

## 과학 분야 창의적 산물 발현과정 연구: 과학자의 주관적 경험이 객관적 지식으로 발현하는 자기조직화 과정의 사례 분석

강 정 하

조 선 희

김 미 진

KAIST

KAIST

KAIST

본 연구는 세계 과학 기술 분야를 이끌어 가는 창의적 산물의 생성과정에 대한 사례연구이다. 연구의 목적은 과학 분야 창의적 산물이 발현되는 과정을 이해하는 데 있으며, 이를 통해 세계적으로 경쟁력 있는 과학인재를 발굴, 양성하는 과학영재교육의 방향을 제시하고자 한다. 구체적으로, 과학 기술 분야에서 과학자의 주관적 경험이 새로운 객관적 지식으로 창출되는 지적 성장과정, 그리고 과정별로 주요하게 작용하는 요소 및 변인들을 밝히는 데 초점을 맞추었다. 창의적 산물 생성 과정 연구는 지식의 진화론, 지식의 생명체설, 그리고 자기조직화 등의 학문적 배경에 토대를 두고 질적 연구방법을 활용하였다. 자료 수집은 세계 과학 기술 분야(12개 영역으로 구분)에 크게 기여한 창의적 산물과 이를 창출한 한국인 과학자 12인에 대한 면담을 통해 이루어졌다. 그 결과, 과학 기술 분야 창의적 산물은 네 단계-(1) 지식토대단계, (2) 지식탐색단계, (3) 지식구성단계, (4) 지식발현단계-를 거쳐 발현되며, 각 단계는 상부 시스템, 하부 시스템, 그리고 하위변인들로 이루어지는 것으로 드러났다.

주제어: 창의성, 산물, 과학, 지식, 경험, 자기조직화

### I. 서 론

K. Popper에 따르면, 과학 분야 창의적 산물은 인간이 세상의 변화에 적응하기 위해 기울이는 지적 노력의 결과로, 개인의 축적된 경험이 성장, 검증된 새로운 지식이다. 이는 개인이 세상에 대한 궁극증이나 불편을 해소하기 위해, 생존을 위해, 또는 더 나은 삶을 구현하기 위해 창출하는 새로운 해법이다(강정하, 2007. 재인용). 이 창의적 산물이 발현하는 과정은 한편으로는 수년에 걸친 개인의 고된 역경과 회의, 그리고 혼돈의 과정이면서, 다른 한편으

---

교신저자: 강정하(kjungha@kaist.ac.kr)

\*본 연구물은 정부(과학기술진흥기금/복원기금)의 재원으로 한국과학창의재단의 지원을 받아 수행됨.

로는 뜻밖의 질서가 드러내는 신비에 대한 경험을 통해 개인이 자아 성장하는 과정이다 (Csikszentmihalyi, 1996: 4). 심각한 지구문제와 무한경쟁시대에 살고 있는 현대인에게 창의적 산물은 삶의 핵심적 가치로 받아들여지고 있고, 그것을 창출하는 개인의 역량은 21세기 인재상의 핵심요소가 되고 있다. 이런 이유로 세계 도처에서 창의적 산물 창출 역량이 뛰어난 인재를 발굴, 육성하는 데 많은 노력을 기울이고 있다. 그럼에도 창의적 산물의 발현이나 개인의 창의적 산출 역량이 세상의 변화와 함께 성장, 변화하는 복잡계의 결과인 까닭에, 연구가 매우 어렵고 드물게 이루어져 왔기 때문에, 알려진 내용은 극히 제한적이다. 창의적 산물이 발현하는 과정과 그것에 기여하는 개인적 및 환경적 요소에 대해 제대로 밝힘으로써, 훌륭한 인재를 발굴, 양성하기 위해 무엇을, 어떻게 해야 하는지에 대한 구체적인 정보를 얻을 수 있을 것이다.

지금까지 밝혀진 창의적 산물 발현과정은 창의적 사고의 질적 변화를 거친다. 20세기 전반기에는 소수의 연구자들에 의해 창의적 산물의 생성과정을 개인의 사고과정을 다루는 인지심리학적 관점에서 설명하고자 했다. 대표적 모델 및 연구로 Wallas(1926)의 창의적 문제 해결 4단계 모델, Wertheimer(1959)의 아인슈타인의 특수상대성 이론 도출 과정 연구를 들 수 있다. 먼저, Wallas(1926)의 창의적 문제해결 4단계 모델은 19세기 최고의 수학자였던 Poincaré가 자신의 수학적 발견 과정을 저술로 발표한 과정을 심리학적으로 재해석한 것이다. Wallas는 창의적 발견은 창의적 문제해결 과정으로서, 개인의 작은 관심이 확연히 구분되는 창의적 사고 4단계를 거쳐 창출된다고 했다: (1) 상황 탐색 및 명료화를 위한 준비단계, (2) 여가 시간에 전의식 및 무의식적으로 문제해결 활동을 하는 부화단계, (3) 새로운 조합에 의한 통찰 순간을 맞는 조명단계, (4) 해결책 검증단계. 이 모델을 통해 그는 창의적 문제해결 과정에서의 의식적, 무의식적 사고 활동이 모두 중요하다고 강조하였다. 하지만 이 모델은 개인의 사고과정 내에서 일어나는 문제해결책의 주관적 검증 과정만을 다루고 있어서, 개인의 의미있는 경험이 어디서 오는 것이며, 어떻게 성장하는지, 그리고 자신이 속하는 분야와 어떻게 소통하는지에 대해서는 자세하게 설명하지 못하고 있다. 이와 유사하게, Wertheimer는 아인슈타인과의 직접 인터뷰를 통해 특수상대성 이론이 발현하기까지 시차를 두고 전개되는 문제해결과정의 구조적 변형을 10단계로 요약한 아인슈타인의 보고를 소개한 바 있다: (1) 빛의 속도와 관련한 궁금증의 시작, (2) 빛의 속도의 “절대 운동”과 “절대 정지” 상태가 실제 물리계에서 존재할 가능성이 없을 거라는 모순을 인식, (3) 맥스웰 방정식에 대한 의문, (4) 미켈슨 실험결과에 대한 궁금증, (5) 로렌츠 변환 결과에 대한 문제 인식, (6) 문제에 대한 근원적 이해를 위한 노력: 복잡성을 고려, (7) 증명을 위한 진보: 지식의 성장, (8) 가설의 설정과 통찰, (9) 이동과 공간에 대한 법칙의 발견, (10) 실험을 통한 새로운 이론에 대한 검증 및 유용성 검토 등. 여기서, Einstein이 빛의 속도에 대한 조그만 궁금증이 발전하여 익히 알고 있는 객관적 지식의 gap을 인식하고, 문제를 명료화, 정의하여, 문제해결하는 창의적 사고의 전개가 잘 드러나고 있다. Wertheimer는 문제해결 과정에서 걸으려는 잘 드러나지 않는 사소한 지각적 요소가 창의적 은유로 성장한 Einstein의 경험 사례를 통해 역사적 성취(전체)가 눈에 띄지 않는 작은 호기심이나 조각 생각들(부분으로도 드러나지 않는)의

성장에서 비롯됨을 피력했다. 하지만, 이러한 사고가 일어나는 근원, 동기, 그리고 기제에 대해서는 간과하고 있어서, 창의인재 육성을 위한 교육을 위해 무엇을, 왜, 어떻게 해야 하는지에 대해 파악하기 힘들다.

Popper는 지식 세계를 제 1세계[물리적 세계], 제 2세계[의식적 사고과정의 세계], 그리고 제 3세계[인간 정신의 창조물의 세계]로 나누고, 개인의 지식 습득 과정을 실제세계와의 순환적인 상호작용의 결과로 보았다(2006: 298). 이러한 맥락에서, 인간의 사고과정을 일련의 지식습득 과정으로 보고 창의적 사고를 자연선택에 의한 진화론적 관점으로 설명하는 Campbell(1960)의 ‘맹목적 변이와 선택적 보존Blind-variation and selective retention’ 모델이 있다. 이 모델은 유기체의 환경적 적응과정에서 만나는 귀납적 성취를 기초적 지식처리과정에서부터 고차적 지식처리과정인 창의적 사고과정으로 진화해 가는 과정으로 설명한다. 그 과정은 변이-선택-보존-재생산의 4단계로 이루어지는데, 변이를 이끄는 기제, 지속적인 선택, 그리고 선택된 변이를 보존하고 재생산하는 기제가 필수조건이다. 하지만, 이 모델은 단순히 Darwin의 자연선택적 진화론에 근거한 검증되지 않은 가설모델이라는 한계를 지닌다. 그럼에도, 복잡성에 대한 관심이 증폭되고 있는 21세기 과학 기술 분야의 연구 동향을 감안할 때, Campbell의 진화적 모델은 매우 유용할 것으로 본다. <표 1>에 ‘창의적 산물 발현 모델 및 그 특징’을 제시하고 있다.

<표 1> 창의적 산물 발현 과정 모델 및 특징

모델	창의적 사고 단계	제한점 및 특징
Wallas 모델	준비 >> 부화 >> 조명 >> 검증	개인의 주관적 사고 활동을 다룸
Wertheimer 연구	(1) 빛의 속도와 관련한 궁금증의 시작	개인의 주관적 사고 활동을 다룸
	(2) 빛의 속도의 “절대” 상태의 모순 인식	
	(3) 맥스웰 방정식에 대한 의문	
	(4) 미켈슨 실험결과에 대한 궁금증	
	(5) 로렌츠 변환 결과에 대한 문제 인식	
	(6) 문제에 대한 근원적 이해: 복잡성을 고려	
	(7) 증명을 위한 진보: 지식의 성장	
	(8) 가설의 설정과 통찰	
	(9) 이동과 공간에 대한 법칙의 발견	
	(10) 실험으로 새 이론 검증, 유용성 검토	
Campbell 모델	변이 >> 선택 >> 보존 >> 재생산	환경의 변화에 따른 객관적 지식 생성의 근원과 기제를 다룸

20세기 후반기 들어서면서, 창의적 산물은 개인의 작은 호기심이 창의적 사고의 질적 변화를 거듭하면서 성장, 진화한 결과이면서 동시에 많은 환경적 요소들이 시스템적으로 작용한 결과로 보는 견해가 설득력을 얻게 되었다. Dewey에 따르면, 인간은 환경이 요구하는 어떤 현상에 대해 호기심을 가지고 추론하는 내재된 욕구로 인해 실험, 검증하는 사고 활동을 하는데, 이 사고 활동은 ‘어떤 목적’을 가지고 목표를 향해 나아간다(Cahan, 2004: 181-207. 재인용). Prigogine(1997)은 이 ‘어떤 목적’은 무질서로부터 새로운 질서를 창조하는 ‘자기조

직화self-organization’ 현상으로, 인간을 포함한 실제 세상의 불안정한 비평형 복잡계의 현상을 기초로 하고 있다고 했다. 그는 이러한 자기조직화가 외부의 변화가 체계 내에 영향을 미쳐 무질서를 증가시키는 현상으로 열린 체계에는 항상 일어나고 있고 인간의 지성도 마찬가지로 보았다. Csikszentmihalyi(1996)는 경험 자체가 목적이 되는 ‘자기목적적autotelic’ 활동의 결과를 창의성으로 보고, 이러한 개념을 반영하는 창의성의 시스템 모델을 제안하였다. 즉, 창의성이란 일련의 상징적 규칙과 절차로 이루어지는 영역 시스템, 새로운 아이디어나 창작물을 영역에 포함시킬 것인지를 결정하는 문지기의 역할을 하는 사람들로 구성된 분야 시스템, 그리고 개인 시스템 등 세 시스템의 ‘자기목적적’인 상호작용을 통해 발현하는 것이다. Gruber(1981)도 인간의 창의성을 능동적 ‘조직화organization’ 현상으로 보았다. 그는 진화시스템Evoing System 모델을 통해, 창의적 산물의 발현은 다수 시스템의 자기조직화, 즉, 개인의 목적의 조직화, 지식의 조직화, 그리고 정서의 조직화를 통한 성장의 결과이며, 또, 이러한 시스템들이 위계적 구조를 이루면서 주변 상황에 따라 유연하게 변화하는 가운데 이루어지는 것으로 보았다. 그럼에도, 이들 두 모델은 창의성에 대한 시스템적 접근으로 그것의 자기조직화 특징, 그것의 원천이 되는 실제 세상, 그리고 객관적 지식으로서의 창의적 성취로 진화하는 기제를 제시하지 못하고 있다.

이에 강정하(2007)는 Csikszentmihalyi(1996)의 창의성의 시스템 모델과 Gruber(1981)의 진화시스템 모델이 지니는 결함을 수정, 보완하여 지식진화시스템 모델(KES)을 제안하였다. 이는 지식 진화과정에서 필요로 하는 개인요소의 지적 조작, 에너지, 방향, 실제요소의 경험, 과제, 산물, 그리고, 사회요소의 지지, 인정, 선택 등 창의성 발현에 관여하는 주체, 객체, 매개체 모두를 아우르는 총괄 모델이다. 그리고 개인과 그를 둘러싸고 있는 주변 환경이 서로 상호작용하면서 일생 동안 발달, 변화하는 기제와 과정을 설명하고 있다. 이 모델은 계속 성장하는 모델로, 창의적 산물 발현과정 연구를 통해 더욱 정교해질 수 있다. <표 2>에 Csikszentmihalyi, Gruber, 그리고 강정하의 창의성의 시스템 모델을 제시하고 있다.

<표 2> 창의성의 시스템 모델

이론모델	Csik의 창의성 시스템 모델		Gruber의 진화시스템 모델	강정하의 지식진화시스템 모델	
	발현과정	구성요소	구성요소	구성요소	
창의적 산물 발현 과정 및 구성요소	준비단계	영역	지식	실재	경험
	↓				과제
	잠복기	개인	목적 · 정서	개인	상징체계
	↓				인지
	깨달음 단계				동기
	↓	사회	-	사회	성격
평가단계	지지				
↓	평가				
완료단계				선택	

Csikszentmihalyi(1996)는, 특별히, 복잡한 시스템의 상호작용을 통해 주관적 경험이 새로운 지식으로 성장하는 과정을 다섯 단계로 요약하였다. 첫 번째는 흥미로운 문제 인식 단계로 정서적 갈등을 극복하는 시기, 두 번째는 아이디어 확장의 잠복 단계, 세 번째는 직관 및 통찰 등이 떠오르는 깨달음 단계, 네 번째는 통찰의 가치를 판단하는 평가단계로 자기비판과 자기성찰이 주요한 시기, 마지막으로 선택한 아이디어를 대중에게 전달하기 위해 전문가의 언어로 표현하는 완성단계이다. 이들은 순환적이며, 실제로는 다섯 단계가 여러 차례 되풀이되기도 한다. Csikszentmihalyi의 창의성의 시스템 및 발현 과정 연구는 독보적이다. 하지만 구성요소의 결과론적 경향(영역요소), 문제의 명료화 및 정의 과정이 배제된 발현과정의 한계, 무엇보다 구성요소와 발현과정이 통합되지 않고 분리된 형태로 제시되어 시스템 간의 연합과 변인 간에 연계가 일어나지 않는다. Gruber(1981)도 Darwin을 비롯한 다수의 역사적 성취 연구를 통해 산물 생성의 진화적 과정이 여러 단계를 거치는 매우 복잡하고 긴 기간 동안 느리게 진행되는 여정이라고 했다. 그리고 특정 단계가 특별하기보다는 모든 단계가 주요한 구성요소로 작용한다고 보았다. 이 모델 역시, 시스템의 조직화가 구체적으로 어떤 과정을 거쳐 진화하는지에 대해 자세하게 설명하지 못하고 있다. 창의적 산물의 발현은 앞서 언급한 바와 같이, 개인의 작은 호기심이 새로운 객관적 지식으로 창출, 성장하는 것이다. 그런 만큼, 산물이 성장하는 산실의 구조와 구성요소, 그리고 그것을 이끄는 기제를 밝히는 것이 그것을 이해하는데 핵심이다. 특히, 교육에 접목되기 위해서는 창의적 인물이 언제, 무엇을, 어떤 과정을 거쳤는지에 대해 구체적으로 이해할 수 있어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 자연선택에 의한 진화론을 배경으로 하는 Campbell(1960)의 진화모델과 강정하(2007)의 지식진화시스템 모델을 기초로 과학 분야 창의적 산물 발현과정을 밝히고자 하며, 이를 설명하는 새로운 개념모델을 산출하고자 한다. 이 연구는 과학 분야 창의적 산물 발현 과정과 과정별로 주요하게 작용하는 구성요소들이 무엇인지에 대해 살펴보는 사회심리학적 접근으로서, 복잡성으로서의 창의성에 대한 폭넓은 이해와 함께, 개인이 창의적 과학자로 성장하도록 과학교육이 무엇을 어떻게 해야 좋을지에 대한 시사점을 제시할 것이다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상 및 연구참여자

연구 대상은 크게 산물과 인물로 구분된다. 전자는 각 분야에서 세계를 리드하는 창의적 연구물 12종이다. 이들은 Thomson Reuters 사에 등록된 SCI급 저널에 실린 연구물 가운데 영역별(9개 과학 기술 분야)로 최상위에 위치(피인용횟수 300회 이상)하며, 한국인이 주저자인 결과물이다. 후자는 선정된 각 연구물의 창출에 주도적 역할을 한 대표 연구자로서, 당시 교육과학기술부(2011년 7월 기준) 웹 사이트에 안내된 과학 기술관련 상—대한민국 최고과학기술인상, 한국과학자상, 한국공학자상, 올해의 여성과학기술자상, 이달의 과학기술자상, 젊은 과학자상, 호암상, 청암상, 그리고 경암상 등—수상자, 그리고 교육과학기술부와 한국연구재단의 우수 신진연구자 지원사업에 선정된 자 등, 이 가운데 한 가지 이상의 사례에 해당

하는 12인이다. 이들은 모두 현재 대학에서 인재 양성에 종사하고 있다. 연구 참여자들의 연구물이 창의적 업적으로 인정을 받은 시기는 32세에서 52세에 걸쳐 있고, 평균 연령은 41.3세이다. 현재 연령은 38세에서 77세에 이르고, 평균 연령은 55.8세이다. <표 3>에 ‘연구 분야 및 영역의 범위와 분류, 그리고 참여자 표기 기호’를, <표 4>에 ‘연구참여자의 연령 분포’를 제시하고 있다.

<표 3> 연구 분야 및 영역의 범위와 분류, 그리고 참여자 표기 기호

영역	기초과학(8인)		응용과학(4인)	
	이론연구 참여자	실험연구 참여자	영역	실험연구 참여자
물리학	S2	S8	전자공학	-
천문학	S1	-	기계공학	S9
화학	S3	S4, S5	화공학	S10, S11
생명과학	-	S6, S7	생명공학	S12
소 계	3인	5인	소 계	4인

<표 4> 연구참여자의 연령 분포

연령대(세)		30	40	50	60	70
인터뷰	인원수(인)	1	2	6	2	1
	당시연령	평균(세)				
		55.8세				
연구물발표	인원수(인)	5	5	2	0	0
	당시연령	평균(세)				
		41.3세				

연구대상은 전문가 협의체에서 설정한 네 가지 원칙에 근거하여 선정하였다: (1) 연구 분야를 기초과학과 응용과학으로 구분하고 연구 대상이 하위영역별로 균형있게 분포하도록 함. (2) 연구 대상은 과학자 집단의 주관적 평가로 인증 받은 산물임. (3) 연구 참여자는 현존하는 과학자로서 본 연구의 인터뷰에 직접 참여할 수 있는 과학자임. (4) 연구 참여자의 연령별 균형을 고려함.

전문가 협의체는 과학 기술 분야에 종사하는 6인의 전문가이면서, 우수 과학자 선발 직책을 맡고 있는 자로 구성되었다. 전문가 협의체는 각 전문가별로 방문 인터뷰를 통해 이루어졌으며, 내용은 (1) 창의적 산물의 의미, (2) 창의적 산물의 대표적 형태 및 종류, (3) 창의적 산물 선정 시, 주요하게 고려해야 할 요소 및 방법, (4) 새로운 지식 창출 패러다임의 변화 및 트렌드, (5) 과학 기술 분야의 영역 구분, (6) 추천하고 싶은 인물, (7) 특허 및 질적 방법론 등과 관련된다. 본 과정에 참여한 인물은 KAIST 교수 등으로 아래에 전공 영역과 대표 직책 등을 제시하고 있다. <표5>에 전문가 협의체 구성을 제시하고 있다.

<표 5> 전문가 협의체 구성

구분	위원	전문 영역	직책	소속
기초 과학	1	화학, 자연과학기술대학	화학과장	K 과학기술대
	2	생명과학, 생명과학기술대학	바이오제약사업본부장	
공학	3	바이오 뇌 공학과	바이오 뇌 공학과장	
	4	신소재공학, 공과대학	신소재 공학과장	
	5	생명화학공학, 공과대학	생명과학기술대학장	
	6	전기전자공학, 정보과학기술대학	부총장	
총 6인				

## 2. 연구 설계 및 절차

본 연구는 한 개인과 그의 경험에 관해 탐색하는 전기적 연구로서, 창의적 산물 생성과정과 구조를 밝히기 위한 근거이론을 토대로 한다. 그리고 자료 분석 방법은 사례의 빈도를 귀납적으로 반영하는 후기 실증주의 방법을 적용한다.

연구는 4단계에 걸쳐 설계, 진행되었다. 첫 단계에서는 창의적 산물 발현 과정을 설명하는 기존의 다양한 이론 모델을 기초로 연구 목적 및 목표, 연구문제를 수립, 정의하였고, 전기적 접근 및 에 의한 연구방법을 설계, 그리고 이론적 고찰을 통하여 가설모델(초안)을 생성하였다. 두 번째 단계에서는 과학 기술 분야 전문가 및 질적 연구 전문가(문화인류학 전문가)의 의견을 수렴하여 연구의 범위와 창의적 산물 및 인물 선정에 위한 기준을 마련하였다. 이 때, 연구가 포함하는 분야는 과학 기술 분야 전반으로 이를 총 12개 영역으로 나누었다: (1) 기초연구, 실험연구, 응용연구, (2) 각 분야를 물리학, 천문학, 화학, 생명과학. 이 중, 9개 영역의 산물 12종과 인물 12인을 선정하였다. 세 번째 단계에서는 인터뷰 질문지를 만들어 인터뷰를 실시하였으며, 인터뷰를 통해 수집한 자료를 취합하여 질적 분석을 진행하였다. 이 과정에서 반복적이면서 부분적인 자료 분석을 통해 가설모델을 지속적으로 수정하여, 가설 모델1, 가설모델2를 산출해 나갔다. 마지막으로, 가설모델2를 근거로 12인의 자료 모두를 분석함으로써 최종 모델인 창의적 산물 생성 4단계 모델, ‘지식진화시스템-사고 모델’을 산출하였다. 보다 자세한 내용은 ‘4. 자료 분석 방법’에 제시하고 있다. 그리고 그에 따른 교육적 시사점을 이끌어 냈다. <표 6>에 ‘연구 설계 및 절차’가 나와 있다.

<표 6> 연구 설계 및 절차

연구 문제 정의 및 설계	연구 대상 선정	자료 수집 및 분석	결과 도출
연구 목적· 목표 수립 연구문제 구체화 연구방법 설계 가설모델(초안) 산출	→ 전문가 의견 수렴 : 분야·영역 구분 : 산물·인물 선정 기준 마련	→ 인터뷰 설문지 조직 및 인터뷰 실시 자료 수집 자료 분석	→ 개념 모델 산출 교육적 시사 도출

### 3. 자료 수집

자료 수집은 연구참여자에 대한 심층적 정보를 수집하기에 적절한 직접 인터뷰 방식으로 진행되었다.

#### 가. 인터뷰 질문지

질문지는 창의적 산물과 창의적 인물의 생애에 대한 내용 수집을 목적으로 조직되었다. 질문 유형은 반구조화 질문으로서, 질문지 구성은 크게 (1) 산물의 독창성과 가치와 관련하여, (2) 산물의 산출과정과 관련하여, (3) 개인적 특성 및 삶과 관련하여, (4) 성장환경과 관련하여, (5) 과학적 창의성의 개념과 교육 등으로 이루어진다. 이는 Gruber(2005)의 창의적 업적 연구를 위한 방법론에 기초하여, 본 연구의 목적에 맞게 수정, 보완한 것이다. 질문지는 2인의 과학 분야 창의성 연구 전문가, 2인의 과학교육 전문가, 그리고 1인의 문화인류학 전문가가 내용 타당도를 검토하였다. 질문 내용의 타당성, 명료성, 질문의 흐름도, 답변의 중복 가능성 등을 검토하였고, 그 결과를 반영하여 질문의 일부를 수정했다. 완성된 질문지는 초기 5인의 인터뷰를 마친 후, 한 차례 수정이 이루어졌다. 질문지는 <부록 1>에 제시하고 있다.

#### 나. 인터뷰 실시

인터뷰는 본 연구의 연구자 2~3인이 창의적 인물을 직접 방문 형식으로 이루어졌고, 사전에 창의적 인물의 목표 업적물, 주요 활동, 업적, 수상 등에 대한 자세한 정보의 수집, 숙지를 통해 계획되었다. 인터뷰 진행 시간은 대략 2시간 내지 4시간 남짓 소요되었고, 연구 참여자별 인터뷰 순서는 영역별 다양성을 고려하여 원칙적으로 이론에서 응용의 순으로, 물리, 화학, 생명과학 등의 순으로 진행되었다. 인터뷰 내용은 연구 참여자의 허락을 받아 컴퓨터와 음성 녹음기에 녹화, 녹음되었고, 이 기록은 녹취자료로 변환하여 자료 분석에 활용되었다.

### 4. 자료 분석 방법

자료 분석 내용은 창의적 인물이 창의적 산물을 산출하는 데 직접적으로 관련되는 과정에 대한 것들이다. 자료 분석은 ‘(가설모델)지식진화시스템-과정(KES-PR)’ 모델을 활용하여 근거이론에 따라 체계적으로 진행되었다. 이를 테면, 개발 코딩 과정에서는 스토리의 요약, 스토리의 범주화, 범주 내의 패턴(속성) 찾기, 핵심 요소 선택, 그리고 차원화가 이루어지고, 축 코딩 과정에서는 핵심 현상의 확인 및 현상 간의 인과관계, 매개체, 그리고 맥락 및 결과 등에 대한 확인이 이루어졌다. 이렇게 하여 전체적인 시스템과 변인들이 추출되었고, 이들을 다시 유사한 범주 및 변인들을 통합, 도식화하는 작업이 진행되었다.

이 과정에서 ‘연속적 비교법constant comparison’ 또는 ‘분석적 귀납법analytic induction’ (Hatch, 2008에서 재인용) 기법을 활용하여, 연속적으로 진행되는 사례별 비교를 통해 가설 모델을 반복적으로 수정하여 최종적인 개설 모델을 산출하였다. 이 때 사용한 전략은 극단적 사례분석 전략과 유형론 개발 전략typology development strategy (Tashakkori, A. &



Teddle, C., 2001)이다. 전자에 따라 서로 다른 네 가지 유형의 사례를 우선적으로 분석하여 연구가 포함할 과정과 구성요소의 범위 등을 최적화하는 작업을 하였다. 다음으로, 유형론 개발 전략typology development strategy를 활용하여 서로 대비가 되는 네 가지 유형의 사례를 분석하여, 자료의 복잡성 정도를 가정보여 주요한 변인들을 추출하고자 했다.

자료 분석을 통한 개념 모델 산출 과정은 4단계로 진행되었다. 첫 단계에서는 <표 1> ‘가설모델(지식진화시스템.사고 모델) 및 이론적 배경’과 같이 가설모델(초안)이 산출되었다. 두 번째 단계에서는 가설모델(초안)을 활용하여 4인 사례 분석을 통해 가설모델1이 산출되었다. 세 번째 단계에서는 가설모델1을 활용하여 전체 사례(12인) 분석을 통해 가설모델2가 산출되었고, 이 과정에서 분석틀이 완성되었다. 마지막으로, 전체 사례 분석을 통해 가설모델2가 타당화되었고, 이것이 최종 모델인 개념 모델로 채택되었다. <표 7>에 ‘개념 모델 생성 과정’에 대해 요약해 놓고 있다.

<표 7> 개념 모델 생성 과정

항목	가설모델(초안)	가설모델1	가설모델2(분석틀)	개념 모델
연구대상 및 참여자		<ul style="list-style-type: none"> <li>창의적 산물 4종</li> <li>창의적 인물 4인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>창의적 산물 12종</li> <li>창의적 인물 12인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>창의적 산물 12종</li> <li>창의적 인물 12인</li> </ul>
방법 및 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>선행연구 고찰</li> <li>- Campbell의 창의적사고가설모델</li> <li>- Gruber의 산물생성연구방법론</li> <li>- 강정하의 지식진화시스템모델</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>방법</li> <li>: 근거이론</li> <li>: 후기실증주의</li> <li>- 연속적 비교법</li> <li>- 분석적 귀납법</li> <li>• 전략</li> <li>- 유형별 비교법</li> <li>- 극단적 사례분석법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>방법</li> <li>: 근거이론</li> <li>: 후기실증주의</li> <li>- 연속적 비교법</li> <li>- 분석적 귀납법</li> <li>• 전략</li> <li>- 유형별 비교법</li> <li>- 극단적 사례분석법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>방법</li> <li>: 근거이론</li> <li>: 후기실증주의</li> <li>- 연속적 비교법</li> <li>- 분석적 귀납법</li> </ul>
내용의 변화	단 계 >> 지식토대단계 >> 지식탐색단계 >> 지식발전단계 >> 지식발현단계	>> 지식토대단계 >> 지식탐색단계 >> 지식발전단계 >> 지식발현단계 >> 지식확산단계	>> 지식토대단계 >> 지식탐색단계 >> 지식구성단계 >> 지식발현단계	>> 지식토대단계 >> 지식탐색단계 >> 지식구성단계 >> 지식발현단계
	구 성 요 소 - 삼리·경험·소통 체계 • 실재 - 선택·과제·지식 체계 • 사회 - 지지·평가·적용 체계	• 개인 - 삼리·경험·소통 체계 • 실재 - 현상·과제·지식 체계 • 사회 - 지지·평가·적용 체계	• 개인 - 삼리·경험·소통 체계 • 실재 - 현상·과제·지식 체계 • 사회 - 지지·평가· <u>선택</u> 체계	• 개인 - 특성·경험·소통 체계 • 실재 - 현상·과제·지식 체계 • 사회 - 지지·평가·선택 체계

‘\_’ 은 수정된 내용임.

분석과정에서 채택한 주요 변인들은 연구 참여자 50% 이상이 언급한 것들이다. 분석에는

창의성 전문가 및 질적 연구 전문가와 과학교육 전문가 등 3인이 참여하였다. 분석을 위해 연구의 학문적 배경에 대한 이해, 질적 연구 방법에 대한 이해, 가설모델에 대한 논의, 그리고 반복적 분석을 통해 분석자 내 및 분석자 간의 편차를 줄이는 데 많은 노력을 기울였고, 합의된 변인들만을 추출하였다.

대부분의 질적 방법이 그렇듯이, 본 연구의 자료 분석 과정은 한 개인의 삶에 대한 기록을 의도된 방식으로 자료 수집하는 과정이며, 창의적 연구참여자가 일을 통해 자신을 창조하듯이 본 연구자가 연구참여자를 창조하는 작업이다(Denzin, 1989). 단, 미리 밝혀 둘 것은 턱없이 부족한 지면으로 인해 연구참여자의 독특한 삶의 여정을 드러내는 그들의 생생한 목소리를 담지 못한다는 점이다.

## 5. 분석틀

자료 분석에 활용할 분석틀은 앞서 밝힌 바와 같이, ‘가설모델 2’로 이는 ‘IV. 논의 및 시사점’에서 제시하고 있는 최종 모델과 동일하다.

### III. 자료 분석 및 결과 해석

과학 분야 창의적 인물 12인(S1-S12로 표기함)이 창의적 산물을 발현한 과정은 단계별로, 그리고 시스템별로 요약되었으며, 분석 결과는 과학 분야 역사적 산물 사례연구 결과를 통해 검증되었다. 분석 결과를 기술하는 순서는 실제 요소, 개인 요소, 그리고 사회 요소 순이다.

#### 1. 지식토대단계

##### 가. 실재: 지식 시스템

지식 시스템에서는 ① 시대사조, ② 학문적 기반 요인이 주요 변인으로 추출되었다.

① 시대사조: 19세기 후반부터 20세기를 거쳐 21세기 정신의 토대가 되는 진화론, 양자역학, 복잡계 이론, 지놈genome 정보, 그리고 나노기술 등이 세계 과학계의 새로운 학문적 패러다임으로 자리잡게 되었는데, 대부분의 연구참여자들(N=10, 83%)은 이러한 시대적 사조가 연구의 근간이 되었다고 말한다.

S1은 물리학의 근간이 되는 대원칙을 양자역학, 양자장론, 상대론에서 찾았고, S3은 실제 세상의 생명체설 및 진화 개념을 물물치 연구 및 자기조립관련 연구에 반영하였으며, S4는 복잡계의 자기조직화 개념을 배경으로 하는 분자집합체 조직 과제에 매진해오고 있다. 그리고 S10은 나노 입자 연구에 집중하여 균일한 입자를 만들고 이를 대량생산하는 데 크게 공헌한 바 있다.

시대적 사조가 연구에 기반이 된다는 사실은 여러 역사적 사례에서도 찾아볼 수 있다. Darwin이 그의 진화론 정립이 가능했던 것은 18, 9세기에 걸쳐 새롭게 등장한 물리학, 화학, 생물학, 지질학, 그리고 인구론 등에 대한 학문적 이해뿐만 아니라, 종교적 해석에서 벗어나

실증주의적 관점으로 바뀌는 시대적 변화를 잘 간파하고 있었던 데 기인한다(Gruber, 1981; Weisberg, 1993). Einstein도 대학시절에 철학 및 과학 분야에서 새롭게 등장한 시간과 공간의 비가역성 관점을 따라잡을 수 있었던 것이 상대성 이론 정립에 주요한 기반이 되었다(Miller, 2001: 112-125). 최무영(2008: 71-73)에 따르면, 인간의 인식이 실제세상에 필연적으로 영향을 준다는 양자역학이 현대과학의 토대가 되며, 현대를 살아가는 데 근간이 되는 시대적 정신이 되고 있다.

② 학문적 기반: 모든 연구참여자들(N=12, 100%)은 연구 수행에서 근간이 되었던 것이 고유 영역의 전문 지식 및 다양한 분야의 학문적 기반, 그리고 연구 매체에 대한 지식, 방법론, 언어, 장비 및 tool 활용 기술이라고 했다.

S1와 S2는 전공 분야의 튼튼한 기반 지식과 기본 tool을 다루는 기술이 준비되어 있었기 때문에, 새로운 분야가 도래했을 때 바로 새로운 연구에 진입할 수 있었다고 했다.

S3, S4, 그리고 S11은 다양한 분야에 대한 학문적 기반이 새로운 분야의 과제를 선택하고 문제해결하는 생각의 원천이 된다고 했다. S3은 새로운 신기능성 나노 물질 및 나노 소자 개발, 나노 렌즈 개발, 그리고 DNA sequencing 등 다양한 새로운 과제에 뛰어 들 수 있었던 것은 폭넓은 학문적 기반 덕분이라고 한다. S4 역시, 키랄 다공성 결정물질 합성 연구는 화학 영역 내에서도 다양한 분야를 섭렵하고 있었기 때문에 가능했다. 유사하게, S11도 대형 그래핀graphene 합성 연구는 화학, 물리 영역 전문성과 융합과제 경험, 훈련과정을 통해 확장된 결과라고 했다. 뿐만 아니라, S7은 연구 매체(초파리)에 대한 정확한 지식이 성공적 연구 비결이었다고 했다.

Darwin(2006: 13)도 Edinburgh 대학에서의 의학 공부, ‘생물 배아’ 연구, 박물학 연구 방법, Cambridge 대학의 종교학 공부, 고전, 기하, 수학, 신학, 철학, 식물학 및 지질학 등 폭넓은 학문적 기반이 진화론 정립에 기초가 되었다고 보고한 바 있다. Miller(2001: 96-127)는 Einstein이 대학시절에 이론 물리학에 심취하여 남다른 탁월한 고차적 학문 기반을 갖춘 사실이 그의 새로운 이론 정립을 앞당겼다고 했다. 강정하와 최인수(2008)도 한국 IT 분야의 창의적 성취를 가져다 준 창의적 인물도 전기, 전자, 그리고 전산 분야의 폭넓은 체계적 지식이 기반이 되었다고 밝히고 있다.

#### 나. 개인: 경험 시스템

○ 기반연구경험: 모든 연구참여자들(N=12, 100%)은 그들이 창의적 업적을 낸 과제에 돌입하기 이전에 그 연구의 기반이 되는 연구를 수행한 것이 좋은 결과물을 만드는 열쇠가 되었다고 말했다.

S3은 post-doctor 시절에 진행했던 분자의 자기조직화 현상에 대한 이론 연구가 새로운 물질 및 소자를 개발 연구에 기반이 되었다고 한다. S4의 경우도 지금의 초분자집합체 조직 및 분자의 자기조직화 연구는 기초연구에서부터 응용연구로까지 점진적으로 발전되어 온 것이라고 했다. S8은 최적의 신소재 물질 개발 성과를 낼 수 있었던 것은 당시에 이슈가 되었던 F RAM 피로현상의 메커니즘을 규명하는 연구 업적이 기반이 되었던 것이라고 한다.

Miller(2001: 96-127)는 Einstein이 16세에 입학한 아라우 주립학교 시절과 17세에 입학한

스위스 폴리테크닉 연구소 시절에 ‘안사용Anschauung’이라는 ‘시각적 상像’을 통해 빛에 대한 근원적인 문제들을 꼼꼼하게 검증해 나갔던 경험들이 그를 중요한 과제로 이끌어 준 기 반 연구 경험으로 보았다.

#### 다. 사회: 지지 시스템

○ 멘토: 연구참여자들(N=9, 75%)은 박사 과정이나 post-doctor 시절에 지도교수로부터 엄격한 전문성 수업과 훈련, 연구하는 자세, 그리고 논문 작성 방법 등을 접할 수 있었던 것이 연구의 밑거름이 되었다고 하였다.

S2는 박사과정 때, 통계물리학 분야 최고 권위자이신 지도교수를 선택한 것이 일생에서 가장 현명한 결정 중 하나였다고 회고했다. S10은 post-doctor 시절 지도교수를 통해 독립적인 연구자로서의 자세, 그리고 새로운 아이디어를 발전시켜 나가는 태도 등에 대한 가르침이 지금에 오게 된 바탕이라고 했다.

Darwin(2006)의 경우, 자신의 새로운 이론을 정립하는 데 멘토가 커다란 지적 지지를 보냈다. 대표적으로, Cambridge 대학에서 만난 Henslow 교수와 Beagle호 항해 동안 함께 했던 Lyell 교수는 Darwin의 학문적 멘토로서 그의 진화론의 근간이 되었던 식물학과 지질학을 체계적으로 배울 수 있었던 기회를 제공했다. 특히, Darwin은 Lyell 교수의 견해 위에서 그의 생각을 확장시켰다. 강정하와 최인수(2009)의 연구에서도 창의적 인물이 창의적 업적을 내기 전, 대학 혹은 대학원 시절에 남다른 역량을 기르고, 이후에 독자적인 방향으로 나아갈 수 있었던 것은 대학 및 포스닥 시절의 지도교수의 안내 덕분이라고 밝히고 있다.

#### 라. 요약 및 결론

본 과정은 연구참여자가 산물 생성을 위한 토대를 마련하는 단계이다. 실제의 시대사조, 학문적 기초와 전문 기술, 개인의 기반연구 경험, 그리고 멘토 등이 만들어 낸 결과이다. 이는 훗날, 창의적 산물이 성장하는 발판이 되었다. 이 단계는 대부분 연구참여자들의 학부, 석·박사, 그리고 박사 후 시절에 해당되는데, 그들은 학부 시절의 특별한 관심 혹은 주제에 대한 탐색, 시대사조에 대한 인식, 다양한 과제 및 문제 탐색, 그리고 지도교수의 훌륭한 가르침 등을 통해 미래 연구에 토대가 되는 다양한 전문지식과 경험을 쌓는 기회를 가졌다.

결론적으로, 창의적 산물이 발현되는 첫 번째 단계는 창의적 개인이 시대사조, 전문지식 및 기술, 다양한 학문적 기반 등을 마련하는 수련 과정이다. 창의적 산물은 창의적 인물이 한 사람의 전문가로서 성장하기 위해 집중하는 초기 단계에 토대를 두고 있는 것이다. Wallas(1926)의 창의적 문제해결 4단계 중, 첫 번째인 준비단계와 일맥상통하는 현상으로서, 기초 지식체계를 습득하는 현상과 동일하다(Davis, 2004. 재인용). 또한, Campbell(1960) 가설모델의 첫 단계인 새로운 변화에 대한 성공적 적응을 위해 미리 대비하는 ‘변이 단계’와도 같은 개념으로서, 전문가로서 첫발을 내딛는 시작 단계로 그 기초가 되는 폭넓은 지식 체계를 갖추는 것이 중요함을 시사하는 결과이다. 구성요소는 대부분의 역사적 창의 사례에 대한 연구 결과가 이를 지지하고 있는 것으로 보아 과학 분야 창의적 산물 발현에 중요한 구성

요소로 채택하는 데 무리가 없다고 판단된다.

## 2. 지식탐색단계

### 가. 실재: 과제 시스템

① 쟁점문제 및 심미적 요소: 많은 연구참여자들( $N=10$ , 83%)은 해당 분야에서 당시 쟁점이 되는, 이미 알려져 있지만 해결하지 못한 상태로 남아있는, 혹은 기존의 지식으로 풀기에는 한계가 있는 등의 어려운 문제를 연구 문제로 채택한다.

S1은 당시 세계 최고 전문가들이 관심을 갖기 시작했던 CP 대칭성 문제에 도전하여 업적을 거두었다. S2도 막 떠오르기 시작한 통계물리학의 복잡계 네트워크 분야에 뛰어들어 생명과학과 질병의 연관관계를 규명하는 문제를 해결하고자 했다. S3, S4, 그리고 S5는 새롭게 떠오르는 초분자화학에 관심을 가지고, 분자집합체를 조직하여 기능성을 지닌 물질로 개발하는 과제를 채택했다. S6는 세포 내에서 생성되는 단백질의 구조와 기제를 밝히는 연구를 10년 이상 해 오고 있는데, 이 연구는 유전자들 간의 상관관계에 의해 새로운 신호전달체계가 창발하는 현상을 규명하는 것으로, 자연의 신비로운 세계를 보여준다. S7은 파킨슨병에 대해 분자 수준의 질병 기전을 밝히는 문제에 도전함으로써, 당시 도래한 genome 시대의 선두주자가 되었다.

최무영(2008: 66-84)에 의하면, 이러한 문제는 자연현상의 아름다움을 다루는 대칭성 문제로, 그 대칭성을 깨는 새로운 변화를 모색하는 문제이다. Einstein이 어린 시절부터 계속해서 관심을 가졌던 문제가 19세기 말부터 해당 분야의 석학들이 매달렸던 시공간의 개념을 정의하는 당시의 쟁점 문제였다(Miller, 2001: 96-127에서 확인할 수 있음)는 사실이 이를 지지해 준다. 그는 자신이 가진 의문점을 푸는데 7년이 걸렸다(Wertheimer, 1959). Watson과 Crick(Weisberg, 1993) 역시, 1940년대 후반에 유전자를 구성하는 물질로서의 DNA를 주목하는 실험이 단행되면서 당대 최고의 쟁점이 되는 주제였던 DNA 구조 규명이라는 난제에 매달렸다.

② 문제 구체화: 연구참여자들( $N=7$ , 58%)은 우연한 계기로 기존 지식으로 풀기에는 한계가 있는 문제를, 혹은 이미 알려진 혹은 특정 경로를 통해 던져진 문제를 탐색적으로 분석, 검토함으로써 새로운 큰 도약을 위해 해결하여야 할 핵심문제가 무엇인지를 분명하게 인식하고 있었다. 그들은 어려운 문제를 선택, 구체화하였다.

S2는 post-doctor 시절에 지도교수가 던진 과제의 big picture—Human Biology와 Human Physiology를 연계—로부터 문제를 구체화함으로써 융합연구 맥락을 마련하였다. 당시 그가 머물렀던 Harvard 대학 병원 소속 연구소에서 확보하기 좋은 질병 DNA 정보를 거시 물리학적 관점으로 접근하고자 했다. S10은 나노 입자 분야에서 균일한 입자를 대량 생산하는 문제를 선택했다. 이 문제는 이미 알려진 문제이지만 구체적으로 정의하지 못하고 있었는데, 그의 도전으로 ‘대량 생산하는 쉬운 방법’을 연구 과제로 구체화했다.

Darwin(Weisberg, 1993)은 어린 시절, 당대 권위있는 진화론 학자였던 할아버지와 의사인 아버지 등 가족의 영향과 Edinburgh 대학 및 Cambridge 대학 시절, 지구의 발달과 서식 동물에 대한 희랍정교의 해석을 비판적으로 보는 많은 선구적 과학자들과 만나는 기회를 통해 진화론

에 대한 강한 관심을 갖게 되었다. 더 나아가, 지질학, 식물학, 동물학, 인구론, 그리고 행정학 등 다방면의 전문지식을 토대로 기존의 다양한 진화론의 gap을 인지, 문제를 구체화해 나갔다. Einstein의 경우도, 고교 시절에 가졌던 궁금증을 당시 새롭게 대두한 이론에 대입해 보면서 오히려 그 이론의 오류와 모순을 발견하게 되었고, 다른 주요 변인들을 인지하게 되어 문제를 구체화하는 기회를 갖게 되었다(Wertheimer, 1959: 213-233). Darwin과 Einstein이 문제를 인식한 다음 문제를 구체적으로 정의하게 된 기간이 얼마나 길었는지에 대해서는 확인할 자료가 없지만, Darwin이 Malthus의 인구론을 읽고, Lorenz 변환 결과에 대해 문제를 인식한 직후라고 보면, 적어도 6, 7년 정도는 끌어온 것으로 추정된다. 이는 실제 세상을 바라보는 눈과 기존 지식을 대하는 남다른 경험이 근간이 됨을 알 수 있다.

## 나. 개인: 경험 시스템과 특성 시스템

### 1) 경험 시스템

① 가지치기: 연구참여자들(N=8, 67%)은 교수로 부임하면서, 진정한 연구자로서 자리매김 하기 위해 이전에 속해 있었던 연구 체계로부터 독립하여 새로운 연구 터전을 마련하고자 했다. 그들은 경쟁력있는 연구자가 되기 위해 새로운 터전을 마련하는 ‘가지치기’에 집중했다. 그들은 과제 선택부터 연구비 확보에 이르기까지 혼자서 모든 것을 감당해야 했다. 그들은 지도교수의 주제로부터 벗어나서 자신이 관심을 가져온, 잘 할 수 있는, 그리고 도전적인 연구 주제, 방법, 특수 기술을 단계적으로, 지속적으로, 그리고 과감하게 탐색, 시도, 습득하였다.

S3은 1990년대 초기에 복잡계에 대한 관심과 나노 기술을 기반으로 하는 새로운 패러다임의 이론, 연구 방법, 기술 등을 독자적으로 시도했다. S4는 분자의 자기조직화 연구에 일찌감치 뛰어들어 높은 차원의 컴플렉시티를 다루는 일을 단계적으로 밟으면서 새로운 분야에 대한 전문성을 스스로 습득해 갔다. S7은 교수 부임 직후, 경험도 없었던 초파리 실험실을 대규모로 차려 생체 내 실험을 도입함으로써 ‘파킨슨병의 병리기전’을 밝힐 수 있었다. 그는 우수한 경쟁력을 갖기 위해서는 도전적인 자기조직화 과정을 거쳐야 하며, 일을 무질서할 정도로 크게 벌여놓고 그 중에 가치있는 것을 찾아내는 것이 전략이라고 말한다. S8은 그가 막 교수로 부임했을 당시, 열악한 연구 상황으로 인해 전공 분야인 순수 물리학 연구를 하지 못하고, 과거의 관심 분야였던 복잡계 기반한 산화물 박막 연구 및 응용 부문 연구를 개척, 집중하였다. 이는 연구자로서의 생존을 위한 가지치기의 한 표본이다. S10도 교수로 막 부임했을 때, 박사 과정 중에 혼자 고민해 오던 새로운 주제와 문제에 발을 들여 놓았다. 그는 이러한 가지치기가 오늘 날 분야를 이끄는 리더로 활동할 수 있는 바탕이라고 했다.

Miller(2001: 96-127)에 의하면, Einstein은 스위스 폴리테크닉 대학 시절에 암기식 공부 방식과 탈맥락적 수업방식이 마음에 들지 않아 학교 공부와는 별도로 독자적인 방식으로 공부하였다. Watson의 경우(Weisberg, 2006: 16)도 지도교수가 추천한 유전자 핵산화학 주제를 마다하고, 독자적으로 DNA 구조를 밝히는 일에 뛰어들었다. 이 같은 가지치기로 특정 영역 및 분야의 확장과 새로운 생성은 역사적 사례에서 흔히 마주치는 일이다. Prigogine(Nicolis

& Prigogine, 1989)은 이러한 가지치기가 자기조직화의 대표적인 현상이라고 한다.

② 우연한 계기: 연구참여자들(N=9, 75%)이 좋은 연구 과제 혹은 주제를 채택할 수 있었던 데는 우연한 계기가 있었다.

S1은 온 좋게 post-doctor 과정을 ‘CP 대칭성 연구’의 세계 최고 전문가가 모여 있는 Univ. of Pennsylvania에서 보냈던 사실과 벤자민 메모리얼 심포지엄에 참석했던 것이 좋은 문제를 발견하는 계기가 되었다. S3은 post-doctor 시절에 미국의 IBM에서 수행한 다양한 경험들이 이후의 유망한 연구에 참여하게 된 주요한 계기가 되었다. S4도 post-doctor 과정 중에 다양한 분야의 연구 경험, 그리고 인품이 훌륭한 지도교수의 가르침이 의미 있는 연구를 시작할 수 있었던 주요한 계기가 되었다. S5의 경우는, 일상적 호기심이, 그리고 세계 최초의 연구를 하다 보니 연구에 필요한 물질들을 직접 만들어서 쓰게 된 것이 창의적 성장을 이끈 우연한 계기였다고 한다. 마지막으로, S9는 온 좋게 한 교수님의 우연한 지적이 도전적인 연구로 전환하게 된 계기였다고 한다.

1951년 봄, Watson이 더 진취적인 연구를 할 곳을 물색하던 시기에, 우연한 계기로 Naples에서 열리는 컨퍼런스에 참석했다. 거기서 Wilkins가 제시한 DNA X-ray 사진을 보았던 우연한 경험이 그가 DNA 구조 연구에 돌입하도록 한 직접적 계기가 되었다고 한다 (Weisberg, 2006: 16).

## 2) 특성 시스템

창의적 산물 생성과정에서 개인의 특성 요소는 지식탐색단계와 지식구성단계에서 매우 중요하게 작용했다. 창의적 인물 특성을 결정하는 주요 변인들이 두 단계에서 공통적으로 드러나는 것들을 본 단원에서 모두 기술하고자 한다.

① 복합적 사고: 많은 연구참여자들(N=10, 83%)은 자연현상이 보여주는 구조와 변화 과정, 그리고 상호작용에 관여하는 복합적 요소 모두를 연구에 반영한다고 보고했다. 뿐만 아니라, 연구 진행과정에 대해 포괄적으로 생각하는 경향이 강하게 드러났으며, 이러한 특성이 새로운 일을 시작할 때 생각의 전이를 쉽게 일어나게 한다고 했다.

S3와 S12는 이론 연구와 실험 연구 모두에서 특출한 결과를 냈는데, 이는 물질의 구조와 변화과정에서 드러나는 복합적 요소의 상관관계에 관심을 가졌기 때문이라고 했다. 그들은 분자 혹은 세포의 정지된 상태를 보는 것이 아니라 맥락적 요소들의 상호작용을 상상 속에서 추론하여 분자가 변형하는 과정을 밝히고, 더 나아가 동적인 로보틱스, 디바이스까지 만들어냈다. S7은 복합적 현상을 선호하고 잘 빠져드는 성향에 대해 보고했다. S6은 새로운 일을 시작할 때, 일을 진행하기 위해 전체 틀, 일련의 절차 등을 먼저 생각한다고 했다.

Einstein의 ‘시공간의 상대성이론’은 둘 이상의 물체가 움직이는 상태에서 변하는 공간과 시간의 차이를 설명하는 이론이다. 이는 변화하는 여러 가지 요소들의 상호관계를 규명하기 위한 복합적 사고가 주요하게 작용한 결과이다(Miller, 2001: 96-127에서 내용을 확인할 수 있음). 이는 앞서 언급한 ‘안사웅Anschauung’이라는 ‘시각적 상像’에 의한 사고 형태로, 주로 자연현상이나 실제세상에서의 체험이나 상상적 추론에서 동반되는 것으로 추정된다.

② 유추적 사고: 연구참여자들( $N=8$ , 67%)은 강한 호기심을 가지고 사물이나 현상을 대하고, 그것들에 대한 분석을 통해 추론을 자주 했다. 특히, 연구 주제를 선택할 때, 문제를 구체화할 때, 그리고 연구 대상을 선정할 때, 꼼꼼하게 분석하고 상상하면서 논리를 펴는 습관을 가지고 있었다.

S3은 연구 문제를 구체화할 때 이미 알고 있는 많은 현상들을 회상하면서 다양한 추론을 했다. S5와 S7은 좋은 아이디어가 나왔을 때, 이것의 적합성에 대한 분석을 통해 결과를 추론했다. S6은 세포 내에서 생성되는 단백질의 구조와 기제를 밝히는 과학적 발견 과정은 가속기 beam line 사진을 통해 구조물을 보면서 추론을 통해 완성되었다. S9는 과학 기술이 유용하고 그렇지 않고는 디자인 이론에 기인할 것이라는 추론을 통해 새로운 기계공학 이론을 창안하였다. S5는 문제해결의 실마리를 어린 시절에 경험했던 다양한 사례와 방법들을 연결함으로써 많은 추론을 끌어낼 수 있었다.

Reed(1991)는 문제를 정의, 표상을 할 때, 문제의 구조와 문제 공간이 유사한 다른 현상과 비교하는 유추적 과정은 매우 중요하다고 말한다. 이 같은 현상은 Watson과 Crick의 DNA 구조 발견 사례에서도 접할 수 있다. 그들은 다른 연구진들(Wilkins, Franklin, Pauling 등)의 다양한 유추를 접했던 기회가 창의적 성취에 영향을 주었다고 했다(Weisberg, 1993). Einstein이 ‘특수 상대성 이론’을 발표하기까지 약 7년 간 계속했던 독자적인 사고 실험 과정은 다양한 표상들을 상상 속에서 분석, 검증한 유추적 사고의 대표적 사례이다(Miller, 2001: 96-127).

③ 은유적 사고: 연구참여자들( $N=8$ , 67%)은 새로운 문제를 정의하고 해결할 때, 이미 알고 있는 특정 현상에서 핵심이 되는 기본원리를 가지고, 이것이 내재된 전혀 다른 현상으로부터 결정적 아이디어를 획득하는 은유적 사고가 뛰어났다.

S4는 화학을 바탕으로 개발했던 것을 생물학에서 접목, 응용하는 것은 매우 중요하며, S11은 물리 영역이나 화학 영역은 보는 관점만 다를 뿐이며 내용은 같다고 본다. S8은 학문을 할 때, 이론 부문에서나 응용 부문에서나 현상이 드러나는 모습은 다르지만 그것을 관통하는 논리를 찾아 적용하여 처음 시도했던 응용 부문에 쉽게 접근할 수 있었다. S10은 과제 선택, 문제해결 과정에서 새로운 방법을 꾸준히 시도하는 것이 필요한데, 그는 물질을 구성하는 기본원리를 파악하여 촉매 분야에서 잘 발달되어 있는 아이디어를 메디컬 분야에 적용하여 좋은 결과를 얻었다. S5는 문제해결의 실마리가 되는 ‘은유’를 어린 시절의 유사한 경험에서 찾았다. S11은 나노 세계가 눈에 보이지 않는 세계지만 거시세계의 축소판이며 원리는 같으며, 자신만의 손쉬운 일상적 방법을 연구에 적용하여 좋은 결과를 내는 데 기여했다.

Einstein이 1901년 스위스 폴리테크닉 연구원을 떠난 이후부터, 연구실도 없었고 학교 도서관 출입도 하기 힘든 시기에, 그는 ‘안사옹’ 활동으로 은유적 상황들을 상상 속 실험을 통해 창의적 업적을 산출할 수 있었다(Miller, 2001: 96-127).

④ 도전: 모든 연구참여자들( $N=12$ , 100%)은 남달리 복잡계의 구조와 변화, 상호관계를 밝히는 어려운 과제를 선택했으며, 5년, 10년 주기로 새로운 분야에 진입하거나 남들이 하고 있는 분야에 늦게 뛰어들어 연구를 시작하였다. 이 과정에서의 심리적 부담은 이루 말할 수 없이 크기만 했다.



S1은 다른 사람이 풀지 못하는 연구에 도전하는 것이 성공의 비결이라고 했다. 그는 이미 알려졌지만 해법을 찾지 못하고 있는 문제, 즉, 가벼운 액시온(axion)으로 CP 대칭성을 밝힌 연구를 수행하여 성과를 냈다. S2는 사람 질병 인자들의 자연현상을 보기 위해, 분자생물학의 고유한 방식인 질병 인자의 분리 방식이 아니라, 인자들 간의 연관성을 밝히기 위해 조립하는 새로운 접근 방식으로 접근하였다. S3과 S4 역시, 분자 수준의 자연현상을 보면서 분자의 자기조직화 현상을 지속적으로 연구해 왔다. S6은 생명과학 분야 숙원 과제였던 단백질 운반소낭 결합인자 분자의 3차원 구조와 그 메커니즘을 규명하는 연구 성과를 냈다. S5는 호기심으로 새로운 일을 시작했다가 좋은 결과가 나오자, 계속 새로운 것에 도전할 수밖에 없는 심리적 압박이 심했다. S7은 10년 주기로 새로운 분야에 뛰어들어 연구를 하게 되는데, 그것이 창의적 성취할 수 있는 좋은 기회였다. S8은 남들보다 7~8년 늦게 새로운 분야에 뛰어들어 남다른 도전을 했다. S12는 약물 투입을 통해 생체 내에서 일어나는 분자의 움직임과 질병 변화의 자연현상에 대해 연구했다.

Darwin(Gruber, 1981)을 비롯한, Einstein(Wertheimer, 1959), 그리고 Benjamin Franklin(피뢰침 발명)(Gruber & Wallace, 1988) 등과 같이 과학 분야의 역사적 성취들은 대부분이 복잡계의 구조와 변화과정을 다루는 문제였다.

⑤ 높은 목표: 연구참여자들(N=9, 75%)은 호기심이나 궁금증을 해소하려고, 현실이 직면한 문제를 해결하려고, 인류의 운택한 삶에 기여하겠다는 의지로, 자신의 직책에서 소임을 다하고자, 그래서 더 발전된 사회로 만들어보겠다는 등 높은 목표를 가지고 연구에 임하였던 것으로 보고했다.

S6은 대학 시절 교재 표지에 그려진 DNA 중합체 그림을 보고 그 신비로움에 매료되어, 그리고 인류에 대한 기여를 목적으로 단백질 구조와 기제를 밝히는 문제를 해결하겠다는 명확한 목표를 설정하게 되었다. S7의 경우, 목표는 높게 잡고 과정은 유연하게 대처한다고 했다. S11은 노벨상을 목표로 세계 1인자가 되기 위해 아직 무한한 가능성을 가진 그래핀 graphene 연구에 당분간 집중할 것이라고 밝혔다. S12는 기관에 속해 있는 한 구성원으로서의 소임을 다하기 위해 의미있는 연구를 한다고 했다.

Miller(2001)에 의하면, Einstein은 궁금해 했던 것이 분명했던 터라, 목표도 분명했다. 그 수준은 분야 전문가도 이해하지 못할 정도로 고도의 것이었고, 혼자 감당하기에도 너무 방대한 것이었다. Gruber(2005: 136-140)도 연구, 문제해결 하고자 하는 의도 혹은 의지가 창의적 업적을 수행하는 데 주요하게 작용한다고 했다. 그는, 일반적으로, 이러한 목표는 단숨에 도달하는 수준이기보다는 의도하는 방향과 시기를 인지, 수정하면서 전략을 발전시켜나가는 형태라고 보았다.

#### 다. 사회: 지지 시스템

① 운: 연구참여자들(N=9, 75%)은 창의적 성취가 ‘right time’, ‘right place’, ‘right people’을 만났기 때문이고, 그것은 ‘운’이었다고 털어놓았다. 그들이 좋은 문제를 채택하고 문제해결할 수 있었던 이유로 도전적 연구 경험, 좋은 연구 기회, 지도교수로부터 훌륭한 배움의

기회, 자유롭게 연구할 수 있도록 지속적인 연구비 지원, 그 밖에 예상 밖의 연구 결과가 나왔던 일 등을 꼽고 있다.

S1이 U-Penn에서 연구한 기회와 벤자민 메모리얼 심포지엄에 참가할 수 있었던 것은 운이라고 했다. S2 역시, 운 좋게 분야 최고의 전문가와 함께 Harvard대 암센터에 가게 되었다고 한다. S9는 자신의 아이디어에 대한 한 교수님의 우연한 지적이 행운이었다고 회고했다.

연구참여자 대부분은 이 운이 ‘준비된 운’이라고 말한다. S4는 창의연구사업 지원을 받게 되었는데, 그것은 이전의 탁월한 연구 업적물이 가져다 준 준비된 행운이라고 말한다. S5도 새로운 연구로 새로운 분야를 개척하면서 성취 욕구가 더욱 커져 꿈을 키워 갈 수 있었는데, 이는 운이 따라 주었기 때문이라고 한다. S3은 운이란 그것을 잡을 수 있는 능력이며, 많은 경험을 통해 만나게 되는 것이라고 말한다.

Darwin(2006)에 따르면, 6년간의 Beagle호 항해는 그에게 찾아온 행운이었는데, 그것은 준비된 운이며, 기회를 잡기 위한 자신의 열정적 노력 덕분이었다.

② 연구비 지원: 많은 연구참여자들(N=9, 75%)은 정부의 지속적인 연구비 지원, 특히, 창의연구지원으로 자유로운 연구가 가능했기 때문에 세계적 성취에 이르렀다고 한다.

S5는 연구비 액수가 크지는 않았지만 지속적으로 받을 수 있었던 것, 그리고 자유로운 연구를 수행할 수 있었던 것이 좋은 결과물을 내는 데 결정적이었다고 한다. S8은 귀국한 지 약 5년 만에 전공 분야였던 기초과학 분야 연구를 할 수 있었던 것은 기초과학에 대한 사회적 인식이 높아지면서 연구비 지원이 있었기 때문이다. S9는 정부로부터 신속하게 연구비 지원을 받아 작은 아이디어로 큰 변화를 이룰 수 있었다. S10은 반복되는 실패에도 굴하지 않는 연구에 대한 확신, 좋은 학생, 특히, 정부의 전폭적인 지원 덕분에 세계 최고가 될 수 있었다고 한다.

## 라. 요약 및 결론

본 과정은 연구참여자가 기존 지식의 결핍, 모순이나 오류를 수정하기 위한 문제를 채택함으로써 창의적 산물이 생성될 수 있는 맥락이 마련되는 단계이다. 이 문제 맥락은 연구참여자들이 교수로 부임하자마자, 경쟁력 있는 전문가로 활동하기 위한 터전을 마련하는 과정에서 그리고 연구 주제와 문제를 채택하는 과정에서 생성되었다. 이는 연구자들이 오랜 관심사나 쟁점이 되는, 미해결 상태로 남아있는, 혹은 기존의 지식으로 풀기에는 한계가 있는 등의 문제를 해결하는 데 도전하는 독자적인 가치치기의 시도 과정이다. 이 과정에서는 세계 최고가 되겠다는 분명한 목표, 창의적 사고—복합적 사고·유추적 사고·운유적 사고, 자기초월적인 도전, 그리고 연구비 확보가 주요한 변인으로 작용했다. 그들은 힘겹고 긴 지식 탐색단계를 거치면서, 비교적 안정적인 연구 여건을 갖추게 되었다.

결론적으로, 지식탐색단계는 기존 지식의 gap을 수정할 문제를 발견, 채택, 정의하는 과정으로, 수련과정을 막 끝낸 연구자가 전문가 사회에 진입하여 생존과 적응을 위해 무모한 탐색과 힘겨운 도전을 모색하는 단계이다. 연구자는 현실과 자신과의 gap, 기존 지식과 변화하는 세상과의 gap, 그리고 자신과 변화하는 세상과의 gap을 극복하기 위한 높은 목표를 향해

기존 체계와는 일정한 거리와 시간을 유지하면서 모든 가능성을 열어 놓고 스스로를 준비하는 창조적 자기조직화하는 과정이다(강정하(2007)에서 자세하게 제시하고 있음).

이는 Wallas(1926)의 창의적 문제해결 네 단계 중, 두 번째 단계인 ‘부화Incubation’ 단계에 해당한다. 하지만, Wallas의 사고 활동은 작은 주제나 문제에 대한 해답을 찾는 소극적 경향성을 드러내는 반면, 본 연구참여자들은 독립된 연구자로서의 생활을 새롭게 시작하는 상황이어서 자신의 연구 여건을 조직하는 상황이어서 연구 주제를 채택하고 연구실을 조성하기 위해 매우 적극적인 탐색과 도전을 요구하는 단계여서 다소 차이가 있는 것으로 판단한다. 이에 비해, Wertheimer(1959)의 아인슈타인 사례에서는 가운데 다섯 단계와 같은 내용으로(2) 빛의 속도의 “절대 운동”과 “절대 정지” 상태가 실제 물리계에서 존재할 가능성이 없을 거라는 모순을 인식, (3) 맥스웰 방정식에 대한 의문, (4) 미켈슨 실험결과에 대한 궁금증, (5) 로렌츠 변환 결과에 대한 문제 인식, (6) 문제에 대한 근원적 이해를 위한 노력: 복잡성을 고려) 등이다. 하지만, 이 결과는 미시적인 접근인 반면, 본 연구는 거시적 차원에서 다루고 있어 개념 차이가 다소 존재하는 것으로 본다. Campbell(1960)의 창의적 사고과정의 진화모델 두 번째 단계인 지속적 탐색을 통한 ‘선택’ 단계가 잘 부합한다. 그리고 지식의 결핍 및 실제 세상과의 결핍을 극복하기 위해 기울이는 많은 노력 및 활동들이 창의적 발현에 지대한 영향력을 미친다는 것을 역사적 사례 연구를 통해서도 확인할 수 있었다.

### 3. 지식구성단계

가. 실재: 지식, 과제, 그리고 현상 시스템

#### 1) 지식 시스템

○ 특수 기술: 많은 연구참여자들(N=9, 75%)에 따르면, 도전적 문제를 해결하기 위해서는 세부 전공 분야에서 활용하는 특수 프로그램이나 tool 활용 기술은 필수적이다.

S4가 무기물 표면에다가 유기금속 촉매를 부착시켜서 불균일화할 수 있었던 것은 그 과정을 정확하게 확인할 수 있는 특별한 기술 때문이었다. S6이 운반소낭 결합인자인 다중복합체 TRAPP I의 분자구조와 작용기작을 규명할 수 있었던 것은 구조생물학자들이 주로 다루는 특수 기술 역량을 습득한 덕분이라고 했다.

Weisberg(1993: 151-168)에 따르면, Watson과 Crick의 창의적 성취는 Watson이 X-ray 사진을 통해 DNA 결정체를 접할 수 있었던 것이 발판이 되었다. Watson과 Crick이 1951년도 12월에 Carvendish 연구소로부터 더 이상 DNA 연구를 계속하지 말라는 경고를 받은 이후, Watson은 본격적으로 X-ray 사진을 판독 방법을 독학했다. 당시에, 이 혁신적 기술을 습득하여 이를 통해 얻은 자료가 창의적 발견을 극적으로 앞당긴 핵심 변인이 된다.

#### 2) 과제 시스템

○ 융합 과제: 다수 연구참여자들(N=8, 67%)이 수행한 과제는 융합과제로, 이론연구와 실험연구의 융복합, 양자물리와 양자화학의 융합, 그리고 물리-나노-IT-의학의 융합 등이다. 융

합연구의 성공은 연구자의 포괄적 지식 기반과 연구 경험, 분야 전문가와의 협력에 의한 것으로 조사되었다. 융합연구를 하게 동기는 생존을 위한 고육지책으로 보고되기도 했다.

S2는 생명과학, 의학, 그리고 복잡계 네트워크와의 융합연구로, 통계물리학의 새로운 거시적 접근을 통해 생명과학 및 의학 분야의 질병 유전자 네트워크를 밝히고자 했다. Harvard 대학 병원의 의학 전문가들로부터 질병 유전자 정보 수집과 전문 지식체계에 대한 자문을 구하여 완성할 수 있었다. S3은 이론과 실험, 화학과 생명과학, 화학과 물리 등 다방면의 해박한 지식과 기술을 지닌 multi-player이며, 연구원들의 협력으로 융복합 연구를 수행할 수 있었다. S7, S8과 S10에 의하면, 성공적 융합연구는 해당 분야 최고 전문가와의 상보적 역할 수행이 결정적이다. S11의 그래핀 연구는 물리 분야와 화학 분야의 융합과제로, 두 분야의 심층적 이해에 기반을 두고 있다. S12의 인체 내 약물 반응연구는 nano와 bio의 융복합연구의 대표적 사례이다.

Watson과 Crick의 DNA 구조발견도 생물학, 물리학, 화학, 그리고 기계공학 등의 다양한 학문 분야들의 전문지식과 특수 기술을 필요로 한 융복합과제로, 그들이 과제를 수행하는 동안 이 모든 분야에 대해 해박한 전문가로 multi-player가 되어야 했으며, 이 문제에 관심을 가지고 있었던 King's College 연구소와 Carvendish 연구소, 그리고 Pauling을 비롯한 Wilkins, Franklin, Chargaff 등이 Colloquium 기획, 과제, X-ray 장비, 시설, 전문지식, 특수 기술, 무엇보다 전문 자료 등의 결정적 도움을 주었다(Weisberg, 1993: 151-168). Darwin의 진화론도 앞서 밝힌 바처럼 마찬가지이다.

### 3) 현상 시스템

○ 복잡계: 연구참여자들(N=10, 83%)은 연구 대상으로 자연현상의 구조와 변화를 반영하는 복잡계를 다루었다.

S1은 물리학을 하는 동인動因은 세상에 대한 호기심이고, 물리학을 하는 근본이 세상이 돌아가는 이치, 즉, 복잡계를 이해하는 것이라고 말했다. S6도 자연의 복잡계 현상을 밝히는 연구에 관심을 가졌다. S2는 복잡계 네트워크의 개념인 생명과학 네트워크와 의학 네트워크와의 결합으로 질병 인자의 연관관계를 설명하고자 했다. S3은 실제 맥락에서 일어나는 자연현상의 변화를 주시함으로써 복잡계를 설명하고자 했는데, 자연현상이 보여주는 새로운 현상은 많은 가능성과 기회를 제시하기 때문이라고 했다. S7은 세포 수준의 실험을 벗어나 생체 내 실험을 통해 뜻밖의 발견을 맞았다.

특히, S6는 복잡계의 구조는 스마트해서 그것이 주는 정보가 굉장히 크고 많다고 한다. 그는 단백질의 분자구조를 밝힘으로써 단백질 복합체의 기작을 규명하였다. S7은 질병이 생기는 과정을 그대로 보여주는 생체 내 실험을 통해 세포들 간의 상호연관성을 밝혀냈다. S11도 다양한 분야의 학문적 기반과 경험이 현상의 구조를 확인하는 토대가 되었으며, 이것이 결국 세계적 업적으로 연결되었다고 했다.

복잡계에 대한 연구자의 관심은 인류 및 사회에의 공헌에 있음을 반영하고 있었다. S10은 연구의 시작이 인류에 공헌하겠다는 의지에 있었다고 한다. S12는 영상 기술의 개선으로 생명체 복잡계의 치료 가능성을 높이는 시도를 계속해 왔다. S9는 에너지 및 환경 문제해결로

지대한 공헌을 해 오고 있는데, 인류가 당면한 지구문제 같은 복잡성 문제를 해결할 때 KAIST는 세계 최고의 대학이 된다고 역설했다.

Darwin(2006)의 진화론은 복잡계 개념을 정립하는 데 초석을 마련하였다. 그리고 Einstein은 1936년에 “(인간 주변의 세계에서 물체들이 늘 직접적인 접촉에 의해 서로 영향을 주는 것처럼) 과학이란 일상적 사고를 세련되게 표현한 것에 불과하다”고 언급한 바, 이는 복잡계 자체를 정의하는 문구로 본다(Miller, 2001: 118-119).

## 나. 개인: 경험, 특성, 소통 시스템

### 1) 경험 시스템

○ 요동: 연구참여자들(N=9, 75%)은 특정 현상에 대한 궁금증으로 인해, 좋은 문제를 찾거나 해결하려는 의도에서, 과거 경험과 새로운 정보들의 연합을 위해 의식적, 무의식적 사고 활동을 끊임없이 지속했다. 이 활동은 잠잘 때도, 매일, 7~8년이 넘도록, 심지어는 30년이 넘도록 계속되었다. 그 대표적 현상으로는 사고의 지속적 ‘시행착오’ 활동이다.

S2는 문제해결을 위해 한 동안 골몰하다가 어느 날 잠이 들었는데, 꿈속에서 해답을 얻었다고 한다. S6은 DNA 중합체 기작의 발견은 학부 시절에 발동했던 강한 호기심이었는데, 중년이 되어 문제해결에 걸린 시간이 7, 8년 동안 지속됐다고 한다. S5는 새로운 실험 방법을 찾던 중에 중학 시절의 경험에서 떠오른 아이디어를 가지고 다양한 시도를 하다가 적절한 방법을 발견했다. S8은 전공 분야인 산화물 박막 분야의 기초연구로부터 새로운 주제를 가지고 응용 부문으로 확장할 수 있었던 것은 학부 시절에 흥미를 가졌던 통계 물리학의 복잡계 네트워크에 대한 생각을 놓지 않고 있었기 때문이라고 회상한다. S7의 경우, 머릿속에서 수많은 시행착오를 지속한 것을 실제 실험에서 실현했다. 10만여 마리의 모델 동물로 가능한 모든 조합을 시도하여 과학적 발견에 이를 수 있었다. 그는 더 많은 가능성을 확보하기 위해 일을 최대한 크게 벌였다고 했다. S10은 남다른 좋은 업적이 나오게 된 데는 항상 바빠서, 뒤집어서, 혹은 엉뚱한 방법 등으로 새롭게 시도하는 탐색과정에 있다고 했다.

강정하와 최인수(2008)의 연구에 따르면, 과학 분야 창의적 인물들의 경험으로부터 얻게 되는 조각 지식들이 창의적인 아이디어를 생성하는 원천이 되는데, 이것은 의식적 혹은 무의식적 사고를 통해 일어나는 ‘요동’에 의한 성장의 결과라고 보고하고 있다.

### 2) 특성 시스템

① 통찰: 많은 연구참여자들(N=8, 67%)은 일에 골몰하다 보면 갑작스런 통찰이 떠오르는데 이것이 문제해결의 열쇠가 되었다고 한다.

S1은 오랜 고민 끝에 갑작스레 한 아이디어가 떠올랐고, 그것이 문제해결의 열쇠가 되었다고 했다. S5는 과학적 발견은 갑작스런 통찰이 결정적인 단서가 되는데, 이것은 벼랑 끝으로 밀려 한 동안 고민하던 중에 어느 순간 갑자기 떠오르고, 대개 큰 수확으로 이끈다고 한다. 하지만, 이것이 논리가 약해서 잘 맞아떨어지지 않을 때도 가끔은 있다고 한다. S9과 S11은 통찰은 과거 연구 경험으로부터 발현되는 것이라고 했다. 예를 들면, S11은 계산화학

을 했던 경험에서 복잡한 물분자 구조를 확장할 수 있는 직관력을 얻게 되었다고 말한다.

Wertheimer(1945)는 통찰이란 문제에 대한 문제해결자의 갑작스런 깨달음이라고 했다. Davidson(1995)과 Sternberg와 Lubart(1985)는 통찰의 개념을 선택적 부호화, 선택적 결합, 그리고 선택적 비교 등의 3가지로 구분하여 설명하고 있다.

② 복잡적 사고, 유추적 사고, 은유적 사고, 도전, 그리고 높은 목표 요인은 ‘나. 지식탐색 단계’에서 기술하고 있음

### 3) 소통 시스템

① 연구 동향 탐색: 모든 연구참여자들(N=12, 100%)은 세계의 연구 동향을 파악하는 일은 독창적인 연구에 필수적이다. 그들은 관련 저널을 매일 아침에 체크하며, 국제 학회나 세미나에 참석하여 최근 이슈를 확인하거나 많은 아이디어를 얻는다고 했다.

② 연구원과의 대화: 연구참여자들(N=7, 58%)은 연구를 수행함에 있어서, 내부적으로 혹은 외부 정보를 수집하기 위해 연구실 학생, 연구원, 그리고 외부 전문가 등과 함께 주기적으로 세미나를 개최하거나 많은 대화를 나누는 것이 중요하다고 했다. 뿐만 아니라, 학생들과의 교감은 연구 과정의 어려움을 이겨내는 데 큰 힘이 된다고 했다.

S11은 세계적 대가의 연구소에서 일하면서 얻었던 빠른 정보가 매우 중요하게 작용했다고 한다. S1은 새로운 정보가 당 연구실의 학생들과의 만남을 통해 많이 얻는다고 했다. S8은 교수로 갖 부임해서 열악한 연구 환경으로 어려움을 겪고 있었을 때, 학생과의 인간적인 교류를 통해 학생들을 격려하고 꿈을 심어주는 데 많은 노력을 했으며, 그것이 모두가 성장하는 데 큰 도움이 되었다고 했다.

Miller(2001: 140-152)에 따르면, Einstein이 스위스 폴리테크닉 연구원의 베른과 결별한 이후, 그의 지적 교감을 나눌 수 있는 “올림피아 아카데미”라는 모임을 만들었는데, 이 모임이 지적 확장에 큰 도움을 주었다고 한다.

### 다. 사회: 지지 시스템

① 전문가와의 협력: 연구참여자들(N=9, 75%)이 융합연구를 할 때, 연구 문제탐색단계부터 연구가 종료될 때까지 관련 전문가와의 협력은 필수적이다. 주제와 잘 부합하는 전문가 발굴은 주로 논문을 통해서나 연구자의 명성으로 찾는다고 했다.

Watson과 Crick의 경우도 마찬가지이다. 그들은 Cambridge 대학의 Cavendish 연구소에서 처음 만났다. 이들은 당시 세계적 명성이 있는 유전자 연구 그룹에서 각각 훈련을 받았던 터라 서로에게 큰 도움을 주었다. 그리고 최종 단계에서 그들은 Chargaff로부터 염기배열의 화학적 결합과 관련하여 큰 도움을 받았다(Weisberg, 2006: 11-16에 확인할 수 있음).

② 좋은 학생: 많은 연구참여자들(N=7, 58%)은 창의적 업적의 공로를 연구에 참여한 학생들에게로 돌리고 있고, 학생들의 진로를 위해 힘쓰고 있다.

S6과 S8은 어려운 과제를 용기 있게 수행할 수 있었던 것은 열정적인 학생과 연구원 덕분이라고 한다. 특히, S8은 학생들의 희망적인 진로를 위해 2개 분야-기초연구와 응용연구-

연구실을 지속적으로 운영하는 어려움을 감수해 오고 있다.

③ 좋은 연구 환경: 연구참여자들( $N=6$ , 50%)은 자신의 연구실을 보다 좋은 환경으로 만들기 위해 물적, 인적 환경 지원을 아끼지 않는다. 복잡계를 확인할 수 있는 세계 최고의 실험실을 조성하였고, 희망하는 연구를 할 수 있는 고가 장비 또는 좋은 장비를 갖추어서 소속 연구원들이 이를 자유롭게 활용할 수 있도록 독려한다고 한다.

#### 라. 요약 및 결론

본 과정은 연구참여자들이 문제 해결 방법을 개발, 검증하는 과정에서 하나의 완성된 새로운 산물이 태어나는 단계이다. 연구참여자들은 본 단계에서 복잡계를 규명하는 융합과제를 통해 기존 지식이 설명하지 못하던, 혹은 그것이 지니는 오류를 수정하는 새로운 지식을 재구성하는 활동을 했다. 이 과정에서 과거 경험의 요동, 통찰, 세계적 연구 동향 파악, 연구원과의 소통, 그리고 전문가와의 협력 및 좋은 연구 환경 등이 주요하게 관여했다.

결론적으로, 창의적 산물은 문제해결을 위한 아이디어를 생성, 검증함으로써 창의적 연구자가 연구를 종결하는 세 번째 단계, 지식구성단계를 맞는다. 시기적으로, 연구참여자들이 전문가로서 자리 잡아 안정기에 막 들어서서 커다란 성장을 맞이하게 되는 때이다. 창의적 인물은 기존 지식의 한계를 극복하겠다는 분명한 목표를 향하여 전념한다. 자연세계 및 실제 세상의 현상에 관여하는 모든 요소들을 소중하게 다루는 겸허한 자세로 연구에 임함으로써, 새로운 패러다임의 시도를 통해 새로운 방법 혹은 결과를 도출한다. 이 모든 것이 최적화를 향한 자기조직화 과정으로, 개인은 주관적 경험을 부단히 탐구, 검증함으로써 새로운 질서를 만나게 되는 것이다. 이는 Wallas(1926)의 마지막 두 단계인 3, 4단계의 조형단계 및 검증 단계에 해당한다. Wertheimer(1959)의 아인슈타인 사례에서는 10단계 중, 마지막 네 개 단계 모두가 이에 해당한다: (7) 증명을 위한 진보: 지식의 성장, (8) 가설의 설정과 통찰, (9) 이동과 공간에 대한 법칙의 발견, (10) 실험을 통한 새로운 이론에 대한 검증 및 유용성 검토 등의 단계. 본 연구 결과와 가장 유사한 모델은 Campbell(1960)의 창의적 사고과정 진화 모델의 3단계인 변이를 선택을 통해 ‘보존’ 가능성이 높은 단계이다. 창의적 인물은 목표 설정해 놓은 문제해결을 위해 전력투구하는 과정에서 만나는 다양한 지적, 정서적, 사회적 활동들은 다른 창의적 연구 결과도 맥을 같이 하고 있다.

### 4. 지식발현단계

#### 가. 실재: 지식 시스템

○ 새로운 지식 창출: 모든 연구참여자들( $N=12$ , 100%)의 경우, 연구자의 주관적 경험은 일련의 과정을 거쳐 객관적 지식으로 발현됨으로써 고유 영역의 지식체계를 확장하는 데 기여했다.

나. 개인: 특성, 소통 시스템

1) 특성 시스템

○ 사명감: 연구참여자들(N=7, 58%)은 자신의 연구 결과가 인류에 기여할 수 있기를 바라는 소명감과 소임을 다하는 과정이어야 한다고 밝히고 있다.

S7은 전혀 밝혀지지 않은 미지의 세계를 찾아 커다란 학문적 기여를 희망한다는 소명감을 내비쳤다. S9와 S10은 과학이란 지구 문제 또는 인류가 당면한 문제를 도전적으로 해결하는 역사적 의미를 강조하면서, 언제나 이를 염두에 두고 있다고 힘주어 말한다. S12는 모든 연구 활동이 스스로 처한 위치에서 소임을 다할 뿐이라고 했다. S11은 연구 업적도 쌓이고, 연구비 지원이 안정적이 되어 이제는 더 깊이 있고 심도 있는 연구, 위험부담이 있을 수 있는 연구에 도전하고 싶다고 피력했다.

2) 소통 시스템

○ 표현의 논리성: 연구참여자들(N=7, 58%)은 개인의 주관적 경험을 새로운 객관적 지식 형태로 외부 세상에 소개하기 위해 분야 전문가를 설득하는 관문을 통과해야 했다. 이 때, 언어적 및 논리적 표현 기술, 전문 용어 및 프로그램 활용 기술, 그리고 글쓰기 능력과 이미지 자료 만들기 등이 주요한 기술로 드러났다.

S1은 창의적 발현에 수학적 language와 활용 기술이 절대적인 요소였다고 했다. S2는 문제해결을 일찌감치 끝내고, 연구자가 원하는 메시지가 잘 전달되도록 프로그램을 활용하여 mapping 하고, 구성하는 데 많은 시간을 들였다고 했다. S5는 논문 투고할 때, 내용의 전문성도 중요하지만, 과학 분야에 어떤 영향을 주고, 비전을 제시하느냐 등, 저널의 성격에 맞게 잘 작성하는 것이 중요하다고 말한다. S11 역시, 학문적 기술과 함께 논문을 작성하는 기술의 중요성에 대해 강조했다. S3은 나노 세계에서는 입자의 크기에 따라 색깔이 달라지고 새로운 물리 현상이 나타나기 때문에 색 그대로를 잘 짚어내는 기술이 매우 중요하다고 했다. S4와 S6은 발표 슬라이드를 직접 만드는 등, 심미적 요소에 많은 노력을 들인다고 했다.

다. 사회: 평가 및 선택 시스템

1) 평가 시스템

○ 세계 최초(N=8, 67%) 및 놀라움(N=6, 50%): 연구참여자들이 세계 최초의 업적을 세상에 내놓았을 때, 동료 평가자들 간에 많은 논란의 여지가 있기도 했으며, 다른 한편으로는 놀라운 충격을 주기도 했다.

S2의 경우, 세계 최초의 연구 방식과 그림이었던 만큼 평가자들이 그 결과를 수용하는 과정에서 약간의 논란이 있긴 했지만, “놀랍다”는 평을 받았다고 한다. S7은, 발표의 적절한 시기 timing과 관련하여, 단언컨대, 과학적 연구 결과는 해당 분야에서 세계 최초, 혹은 1등이아야 한다고 강조한다. S10의 혁신적 산물은 연구참여자가 동료 평가자들을 추가로 설득하는 과정에서 그들의 놀라움을 자아내기도 했다.



## 2) 선택 시스템

① 학문적 기여: 새로운 발견이나 문제해결 형태로 드러나는 대부분의 업적들( $N=11$ , 92%)은 해당 영역이나 분야에서 필요로 하는 새로운 지식 혹은 기술의 창출로 고유 영역의 지식 성장을 끌어내었으며, 더 나아가, 영역을 확장하기도 했다.

S1은 자신의 연구가 당시까지 풀리지 않았던 우주의 역사와 현상을 설명할 가능성이 큰 만큼 많은 후속 연구가 이어지기를 희망했다. S2는 본인의 연구를 두고, 생명과학의 큰 그림으로 보여주는 agenda를 제시하는 연구로서의 의미를 강조하였다. S7은 자신의 지능 연구 결과가 포스트 지노믹 연구를 유도하기를 기대했었다. S9는 Axiomatic Design Theory를 창안함으로써 관련 연구를 촉발했음은 물론, 전기자동차의 상용화 등 환경 문제 해결에 이바지할 수 있었다고 했다. S10은 나노 입자를 대량 생산하는 방법을 처음으로 그리고 쉬운 방법으로 개발함으로써 나노 기술의 응용화를 크게 앞당기게 되었다고 했다. 한편으로, S5는 새로운 연구 결과를 낼 때마다 분야의 이목을 집중시키게 되어 많은 심적 부담을 느낀다고 했다.

Darwin(2006: 26-27)의 진화론은 과학과 사회 전반에 지대한 영향을 미쳐 인류의 사고방식을 한 단계 높였다. Einstein(Miller, 2001: 386-392)의 특수상대성과 일반 상대성 이론은 인류 과학사상 가장 아름다운 이론으로 각광을 받고 있다.

② 명성: 연구참여자들( $N=12$ , 100%)이 낸 결과물이 세계적 업적으로 인정받게 되자, 학문적 기여와 개인적 명성이 뒤따랐다. 새로운 모델의 제안, 새로운 분야의 정립, 기존 지식의 수정 및 연구의 대중화, 그리고 영역의 확장 등을 이끌어 냈으며, 이러한 결과들은 개인의 명성으로 이어졌다.

Darwin(2006: 26-27)은 자신의 새로운 주장을 발표하자마자 곧바로 대중의 호응을 얻고 명성이 뒤따랐다고 한다. Einstein(Miller, 2001: 386-392)이 자신의 특수 상대성 이론을 발표하고 나서 명성을 얻게 되는데 약 9년이 넘게 걸리기도 했다.

### 라. 요약 및 결론

연구 결과는 주관적 검증은 마치고 설득력 있는 논문으로 작성되어 동료 평가자의 검증을 통해 객관적 지식으로 채택되는 과정을 거쳤다. 이로 말미암아, 연구자는 이후에 학문적 기여를 일구어냈고, 개인적 명성을 얻게 되었다. 이를 위해, 연구자는 논리적 서술과 이미지화하는 작업을 했다. 연구자들은 완성된 연구 결과물을 잘 부합하는 학술지에 투고하여 ‘세계 최초’ 및 ‘놀라운’ 산물로 평가, 승인되었다. 연구자들은 어떤 다른 때보다 치열하고, 긴장된 시간을 보내는 것으로 보고되었다. 이후, 고유 영역이나 사회가 그것을 지속적으로 활용함으로써 지식의 성장을 꾀하는 과정을 맞이했다. 예컨대, 연구 결과는 분야 및 영역 내외적으로 학문적 확장을 일으켰다. 나아가 사회적 기여는 물론, 개인적 명성이 자연스레 뒤따랐다. 이 과정은 연구 결과물이 사회에서 승인, 선택, 활용되는 지식발현단계라 할 수 있다.

결론적으로, 과학 분야 창의적 산물은 새롭게 또 다른 특징을 드러내는 지식발현단계를 맞게 된다. 이 단계에서 창의적 연구자는 주관적 경험이 지속 성장하여 ‘세계 최초’로 창의

적 업적으로 인정받게 되고, 이로 말미암아 세계를 리드하는 전문가로 발돋움하는 시기를 맞이한다. 본 과정은 개인의 자기조직화와 사회의 자기조직화가 공존하는 매우 복잡한 단계로, 궁극적으로는 자연선택에 의해 개인과 분야의 진화가 결정되는 단계로 사료된다. 결과, 개인의 성장은 물론 영역의 성장, 나아가 과학적 지식의 성장을 맞이하여 새로운 가치치기에 성공하게 된다. 이는 Campbell 모델의 마지막 단계인 새로이 얻은 산물을 세상에 내놓기 위한 ‘재생산’ 단계와 일치한다. 이 단계는 대부분이 다른 이전 단계들보다 비교적 짧은 기간에 이루어지지만, 수 년 동안 혹은 수백 년 동안 이 과정에 진입하지 못해 역사의 뒷안길에서 빛을 보지 못하는 불운의 산물이나 인물들이 적지 않다. Csikszentmihalyi(1996)는 특별히, 동료 평가자의 의례적인 평가 관문의 중요함에 대해 강조한 바 있다.

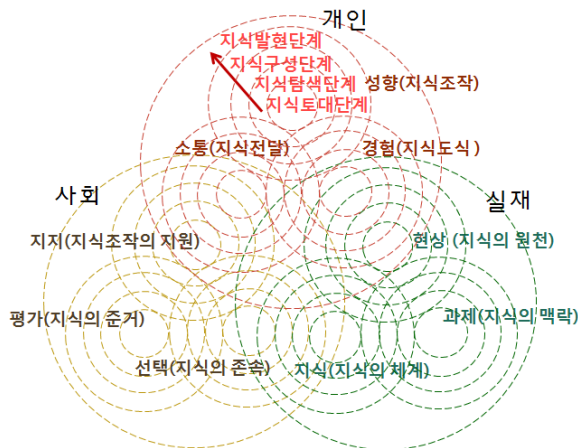
< 표 8 > 지식진화시스템의 4단계 및 단계별 구성요소

상부 시스템	하부 시스템	지식도대단계	▶	지식탐색단계	▶	지식구성단계	▶	지식발현단계
		기본지식 구축	▶	지식gap찾기 문제정의	▶	지식 재구성 및 문제해결 검증	▶	지식의 객관화
실재	지식	시대사조 학문적 기반	▶	-	▶	특수기술	▶	(지식 창출)
	과제	(주어진 과제)	▶	쟁점문제 문제구체화	▶	융합 과제	▶	-
	현상	(복잡계)	▶	-	▶	복잡계	▶	-
개인	경험	기반연구경험	▶	가지치기 우연한 계기	▶	요동	▶	-
	특성	-	▶	복합적사고 유추적사고 은유적사고 도전 높은 목표	▶	통찰 복합적사고 유추적사고 은유적사고 도전 높은 목표	▶	사명감
	소통	(표현 기술)	▶	-	▶	연구 동향 탐색 연구원과의 대화	▶	표현의 논리성
사회	지지	멘토	▶	운 연구비지원	▶	전문가와의 협력 좋은 학생 좋은 연구환경	▶	-
	평가	(인정)	▶	(인정)	▶	(인정)	▶	세계 최초 놀라움
	선택	-	▶	-	▶	-	▶	사회적기여 명성

## 5. 최종 요약 및 결론

최종적으로, 본 연구 결과 중, 창의적 산물 발현 과정과는 앞서 서론에서 소개한 세 가지 창의적 산물 발현 과정 모델 — Wallas의 모델, Wertheimer의 연구, 그리고 Campbell의 연구 — 가운데, 앞의 두 가지 모델은 다소 차이를 보이고 있으나, Campbell의 모델은 철학적 개념에서부터 대부분이 일치하고 있다. 그리고 창의적 산물 발현 과정에서 단계별로 작용하는 구성요소 역시, 의미있는 역사적 사례 연구를 통해서 검증해 보았다. 이러한 결과들을 종합하면 아래와 같다.

최종적으로 산출된 개념 모델의 개요는 다음과 같다. 과학 분야 창의적 산물은 개인의 주관적 경험이 4단계—지식토대단계, 지식탐색단계, 지식구성단계, 지식발현단계—의 성장과정을 거쳐 발현된 결과이다. 그리고 각각의 단계는 상부 시스템, 하부 시스템, 그리고 하위 변인 등의 위계적 체계의 역동적 상호작용에 의해 형성되는데, 단계별로 주도하는 상부 및 하부 시스템, 그리고 변인들의 종류는 서로 다르다. 4단계 전체를 구성하는 상부 및 하부 시스템의 특징을 보면, 상부 시스템은 각각의 하부 시스템들의 조직화에 의해, 그리고 하부 시스템 각각은 그것들을 구성하는 하위변인으로 이루어진다. 이를 테면, 상부 시스템은 개인, 실제, 사회 시스템으로 구성되는데, 개인 시스템은 심리적 특성, 경험, 의사소통 등의 하부 시스템의 조직화로, 실제 시스템은 지식, 과제, 현상 시스템의 조직화로, 그리고, 사회 시스템은 환경적 지지, 평가, 선택 시스템의 조직화로 성장, 변화한다. 다시, 하부 시스템 각각은 다수의 변인들의 자기조직화로 성장, 변화한다. 이처럼, 창의적 산물 생성과정은 개인의 경험이 복잡한 시스템 및 변인들의 새로운 결합으로 인해 예측불허한 화학적 변화에 의해 초래되는 불연속적인 성장, 변화를 반영한다. ‘지식진화시스템 4단계 및 단계별 구성요소’를 <표 8>에 제시하였고, 그것을 시각적으로 통합한, ‘지식진화시스템 모델-과정(KES-PR)’을 [그림 1]에 제시하고 있다.



[그림 1] 지식진화시스템-과정(KES-PR) 모델

첫째, 창의적 산물은 각 단계를 구성하는 상부 시스템, 하부 시스템, 그리고 하위 변인 등의 위계적 시스템의 상호작용을 통해 생성된다. 단계별 상부 시스템은 실제 시스템, 개인 시스템, 그리고 사회 시스템으로 이루어진다. 다시, 실제 시스템은 지식 시스템, 과제 시스템, 현상 시스템으로, 개인 시스템은 경험 시스템, 특성 시스템, 소통 시스템, 그리고 사회 시스템은 지지 시스템, 평가 시스템, 선택 시스템으로 이루어지며, 이들 하부 시스템 각각은 서로 다른 변인들로 이루어진다. 창의적 산물은 이들 시스템 및 변인들의 역동적 상호작용에 의해 생성된다.

둘째, 창의적 산물은 각 단계를 구성하는 각각의 시스템들의 자기조직화를 통해, 그리고 창의적 개인의 주도적 활동을 통해 일어나는 질적 성장의 결과이다. 상부 및 하부 시스템 각각은 자기조직화를 통해 스스로 성장, 변화하는데, 이 때, 창의적 인물의 주도적 활동이 이들 시스템의 상호작용에 크게 영향을 주면서 스스로 새로운 성장을 맞게 되는데, 그것이 창의적 산물이다.

셋째, 창의적 산물 발현에는 4단계 과정 모두가 주요하게 작용한다. 초기 단계에서 후기 단계로 나아갈수록 구성요소가 거시적이고 복잡한 특성을 보인다. 초기 단계에는 시스템이 미성숙 및 통합적 특징, 그리고 크기도 작아서 상호작용이 미약하던 것이 후기로 나아갈수록 시스템의 발달로 인해 크기가 커지고 힘도 강해져서 상호작용이 점진적으로 증가하여 새로운 질적 변화를 맞게 된다.

넷째, 창의적 산물 발현은 언제나 4단계를 모두 거치는데, 단계별로 집중하는 시차는 있을 수 있다.

#### IV. 논의 및 시사점

창의성 연구는 창의적 산물에 대한 사회적 요구와 가치가 큰 만큼 그것에 대한 이해를 위해, 그리고 교육을 통해 창의적 산물 산출 역량이 향상되리라는 기대에서 출발한다. 특히, 창의적 산물의 생성과정에 대한 연구는 개인의 작은 경험이 과학적 지식으로 발현하는 과정을 세밀하게 살펴봄으로써 새로운 지식의 구조와 성장 과정을 자세하게 살펴볼 수 있다. 이는 과학자의 창의적 역량을 신장시키는 데 필수적인 내용 지식의 범위와 수준, 탐구 대상 및 방식, 문제해결 방법, 내용 전달, 그리고 연구 환경 등과 관련하여 교육적으로 시사하는 바가 크다. 창의적 산물생성 단계별 특징을 기초로 교육적 시사점을 제시하고자 한다.

(1) 지식토대단계: 과학 분야 창의적 산물은 창의적 인물이 전문 분야의 기초 지식과 기술을 바탕으로 자연현상의 이해, 지구문제 해결, 드넓은 세상에 대한 이해, 풍요로운 삶의 추구, 그리고 미래 예측 등 실제 세상에 관심을 가지고 탐구, 노력한 결과이다. 이는 곧, 과학 교육이 전문 지식 및 기본기를 제대로 갖추는 것이 큰 의미가 있음을 시사하고 있다. 더불어, 그러한 배움이 실제 세상, 인간의 삶, 사회과학, 인문학, 그리고 예술 등의 맥락 위에서 이루어질 필요가 있음을 반영하고 있다. 특별히, 학교 현장은 과학적 현상을 바라보고 설명

하는 기존 지식체계는 물론, 자연현상을 탐구하고 문제해결하는 방법, 그리고 그것이 실제 세상과 인류의 풍요로운 삶과 어떻게 연결되어 있는지에 대해 생각해 보고 발전시켜 나가는 학습 환경을 제시하는 것이 중요할 것이다.

(2) 지식탐색단계: 과학 분야 창의적 산물은 창의적 인물의 자기조직화의 결과이다. 창의적 인물은 세상의 변화가 만들어내는 기존 지식의 gap과 나와 세상과의 gap을 발견, 극복하고자 최적의 생존을 위한 가지치기를 한다. 그들은 기초 연구, 실험 연구, 그리고 응용 연구 전반을 섭렵하는 자기초월적 확장을 통해 자기조직화를 꾀한다. 이를 실현하려면 성장기에 있는 학생들이 실제세상에 대한 체험과 기존 지식의 적용을 통해 지식의 gap을 인식하고, 그 gap을 메우기 위한 시행착오를 지속할 수 있는 다양한 자원과 허용적 분위기를 과학교육은 제공해야 한다. 무엇보다 그러한 과정들을 학생 스스로 독립적으로 할 수 있는 시, 공간적 여건이 주어짐으로써 보다 독창적인 사고와 도전을 시도하는 것이 가능할 것이다. 이는 작은 경험이 학생들이 과학 지식의 가치, 과학 활동의 가치, 그리고 과학자의 책무성을 깨닫는 기회를 가지게 될 것이며, 세상과, 자신의 삶과, 그리고 또래와 소통하는 재미있고 신나는 과학 공부 시간을 가질 것이다. 이것이야말로 장차 성숙한 과학자로 성장하는 토대가 될 것이다

(3) 지식구성단계: 과학 분야 창의적 산물은 창의적 연구자가 복잡계를 다루는 도전적 문제를 해결하기 위해 현상의 검증에 총력을 기울이는 과정에서 불현듯 만나게 되는 부산물이다. 창의적 산물은 창의적 연구자가 벼랑 끝까지 내몰리는 지경에 이를 때 갑작스레 발현하는 새로운 질서이다. 과학교육은 학생들이 자연현상이나 실제세상의 변화무쌍한 현상과 그것이 던지는 복잡성 문제, 그리고 질서의 세상을 접하면서 과학 활동의 의미와 사회적 가치, 어려움, 경외심, 그리고 진면목을 경험하는 기회를 가지는 것이 필요하다. 학교는 이러한 상황을 가장 쉽게 그리고 가장 자연스럽게 만날 수 있는 PBL 방법을 교실수업에 도입함으로써 실제세상, 자연의 질서, 복잡계, 지구 문제, 기존 지식체계, 기존 지식의 gap 인식, 문제 발견, 해결책 시도, 그리고 이를 통한 사고의 성장, 경험의 성장, 자아 발견 등 이 모두를 학생 스스로가 창출해 갈 것이다.

(4) 지식발현단계: 과학 분야 창의적 산물은 창의적 인물이 논리적 언어로 창출한 최종 산출물로서, 동료 평가자들의 평가를 통해 비로소 창의적 업적으로 태어난다. 이후, 창의적 산물은 학문적 기여를 하게 되고, 창의적 인물은 자아성취와 개인적 명성을 얻게 된다. 과학적 산물이 새로운 지식으로 창출되기 위해서는 주관적 경험을 객관적 경험으로 승화시키는 노력이 더해져야 한다. 과학교육을 통해 학생은 자신의 주장을 논리정연하게 전문적 언어로, 그리고 객관적 지식으로 전문가 및 대중을 설득하는 소통 기술을 습득할 필요가 있다. 학생들이 글로벌 창의인재로 성장하기 위해서는, 특별히, 자신의 생각과 전문성을 논리적으로 표현할 수 있는 언어의 국제적 감각을 키울 수 있는 프로그램을 제공하여야 할 것이다.

유념할 것은 이러한 일련의 긴 과정과 수많은 변인들은 창의적 산물이 발현하는데 어느 것 하나 없어서는 안 된다는 점이다. 더군다나, 이 긴 과정은 아무도 가지 않은 길, 불확실하고 힘들고 끝이 보이지 않는 긴 여정이다. 그럼에도, 창의적인 인물들은 이 과정에서 목표를

달성하기 위해 기꺼이 이 모두를 감내하고, 오히려, 아무나 경험하지 못하는 신비로운 세상을 만나고 자신의 역량을 극대화하는 경험을 맛보면서 끝없는 환희를 만끽한다. 창의적 발현은 앞서 제시한 수많은 변인들을 의식적으로 하나하나 다 챙기는 데서 오는 것이 아니라, 현상의 본질을 이해하고, 인류에게 풍요를 안겨주려는 마음과 노력이 가져다주는 선물이다. 바꾸어 말하면, 이러한 것들은 교실에서 교사가 줄 수 있는 것이 아니라, 학생 스스로가 찾고 만드는 것들이다. 학교와 교사가 해야 할 일은 그런 기회를 만들어 주는 일이다.

본 연구에서는 창의적 산물 생성 과정의 복잡성, 연구 방법론의 문제, 그리고 좁은 지면의 문제 등으로 연구를 통해 얻은 분석 결과를 충분히 기술하지 못했다. 개인의 경험이 오랜 세월을 통해 성장하는 과정과 업적을 추적하는 연구는 또 다른 연구 문제이며, 과거 회상을 통해 객관된 정보 또는 균형있는 정보를 수집하기에는 한계가 있고, 또 제한된 사례수로 분석 결과를 일반화하기에는 한계가 있다. 또한, 자기보고식 방법은 현재 관심있고 집중하는 것에 대해 더 가치를 두어 과거의 사실을 그대로 옮겨놓는 일도 한계가 있다. 마지막으로, 분야별로 1인~3인 사례만을 다루어서 영역별 및 과제별 특수성 혹은 보편성을 판가름하기가 어렵다. 그 외, 연구 참여자들이 모두 교육기관에 몸담고 있고 논문만을 다루어서 연구 결과가 시사하는 바가 매우 제한적일 수 있다. 추후, 보다 다양한 기관 및 산물 종류에 대한 후속 연구로 여기서 얻은 결론에 대한 검증이 이루어져야 할 것으로 본다.

## 참 고 문 헌

- 강정하 (2007). **과학적 창의성과 예술적 창의성: 지식의 성장으로서의 창의성에 대한 사례 연구 및 과학적 창의성의 타당화**. 박사학위논문. 성균관대학교.
- 강정하, 최인수 (2008). 과학적 창의성: 지식의 성장으로서의 창의성에 대한 사례 연구. **교육심리연구**, 22(3), 537-562.
- 강정하, 최인수 (2009). 과학적 창의성의 발달: 창의적 한국인 사례에 대한 전기적 연구. **영재교육연구**, 19(3), 529-563.
- 최무영 (2008). **최무영 교수의 물리학 강의**. 서울: 책갈피.
- Campbell, D. T. (1960). Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge processes. *Psychological Review*, 67(6), 380-400.
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity*. New York: Harper.
- Cahan, E. D. (2004). 제5장 존 듀이의 인간발달. R. D. Parke, P. A. Ornstein, J. J. Rieser, & C. Zahn-Waxler (엮음), 발달심리학 거장들의 핵심이론 연구 (pp. 181-207). [이민희, 정태연, 역]. 서울: 학지사. (원본출간년도: 1994).
- Darwin, C. (2006). 다윈의 비글호 항해기. [장순근 역]. 서울: 가람기획. (원본출간년도: 1962).
- Davidson, J. E.(1995). Ch4. The suddenness of insight. In J. E. Davidson & R. J. Sternberg,

- The nature of insight* (pp.125-155). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Davis, G. A. (2004). *Creativity is forever* (5th). Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Denzin, N. K. (1989). *Interpretive Biography*. Newbury Park, CA: Sage.
- Gruber, H. E. (1981). *Darwin on man: A psychological study of scientific creativity* (2nd). Chicago: University of Chicago Press.
- Gruber, H., & Davis, S. (1988). Inching our way up Mount Olympus: The evolving-systems approach to creative thinking. In R. J. Sternberg (Ed.), *The nature of creativity: Contemporary psychological perspectives* (pp. 243-270). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gruber, H. (2005). *Creativity, psychology and the history of science*. In H. Gruber, & K. Bödeker (Eds.). Springer: The Netherlands.
- Hatch, J. A. (2008). 교육상황에서 질적연구 수행하기. [진영은 역]. 서울: 학지사. (원본출간년도: 2002).
- Miller, A. (2001). *Einstein · Picasso*. New York, NY: Basic Books.
- Nicolis, G., & Prigogine, I. (1989). *Exploring complexity*. New York, NY: Freeman and Company.
- Popper, K. (2006). 삶은 문제해결의 연속이다. [허형은 역]. 서울: 부글북스. (원본출간년도: 1994).
- Reed, H. (1991). 예술이란 무엇인가. [윤일주 역]. 서울: 을유문화사.
- Prigogine, I. (1997). 확실성의 종말. [이덕환 역]. 서울: 사이언스북스. (원본출간년도: 1996).
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1995). An Investment perspective on creative insight. In J. E. Davidson, & R. J. Sternberg, *The nature of insight* (pp. 535-558). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2001). 통합연구방법론. [엄시창 역]. 서울: 학지사. (원본출간년도: 1998).
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York: Harcourt Brace.
- Weisberg, R. W. (1993). *Creativity: Beyond the Myth of Genius*. New York, NY: Freeman and Company.
- Wertheimer, M. (1959). *Productive thinking* (2nd). New York: Harper & Brothers Publishers.

= Abstract =

## Research of Emerging Process on Scientific Creative Products: Case Study of Self-Organization Process on Emerging of objective knowledge from Subjective Experience of Scientists

**Jungha Kang**

*KAIST GIFTED*

**Sunhee Cho**

*KAIST GIFTED*

**Mijin Kim**

*KAIST GIFTED*

This study is a case study of the process of emerging for creative products to lead world science and technology. The aim of the study is to understand the emerging process of scientific creative products, and is to provide the direction of gifted education that discovers and trains globally competitive science talents through this. To discuss the emerging process of creative products, this study has academically discussed the creativity of the complexity of dealing with theory of evolution, the real life settings, and self-organization of experience etc., and has methodologically adopted the qualitative research method through a case study to look at the structures and processes. Data collection has been formed through a discussion with 12 Korean scientists who have created selected creative products, greatly contributed for the world science and technology(12 areas). The analysis has been carried out by the latter part positivist methods. As a result, the emerging process of creative products in the field of science and technology were separated into four steps: (1)the foundation stage of knowledge, (2)the exploration stage of knowledge, (3)the construction stage of knowledge, and (4)the emerging stage of knowledge. Each stage has been revealed growing up through the macro-system and the self-organization of each micro-systems.

**Key Words:** Creativity, Product, Science, Knowledge, Experience, and Self-organization

1차 원고접수: 2014년 2월 1일

수정원고접수: 2014년 2월 24일

최종게재결정: 2014년 2월 25일



부록 1. 연구 대상별 창의적 산물

분야 및 영역		논문명
이론 연구	물리 천문학	[Kim, 1979] Weak-Interaction Singlet and Strong CP Invariance. <i>Physical Review Letters</i>
		[Koh, 2007] The human disease network. <i>Proceeding of the national Academy of Sciences of the United States of America</i>
기초 과학	화학	[Kim, 2001] Ultrathin Single-Crystalline Silver Nanowire Arrays Formed in an. <i>Science</i>
	화학	[Kim, 2000] A homochiral metal-organic porous material for enantioselective separation and catalysis. <i>Nature</i>
	실험 연구	[Ryu, 1999] Synthesis of Highly Ordered Carbon Molecular Sieves via Template-Mediated Structural. <i>Journal of Physical Chemistry</i>
	생명과학	[Oh, 2001] An Anti-apoptotic Protein Human Survivin Is a Direct Inhibitor of Caspase-3. <i>Biochemistry</i>
	생명과학	[Chung, 2006] Mitochondrial dysfunction in Drosophila PINK1. <i>Nature</i>
응용 과학	전자공학	[Noh, 1999] Lanthanum-substituted bismuth titanate for use in non-volatile memories, <i>Nature</i>
	기계공학	[Suh, 1973] Delamination Theory of Wear, <i>WEAR</i>
	화학공학	[Hyeon, 2001] Synthesis of Highly Crystalline and Monodisperse Maghemite nanocrystallites without a size-selection process. <i>Journal of the American Chemical Society</i>
	화학공학	[Hong, 2009] Large-scale pattern growth of graphene films for. <i>Nature</i>
	생명공학	[Suh, 2007] Artificially engineered magnetic nanoparticles for ultrasensitive molecular imaging. <i>Nature Medicine</i>

**부록 2. 연구 참여자의 전공 영역, 소속, 연구 주제, 그리고 수상**

영역 및 분야	연구참여자	소속	연구주제	수상 및 지명		
이론 연구	물리천문학	S1	GIST	입자물리	최고, 한국, 호암, 국가석학	
	통계물리학	S2	고려대	복잡계	신진연구자	
	화학	S3	POSTECH	나노물질	국가과학자, 최고, 한국	
기초 과학	화학	S4	POSTECH	나노물질	최고, 한국, 이달, 호암 세계화학자 58위	
	실험 연구	화학	S5	KAIST	나노물질	국가과학자, 최고, 이달, 호암 세계화학자 39위
		생명과학	S6	KAIST	단백질응축	한국, 이달
		생명과학	S7	서울대	파킨슨병	이달
		물리공학	S8	서울대	산화물	국가과학자, 최고, 한국, 이달
기계공학	S9	KAIST	마모이론	호암		
응용 과학	실험 연구	화학공학	S10	서울대	나노물질	이달, 젊은 세계재료공학자 19위 세계화학자 37위
		화학공학	S11	서울대	그래핀	경암
		생명공학	S12	연세대	영상의학	최고, 한국, 이달

**부록 3. 인터뷰 질문지**

**1. “연구물의 독창성과 가치에 관련하여” 질문을 드릴 것입니다.**

- 귀하의 연구물이 독창적인 부분은 어떤 것입니까?
- 귀하의 연구물이 해당 분야에서 가지는 가치는 무엇입니까?

**2. “연구물의 산출 과정과 관련하여” 질문을 드릴 것입니다.**

- 연구를 수행할 당시 연구 분야의 세계적 동향은 어떠했습니까?
- 본 연구주제를 선정하게 된 동기 혹은 계기는 무엇입니까?
- 본 연구의 수행에 직접적으로 영향을 준 (특별한) 경험은 어떤 것이었습니까?
- 연구를 성공적으로 할 수 있었던 결정적 아이디어 또는 계기는 무엇이었습니까?
- 연구가 완성이 되기까지의 과정은 어떠했습니까?
- 연구 중, 직면했던 어려움과 그것을 극복한 방법은 무엇입니까?
- 연구가 성공할 수 있었던 개인적 원동력 또는 특성은 무엇이라고 생각하십니까?
- 연구 수행에 영향을 준 환경요소로는 어떤 것이 있습니까?
- 연구 결과에 대한 학계의 초기 반응 및 창의적 연구로 인정받는 과정은 어떠했습니까?
- 본 연구와 귀하께서 전념해 오던 다른 연구와의 관계는 어떠했습니까?

**3. “개인적 특성과 삶에 관련하여” 질문을 드릴 것입니다.**

- 귀하의 학창시절의 하루 일과에 대해 간단히 소개해 주십시오.
- 성장하면서 커다란 변화를 이끈 주요한 경험 또는 활동이 있으면 소개해 주십시오.
- 특별한 취미나 평소 관심 있는 주제는 무엇입니까?
- 일을 수행하는 귀하만의 독특한 방식이 있다면 소개해 주십시오.

**4. “주변 환경에 관련하여” 질문을 드릴 것입니다.**

- (결례가 되지 않는다면) 가정환경에 대해(부모의 교육방법, 양육환경, 형제관계 등)
- 일생에서 귀하의 사고나 행동에 중요하게 영향을 미친 주변 요소(사람)는 무엇입니까?
- 한국의 사회 문화적 요소 중, 지지 기반 혹은 걸림들이었던 것

**5. “창의성 및 교육과 관련하여” 질문을 드릴 것입니다.**

- 새로운 지적 창출에 필요한 기반과 기울여야 할 개인적, 사회적 노력
- 창의적 성취를 위해 평소에 후학들에게 강조하거나 말씀하고 싶으신 가치나 덕목
- 창의성을 증진시키는 교육 방법