

英才教育研究
Journal of Gifted/Talented Education
2004. Vol 14. No 1, pp. 65-89

과학적 창의성과 과학영재교육의 방향

서혜애 (한국교육개발원)

요약

과학교육은 학생들의 과학적 태도, 탐구능력, 문제 해결력 등을 함양하여 21세기의 격변하는 사회에 적응할 수 있도록, 과학적 소양을 갖춘 창의적 인적자원의 기반을 마련해야 하는 시점에 도달했다고 볼 수 있다. 이에 본 논문에서는 과학교육 목표에서 제시된 과학적 창의성과 과학적 소양을 논의하고 21세기 현대 과학의 특징을 고찰한 후, 미래 첨단과학기술 사회 발전의 핵심이 되는 과학적 창의성을 신장시키는 과학영재교육의 방향을 제안하고자 했다. 논의한 바와 같이 과학적 소양에 기반을 과학적 창의성을 추구하는 과학교육의 방향은, 첫째, 과학기술의 내용을 도입하며, 둘째, 통합적 과학 개념을 도입하고, 셋째, 개인·사회적 관점을 강조하고 넷째, 사회 문제 해결 중심의 탐구과정을 강조한다. 특히 과학영재교육을 통해 강조해야 할 탁월한 과학적 창의성은 첫째, 구체화된 자료를 전체적 관점에서 상상력을 적용하여 해석하고, 둘째, 과학적 과정에 예술적 관점을 적용하며, 셋째, 직관적 관점에서 과학의 현상을 해석하고 넷째, 개인적 만족감을 추구하는 데서 발휘된다. 과학수업에서 학생들이 이상과 같은 요소들을 경험할 수 있을 때 과학적 창의성 신장 과학교육과 과학영재교육이 실현된다고 볼 수 있다.

주요어: 과학영재교육, 과학적 창의성, 과학적 소양

I. 서론

지난 20세기 우리나라 학교 과학교육은 여러 변화를 거쳤다. 1954년 제1차 교육과정에서 학교교육의 체제와 기틀을 마련했고, 1963년 제2차 교육과정에서는 국가의 과학기술 발전의 기반을 구축하려는 의도에서 과학교육의 기초지식을 강화했다. 1973년 제3차 교육과정에서는 과학자 양성의 기초를 마련하는 학문·탐구중심 과학교육으로 이어졌으며, 학문중심의 어려운 내용으로 인해 1981년 제4차에서는 과학의 학문성과 아울러 실용성을 강조했다. 1987년 제5차 교육과정은 전 세계적으로 확산되었던 과학·기술·사회(Science, Technology, and Society: STS)교육 사조의 영향으로 실용성을 더욱 강조했다. 1992년 제6차 교육과정은 시대적 변화에 대처하는 문제 해결과 일상생활에 필요한 과학지식을 중심으로 개정되었다. 2000년부터 실행되고 있는 제7차 교육과정은 21세기의 미래사회를 대비하여 자기 주도적으로 가치를 창조할 수 있는 인간을 형성하는 데 기본 목적을 두고, 탐구중심, 실생활 중심으로 학습자 주도적인 학습을 강조하고 있다. 제7차 교육과정은 과학의 기본개념, 탐구과정, 과학의 호기심 및 학습동기유발, 표현력 신장, 탐구능력 신장, STS와의 관계 등 과학적 소양을 과학학습의 최종 목표로 설정했다(교육부, 1997).

이와 같이 우리나라 과학과 교육과정은 시대적 요구에 따라 학문중심에서 탐구중심으로 바뀌었고, 이제는 실생활과의 연계성을 강조하여 바람직한 시민을 키워내는 과학적 소양으로 변천해 왔다. 특히, 제6, 7차 과학과 교육과정에서는 과학과의 성격을 과학의 기본 개념을 토대로 창의성을 함양시키는 교과로 설명하고 있다. 즉, 과학교육은 학생들의 과학적 태도, 탐구능력, 문제 해결력 등을 함양하여 21세기의 격변하는 사회에 적응할 수 있도록, 과학적 소양을 갖춘 창의적 인적자원의 기반을 마련해야 하는 시점에 도달했다고 볼 수 있다. 이에 여기서는 과학교육 목표에서 제시된 과학적 창의성과 과학적 소양을 논의하고, 21세기 현대 과학의 특징을 고찰한 후, 미래 첨단 과학기술사회 발전의 핵심인 과학적 창의성을 신장시키는 과학영재교육의 방향을 제안하고자 한다.

II. 과학교육 목표에서 제시된 과학적 창의성

Yager(2000)는 과학교육의 목표를 다음의 6개영역으로 구분하여 제시했는데, 이는 과학적 소양의 목적과 부합하는 동시에 과학적 창의성을 추구하는 제안으로 간주할 수 있다.

1) 지식과 이해(개념 영역) : 과학은 관찰이 가능한 자연을 다루기 쉬운 단위로 구분하는 데 목적을 둔 학문이라고 할 수 있다. 다시 말하면, 과학은 자연현상에서 연관성을 관찰한 후 이 연관성에 대한 논리적 설명을 제시하는 데 목적을 둔 학문이다. 따라서 과학에 대한 학습은 자연 현상에 대한 현재의 이해를 예시적으로 제시하는 데 초점을 두고 있다. 즉 개념 그 자체보다 실제 세계의 맥락에서의 개념이 교수방법의 중심이 되어야 할 것이다. 지금까지 밝혀진 다루기 쉬운 단위의 과학 주제들은 운동, 물질, 에너지, 동물의 행동, 식물의 성장 등 무수히 많이 있다. 이러한 주제들은 학습자의 개인의 현재 삶과 연결되는 의미있는 맥락에서 개념들이 제시되어야 한다.

2) 탐색과 발견(과정 영역) : 학교의 과학교육에서는 과학자가 사고하고 실험하는 방법을 학습하는 과학적 과정을 강조하고 있다. 이는 거의 100여년에 걸쳐 과학교육의 중심이 되어 왔다. 과학적 과정은 관찰, 기록, 분류, 조직, 측정, 도표화, 의사소통 능력 또는 예측과 추론, 가설, 실험, 변인 통제, 실험기구 고안, 자료 해석, 결론 등이 포함된다. 탐색과 발견의 과학적 과정 또한 학생들의 실생활과 연관되어 의미있는 상황에서 학습될 때 가장 효율적으로 성취된다.

3) 상상과 창의(창의성 영역) : 과학교육 프로그램이 과학의 지식체의 정보를 제공하는 데 중점을 두어 왔으며, 학생들의 상상력이나 창의적 사고력 개발을 강조하지는 않았다. 창의성 영역에는 정신적 사고를 시각화-산출화, 새로운 방법으로 대상과 사고를 연결, 대상을 새로운 방법으로 활용하거나 대안적 사용을 제시, 문제 해결력, 자연 현상에 대한 새로운 해석, 시각화된 사고와 산출물을 검증하기 위한 실험의 계획, 실험기구의 고안, 독창적 사고의 생산, 산출된 증거나 예시에 대한 정보를 전달하는 의사소통능력 등.

4) 느낌과 가치(정의적 영역) : 사회적 정치적 상황이 더욱 복잡해짐에 따라 환경 에너지 문제나 미래에 대한 불안은 더욱 커지고 있으며, 과학교육 프로그램에서 단순

히 지식이나 과정, 상상력과 창의성만을 강조하는 것은 부족하다. 과학과 연관된 문제를 당면할 때, 인간의 감정, 가치 의사결정력이 고려되어야 한다. 과학에 대한 긍정적인 태도, 인간에 대한 감정, 감수성, 배려 등에 대한 정의적 영역이 강조되어야 할 것이다. 과학과 관련된 문제와 논점에 대하여 개인적 감정을 표현하고 개인적 삶과 사회-환경문제와 고려하여 의사 결정력을 적용할 수 있어야 할 것이다.

5) 적용과 활용(적용과 연결 영역) : 학생들이 학습한 과학지식, 태도, 기능 등을 그들의 일상생활에 전이시키지 못한다면 과학교육은 의미가 없다. 순수과학과 응용과학을 분리하는 것이나 과학과 기술을 분리하는 것은 적합하지 못하다. 학생들은 학교에서 학습한 과학의 사고를 일상의 경험에 반영하고 일상의 경험에 과학적 지식과 기능, 태도를 찾아낼 수 있어야 할 것이다. 일상생활에서 기술과 관련된 문제에 과학적 태도와 기능을 적용하고, 가정용품에 적용된 과학-기술적 원리를 이해하고, 일상생활에서 당면하는 문제를 과학의 과정과 태도를 적용하여 해결하며, 감정이나 비과학적 상식보다 과학적 지식을 적용하여 보건, 영양, 삶의 양식과 관련된 문제를 해결하고, 과학을 다른 학문과 연결하고, 학습한 정보를 새로운 상황에 적용한다. 현대 생활에서의 개인의 삶은 실로 모든 측면이 과학에 근거를 두고 있다.

6) 과학관과 과학사(세계관 영역) : 과학·기술적 발전은 철학적, 역사적, 사회적, 심리적, 인간적 측면에서 학습되어야 한다. 과학과 기술은 문화와 결부되어 있다. 현대사회의 과학과 기술은 그 중요성만큼이나 압도적으로 우리의 삶을 지배하고 있다. 학생들은 과학자·공학자의 전문적 활동에 대한 이해, 지금까지 사용한 기술과 앞으로 필요한 기술에 대한 이해와 분석, 시대에 걸쳐 이루어진 과학 기술의 발전과정을 조사, 신기술을 개발하고 자연세계에 대한 이해를 높이는 데 영향을 미치는 과학기술을 이해해야 할 것이다.

이상에서 예거는 6가지 영역의 과학목표에서 과학적 창의성의 요소들을 제시하고 있다. 각 요소들을 영역별로 살펴보면, 지식과 이해영역에서는 과학의 기초지식을 학습자의 일상생활과 연관하여 이해하는 것을 의미한다. 학습자는 일상생활에서 과학지식과 관련된 문제들을 찾아내고 문제를 이해하는 과정에서 지식을 이해하는 것을 말한다. 여기서는 창의성에서 요구되는 특정지식영역과 사고력의 문제해결능력이 함양된다. 탐색과 발견의 목표를 달성하는 과정에서 학습자들은 창의성의 구성요소인 논리적 사고력, 분석적 사고력, 종합적 사고력과, 확산적 사고력의 독창성, 유창성, 정교성, 재조직력, 재구성력을 발휘하게 될 것이다. 상상과 창의 영역에서는 과학의 창의

성을 가장 직접적으로 제시하고 있다. 느낌과 가치의 정의적 영역에서는 과학적 창의성의 개인적 성향과 사회적 가치 및 실현성을 함양하는 데 기본을 제시했다고 볼 수 있다. 적용과 이용 영역은 과학적 지식과 기능 및 태도를 실제 생활의 문제를 해결하는 과정이라고 볼 수 있으며, 이는 창의성의 문제해결능력의 전반 과정에 부합한다고 볼 수 있다. 과학관과 과학사 영역에서는 창의성의 사회적 환경과 문화라는 측면이 강조된다고 볼 수 있다.

III. 과학적 창의성

창의성을 과학교육을 통해서 신장시킬 수 있는 과학적 창의성은 일반적 과학적 창의성과 탁월한 과학적 창의성으로 구분해 볼 수 있다. 일반적 과학적 창의성은 창의성의 인지적 요소인 과학의 특정지식 영역, 과학적 사고력, 과학적 기능과 개인적 성향인 과학에 대한 긍정적 태도와 흥미라고 말할 수 있다. 반면 탁월한 과학적 창의성은 과학의 획기적 발전을 이룩하는 창의적 문제해결능력과 산출물로 볼 수 있다. 따라서 일반적 과학적 창의성은 현행 과학교육이 첨단 과학기술사회를 살아갈 바람직한 시민정신의 기반이 되는 과학적 소양을 함양하는 데 초점을 둔다면, 탁월한 과학적 창의성은 과학적 소양을 갖추는 동시에 미래 사회를 주도하고 과학적 관련 문제를 창의적으로 해결할 수 있는 과학자를 양성하는 데 중점을 둔다.

1. 과학적 소양과 과학적 창의성

과학교육의 목표는 과학의 지식, 기능, 태도 습득이라 할 수 있다. 그러나 과학교육은 시험을 준비하는 암기위주의 지식이나 요리책 실험방법이 중심이 되어왔다. 이로 인하여, 학생들이 과학에 대한 오개념과 과학에 대한 부정적 태도를 가지게 되었으며, 과학에 흥미를 잃어버리고, 학교에서 학습한 과학지식, 기능, 태도를 실생활에 적용하는 데 실패하는 결과를 낳았다. 이와 같은 실패를 극복하기 위한 과학교육 개혁의 흐름을 살펴보면, 1980년대를 전후하여 전 세계는 STS접근방법을 도입하였으며, 이를 근간으로 1990년대는 과학적 소양이 대두되기 시작했다(Bybee & DeBoer, 1994). 과학적 소양은 급격히 발전하는 과학기술의 사회를 살아갈 바람직한 시민정신을 함양시키는 기초교육으로 추진되고 있다.

과학적 소양이란 개인적 의사결정, 사회적, 문화적 사건의 참여, 경제적 생산성을 위해 필요한 과학적 개념과 과정에 대한 지식과 이해를 의미한다. 과학적 소양을 갖추고 있다는 것은 한 개인이 일상 경험에 관한 호기심으로부터 문제를 제기하고, 이에 대한 해답을 찾거나 결정을 할 수 있다는 것을 의미한다. 이는 또 자연현상을 관찰하고, 설명하고, 예측하는 능력을 갖추고 있음을 의미한다. 과학적 소양에는 대중 출판물에 실린 과학에 관한 글을 읽고 이해할 수 있으며, 특정한 결론의 타당성에 대하여 공적인 대화를 나눌 수 있는 능력도 필요하다. 과학적 소양은 국가와 지역사회의 문제에 대한 결정을 내리는 과정에서 과학 관련 쟁점을 확인하고 과학 및 기술적 정보를 토대로 자신의 입장을 표명할 수 있다는 것을 의미한다(National Research Council, 1996).

과학적 소양을 창의성의 문제해결 능력과 체계 모형의 사회·문화적 맥락 측면과 연결시켜 볼 때, 과학적 창의성을 모색할 수 있다. 과학적 소양의 정의에서 제시하는 바와 같이 개인은 일상생활에서 과학과 관련된 문제를 제기하고 문제에 대한 해답을 찾아가며 결정하는 능력이 요구되며, 이를 과학적 창의성의 문제해결능력으로 설명할 수 있다. 자연현상을 관찰하고, 설명하고, 예측하는 능력에는 과학적 창의성의 논리적 사고력과 확산적 사고력이 필요하다. 대중 출판물을 실린 과학에 관한 글을 읽고 이해할 수 있으며, 특정한 결론의 타당성에 대한 공적인 대화를 나누는 데는 개인적 가치와 동시에 사회·문화적 맥락을 고려한 과학적 창의성의 비판적 사고력이 요구된다. 과학 관련 쟁점을 확인하고 과학 및 기술 정보를 토대로 자신의 입장을 표명할 수 있는 능력 또한 사회·문화적 맥락의 과학적 창의성으로 해석될 수 있다.

2. 과학의 영재성과 과학적 창의성

탁월한 과학적 창의성은 주로 과학에 재능을 보이는 과학영역의 재능아 또는 영재들에게서 관찰된다. 여러 연구에서는 탁월한 과학적 창의성을 발휘하는 과학 재능아/영재의 특성을 논의해 오고 있다. 과학영재라 함은 (자연)과학 영역에서 탁월한 성취도를 달성할 수 있는 과학적 사고력의 잠재력이나 특별 재능을 가진 자를 의미한다(Heller, 2002). 이 정의는 여러 접근방법에 따라 의미를 달리할 수 있다. 산출물 중심 접근방법에 따르면, 과학 재능아/영재들이 과학영역에서의 탁월한 재능과 자신감을 가지고 있을 때, 과학영역의 탁월한 산출물을 생산해낼 수 있다. 따라서 과학 재능아/영재는 탁월한 과학적 산출물로 판별할 수 있으며, 이 탁월한 과학적 산출물은 창의

성 연구에서 많이 적용하고 있다 (Csikszentmihalyi & Wolfe, 2000; Sternberg, 1988).

그럼에도 이 접근방법은 과학영역의 탁월한 산출물이 문제해결능력이 아닌 다른 요인들에 의해 결정될 수 있음을 간과하고 있는 단점이 있다. 즉, 개인적 요소를 고려하지 않은 점이다. 개인적 성향 중심 접근방법은 산출물 중심 접근방법과는 달리 과학영재의 특성으로서 인지적 뿐만 아니라 비인지적 측면의 개인적 요소들을 고려했다. 여기에는 창의성의 지적능력으로서 논리적, 추상적, 체계적, 종합적, 문제해결능력 뿐만 아니라 비인지적 요소로서 호기심, 지적욕구, 성취에 대한 내적동기, 과제집착력, 모호성, 불확실성, 복잡성에 대한 인내와 도전 등이 포함된다. 이러한 비인지적 요소의 개인적 성향은 성장기 이후 지속적으로 유지되는 과학 재능아/영재의 특성으로서 과학 재능아/영재의 진단-예측 모형으로서 적용될 수 있다(Heller, 2002).

과학 재능아/영재를 정의하는 데는 인지적 문제해결력과 비인지적 개인적 성향을 주요 특성으로 제안되어 왔다. 과학자·공학자의 특성에 대한 종단적 연구에 의하면 과학 재능아/영재의 특성은 과학영역지식 관련 문제해결능력, 동기적 요인과 지도력을 판별할 수 있다고 보고되었다(Trost & Sieglen, 1992). 이와 같이 과학 재능아/영재의 정의에서 제시하는 특성은 과학영역의 탁월한 산출물을 만들어 내는 높은 수준의 과학영역 지식에 바탕을 둔 문제해결능력과 과학적 흥미와 호기심 및 동기, 지도성으로 요약되고 있다. 그럼에도 불구하고 이러한 특성들은 여전히 창의성의 일반적 특성과 같은 맥락으로서 과학적 창의성의 독특한 특성을 제시하지는 못하는 것으로 고찰된다.

탁월한 과학적 창의성의 의미는 과학발전의 획기적인 전환점을 만들어 낸 탁월한 과학적 산출물과 이를 성취한 과학자들의 특성에 찾아볼 수 있을 것이다. 아인슈타인은 자신의 과학적 창의성은 학습된 지식과 상상력이 자유로운 게임을 하면서 발휘된다고 말한 바 있다. 프레밍, 갈릴레오, 뉴턴, 왓슨, 크릭은 사고 실험접근방법(thought experiment approach)을 통해 과학의 발견을 이룩했다고 언급했다. 탁월한 영재성을 보인 과학자들은 정신적 사고 모형을 적용하면서 끊임없이 질문해 왔다. 정신적 사고 모형을 상상을 통해 시각화하거나 변형하는 일은 과학적 창의성에서 매우 중요한 요소이며, 과학적 기능에 선구적으로 요구되는 필수 요소이다. 쿤은 과학적 창의성은 실험적 견해와 미학적 차원을 동시에 요구한다고 주장했다. 즉 과학적 창의성은 상상을 통한 사고실험이 핵심이 되며, 개인적 차원의 미학적 의미를 기능과 지식에 적용하여 최선의 결과를 만들어 낼 때 개발된다. 즉 과학적 창의성은 인지적 기능보다는

개인의 통합적 견해와 개방성, 가치에서 비롯된다는 의미라 할 수 있다. 탁월한 영재성을 보인 과학자들이 당면한 과학문제를 개인의 지식과 기능을 적용하면서 상상을 통한 사고실험으로 획기적인 과학 발견을 이룩한 점에서 반추하여 탁월한 과학적 창의성을 정리해보고자 한다(Innamorato, 1998).

첫째, 탁월한 과학적 창의성은 구체화된 데이터를 전체적 관점과 틀에서 상상력을 적용하여 활용할 때 발휘된다고 볼 수 있다. 다른 말로 탁월한 과학적 창의성은 규칙이나 공식에 근거한 사고보다는 상상력을 발휘할 때 나타난다. 탁월한 과학적 창의성은 과학지식에 기반을 둔 인지적 사고력으로 데이터를 조작하고 문제를 효율적으로 해결하는 것이 전부가 아니라는 말도 된다. 따라서 과학적 창의성은 상상력을 통한 보다 전체적 접근방법을 통해 발휘된다.

둘째, 일부 학자들은 과학의 새로운 발견 즉 탁월한 과학적 창의성은 예술적 관점에서 시작한다고 주장하기도 한다. 즉, 상상력과 예술적 접근방법을 통해 탁월한 과학적 창의성이 발휘된다는 점을 주목해야 할 것이다. 과학은 미학적 잠재력을 실현화하는 도구라는 주장하기도 한다. 상상력이 선행되어 사고를 유도하며, 미학적 차원에서의 정신적 활동이 개념을 이끌어 가는 활동으로 연결되면서 탁월한 과학적 창의성이 발휘된다. 일부에서는 과학자들이 예술적·신비적 견지를 받아들일 때 탁월한 과학적 창의성을 발휘하게 된다고 주장한 바 있다.

셋째, 탁월한 과학적 창의성은 전체적 관점에서 상상력과 함께 직관이 상호 작용하는 과학-예술의 인터페이스에서 발휘된다. 과학적 창의성은 무정형 의미의 다양성에서 시작된다. 과학적 창의성은 예술적 능력을 가시적 자연 현상으로 제시하는 것이라고도 볼 수 있다. 과학적 논리는 가능성과 현실간의 변증이며, 과학적 창의성은 사실에 대한 직관적 느낌에서 비롯된다. 이러한 점에서 감정가라는 용어를 비유할 수 있다. 현행 과학영재 교육프로그램은 감정가적 접근방법이 결여되어 있다고 볼 수 있다.

넷째, 과학적 창의성은 더 많은 지식에 대한 욕구에서보다는 개인적 만족감을 추구하는 데에서 더욱 잘 발휘된다. 과학 재능아/영재는 개인적으로 만족감을 느끼지 못하면 새로운 지식을 더 축적하려고 하지 않는 경향이 높다. 즉 개인적으로 연결된 과학적 사고를 학습하고 과학 관련 문제를 해결하고자 한다. 학습을 통해 의미를 찾고자 하는 욕구가 높다.

IV. 과학자들의 특성과 과학적 창의성

위대한 과학자들은 어떻게 새로운 이론과 생각을 하게 되었을까? 어떤 사고전략을 적용하여 탁월한 과학적 창의성을 발휘하게 되었을까? 과학자들은 일반인보다 다른 탁월한 개인적 특성은 무엇일까? 성장기의 환경과 특징은 무엇인가? 일부 연구에서는 대부분의 위대한 과학자들이 태어날 때 아버지는 30세 이상이며 어머니는 25세 미만인 경우가 많으며, 어린 시절 병을 앓거나 유약하게 보낸 특징이 있다고 분석하기도 했다. 또한 어머니가 없거나, 아버지가 없거나 독신주의가 많았다는 결과를 제시하기도 했다. 그러나 이러한 연구들의 시사점이 매우 미미한 것으로 평가되었다.

이후 연구에서는 보다 체계적으로 과학자들의 특징들을 연구한 사례들이 발표되고 있다(Gardner, 1993; Miller, 2000; Simonton, 1988, Taylor & Barron, 1963). Taylor와 Barron이 편집한 *Scientific Creativity*에 실린 여러 논문들에서는 많은 시사점을 제시하리라 기대했으나, 실제로는 창의성 이론과 과학자의 특성을 여전히 두 영역으로 구분하여 설명하고 있었으며, 이러한 연유로 괴리가 남아 있는 것으로 고찰된다. Simonton의 *Scientific Genius*에서는 심리학을 중심으로 과학자에 대한 특성을 심층 분석한 결과를 제안하고 있으며, 향후 논의해볼 만한 가치가 있는 것으로 고찰되었다. Miller의 *Insight of Genius*에서는 과학의 개념을 중심으로 과학자들이 새로운 이론을 창조된 과정을 논의·제시했다. Gardner는 저서 *Creating Mind*에서 아인슈타인을 포함한 다른 예술 및 정치지도자의 창의성을 심층 분석한 사례를 설명하고 있다. 이상의 저서는 과학적 창의성을 이해하는 데 기초적 내용을 제안하고 있으나, 과학철학이나 과학지식과 개념을 충분히 이해한 후에 보다 가치있는 해석을 도출할 수 있을 만큼 과학내용 측면에서 무게가 있으며, 논자가 쉽게 접근하기 어려운 점을 발견했다. 이러한 분석들이 향후 탁월한 과학적 창의성을 발휘하는 위대한 과학자들을 교육하는 데 얼마나 많은 시사점을 제공해 줄 수 있을지에 대해서는 다소 회의를 가지고 된다.

다음의 루바트와 스텐버그의 이야기는 저자가 왜 회의를 가지게 되는 가를 잘 대변해 주고 있다(Lubart & Sternberg, 1998). ‘창의성을 논의하자면, 잘 알려진 눈먼 장인과 코끼리 이야기를 예시로 들 수 있다. 한 눈먼 장인은 코끼리의 복부를 만지고는 비늘같은 피부와 원통같이 생긴 것이 코끼리라고 설명했다. 다른 장님은 꼬리를

만지고는 가늘며 길며 털이 많은 것이 코끼리라고 설명했다. 장님들은 각각 자신이 만진 부분만을 가지고 전체를 설명하고 그것이 코끼리라고 생각했다.

이제 장님이 아닌 과학자 집단이 코끼리를 관찰하고 설명하는 경우를 생각해보자. 과학자들은 시력이 아주 좋았으며, 코끼리를 잘 관찰할 수 있는 실험 장비를 갖추고 아프리카의 코끼리를 조사하러 갔다. 과학자들은 수컷과 암컷의 어른 코끼리의 생김새와 행동적 특징을 전체적으로 면밀히 조사했다. 그렇다면 이제 과학자들은 장님의 딜레마를 해결하였는가?

해답은 긍정적이라면, 최소한 과학자들은 코끼리의 전체를 관찰했다는 점일 것이다. 그러나 부정적이라면, 이 과학자들은 단지 아프리카 코끼리만 관찰한 점이 문제이다. 더욱이 코끼리가 태어나면서부터 죽을 때까지의 전 일생을 고려해보면, 한 시점 즉, 성인 코끼리만 관찰했다는 점이다. 결국 코끼리를 제대로 관찰하려면 코끼리 일생을 통해 코끼리의 몸의 구조의 변화, 행동적 특징의 변화 및 서식장소 및 서식 환경을 조사해야 할 것이다. 그럼에도 불구하고 여전히 코끼리 집단의 전체를 말할 수는 없다. 단지 아프리카 코끼리의 일생을 관찰하고 이를 논의한 것이다. 창의성도 마찬가지이다.'

Simonton (1988)은 과학자들의 특성을 인지적 측면과 동기적 측면으로 구분하여 설명했다. 먼저 과학자들의 인지적 특성으로서 극단적으로 높은 지능으로 설명하고 있다. 일반적으로 대학교 학생들의 평균 IQ가 118이라면, 물리학 영역 과학자들의 평균 IQ는 140으로 분석되고 있다. 역사적으로 유명한 과학자 39명의 IQ는 135-180의 범위에 분포하는 것으로 알려졌다. 예로서, 유명과학자들의 IQ의 사례를 살펴보면, 뉴턴은 190, 코페르니쿠스는 160, 갈릴레오는 185, 케플러는 175, 린네는 165, 다아윈은 165로 알려지고 있다. 그러나 높은 IQ가 창의적 과학자의 필수조건은 아니며 반드시 창의성으로 연결되는 것이 아님을 주장하기도 한다. 좋은 예로서 노벨 물리학상을 수상한 파인만의 IQ는 122로 알려지고 있다(Michalko, 1998). 이는 60년대 길포드를 포함한 창의성 심리학자들이 수많은 논의를 거쳐 창의성은 높은 지능과 동일한 것이 아니라는 결론과 일치한다. 높은 지능 외에, 높은 어휘력, 즉흥성, 독창성, 광범한 분야에 대한 흥미, 독립적 판단, 융통성 등을 창의성이 높은 과학자들의 특징으로 설명하기도 한다(Barron, 1969). 둘째, 동기적 측면에서, 과학자들은 자신의 전공영역에 막대한 양의 시간을 투자하는 것으로 조사되었다. 대부분의 과학자들은 일반적 사회활동조차 그만두고 자신의 연구 활동에 거의 모든 시간을 투자하는 것으로 알려지고 있다. 그

럼에도 불구하고, 물리학자의 개인적 성향은 생물학과 상반되는 특성을 보이는 가하면, 물리학자 내에서는 이론 물리학자는 실험 물리학자와 상이한 특징을 보인다. 즉 동일한 과학영역에서도 창의성 발휘 방법은 서로 차이가 있다. 일부 과학자들은 초기 아이디어를 창의적으로 제안하는 데 탁월한 가하면, 일부 과학자들은 심미적 관점이 탁월한 가하면 일부는 실험방법에 관련된 창의성을 탁월히 발휘하기도 한다. Simonton (1988)은 탁월한 과학자들은 보통 수준의 과학자들에 비해 특징적 성향이 더욱 다양하게 발견된다고 주장하기도 한다.

탁월한 창의성을 발휘하는 과학자들의 특징을 그렇치 못한 과학자들과의 차이점에 반추하여 살펴보면, 첫째 규칙에서 벗어나 자유롭게 융통적으로 사고하는 것이 특징이다. 이 특징은 규칙에 근거하여 제안되어진 생산적이지 못한 접근방법을 쉽게 버리고 새로운 접근방법을 자유로이 선택하여 문제를 해결할 수 있다. 둘째, 새로운 경험을 즐기며, 다른 사람들보다 섬세하고 정교하게 문제를 접근하는 특징이 있다. 셋째, 창의적 과학자들은 언제 노력을 집중적으로 기울여야 하는 시기를 알고 어떤 점이 과학적 혁명을 불러일으킬 수 있는 것인가를 인지하는 능력이 있다. 넷째, 생산성이 없고 결과가 의미가 없는 경우를 잘 인지하고 여기에 매여 시간을 낭비하는 경우가 드물다. 다섯째, 창의적 과학자들은 다른 사람들이 간과한 문제를 잘 인지하고 창의적 연구를 생산할 수 있는 잠재력을 가지고 있다(Meador, 2003).

좀더 구체적으로 탁월한 과학자들이 보여주는 특징을 생산-재생 측면에서 논의한 내용을 살펴보면(Simonton, 1988), 일반인들은 문제를 당면하게 될 때 과거 경험한 유사한 문제에 근거하여 문제를 해결하려는 경향을 보인다. 먼저 문제를 당면한 사람은 스스로에게 다음과 같은 질문을 던진다. '이 문제를 해결방법을 모색해 나가는 데, 이와 관련하여 나는 일생을 통해, 교육을 통해 또는 직장생활을 통해 무엇을 배웠으며 그 배운 것을 문제 해결에 어떻게 적용할 것인가? 그리고는 분석적으로 가장 타당하고 적절한 해결책을 선택하게 된다. 일반 사람들은 과거의 경험에 근거하여 문제 해결과정을 선택하며, 매우 바람직하며 정확하고 안전한 한 가지 방법을 확신하면서 선택한다. 즉 이는 재생의 의미를 가진다.

한편 영재성을 보이는 과학자들은 당면 문제의 해결책을 모색하는 데 가장 먼저 던지는 질문은 '이 문제를 해결하는 데 얼마나 많은 서로 다른 접근방법을 적용할 수 있을까? 내가 생각하는 방법을 다른 접근방법으로 전환하여 생각할 수 있을까? 실

제 얼마나 많은 여러 가지 해결방법이 있는가?’등이다. 탁월한 과학자들은 독창적이고 획기적인 대안적 방법들을 할 수 있는 대로 다양하게 생각한다. 최선의 방법을 결정한 후에도 다른 방법들이 있으며 이 과정을 즐기는 점이다. 이것은 생산의 의미이다.

아인슈타인(Albert Einstein)은 ‘자신이 가진 일반인과 다른 차이점이 무엇인가’에 대한 질문에 다음과 같이 대답했다. 쥘폴더미에서 바늘을 찾는데 일반 사람들은 한 개를 찾으면 거기서 그만 두나, 자신은 쥘폴더미에서 찾을 수 있는 모든 바늘을 다 찾을 때까지 쥘폴더미의 쥘폴 한 개 한 개를 철저히 조사한다. 아인슈타인은 현재 우리가 당면한 문제는 이미 알려진 기존의 방법으로 풀 수 없기 때문에 문제로 인식되며, 새로운 창의적 문제 해결 방법으로 접근할 때 해결된다 라고 말한 바 있다. 아인슈타인은 문제해결책을 다양한 방법으로 생각하고 찾아내는 것을 매우 즐겼다고 알려져 있다.

파인만(Richard Feynman)은 문제를 당면하게 되면 새로운 해결방법을 찾는 데 몰두한다고 말했다. 과거에 어떤 방법으로 해결했는가에 반영하여 해결책을 찾는 것이 아니라 새로운 방법을 모색하는 것이 더 중요하다는 것을 강조했다. 연구 과정에서 문제가 생기면, 다양한 새로운 해결방법을 생각하고 그 가운데 자신의 상상력과 가장 일치하는 방법을 선택했다고 한다. 파인만은 후에 학교교육에 대해, 학교에서는 재생적 사고력 대신에 생산적 사고력을 가르쳐야 한다고 말한 바 있다. 수학 문제 $29 + 3$ 은 3학년 학생에게 적합한 수준이나 1학년에게도 제시할 수 있다. 분명, 1학년 학생들은 29에서 3을 더하는 방법이 30, 31, 32 로 계산할 수 있기 때문이다. 파인만은 학생들을 가르치는 데 가장 중요한 것은 문제를 해결하는 데 얼마나 많은 대안이 있을 수 있으며, 시행착오를 반복하면서 방법을 찾아가는 것이 학습이라고 말한 바 있다.

다윈(Charles Darwin)은 갈라파고스 섬에서 영국으로 돌아온 후 채집한 새를 가장 유명하고 전문성이 높은 조류학자 John Gould에게 동정해 줄 것을 부탁했다. 여기서 주목해야 할 점은, Darwin이 채집한 조류들이 같은 종이나 지역에 따라 서로 다른 특징과 형태를 지님을 밝힌 점이 아니라 Gould가 이를 발견하지 못한 점이라고 지적할 수 있다. 즉, Gould는 조류가 어떤 종이라는 것을 동정하는 데는 최고의 전문성을 가지고 있었으나, 같은 종이 서식 지역에 따라 서로 다른 형태를 가질 수 있다는 점을 결코 생각할 수 없었다는 점이다. Gould는 지금까지 생각할 수 있는 주어진 범위 내에서 최고의 분류학자로서의 역할을 다 했다. 그러나 Darwin은 수집한 조류

의 이름조차 몰랐다는 점이다. 지식과 능력과 전문성을 가진 Gould는 새로운 방법을 생각하는 데 실패했다면, 지식도 전문성도 부족한 Darwin은 지금까지 전 세계를 지배하는 진화론을 제안한 점이다.

다음에서는 과학자들의 사고 유형의 특성을 소개하고자 한다(Michalko, 1998).

첫째, 영재성을 발휘한 과학자들은 문제를 당면할 때 가능한 모든 다양한 대안을 해결책으로 모색한다. 창의적으로 문제를 해결하고자 한다면 과거의 경험에서 나온 기존의 접근방법을 버리고 문제를 재개념화하여 새로운 방법으로 접근해야 할 것이다. 한 가지 견해에 만족하지 않고 다양한 새로운 해결 방법을 찾는다.

둘째, 자신의 생각과 아이디어를 시각화한다. 르네상스 시대 창의성이 만발한 것은 수많은 아이디어와 새로운 생각들이 그림, 그래프, 모식도로 기록되고 표현되었기 때문이라고 전해지고 있다. 그 당시 다른 사람들은 수학적 수식을 이용하여 자신의 생각을 표현하였으나, 갈릴레오는 그림으로 표현함으로써 과학의 혁명적 이론을 발견했다고 평가하기도 한다. 아인슈타인도 마찬가지로 자신의 생각을 시각적 공간적 형태로 시각화했다.

셋째, 생산성이 높다. 토마스 에디슨(Thomas Edison)은 일생동안 1,093개의 발명특허품을 등록했으며, 지금까지도 최고 기록이다. 이 수많은 발명품들은 자신의 아이디어에 따라 자시관 조교가 함께 만들어 낸 것인데, 간단한 것들은 일생을 통해 열흘에 한 개씩 발명하였으며, 중요한 발명은 6개월마다 한 개씩 발명했다. Simonton (1963)이 2,036명의 과학자들을 대상을 조사한 연구에 따르면, 획기적 발견을 한 과학자들은 탁월한 연구를 수행한 뒤 면에서 수많은 질적 수준이 낮은 연구들이 더 많이 수행되었다고 한다. 많이 생산할수록 탁월한 결과를 얻을 확률이 높다고 점을 의미한다.

넷째, 독창적 연결능력을 발휘한다. 탁월한 과학자들은 아이디어와 생각, 그림 등을 끊임없이 재 연결하고 다양한 방법으로 연결하는 것을 시도한다. 아인슈타인은 상대성 이론은 아인슈타인이 에너지 질량, 광속도 등을 발견한 것이 아니라 이들을 새로운 방법으로 재연결한 점에서 발견되었다. 멘델의 유전의 법칙 또한 생물 현상에 수학적 수식을 연결하여 새로운 견해의 과학발견을 한 것이다.

다섯째, 상이한 것들을 서로 연결시킨다. 서로 다른 상이한 특성을 지는 사물이나 사건을 서로 연결하는 경향이 두드러진다. 과학자(F. Kekule)는 뱀이 꼬리를 물고 있는 모습에서 벤젠의 분자 모형을 만들어 낸 것으로 알려지고 있다.

여섯째, 서로 반대되는 점을 동시에 생각한다. 천재성을 보인 과학자들은 서로 상이한 것들을 동시에 고려하는 특성을 가지며 이는 애매모호한 것에 대한 인내심에서 비롯된다고 본다. 물리학자 보어(Niels Bohr)는 어떤 연구나 아이디어에 대하여 상반되는 의견을 동시에 가지게 되면, 자신의 생각을 보류하게 되며 이와 동시에 사고 수준을 새로운 독창적인 수준에 진입하게 된다고 했다. 상반되는 양면을 동시에 고려하면서 양쪽을 요동치는 사이에 새로운 생각들이 비누거품처럼 만들어 진다고 했다. 보어는 빛을 입자와 파동으로 상상하였던 능력으로 인해 상보성의 원리의 개념을 발견할 수 있었다고 전하고 있다. 에디슨의 전구 발명에서 저항이 높은 필라멘트와 병렬 전류를 연결할 수 있었던 점은 일반인이 할 수 없었던 서로 상이한 특성의 물질을 연결하는 능력이 있었기 때문이다.

일곱째, 비유적으로 사고한다. 전화기를 발명한 벨은 사람 귀의 내부구조를 금속판에 비유하여 전화기를 발명하게 되었다. 아인슈타인은 기차역에서 기차가 지나가는 것, 보트를 젓는 일 등의 일상의 생활에 자신의 아이디어를 비유하여 추상적 이론들을 발견해 냈다고 한다.

여덟째, 새로운 기회를 적극적으로 준비한다. 한 가지 일에 실패하면, 거기서 멈추지 않고 다른 새로운 일을 바로 시작하는 특성이다. 하던 일이 실패하면, 지금까지 무엇을 해 왔는가, 무엇을 의도하였는가라는 질문으로 이어지면 이에 대한 해답은 새로운 일로 시작점이 된다. 플레밍(Alexander Fleming)은 배양 페이트리 디쉬에 곰팡이가 핀 것을 보고 이를 폐기하지 않고 왜 그런가를 살펴보다가 페니실린을 발견하게 된 것이다. 기회가 오기를 기다리지 않고 예상치 못하는 발견을 적극적으로 찾아가는 점이다.

V. 현대 과학의 변화

시대적 변천에 따라, 교육에 대한 사회적 요구도 변해 왔다. 학교는 사회적 요구에 대처하기 위해 교육개혁을 통해 수업현장의 변화를 모색해 왔으나, 학교 과학교육에서는 오늘날의 과학이 과거의 그것과는 다르다는 점을 수업현장에 제대로 반영하지 못하고 있다. 과학과 교육과정은 첨단 과학기술 분야의 새로운 발견이나 최근의 학문적 이론을 보완하고 있으며, 과학이 사회·경제·문화에 미치는 영향을 포함시키고

있다. 그러나 그 반영 수준은 미미하여, 학교 수업현장에서는 시대적 변천에 부응할 만큼의 변화를 달성하지 못하고 있다. 이제 과학의 변화된 모습을 이해하고 이를 학교 과학교육에 반영하는 노력을 보다 체계적으로 실천해야 할 것이다. 최근 과학의 변화된 특징을 살펴보면 다음과 같다(Hurd, 1997, 1998, 2000).

첫째, 현대 과학은 자연을 탐구하여 발견한 순수 학문 중심의 의미를 탈피하는 반면 기술측면이 강화되고 있다. 최근 현대 과학은 과거의 과학과 구분하여 techno-science, applied technology, sci-tech 등으로 설명되고 있다. 허블 망원경이 없었다면 천문학이 오늘날의 발전을 이루어내지 못했을 것이며, 최근 수많은 과학실험은 적합한 기술이 개발되지 않았기 때문에 추진되지 못하기도 한다. 즉, 획기적인 과학의 발견은 기술의 발전 수준에 따라 결정된다.

둘째, 현대 과학은 무수히 많은 영역으로 세분화·혼합화되어 복수적 의미로 설명되고 있다. 전형적 과학으로서 생물, 화학, 물리, 지구과학 등으로 구분되는 경우는 점차적으로 사라지고 있다. 생물학자, 물리학자, 화학자, 지구과학자로 불리는 과학자는 특정 전공 분야가 없는 것으로 인식될 만큼 과학의 영역은 세분화되고 있다. 생물학의 세분화된 영역은 400여개에 이르며, 전문연구학술지는 2만개 이상으로 조사되고 있다. 또한, 다른 분야와 결합·혼합되어 생물화학, 생물물리, 인간생태학 등 무수히 많은 새로운 영역으로 창출되고 있다.

셋째, 현대 과학은 trans-science, STS로 표현되고, 과학·기술·사회의 맥락에서 의미와 개념을 다루고 있다. 현대 과학은 사회·경제적 측면과 관련된 문제를 해결하는 연구에 치중되면서, 과학연구는 실험실에서 실제 사회, 실제 생활로 옮겨지고 있다. 우리가 현재 당면하는 환경오염 문제나 AIDS에 대한 연구는 개인, 사회, 정치, 경제 문제를 함께 다루어야 하는 연구영역이다.

넷째, 현대 과학은 사회에서 야기되는 문제를 해결하려는 목표 지향, 문제 해결 측면이 강화된 연구로 변화되어 가고 있다. 학문중심의 지식과 이론에 근거를 두고 가설을 증명하는 연구보다는 문제 중심의 전략적 연구로서 기능적 측면의 과학·기술 연구에 치중되고 있다. 정부, 산업체, 기업체는 인류 복지, 경제 성장, 사회 발전, 삶의 질 향상 등과 관련되는 과학·기술의 기능적 측면에 대한 연구를 정책적으로 지원하고 있다.

다섯째, 현대 과학은 팀으로 구성된 과학자들에 의해 연구되고 있다. 이제 다아윈의 종의 개념이나 멘델의 유전의 법칙 등과 같은 한 과학자에 의해서 추진된 과학의 발견은 찾아보기 어려울 것이다. 과학 연구팀에는 생물학자, 물리학자, 컴퓨터 공학자, 사회학자 등이 협력하여, 한 명의 힘으로는 이를 수 없는 새로운 영역의 지식을 발견하고 있다. 연구팀은 주로 관련 분야별로 6~8명의 학자들로 구성되는 것으로 밝혀졌다. 덧붙여, 현대 과학의 연구보고서의 95%이상이 복수저자로 발표되고 있다. 20세기 초 복수저자 연구보고서의 비율은 5%를 넘지 않았다. 그러나 1991년을 기준으로 과학 분야에 가장 많이 인용되는 연구논문 12편의 평균 저자 수는 5.3명으로 조사되었다.

여섯째, 현대 과학 연구는 대학교에서 산업체 연구실로 옮겨졌다. 과거에는 대학교에서 대부분의 과학자들을 고용하였으나, 현재에는 30%정도만을 고용하고 있다. 반면, 산업체에서 60%이상의 과학자를 고용하고 있으며, 비율은 점점 더 높아지는 추세이다. 산업체에서는 경제적 생산성을 추구하고 개인의 삶과 사회의 질을 높이는 데 이용할 수 있는 과학의 실용적 측면의 지식을 생산하는 데 치중하고 있다. 즉, 과학의 R&D이다.

일곱째, 현대 과학은 점점 더 인간화·사회화 경향을 보이고 있다. 개인별 DNA를 지문대신 사용해도 좋은지, 인간의 유전자를 복제하여 질병치료에 사용해도 좋은지 등에 대한 논의를 보더라도, 가치, 도덕, 법률 모두 현대 과학 연구에 지대한 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

VI. 과학적 창의성 신장 과학교육의 방향

현대 과학의 성격을 반영하는 과학교육을 실천하고자 한다면, 학교에서 과거처럼 생물, 화학, 물리, 지구과학 등의 분야별로 철저히 구분한 학문중심의 과학교육을 지속적으로 추구할 수는 없을 것이다. 학교 과학교육의 과학적 과정과 과학적 태도가 과학자와 같이 생각하고 과학자와 같이 탐구한다는 고전적인 의미라면, 이 또한 현대 과학의 성격을 반영하지 못하고 있다. 오늘날의 과학은 사회적·경제적 문제를 해결하는 문제 해결 접근방법을 강하게 띄고 있으며, 개인, 사회, 경제, 정치와 연관된 분야의 과학 연구를 추진하고 있다. 또한, 기술과의 불가분의 관계를 맺고 과학 영역내의

통합적 성격과 다른 학문 영역과 연결되는 다학문적·간학문적 성격으로 영역별 경계를 무너뜨리고, 새로운 분야를 끊임없이 창출하고 발전시키고 있다. 따라서 한 개인의 힘으로 성취할 수 없는 연구들이 주류를 이루며, 다양한 영역의 전문가들의 공동협력 하에 추진되는 팀 연구로 특징 지워진다. 다음에서는 현대 과학의 성격을 반영하고 과학적 창의성을 추구하는 과학교육의 방향¹⁾을 논의하고자 한다.

1. 과학기술 내용 도입

과학기술에 대한 이해와 응용은 과학교육에서 과학적 창의성을 추구하는 주요한 목표로서 도입되어야 할 것이다. 이의 근거는 과학과 과학기술의 상호적 연계성에 들 수 있다. 과학이 자연현상을 이해하는 것이라면, 과학기술은 인간의 필요를 충족시키기 위하여 자연세계에 변형을 가하는 것이다. 즉 변형하여 새로운 것을 만드는 창의성에서 비롯된다. 과학은 새로운 과학기술을 사용함으로써 더욱 발전한다. 또한 과학기술에 관련된 문제를 창의적으로 해결하는 과정에서 새로운 과학지식을 발견하게 된다. 과학기술을 이용한 설계는 인간의 필요를 충족시키고 문제를 해결하려는 데서 출발하기 때문에 과학에 비해 보다 직접적으로 사회에 영향을 미친다.

학교 과학교육의 목표로서 과학기술은 학생들이 자연세계와 인공세계를 연결하고 의사결정능력을 발달시킬 수 있는 기회를 제공한다. 또한, 학생들은 과학기술을 통해 인간이 창조한 세계를 이해하고, 유용한 과학기술 모형을 창의적으로 만들어 보는 기회를 가지고, 과학기술을 이용하여 창의적으로 만든 물건과 장치의 작동원리를 이해하는 과정에서 자연의 법칙을 깨닫게 된다(National Research Council, 1996).

학생들은 과학기술에 대한 이해를 통하여 새로운 것을 직접 설계하는 과제를 수행하고 과학기술을 이용한 제품과 장치를 창의적으로 고안할 수 있다. 먼저 학생들은, 학습의 주제와 관련하여 과학기술을 이용한 설계를 적용하기 적합한 문제를 찾아내고, 문제의 해결책 또는 제품을 고안한다. 이때, 학생들은 비용, 시간, 손익, 재료 등과 같은 여러 가지 제한점을 고려하고, 이를 다른 학생들이 제시한 것과 비교·분석하며 의견을 교환한다. 학생들은 해결책으로 제안한 설계를 수행하는 과정에서 작업 계획을 수립하며, 상황에 따라 협동작업을 하고, 알맞은 도구와 기법을 선택하고, 측정방법을 동원하여 정확성을 유지할 수 있어야 할 것이다. 완성된 제품에 대하여 원래의 목적과 필요에 부합하는지, 예측되는 이용자들이 사용하기 적합한 지 등을 고려하여

제품의 가치와 질을 평가해야 할 것이다. 부족한 점으로 판단된 부분에 대한 개선책도 제안하게 될 것이다.

학생들은 과학기술을 이용한 설계가 사회 구성원들에게 이익을 가져다주는 반면, 비용이 들고, 주변 환경을 파괴하여 생태계에 위협을 줄 수 있는 점도 이해한다. 과학기술로 인한 즉각적 피해뿐만 아니라 장기적 측면의 파괴에 대한 책임감을 느끼고 이를 방지하려는 시도도 실천할 수 있게 될 것이다.

이와 같이 과학기술에 대한 내용의 도입을 통해 과학적 창의성을 추구할 수 있다. 학생들은 과학적 소양으로서 개인적 차원의 문제를 창의적으로 해결하고, 나아가 과학기술의 발전을 주도할 수 있는 탁월한 과학적 창의성을 발휘할 수 있을 것이다. 21세기는 고도의 과학기술 기반 산업이 급속도로 팽창하고, 이러한 산업에 종사하는 사람들의 수도 급속도로 증가하고 있다. 따라서 과학교육의 목표로서 과학기술은 미래 과학기술의 발전 방향을 주도하게 될 창의적 인적자원 개발을 위해 도입되어야 할 것이다.

2. 간학문적·통합적 과학 개념 도입

과학의 고전적 영역의 경계를 넘어서는 통합적 개념을 과학교육에 도입해야 할 것이다. 이는 21세기 과학이 생물, 화학, 물리, 지구과학 등의 독립적 영역으로 구분되어 발전되는 것이 아니라 더욱 세분되고 더욱 혼합되어 수많은 새로운 과학 영역으로 창조되고 발전되는 데서 비롯된다.

학생들이 통합적 과학 개념을 통하여 생물의 세포가 우리의 몸을 구성하는 생명의 기본 단위로 이해함과 동시에 생명을 유지하는 데 요구되는 물리적 에너지와 세포의 구성 물질의 화학적 변화를 이해할 수 있게 된다. 학생들은 과학적 사고라는 틀에서 중요한 과학의 개념과 원리를 학습할 수 있고 우리가 사는 세계를 하나의 계로서 이해하고 계를 구성하는 물리, 생물, 화학적 요소들 간의 상호작용과 균형을 유지하는 질서를 이해하게 된다.

학생들은 계를 구성하는 각각의 요소는 형태와 기능을 가지면서 물체, 생물, 자연계, 인공계를 구성하고, 이 요소들이 서로 상호보완적으로 작용하는 특성을 이해할 때, 다른 수준의 조직이나 계를 구성하는 요소들을 이해하고 새로운 조직이나 계를 예측할 수 있는 과학적 창의성을 발휘하게 된다. 학생들은 조직을 구성하는 요소의 형태를 고려하여 기능을 창의적으로 제안하고, 기능을 고려하여 형태를 창의적으로 만들 수 있게 될 것이다.

학생들은 통합적 개념의 이해를 통하여 과학적 모형을 창의적으로 만들어 낼 수 있고 모형의 법칙과 원리 나아가 새로운 과학의 패러다임 등으로 제시하는 능력을 키울 수 있을 것이다. 21세기의 과학은 통합적 개념을 기반으로 상관성이 먼 영역 내 용을 상상력을 발휘하여 서로 연결하고 연합하여 새로운 영역으로 더욱 발전될 것이다. 따라서 학교 과학교육이 통합적 과학 개념을 도입함으로써, 학생들이 새로운 과학 영역을 발견하고 발전시킬 수 있는 과학적 창의성 신장 교육으로 제공되어야 할 것이다.

3. 개인·사회적 관점 강조

최근 학교 과학교육의 목표는 과학자나 과학관련 전문가의 양성을 목적으로 하기 보다는, 첨단 과학기술시대를 살아가는 개개인의 과학적 소양의 함양을 위해 개인·사회적 관점의 내용을 강조하는 방향으로 변화하고 있다. 이는 곧 과학교육을 통해 학습하는 내용, 기능, 태도가 학생들의 일상생활과 연결되는 STS교육을 의미한다.

STS교육은 이미 지난 30여 년에 걸쳐 수많은 연구논문에서 논의되어 왔고, 최근 미국의 국가과학교육기준의 근간으로 제시되었으며, 과학적 소양으로 발전되었다고 볼 수 있다. STS교육의 특징들을 살펴보면(NSTA, 1988-89), 학생들은 개인과 지역 사회와 관련된 문제를 찾아내고, 지역사회의 인적·물적 자원을 활용하여 문제를 해결하며, 문제 해결에 요구되는 정보와 기능은 학생 개인의 실생활에 적용할 수 있는 내용들로 구성된다. 따라서 학생들의 과학수업에서 학습한 개념을 일상에 적용하고 자신의 일상생활의 경험을 학교 과학학습에 반영할 수 있다. 학생들은 과학수업에서 학습한 과학의 내용, 과정을 일상생활에서 당면하는 문제 해결에 활용할 수 있어야 할 것이다. 이는 문제해결력으로서의 과학적 창의성으로 설명된다.

과학적 소양은 자연세계를 이해하고 자연현상을 관찰함으로써 느끼는 즐거움과 과학적 방법과 태도를 길러 합리적으로 사고하고 창의적으로 생각하며 문제를 해결하는 능력, 과학과 기술이 사회에 미치는 영향을 이해하고 과학적 정보를 올바르게 사용하여 과학과 기술이 관련된 논점을 토론하고 판단하여 행동에 옮길 수 있는 능력으로 정의된다. 즉, 과학적 소양이란, 개인적인 의사결정, 사회적·문화적 사건에의 참여, 경제적 생산성을 위해 필요한 과학적 개념과 과정에 대한 지식과 이해를 의미한다(National Research Council, 1996).

과학적 소양을 갖추고 있다는 것은 한 개인이 일상 경험에 호기심을 가지고 문제를 제기하고, 이에 대한 답을 찾는 것을 의미한다. 이는 또, 자연현상을 설명하고 예측하는 능력을 갖추고 있다는 것을 뜻한다. 과학적 소양은 대중 출판물에 실린 과학에 관한 글을 읽고 이해할 수 있는 능력을 포함하며, 특정한 결론의 타당성에 대하여 공적인 대화를 나눌 수 있는 능력도 뒤따른다. 과학적 소양은 과학이 관련된 쟁점을 확인하고 과학기술 정보를 토대로 자신의 입장을 표명할 수 있는 능력을 의미한다. 과학적 소양을 가진 시민이라면 정보의 원천과 정보를 얻기 위하여 사용한 방법을 분석하여 과학적 정보의 질을 평가할 수 있어야 한다. 과학적 소양은 또한, 과학적 증거에 근거하여 주장하며, 제시된 주장을 과학적 증거에 비추어 평가하고, 도출한 결론을 적절하게 적용할 수 있는 능력을 의미한다(National Research Council, 1996).

이와 같은 실생활과 연계되는 개인·사회적 관점의 STS/과학적 소양을 강조하는 과학교육은 장차 학생들이 사회인으로 생활하면서 직면하게 될 문제 해결 상황에 필요한 지식, 가치, 태도, 방법을 제공할 수 있다. 이는 또한 21세기의 과학자들이 개인, 사회, 정치, 경제 문제와 연결되는 과학연구를 추진할 수 있는 바람직한 기반을 마련해 줄 것이다.

4. 사회 문제 해결 중심의 탐구과정 강조

지난 20세기 과학교육에서는, 탐구중심의 과학을 강조하여, 학생들이 과학자가 사고하는 방법과 영역별 새로운 이론을 발견해 가는 과정을 학습하는 것을 주요 목표로 삼아왔다. 그러나 오늘날 과학 연구의 특징은 사회·경제적 발전과 개인의 삶의 질 증진을 위하여 과학의 지식을 이용하는 추세이며, 이러한 측면에서 사회적 탐구과정을 강조해야 할 것이다.

과학적 탐구는 자연 세계를 대상으로 밝혀진 기존의 발견을 재증명하거나 새로운 지식을 발견하는 과정이며, 객관적이며 양적인 측면의 정보를 강조한다. 반면, 사회적 탐구는 실험실과 실생활과의 연결시키고 그 결과는 주관적이며 질적인 측면의 정보를 강조한다. 사회적 탐구는 객관적이거나 예측하기보다는 정치, 경제, 법률, 도덕, 가치의 측면에서 주관적인 결과를 낳는다. 사회적 탐구는 과학 지식을 인간사회에 활용하는 과정으로 과학적 탐구보다 더 높은 고차원 사고력을 요구한다.

사회적 탐구과정의 과학교육은, 학생들이 개별 탐구보다는 그룹 탐구를 통하여 조원들의 다양한 의견을 조율하고 개인, 사회, 문화적인 측면을 고려하면서 과학적 문

제를 해결해나가는 경험을 쌓게 되며, 문제의 포괄적인 견지를 이해하게 된다. 즉 과학교육의 사회적 탐구과정은 사회·문화적 맥락의 문제를 해결하는 능력의 창의성과 결부됨을 알 수 있다.

VII. 탁월한 과학적 창의성과 과학영재교육의 방향

이미 발견된 사실에 근거한 과학의 지식을 습득하는 데에서 탁월한 과학적 창의성이 발휘된다고 볼 수 없다. 논리적 접근방법에 기반을 둔 관찰을 통해서 이론과 법칙을 산출하는 것이 과학적 창의성이라고 생각한다면, 이는 과학을 잘못 오해하고 있는 것이다. 과학교육이 탁월한 과학적 창의성을 추구하고자 한다면, 소위 실험결과 중심의 과학적 방법만을 강조해서는 안 될 것이다. 많은 교사들은 학생들이 관찰과 실험 결과에 근거하여 과학 지식을 이론화하기를 기대한다. 이와 같은 교수방법은 학생들이 학습한 내용에 직관, 상상력, 전체적 관점 등의 요소를 적용할 수 있는 기회를 제공하지 못한다.

학교 과학교육을 통해 탁월한 과학적 창의성을 제공하고자 한다면, 학생들에게 기존 관념을 벗어나는 관점에는 자연세계를 관찰하고 탐구할 수 있는 학습기회를 제공해야 할 것이다. 과학교육이 이미 과학자들이 만들어 놓은 과학지식에 자연현상을 맞추어 넣으려는 식의 학습기회를 제공해서는 안 될 것이다. 이러한 관점에서 간학문적·통합적 교육과정의 접근이 필요하다. 일방향적 접근방법이나 기존의 과학지식을 적용하는 문제해결능력에만 중점을 두는 것은 바람직하지 못하다. 학생들의 개인적 삶의 의미를 발견하는 탐구에 가치를 두고 예술적 능력을 발휘할 수 있는 보다 전체적 접근방법을 강조하여 과학적 창의성을 발휘할 수 있는 잠재력을 자극하는 데 중점을 두어야 할 것이다.

21세기 과학교육 개혁의 방향은 과학적 소양을 추구하는 데 집중되고 있으며, 여기에는 개인적 차원에서 과학기술 관련 지식, 정보를 올바르게 이해하고 태도와 기능을 습득하여, 개인적, 집단적, 사회적 문제를 해결하는 데 적용하는 능력의 과학적 창의성이 포함된다. 급변하게 발전해온 21세기 현대 과학의 특징을 살펴보면, 첫째, 기존의 고전적 순수 과학의 의미를 탈피하고, 과학기술에 기반을 두고 있으며, 둘째, 무수

히 많은 영역으로 세분화·혼합화되고 있다. 셋째, 사회·경제적 측면과 연관된 과학 문제를 해결하는 연구에 치중되고 있다. 넷째, 문제 해결력 측면이 강화된 기능적 과학기술 연구들이 강조되고 있다. 다섯째, 팀으로 구성된 과학자들에 의해 연구되고 있다. 여섯째, 과학의 실용적 지식을 강조하는 연구들이 주류를 이루고 있다. 일곱째, 인간화·사회화 경향이 두드러지고 있다. 과학교육은, 이러한 현대 과학의 특징들을 반영함으로써, 시대적 변화에 따른 사회적 요구를 만족시키게 될 것이다.

결론적으로 과학적 소양에 기반을 과학적 창의성을 추구하는 과학교육의 방향은, 첫째, 과학기술의 내용을 도입하며, 둘째, 통합적 과학 개념을 도입하고, 셋째, 개인·사회적 관점을 강조하고 넷째, 사회 문제 해결 중심의 탐구과정을 강조한다. 특히 과학영재교육을 통해 강조해야 할 탁월한 과학적 창의성은 첫째, 구체화된 자료를 전체적 관점에서 상상력을 적용하여 해석하고, 둘째, 과학적 과정에 예술적 관점을 적용하며, 셋째, 직관적 관점에서 과학의 현상을 해석하고 넷째, 개인적 만족감을 추구하는 데서 발휘된다. 과학수업에서 학생들이 이상과 같은 요소들을 경험할 수 있을 때 과학적 창의성 신장 과학교육/과학영재교육이 실현된다고 볼 수 있다.

참고문헌

교육부. (1997). 과학과 교육과정. 교육부

Barron, F. (1969). *The creative person and the creative process*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Bybee, R., & DeBoer, G. (1994). Goals for the science curriculum. In *Handbook of Research in Science Teaching and Learning* (pp. 357-387). Washington, DC: National Science Teachers Association.

Csikszentmihalyi, M., & Wolfe, R. (2000). New conceptions and research approaches to creativity: Implications of a systems perspective for creativity in education. In: K. Heller, F. Monks, R. Sternberg, & R. Subotnik (eds.), *International handbook for research on giftedness and talent* (pp. 81-93). Oxford: Pergamon.

Gardner, H. (1993). *Creating mind*. New York: Basic Books.

Heller, K. (2002). Identifying and nurturing the gifted in math, science and technology. In *Proceedings of International Conference on Education for the Gifted in Science* (pp. 51-90). Korean Society for the Gifted: Seoul.

Hurd, P. (1997). *Inventing science education for the new millennium*. New York: Teachers College Press.

Hurd, P. (1998). Scientific literacy: New minds for a changing world. *Science Education*, 82(3), 407-416.

Hurd, P. (2000). Science education for the 21st century. *School Science and Mathematics*, 100(6), 282-288.

Innamorato, G. (1998). Creativity in the development of scientific giftedness: Educational implications. *Roeper Review*, 21(1), 54-58.

Katz, A. (1984). Creative styles: Relating tests of creativity to the work patterns of scientists. *Personality and Individual Differences*, 5, 281-292.

Lubart, T., & Sternberg, R. (1998). Creativity across time and place: Life span and cross-cultural perspectives. *High Ability Studies*, 9(1), 59-74.

- Meador, K. (2003). Thinking creatively about science: Suggestions for primary teachers. *Gifted Child Today*, 26(1), 25-29.
- Michalko, M. (1998). Thinking like a genius: Eight strategies used by the supercreative from Aristotle and Leonardo to Einstein and Edison. *Futurist*, 32(4), 21-25.
- Miller, A. (2000). *Insights of genius*. Cambridge, MA: MIT Press.
- National Research Council. (1996). National Science Education Standards. National Academy Press: Washington DC.
- Simonton, D. (1988). *Scientific genius; A psychology of science*. New York: Cambridge University Press.
- Trost, G. & Sieglen, J. (1992). Biographical early indicators of vocational success. In E.A. Hany & H. Nickel (Eds.), *Giftedness* (pp. 95-104). Bern: Huber.
- Taylor, C., & Barron, F. (1963). *Scientific creativity: Its recognition and development*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Yager, R. (2000). A vision for what science education should be like for the first 25 years of a new millennium. *School Science and Mathematics*, 100(6), 327-341.

Abstract

Directions of Science Education for the Gifted and Scientific Creativity

Hae-Ae Seo

The article attempts to suggest s a direction of science education in terms of development of creative human resources based on discussion about scientific literacy and scientific creativity. Students are supposed to develop scientific attitude, inquiry skills, problem solving ability through science learning, and be prepared for the 21st century of rapidly developing age. The paper introduces definitions of scientific literacy and scientific creativity and discuss their meanings within science education in general as well as for the gifted. To enhance students' scientific creativity, science education should strengthen content of science related to technology, integrated science content, personal and social views, social inquiry for problem solving. In particular, science education for the gifted should emphasize students' holistic views in interpreting data, ability to connect artistic aspects to science process, intuitions to explain scientific phenomena and pursue of personal satisfaction. It may be said that science education and science education for the gifted is realized when students have opportunities to experience such elements in their science learning.

Key words : science education for the gifted, scientific creativity, scientific literacy

1차 심사: 2004. 1. 15.

2차 심사: 2004. 3. 10.