지구과학 흥미 영역 조사」를 프로그램 교육 종료 이후에도 실시하여 학생들의 문제 인식 능력 변화를 살펴봐왔다. 모든 경우는 아니었지만, 대체적으로 학생들의 지구과학 분야에 대한 문제 인식 능력이 프로그램 투입 이전보다 구체적으로 변화되는 것을 볼 수 있었다. 그 중 대표적인 사례 세 가지를 소개하면 Table 6과 같다.

A 학생의 경우, 과학에 대한 단순한 희망과 호기심이 구체적인 과학적 의문으로 바뀐 것을 볼 수 있고, B 학생의 경우 막연하던 관심 분야가 구체적인 탐구 방법에 대한 호기심으로 변화된 것을 알 수 있

Table 6. Change of student's problem recognition ability.

학생	사전 검사/사후 검사
A	여러 행성들과 별들을 직접 관찰하고 싶고, 외계에 진짜 생명이 있을지 관심이 많다. 또 제 2의 지구를 다른 행성에 건설할 수 있을지 궁금하다.
	광활한 우주에 우리와 같은 생명체가 사는지, 만약 산다면 그들과 어떻게 연락할 수 있을지 궁금하다. 한편 우리는 산소를 마시며 산다. 그런데, 만약 우리가 대기의 대부분을 차지하는 질소를 마시고 산다면 우리의 신체는 어떠한 모양으로 바뀌게 될까?
B	과자에 살았던 생물이나 판구조론과 같은 지질에 관심이 많다.
	암석의 나이를 측정하는 데 있어서, 화석을 이용하는 방법 이외에 방사성 동위원소를 이용하거나 기타 다른 방법들을 알고 싶다.
C	블랙홀에 이어진 통로가 존재할까? 블랙홀 안에서 온전히 살아 남는다면 어떠한 일이 벌어질까? 블랙홀 사상의 지평면 안과 밖은 서로 다른 세계라 할 수 있을까?
	우주선에 지구의 중력과 비슷한 중력을 만들어낼 수 있다면 장기간에 걸친 우주 여행이 가능할 것 같은데, 이를 탐구해보고 싶다. 공룡을 멸종시킨 운석이 지구에 충돌하기 전에, 가장 단단한 광물인 다이아몬드를 충돌시켜 파괴하는 것은 어떤까? 운석을 파괴하려면 다이아몬드의 크기는 어느 정도이어야 할까? 공룡이 멸망할 당시의 가정을 보면 운석 충돌설이 가장 유력하다고 하는데, 해룡은 왜 멸종하였는가? 바다의 산소가 부족해지거나 먹이가 감소하거나 깊은 바다는 온도가 많이 낮아지지 않을 것 같은데도 불구하고

다. C 학생은 외적 동기로 주어졌던 흥미 영역이 보다 내면화된 질문으로 바뀌어서 탐구 과정에 대한 관심이 증가했음을 알 수 있다. 과학 활동에서 중요한 것 중의 하나가 문제 발견과 문제 인식, 호기심이라고 한다면, 학생들의 이러한 변화는 프로그램을 통해 학생들이 좀 더 과학적 태도를 가지게 되었음을 시사한다.

개발된 프로그램의 특징

본 연구에서 개발된 창의성 계발을 위한 프로그램이 과학 창의성 요소들과 어떻게 연관되어지는 가를 분석을 통해 살펴보고자 한다.

첫째, 본 프로그램의 1단계는 주제의 탐색단계로서 학습 주제에 관련된 기본 개념을 확산적이고 포괄적으로 소개하는 활동이다. Renzulli(2001)의 삼부심화 모델에서는 주로 모형 제작 및 시청각 자료 감상, 브레인스토밍 등의 교수 방법으로 학습 주제에 대한 이해를 확장, 증진시키는 데 이 단계의 목적을 두고 있다. 본 프로그램에서는 과학에서 지식의 중요도를

강조하기 위해 이 단계에서 주로 학생들은 학습 주제의 개념과 관련된 여러 개념을 종합적으로 이해할 수 있는 실험이나 관찰을 도입하였다. 주제의 탐색단계에서 학생들에게 다양한 과학적 개념이 소개되어지며 과학적 개념의 다양한 측면을 제시하였다. 이때 학생들은 여러 과학적 맥락 속에서 과학 개념들을 인지하므로 지식을 단순히 획득하도록 하기보다 이를 논리적으로 사용하는 방법을 습득할 수 있다. 특히 과학적 개념들이 실제 과학적 상황과 관련지어 제시됨으로서 학생들은 과학적 개념을 스스로 구성하려는 동기가 유발될 수 있다.

둘째, 프로그램의 2단계는 개념지식뿐만 아니라, 가설설정, 실험설계 및 수행, 자료처리 등 과학의 탐구과정을 사용하게 되며 나아가 문제해결을 위한 다양한 정보를 수집하는 능력인 유창성, 새로운 시각이나 방향에서 정보를 수집하는 능력인 독창성 등의 창의적 사고력과 문제해결을 위한 정보의 적합성을 평가하는 능력인 적절성과 수집된 정보를 사실과 의견으로 구별하고 문제와 관련된 이론이나 현상을 확인하는 능력인 신뢰성 등의 비판적 사고력도 요구한다. 창의성의 계발은 구체적이고 상세하게 활동을 안내하는 것보다 학습문제나 학습상황에서 학생 스스로 계획하고 사고하면서 탐구활동을 수행하게 하여야 한다(Hunt, 1994). 따라서 관찰과 실험의 주제, 사용될 소재들, 문제를 해결하는 방법이나 이론적인 설명은 가능하면 전혀, 혹은 거의 제시되지 않는다. 학생들은 구성원 사이의 집단적 상호작용을 - 특히 토론 - 통하여 분석, 종합, 평가 등과 같은 상위 사고력과 문제 해결 능력 및 창의적 사고력을 증진하고 문제 해결을 할 수 있도록 한다. 특히 제시되는 문제들은 잘 정의되지 않은 문제들로서 학생들이 과학탐구과정에 대한 습득뿐만 아니라 어떤 탐구과정을 어떻게 적용시킬 것인가를 결정하는 일반 전략적 지식에 대한 습득도 가능하다. 이 단계에서 중점적으로 다루지는 기능은 학습 기능, 연구 기능, 참고자원 활용 기능과 의사소통 기능이며, 개념의 이해를 돕는 발견학습 또는 실험 활동/기능을 익히는 확인 실험활동 등이 주로 이루어진다.

셋째, 프로그램의 3단계에서는 이전 단계에서 이해한 내용이나 습득 숙달된 기능을 적용하여 학생이 주도적으로 새롭게 문제를 발견하며, 발견된 문제를 해결하기 위한 탐구 활동으로 이루어진다. 전문가들이 사용하는 연구 방법을 활용하여 탐구를 수행하는

방식으로 진행되며, 학생들이 반드시 산출물을 만들어내도록 기회를 제공하고 격려해 주어야 한다. 학생들은 문제를 발견하고, 스스로 문제를 해결할 수 있는 조건을 찾는다. 성공의 중요성과 가능성에 대해 우선순위를 정하거나 여러 각도에서 다각적으로 주의 깊게 그리고 객관적으로 탐색하는 일반적인 인지전략도 습득할 수 있게 된다. 학생의 지식 내에서 평가준거를 사용하여 해결방안을 선정한 후 습득된 과학적 탐구과정을 이용하여 해결책을 구체화하게 된다. 따라서 해결책 산출과정에서는 가능한 해결방안을 많이 찾아내고 가능한 여러 관점에서 해결방안을 찾으려는 확산적 사고가 중요하며 전혀 관계가 없다고 생각했던 정보들을 결합하는 독창성 등의 창의적 사고력이 중요하게 작용할 수 있다. 이 단계는 학습자가 주어진 문제에 대한 사실 정보를 단순히 암기하는 것이 아니라 창의적인 이해과정을 개발할 수 있도록 학습자의 사고과정을 고무하기 위해 설계·개발된 것으로 고차원적인 정보 분석력, 조직력 등을 배양할 수 있게 된다.

교사의 역할

강의식 수업과는 달리 본 연구에서 제시한 프로그램에서는 교사와 학생의 역할이 매우 중요하게 된다. 조력자로서 교사는 주제를 선정하는 계획자이며 학생의 흥미를 잘 파악하여야 한다. 또한 학생의 의견을 주의 깊게 듣고, 학습의 과정에서 학생 스스로 해답을 도출해 낼 수 있도록 토론을 촉진하고 정답을 제시하는 것을 삼가야 하며 독립연구과제 수행시 적절한 자원을 지원해 줄 수 있어야 한다. 교사의 이러한 자질은 본 연구에서 제시한 창의성 개발을 위한 교수-학습의 효율적인 운영에서 결정적인 역할을 한다. 따라서 창의성 개발 교수-학습 방법과 전통적 교수-학습 방법(최경희, 1996)은 그 특징상 크게 다를 수 밖에 없는데, 그 차이를 요약하면 Table 7 와 같다.

연구의 제한점

본 연구의 결과를 해석하는 데 있어서 주의해야 할 몇 가지 제한 사항이 있다.

첫째, 창의성은 인지적 요소뿐만 아니라 정의적, 환경적 요소가 복합적으로 작용하여 발현된다. 그러나 본 연구에서는 프로그램의 특성이 창의성의 인지적 측면에 주로 초점을 두었으며, 프로그램 실시 기간이 15시간의 집중교육으로 이루어졌으므로 학생들

Table 7. The differences between the creativity instruction model and traditional instruction model.

전통적 교수-학습 모형	창의성 개발 교수-학습 모형
교사중심	학생중심
내용중심	내용, 과정, 문제 중심
교과서 중심 교수계획	실생활에서 접하는 과학문제 중심
계획된 과학 관련 활동을 따라간다	스스로 계획하여 과학 활동을 한다.
표면적 학습	깊이 있는 이해와 실제 적용을 통한 내면화 학습

의 정의적, 환경적 요소를 변화시킬 수 없었다. 따라서 프로그램의 효과로서 복합적 요소로서의 창의성의 향상을 확인할 수는 없다는 문제점이 있다.

둘째, 프로그램에 참여했던 학생들이 프로그램 실시 전후에 어떤 변화가 있었는지를 확인하는 여러 평가(DCT, 문제인식능력)자료는 프로그램의 문제점 및 수정 보완에 있어서 기초자료를 제공하지만 프로그램의 타당도를 입증하기는 어렵다. 따라서 개발된 프로그램의 타당성 및 효과검증을 위한 평가가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

결론 및 제언

효과적인 창의성 개발을 위한 교육이 되기 위해서는 이론적 근거를 바탕으로 한 교수 - 학습 모형이 필요하다. 본 연구에서는 창의성 이론에 관한 문헌의 고찰을 통해 과학창의성의 요소들을 밝히고 추출된 요소들을 포괄할 수 있는 교수 - 학습모형으로 Renzulli의 3단계 심화모형을 이용하여 프로그램을 개발하였다.

과학에서의 창의성이란 “과학의 기본지식과 탐구과정기술을 기반으로 확산적 사고와 비판적 사고과정을 통하여 새로운 문제를 발견해 내며 적절하고 새로운 해결방법을 발견하는 것”이라고 정의할 수 있다. 과학에서의 창의성의 발현에는 과학지식, 과정지식, 문제, 문제의 발견 등이 모두 중요한 요소로 작용함을 보였다. 특히 과학 창의성이 발현되기 위해서는 과학 지식을 과학적 맥락에서 이해하고 쉽게 적용할 수 있도록 구조화하여 저장하는 것이 중요하며 과학활동에 필요한 탐구지식뿐만 아니라 일반적인 인지전략 과정지식의 습득도 매우 중요하다. 또한 창의성이 발휘되는 문제는 개방적이고 잘 구조화되지 않은 문제

를 접했을 때 가장 잘 나타나게 된다.

본 연구에서는 창의성 개발을 위한 교수 - 학습 모형으로 수정된 Renzulli의 3 단계 교수 - 학습 모형을 제시하고 있다. 1단계는 주제의 도입단계로서 실생활과의 연계, 확산적 사고 경험의 극대화, 신기한 경험을 통한 과학에의 흥미 유발이라는 측면에서 그 효과성이 크다 할 수 있다. 2단계는 개념지식뿐만 아니라 잘 정의되지 않은 문제에 대해 가설설정, 실험설계 및 수행, 자료처리 등 과학의 탐구과정을 사용하며 일반적인 인지전략도 습득할 수 있다. 3단계는 가장 창의성을 요구하는 단계로 이해한 내용이나 습득, 숙달된 기능을 적용하여 일상생활 또는 주변에서 발견할 수 있는 잘 정의되지 않은 문제를 학생이 주도적으로 정하고 이를 해결하기 위한 탐구 활동으로 이루어진다.

본 연구에서 개발된 프로그램의 타당성을 살펴보기 위해서 실시된 DCT 결과, 학생들의 과학적 탐구 능력이 유의미하게 향상된 것으로 밝혀졌고, 학생들의 프로그램 평가에서는 대체적으로 긍정적인 반응이 나타났다. 한편, 문제 인식 능력 변화에서는 학생들의 문제 인식 능력이 보다 세련되고 구체화되었음을 볼 수 있었다.

본 연구에서 개발된 프로그램은 학습개념, 상위사고력, 문제중심의 학습, 과학활동에 대한 강조가 자연스럽게 이루어진 차별화 된 교수 - 학습이다. 실제 과학자들의 관점에 근거한 개념들을 강조함으로써 학생들이 실제로 과학을 수행하고 이해하는데 있어 중심이 되는 기본개념들에 대한 높은 수준의 이해가 이루어질 수 있었다. 또 학생들에게 실제 과학적 문제들을 다루게 하고 과학과 사회사이의 연관을 이해하게 함으로써 비판적 사고력과 창의적인 사고력을 동시에 습득할 수 있도록 하였다. 교사의 적절한 질문, 동료들과의 토의, 자기 주도적인 실험 설계 및 학습 등을 통하여 창의적 과학자들에게서 발견될 수 있는 회의, 객관성, 호기심 등 다양한 과학자들의 특성을 경험하고 개발할 수 있다. 기존의 학생들이 교과서에 나와 있는 실험들을 미리 정해진 결론에 도달하기 위해 제시된 단계에 따라 행하는 방식에서 탈피하여 학생 스스로 흥미 있는 주제를 선정하고 적절한 실험설계를 토의하고 계획하며 실행에 옮김으로서 실제적인 과학을 할 수 있는 기회를 제공한다. 본 연구는 학습자들이 대부분의 교실환경에서 이루어지는 인위적으로 구조화된 학습환경보다 자연스러운

학습환경에서 잘 학습되어질 수 있다는 신념에 근거하고 있다. 과학자들이 실제적으로 문제를 풀기 위해 시도하는 과정처럼 학습의 과정은 학교 밖의 환경에서 일어나는 것처럼 이루어져야 한다. 외부적인 자극, 호기심, 필요성 등이 자연스럽게 주제, 문제, 연구분야를 결정하게 된다. 일단 문제나 흥미가 내면화되면 문제를 풀기 위한 정보, 자원, 전략을 수집할 필요성이 생긴다. 학교란 미래를 위한 준비를 해야 하므로 실제문제를 통한 학습에서 생성된 과정은 매우 중요하다.

종래의 창의성 또는 상위사고력 개발 프로그램들은 그 특성상 특정영역에서의 적용가능성과 연계성 문제로 문제점이 지적되어 왔다. 본 연구에서 보여주는 프로그램의 내용은 학생들의 창의성과 적용, 분석, 종합, 평가 등의 사고력 등이 어떻게 과학이라는 영역과 잘 조합될 수 있는가를 효과적으로 보여주고 있다. 본 연구가 과학 창의성 개발 프로그램의 효과적인 개발 단계와 실제 프로그램의 제작 및 운영을 다룸으로써 향후 프로그램의 개발 및 운영에 많은 도움이 될 것이라 생각한다.

참고문헌

- 교육부, 1997, 과학과 교육과정. 교육부, 102 p.
- 김병노, 2002, 과학영재를 위한 프로그램 개발. 서울대학교 석사학위 논문, 120 p.
- 김주훈·이은미·최고운·송상현, 1996, 과학영재판별도구 개발연구 I. 한국교육개발원, 서울, 170 p.
- 성진숙, 2001, 과학에서의 창의적 문제해결력에 영향을 미치는 제 변수 분석: 확산적 사고, 과학지식, 내·외적 동기, 성격특성, 및 가정환경. 이화여자대학교 박사학위 논문, 204 p.
- 조연순, 2001, 창의성 개발을 위한 교수·학습 및 평가 방법. 창의성 개발을 위한 교육전략연구세미나, 한국교육개발원, 서울, 47-69.
- 최경희, 1996, STS 교육의 이해와 적용, 교학사, 서울, 265 p.
- 최경희·조연순·조덕주, 1998, 창의적 문제 해결력 신장을 위한 중학교 과학 교육과정 연구-현행 교육과정과 수업 현장 분석을 중심으로-. 한국과학교육학회지, 18(2), 149-160.
- Adams, C.M. and Callahan, C.M., 1995, The reliability and validity of a performance task for evaluating science process skills. *Gifted Child Quarterly*, 39(1), 14-20.
- Amabile, T.M., 1983, *The social psychology of creativity*. Springer-Verlag, NY, 345 p.
- Amabile, T.M., 1996, *Creativity in Context*. Westview Press Inc, Colorado, 345 p.

- Hunt, E., 1994, Problem Solving. In Sternberg, R.J., (ed), Thinking and problem solving, Academic Press, SD, 572 p.
- Barron, F. and Harrington, D.M., 1981, Creativity, intelligence, and personality. Annual review of psychology, 32, 439-476.
- Barsalou, L.W., 1982, Context independent and context dependent information on concepts. Memory and Cognition, 10, 82-93.
- Barsalou, L.W., 1983, Ad hoc categories. Memory and Cognition, 11, 211-227.
- Davis, G.M. and Rimm, S.B., 1998, Education of the Gifted and Talented. Allyn and Bacon, MA, 491 p.
- Dunbar, K., 1999, Science. In Runco, M.A. and Pritzker, S.R., (ed) Encyclopedia of creativity, Academic Press, CA, 2, 525-531.
- Fowler, M., 1990, The Diet Cola Test. Science Scope, 13(4), 32-34.
- Gallagher, S.A., 2001, Adapting Problem-Based Learning for Gifted Student. In Karnes, F.A. and Bean, S.M., (ed) Methods and Materials for Teaching the Gifted, Prufrock Press Inc., TX, 369-398.
- Getzels, J.W. and Csikszentmihalyi, M., 1968, The value orientation of art students as determinants of artistic specialization and creative performance. Studies in Art Education, 10, 5-16.
- Greeno, J.G., 1978, Natures of problem solving abilities. In Estes, W.K., (ed), Handbook of learning and cognitive processes, Vol. 5: Human information processing, Erlbaum, NJ, 239-269.
- Guilford, J.P., 1950, Creativity. American Psychologist, 5, 444-454.
- Guilford, J.P., 1967, The nature of Human Intelligence. McGraw-Hill, NY, 300 p.
- Houtz, J.C., 1994, Creative Problem Solving in the Classroom: Contributions of Four Psychological Approaches. In Ronco, M.A., (ed) Problem Finding, problem solving, and Creativity, Ablex Publishing Corporation, NJ, 153-174.
- Hoover, S.M. and Feldhusen, J.F., 1994, Scientific problem solving and problem finding: A theoretical model, In Ronco, M.A., (ed) Problem finding, problem solving and creativity, Ablex Publishing Corporation, NJ, 201-219.
- Hunt, E., 1994, Problem solving. In Sternberg, R.J. (ed) Thinking and Problem solving. Academic Press Ltd., London, 135-150.
- Hunt, Isaksen, S.G. and Treffinger, D.J., 1985, Creative problem solving: The basic course. Buffalo, NY, 230 p.
- Kasperson, C.J., 1978, Psychology of the scientist: XXXVII. Scientific creativity: A relationship with information channels. Psychological Reports, 42, 691-694.
- Larkin, J.H., McDermott, J., Simon, D.P., and Simon, H.A., 1980, Models of competence in solving physics problems. Cognitive Science, 4, 317-345.
- Lubart, T.I., 1994, Creativity. In Sternberg, R.J., (ed), Thinking and Problem Solving, Academic Press, CA, 290-333.
- MacKinnon, D.W., 1962, The nature and nurture of creative talent. American Psychologist, 17, 484-495.
- Mayer, R.E., 1999, Problem Solving. In Runco, M.A. and Pritzker, S.R. (ed) Encyclopedia of creativity, Academic Press, CA, 2, 295-300.
- Mumford, M.D., Mobley, M.I., Uhlman, C.E., Reiter-Palmon, R., and Doares, L.M., 1991, Process analytic models of creative capacities. Creativity Research Journal, 4(2), 91-122.
- Newell A., Shaw, J., and Simon, H., 1962, The processes of creative thinking. In Gruber, H., Terrell, G., and Wertheimer, M., (ed), Contemporary Approaches to Creative Thinking, Atherton, NY, 63-119.
- Parnes, S. and Brunelle, 1967, The literature on creativity, Part I. Journal of Creative Behavior, 1, 52-109.
- Renzulli, J.S., and Reis, S.M., 1997, The Schoolwide Enrichment Model: A How-To Guide for Educational Excellence. Creative Learning Press, Inc., CT, 411 p.
- Renzulli, J.S., 2001, Enriching Curriculum for all students. SkyLight Training and Publishing Inc., IL, 195 p.
- Scott, T.E., 1999, Knowledge. In Runco, M.A. and Pritzker, S.R., (ed) Encyclopedia of creativity, Academic Press, CA, 2, 119-129.
- Sternberg, R.J., 1988, A three-facet model of creativity. In Sternberg, R.J., (ed), The nature of creativity: Contemporary psychological perspectives, Cambridge University Press, MA, 125-147.
- Sternberg, R.J. and Lubart, T.I., 1993, Creative giftedness a multi-variate investment approach. Gifted Child Quarterly, 37(1), 7-15.
- Trefz, R., 1996, Maximizing your classroom time for authentic science: Differentiating science curriculum for the gifted. ED 400 188, Paper presented at the Global Summit on Science and Science Teaching, San Francisco, CA.
- Weisberg, R.W., 1999, Creativity and Knowledge : A Challenge to Theories. In Sternberg, R.J., (ed), Handbook of creativity, Cambridge University Press, MA, 226-250.

부 록

소행성충돌

불빛이 없는 어두운 시골 밤하늘에서는 시간당 수 개 내지 수십 개의 유성을 볼 수가 있다. 한 순간에 밝게 빛나고 사라져버리는 유성은 우리 마음 속에 작은 파문을 일으키는 사랑스러운 천체이다. 이러한 유성은 아주 작은 티끌들이 지구 대기와의 마찰 때문에 나타나는 현상인데, 때로는 거대한 파편이 떨어져서 지구상의 생명체를 멸종의 길로 몰아 넣기도 한다. 이 단원에서는 우주 공간을 떠돌아다니는 파편들이 만들어내는 크레이터에 대해 과학적 시각으로 접근해보고자 한다.

기초학습

1. 한 가지 물질의 서로 다른 얼굴들 - 유성, 유성체, 운석, 소행성, 크레이터

밤하늘을 관측하다보면 1~2초 동안 밝은 빛을 발하면서 하늘을 가로지르는 유성을 볼 수 있다. 유성은 우주 공간에 떠돌아다니는 유성체라고 불리는 티끌들이 지구 대기와의 마찰에 의해 타면서 빛을 발하는 현상이다. 보통의 유성체는 모래 크기 보다 작기 때문에 지표면에 닿기 전에 전부 타서 없어지고 만다. 그러나 간혹 먼지 알갱이보다 큰 암석 덩어리가 떨어지는 경우도 있는데, 이 경우 타고 남은 잔해가 지표면에 떨어지기도 한다. 이를 운석이라고 한다.

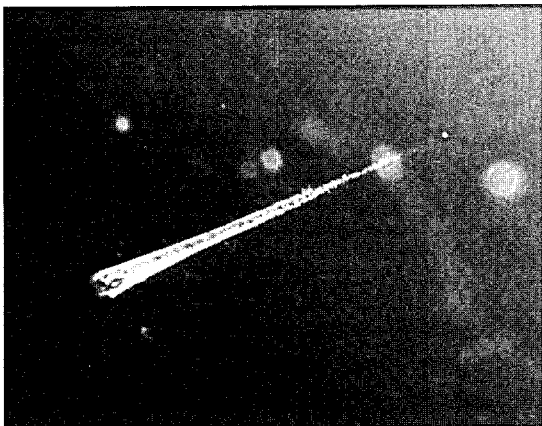


그림 1. 떨어지는 우주 먼지. 당근 모양으로 보이는 이 자취는 1/1,000cm 정도 밖에 안 되는 우주 티끌에 의한 것이다.

운석은 일반적으로 소행성들이 서로 충돌하여 만들어진 파편이라고 생각되는데, 그 크기는 자갈만큼 작은 것에서 산만큼 큰 것도 있다.

소행성들은 화성과 목성 사이의 궤도를 돌고 있는 작은 천체로서, 태양계가 형성될 때 행성에 합체되지 못한 부스러기이다. 이는 거대한 행성인 목성의 차등 중력 때문이다. 오랜 시간이 지나면서, 소행성들은 서로 충돌하여 많은 암석 부스러기들을 만들어냈고, 이 파편들이 가끔씩 지구와 충돌하는 것이다. 파편들 중 아주 큰 것들은 수 km에 달해서, 수십~수백 km에 달하는 크레이터를 만들어낸다.

지구 표면의 2/3는 바다이고 육지에서도 인간이 사

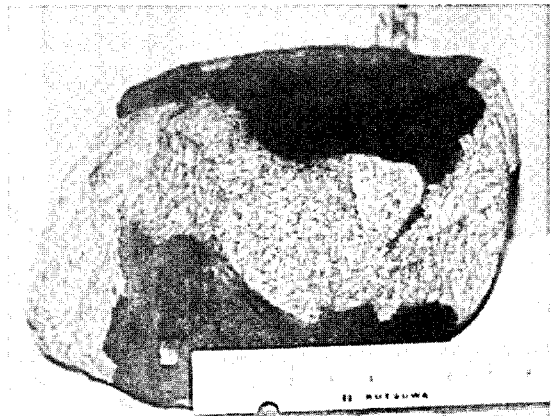


그림 2. 두원 운석. 우리나라에 낙하한 운석 중에 유일하게 소재가 확인된 운석으로, 대기와의 마찰에 의해 검게 탄 흔적을 볼 수 있다.



그림 3. 미국애리조나주의 크레이터(직경 1km).

는 곳은 한정되어 있기 때문에, 운석이 주거 지역에 떨어지는 경우는 거의 없다. 게다가 대부분의 운석은 매우 작아서 충돌할 때 별다른 피해를 입히지 않는다. 아주 드물게, 작은 운석이 지붕에 구멍을 뚫거나 자동차 천장을 파괴한다. 현재까지 운석에 맞은 사람으로는 두 사람이 알려져 있다. 미국의 알라바마주에 사는 Annie Hodges는, 1954년 11월 30일에 낮잠을 자고 있었다. 그 때 약 3kg의 운석이 지붕을 관통하였다. 운석은 라디오에 부딪힌 다음 튀겨 나와 그의 팔과 다리에 타박상을 입혔으나 다른 피해는 발생하지 않았다. 한편, 1994년 6월 21일 오후에, Jose Martin과 그의 아내 Vicenta Cors는 마드리드에서 마벨라(Marbella)로 차를 타고 가고 있었다. 그때, 약 1kg의 운석이 자동차 앞 유리를 관통하여 자동차 계기판에 부딪힌 다음 운전대를 잡고 있던 Martin의 오른손의 손가락에 부상을 입히고, 부부의 머리 사이로 통과하여 뒷자석에 착륙(?)했다. 그들 부부는 손가락이 찢어진 것 이외에는 별 다른 부상을 입지 않았다. 아주 드물게, 십만 년에 한번 정도로, 거대한 크기의 소행성이 지구에 충돌하는데, 이러한 충돌은 아주 큰 피해를 줄 수 있다. 그 예로, 6천5백만년 전에 멕시코의 유카탄 반도에 충돌한 소행성을 들 수 있다. 이 충돌로 인해, 지구상의 생명체 중에서 3/4이 멸종하였다.

2. 크레이터 생성 과정

유성체가 지표면에 충돌할 때, 투사된 유성체의 에너지는 폭발력으로 전환된다. 충돌로부터 생성된 충격파는 암석을 통해 퍼져나가는데, 이 때 암석을 변형시키면서 바깥으로 밀어낸다. 팽창된 부피는 유성체의 부피보다 훨씬 커지고, 결국에는 큰 크레이터가 된다.

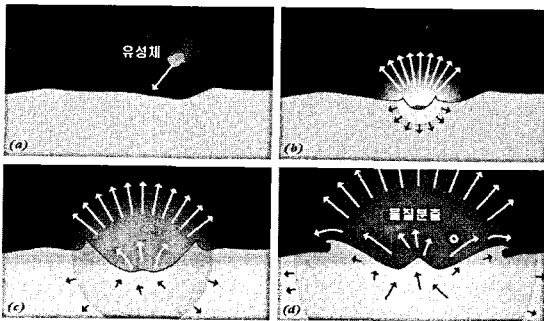


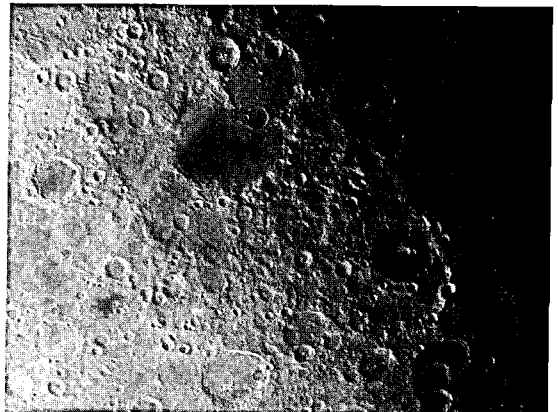
그림 5. 크레이터의 생성과정.

그림5의 (a)는 유성체가 수 십 km/s의 속도로 표면을 강타하는 모습이다. 지구상에 낙하하는 유성체의 속도는 대략 10km/s 정도이다. (b) 초기 폭발은 표면 물질을 빠른 속도로 분출시킨다. (c) 암석을 통과해서 전달된 충격파가 압축되고 결국 암석을 깨뜨린다. 그 반동으로 물질을 크레이터의 바깥으로 날려보낸다. (d) 크레이터의 가장자리는 이 반동으로 물질이 겹치게 되고, 크레이터 중앙에는 물질이 쌓여 산이 형성된다. 분출된 물질은 광조를 형성하거나 주변에 더 작은 크레이터를 생성시킨다.

심화학습

탐구활동1. 크레이터 생성 모의 실험 (조별 활동)

소형 망원경으로 달 표면을 관찰해보면, 많은 크레이터들을 볼 수 있다. 지구에서도 드물기는 하지만 크레이터들을 확인할 수 있다. 이러한 크레이터들은 크기가 큰 유성체, 즉 소행성의 파편이나 소행성 자체가 행성 혹은 위성에 충돌하여 만들어진 산물이다. 이 탐구 활동에서는 크레이터의 크기에 영향을 미치는 유성체의 물리량을 살펴보고, 나아가서 두 변인의 정량적인 관계식을 구해보는 것이 목적이다.



각 조는 밀가루(지각의 대용물)와 쇠구슬(유성체의 대용물) 등을 이용하여 크레이터 생성 모의 실험을 실시한다. 각 조는 먼저 크레이터의 크기가 유성체의 어떤 물리량에 어떻게 관련되어 있을지 가설을 설정하고, 다음으로 가설을 검증할 수 있는 실험을 설계한 후 실험을 수행하라. 실험 과정에 있어서 각 조의 구성원은 적어도 하나 이상의 임무를 수행할 수 있

도록 실험 수행 작업을 적절히 분배하시오.

- 가설
- 실험 과정 (실험 설계)
- 실험 데이터
- 실험 결과 및 해석
- 실험 과정과 실험 결과에 대한 평가 및 토의

독립 연구 과제

다음은 이 단원의 학습 결과 생각해 볼 수 있는 독립 연구 과제의 예로서, 학생들은 이를 수정·보완할 수 있다. 물론, 학생 스스로 독립 연구 과제의 주제를 선정하여 연구를 수행하는 것도 장려된다. 독립

연구 과제의 주제는 실질적이면서 과학적 가치가 있음과 동시에 학생에게 흥미로운 것이어야 하고, 학생은 실제로 연구를 수행한다는 자세로 독립 연구 과제에 임해야 한다.

1. 이 단원의 크레이터 생성 모의 실험에서는 밀가루와 쇠구슬을 실험 재료로 사용하였다. 크레이터가 보다 잘 만들어질 수 있는 실험 재료 및 제반 환경에 대해 살펴보자. 여러 가지 재료를 사용한 실험을 수행하여 결론을 도출하고, 결과물은 실험 수행 과정이 촬영된 사진과 함께 보고서 형태로 제출하시오(최대 3명).

2002년 3월 10일 원고 접수
2002년 3월 23일 수정원고 접수
2002년 3월 23일 원고 채택