

英才教育研究

Journal of Gifted/Talented Education

1999. Vol. 9 No. 2, pp. 73~101

과학영재교육센터 교육체제의 효율적인 운영방안에 관한 연구¹⁾

정 원 우 (경북대학교), 권 용 주 (포항공과대학교)

황 석 근 (경북대학교)

I. 서 론

프랑스 파스티르 연구소 소장은 “AIDS 백신을 연구하는 팀이 만약 그 백신을 개발하게 된다면 1년치 프랑스 정부예산과 맞먹는 외화를 벌어들일 수 있으며, 과학자 한사람은 인구 백만 명을 먹여 살릴 수 있다”고 설파함으로서, 눈앞에 닥친 21세기는 고도화된 지식의 활용능력이 뛰어난 고급인력에 의하여 국가경쟁력이 주도됨을 강조하였다(과학재단소식 156호, 1999). 더 나아가, 많은 미래학자들은 다음세기는 현재의 ‘정보화 사회’에서 ‘고도화된 지식 창출의 사회’로 변화될 것이라고 전망하고 있다. 따라서 다음세기에서 가장 가치 있는 구성원은 ‘정보의 획득 기능이 뛰어난 구성원’을 넘어서 ‘획득된 정보를 창의적으로 활용하여 유용성이 높은 고도화된 지식을 창출할 수 있는 기능이 뛰어난 구성원’이 될 것으로 전망되고 있다. 특히, 사회가 발달할수록 과학기술지식은 고도화된 지식의 가장 핵심적인 부분을 구성하고 있음을 고려할 때, 고도의 과학지식을 창의적으로 활용하여 유용성이 뛰어난 과학기술지식을 창출하는 능력이 뛰어난 인재를 양성하는 과제는 다음세기를 위한 가장 가치 있는 준비중의 하나가 될 것이다.

1) 이 연구는 1998년도 경북대학교 과학영재교육센터 연구과제 연구비의 일부지원에 의하여 연구되었음.

이러한 시대적 요구에 부응하여 경북대학교는 1998년 7월 과학기술부의 과학영재센터(이하 본 센터) 지정에 의거, 당시 대구 및 경북지역 중학교 1학년 학생들을 대상으로 3차에 걸친 선발과정을 통해 90명의 과학영재를 선발하여, 현재까지 과학, 수학 및 정보과학의 영재교육 프로그램을 제공해 오고 있다. 일반적으로 과학영재(scientifically gifted youth)란 과학분야에서 창의적으로 문제를 해결하고 지식을 창출하는 기능이 비범한 재능을 갖추고 있어서 뛰어난 과학자가 될 가능성이 높은 사람을 의미한다(조석희와 김양분, 1988). 따라서, 본 센터는 과학에 관련된 지식을 창의적인 방법으로 융통성 있게 활용하여 유용성이 높은 고도의 과학지식을 창출하는 능력이 뛰어난 인재를 양성하기 위하여 선발에서 교육 및 평가에 이르기까지 구체적이고 창의적인 프로그램을 이들 선발된 과학영재들에게 제공해 오고 있다. 그러나 본 센터가 독창적인 프로그램을 통해 90명의 과학영재들을 선발하였고, 또 이들을 대상으로 수학·물리·화학·생물·지구과학·정보과학에 대한 이들의 영재성을 최대한 신장시킬 수 있는 프로그램을 제공해 오고 있지만, 보다 효율적으로 이들의 창의성을 극대화시켜 주기 위해 현재 수행되고 있는 본 센터의 프로그램 운영실태를 분석하고, 분석결과를 바탕으로 과학영재교육의 목표에 보다 부합하는 본 센터의 운영전반에 관한 개선도 함께 요구된다고 할 수 있겠다.

따라서 본 연구에서는 구체적으로 본 센터의 학생선발 방법과 교육과정의 운영에 관한 실태 분석 및 그 개선방안을 제시하고, 그런 다음 센터의 교육 내용 및 방법을 분석하여, 이를 바탕으로 센터의 과학영재교육 목표에 부합하는 교육 내용 및 방법을 제시함과 아울러, 이러한 교육과정 안에 의거한 프로그램의 예를 제시하고자 한다.

II. 학생 선발

1. 현행 선발 과정

과학영재의 판별은 바로 과학영재의 특성을 무엇으로 정의하느냐에 달려있다. 일반적으로 과학영재는 몇 가지 뚜렷한 인지적 특성과 부가적인 정의적 특성을 갖는 것으로 판단할 수 있다. 따라서 과학영재로서의 잠재성을 가진 아동을 선발하고자 할 때는 일반적으로 인정되어온 과학영재의 특성에 따라서 판별해야하는 것이 타당할 것이다. 따라서, 과학영재의 특성을 뛰어난 과학적 사고력과 창의력, 그리고 과제집착력을 바탕으로 고도의 과학지식 창

출 기능이 뛰어난 사람으로 정의한다면, 과학영재교육센터의 학생 선발도 이러한 가능성이 뛰어난 학생을 선발하는 것이 바람직하다. 특히, 본 센터의 과학영재 교육철학이 '고급지식의 이전' 보다는 '창의적인 힘의 개발'(황석근, 1999)에 중점을 두고 있음을 감안해 보면, 본 센터에서 선발하고자 하는 과학영재 후보자는 창의적인 사고를 통한 고도의 과학지식 창출 기능에 대한 가능성이 높은 학생을 선발하여야 할 것이다.

이러한 목표에 따라서 본 센터는 1998년 여름 대구·경북에 소재한 중학교 1학년 학생들을 대상으로 과학영재 교육 프로그램을 이수할 학생 90명을 선발하였다. 선발된 이들 학생들의 지역별, 성별 분포를 살펴보면 <표 1>과 같다. 본 센터에서 시행한 선발과정을 살펴보면, 먼저 선발과정은 3단계 과정으로 진행되었다. 제 1단계에서는 전공 구분 없이 수학과 과학성적이 상위 3%이내에 드는 학생으로서 학교장으로부터 추천을 받은 326명을 선발하였다. 제 2단계에서는 이들 326명을 대상으로 논리적 사고력 검사와 탐구기능검사로 구성된 과학적 사고기능 검사와 수학, 물리, 화학, 생물, 지구과학 내용으로 구성된 학력검사를 실시하여, 이들 검사들의 성취도를 총합하여 상위 90명을 선발하였다. 이들 논리적 사고력 검사와 탐구기능 검사는 초등학교 고학년이상 학생들을 대상으로 한국교육개발원에서 제작한 것을 사용하였고, 학력검사는 본 센터 연구진이 자체 개발한 문항을 사용하였다. 이때 선발된 학생들은 전공에 대한 구분 없이 논리적 사고기능 검사와 탐구기능 검사, 그리고 학력 검사에서 성취한 총점에서 일괄적으로 상위 90명을 선발하였다. 또 이들 90명을 선발하는 2단계 선발과정에서는 1단계 과정에서 선발기준의 하나였던 학교성적을 2단계 선발의 기준으로 포함하지 않았다.

<표 1> 과학영재교육센터에서 선발한 학생들의 지역별 성별분포

	대 구	경 북	계
남 학 생	52	8	60
여 학 생	26	4	30
계	78	12	90

2. 현행 선발과정의 분석 및 개선방안

본 센터에서는 위에서 설명한 2단계 선발과정을 거쳐서 제 1차 년도의 대상으로 90명을 선발하였고, 이들은 지금 본 센터가 운영하는 과학영재교육 프로그램에 적극적으로 참여하

고 있다. 그러나 비록 이들이 위에서 설명한 2단계의 선발과정을 거쳤고 또 본 센터의 프로그램에 적극적으로 참여하고 있지만, 본 센터의 목표에 비추어 선발과정을 분석해서 보다 진보된 선발과정을 제시할 필요가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구는 본 센터의 현행 선발과정을 자격기준, 선발절차, 그리고 선발검사의 요소구성 등에 관해서 살펴보고, 보다 진보된 방안으로서 과학영재의 특성, 특히 인지적 특성을 중심으로 3단계에 걸친 과학영재의 발굴과정을 제시하고자 한다.

먼저, 본 센터의 선발과정은 학교장의 추천, 학교 성적, 논리적 사고기능 검사, 과학탐구 기능검사, 그리고 학력검사를 거쳤지만, 이들의 평가가 학교장의 추천을 제외하고는 모두 지필검사에 국한되었다. 따라서 현행의 선발과정은 학생의 과제수행능력(예를 들면 프로젝트 수행과정), 창의적인 과학적 과정 수행능력(예를 들면, 창의적 가설창안과 검정과정의 고안), 자신의 연구결과에 대한 논리적인 발표능력 등 창의적인 과학적 활동의 중요한 기능들로 간주되는 요소들에 관해서는 효과적인 평가과정을 제공하지 못하고 있다. 따라서 보다 효과적인 과학영재의 선발을 위해서는 이들 기능에 대한 평가가 선발과정에 포함되어야 한다.

둘째, 현행의 선발과정은, 비록 학교장의 추천기회에 의해 1단계 선발에서는 선발자에 포함될 가능성은 가지고 있지만, 각종 과학관련 경시대회에서 좋은 결과를 보여준 학생의 선발 가능성이 많이 제한되어 있다. 특히 이들은 비록 1단계 과정에서 추천이 되었더라도 평가의 과정이 모두 지필검사로 되어있는 최종 2단계 선발시험에서 좋은 성적을 얻을 가능성이 다른 학생들에 비해서 결코 높지 않기 때문에, 현행 선발과정은 각종 과학활동대회에서 우수한 재능을 보여준 학생들의 능력을 과소평가할 우려가 존재한다. 더구나 학교에서의 추천이 과학교사에 의한 추천이 아니라 학교장에 의한 추천이기 때문에 이러한 가능성은 더욱 크다고 할 수 있다. 따라서 보다 효과적인 과학영재의 선발을 위해서는 이러한 재능에 대한 고려가 있어야 한다.

셋째, 본 센터에서 채택한, 2단계 선발과정의 평가도구인 논리적 사고검사와 과학탐구기능검사, 그리고 학력검사의 검사결과가 대체로 효과적인 변별력을 제공해주질 못하고 있다. 즉, 논리적 사고검사와 과학탐구기능검사는 너무 쉬웠고(61점 만점에 평균 55.5점), 학력검사는 너무 어려워(60점 만점에 평균 29.9점) 학생들의 영재성을 변별하는데 그다지 효과적이지 못했다. 따라서 이들 검사를 본 센터의 선발도구로서 계속 활용하고자 한다면, 반드시 이들 검사도구의 변별도를 재고하여야 할 것이다.

그러므로, 본 연구는 위에서 분석한 내용을 바탕으로 보다 진보된 방안으로서 과학영재의 특성, 특히 인지적 특성을 중심으로 다음과 같은 3단계에 걸친 과학영재의 발굴과정을 제시하고자 한다.

1) 제 1단계: 과학 학습능력, 지능지수, 그리고 과학에 대한 흥미, 호기심 및 직관력 평가
 과학영재를 선발하는 단계에서 가장 최초단계는 대부분 일선 각급 학교나 교사의 추천에 의해서 몇 배수를 선발하는 것이 일반적으로 활용되고 있다. 이는 과학영재교육 전문가의 인적·시간적 여건의 부족으로 인하여 1차적으로 과학영재로서 잠재성을 보이는 학생을 몇 배수로 선발하여 보다 체계적인 방법으로 다시 몇 차례에 걸쳐서 이들을 평가할 것이다. 제 1단계 선발에서는 주로 영재학생들의 과학 학습능력, 지능지수 그리고 이들의 과학에 대한 적성과 흥미를 중심으로 선발하게 된다. 즉, 구체적으로 각급 학교는 과학교사의 주관아래 전체 교과목의 학업성적이 상위 3%이내에 속한 학생으로서 지능지수가 130이상이 되고, 과학과 수학의 학업성적이 상위 2%이내에 속한 학생가운데 과학에 대한 적성과 흥미가 뛰어난 학생을 추천할 수 있도록 한다. 제 1단계에서는 이런 기준에 부합하는 학생들을 총 600여명 선발하게 될 것이다.

영재의 판별이 통례적으로 동일 연령집단의 상위 1-3%에 속하는 개인을 영재로 분류하고(조석희, 김양분, 1988), 과학고등학교의 학생의 선발이 학업성적의 상위 3%이내에 속하는 학생들로 확보하고 있음을 고려하여 본 연구에서도 전체 교과목 성적기준을 상위 3%이내에 드는 학생으로 한정하였다. 하지만, 본 연구에서 판별할 영재가 과학영재이기에 과학 성적은 상위 2% 이내로 한정하였고, 과학은 많은 부분에서 수학적 사고를 기초로 수행되어 짐을 가정하여 수학성적도 상위 2% 이내로 한정하였다. 그러나 현행 중학교 교수-학습이 과학 하는 과정에 매우 중요한 기능인 과학적 사고, 창의적 사고, 또는 hypothesis-testing skills에 기초한 교수-학습이라기 보다는 과학적 과정의 산물로서 과학적 지식에 대한 설명에 기초한 교수-학습이 대부분인 관계로(한종하, 1994), 전체 교과목 및 과학·수학 성적에 전적으로 의존해서 과학영재를 발굴하는 것은 그리 타당한 방법이라고 할 수 없다. 따라서 제 1단계에 제시한 학업성취도는 과학영재로서의 잠재성에 대해서 기본적으로 필요한 요건으로 고려되어야 할 것이지만, 충분한 요건으로 고려되기에는 많은 제한점이 있다. 또한 이 단계에서는 과학영재의 정의에 대해서 많은 연구들이 지능지수를 중요한 변인으로 제시하였으므로, 그리고 지능이 정보의 처리속도 능력 등에서 의미 있는 기능을 나타내므로, 본 연구에서도 과학영재의 판별을 위한 요건으로 지능지수가 130이상으로 한정하였다. 지수를 130으로 제한한 것은 지능지수에서 전체집단의 약 2.2%에 속하는 지수가 바로 130이기 때문이다. 그러나 과학이나 수학의 영재는 특정분야(예를 들면 천문학)에서는 뛰어나게 우수하더라도 일반적으로는 우수하지 않은 아동일 수 있기 때문에 Wechsler 검사 등의 일반지능검사만으로는 특정분야의 우수성을 효율적으로 판별하기 어렵다. 지능검사의 문항은 한

개인의 여러 적성과 능력을 측정하려는 것이기에 수량적인 능력이 뛰어난 사람이라도 언어 능력이 낮으면 전체적으로 낮은 점수를 받을 수 있으며, 그 반대현상도 가능하다. 또한 지능 검사는 대체로 문제를 얼마나 빨리 풀 수 있는지를 잴다. 지능검사에 포함된 문제들은 창의적 문제해결력 보다는 단순한 계산능력 내지는 기억력을 측정하려는 경향이 있다. 그러나 과학 하는 과정에서는 빠른 계산능력 보다는 아이디어의 창안이나 창안된 아이디어의 테스트를 위한 계획과정 등에 많은 시간을 할애해야 하므로, 지능지수로는 과학이나 수학의 창의성이나 사고능력을 측정하는데 많은 제약이 있음을 고려해야한다. 특히 과학영재는 자연 현상에 대한 설명을 하는 과정에서 창의적이고 논리적인 아이디어를 가지고 자신의 잠정적인 설명을 테스트하는 능력이 요구되기에, 지능지수는 과학영재의 판별에 필요한 조건은 될 수 있겠지만 충분한 요건이 되기는 어렵다 하겠다.

이 단계에서는 아울러 잠재적인 과학영재의 과학에 대한 흥미와 호기심 및 직관력도 평가하여야 할 것이다. 과학에 대한 흥미와 호기심 및 직관력은 과학담당 교사의 평정에 의해서 평가할 것이다.

따라서 제 1단계에서는 먼저, 전체 교과목의 합산 성적이 상위 3%이내이고 과학 및 수학 성적이 상위 2%인 학생들 가운데 지능지수가 130이상인 학생들을 다수 선발한 다음, 교사의 판단에 의해서 과학에 대한 관심과 흥미가 가장 높은 학생을 1차 선발자로 선정한다. 그러나 본 과학영재교육 프로그램의 수용인원을 고려해서 전체학생수 300명당 1명비율의 선발이 가능하며, 해당자가 없는 학교에서는 위에서 제시한 기준에 가장 가까운 1명을 1차 통과자로 선발할 수 있다. 단, 예외로 과학 및 수학 경시대회나 탐구올림픽 대회에서 우수한 성적을 보여준 학생은 위의 기준과는 별도로 추천할 수 있도록 해야 한다. 그래서 1차 선발자는 총 600여명(과학, 수학 및 컴퓨터 각 200여명) 정도로 한다.

2) 제 2단계: 논리적 사고 기능, 과학적 적성, 실험 수행 기능, 그리고 학력 평가.

제 1단계 발굴 과정에서는 학생들의 학업성취, 지능지수, 그리고 과학에 대한 흥미와 호기심을 사정기준으로 하여 각 분야별 200여명씩, 총 600여명을 선발하였다. 그러나 대부분의 성취도 검사는 축적된 지식을 측정하는데는 적합하지만 과학에서 필요로 하는 논리적 사고 기능이나 과학적 적성의 측정에는 간과하기 쉽다. 더군다나 학업성취도는 교사의 평정에 의존하기 때문에 수학이나 과학영재에게는 교사의 수업이 지루함으로 인하여 주의력 저하와 학습태도 불량에 의해서 예측성이 작을 수도 있을 것이다. 지능지수 역시 과학에서 요구하는 논리적 사고 기능, 과학적 적성, 그리고 실험 수행 기능, 그리고 영재들을 위한 학력

기능의 평가에 소홀할 수 있다. 따라서 제 2단계 발굴과정에서는 높은 학업성취도와 지능지수, 그리고 과학에 대한 강한 흥미를 가지고 있는 학생들을 대상으로 과학활동에 기초적으로 요구되는 논리적 사고 기능, 과학적 적성, 실험 수행 기능, 그리고 영재들을 위한 학력검사에 대해서 사정을 실시할 것이다. 사정은 이들 네 가지 특성에 관한 지필검사를 통해서 실시한다. 이 단계에서는 각 분야별로 총 100여명씩, 전체 약 300여명을 선발한다.

본 연구에서 사용되는 논리적 사고 기능 검사도구는 Rodranka et al. (1982)이 개발한 '논리적 사고력 검사(Group Assessment of Logical Thinking: GALT)를 사용한다. 논리적 사고력 검사는 Inhelder & Piaget가 제시한 보존 논리, 비례 논리, 변인 통제 논리, 확률 논리, 상관 논리, 조합 논리에 대한 평가문항들이 포함되어 있다. GALT지는 1번 문항부터 10번 문항까지는 답과 그 답을 선택한 이유를 묻는 이중 다지선다형 문항으로 구성되어 있다. 11번과 12번은 가능한 모든 경우의 수를 기재하도록 하고 있다. 각 문항마다 피험자가 문항을 정확히 이해하도록 실제 대상물의 조작 그림이 삽입되어 있다. GALT지의 내적 타당도는 Cronbach's α 는 0.85이고 각 논리별 신뢰도는 0.37에서 0.83의 범위이다. 0.58 이하의 신뢰도를 나타낸 논리는 전체 6개 논리 중 2논리이다. 문항의 난이도는 0.02에서 0.78사이이며, 평균 난이도는 0.40이다. 각 논리별 검사 및 전체 검사에 대한 GALT와 면접에 의한 성취도 사이의 상관관계에 따른 타당도 검사에서는 전체 검사의 타당도 계수가 0.71이고, 논리별 타당도 계수는 0.45에서 0.88범위이다. GALT지를 통해 논리 유형의 형성 정도는 형성, 과도기, 미형성의 세 단계로 구분된다. 각 논리의 형성 정도를 측정하는 문항은 각각 둘씩이고, 각 문항은 정답을 묻는 문제와 그 정답을 택한 이유를 묻는 문제로 되어 있다.

또한 이 단계에서의 스크린 과정은 논리적 사고기능 검사 이외에도 과학적성검사와 실험기능 검사(일반적으로 과학탐구기능검사로 지칭되고 있음), 그리고 현재 적용되고 있는 학력검사도 아울러 실시될 것이다. 그러나 이들 검사의 채택에는 반드시 타당도와 신뢰도는 물론이고 변별도도 함께 고려되어야 할 것이다. 특히 현재의 과학사고검사들과 학력검사에 대한 변별도는 반드시 보완되어야 할 것이다. 이렇게 3가지의 지필검사를 거쳐서 이 단계에서는 각 분야별로 약 100여명, 그래서 전 분야에서는 약 300여명을 선발하게 될 것이다.

3) 제 3단계: 창의적인 과학활동 수행능력 평가

위에서 언급한 제 1단계와 제 2단계는 일반적으로 과학영재나 과학고등학교의 학생선발에서 몇 가지 단계를 거쳐서 가장 많이 활용되는 영재선발과정이다. 그러나 영재의 정의에서 언급했듯이 인간의 가장 고등한 사고 기능은 일반적으로 Piaget가 논의한 형식적 조작

기능, 즉 보존, 비례, 변인통제, 확률, 상관, 그리고 조합 논리의 획득으로 완성되는 것이 아니라, 이론적 개념을 적용해서 창의적인 hypothesis-testing skills를 조작할 수 있는 능력으로 발달된다는 것이 최근의 많은 신경과학자, 교육학자, 심리학자들에 의해서 제기되어 왔다. 즉, Piaget가 인지발달과정에서 가장 상위단계라고 제시한 네 번째 단계의 형식적 조작 능력이 대략 15세 정도에서 완성되는 것이 아니라 18세 부근에서 다섯 번째 단계로 추정되는 또 다른 단계를 거쳐서 발달한다는 것이다. 또한 이 다섯 번째 단계의 특성은 바로 이론적 과학개념을 연역적 추론 또는 hypothesis-testing processes를 적용해서 미지의 자연현상을 설명하는데 사용되는 조작능력으로 특징지어질 수 있다라고 최근의 연구들은 밝혀주고 있다. 실제로 인류역사에 위대한 업적을 남긴 수많은 과학자들의 탐구활동 역시 미지의 자연현상에 대해서 설명하기 위하여 이론적 개념을 연역적 추론 또는 hypothesis-testing processes를 사용하여 탐구해 왔던 것이다. 따라서 과학영재를 선발하고자 할 때는 위에서 언급한 제 1단계와 2단계의 스크린 역시 중요하지만, 그것을 과학영재의 충분한 재능으로 판단하기는 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 과학영재의 발굴과정에서 3번째 단계의 스크린은 이들의 능력 중, 미지의 자연현상을 설명하기 위해 이론적 과학개념을 연역적 추론이나 hypothesis-testing에 적용하는 skills를 평가하는 과정이 포함되어야 함을 제기한다.

또한 자신의 연구과정과 결과를 보고서로 작성하여, 타인을 논리적으로 설득할 수 있는 논리적 논술능력 또한 과학영재의 기본 자질중의 중요한 요소로 고려되어왔다. 따라서 본 발굴과정에서는 연구결과의 논리적인 보고과정도 함께 평가되어야 할 것이다.

III. 교수·학습 내용 및 방법

1. 과학영재를 위한 교수·학습 방법

1) 과학영재를 위한 교수·학습 방법의 탐색

과학영재 교육에서 영재들의 능력수준과 독특한 학습요구에 적합한 교육프로그램을 제공하는 것은 과학영재들의 잠재력을 계발시켜주는데 가장 중요한 요소의 하나이다. 비록 과학영재들은 인지적 및 정의적 학습 특성이 매우 다양하다고 할 수 있겠지만, 다음과 같은

일반적인 특성들을 많이 표출한다(박성익, 1999).

첫째, 과학영재는 지적 탐구에 대한 호기심이 대단히 높고, 반성적 및 합리적 사고에 뛰어나며, 특히 탐구과정에서 원인, 이유, 근거, 배경, 절차 등에 대한 '왜'라는 질문을 계속하며 답변을 끈질기게 궁구한다.

둘째, 새로운 아이디어를 산출, 조직하고 평가하는 능력이 뛰어나며, 복잡한 과제의 학습을 선호한다.

셋째, 과제의 해결에서 과제의 분석력은 물론이고, 통찰력과 직관력이 뛰어나며, 개방적이고 융통성 있는 사고를 한다.

넷째, 자율적인 의사결정과 행동을 선호하며, 자기 주도적 학습활동을 전개한다.

다섯째, 과제에 대한 집착력이 대단히 높고, 학문적 자아개념이 높다.

여섯째, 책임감과 지도성이 강하고 성취동기가 높다.

박성익(1999)에 따르면, 과학영재들이 이러한 인지적/정의적 특성을 소유함으로써, 이들은 대체로 자발적/자기 주도적 학습, 도전적 학습, 사고력을 요하는 복잡한 과제 중심 학습, 참신성을 갖고 있는 과제 중심 학습, 지적 호기심을 충족시키는 학습, 탐구적이고 창의적인 학습을 선호한다고 밝혀졌다. 이러한 특성을 고려하여 박성익은 과학영재를 위한 교수·학습 모형으로서 Renzulli(1977)의 심화학습 3단계 모형, Treffinger(1975)의 자기 주도적 학습 모형, Feldhusen(1981)의 3단계 심화모형, Williams(1979)의 인지적-정의적 교수·학습 전략 모형, Taylor(1978)의 다중재능 접근모형, Kaplan(1986)의 변별적 교육과정 모형, Lark(1992)의 통합적 교육모형, Guilford(1977)와 Meeker(1986)의 지능구조모형, Osborn(1963)과 Parnes(1966)의 창의적 문제해결법, Gordon의 창조적 문제해법 등의 학습모형을 소개하였다. 따라서 본 연구에서는 이들 모형에 대한 소개보다는 본 센터의 목적과 창의적 가치창출중심 과학영재교육의 필요성(이군현, 1999)에 의거하여 본 센터가 추구해야할 과학영재교육의 교수·학습 방향을 제시하고자 한다.

2) 본 센터의 과학영재교육의 방향

Springer & Deutsch(1993)에 따르면, 인간의 두뇌는 1) 의문에 대해서 대안적 아이디어나 전략을 제시하는 과정과 2) 이렇게 제시된 아이디어를 논리적으로 수행해 나가는 과정을 상호보완적으로 수행해 나갈 때 고등한 사고능력을 발휘할 수 있다고 제시하였다. 이를 다시 말하면, 인간의 사고는 가설을 창안하는 기능(hypotheses-creating skills)과 이들 가설에 대한 검증방법을 설계해서 수행하는 기능(skills of designing test-methods and

executive skills)을 통합하여 잘 조화시켜 수행하는 통합적 사고기능인 가설검정기능(hypotheses-testing skills)이라는 사고기능이 효과적으로 수행되어야 고등한 사고기능이 효과적으로 발휘된다는 것으로 해석될 수 있다. 특히 최근의 연구에 따르면, 이러한 가설검정기능이 인간의 과학적 사고 중에서 가장 고등한 것의 하나라는 주장이 집중적으로 대두되고 있고(전우수·Lawson·권용주, in press; Adsit & London, 1997; Lawson et al., in press), 창의성 개발, 세심하고 주의 깊은 관찰력의 배양, 추상적 개념의 이해와 적용력 향상, 연역적 및 반성적 사고발달, 그리고 과학적 태도의 함양에 효과적이라는 연구결과들(Einhorn & Hogarth, 1986; Klahr & Dunbar, 1988; Klayman & Ha, 1987, 1989; Lawson et al., in press)이 보고되어 왔다. 따라서 과학영재로서 갖추어야 할 중요한 특성으로 고도의 과학적, 창의적, 그리고 연역적 사고기능이 포함된다면 가설검정기능은 과학영재의 중요한 특성으로 고려되어야 할 것이다.

이러한 가설검정기능에 대해서 Lawson et al.(in press)은 가설의 특성에 따라서 두 가지 하위기능으로 구분할 수 있다고 주장하였다. Lawson et al.에 따르면, 이들 두 가지 하위기능 가운데 보다 고등한 단계의 가설검정기능은 자연현상에 대한 관찰의 결과 일어난 의문에 대해 이론적 개념(theoretical concepts)으로 이루어진 가설을 제시하고, 이들 이론적 개념의 가설들을 반성적, 합리적, 분석적 그리고 창의적인 과정을 적용하여 검정하는 방법을 고안하여 검정을 수행할 수 있는 능력으로 정의된다고 하였다. 또한 Lawson et al.이 제시한, 이보다 낮은 단계의 가설검정기능은 구체적 개념(concrete concepts)으로 구성된 가설을 창안하고 검정하는 방법을 고안하여 수행할 수 있는 능력으로 정의된다고 하였다.

따라서, 고도의 과학적 창의성과 체계적으로 문제를 해결하는 능력을 요구하는 과학영재를 육성하기 위해서는 학습자의 인지구조를 고려하여 창의적 및 연역적 사고 발달의 중요한 기능인 가설검정기능을 학습자의 수준에 맞게 체계적이고 효과적으로 제시하여야 할 것이다. 특히, 본 센터의 과학영재 교육철학이 '고급지식의 이전' 보다는 '창의적인 힘의 개발'(황석근, 1999)에 중점을 두고 있음을 감안해 보면, 본 센터에서 제공하고자 하는 과학영재 교육의 프로그램은 창의적인 사고를 통한 고도의 과학지식 창출 기능을 함양할 수 있는 과학적 가설검정 기능의 발달에 주목을 하여야 할 것이다. 더 나아가, 이러한 과학적 가설검정 기능 중심 프로그램의 제공은 프로그램을 제공받는 학생들에게는 창의적인 사고를 통한 고도의 과학지식 창출 기능이라는 과학적 연구의 수행을 위한 고차원적 능력을 항상 시켜주면서, 아울러 본 센터로서는 다른 대학의 영재교육센터와 차별되는 독창적인 과학영재교육의 철학적 기초를 제공해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 필요성에 의거, 본 연구는 과학영재를 위한 본 센터의 효과적인 교수·학습 프로그램으로서 가설검정기능중심 교수·학습 프로그램의 모형을 개발하고, 이렇게 개발한 모형을 토대로 과학영재교육 프로그램에 직접 적용할 수 있는 프로그램의 예를 제시하고자 한다. 특히, Kwon(1996)은 이러한 가설검정기능의 발달에 효과적인 교수·학습과정인 '과학적 추론과정을 적용한 순환적 교수·학습 모형'을 제시하였고, Lawson(1995) 역시 learning cycle이라는 수업전략을 제시·활용하여 학생들의 과학적 가설검정기능의 발달을 꾀하고 있다. 이 프로그램들의 개략적인 과정은 학생들에게 '자연현상의 관찰(observing natural phenomena) → 의문의 발상(raising questions) → 대체가설의 창안(creating alternative hypotheses) → 테스트 방법 고안(designing test procedure) → 결과의 예상(predicting expected results) → 실제 결과의 수집(collecting actual results) → 예상과 실제 결과의 비교를 통한 결론 진술(Stating conclusion through comparing actual results with expected results)'의 과정을 경험하는 교수·학습 과정(c.f., Kwon, 1996)으로 구성되어 있다.

3) 과학영재를 위한 가설검정과정 중심 교수·학습 전략

가) 가설검정과정 중심 교수·학습 전략

본 연구는 과학적 가설을 검정하는 과정 중심 교수·학습 모형의 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시될 과학적 가설들의 검정 과정의 일반적 과정은 Kwon(1996), Lawson, Abraham & Renner(1989), 그리고 Lawson, Drake, Johnson, Kwon & Scarpone (in press) 이 제시한 과학적 탐구과정(Fig. 1)에 의거해서 과정 중심으로 제시하였다.

비록 <그림. 1>에 제시된 과정에 의해 이 단계에서 하나의 결론이 내려졌지만, '새로운 현상의 관찰, 가설의 창안, 테스트방법의 고안 및 수행 등의 과정이 계속 이어져서 과학의 발달이 이루어져 왔음'을 개발될 모형은 포함할 것이다.

- 단계 1: 현상 관찰 및 의문 발상 : 자연현상에 대해서 주의 깊게 관찰한 내용과 관찰결과 제기되는 의문들의 발상.
- 단계 2: 가설 창안 : 그러한 의문에 대해서 잠정적으로 제시한 설명인 가설들의 창안.
- 단계 3: 검정 방법 고안 및 예상 : 생각해낸 가설을 검정할 수 있는 방법의 고안과 그렇게 검정했을 때 발생될 결과에 대한 예측.
- 단계 4: 테스트 실시 : 고안한 방법에 따라 검정의 실제과정을 수행하고 또 수행결과 나타난 결과들의 분석.
- 단계 5: 결론 내리기 : 실제 나타난 결과와 예상결과를 비교하여 가설의 지지 또는 기각여부 결정.

그림 1. 과학적 가설검정과정의 기본 모형

나) 가설검정과정 중심 교수·학습 프로그램

Lawson et al.(in press)에 따르면, 일반적으로 Piaget에 의해서 제안된 보존논리, 비례논리, 변인통제논리, 확률논리, 상관논리, 그리고 조합논리에 의거한 과학적 사고 검사도구로는 위에서 제시한 이론적 개념의 가설검정기능을 테스트하기는 어렵다고 제안하였다. 즉, 구체적 개념에 대한 가설검정기능을 적용할 수 있는 학생이나 이론적 개념에 대한 가설검정기능을 적용할 수 있는 학생 모두 이러한 보존논리, 비례논리, 변인통제논리, 확률논리, 상관논리, 그리고 조합논리 과제를 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 이들은 모두 if . . . and . . . then . . . and/but . . . therefore의 연역적 사고를 수행할 수 있다는 것이다. 다시 말해, 전통적인 인지발달의 개념에서 보면, 이들 두 단계의 학생들은 모두 형식적 조작단계에 해당되지만, 이들의 가설검정기능은 이론적 개념 또는 구체적 개념으로 이루어진 가설의 검정 능력에 따라 두 단계로 나누어진다는 것이다. 즉, 보다 고등한 과학적 사고 기능을 소유한 학생은 이론적 개념으로 구성된 가설을 검정할 수 있는 능력을 가지고 있다는 것이다.

더 나아가, 가설검정기능의 발달 경향을 살펴보면, 일반적으로 구체적 개념으로 이루어진 가설을 검정하는 능력이 발달한 다음 이론적 개념으로 이루어진 가설을 검정하는 능력이 발달한다고 알려져 왔다(c.f., Lawson et al., in press). 따라서 과학영재들에게 효과적인 과학적 사고를 길러주기 위해서는 먼저 구체적 개념으로 이루어진 가설을 검정하는 프로그램을 제시한 후, 이론적 개념으로 이루어진 가설을 검정하는 프로그램이 제시되어야 할 것이다. 그러므로 본 연구에서 개발될 프로그램은 이러한 발달경향을 고려하여, 학생들에게 구

체적 개념으로 이루어진 가설을 검증하는 경험을 제공한 뒤, 이론적 가설을 검증하는 경험을 갖도록 개발될 것이다. 또한 본 연구에서 개발될 프로그램은 학생들이 가설을 검증하는 경험을 갖기 전에 우리가 문제상황에 부딪혔을 때 문제를 해결해 가는 과정을 경험할 수 있도록, 첫 번째 프로그램을 '학습자의 문제해결과정에 대한 인식을 위한 과제'로 구성할 것이다. 이 과제는 학습자들이 지식의 구성과정에 대해서 직접 조작을 통해서 경험하게 됨으로서, 자신의 개념구성과정이 가설검정과 동일하다는 것을 이해하여 가설검정기능을 보다 효과적으로 발달시킬 수 있도록 도와줄 것이다.

구체적으로 본 센터 과학영재를 위한 '과학적 가설 검증기능의 향상을 위한 프로그램'은 다음과 같은 주제에 대해서 이러한 가설검정기능의 발달 경향을 고려해서 개발하고자 한다.

① 학습자의 문제해결과정에 대한 인식을 위한 과제: 이 단계에서는 학습자들이 새로운 문제상황에 부딪혔을 때 어떤 과정(즉, 과학적 탐구과정)으로 해결해 가는가에 대해서 학생들이 인식할 수 있는 과제이다. 대략 2차시 정도가 소요된다. 수업재료(20명 기준): 거울(10×20 cm) 약 20개. 이동칠판 5개(이동칠판은 모든 과제에 공히 소요됨)

② 구체적 개념으로 구성된 가설을 검증하는 능력의 향상을 위한 과제 I. (진자의 주기에 영향을 주는 요인에 대한 탐구): 이 과제는 구체적 개념으로 구성된 가설로서 진자의 주기에 변화를 주는 변인을 탐구하는 과제이다. 이 과제는 학생들이 이론적 개념의 속성을 가진 가설을 검증하는 과정을 경험하기 전에 가설검정과정에 보다 친숙해지는 경험을 갖게 하는 탐구과제이다. 대략 2차시 정도 소요된다. 수업재료: 진자의 주기 모형 5개.

③ 구체적 개념으로 구성된 가설을 검증하는 능력의 향상을 위한 과제 II. (밀웜의 이동전략에 대한 탐구): 이 과제 역시 밀웜의 이동전략에 영향을 주는 변인으로서 구체적 개념으로 된 가설을 탐구하는 과제이다. 이 과제 역시 학생들이 이론적 개념의 속성을 가진 가설을 검증하는 과정을 경험하기 전에 가설검정과정에 보다 친숙해지는 경험을 갖게 하는 탐구과제이다. 대략 2차시 정도 소요된다. 수업재료: 밀웜 약 50여마리. 뚜껑을 여닫을 수 있는 검은 상자(5×5×30CM) 10개.

④ 이론적 개념으로 구성된 가설을 검증하는 능력의 향상을 위한 과제 I. (적혈구와 양파세포의 수축에 영향을 주인 요인에 대한 탐구과제): 이 과제는 적혈구와 양파세포를 소금물에 담구었을 때 수축되는 현상에 대해서 학생들이 구체적 또는 이론적 가설을 창안하고, 자신이 창안한 가설을 검증하는 과정을 경험하게 하는 과제이다. 물론 이 과제에서는 학생들 자신이 창안한 과제에 따라 스스로 검증하는 방법을 고안하게 되므로, 학생들 각자의 수준에 적합한 탐구과정이 진행되므로 수준별 교육의 효과도 함께 의도할 수 있을 것이다.

대략 4차시 정도 소요된다. 수업재료: 소혈액 약 10mg, 양과 5개, 현미경 10대, 받침 및 덮개 유리 약간, 반투막주머니 약 1롤, 요오드화칼륨 용액 약간, 증류수 약간.

⑤ 이론적 개념으로 구성된 가설을 검증하는 능력의 향상을 위한 과제 II. (촛불연소 실험에서 물이 올라오는 이유에 대한 탐구): 이 과제는 물이 담긴 수조 위에 촛불을 켜 다음 촛불 위에 집기병을 덮었을 때 촛불이 꺼지면서 물이 올라오는 현상에 대한 가설을 검증하는 것과 관련된 과제이다. 이 과제 역시 물이 올라오는 원인에 대한 이론적 속성을 가진 가설을 검증하기 위하여 학생들이 가설-연역적 과학 추론을 경험하는 것을 요구하고 있다. 예를 들면, 학생들은 집기병내부의 물이 올라온 이유가 촛불의 연소로 발생한 이산화탄소가 급속히 물에 녹아서 물에 녹은 이산화탄소의 부피만큼 압력 차가 생겨서 물이 올라온다는 가설을 제시한 다음, 이 가설을 검증하는 방법을 고안하는 탐구과정을 경험하면서 학생들은 자연스럽게 가설검정기능을 배양하게 될 것이다. 하지만 이 과제 역시 학생의 수준에 따라 창안하는 가설과 검증방법이 다양해질 것이므로, 이 역시 학생들 각자의 수준에 적합한 탐구과정이 될 것이고 또 수준별 교육의 효과도 함께 의도할 수 있을 것이다. 대략 4차시 정도 소요되리라 예상된다. 수업재료: 생일양초, 수조, 투명 유리 집기병 또는 투명 유리 맥주컵, 고무찰흙, 드라이아이스, 얼음, 주사기, 비닐호스(링거액 주사용), 성냥, 20cm 자.

다) 가설검정중심 교수·학습 과정의 예 - 촛불연소실험

〈교사용 지도자료〉

탐구주제: 촛불연소 실험에서 왜 촛불이 꺼지면서 컵속에서 물이 올라올까?

수업개요

이 탐구과제는 먼저 학생들은 물이 있는 수조에 초를 찰흙으로 고정시켜 불을 켜 다음, 그 촛불위로 실린더를 덮는다. 이때 촛불이 꺼지면서 실린더 안에서만 물의 수위가 높아지는 현상을 관찰한다. 그런 다음, 왜 그런 현상이 발생하는지에 대한 이유를 설명하는 탐구과정이 이 과제의 학습과정이다. 이 과제에서 학생들은 물이 올라오는 이유에 대한 가설을 직접 창안하고 또 그 가설을 검증하는 방법을 직접 고안해서 테스트한 후 결론을 내리는 과정으로 전개된다. 예를 들면, 학생들은 집기병내부의 물이 올라온 이유가 촛불의 연소로 발생한 이산화탄소가 급속히 물에 녹아서 물에 녹은 이산화탄소의 부피만큼 압력차가 생겨서

물이 올라온다는 가설을 제시한 다음, 이 가설을 검증하는 방법을 고안하는 탐구과정을 경험하면서 학생들은 자연스럽게 가설검정기능을 배양하게 될 것이다. 하지만 이 과제 역시 학생의 수준에 따라 창안하는 가설과 검증방법이 다양해질 것이므로, 이 역시 학생들 각자의 수준에 적합한 탐구과정이 될 것이고 또 수준별 교육의 효과도 함께 의도할 수 있을 것이다. 여기서 교사는 탐구과정의 주도자가 아닌, 단지 안내자의 역할로서 학생들이 직접 탐구활동을 수행하도록 도와준다.

수업시수: 대략 4차시 정도 예상.

수업재료: 생일양초, 수조, 투명 유리 집기병 또는 투명 유리 맥주컵, 고무찰흙, 드라이아이스, 얼음, 주사기, 비닐호스(링거액 주사용), 성냥, 20cm 자.

교사를 위한 배경지식

연소되고 있는 초는 작은 찰흙조각을 이용해서 물이 담겨있는 수조에 세워서 고정시킬 수 있다. 촛불위로 실린더를 거꾸로 덮어 실린더의 입구가 물에 잠기도록 덮으며, 잠시 후 촛불이 점점 적어지면서 꺼지고 동시에 실린더 안으로 물이 올라온다. 이들 현상을 관찰했을 때, 일반적으로 다음과 같은 두 가지 의문이 일어난다: 1) 왜 촛불이 꺼졌을까? 와 2) 왜 물이 올라왔을까? 처음 의문에 대해 일반적으로 받아들여지는 설명은 실린더 안의 산소가 연소되어 이산화탄소로 변환되었고, 그로 인해 실린더 안은 산소가 부족하게 되었고, 산소의 부족은 다시 연소작용이 일어날 수 없게 하므로 촛불이 꺼지는 현상을 일으켰다는 것이다.

두 번째 질문에 대해서 일반적으로 받아들여지는 설명은 운동에너지가 불꽃으로부터 실린더 안에 있는 공기분자들에게로 전이되었고, 커져진 운동에너지는 공기를 팽창시켜, 촛불이 타고 있을 때 촛불주위의 공기분자의 수를 촛불이 없을 때의 공기분자의 수보다 훨씬 적게 만들었다. 그런 가운데, 실린더가 거꾸로 덮어져 실린더 안이 밀폐되고, 촛불이 꺼졌을 때, 실린더 안에 남아있는 공기분자들은 그들의 일부 운동에너지를 실린더 용기로 전이하고, 다시 실린더 용기는 주변의 공기로 운동에너지를 전이한다. 이것이 공기분자들의 평균 운동속도와 충돌을 적게 하고, 이것은 다시 공기압력의 감소 또는 부분적 진공상태를 야기한다. 그런 다음, '실린더 밖의 물 표면을 누르는 대기압의 크기'와 '실린더 안에서 물을 누르는 실린더 안의 공기압의 크기'가 같아져 평형을 이룰 때까지 이들 부분적 진공은 실린더

안에서 올라오는 물로 대치된다.

이 탐구과정은 왜 물이 올라오는데 대해서 학생들이 창안한 최초의 가설이 실험적으로 부적절한 설명이라는 것을 보여줄 수 있고, 그러므로 기각되고 새로운 것에 의해서 대치되어야 하기 때문에, 특별히 가설을 창안하고 테스트하는 과정으로서의 과학의 본성을 소개하는데 아주 적절한 주제이다. 학생들의 처음가설은 대개 산소가 '고갈'되어서, 부분적 진공이 생겨나고, 이것은 다시 실린더 안으로 물을 '빨아들인다'라는 것이다. 그들은 산소가 '연소' 되었을 때, 이것은 탄소와 결합하여 같은 부피의 공기를 다시 생산한다는 것을 인식하지 못한다 (그러므로 이 때문에 부분적 진공이 생겨나지 않음). 학생들은 또한 진공이 '빨아들이는' 현상을 일으킨다라고 인식하고 있다. 그러나, 물을 올라오게 만드는 힘은 실린더 안에서 단위부피당 공기분자수가 밖의 공기분자 수보다 적은 수이기 때문에, 다시 말하면 밖의 물 표면을 때리는 공기분자의 수가 안의 물 표면을 때리는 공기분자의 수보다 많기 때문에, 즉 누르는 힘이 크기 때문에 실린더 안의 물이 밀려서 올라가는 현상이 나타나는 것이다.

이 탐구과정에서 경험하는 실험과 토의가 연소와 공기압에 대한 보다 만족할 만한 설명 과정을 통해서 그리고 자연을 기술하고 설명하는데 지적으로 보다 자극적이고 도전적인 방법으로 과학을 탐구하므로 위에서 제시된 일반적 오개념을 효과적으로 교정하는 기회를 경험하게 할 수 있다.

다음에 열거된 '분자의 운동에너지 이론'의 원리들은 이 탐구과정에서 소개된 물이 왜 올라오는지 설명하는데 사용될 수 있다.

① 물질은 작은 입자들(원자들과 원자들이 결합된 분자들)과 양자라고 불리는 보다 작은 입자로 구성된 빛으로 구성되어 있다.

② 원자와 분자들은 부단하게 움직인다. 그들은 다른 원자나 분자들을 때리면서 그들이 가진 운동에너지의 일부나 전부는 이들 다른 원자나 분자들에게 전이된다.

③ 불꽃과 같은 에너지원은 급속하게 움직이는 입자들(원자들, 분자들, 양자들)로 구성되어 있는데, 이들 입자들은 주위에 있는 다른 입자들과의 충돌을 통해서 그들의 운동에너지의 일부를 전이할 수 있다.

④ 원자와 분자들 사이의 인력은 깨어질 수 있는데, 이것은 원자와 분자가 개별적으로 운동하게 하는 원인이 되고, 개별적인 운동은 다시 충돌을 일으키고 운동에너지의 전이를 일으킬 수 있다.

⑤ 원자들이 서로서로 대리면서 원자들 사이에 분자결합이 형성된다.

⑥ 온도는 고체, 액체, 또는 기체에 있는 원자나 분자들의 운동량을 측정해서 정량화한

것이다. 즉, 운동량이 크면, 온도도 높다.

⑦ 공기압이라는 용어는 공기의 입자들이 표면에 충돌했을 때 가해지는 힘을 의미한다. 따라서, 많은 수의 입자들이 보다 높은 속도를 가진다면 공기압은 커진다고 할 수 있다.

교수 · 학습과정의 전개

초 대

이 탐구활동에서 제시되는 현상은 학생들을 탐구활동으로 초대하기 위한 좋은 주제로서, 어떤 현상이 일어나는가를 관찰하라고 하면 된다. 그리고 학생들에게 일어난 현상에 대한 설명으로서 여러 가지 가설을 창안하게도 해보고 또 자신의 가설들을 테스트할 테스트방법을 고안해보는 경험도 갖도록 한다.

탐색활동 단계

① 탐색활동 단계에서는 학생들에게 '자연현상의 관찰(observing natural phenomena) → 의문의 발상(raising questions) → 대체가설의 창안(creating alternative hypotheses) → 테스트 방법 고안(designing test procedure) → 결과의 예상 (predicting expected results) → 실제 결과의 수집(collecting actual results) 과 같은 과정을 경험하게 한다. 즉, 수업을 시작하면서, 그냥 자연스럽게, 학생들에게 준비된 실험재료를 마음대로 사용하여 다양한 실험을 수행해 보라고 한다. 그런 다음 그렇게 변인을 다양하게 했을 때 어떤 현상이 일어나는지를 관찰하게 한다. 그리고는 의문을 발상하고, 의문에 대한 가설을 창안하게 한다. 학생들이 빈번하게 창안하는 가설들을 몇 가지 제시해 보면 다음과 같다.

- a. 촛불이 연소할 때 물(H₂O)이 생성되어 이물 때문에 컵 속에서 물이 올라온 것처럼 보여진다.
- b. 촛불이 연소할 때 물이 생성된 다음, 이것이 차가워져서 응결되면서 컵 속에서 수증기, 즉 물, 이 차지하고 있던 부피만큼의 빈 공간이 컵 속의 압력을 낮추면서 물을 위로 올라오게 만든다.
- c. 산소가 타고난 다음 그 빈 공간을 물이 채우려고 물이 올라온다.
- d. 촛불이 연소하면서 산소(O₂)를 소모하고, 이것은 다시 같은 부피만큼의 이산화탄소

(CO₂)를 생성해 낸다. 이 이산화탄소는 다시 물에 녹음으로서 이산화탄소가 물에 녹은 부피만큼 컵 속에 빈 공간이 생기고 빈 공간은 압력을 낮추므로 물이 올라오게 만든다

② 그런 다음, 가설이 맞는 것인지 아닌지를 결정하기 위해 테스트방법을 고안하도록 한다. 예를 들어 '촛불이 물의 온도를 높여서 물이 팽창하므로 물이 올라온다'라는 가설에 대해서 테스트하는 방법으로는 실린더에 사용하는 물을 끓는물과 찬물을 각각 사용하는 것이 실험방법의 한 예가 될 수 있겠다.

③ 실험방법을 고안한 후 우리는 그렇게 실험했을 때 만약 가설이 지지되자면 어떤 결과가 일어나야 하는지를 예상할 수 있다. 즉, 가설이 맞자면 수행할 실험 후에 어떤 결과가 일어날것인지 예상하고, 또 그 예상결과가 있어야만 나중에 실제결과와 비교해서 가설이 지지되는지 기각되는지를 결정할 수 있다. 예를 들면 가설의 예에서는 가설이 맞자면 끓는물을 사용했을 때가 찬물을 사용했을 때보다 훨씬 많은 물이 올라와야 한다는 것이 예상의 한 예이다. 이 과정은 실험방법고안 시간에 함께 수행하라고 하면 된다.

④ 계획한 방법대로 학생들에게 직접 실험을 수행하라고 한 후, 수행 후에 관찰되는 실제 결과를 기록하게 한다.

용어도입 단계

⑤ 위와 같은 방법으로 여러 가지 가설들에 대한 테스트결과를 가지고 토론을 실시한다. 그러면서 이 단계에서 교사는 학생들이 탐색하여 이미 그들의 사고체계 속에 의문에 대한 설명으로 이해된 의미에 대해서 적절한 용어를 제안해 준다. 그러나 이 용어도입 단계는 교사가 학생들에게 일방적으로 전달하는 용어의 '강의' 단계가 아니라, 학생들이 탐구를 통해서 알아낸 내용에 대해 교사가 학생과 함께 레이블링(labeling)하는 단계라는 것을 인식해야 한다.

개념적용 및 확장 단계

⑥ 학생의 인지구조에 자리잡은 개념은 아직까지 학생의 인지구조 속에서 완전히 학생의 개념으로 정착되기 위해서는 유사한 상황에도 이 개념을 적용할 수 있는 능력이 길러져야 한다. 따라서 학생들의 분자의 운동에너지와 공기압력에 대한 개념을 보다 효과적으로 정착

시키기 위해서 다음에 제시된 몇 가지 활동들 중의 일부 또는 전부를 상황에 따라 소개하고 해결하는 과정을 가지는 것이 바람직하다.

⑦ 각 그룹에 약간의 고무관, 주사기, 비커, 그리고 물을 적당히 담은 수조를 제공하고 분자의 운동에너지와 공기압력에 대한 개념을 새로운 상황에 적용하는 경험을 갖게 한다. 물이 약간 담긴 수조에 비커를 거꾸로 덮어서 비커의 입구가 물에 잠기도록 한 후, 이 비커를 똑바로 세우지 말고 그 상태에서 비커 안에 물이 가득 찰 수 있도록 하게 한다. 일부학생들은 고무관을 통해서 비커 안의 공기를 제거하는 발견을 하기 전에 여러 가지 비효과적인 노력을 들이는 경우도 있을 것이다. 이 과제에서 학생이 정확하게 공기의 압력이나 공기의 분자운동 에너지에 대한 개념을 가지고 있으면 쉽게 이 개념을 적용하여 과제를 해결할 수 있을 것이다.

⑧ 또한 과제로서 껍질을 깬 삶은 계란을 그 계란의 둘레보다 입구가 약간 적은 삼각 플라스크에 손으로 밀어 넣는 것 없이 집어넣으려면 어떻게 하면 될까 라는 과제를 내어줄 수도 있다. 여기서 기압이나 공기분자의 운동에너지에 대한 정확한 개념을 가진 학생은 이러한 과제를 수행하는데 공기압력의 개념을 적용해서 수행할 수 있을 것이다.

⑨ 추론적 사고기능의 적용은 이러한 몇 가지 탐구에서 일어나는 현상에 대한 가설을 창안하고 테스트하는 것들을 포함하게 된다.

과학 용어들

공기압

분자의 운동에너지

연소

운동에너지

가설검정기능

자연을 정확하게 기술하기

인과적 의문을 진술하기

대체가설들을 창안하기

논리적 예상을 창안하기

테스트를 고안하고 수행하기
데이터를 조직하고 분석하기
결론을 끌어내고 적용하기

평가

과학적 탐구활동은 관찰된 현상에 대해서 의문들을 가지며, 그 의문들에 대해서 가설들을 창안하고, 그 가설들을 테스트하는 방법을 고안하고, 예상을 만들며, 데이터를 수집하고 분석하여, 결론을 이끌어 내는 활동이다. 여기서 밑줄 친 용어들은 일반적으로 다음과 같이 정의될 수 있다.

<보기>

- A. 가 설: 앞으로 테스트되어질, 의문에 대한 잠정적인 설명
- B. 테스트: 가설이 지지되는지 기각되는지에 대해서 결정하는 활동
- C. 예 상: 고안한 테스트 활동의 결과 예견되는 결과들의 진술
- D. 데이터: 테스트활동 후에 관찰되어진 결과
- E. 결 론: 테스트된 가설이 지지되었는지 기각되었는지를 밝혀놓은 진술

<문항>

다음 문장에서 1번에서 10번까지 밑줄 친 문장으로 표현한 것에 대해서 위에서 기술한 5가지 Key들 중의 하나에 해당된다. 해당되는 Key를 고르시오.

불이 타고있는 촛불 위에 실린더를 덮었더니 촛불이 꺼지면서 실린더내부에서 물이 올라왔다. 왜 촛불이 꺼지고 왜 물이 올라왔을까? 이 의문에 대해서 나는 다음과 같이 생각했다: (1) 촛불이 산소를 태워서 물이 올라왔다. (2) 촛불이 꺼진 것은 산소가 연소되어 고갈되었기 때문에 꺼졌다. 만약 물이 올라온 이유가 산소가 없어져서 올라왔다면, (3) 촛불을 1개 사용했을 때와 3개 사용했을 때에 (4) 실린더 내부에서 올라오는 물의 높이는 같은 높이로 될 것이다. 실린더 안의 산소의 양은 같은 양이기 때문에, 보다 많은 수의 촛불이 한 개의 촛불보다 산소를 빨리 소모할 수는 있어도, 한 개의 촛불이 소모하는 산소의 양보다 훨씬더 많은 양을 소모하지는 못한다. 그런 다음, 나는 (5) 보다 많은 촛불을 사용했더니 물이 훨씬 높ی 올라온 것을 관찰했으므로, (6) 내 설명은 틀렸다 라고 할 수 있다.

수연이는 그런 다음, 물이 올라 온 이유는 (7) 촛불이 타고 있을 때 공기가 가열되어 팽창 되어서 많은 수의 공기분자들이 실린더 바닥을 통해서 달아나서 그랬다고 설명했다. 그녀는 이어서 (8) 많은 수의 촛불은 보다 많은 열을 내므로 보다 많은 수의 공기들이 달아날 것이므로 실린더 내부의 물의 높이가 높아질 것이다 라고 설명했다. 실험을 했더니 (9) 실린더 바닥으로부터 공기방울이 빠져나가는 것을 관찰할 수 없었으므로, (10) 나는 수연이의 아이디어도 아마 틀렸다고 생각했다.

〈학생용 실험서〉

탐구주제: 촛불연소 실험에서 왜 촛불이 꺼지면서 컵속에서 물이 올라올까?

개 요

빨대로 우유나 음료수를 빨아 마셔 본적이 있는가? 그랬다면, 우유나 음료수가 빨대를 통해서 올라올 때, 도대체 무엇이 우유가 빨대를 통해서 올라오게 하였는지에 대해서 생각해 본적이 있는가? 이번 탐구활동에서는 물을 담은 수조에 찰흙으로 생일양초를 세워서 고정시킨 후 불을 붙인 다음, 실린더를 입구가 수조바닥에 닿을 때까지 거꾸로 덮었을 때, 물이 올라오는 이유에 대한 가설을 창안하고 그 가설을 테스트하는 경험을 갖는 활동이다. 만약 이것을 해결하게 된다면 우리는 우유를 빨 때, 우유가 빨대를 통해 올라오는 이유를 설명할 수 있을 것이다.

목 표

- ① 물이 담긴 수조에 세워놓은 촛불위로 실린더를 거꾸로 덮어 입구를 수조바닥에 닿도록 하였을 때, 촛불이 꺼지면서 물이 올라오는 이유를 설명하는 가설을 창안하고 그 가설을 테스트하기 위하여
- ② 이 현상에 내포되어 있는 물리적·화학적 원리들을 보다 잘 이해하기 위하여
- ③ 이 원리들을 우유가 빨대를 통해 올라오는 현상 등의 관련되는 현상을 설명하는데 적용하기 위하여

실험재료

생일양초, 성냥, 고무찰흙, 대형양초, 실린더 (또는 맥주컵), 수조, 비커나 시험관, 주사기, 고무호스, 드라이아이스, 풍선, pH paper.

실험과정

① 팀을 구성하여 동료들과 함께 수조에 적당량 물을 담는다. 수조바닥에 찰흙을 고정하여 이 찰흙 위에 생일양초를 세운다. 성냥을 이용하여 촛불을 켜 다음, 타고있는 촛불 위에 실린더나 비커를 입구가 수조바닥에 닿도록 거꾸로 해서 덮는다. 어떤 현상들이 일어나는지 상세히 관찰하자.

② 다양한 결과가 관찰될 수 있도록 독립변인을 다양하게 하여 과정 1을 여러 번 반복해서 실시한 다음 상세히 관찰하자.

③ 관찰한 내용에서 일어나는 기술적 또는 인과적 의문들을 나열해 보시오.

④ 팀 동료들과 함께 다음의 인과적 의문에 대해서 설명할 있는 가설을 있는 대로 창안해 보시오: 왜 실린더 안에서 물이 올라왔을까?

⑤ 이 가설들을 테스트할 수 있는 테스트과정을 고안하고 수행하시오. 테스트과정, 예상 결과, 실제결과를 기록하시오.

테스트될 가설	예상결과	실제결과
---------	------	------

⑥ 어떤 가설(들)이 지지되었으며, 어떤 것(들)이 기각되었나요?

생각해볼 문제

① 분자수준에서 뜨거운 물과 차가운 물의 차이는 무엇인가요?

② “빨다”라는 표현을 사용하지 않고, 촛불 위에 실린더를 덮었을 때 실린더 안에 물이 올라오는 이유를 설명하시오.

③ “빨다”라는 표현을 사용하지 않고, 어떻게 우리가 빨대를 통해 음료수를 입안으로 옮기는지에 대해서 설명하시오.

④ 이 실험에서 얻어낸 어떤 증거들이 '실린더 안에서 물이 올라오는 이유는 실린더내부의 산소가 연소되어 없어진 자리를 채우기 위해서 올라온다'라는 가설을 지지하는 증거들인가요?

⑤ 문제 4에서 얻은 것과는 달리 어떤 증거들이 '실린더 안에서 물이 올라오는 이유는 실린더내부의 산소분자가 불꽃에 의해 연소되어 생겨난 진공을 채우기 위해서 올라온다'라는 가설을 기각하는 증거들인가요?

⑥ 매우 더운 날 긴 여행을 떠날 때, 자동차 타이어의 공기압을 타이어회사에서 제시한 최대치보다 약간 낮은 공기압으로 하는 것이 왜 좋은 생각인지를 설명해 보시오.

⑦ 어떻게 보온병이 따뜻한 것은 따뜻하게, 차가운 것은 차갑게 유지하는지를 설명해 보시오.

2. 과학영재교육을 위한 교육내용의 선정 및 조직안

과학영재들에 대한 교수·학습은 과학영재들의 특성에 맞게 교육되어야 한다. 따라서 본 센터에서 과학영재들에게 효과적으로 적용할 수 있는 교수·학습은 위에서 제시한 가설검정과정 중심 교수·학습 전략을 토대로 다음과 같은 교육내용을 제공한다면 과학영재들의 특성을 효율적으로 계발할 수 있을 것으로 기대된다.

1) 과학사적 탐구활동

과학사적 탐구활동은 주요한 과학적 아이디어에 대한 역사적인 변천과정을 탐색하여 그 설명을 찾는 활동 과정으로서, 과학영재들에게 발산적 사고과정을 경험케 한다. 특히 다양한 과학사적 현상(예를 들면, 낙하운동, 천체의 운동, 생물의 발생, 산소의 발견, 대륙의 이동 등) 및 과학문화 탐방에 대한 탐구활동은 가설 연역적 과정의 문제발견, 가설설정, 실험설계, 결과수집, 결론진술 등의 과학적 탐구과정에 대한 기능의 발달은 물론이고 과학적 사고의 변천과정도 함께 경험하므로, 과학영재의 과학적 과정 경험과 과학적 지식획득에 좋은 소재가 될 수 있다. 더 나아가 이러한 탐구활동은 학생 스스로가 창의적으로 문제를 발견하고 생각할 수 있도록 계획할 수 있으므로, 과학영재들이 과학적 활동을 창의적으로 수행하는 능력의 발달에 효과적인 교육내용이 될 수 있다.

2) 프로젝트 수행

프로젝트의 수행의 목적은 학생들에게 가설 검증기능을 향상시키는데 가장 큰 목적이 있다. 이러한 능력의 배양을 위한 효과적인 교수·학습 형태는 조별 탐구활동을 통해서 프로젝트를 실시하도록 하는 것이다. 조별 탐구 활동은 학생들의 흥미와 새로운 내용을 중심으로 탐구 주제를 제시하고 이 주제에 대한 적절한 탐구 질문, 실험 자료, 자료조사 및 계획, 탐구과정 및 방법, 결과의 해석 및 결론 도출 등 일련의 과정을 통하여 학생 스스로 문제해결을 가능케 한다. 따라서 이러한 조별 탐구활동을 통한 프로젝트 수행을 위해서는 각 조별 담당교수가 탐구활동과 관련된 내용에 대한 개괄적인 설명만 해 줄 뿐 일체의 프로젝트 활동은 학생 스스로 해결할 수 있도록 한다. 프로젝트 수행의 과정에는 먼저 탐구 주제를 설정하고, 주제에 대한 가설을 설정하며, 문제해결을 위한 실험의 설계, 실험 과정 방법, 자료의 해석 및 결론의 도출 과정 등이 포함된다. 가설의 진술에는 효과를 변인에 관련시키고, 효과의 지향성, 예상되는 변화, 독립변인, 종속변인 등을 종합하여 진술하여야 한다. 연구절차는 실행가능한 문제의 해결, 구체화된 계획, 일반적 전략, 안전한 절차 및 준비된 장비나 도표의 사용 등의 방법으로 진행되어야 한다. 또한 관찰 및 자료에 대한 해석 및 조직화는 학생 개개인이 직접 자료를 측정하고 예상되는 결과의 예측 및 계열화 할 수 있도록 수행되어야 한다.

3) 야외과학 탐사

영재들의 과학적 욕구와 호기심의 충족을 위해서는 자연 현상의 다양성을 접하게 하는 것이 그 무엇보다도 중요하다. 따라서 많은 창의성과 발산적 사고의 생산처가 이러한 자연 현상의 탐구에서 출발되기 때문에 일반 학교에서 수행하기 힘든 야외관찰탐사를 교육과정에 반드시 삽입시킬 필요성이 있다. 이러한 교육과정이 실행될 경우 야외 관찰 탐사 학습에 필요한 교수·학습 자료가 별도로 계획되어야 한다. 따라서 이러한 학습과정을 통하여 영재 교육에서 중요시 되고있는 가설검증능력, 실험 설계능력, 탐구방법, 보고서 작성법 및 결과 종합 분석 등의 다양한 능력을 배양 할 수 있을 것이다.

4) 첨단과학 및 고급 과학실험의 경험

영재학생들의 교육활동에 대한 선호도 조사(박건식, 1999) 자료에 의하면 과학학습에 가장 큰 도움이 된 것이 첨단과학의 강의란 응답(44%)이 가장 많이 나타났으며, 고급실험실 참관을 함으로서 얻은 것은 과학연구에 대한 흥미와 과학연구가 어떤 것인지를 알게되었다

는 응답이 전체의 93%로 나타났다. 이러한 결과는 영재학생들이 첨단과학에 대한 관심과 경험을 하기를 매우 희망하고있다는 것을 대변해 주고 있다. 따라서 영재교육의 교육과정에 첨단과학의 탐방과 고급실험실의 견학 과정이 반드시 삽입되어야할 필요성이 있다.

5) 오개념의 교정

지금까지 편견 없는 관찰과 통제된 실험의 탐구방법이 강조되어 왔지만 자연현상에서 사건이 일어날 때 우리가 보는 것은 주로 이 사건을 해석하기 위해 우리가 사용하는 개념의 기능이라는 사실을 간과해 왔다고 지적하여 경험론적 사고를 탈피한 구성주의적 견해를 기초로 개념학습의 중요성을 강조해 오고 있다. 이것은 교사가 올바른 개념을 가르치기만 하면 학생들이 그 개념을 이해할 것이라는 생각에 반하여 학생들이 이미 가지고 있는 지식과 앞으로 배울 지식 사이의 상호작용에 의하여 학습이 이루어진다는 것이다. 이러한 연유로 학생들의 오인이 자신만의 체계를 가지고 있으며 쉽게 변화되지 않으며, 오인을 교정하기 위해서는 특별한 노력이 제공되어야 한다. 이러한 사실은 영재아들에게도 여과 없이 적용되기 때문에 영재교육에서 반드시 다루어야 할 필요성이 있다. 따라서 학생들이 흔히 가지기 쉬운 오개념을 선정해서 학생들에게 제시함으로써 과학 개념에 대한 올바른 지식 뿐 아니라 접근방법을 훈련할 필요가 있다. 이러한 교육을 위하여 영재의 교육과정에 오개념 교정 과정이 필요하다.

IV. 결론 및 제언

현대사회는 그 어느 때보다도 국가경쟁력과 사회발전에 기여할 수 있는 영재들의 양성이 시급히 요청된다. 그러나 영재들은 일반학교에서 감당할 수 없는 인지적-정의적 특성을 지닌다. 따라서 영재들에게 이러한 특성을 고려한 학습환경을 제공하는 것이 영재 개인의 발전뿐만 아니라 국가의 발전에도 중요하다. 본 연구에서는 경북대학교과학영재센터에서 보다 효율적으로 영재를 발굴하고 교육하기 위한 방안을 제시하고자 하였다. 본 연구에서는 먼저, 과학영재의 가장 큰 특성의 하나인 창의성에 대한 잠재성이 풍부한 영재를 선발하는 한 방안을 제시하였으며, 이러한 창의성을 계발하는 전략으로서 과학적 가설검정중심 교수·학습 방법을 제시하였다. 또한 영재들의 잠재성 계발에 효과적인 교수·학습 내용도 제

시하였으며, 이러한 과학영재교육의 효율적 지원을 위한 행정지원체제의 구성 및 연구활동 방안도 아울러 제시하였다. 특히 본 센터가 추진해야할 주요한 과제로서는 국내 여타 과학영재교육센터와의 차별성을 가지는 것이며, 경북대학교 과학영재교육센터만이 추구하는 과학영재교육의 특징을 가지도록 하는 것이다. 이를 위해서 특징적인 교육과정의 개발과 평가 방법을 연구·개발하여야 할 것이며, 아울러 국제 수학 및 과학올림피아드의 적극적인 참여와 과학영재교육 연구 결과의 논문화를 추진하여야 할 것이다. 그 외 지원체제의 효율적 운용을 위하여 조직체계의 활성화, 전국규모의 심포지엄 및 세미나 개최, 국제 협력 연구 추진, 강사요원 교육과정 개설, 사이버센터 운영 및 연구활동 등에 대한 연구비의 투자 노력이 필요하다.

참 고 문 헌

- 과학재단소식(1999). 과학영재센터를 찾아서, 인천대학교 과학영재교육센터, 과학재단소식, 156호, 35-36.
- 박성익 (1999). 영재의 선별과 교수-학습 방법. 과학영재교육 세미나 자료집. 서울대학교 과학영재교육센터, 15-47.
- 박건식 (1999). 서울대 영재센터 물리반의 운영현황. 과학영재교육 세미나 자료집. 서울대학교 과학영재교육센터, 57-92.
- 박윤배 (1999). 영재교육센터의 교육과정. 제1회 경북대학교 과학영재교육센터 감사세미나 자료집. 경북대학교 과학영재교육센터.
- 전우수 · Anton E. Lawson · 권용주 (1999). 한국과 미국 대학생들의 과학적 추론 능력에 대한 비교 연구. 한국과학교육학회지, 19(1).
- 조석희 (1990). 중학교 영재를 위한 과학과 심화학습 프로그램 개발연구. 한국교육개발원.
- Adsit, D.J., & London, M. (1997). Effects of hypothesis generation on hypothesis testing in rule-discovery tasks. *Journal of General Psychology*, 124(1), 19-35.
- Einhorn, H.J., & Hogarth, R.M. (1986). Judging probable cause. *Psychological Bulletin*, 99, 3-19.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Klayman, J., & Ha, Y-M. (1987). Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, 94, 211-228.
- Klayman, J., & Ha, Y-M. (1989). Hypothesis testing in rule discovery: Strategy, Structure, and content. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 596-604.
- Kwon, Y. (1997). *Linking Prefrontal Lobe Functions with Reasoning and Conceptual Change*. Unpublished Doctoral Dissertation. Tempe, AZ: Arizona State University.
- Kwon, Y. (May, 1996). *A Teaching Model Applying Scientific Reasoning Process: Teacher's Guide-Candle Burning Experiment*. Unpublished Paper.

- Tempe, AZ: Arizona State University.
- Lawson, A.E. (1995). *Science Teaching and the Development of Thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lawson, A.E., Abraham, M.R. & Renner, J.W. (1989). *A Theory of Instruction: Using the Learning Cycle to Teach Science Concepts and Thinking Skills*. Cincinnati: OH: National Association for Research in Science Teaching.
- Lawson, A.E., Drake, N., Johnson, J., Kwon, Y. & Scarpone, C. (in press). The development of hypothesis-testing skills: What happens in college? *The American Biology Teacher*.
- Springer, S.P., & Deutsch, G. (1993). *Left Brain, Right Brain (4th Ed.)*. New York: W. H. Freeman And Company.
- Renzulli, J.S. (1977). *The Enrichment Triad Model: A Guide for Developing Defensible Program for the Gifted and Talented*. Creative Learning Press.
- Gordon, W.J.J. (1971). *Synectics*. New York: Collier Books.
- Guilford, J.P. (1967). *The Nature of Intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Meeker, M.N., & Meeker, R. (1966). The SOI system for gifted education. In J.S. Renzulli (Ed.), *Systems and models for developing programmes for the gifted and talented*. Creative Learning Press.
- Maker, C.J.(1982). *Teaching models in education for the gifted*. London: Aspen System Corporation.

A Study for Advancing the Educational System of the Science Education Center for Gifted Youth

Won-Woo Chung (Kyungpook National University)

Yong-Ju Kwon (Pohang University of Science and Technology)

Suk-Geun Hwang (Kyungpook National University)

<Abstract>

The purpose of this study was to suggest an advanced system for educating scientifically gifted children in the Center for Science Talented Education at Kyungpook National University. Several suggestions based on analysis of current identifying-process and instructional materials for scientifically gifted children were provided for advancing the educational system of the center. First, this study suggested a three-step procedure to identify scientifically gifted children from junior high school student pool. Further, this identifying procedure emphasized student's reasoning skills as one of important characteristics of the gifted child. Second, this study provided an instructional model for developing hypothesis testing skills in scientifically gifted children. The model was originally based on Lawson's scientific reasoning processes and learning cycle mode. Third, this study also suggested an effective administration system of the Center for Science Talented Education. Further, this study suggested effective ways on research works for advancing the center, educating instructors, the cyber center for remote education, and international co-works for developing the gifted children's potential abilities.