

# 현대 과학교육의 동향과 시스템사고 패러다임의 비교 연구

김만희 · 김범기  
(한국교원대학교)

## A Comparative Study of the Trends of Current Science Education and the System Thinking Paradigm

Kim, Manhee · Kim, Beomki  
(Korea National University of Education)

### ABSTRACT

The purposes of this study are to understand the trends of current science education compared with thinking paradigm and to find the direction of reform in holistic view. It is divided into three parts. Firstly, significant trends of science education during the late 20th century were examined. Secondly, the current society was discussed, particularly focused on the thinking paradigm. Thirdly, the science education trends and thinking paradigms were compared. The results are 1) A major goal of contemporary science education is the scientific literacy, for which the constructivist and STS class are introduced, 2) Thinking paradigm is changing from analytics to systemics, and 3) Compared the current science education and system thinking paradigm, they seem consistent in respect of looking for the whole-part relationship.

**Key words:** system thinking paradigm, linear thinking, current science education.

### I. 서 론

20세기 후반 들어 세계 과학교육의 동향은 크게 변화하고 있으며, 거의 모든 나라에서 비슷한 양상으로 전개되고 있다. 전통적 과학교육의 인식론적 배경인 객관주의는 선형적 사고(linear thinking)를 기초로 한 분석적 방법과 부분적 이해를 통해서, 관찰자가 관찰 대상 전체를 객관적으로 인식하여 절대 진리를

획득할 수 있다는 신념 체계이다. 이러한 과학적 방법론과 인식론적 신념은 근대 과학의 결실로 그 진가가 입증되면서, 소위 분석적 사고 패러다임(analytic thinking paradigm)은 물리적 세계 뿐 아니라 교육을 포함한 정신 영역에 이르기까지, 거의 모든 학문 분야에서 점차 견고한 지위를 차지하게 되었다.

그러나 역설적으로 과학기술 문명의 발달과 물질적인 풍요는 그 모태가 되어준 선형적 사고를 한계 상

\*2001.7.24(접수) 2001.11.16(1차 수정) 2002.1.28(최종 통과)

\*\*이 논문은 2001년도 BK21사업에 의하여 지원 되었음.

황으로 몰고 갔다. 즉 이러한 방법론으로는 범지구적 문제로 증가하는 각종 비선형적(nonlinear) 자연 현상과 복잡한 사회 문제를 해결할 수 없었기 때문이다. 또한 과학교육제도 객관주의 인식론과 분석적 방법론의 한계를 탈피하여, 교육 현상을 실제에 가깝게 설명할 수 있는 유연한 이론과 효과적인 방법을 찾는 노력이 활발하게 이루어지고 있다.

1980년대 이후 과학교육에의 여론은 과학 지식이나 탐구 방법보다는 시민의 과학적 소양을 우선적으로 요구하면서, 구성주의 학습 이론과 STS 전략이 활기를 띠었다. 이에 따라 학습자 중심의 능동적 학습 및 학제간 사고를 중시하는 다양한 통합 교육과정들이 개발되었고, 다른 한편으로는 비형식적 과학교육 방안을 확대함으로써 대중의 과학 이해를 증진하려는 노력도 병행하고 있다(Jenkins, 1991 등). 이러한 현대 과학교육의 동향은 20세기 말부터 가속된 정보화 및 후기 산업사회에 대처하기 위하여, 전 학문 분야에서 동시에 등장하고 있는 시스템 사고 패러다임(system thinking paradigm)과 유사하다. 즉 부분적 성질을 탐구하는 이외에도, 전체적 관점을 가지고 부분과 부분, 또 부분과 전체 사이의 상호작용을 탐구하려는 노력이 더해진 것이다(Capra, 1982; Toffler, 1990; 삼성경제연구소, 1996 등).

교육은 시대를 반영하며, 또한 그 시대의 요구를 반영해야 한다(Bruner, 1960). 따라서 과학교육제도 당대의 사회적 요구를 전체적 관점에서 검토하려는 노력과 대화가 필요하다. 그러나 지금까지의 과학교육 연구는 교수-학습 방법이나 실험 장치 개발에 숭한 개별적 노력을 투자한 반면, 과학교육의 정체성 및 당면한 중요 이슈를 이론적으로 이해하려는 노력 및 공동체간 교류는 상대적으로 부족하였다(Bruner, 1996; 조희형, 1998; Yager et al., 1999; 이흥우, 2000 등).

본 연구의 목적은 현대 과학교육의 동향을 사고 패러다임의 변화와 연계하여 논의함으로써 과학교육 현상을 이론적으로 이해하고자 하는 것이며, 나아가 과학교육 연구 방향 설정에 기여하고자 한다. 따라서 본 연구는 먼저 과학철학 및 인식론적 배경에서 근대 과학교육의 주된 흐름을 간단히 논의할 것이다. 그리

고 20세기 후반 들어 패러다임화 하고 있는 시스템 관련 이론을 개략적으로 고찰한 후, 현대 과학교육의 동향과 비교하여 그 공통점과 새로운 가능성을 검토하고자 한다.

## II. 연구의 접근 방법

과학교육 연구의 접근 방법을 돌로 나눌 때, 그 하나는 종합적이고 거시적인 접근으로 관련 환경과의 상호관계를 밝혀 과학교육의 목적을 달성하고자 하는 것이다. 다른 하나는 분석적이고 미시적인 접근으로 과학교육 자체의 목적, 내용, 방법, 평가 등에 관한 연구로서 교수-학습의 의미, 개체론적 연구가 이에 속한다(박승재, 조희형, 1998). 따라서 과학교육의 동향을 사고 패러다임과 연계하여 그 중심 성격을 논의하고자 한 본 연구는 거시적 접근 방법을 취하였고, 문헌분석과 논리적 추론을 통해 이루어졌다.

또한 본 연구에서는 거시적 과학교육관을 받아들여, 과학교육이란 인간을 목적으로 하고, 과학과 교육을 수단으로 하여 이루어지는 인간의 실제적 행위로 사회 문화적 과정(박승재, 1980)으로 보았다. 특히 모든 관계성이 복잡해진 현대사회에서 바람직한 과학교육의 위상은 인간-사회-자연-과학의 상호 관계에서 연계자로 역할해야 한다는 Fig. 1의 위치 모형(윤선진, 1996)을 선택하여 과학교육을 이해하는 한 준거로 삼았다.

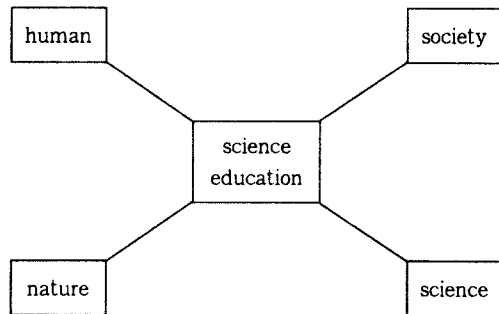


Fig. 1. The linkage model of science education (Yoon S. J., 1996)

### Ⅲ. 현대 과학교육의 동향

한 시대의 과학교육의 패러다임은 과학을 가르치는 사회 문화적 배경에 의해 형성되며, 각 세대는 그 시대가 형성하는 포부에 적합한 새로운 형태의 과학교육을 도모한다(Bruner, 1960). 그러나 전통적 과학교육은 급속하게 변화하는 현대사회에 적절하게 대비하지 못하였다. 1980년대 미국에서만 300개도 넘는 보고서가 교육개혁을 부르짖었다. 교육에서 그런 광범한 개선노력은 역사상 선례가 없었다(Bybee & DeBoer, 1992; Yager, 1999). 그리고 이들은 과학교육 개선을 위한 일차된 권고를 하고 있다. 본 연구에서는 1980년대 이후 과학교육 동향을 과학철학 및 인식론적 배경과 연계하여 과학교육 목표와 수업 현상의 변화를 중심으로 검토하고자 한다.

#### 1. 과학철학 및 인식론의 변화

과학철학은 과학에 대한 철학적 탐구행위로, 그 대상 영역을 크게 두 분야로 나눈다. 그 하나는 과학 법칙 및 이론과 실험 등으로 구성된 과학 자체의 본성에 관한 것이고, 다른 하나는 철학, 역사, 사회성 등으로 특징지어지는 메타과학이다(장희익, 1990; 박승재 등, 1994). 그리고 과학철학의 핵심은 과학 지식의 본성에 대한 인식과 신념으로 나타나며, 또한 과학교육의 방법과 과정에 절대적 영향을 미친다(송진웅 등, 1997; 조희형, 1998).

과학교육을 지배해온 과학철학은 전통적인 귀납주의가 1930년대 이후 논리실증주의에 의해 더욱 강화되었으며, 이어서 과학적 검증의 허구를 지적하는 반증주의가 나타났다. 그러나 Kuhn(1970)이 과학 패러다임간의 불가공약성을 제기하면서부터 과학지식의 진리성을 인정하지 않는 상대주의가 득세하고 있다(목영해, 1998; 조영태, 1999). 그 이후로 학계에서는 전통적 인식론을 주도하면서 과학지식에 권위를 부여 하였던 정초주의(foundationalism)가 무너지고 있는 추세이지만, 현장 과학교사들이 지니고 있는 과학철학은 아직도 인식의 정초를 인정하는 귀납주의에서부터 모든 권위를 부정하는 상대주의에 이르기까지 다

양한 신념이 여전히 공존하고 있는 상황이다(소원주, 1998).

현대 과학교육의 이론적 근거로 자리잡은 구성주의(constructivism)는 비록 통일된 관점으로 이해되지 못하는 취약점을 지니고 있기는 하지만, 대체적으로 인식론적 상대주의로 분류된다(Matthews, 1994). 과학지식의 형성에 관한 구성주의 인식론은 교수-학습 영역에서 강한 호소력을 발휘하는 반면에, 과학교육의 포스트 모더니즘 현상이라거나(강인애, 1999) 위협한 지적 경향으로 평가되기도 한다(Jenkins, 2000). 그러나 이와 같은 지적 배경에서 과학교육도 이제 단순화된 실험실 상황에서만 이루어지던 개별적(individual) 탐구 방식과 고립된 지식의 형태를 벗어나, 문화적 상황과 사회적 상호관계 및 내러티브(narrative) 교육으로까지 관심의 범주를 확대하고 있는 추세이다(Ziman, 1980; Bruner, 1996).

#### 2. 과학교육 목표의 변화

과학교육에 깔려있는 목표의 검토는 교육과정의 역사적 변화나 현재 경향의 차이들을 기술하고 확인하는데 특히 유용하다. 과학교육 목표는 크게 과학 지식의 이해, 과학적 방법의 이해와 활용, 개인과 사회의 발달 촉진이라는 세 가지로 나눌 수 있으며, 교육과정이나 수업 현장에서 그 우선 목표가 드러난다(Bybee & DeBoer, 1992).

과학지식 목표는 18세기 이후 지속적으로 우세한 지위를 유지해 왔다. 19세기에는 정신 도야 측면에서 과학방법과 함께 과학개념의 의미있는 학습이 강조되었고, 교육과정도 구체화되었다. 19세기 후반에는 과학지식 목표가 사실 제시 수준을 벗어나 더욱 광범한 과학적 일반화로 확대 적용되었다. 20세기 들어 국가 경제 및 국방의 목적으로 지식 목표는 더욱 견고해지던 차에, 1950년대 후반에는 지식의 구조라는 범학문적 개념 도식을 가르치려는 쪽으로 전환하였다(Bruner, 1960). 그러나 정보의 양이 늘어나면서 지식 목표는 포화 상태가 되었고, 점점 추상화하였다. 따라서 과학지식 목표를 더욱 정제하려는 노력이 다각적으로 이루어졌다.

두번째 목표는 과학적 방법이다. 과학적 방법의 이해와 활용은 1800년대 후반부터 부각되어, 이 목표가 교실에서는 관찰, 묘사, 실험 등으로 나타났다. 과학실험실은 19세기 후반의 주요한 혁명이었다. 20세기 초에, 진보주의 교육자들은 과학적 방법 목표를 과학교육과정의 최고 지위에 올려놓았으며, 과학적 방법을 체험함으로써 사회적 문제 해결 능력이 신장된다고 보았다. 이를 위해서 실험실 수업과 시범 실험이 효과적이라고 여겼다(Dewey, 1944). 그러므로 중요한 것은 과학적 방법을 가르치는 이유가 달라졌다는 데에 있다: 19세기 후반에는 개인의 정신 발달이 목적이었다면, 20세기 전반에는 사회문제를 해결하기 위함이었으며, 1960년대에는 과학지식을 획득하는 한 방법으로 남았다. 그리고 세월이 갈수록 과학교육과정 및 수업 현장에서 이 목표의 비중은 점점 더 높아졌다(DeBoer, 1991).

끝으로, 개인과 사회의 발달 목표는 과학교육사에서 분명하게 정의된 방법론을 가지고 있지 않다. 초기 문헌에서는 '기능 개발'과, 초등 교육의 목표로서 자연적인 '어린이 발달'을 논의했고, 진보주의자들은 교육의 목표로서 아동의 전인(全人) 발달에 중점을 두고자 했다. 교사가 이 목표를 성취하고자 할 때, 학생들의 개인적 체험은 중요하다. Piaget(1973)는 아동이 인지적, 사회적으로 발달하는데 있어서 그들 자신의 생각, 활동 방법, 경험 등은 중요한 수단이 된다고 보았다. 특히 심리학자들의 개인 성장에 관한 연구가 축적되면서, 발달 목표는 변화하고 새로워졌다. 그러나 이 목표는 거의 언제나 다른 목표에 숨은 인자로서 존재하였다. 그리고 발달 목표는 경제나 환경과 같은 사회적 이슈와 나란히 나타났으며, 그 지위

는 다른 목표에 비해 불안정하였다(Bybee & DeBoer, 1992).

발달 목표는 19세기의 주지주의적 교육 방법에 반발하여 등장한 진보주의 교육 시대에 강하게 부각되었고, 그 이후로는 최근의 STS와 과학소양 운동에 편승하여 부활하였다. 특히 미국은 1985년부터 76년간 진행될 개혁안인 Project 2061에서 새로운 페러다임의 과학교육 개선 방안을 택하면서, 과학적 소양(scientific literacy)에 기초하여 과학교육목표를 다시 진술하는 작업을 먼저 시작하였다. 이를 포함한 개혁안의 철학적 배경을 전 시민에게 알릴 목적으로 저술한 '전 미국인을 위한 과학(Science For All Americans)(AAAS, 1989)'은 현대 시민에게 필수적으로 요구되는 과학적 소양의 기준과 내용을 자세히 제시하였다.

특히 수업을 가르치는 교사가 지식, 방법, 발달 중 어느 것을 더 강조하는가 하는 것은 교사의 과학철학과 깊은 관련이 있으며, 그 관계는 Fig. 2 와 같다. 과학지식 목표는 논리실증주의 및 귀납주의와 관련되고, 과학적 방법 목표는 반증주의에서 우세하며, 발달 목표로서의 과학적 소양은 과학의 사회적 맥락과 연관되며 STS적이고 상대주의적인 접근으로 이해된다(조희형, 1995).

### 3. 수업 현장의 변화

근대의 학교 과학교육은 서구의 영향에 힘입어 생활 중심기, 학문 중심기를 거쳐 최근의 과학소양 시대로 변천하여왔다. 1980년대 후기에 과학적 소양이라는 이슈와 더불어 산업과 경제의 경쟁성은 과학교

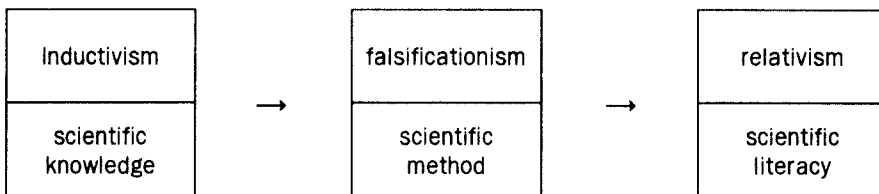


Fig. 2. The relation between changing science philosophy & science education goal

육의 질적 향상을 촉구하였고, 이에 따라 광범한 과학교육과정 개혁이 이어졌다. 미국의 개혁 노력이 효시가 되어서, 모든 시민을 위한 균형 잡힌 과학교육과정 설계 작업은 전세계로 파급되었다(Jenkins, 1991).

최근에 학교 과학교육은 학습에 대한 좀 더 복잡한 구성주의적 관점을 반영하고 있으며, 학습을 돕는 교사의 역할을 더욱 중시하고 있다(Yager, 1992; 1999). 또한 과학과 기술, 사회 사이의 관계를 강조하고, 과학의 역사 및 철학과 분명하게 관련되는 요소를 교육과정과 연합하여 학생들에게 과학적 과업의 본성에 대한 통찰력을 심어주는 방향으로 수업 현장을 개선하고 있다(NSTA, 1982; 1991; Matthews, 1994).

특히 AAAS(1992)는 과학교육 개선을 위한 새로운 관점을 Table 1과 같이 제시하였다. 즉 과거의 개선책이 부분적이고 분석적인데 비해, 지금은 각 요소 간의 유기적 연결을 중시하는 시스템적 접근을 시도하는 것으로 보인다. 또한 이들은 새로운 개혁안을 성취하기 위해 구성주의 학습 이론과 STS 수업 전략을 적극 권장하면서, 동시에 다양한 교육자료를 일선 현장에 제공하는 온라인 시스템을 구축하고 있다.

하나의 이론은 메커니즘을 필요로 하며 구성주의 이론이 학생에게는 개념 변화 메커니즘으로, 교사에게는 STS 교수 전략으로 나타난다는 것이다(Yager, 1996).

#### IV. 시스템 사고 패러다임

20세기 후반에 등장한 후기산업사회(post-industrial society)는 탈 근대적(post-modern) 분기점에 있으며, 정보가 핵심개념으로 등장한 정보화 시대(information age)로서 모든 변화가 가속화하면서 지식 정보의 양도 폭주하고 있다(Bell, 1973; Toffler, 1990). 이에 따라 눈부신 과학기술문명을 낳은 근대의 분석적 사고 패러다임의 위력도 급속히 무력해지고, 반면에 복잡한 자연, 사회 현상을 해결할 수 있는 대안으로서 시스템 사고에 근거한 새로운 패러다임이 형성되고 있다(Capra, 1982; Bateson et al, 1987).

##### 1. 사고 패러다임

본 연구에서는 사고 패러다임을 어느 한 사회에 정

Table 1. The perspective of project 2061 (AAAS, 1992)

Now	Before
long term	quick fix
science literacy	technical sophistication
systemic change	patchwork
collegial consensus	official wisdom
scientists & educators	either alone
research based	compilation
conceptual understanding	isolated facts
connection	coverage
teachers creating change	teachers only implementing
cross-grade teamwork	traditional isolation
shared learning	tracking
interdisciplinary	subject specific
all schools	select schools
alternative curriculum	a new orthodoxy

착된 보편적 사고체계로 정의한다. 이러한 사고 패러다임은 학자 사회의 광범한 공감대를 성취한 하나 또는 그 이상의 특정 철학 및 과학사상에 견고한 기반을 두고서, 서서히 대중에게로 확대되어 패러다임화한다. 그러므로 사고 패러다임은 특정 사회 문화를 창출하는 기반이 되면서, 사회적, 개인적 신념체제로 발전한다(김만희, 2000).

사고 패러다임은 역사적, 사회적 산물이며, 시대와 사회에 따라 서로 다른 내용과 형식을 취하고 사고 패러다임을 분류하는 기준도 다양하다. 본 연구에서는 전체와 부분의 관계를 보는 관점을 역사적 발전 순서에 따라 전체론(holistics), 분석론(analytics), 시스템론(systemics)의 세 가지 사고 패러다임으로 분류하는 기준을 따랐다(박창근, 1997).

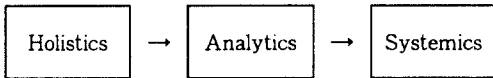


Fig. 3. Changing thinking paradigm

고대 그리스·로마 시대와 중세의 과학에서 지배적인 지위를 차지한 사고 패러다임은 전체론이었다(Gourinat, 1969). 그들은 자연 현상의 세부를 알 수 없었기에 자연을 하나의 전체로 보고 총체적으로 어렵듯이 고찰할 수밖에 없었다. 전체론에 의하면, 유일하게 실재하는 것은 전체이며 구성 부분이 아니다. 전체는 구성 부분을 초월한 총체이며, 전체가 됨으로서 나타난 새로운 성질인 총괄성(wholeness)은 창발(創發)한 것으로서 부분의 성질로 환원될 수 없다고 여겼다.

16세기 이후 근대 과학의 모태가 된 사고체계는 Descartes(1637)의 분석론 철학에서 출발한다. 근세의 과학혁명을 계기로 자연과학이 중세철학에서 벗어나 자연의 비밀을 풀어 나갈 때, 그들은 전체의 껍질을 부수고 전체의 내부를 탐색하기 시작하였다. 자연을 수없이 조각 내어서, 전체를 구성하는 각 부분, 그리고 부분의 부분을 탐구하는 분석적 방법을 사용하였으며, 전체는 이러한 부분들의 선형적 집합으로 환원될 수 있다고 전제하였다.

근대 이성의 시대(age of reason)를 주도하던 분석적 사고체계는 선형적(linear)이다. 복잡한 변인이 작용하는 실제 현상도 Fig. 4 와 같은 실험실 상황으로 단순화시켜서 단선적 인과관계를 적용하여 설명하고자 했으므로, 그 한계는 필연적이었다(김도훈 등, 1999).

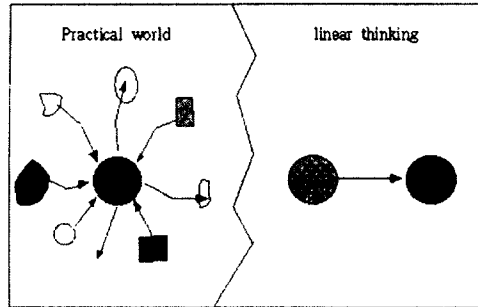


Fig. 4. Practical world and linear thinking (Kim D.H. et al, 1999)

나아가 분석적이고 선형적인 사고는 대중에 보급되면서 극단적 과학주의(scientism)로 발전하였으며 19세기 후반에 그 절정을 이루었다. 그리고 현재도 여전히 유효하고 강력한 사고체계로서 눈부신 과학기술 문명을 낳는 성과를 보였으나 복잡한 사회문제 및 환경오염 등을 다산함으로서 역설적으로 그 모태의 한계를 드러내었다(Bateson et al, 1987 등).

특히 전문성의 심화와 극단적 부분론에 빠진 인간은 전체의 존재를 망각하거나, 부분 요소들을 조정하고 통합할 능력을 확보하지 못함으로써, 과학의 발달은 인류사에서 오히려 재앙이나 퇴보로 평가되기도 한다. 분석적 부분론에 의하면 유일하게 실재하는 것은 부분이지 전체가 아니다. 총체로서의 전체는 하나의 추상적 개념으로, 창발성(emergence)이나 총괄성(gestalt)이란 것은 애초 존재하지 않으며, 전체의 변화는 오로지 각 부분의 변화의 합이라고 믿는 것이다.

이에 비해 20세기 중반 이후 나타난 시스템론은 고대의 전체론과 근대 분석론의 합리적 내용을 비판적으로 수용하여 형성된 것이다. 즉 부분은 전체의 부

분이라는 점을 무시하였던 근대 과학의 분석적 신념 체계는 상대성 이론과 양자역학에 의해서 이미 그 한계를 드러내었다. 부분과 부분, 혹은 부분과 전체간의 상호작용 개념이 물리학의 사실로 입증된 것이다. 따라서 전체와 함께 전체의 부분 요소들도 모두 실재(實在)한다. 전체란 분석론 관점에서처럼 각 부분의 단순한 무더기도 아니고, 전체론에서와 같이 각 부분을 초월하는 추상적 총체도 아니다. 따라서 전체는 상호 연관되는 각 부분에 의해 구성된 통일체로서 시스템과 동일한 개념으로 정의된다. 시스템으로서의 전체는 총괄성을 가지는데, 이런 성질은 각 부분 및 그 상호관계에 의해 창발한 것으로 각 부분의 성질과는 다른 그 무엇이다. 그러므로 이러한 접근 방법은 구조적 복잡성이 증가하고 그 변화 양태도 극히 불안정하며 비평형적인 현대사회에서는 필연적으로 요청된다 할 것이다(Forsyth, 1991; 삼성경제연구소, 1997 등).

## 2. 시스템 사고 패러다임

어떤 차원의 현상이 어느 정도 이상의 양적 성장을 이룩하면 필연적으로 이보다 한 차원 더 높은 새로운 단계로의 질적 변환(meta-system transition)이 일어난다(Turchin, 1977). 현대 과학은 바야흐로 메타 시스템 전환을 이룩할 시점에 이르렀다. 과학지식의 양적 팽창과 전문성의 심화로 인한 분야간 간극은 바로 이웃 분야의 전문가끼리도 의미있는 학문적 대화를 나누기 어려운 상황이 되었기 때문이다(장희익, 1990).

근래 이러한 질적 도약을 위한 시도들 중의 하나가 전체적 이해와 종합적 접근 방식을 주장하는 전체론 철학이다. 인간이 자연과 사회를 개조하는 이 시점에서, 근대의 부분적 과학사상이 새로운 과학사상으로 대체되어야 한다는 것은 역사적 필연이며, 그 대안의 하나가 시스템 과학사상일 것이다. 따라서 당대의 대부분 학문 분야들이 연구 대상 영역에 관계없이 시스템적 패러다임으로 수렴하고 있는 것은 세계적인 추세이다(Waldrop, 1992).

과학적 연구의 대상이 되는 우주만상은 크게 세 가

지로 분류한다. 그중 고전역학은 조직성 있는 단순한 사물을 대상으로 하고, 고전 통계물리학은 조직성 없는 복잡한 사물을 다루며, 시스템 과학은 조직성 있는 복잡한 사물을 연구하는데 이는 과학 발전의 3 단계로 나타나고 있다. 따라서 현대 과학의 관심은 세 번째 단계인 시스템 과학 분야로서, 광범한 영역에서 연구되고 있다(박창근, 1997).

시스템은 상호작용하는 요소나 시스템의 복합체로 정의되며, 정체성(identity), 전체성(wholeness), 복잡성(complexity)을 그 속성으로 한다. 또한 일반 시스템은 Fig. 5 와 같이, 환경으로부터 일정한 입력을 요하며, 이를 전환 과정을 통해 출력하고 다시 피드백한다.

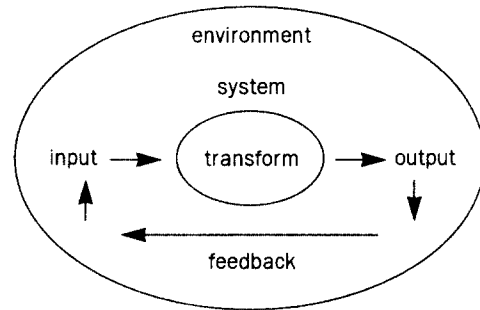


Fig. 5. The model of general system (Bertalanffy, 1968)

일반 시스템(general system) 이론은 최근에 비선형(nonlinear), 비평형(nonequilibrium) 시스템을 집중 연구하는 복잡성 과학(complex science)으로 발전하였으며, 자기조직화(self-organization) 및 카오스(chaos), 프랙탈(fractal), 공진화(co-evolution) 이론 등을 도입하여 견고한 이론 체계를 구축하고 있다. 이와 같은 복잡 시스템(complex system)은 사회 조직이나 생태계와 같이 살아있는 생물로 구성된 시스템으로서, 물질 시스템과는 동역학적 측면에서 근본적으로 다른 기능이 발현되므로 종래의 방법론으로는 변화를 예측하기 어렵다. 즉 근대 과학의 분석적 방법론의 가정은 시스템을 이루는 구성 요소간의 상호작용과 순환 고리가 무시할 만하거나 혹은 본질적

으로 선형적이기 때문에 구성요소들을 다시 결합해 주면 전체 시스템의 행태를 알 수 있다는 것에 근거한다. 그러나 복잡 시스템은 이러한 환원론적 접근법의 가정에 위배되기 때문에 고전과학의 관점에서는 이해가 불가능하다. 즉 전체는 부분의 합 이상의 그 무엇이며, 부분과 부분 사이의 상호작용과 상호관계는 새로운 탐구의 대상이 된다(삼성경제연구소, 1997).

여러 분야에서 출발한 시스템 관련 연구는 아직 학문적 통합이 이루어지지 않은 상태이다. 그러나 대개 시스템학(systemology)은 시스템론(systemics)을 사상 기초로 하고, 시스템론은 시스템학을 과학 기초로 하며, 시스템 이론(system theory)이란 시스템 과학(system science)에서 얻은 각종 이론을 의미한다. 시스템 과학은 시스템의 유형(pattern), 일반 성질, 운동 법칙 및 시스템 방법과 그 응용에 관한 과학기술 영역이며, 시스템학은 시스템 과학의 기초 이론으로서 일반 시스템의 기본적인 개념과 성질, 법칙 및 분류에 관한 학문 영역이다(박창근, 1997).

특히 과학의 한 분야로서의 시스템 과학은 생물학자 Bertalanffy(1968)가 '일반 시스템 이론(general system theory)' 개념을 처음 발표한 1937년부터 시작하여 약 60여 년의 역사를 가지고 있다. 그 이후 시스템 과학은 자연과학, 사회과학, 공학 및 지구환경과 시장, 기업에 이르기까지 거의 모든 영역에 광범하게 적용되고 있으며, 현재 미국의 SantaFe 복잡성 연구소는 이들의 학문적 통합을 추진하고 있다.

시스템 사고 패러다임의 기초가 되는 시스템 사고(system thinking)는 단선적이 아닌 순환적 인과관계를 전제하는 복잡계와 대면할 때 필요한 사고 양식이며, 역동적 사고(dynamic thinking), 피드백 사고(feedback thinking), 조작적 사고(operational thinking)의 상호 관련 속에 운용되는 전체적 관점의 사고를 의미한다(김도훈 외, 1999). 본 연구에서는 시스템론, 시스템학, 시스템 과학, 시스템 이론, 시스템 사고로 불리는 각 분야의 유사한 흐름을 통틀어 시스템 사고 패러다임(system thinking paradigm)이라고 통칭하였다.

## V. 과학교육과 사고 패러다임

전통적 과학교육은 과학적 방법론, 즉 단선적 인과관계와 부분적 이해를 무기로 하는 분석적 사고체계에 근거하였다. 이에 기초가 되는 선형적 사고란 그 기저에 이미 정답을 설정한 것이므로, 무질서해 보이는 비선형 시스템이나 모호한 인간 감정은 자연히 도외시하며, 기계론적 결정론의 관점에서 대상을 관리 통제하려 한다. 그러나 과학교육은 오랜 인식론의 역사를 통해서도 분명히 규명되지 않은 매우 복잡한 인간의 학습 과정에서 출발하며, 나아가 다양한 위계의 행위자(agent) 집단을 포함한다. 그런데 인간 조직은 행동의 규칙체계에 따라 상호작용하는 다수의 행위자로 구성된 시스템으로서, 단선적 인과관계가 성립하지 않는 살아있는 복잡 시스템이다. 그러므로 과학교육 시스템은 과학기술 세계, 자연 세계, 사회 조직, 학습자의 마음 등 복잡한 배경 환경과 상호작용하며, 물질과 정보를 입출력하고 피드백하는 복잡 시스템이라고 보아야 할 것이다.

먼저 과학교육 행위자들을 고려하면, 학생, 교사, 학부모, 과학자, 관리자 등 다양한 인간조직이 관련되며, 이들은 저마다 상이한 신념 체계를 가지고 복잡한 이해 관계로 얽혀 있다. 또 지원 체제도 계획 체제인 정부의 각 부처, 실행 체제인 각급 학교, 평가 체제로서의 언론, 여론 등이 맞물려 시·공간적으로 매우 복잡하고 불규칙하면서 동시에 불안정한 구조적 양태를 수반한다(윤선진, 1996).

조직내 인간 관계의 수에 있어서도, 예컨대 한 학급이라 하더라도 예측 불가능할 만큼 복잡한 양상을 보이는 것이 보통이다. 동일한 교사가 동일한 교육과정으로 가르치더라도 매 시간, 매 교실마다 수업 결과는 다 다르다. 교사와 학생들이 시·공간적 상황에 따라 서로 다른 방식으로 상호작용하고 있어 보편적인 결과를 예측하기는 매우 어렵고, 이런 관점에서 정량적 실험 연구 및 특정 수업 모형을 기계적으로 적용하는 수업의 효과는 논란의 여지가 많다(Candela, 1997; Reiner et al., 2001).

그리고 학습자의 개인적 조건과 함께 각급 교육과정, 교과내용, 교실환경과의 복잡한 상호관



계를 고려해야 할 것이다. 그런데 우수한 학생조차도 학습 내용을 자신의 선경험과 연결하지 못하거나 생활 문제에 적용하지 못하고, 대부분 기본적인 개념 변화에도 이르지 못한다는 보고는 이제 우리에게 낯설지 않다(Yager, 1992 등).

이와 같이 복잡한 양상으로서의 과학교육 시스템을 선형적 사고로 대처할 때 부딪치는 한계는 명백하며, 이에 필자는 시스템 사고에 기초한 복잡성 과학을 도입하는 것이 합리적인 한 대안이라고 생각한다. 인간-사회-과학-자연 시스템이 복잡하게 맞물린 역동적 상황에서, 사회적 문제를 해결하거나 의사 결정을 하기 위해서는 시스템 사고가 필요하며, 이것을 과학교육에서는 이미 과학적 소양이라는 다른 이름으로 부르고 있을 뿐이다. 즉 실제 현상을 실험실 상황으로 단순화시켜 적용했던 선형적 사고와 비교할 때, 과학적 소양이란 학습자가 과학과 환경 사이의 복잡하고 역동적인 상호관계와 상호작용을 파악하고 이들을 유기적으로 연계하여 합리적인 의사 결정에 이르려는 정신적 습관으로 해석할 수 있으며, 이는 시스템 사고와 별개의 것이 아니다.

구성주의 학습 이론에 따르면, 개념 변화란 학습자의 인지구조가 학습 환경과 상호 작용하여 능동적으로 지식을 구성해가는 과정이다. 즉 학습자는 학습 환경으로서의 교사, 교과서, 교실, 선경험 등을 통해 제공되는 정보를 마음이라는 학습 시스템에 입력하고 전환함으로써 새로운 개념을 출력해낸다. 이렇게 출력된 정보의 일부는 원래의 시스템으로 다시 피드백되어 정교화 및 재구성 과정을 거치기도 한다. 따라서 학습 과정을 기계적이거나 일방적인 것으로 받아들였던 전통적 인식론 및 학습 이론과 비교할 때, 이는 순환적 인과관계를 전제한 유기적이고도 역동적인 상호작용으로서 시스템 이론 및 복잡성 과학의 논리와 일치한다. 다만 학습 과정에서 드러나지 않는 계획자 및 안내자로서 학습을 돕는 교사의 역할과 권위는 시스템 과학과는 또 다른 교육철학적 탐구의 대상이 될 것이다(임병덕, 1996; 이재호, 2000).

한편 STS 전략은 경험적 맥락에서 과학과 기술 및 사회의 상호관계를 이해함으로써, 실생활에서 마주치는 문제 해결과 의사 결정 능력을 신장하고자 하는

통합적 접근 방식이며, 과학적 소양을 함양할 수 있는 효과적 메카니즘이다(최경희, 1996). 이는 과학 수업을 하나의 시스템으로 간주할 때, 학습 환경을 교실에 국한하지 않고 실제 세계로 좀더 확장하여, 그들 상호간의 정보 입출력 및 피드백 과정을 교수-학습의 과정으로 보는 것이다. 곧 삶과 삶의 관계는 시스템과 환경의 관계이며 역동적 정보 입출력 및 피드백 과정이 성립한다는 일반화가 가능하다. 따라서 STS 교육은 기계적 암기 수업의 대안으로서, 단선적인과관계가 성립하지 않는 실세계에 더욱 유연하게 적응하는 능력을 기르는 전략이다.

이처럼 구성주의 이론, STS 전략, 과학적 소양으로 대표되는 20세기 후반 이후의 현대 과학교육의 주된 동향은 모두 시스템 사고 패러다임과 일치하는 아이디어로 이해할 수 있다. Auerswald(1995)는 이러한 맥락에서 현대 사회의 대부분 학문 분야가 시스템 사고 패러다임을 지향한다고 주장하였다. 특히 그는 모든 복잡 시스템은 교수-학습이라는 역동적인 관계로 구성되는 교실의 전후 상황의 맥락을 통해 이해에 이르는 과정을 거친다고 보았다. 그러나 아직 각 분야에서 일어나고 있는 이와 같은 움직임이 학문적으로 통일되지 않은 상태여서, 표현 용어에는 서로 많은 차이가 있다 하더라도 이들이 대체로 동일한 성격임은 분명하다. 따라서, 과학교육계에서는 학제간 교류에 더욱 문을 열어 교수-학습 분야 이외에도 교육행정, 교육과정 설계 및 생활지도, 학급운영 등에도 시스템 아이디어 및 복잡성 과학을 적극 도입해야 할 것이다.

## VI. 결론 및 시사점

본 연구는 현대 과학교육의 동향을 이해하려는 한 시도로서, 사회적 맥락과 연계한 전체적 관점에서 접근하고자 하였다. 연구 내용은 먼저 근대 교육사에서 나타난 과학교육의 목표, 과학철학 및 교실현장의 변천을 개략적으로 고찰하였다. 다음으로 부분과 전체의 관계를 보는 관점에 따라 사고 패러다임을 전체론, 분석론, 시스템론의 세 종류로 분류하고, 당대의 범학문적 경향으로 떠오른 시스템 사고 패러다임을

주로 고찰하였다. 이에 따른 연구의 결론은 다음과 같다.

- 현대 과학교육은 상대주의 철학의 영향으로, 과학지식의 사회적 맥락을 중시하며 구성주의 인식론이 중점 이론으로 도입되었다. 따라서 과학적 소양이 과학교육의 우선 목표로 부상하였고, 전통적 객관주의 수업을 탈피하고자 하는 노력이 이어지면서 학습자와 환경과의 상호작용을 적극 수용하는 학습 방법 및 STS 전략이 중시되었다.
- 현대는 탈 근대적 후기 산업사회로서, 자연 및 사회문제는 매우 복잡해졌다. 따라서 근대 과학을 부흥시킨 부분론과 분석적 사고 패러다임은 한계에 도달했고, 새 대안으로서 전체적 관점을 가지고 부분과 전체의 관계 및 그들 사이의 상호작용을 탐구하는 시스템 사고 패러다임이 전 학문 분야에 걸쳐 등장하고 있는 추세이다.
- 현대 과학교육의 주된 동향인 구성주의 학습 이론, STS 전략, 과학적 소양 등은 공통적으로 시스템 사고에 근거하며, 시스템 사고 패러다임과 일치하는 성격으로 해석되었다. 그러나 과학교육의 전반적인 개선을 위해서는 그 외의 분야에 대해서도 시스템 아이디어를 도입하려는 노력이 필요하다.

현대 과학교육의 동향이 시스템 사고 패러다임과 일치하는 성격이라고 분석하였으나, 실제로 이러한 움직임 대부분이 교실 현장에 실현되었다기보다는 아직 실험 단계에 머무르고 있는 수준이다. 그러므로 시스템 사고 패러다임으로 통칭할 수 있는 이 동향들이 성공적으로 정착하여 결실을 맺기를 바라며, 나아가 과학교육의 개선에 기여하고자 다음의 제언을 하고자 한다.

- 과학교육의 정체성과 문제점을 이론적으로 이해하고자 하는 학제간 노력이 필요하다.
- 복잡한 과학교육의 문제를 위계 수준 별로 분류하고, 시스템 과학을 체계적으로 도입하는 후속 연구가 요구된다.

## 참 고 문 헌

- 강인애(1997). 왜 구성주의인가. 문음사.
- 김도훈, 문태훈, 김동환(1999). 시스템 다이내믹스. 대영문화사.
- 김만희(2000). 과학교육의 패러다임에 대한 철학적 고찰, 한국교원대학교 석사학위 논문
- 권재술, 김범기, 우종욱, 정완호, 정진우, 최병순(1998). 과학교육론. 교육과학사.
- 목영해(1998). 현대 상대주의 철학과 교육. 교육과학사.
- 박승재(1980). 과학 교육의 연구론 소고. 서울대학교 사범대학 사대논총, 21.
- 박승재, 조희형(1994). 과학론과 과학교육. 교육과학사.
- 박승재, 조희형(1998). 과학교육연구. 교육과학사.
- 박창근(1997). 시스템학. 범양사.
- 삼성경제연구소(1997). 복잡성과학의 이해와 적용. 삼성경제연구소.
- 소원주(1998). 과학교사의 과학철학적 관점과 과학서술 방식이 중학생들의 과학관의 변화에 미치는 영향. 한국교원대학교 박사학위논문.
- 송진웅(1999). 과학교육의 기본 이념으로서의 과학적 소양. 기초과학연구, 15(3). 대구대학교 기초과학연구소.
- 송진웅, 정병훈, 권성기, 박종원(1997). 현대 과학철학자들의 저술에 나타난 과학교육의 이미지. 한국과학교육학회지, 17(2), 209-223.
- 윤선진(1996). 과학교육체제의 맥락성에 관한 연구. 한국교원대학교 박사학위논문.
- 이재호(2000). 비고츠키 발달이론의 도덕교육적 함의. 도덕교육연구, 12(2), 157-174. 한국도덕교육학회.
- 이흥우(2000). 교육의 목적과 난점. 교육과학사.
- 임병덕(1996). 열린교육과 초등학교 도덕과교육. 교원교육, 12, 43-54. 한국교원대학교 교육연구원.
- 장희익(1990). 과학과 메타과학. 지식산업사.
- 조영태(1999). 열린 교육과 구성주의; 비판적 검토. 도덕교육연구, 11, 55-128.
- 조희형(1995). STS의 의미와 STS 교육의 속성. 한국과학교육학회지, 15(3), 371-378.

- 조희형(1998). 과학교육의 이론적 배경과 그 시사점. 한국과학교육학회지, 18(2), 183-200.
- 최경희(1996). STS 교육의 이해와 적용. 교학사.
- American Association for the Advanced of Science. (1989). *Science for all americans*. NY: Oxford Univ. Press.
- American Association for the Advanced of Science. (1992). *Update project 2061: Education for a changing future*. Washington, DC: Author.
- Auerswald, E.(1995). 패러다임의 변화: 자기 반성적 비판. Steffe. (Ed.). 조연주·조미현·권형규 역. 구성주의와 교육, 439-446. 학지사.
- Bateson, G., & Bateson, M.(1987). *Angels fear*. NY: Macmillan.
- Bell, D.(1973). *The coming of industrial society*. NY: Basic Books.
- Bertalanffy, L.(1952). *Problems of life*. NY: Wiley.
- Bertalanffy, L.(1968). *General system theory*. NY: George Braziller.
- Bruner, J.(1960). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press.
- Bruner, J.(1996). *The culture of education*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press.
- Bybee, R. & DeBoer, G.(1994). Research on goals for the science curriculum. in Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*, 357-386. NY: Macmillan.
- Candela, A.(1997). Demonstration and problem-solving exercise in school science: Their transformation within the Mexican elementary school classroom. *Science Education*, 81(5).
- Capra, F.(1982). *The turning point*. NY: Simon & Schuster.
- Chalmers, A.(1982). *What is this thing called science?*. Univ. of Qweenland Press.
- DeBoer, G.(1991). *A history of ideas in science education*. NY: Teachers college press.
- Descartes, R.(1637). 김형효 역(1976). 방법서설. 삼성출판사.
- Dewey, J.(1944). *Experience and education*. NY: Collier.
- Forsyth, D. R.(1983). 홍성열 역(1991). 집단역학. 양서원: 서울.
- Gourinat, M.(1969). 송영진 역(1986). 철학의 단계적 이해. 서광사.
- Jenkins, E.(1991). History of science education. In A. Lewy. (Ed.). *The International Encyclopedia of Curriculum*. London: Pergamon Oxford.
- Jenkins, E.(2000). Constructivism in school science education: Powerful model or the most dangerous intellectual tendency?. *Science & Education*, 9(6), 599-610.
- Kuhn, T. S.(1970). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: Univ. of Chicago Press.
- Matthews, M.(1994). *Science teaching*. NY: Routledge.
- National Science Teachers Association.(1982). *Science-technology-society: Science education for the 1980's*. Washington: Author.
- National Science Teachers Association.(1991). *NSTA position statement on science/technology/society*. Washington, DC: Author.
- Piaget, J.(1973). *To understand is to invent*. NY: Grossman.
- Reiner, M. & Eilam, B.(2001). Conceptual classroom environment-a system view of learning. *International Journal & Science Education*, 23(6), 551-568.
- Toffler, A.(1990). *Power shift*. NY: Bantam books.
- Waldrop, W.(1992). *Complexity*. NY: Simon &

- Schuster.  
Yager, R.(1992). *The Constructivist learning model: NSTA report*, 15-17.  
Yager, R.(1996). 조희형 · 최경희 역(1997). *STS 무엇인가*. 사이언스북스: 서울.
- Yager, R. & Weld, J.(1999). Scope, sequence, and coordination: The Iowa project, a national reform effort in the USA. *International Journal & Science Education*, 21(2), 169-194.