

## 지속성장형 과학영재 자율연구지도 사례조사: 세계 명문대를 중심으로

강 정 하

박 선 희\*

신 학 수

홍 성 호

KAIST

Univ. of Virginia

서울과학고

KAIST

본 연구는 세계 명문대 및 연구소의 과학영재 자율연구 지도 사례조사 연구로, 과학영재가 미래 글로벌 리더로 지속성장하는 데 모델이 되는 자율연구 지도 전반에 대해 심층적으로 탐색하고, 이를 기반으로 교육 정책적 시사점을 도출하는 데 목적이 있다. 연구 1을 통해 창의적 과학자 8인을 대상으로 전문가 의견을 수렴하여, 과학영재가 지속성장하는 데 영향을 주는 연구활동의 수준 및 범위, 그리고 핵심 요소를 파악하고자 하였다. 이 과정에서 ‘지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(초안)’이 도출되었다. 다음으로, 연구 2를 통해 미국 명문대 및 연구소의 과학영재 자율연구 지도 8사례를 대상으로 실제 전문가 랩에서 이루어지는 과학영재 연구활동에 대한 설문조사가 진행되었다. 분석은 ‘지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(초안)’을 분석틀로 활용한 질적 분석이 진행되었다. 연구 결과, 지속성장을 위한 과학영재 연구활동은 3요소 9요인의 상호작용의 결과로 드러났으며, 최종적으로, ‘지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(최종안)’이 도출되었다.

**주제어:** 지속성장, 자율연구 지도, 사례조사, 과학영재, 명문대

### I. 서 론

J. Bruner는 1977년 그의 기념비적 저서 『The Process of Education』를 통해 “새로운 시대는 새로운 꿈을 품고, 그 꿈은 그 시대의 교육을 결정한다”고 하였다. 과학 기술의 거대한 약진이 우리 사회 전체, 그리고 인류의 삶 전반을 새롭게 변화시키고 있다(Plucker, McWilliams, & Guo, 2017; Schwab, 2016). 우리 사회는 불확실한 미래를 기회의 장으로 펼쳐 줄 창조적 인재에게 새로운 기대를 하고 있다(Schwab, 2016). 머지않아, 그 주역이 될 과학영재는 새로운 꿈을 품고서 나아가고자 한다. 새로운 시대의 과학영재는 누구인가? 그들이 꿈을 실현하려면 어떤 교육을 해야 하는가?

---

**교신저자:** 강정하(kjungha@kaist.ac.kr)

\*제1저자와 동일한 기여를 함.

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

때마침, 새로운 시대정신과 사회적 가치가 반영된 영재성의 정의가 소개되었다. Subotnik, Olszewski-Kubilius, 그리고 Worrell(2011)은 폭넓은 과학적 합의를 기반으로 형성된 다양한 관점과 보편적 인식을 아우르는 영재성의 정의를 제시하였다. 즉, 영재성이란 (1)사회의 가치를 반영하며; (2)성인이 되어 실제적인 성과를 나타내고; (3)영역 특수적이며; (4)생물학적, 교육학적, 심리학적, 사회심리학적 요인들의 복합적 작용의 결과이며; (5)평균을 조금 상회하는 수준이기보다는 혁신을 이끄는 특출함이다. 이는 특출한 영재성이란 시대에 따라, 개인의 발달 시기에 따라, 해당 영역에 따라, 그리고 유전적 및 환경적 조건에 따라 발현 방법이나 수행 수준의 경향성이 다르다는 것을 전제로 한다.

미래를 주도할 창의적 인재의 특출함은 평생에 걸쳐 지속성장하는 것으로 발달 시기별로 활동 특징과 교육 환경에서 현저한 차이를 보인다. 영역 보편적으로 창의적 인재의 특출함은, Gardner(1993)에 따르면, 청년기에는 강한 관심을 대상으로 한 주요한 경험을 통해 성장하고, 이로부터 10년 이상의 수련기를 지나, 전문가기에 이르러 문제 발견, 해결하여 지식 창출을 위해 모험과 도전, 끈질긴 노력을 하는 가운데 창조적 성장을 맞게 된다. 과학 기술 분야에서 개인 및 환경의 뚜렷한 차이가 확인되고 있다. 강정화와 최인수(2009)의 연구에 의하면, 청소년기에는 이전에 미미했던 관심이 고난도의 심층적 지적 활동으로 성장하면서 다소 특별한 재능을 드러내고, 학문에 입문하는 전문가기에 접어들면서, 체계적 교육환경 속에서 수련 과정을 거치면서 세계 최고가 되겠다는 일념으로 다양한 현실 문제 해결과 대형 프로젝트 수행 과정에서 뛰어난 성과를 거두면서 어느 덧, 그 분야를 리드하는 전문가로 성장해 있다. 특히, 전문가의 창조적 성취는 오랜 기간 동안 진화하는 복잡계의 현상이며(Gruber, 1981), 학문에 입문한 대학 시절부터 적어도 15년 이상의 세월 동안 성장을 거듭하는 과정이다(강정화, 조선희, 김미진, 2014). 이는 개인의 재능 발달이 특별한 관심, 사회적 관계. 그리고 사회적 성취 등의 맥락과 밀접하게 관련되며(Plucker et al., 2017), 개인이 탁월함을 추구하는 특정 과업 상황에서 성취를 위해 역량을 쏟아 붓고 보상받는 과정에서 일어나는 현상임(Chouhan, & Srivastava, 2014)을 반영한다.

새 시대의 도래와 영재교육의 지속적 성장으로 탁월한 영재를 대상으로 하는 교육은 교실 내 지식의 학습에서 실제 문제해결을 통한 지식의 창출로 탈바꿈해오고 있다. Tomlinson 외(2009)는 「The Parallel Curriculum」에서, 탁월한 영재에게는 심리철학자 James의 지식분류체계의 최고 수준인 지식 창출의 경험을, 그리고 과학철학자이자 교육자 Whitehead의 학문참여 분류체계의 최고 수준인 새로운 지식체계 기여의 경험을 제공하는 것이 중요하다고 했다. 저자들은 탁월한 영재가 복잡한 실제 문제를 다루는 과정을 통해 전문가의 강력한 지식과 방법을 경험함으로써, 교실 내에 머무는 학습자, 지식의 소비자이기보다는 지식창출자로 성장해야 한다고 했다. 그들은 ‘Parallel Curriculum Model’(핵심 교육과정, 연결 교육과정, 실제 교육과정, 자아정체성 교육과정)을 창안하여, 영재들이 기본 교과의 핵심 개념, 원리, 방법들을 사용해서 문제해결자 또는 전문가의 역할을 경험해 보고, 이 과정에서 진로를 결정하는 기회를 가지도록 했다. 이 같은 접근은 과학영재의 성장이 개인의 재능이나 스킬의 촉진보다는 조절을 통한 성공 경험과 밀접하다는 입장이다(Plucker et al., 2017). 이 모델의 등장은 세계 영재교육

기관들이 대학과의 연계 멘토링 프로그램을 개발, 확산하는 계기가 되었다.

고교-대학 연계 멘토링 프로그램은 과학영재가 연구 참여를 통해 전문가의 도움을 받아서 창의력 계발은 물론 연구 수행 역량을 증대할 수 있다는 점에서 현장의 이목을 끌고 있다(이신동 외, 2010). 본래, 멘토링이란 특정 전문가가 개인의 전문가적 성장을 돕고자 자신의 지식, 기술, 정보, 그리고 견해 등의 공유를 통해 관계를 수립하여 지속적이고 역동적인 피드백을 처리하는 과정이다. 특히, 과학 분야에서 학제 간 연구와 공동 연구가 대세인 오늘날, 멘토링이 더욱 부각되고 있는데, 이는 집단이 조직하고, 소통하고, 지휘하는 과학 분야에서 과학자들이 시너지를 만들어내고 다초점적 아이디어와 복잡한 해결책을 생성해 내는 도구가 된다(Olivero, 2014). 이러한 추세에 힘입어, 미국을 비롯한 이스라엘, 홍콩 등의 영재교육 기관들은 고교-대학 연계 멘토링 프로그램을 앞다투어 도입, 실행해 왔으며(이신동 외, 2010), 우리나라 모든 영재학교들도 이를 정규 교육과정에 큰 비중으로 편성해 놓고 있다. 한편으로, O'Neill과 Polman(2004)은 이러한 교육적 상황에 의문을 가졌다. “왜 ‘어린이 과학자(Little Scientist)’를 교육해야 하는가?”

미래의 과학자를 육성하는 영재학교는 지식 창출 역량 함양을 목적으로 하는 교육과정을 편성, 운영하고 있으며, 특별히, 연구활동 교육과정을 통해 이를 차별화하고 있다(신학수, 2016). 대표적인 교과로 대학 연계 멘토링 프로그램인 R&E(Research & Education) 과목이 있다. 이 과목은 학생들이 학문을 함(doing)과 높은 수준의 과제를 함(doing)을 통해 과학을 이해하는 과정으로(O'Neill & Polman, 2004), 자율탐구 혹은 자율연구의 일종이다(이효녕, 조현준, 2008; 정용옥, 김은혜, 정민석, 이재구, 2014). 이는 구조화되지 않은 실제 문제 상황에 대해 학생 스스로 관찰하고, 의문을 품고, 문제를 정의하여 새로운 이론을 생성하는 데 초점을 둔 연구로, 학생들이 독립적으로 활동하도록 자극함으로써 그들의 잠재된 역량을 극대화하는 장이 된다(이효녕, 조현준, 2008). 미국 동부에 위치한 NCSSM(North Carolina School of Science and Mathematics)은 지역 대학들(Duke University 등 다수) 및 기업들과 연계된 멘토링 프로그램을 운영하고 있는데, 이는 학생들이 이공계 분야 진로결정에 필요한 전문 기술과 정서적 스킬을 습득하는 데 유용한 실제 연구 경험을 갖도록 하는 것이 목적이며, 사전 교육 과정과 통합 교육과정으로 구성, 실행되고 있다(Shoemaker, Thomas, Roberts, & Boltz, 2016). 미국 서부 캘리포니아 주에 위치한 ‘The College Preparatory School’도 연구 경험에 강한 관심을 가진 독립적인 학생들을 위해 STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics) Research Program을 운영하고 있다. 이 과목은 봄학기 세미나, 여름 인턴십 프로그램, 가을학기 세미나, 그리고 STEM Research Part II로 구성되며, 봄학기 세미나에서는 주요 과학 문헌을 읽는 방법, 원자료(raw data) 분석법, 그리고 연구 팀의 일원으로 참여, 연구하는 법을 학습하게 하고, 핵심 과정인 여름 인턴십 프로그램에서는 인근 대학의 연구 멘토들과 짝을 지어 6주 풀타임 인턴십 과정을 갖도록 한다. 가을학기에는 연구 결과를 논문으로 작성하고 학회 발표 등을 위해 준비, 발표하는 방법을 학습하게 하고, 최종적으로, 교내의 The Annual STEM Research Symposium에서 자신의 연구 결과를 발표함으로써 마무리하게 한다(<https://www.college-prep.org/page>). 우리나라도 2003년 한국과학영재학교 개교에 즈음하여

R&E 교육과정을 편성, 운영하기 시작했다(최호성 외, 2003). 지금은 모든 영재학교의 정규 교육과정에서 자율연구가 차지하는 비중이 매우 클 뿐만 아니라, S 영재학교 재학생의 50% 정도는 자율연구가 자신의 창의성 계발에 중요한 영향을 주는 것으로 인지하고 있으며(신학수, 2016), 전국 영재학교 및 과학고의 다수 학생들은 자율연구 활동이 진로결정의 가장 중요한 맥락으로 인식하고 있다(강정하, 권경아, 석혜은, 2017).

자율연구 형태의 고교-대학 연계 멘토링 프로그램은 과학영재의 과학교과 성취와 이공계 진로선택에 긍정적인 영향을 준다는 보고들이 있다. Markowitz(2004)는 Rochester 대학에서 운영하는 ‘Summer Science Academy’에 대한 효과검증을 통해, 대학 연구실의 과학 기술 연구 경험은 과학영재의 상위수준 과학교과의 성취에, 타 과학 프로그램 참여의 결정에, 그리고 과학 분야로의 진로선택에 긍정적 영향을 주는 것으로 보고하였다. Kittur, Shaw, 그리고 Herrera(2017)가 UCLA(University of California, Los Angeles) 공대에서 운영하는 전문성 계발 연구 프로그램(8주) “HSSRP(The High School Summer Research Program)”(2014-2016년)에 참여한 고등학생들을 대상으로 설문조사를 실시한 결과, 대부분의 학생들은 STEM 분야에서 연구를 하거나 일을 하는 것으로 나타났다.

한편, 우리나라에서 자율연구를 주제로 이루어진 대부분의 선행연구들은 여러 이유에 의한 실효성 문제로 그 유용함을 발휘하지 못하는 것으로 보고하고 있다. 이선길(2006)은 R&E 프로그램의 필요성, 탐구력 및 창의적 문제해결력 신장 효과와 함께, 참여 학생의 전제적 안목 부족, 연구문제 선정의 어려움, 통일성 부재, 평가 문제, 그리고 계획성 없는 진행 등을 지적했다. 김경대와 심재영(2008)도 R&E 프로그램의 긍정적 효과와 함께 부정적 영향도 적지 않음(18.6% ~ 38.5%)에 대해 보고했다. 최호성과 태진미(2015)는 과학고의 R&E가 대학 이상의 탐구활동에 지적, 정의적, 기능적으로 상당한 도움을 주는 반면, 운영의 효율성, 체계성, 전문성의 문제를 안고 있는 것으로 보고했다. 강성주 외(2009)는 이러한 현상이 R&E 프로그램의 상급 기관 의존적 운영에 기인하는 것으로 보고하였다. 이들 연구는 과학영재 및 지도교사의 인식조사에 바탕을 둬으로써, 자율연구 활동에 대한 상급기관의 인식과 요구, 또는 현실적 문제보다는 지도교사 또는 학생의 그것에 한정되고 있다. 이는 ‘연구’의 본질 또는 ‘과학영재 연구’의 본질에 대한 이해와 요구의 차이 또는 왜곡, 준비 부족 및 체계적 관리의 미흡 등에서 초래되는 것으로 추정된다(강정하, 2014). 그러한 차이 혹은 오류는 과학영재 연구활동의 방향성, 범위와 수준, 준거 등에 대한 본질적 탐색을 비롯하여, 상급 기관이 제공할 수 있는 최적의 가능성에 대한 탐색을 통해 해소될 수 있을 것으로 사료된다.

이에 본 연구는 일차적으로 창의적 과학자가 생각하는 과학영재 연구활동 모델 탐색을 토대로, 자율연구가 나아갈 방향, 범위 및 수준, 활동 준거, 그리고 내용과 방법을 파악하고자 하였으며, 이를 기반으로, 세계 최고 인재를 양성하는 명문대학 랩의 고등학생 대상 자율연구지도 사례조사를 통해 우리나라 과학영재 자율연구가 반영할 수 있는 가능성들을 탐색하고자 하였다. 이는 궁극적으로, 우리의 과학영재가 자율연구 활동을 통해 미래에 글로벌 리더로 지속성장하는 기회를 갖도록 하는 교육적, 정책적 시사점을 도출하는 데 목적이 있다. 이를 위한 구체적 연구문제는 다음과 같다.

- 연구문제 1. 과학자가 생각하는 지속성장형 과학영재 연구활동 모델의 구성요소는 무엇인가?  
 연구문제 2. 세계 명문대의 지속성장형 과학영재 자율연구 지도는 어떻게 이루어지는가?

## II. 연구 1: 창의적 과학자가 생각하는 과학영재 연구활동

### 1. 연구 참여자

연구 참여자는 세계적 과학자 총 8인으로, A대학 교수 6인, B대학 교수 1인, 그리고 S기업 수석전문연구원 1인이다. 이들의 전공 영역은 수학, 물리, 화학, 생명과학, 천문학, 로봇공학, 전산, 그리고 전자공학으로, 기초과학 영역 및 영재학교 학생들이 많은 관심을 가지고 있는 영역 혹은 분야가 골고루 포함되도록 하였다. 부가적으로, 연구지도 무경험자와 유경험자가 1대 1(4인씩)이 되도록 선정하였다. 전자를 통해 연구 본연의 속성이 과학영재 연구활동에 그대로 반영되도록, 그리고 후자를 통해 과학영재 연구지도 경험이 반영되도록 하여, 이상과 현실 요소를 모두 아우를 수 있도록 하였다. 자세한 내용은 <표 1>과 같다.

<표 1> 전문가 의견수렴 연구 참여자의 개요

구분		자연과학 분야 및 공학 분야						
전공 영역	수학	물리학	화학	생명과학	천문학	로봇공학	전산	전자공학
	1	1	1	1	1	1	1	1
소속	K대	K대	K대	K대	S대	K대	K대	S기업
장기연구	○	X	X	○	○	X	X	○
지도경험								
전문가 수	8인							

### 2. 전문가 의견수렴

전문가 의견수렴은 창의적 과학자(이후부터, ‘과학자’로 기술함)가 생각하는 과학영재(구체적으로, 과학(예술)영재학교 학생)을 위한 바람직한 연구활동은 무엇인지, 어떤 범위와 수준에서 이루어지는 것이 바람직한지를 파악하기 위한 것이다. 이는 설문조사를 통해 이루어졌으며, 설문지 전달과 수취는 E-mail을 활용하였다.

설문지는 연구 방향과 연구 목적에 따라 이론모델을 바탕으로 새롭게 개발되었다. 이론적으로, 과학자와 과학영재 간에 발달 특성과 수행의 차이를 보인다는 과학적 창의성의 발달 요소(강정하, 최인수, 2009; Subotnik et al., 2011)와 과학 분야 창의적 산물 발현의 진화 요소(강정하 외, 2014; Gruber, 1981)를 전제로 하였다. 그 구성은 크게 2차원으로 구분되었다. 전반부는 과학자의 연구활동에 대한 질문으로, 후반부는 (과학자의 연구활동에 비추어) 바람직한 과학영재의 연구활동에 대한 질문으로 이루어졌다. 질문은 반구조화된 형태이며, 총 2항목 10 문항으로 이루어졌다. <표 2>와 같다.

<표 2> 전문가 의견수렴 설문지 구성

구분	문항 내용
과학자 연구활동	1. 과학자의 연구활동과 관련하여 1-1. 과학자 연구의 정의 1-2. 과학자의 창의적 연구과정 1-3. 과학자의 창의적 핵심역량
과학영재 연구활동	2. 영재학교 학생의 지속성장에 필요한 연구활동과 관련하여 2-1. 영재학교 학생의 연구의 정의 2-2-1. 영재학교 학생들에게 바람직한 연구 과정 및 활동의 범위와 수준 2-2-2. 영재학교 학생들에게 권하는 ‘연구활동’ 프로그램의 종류 2-2-3. 영재학교 학생, 학부생, 대학원생의 연구 과정과 활동의 차이 2-3. 영재학교 학생들에게 요구되는 연구 과정별 핵심역량 2-4. 영재학교 학생의 전문기관 연구활동 시, 필요한 사전역량 및 준비도 2-5. 영재학교 학생의 전문기관 연구활동 성과 및 활용

### 3. 분석 방법

#### 가. 분석틀

수집 자료는 정성적 자료로, 이를 분석하기 위한 분석틀이 개발되었다. 분석틀은 ‘과학적 창의성의 발달 모델’(강정하, 최인수, 2009), ‘과학 지식진화시스템\_과정 모델’(강정하 외, 2014), 그리고 ‘NCSSM 멘토쉽 프로그램 모델’(Shoemaker et al., 2016)을 통합, 수정한 것으로, ‘지속성장형 과학영재 연구활동 가설모델’로 명명하였다. 이 모델은 개인요소, 연구요소, 학교요소로 구성되었다. <표 3>에 자세한 내용을 제시하였다.

<표 3> 기존 이론모델 및 지속성장형 과학영재 연구활동 가설모델의 구성요소

이론 모델	과학적 창의성 발달 모델 (강정하 외, 2009)	과학 분야 지식진화 시스템_과정 모델 (강정하 외, 2014)	NCSSM 멘토링 프로그램 모델 (Shoemaker et al., 2016)	지속성장형 과학영재 연구활동 가설모델
구성 요소	개인 실재(연구맥락) 사회(지지맥락)	개인 실재(연구맥락) 사회(지지맥락)	(개인)전문가기술 (연구)프로그램 (지지)연구멘토경험	개인 연구 학교

#### 나. 자료 분석

자료 분석은 분석틀의 ‘개인요소’, ‘연구요소’, ‘학교요소’ 각각에 해당하는 요인을 추출하는 과정으로, 참여자 4인 이상( $N=4$ , 50% 이상)이 언급한 내용을 ‘비중있게 고려하는 속성’으로 판단하여 이를 통합, 분류하여 요인으로 채택하였다. 이 가운데 과반수에는 못 미치나 연구자가 중요하다고 판단한 일부 내용이 변인으로 포함되었다. 분석에는 과학영재교육 전문가 2인과 현장전문가 1인이 참여했다.

#### 4. 연구 결과

연구 결과는 과학자의 연구활동과 과학영재의 연구활동을 구분하여 가설모델의 구성요소 별로 기술하였다. 좁은 지면의 이유로 본문에는 과학영재의 연구활동 내용만을 기술하였다.

##### 가. 개인요소: 조직화·소통·경험

첫째, 조직화요인에서, 과학영재의 연구활동은 ‘지식의 조직화’(전문지식,  $N=8$ ; 폭넓은 지식,  $N=5$ ; 심층지식,  $N=4$ ; 최근 연구,  $N=4$ ; 기본지식,  $N=4$ ), ‘사고의 조직화’(탐색적,  $N=4$ ; 논리적,  $N=6$ ; 비판적,  $N=5$ ; 분석적,  $N=4$ ; 통찰,  $N=4$ ; 창의적,  $N=5$ ; 문제발견,  $N=4$ ), ‘정서 및 태도의 조직화’(집중,  $N=4$ ; 인내,  $N=7$ ; 도전,  $N=5$ ; 개방적,  $N=4$ ; 협력,  $N=4$ ; 윤리의식,  $N=5$ )가 주요하게 작용하는 것으로 나타났다.

둘째, 소통요인에서, 과학영재 연구활동은 ‘설득’(논리적 글쓰기,  $N=5$ ), ‘표현’(언어적 표현,  $N=6$ ), ‘교류’(대인관계,  $N=4$ ) 요인이 주요하게 작용했다.

셋째, 경험요인에서, 과학영재 연구활동은 ‘탐색’(관심,  $N=4$ ), ‘준비’(지적 준비,  $N=7$ ; 정서적 준비,  $N=4$ ), ‘성장’(지식, 협력, 연구에 대한 인식,  $N=5$ ) 요인이 부각되었다.

요약하면, 과학영재 연구활동은 기본지식을 비롯한 전문지식, 광범위한 지식, 창의적 사고, 지적 및 정서적 조직화가 필요하고, 전문가 집단과 소통하는 역량, 그리고 이를 위한 많은 준비와 경험을 필요로 한다. 자세한 내용이 <표 4>에 제시되었다.

<표 4> 과학자 연구활동 VS 과학영재 연구활동: 개인요소

요인	과학자 연구활동		과학영재 연구활동	
	하위요인	세부 성분(인원수)	하위요인	세부 성분(인원수)
조직화	지식	전문지식(8), 폭넓은지식(6), 심층지식(6), 연구동향(4)	지식	전문지식(8), 폭넓은 지식(5), 심층지식(4), 최근 연구(4)
		—		기본지식(4)
	사고	탐색적(5), 논리적(5), 비판적(4), 분석적(4), 통찰(5), 창의적(7)	사고	탐색적(4), 논리적(6), 비판적(5)
		융합적(4)		분석적(4), 통찰(4), 창의적(5)
정서 및 태도		목표의식(4)		문제발견(4)
		집중(4), 인내(6), 도전(5)	정서 및 태도	—
		책무성(5)		집중(6), 인내(7), 도전(5)
		개방적(4), 협력(4), 윤리의식(4)		—
소통		사회적 기여(4)		개방적(4), 협력(4), 윤리의식(5)
	설득	과학적근거(5), 논리적 주장(5)	설득	—
	표현	언어적 표현(7)	표현	논리적 글쓰기(5)
	교류	네트워크(4)	표현	언어적 표현(6)
경험			교류	대인관계(4)
	탐색	관심(2)	탐색	관심(4)
	요동	고민(2)	준비	지적 준비(7)
				정서적 준비(4)
	창발	창조적 경험(1)	성장	지식, 협력, 연구 인식(5)

‘—’은 과학자 연구활동과 과학영재 연구활동의 다른 요인 및 내용.

### 나. 연구요소: 과정·성과·전략

첫째, 과정요인에서, 과학영재 연구활동은 ‘주제선정’(학생수준 및 관심을 반영한 주제 선정,  $N=4$ ), ‘배경지식’(과학지식전반 및 상황지식,  $N=4$ ; 컴퓨터프로그래밍기술,  $N=4$ ), ‘문제정의’(연구가능문제,  $N=5$ ; 연구가능문제의 연구설계,  $N=4$ ), 그리고 ‘문제해결’(검증,  $N=8$ ; 문제해결,  $N=6$ ) 과정이 주요한 활동으로 보고되었다.

둘째, 성과요인에서, 과학영재 연구활동은 ‘산출물’(보고서 작성,  $N=4$ ; 토론 및 포스터 발표,  $N=4$ ) ‘평가’(자기평가/전문가평가,  $N=5$ ), ‘연구경험’(문제해결력·연구인식·진로탐색,  $N=5$ ) 과정이 주요한 활동으로 추출되었다.

셋째, 전략요인에서는 과학영재 연구활동 관련 요인만이 추출되었다: ‘학생주도연구’(학생 주도적 연구,  $N=5$ ), ‘적정연구’(교과연계/쉐도잉/체험연구,  $N=5$ ). 이는 과학영재의 연구활동이 과학자의 연구활동과 달리, 교수-학습 전략적 차원에서 다루어야 함을 반영하고 있다. 연구가 어렵고 학생 역량이 부족하다 하여 일일이 ‘가르치는 연구’가 아닌 학생주도적으로 찾아가는 연구가 되어야 하며, 그러기 위해서는 교과 교육과정의 확장으로서의 연계된, 좋은 본보기가 되는, 직접적으로 체험해 보는 과정이어야 함을 과학자들은 강조하였다.

연구 결과는 과학영재의 연구활동이 전문가 연구에 대한 인식을 높이고, 향후 창의적 연구 활동을 위해 준비하는 활동이어야 함을 시사하고 있다. 자세한 내용은 <표 5>와 같다.

<표 5> 과학자 연구활동 VS 과학영재 연구활동: 연구요소

요인	과학자 연구활동		과학영재 연구활동	
	하위요인	세부 성분(인원수)	하위요인	세부 성분(인원수)
과정	주제선정	주제 선정(5) 문제 인식(5)	주제선정	학생수준/관심 주제 선정(4) —
	배경지식	논리적 근거/ 교과서, 학술지, 리뷰논문(4)	배경지식	과학지식전반/상황지식, 교과서, 학술지, 리뷰논문(4) 컴퓨터프로그래밍기술(4)
	문제정의	문제정의(6) 가설설정(5)	문제정의	연구가능문제(5) (연구가능문제의)연구설계(4)
	문제해결	실험계획 및 검증(8), 문제해결(8)	문제해결	검증(8) 문제해결(6)
	산출물	논문 작성(7) 학회 및 학술지 발표(7)	산출물	보고서 작성(4) 토론, 포스터 발표(4)
성과	평가	동료평가(5) 인정: 세계 최초 최고(7)	평가	자기평가/전문가평가(5)
	지식창출	공유(5) 학문적/사회적 기여(8)	연구경험	문제해결력/연구인식/진로탐색(5)
전략	—	—	학생주도	학생주도적 연구(5)
	—	—	적정연구	교과연계, 쉐도잉, 체험연구(5)

‘—’은 과학자 연구활동과 과학영재 연구활동의 다른 요인 및 내용.



## 다. 학교 요소: 교육과정·관리·지원

학교요소에서 ‘학교’란 우리나라 8개 과학(예술)영재학교를 가리킨다. 학교요소에서 창의적 과학자의 요소는 산출되지 않았고, 과학영재 연구활동 3요인만 부각되었다.

첫째, 교육과정요인이란 영재학교의 정규 교육과정을 구성하는 것으로, 과학영재 연구활동 교육과정에서 고려되어야 하는 요인이다. ‘기본교과’(기본교과교육집중, N=1; 수학교육 강화, N=1), ‘연구교과’(R&E, N=4; 졸업논문, N=3; 인턴쉽/기업체 멘토링, N=3), ‘도구교과’(논리적 과학글쓰기, N=6; 비판적 문헌고찰, N=4; 프로그램 활용 교과목, N=4) 등이 비중 있게 언급되었다. 이 가운데, ‘기본교과’(기본교과교육집중, 수학교육 강화), 졸업논문, 인턴쉽/기업체 멘토링 등은 언급한 자가 과반수를 넘지 않지만 다른 응답을 통해 혹은 학교에서 이미 자리잡고 있는 주요한 프로그램이라는 현장전문가의 판단에 따라 포함되었다.

둘째, 관리요인에서, 과학영재 연구활동은 ‘지도교사’(전문성/핵심역량, N=2; 가이드, N=2), ‘활동’(학생역량관리, N=2), ‘방법’(연구계획, N=2; 사전협의, N=5; 평가 및 활용, N=2) 요인으로 구성되었다. ‘사전협의’를 제외한 모든 요인은 소수 의견이지만, 대부분 연구참여자가 연구활동의 운영보다는 내용중심으로 언급한데 기인하는 것으로 보고, 학교 연구활동 교육과정에서 매우 중요한 비중을 차지하고 있다는 점을 고려하여 당 요소에 포함시켰다.

셋째, 지원요인에서, 과학영재 연구활동은 ‘시설’(컴퓨터프로그래밍 기자재, 컴퓨터시뮬레이션 시설/SW, N=4) 요인이 추출되었다. 이는 전문가 랩에서 연구활동 계획, 또는 실험 설계, 검증 과정에서 많이 필요로 하는 기술로, 고등학생이 배우기에 적합한 과목이 될 수 있다고 언급되었다.

이러한 결과는 과학영재 연구활동이 보다 내실 있게 이루어질 수 있도록, 영재학교 현장에서는 기본교과로는 과학 분야 전반을 비롯하여, 수학 교육이, 연구교과로는 R&E, 졸업연구, 인턴쉽 및 기업체 멘토링 등이, 그리고 도구교과로는 논리적 과학글쓰기(영어로), 비판적 논문 읽기, 프로그램 활용 교과목 등이 충실하게 이루어지도록 지원되어야 함을 보여준다. 이를 위해, 전문성을 갖춘 지도교사의 가이드, 학생역량 관리, 연구계획 및 사전협의를 통해 체계적으로 진행되는 것이 중요함을 시사하고 있다. <표 6>에 자세하게 제시하였다.

<표 6> 과학자 연구활동 VS 과학영재 연구활동: 학교요소

요인	과학자 연구활동		과학영재 연구활동	
	하위요인	세부 성분(인원수)	하위요인	세부 성분(인원수)
교육 과정	—	—	기본교과	기본교과 교육 집중(1) 수학교육 강화(1)
	—	—	연구교과	R&E(4), 졸업논문(3), 인턴쉽/기업체멘토링(3)
	—	—	도구교과	논리적 과학글쓰기(6), 비판적 문헌고찰(4), 프로그램활용 교과목(4)
관리	—	—	지도교사	전문성/핵심역량(2), 가이드(2)
	—	—	활동	학생역량관리: 지식, 소통방법(2)
	—	—	방법	연구계획(2), 사전협의(5), 평가 및 활용(2)
지원	—	—	시설	컴퓨터프로그래밍 기자재, 컴퓨터시뮬레이션 시설/SW(4)

‘—’은 과학자 연구활동과 과학영재 연구활동의 다른 요인 및 내용.

<표 7> 지속성장형 과학영재의 연구활동 개념모델(초안)

요소	요인	하위요인	요소	요인	하위요인	요소	요인	하위요인
개인	조직화	지식 사고 정서 및 태도	연구	과정	주제선정 배경지식 문제정의 문제해결	학교	교육과정	기본교과 연구교과 도구교과
	소통	설득 표현 교류		성과	산출물 평가 연구경험		관리	지도교사 활동방법
	경험	탐색 준비 성장		전략	학생주도연구 학생적정연구		지원	시설

결론적으로, 과학자 연구활동과 과학영재 연구활동은 연구의 범위와 수준, 그리고 과정에서 현저한 차이가 있었다. 과학영재 연구활동은 교수-학습 전략이 필요한 것으로 보고되었다. 과학자 연구활동은 모델의 3요소 중, 개인요소와 연구요소로, 과학영재 연구활동은 개인요소, 연구요소, 학교요소 모두에 해당하는 내용으로 요약되었다. <표 7>에 관련 내용을 제시하였다. 자세한 내용은 ‘IV. 논의 및 결론’에서 제시하고 있다.

### III. 연구 2: 세계 명문대학 자율연구 사례조사

본 연구는 세계 과학 기술 분야를 리드하는 인재를 양성하고 산물을 창출하는 대학의 전문 랩 또는 연구소에서 고등학생을 대상으로 수행하고 있는 자율연구지도 사례조사이다. 연구지도 사례에 대한 심층적 분석을 통해 해당 기관들의 연구지도의 범위와 수준, 내용 및 방법 등을 파악하여, 우리나라 과학영재를 대상으로 운영하고 있는 자율연구에 적용 가능성 및 개선가능성을 탐색하고자 하였다.

#### 1. 연구 참여기관 및 참여자

사례조사 참여자는 총 7인으로 8사례를 제공하였으며, 연구지도 당시 소속 기관은 총 4개 대학 및 1개 연구소였다. 3인은 미국 Stanford대 3사례, 1인은 UC Berkeley 1사례, 1인은 UC San Francisco 1사례, 1인은 Yale대 2사례, 그리고, 1인은 Scripps Research Institute 1사례에 대한 자료를 제공했다. 연구지도 당시, 참여자들의 직위는 박사과정학생(4인), 박사후연구원(3인), 그리고 강사(1인)이다. 연구활동 기간은 최단 2개월~최장 2년이고, 시수는 160시간-약 2년(매월 4회, 주당 2회, 회당 8시간)이다. 본 연구 대상의 사례가 8사례로, 다양한 형태의 사례를 충분히 담지 못하여 모델을 타당화하기에는 다소 미흡한 측면이 있다. 그럼에도, 설문지 내용 구성의 복잡성과 활동 및 경험 위주의 정교한 질문으로 수집한 정성적 자료마다 그 특이성을 담고 있는 것으로 판단된다. <표 8>과 같다.

<표 8> 자율연구지도 참여기관별 사례수 및 참여자수(2017년 11월 현재)

구분	지도 당시		연구기간	시수
	소속 기관	직위		
사례 1	지도연구원 1	Stanford Univ. 강사	2017. 6~현재	80시간 이상 진행
사례 2	지도연구원 2	Stanford Univ. 박사후연구원	2013. 7~8	160시간
사례 3	지도연구원 3	Stanford Univ. 박사후연구원	2016. 2~10	320시간
사례 4	지도연구원 4	UC Berkely 박사과정생	2016. 9~2017. 1	400시간
사례 5	지도연구원 5	UC San Francisco 박사후연구원	2017. 6~8	300시간
사례 6	지도연구원 6	Yale Univ. 박사과정 4년차	2014. 6~10	300시간
사례 7		박사과정 3~5년차	2014. 3~2016. 1	약 2년
사례 8	지도연구원 7	Scripps Research Institute 박사과정 3년차	2013. 6~8	600시간

## 2. 자료 수집

사례 수집은 설문조사를 통해 이루어졌으며, 설문지 전달과 수취는 E-mail을 활용하였다. 설문지는 과학적 지식진화시스템\_과정 모델과 NCSSM의 멘토쉽 프로그램 모델을 근간으로 본 연구를 위해 새롭게 개발되었다. 문항은 연구지도 과정에서 일어나는 실제 활동을 성격별로, 과정별로 구분하여 총 5항목 15문항으로 구성되었으며, <표 9>와 같다.

<표 9> 자율연구지도 사례조사 설문지 구성

구분	항목 및 문항 내용
지도연구원 기본정보	성명, 현재 소속, 영역 등
연구개요	참여 형태, 참여 학생 정보, 참여 시수, 연구지도 내용 개요
운영 관련	1-1. 연구지도 참여에 대하여: 참여동기/ 의사결정과정/ 학생선정과정·요소 1-2. 연구지도 참여자에 대하여: 참여자/ 역할과 참여도/ 관계 및 상호작용 1-3. 연구지도 계획에 대하여: 수립자/ 절차/ 고려요소/ 내용 1-4. 연구 대상 및 재료에 대하여: 매체/ 재료 제공자 1-5. 참가비 및 비용에 대하여: 학생 참가비/ 지급 시기
내용 관련	2-1. 연구활동 내용 개요: 목적 및 목표/ 특징/ 포함하는 과정 2-2. 연구주제에 대하여: 선정 주제/ 학생역량/ 학생이해 위한 지원 활동 2-3. 연구문제에 대하여: 문제·구체화 주제/ 학생역량/ 학생주도적 지원 활동 2-4. 가설설정에 대하여: 가설설정 주제/ 학생역량/ 학생주도적 지원 활동 2-5. 문제해결에 대하여: 문제해결 주제/ 학생역량/ 학생주도적 지원 활동 2-6. 결과보고에 대하여: 유형·형식/ 결과보고 주제/ 학생역량/ 학생주도적 지원 활동 2-7. 평가에 대하여: 대상과 범위/ 요소·방법·채점/ 피드백/ 평가자 및 역할 2-8. 성과 관리에 대하여: 학생 요구기대·요구수준/ 특별 지원
고교생 연구 활동에 대한 인식	3-1. 학생에 대하여: 연구 필요성·가치/ 태도/ 역량·준비도/ 기대 역량/ 활용 3-2. 지도연구원에 대하여: 역량/ 자세/ 경험·보람·어려움/ 개선점·아쉬움

### 3. 자료 분석

자료 분석은 ‘지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(최종안)’을 분석틀로 활용하여 근거 이론에 따라 질적 분석이 이루어졌다. 요인 채택은 참여자 4명 이상(과반수 이상)이 언급한 것으로 제한했고, 이 조건에 미치지 못하더라도 연구자가 중요하다고 판단한 변인들이 포함되었다. 분석에는 과학영재교육 전문가 2인과 현장 전문가 1인이 참여했다.

### 4. 연구 결과

연구지도 사례분석 결과는 ‘지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(초안)’의 3요소-학생요소·연구요소·기관요소-에 해당되는 내용으로 기술되었다.

#### 가. 학생요소: 조직화·경험·소통

##### 1) 조직화 요인: 지적조직화·사고조직화·정서 및 태도 조직화

첫째, 지적 조직화는 과학영재가 해당 연구를 수행하는 데 요구되는 핵심 요인으로, 과학영재의 전문지식 및 실험기술의 조직화, 타월성의 조직화, 그리고 관심의 조직화의 경향을 나타냈다. 모든 사례들( $N=8$ ; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)은 최신 연구가 이루어지려면 풍부한 전공지식을 비롯하여 실험을 위한 능숙한 기술, 실험 결과에 대한 분석 및 의미 해석 역량, 연구 결과를 조직적으로 정확하게 정리하는 역량, 나아가, 분야를 전체적으로 조망할 수 있는 역량을 전제로 하고 있다. 하지만, 참여 학생들은 전문가 수준의 연구를 수행하기에는 지적 역량이 매우 미흡하여, 지도연구원 혹은 지도교수가 이미 설정해 놓은 상태에 학생이 따르는 방식으로 진행되었고, 이 과정에서 지도연구원이 제공한 연구과정 전반에 대한 체계적 안내와 지도에 학생들이 잘 따름으로써 계획했던 연구를 충실하게 수행할 수 있었다고 한다. 예컨대, 학생들은 연구의 주제선정, 문제정의, 가설설정, 그리고 문제해결 등 단계별로 요구되는 배경 지식 및 실험 기술을 논문을 통해 혹은 관찰을 통해 충분히 이해하기는 아직은 이른 단계에 있으므로, 지도연구자들은 학생들이 주요 논문을 통해 전공지식을 충분히 이해할 수 있도록 체계적인 토론을 계속하고, 필요 시 설명 및 강의를 제공하기도 했다. 실험 내용 및 실험 방법에 대한 이해도를 높이기 위해 지도연구원은 실험 방법 프로토콜(protocol)을 제시했고, 실험이 한 가지씩 끝날 때마다(지도연구원이 제시했던) 가설설정을 검토, 또는 재설정하는 연습 기회를 만들어 주었으며, 정보수집, 전산분석, 정리 기술 등도 습득하게 하여 학생주도적으로 연구를 진행할 수 있도록 했다. 이러한 체계적 지원을 통해 지도연구원들은 학생들의 타월함을 최대한 발휘, 성장하는 맥락을 마련해주었고, 학생들은 연구과정 전반에서 단계별로 체계적인 학습, 훈련, 수행함으로써 타월함을 발굴, 발현할 수 있었던 것으로 다수의 사례들( $N=5$ ; 1, 5, 6, 7, 8)은 보고했다. 특히, 주제관련 배경 지식의 이해, 재가설 제안, 문제해결 등에서 타월함을 보였으며, 전산과 알고리즘에 관련된 배경 지식이 부족하여 문제해결 시 다소 어려움이 있었지만 대체로 타월했다. 결과 보고에서는 글쓰기 및 보고서 정리가 놀라울 정도로 타월했다고 한다.

결국, 다수 사례들( $N=5$ ; 2, 3, 4, 6, 7)은 이러한 탁월성의 발휘가 학생들의 해당 연구에 대한 강한 지적 흥미, 관심에서 출발했고, 세계적 석학인 지도교수와의 만남, 가르침을 통해 도전적인 과제를 주도적으로 수행함으로써 더욱 성장하여, 진로 결정에 이르게 되었다고 보고하였다. 사례 4가 연구에 있어서 탁월함에 대한 이목을 집중시키는 진술을 한 바 있다.

“연구를 잘하는 사람은 …… 중략 …… 성적은 우수하지 않지만 연구 수행 능력이 뛰어날 뿐 아니라 주제와 관련한 고민들을 깊이 있게 하는 훌륭한 학생들입니다. 또 그런 학생들이 성취감도 매우 높습니다.”

둘째, 사고의 조직화는 과학영재에게 연구활동 과정에서 요구되는 지적 조직화를 이끄는 기제로, 과학적 사고, 비판적 사고, 창의적 문제해결 요인이 주요하게 부각되었다. 대다수의 사례( $N=7$ ; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)가 보고하기를, 연구란 과학적 사고의 기반 위에서 관찰, 연구설계, 과학적 방법론, 실험 수행, 문제해결, 그리고 결과가 도출되므로, 과학영재는 체계적 사고와 합리적인 의심을 통해 사물을 대할 수 있어야 하며, 이를 위해 질의응답이 최선의 방법으로 유용하게 활용된다고 했다. 즉, 그 배면에는 항상 “왜 문제해결을 해야 하는가?”라는 비판적 사고가 동반되어야 한다고 4사례( $N=4$ ; 1, 2, 3, 4)는 강조했다. 사례 2는 연구 결과의 성공 여부와 상관없이 학생의 ‘비판적 사고’를 가장 비중 있게 다룬다고 했다. 다수의 사례( $N=5$ ; 2, 4, 6, 7, 8)는 과학적 사고와 비판적 사고 위에서 작은 문제들을 주도적, 창의적, 모험적 시도를 하는 것이 무엇보다 중요하다고 했다. 사례 4가 내린 단호한 진술이다.

“(연구를 잘 하는 학생이란) 얼마나 창의적인 연구 주제를 잘 찾아내고 장애물에 맞닥뜨렸을 때 얼마나 trouble shooting을 잘해내는지(이다).”

셋째, 정서 및 태도의 조직화에서는 성실, 열정, 그리고 독립적 자세가 주요한 덕목으로 보고되었다. 4사례( $N=4$ ; 1, 4, 6, 7)는 랩에서 제공하는 가이드라인 내에서 성실하게 배우고자 하는 자세로, 철저하게, 끈기를 가지고, 진지하게, 자기 역할을 잘 수행하는 것이 중요하다고 했다. 이러한 태도는 항상 열정( $N=4$ ; 1, 4, 6, 7, 8)이 동반되었다. 지도연구원들은 연구 또는 학문에 대한 열정이 느껴지는 학생에게 가능성을 기대할 수 있으며, 보람을 갖게 된다고 했다. 그들은 학생 선정 시, 강한 내재적 동기 혹은 참여 의지를 꼭 확인한다고 했다. 이러한 학생들은 능동적으로 실험 수행 및 결과 도출하는 독립적 자세가 좋은 결과에 이르게 한다고 5사례( $N=5$ ; 1, 3, 6, 7, 8)는 보고했다. 사례 1의 인상 깊은 스토리가 있다.

“2016년에 이미 Harvard에서 입학허가를 받고 Summer Program에 참여했던 한 학생이 …… 중략 …… 매우 똑똑하긴 했지만, 동기 부여가 되지 않아 프로젝트를 게을리 하는 바람에 중간에 그만 두었던 기억이 납니다.”

## 2) 경험 요인: 탐색경험·준비경험·성장경험

첫째, 탐색 경험이란 참여 학생이 수행하는 연구 주제와 관련된 것으로, 과거에 관심 있게 접했던 의미 있는 경험이다. 다수의 사례( $N=6$ ; 2, 3, 5, 6, 7, 8)는 연구가 체계적으로 이루어지려면, 학생들이 관련된 배경 지식 및 다양한 실험 경험이 갖추어진 상태에서 참여하는 것이 중요하다고 힘주어 말했다.

둘째, 준비 경험은 참여할 연구에 대비하여 학생이 계획적으로 준비하는 활동으로, 다수의 사례( $N=6$ ; 2, 3, 5, 6, 7, 8)는 주제 관련 심화학습 및 전산분석 실무 경험을 비롯하여, 지도연구원과 참여 학생 간에 주제 및 연구 계획에 대한 사전 논의, 사전 탐색 및 조정이 진지하게 이루어져야 하며, 약속 및 지침이 미리 전달되어야 한다고 했다. 사례 3은 수시로 보고할 연구 결과에 대한 원활한 토론을 위해 사전에 전문용어 학습 및 영어 토론 역량을 강화하는 노력이 필요하다고 했다. 준비 수준은 연구활동의 성과와 직결된다고 강조했다.

셋째, 성장 경험은 해당 연구활동을 마친 후, 참여 학생에게 일어나는 지적 및 심리적 성숙을 일컫는다. 지도연구원이 학생들에게 기대하는 것은 연구에 대한 관심의 증진, 최신 연구 경험, 경험의 축적, 실험 수행 역량 증진과 성장 가능성, 체계적 사고력, 연구 전체를 조망하는 능력 배양, 성실하게 배우려는 자세, 연구 경력, 적성 파악 및 진로결정 등이다.

“초기 역량이 활동 후 최종 역량에 미치는 바가 클 듯합니다. 준비가 잘 된 경우는 대학 및 대학원의 시스템을 이미 접함으로써 추후 비슷한 경험을 할 경우에 큰 두각을 나타낼 수 있을 듯하고, 그렇지 못한 경우는 학생이 오히려 흥미를 잃을 수도 있다고 생각합니다.”

## 3) 소통 요인: 설득·전달·교류

첫째, 대부분의 사례( $N=7$ ; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)에 따르면, 설득은 문제 제기부터 연구 결과의 의미까지를 모두 아우르며, 단계별로 독립적이며 동시에 과정 간에 연결되는 내용을 타인에게 이해시키는 활동이다. 이는 연구 목적을 정확하게 이해하고, 실험 데이터를 정확하게 이해하며, 데이터 해석에 기반을 두고 있다. 때문에, 지도연구원들은 연구활동에 대한 철저한 관리를 통해, 활동이 학생주도적이 되도록, 그리고 단계별 연구 결과의 보고가 설득력을 갖도록 해야 한다. 사례 1, 3, 6, 7은 매일, 매주, 매월, 그리고 연구 완료 시, 결과 및 진행 상황을 보고하도록 했으며, 사례 2와 5는 시작 전에 지침을 주고, 단계별로 결과 보고를 하도록 했다. 이 역량을 키우기 위해서는 다른 사람들의 논문을 이해할 수 있어야 하고, 저널 클립이나 페이퍼 읽기를 연마해야 한다고 했다.

둘째, 연구 결과의 전달은 6사례( $N=6$ ; 1, 4, 5, 6, 7, 8)의 보고에 의하면, 다양한 목적을 위해 다양한 형태의 결과 보고를 해야 했다. 대표적으로, 서면 보고서(중간보고 및 최종 보고), 논문 발표, 구두 및 포스터 발표 등을 통해 이루어진다. 이 때, 중요한 것은 논리적 글쓰기, 세세한 정보를 빠뜨리지 않고 기입, 기억해 내는 정확성, 결과를 시각적이고 효율적으로 훌륭하게 보여줄 수 있는 분석 기법, 효율적 배치 기법, 청중의 눈높이에 맞는 정보 전달력, 그리고

표현력 등이다. 이를 위해, 연구 시작 전에 지침이 제시되었고, 참여 학생들은 랩 노트 작성법의 중요성을 인식하고 연구 절차에 따른 정보 기술 방법에 대해 지도를 받았다. 특히, 결과보고서는 한 달 정도의 지도를 바탕으로 학생주도적으로 완성되었고, 대부분 탁월함을 보였다고 했다.

<표 10> 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(최종안): 학생요소

요인	하위요인	세부 성분(사례수)
조직화	지적	전문지식 및 연구역량(8); 탁월함(5); 흥미와 관심(6)
	사고	과학적사고(7); 비판적사고(3); 창의적문제해결(5)
	정서·태도	성실(4); 열정(5); 독립적(5)
경험	탐색	주제(5); 기본실험경험(3)
	준비	사전 논의(5)
	성장	과학적태도(4); 실험수행능력(4); 연구경험(4); 진로결정(4)
소통	설득	논리적 분석 및 데이터 해석 역량(7)
	전달	발표역량(6); 정확성, 분석 기법, 전달 능력, 효율적 배치
	교류	결과의 공유, 발표, 토론(4)

셋째, 교류는 자신의 연구 결과를 같은 프로그램에 참여한 다른 학생들과 공유하기 위해 발표, 토론하는 가운데 일어났다. 다수의 사례( $N=4$ ; 1, 6, 7, 8)는 학생들이 자신의 결과를 포스터 발표를 위한 자료로 만들어, 교수, 지도연구원, 그리고 학생들 앞에서 발표하고, 토론하면서 공유하는 시간을 가졌고, 이 때, 발표 역량이 매우 중요하다고 강조했다.

요약하면, 본 연구지도 사례들은 참여 학생이 고등학생으로서 감당하기 힘든 도전적인 과제 해결에 최선을 다하는 가운데 지속성장 할 수 있는 탁월함을 발휘하면서 의미있는 경험을 갖게 되었음을 보여준다. 참여 학생들은 높은 경쟁률을 뚫고 선발된 학생들로, 우수한 성적, 높은 내재적 동기, 구체적인 성취 목표를 지닌 명석한 학생들이다. 하지만, 그들이 전문 랩에서 이루어지는 최신 연구를 수행하기에는 배경지식이나 실험 수행 역량이 크게 미흡했다. 그들이 연구 수행을 위해 랩에 들어갔을 당시, 수행할 연구는 주제선정, 문제정의, 그리고 가설설정이 이미 끝난 상태였다. 그럼에도, 그들은 어려운 과제 수행을 통해 전문지식 및 실험기술의 조직화, 탁월성의 조직화, 그리고 관심의 조직화로 새로운 성장을 맞이했고, 연구를 마쳤을 때 대학원생 못지않은 탁월함을 드러냈다. 이러한 결과는 지도연구원의 지도와 안내에 따라 학생들이 철저한 과학적 사고, 비판적 사고, 창의적 문제해결에 집중함으로써 일구어 낸 사고의 조직화가 만들어내는 것이며, 성실함, 열정, 독립적 태도에 기인한다. 이 또한, 사전에 지도교수, 지도연구원, 그리고 학생과의 체계적인 준비가 좋은 출발을 하는 데 큰 기여를 했고, 과학적 태도, 연구 경험과 능력, 이공계 진로결정 등의 성장을 이끌었다. 학생들은 연구의 시작부터 결과 발표에 이르기까지 지도연구원의 철두철미한 지도 및 관리 하에서 과학적 연구 수행은 물론 연구 결과를 성공적으로 전달할 수 있었고, 주도적 연구를 실현할 수도 있었다. 결국, 참여 학생은 도전적인 과제 수행을 완수하기 위해 자신의 역량을 지속적으로 연마해 가

면서 성취를 경험하고 지적 성장을 이룰 수 있었다. 이는 앞서 언급한 Chouhan와 Srivastava (2014)의 주장과 맥을 같이한다.

## 나. 연구요소

### 1) 과정 요인: 주제선정·지식이해·가설설정·문제해결

첫째, 주제 선정은 연구를 시작하기 위해 반드시 거치는 단계로, 모든 사례( $N=8$ )가 이 과정을 거쳤다. 주제 선정은 현재 랩에서 진행하고 있는 주제 가운데, 학생이 수행하기에 적합한 세부 분야 또는 지도연구원이 하고 있는 연구에 편승, 참여하는 형태로 이루어졌다. 이는 지도교수, 지도연구원, 학생이 함께 상의 또는 토의를 통해 이루어졌다.

“학생이 초기 연구 주제는 지도연구원과 의 논의를 통하여 학생 본인이 결정하고 지도연구원이 학생이 연구 가능한 주제들을 보여주면 그 중 학생이 원하는 주제를 선택함과 동시에 도중에 수정, 변경할 수 있도록 진행한다.”

둘째, 지식이해 과정은 주제 선정 시, 그리고 선정 후, 본격적인 연구를 위해 토대를 마련하는 단계로, 모든 사례( $N=8$ )는 주제관련 심층적 이해를 위해 전문 지식 및 기술을 익히는 과정을 거쳤다. 사례 5, 6, 7, 8은 학생들이 전공지식, 실험 방법 및 기술, 기본 분석용 소프트웨어 사용법 등을 학습 및 습득하도록 했으며, 사례 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 그리고 8은 논문 리뷰를 기반으로, 배경 설명 및 질문에 대한 설명, 실험 방법에 대한 protocol 학습 등의 다양한 방법을 활용하였다. 이 때, 문헌 리뷰로는 주요 최신 논문, 해당 실험실 논문, 그 외 문헌 고찰 등이 이루어졌으며, 또한, 이로부터 파생되는 논문의 학생주도적 학습, 요점 정리 보고 등이 이루어졌다.

셋째, 가설설정은 (학생주도적) 문제점의 과정을 건너뛰고 다양한 전략을 통해 비증 있게 진행되었다. 다수 사례들( $N=6$ ; 1, 3, 5, 6, 7, 8)은 학생들이 세부 과제에 대해 가설설정을 하도록 돕거나 실험 결과에 따라 가설설정을 훈련하는 기회를 갖도록 안내했다. 통상적으로, 전문가 랩에서는 전체 프로젝트에 대한 가설설정이 이미 되어 있으므로, 많은 랩( $N=5$ )에서는 세부 항목에 대한 가설을 학생과 함께 설정하거나 질의응답을 통해 가설설정하도록 도왔다. 또는 결과 도출 때마다, 가설설정에 대해 인지시키고 연습하도록 했다. 그 외, 학생이 주도적으로 가설설정 하거나 기초자료와 논문을 참고하여 세부 연구의 가설을 설정하도록 안내했다.

대부분 랩( $N=7$ )은 학생 연구활동에서 문제정의 과정은 전략적으로 진행했다. 랩에서 이미 진행된 문제를 세분화하여 학생들에게 배분하거나 그대로 따라해 보게 하고는 있지만, 학생들은 연구문제에 대한 전문지식이 없어 문제를 발견, 정의하기는 현실적으로 어려우므로 지도연구원이 설명해주고, 시범적인 실험을 제안, 수행하게 하여 학생이 문제를 구체화하는 과정에 참여하도록 했다. 아래에 서로 대비가 되는 참여 학생의 문제 발굴, 구체화 훈련 과정을 사례 2와 사례 4를 들어 차례로 기술하면 다음과 같다.



“연구 문제의 발굴은 전적으로 지도연구원이 하며, 구체화에 관해서는 학생과의 토의를 통하여 결정합니다. brainstorming 시간을 할애하여, 학생이 생각하는 가장 원초적인 아이디어까지도 같이 토의를 하여 구체화합니다.”

문제 발굴 및 구체화 활동이 학생주도적으로 이루어질 수 있도록, “실험실내 컴퓨터를 제공, 초반 프로젝트 구체화 및 설계 과정에는 충분히 정보 수집할 시간을 줍니다.”

넷째, 대부분 사례( $N=7$ )의 보고에 의하면, 문제해결은 학생이 스스로 수행할 수 있도록 초기 연습 후, 혹은 문제 발생 시 지도연구원과의 지속적 토론을 통해 진행되었다. 사례 5는 매번 주어진 가설에 대하여 학생 스스로 문제해결 하도록 했으며, 사례 2는 매 실험의 성공 여부를 평가할 수 있는 기준을 제시하거나 데이터 분석 교육을 시키기도 했다.

## 2) 성과 요인: 산출물·평가·지식창출

첫째, 산출물 요인은 문제해결이 종료된 후, 연구 과정과 연구 결과에 대해 정리하는 시간을 통해 드러나는 부산물로, 대부분 사례( $N=7$ )는 다양한 형태의 산출물을 생성한 것으로 언급했다. 사례 1, 2, 4, 5, 6, 7은 결과보고서, 논문, 또는 상품 프로토타입 등을 산출하도록, 또한, 대부분 사례( $N=7$ ; 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8)는 구두발표, 포스터발표, 논문발표, 초록 제출 등의 과정을 지도, 안내했다.

둘째, 평가는 대부분 사례( $N=7$ )가 지도교수와 지도연구원이 참여 학생의 연구과정 전반에 대한 역량과 태도를 대상으로 이루어졌으며, 주된 평가기준은 근면 성실, 연구수행능력, 결과도출, 실험 내용의 이해 등이다. 사례 6, 7의 평가 기준은 학생의 성실성(매주 정해진 시간에 연구실에 와서 실험 및 연구에 적극적으로 참여하는가), 학생의 실험 수행 능력(독자적으로 실험을 수행했을 때, 실험을 꼼꼼하고 정확하고 효율적으로 수행하는가), 그리고 학생의 결과 분석 능력(논문을 읽고 이해를 잘 하며, 실험 결과를 보고 분석하고 그 의미를 해석할 수 있는가)이다. PASS/FAIL로 학점부여 수준에서 채점하는 사례도 있었다. 사례 1, 2, 3, 4, 6, 7, 그리고 8은 지도연구원이 학생의 역량을 평가하여 지도교수에게 보고하면, 지도교수가 최종적으로 결과를 정리하여 학생의 소속 학교 멘토에게 전달했다. 사례 1의 평가 요소 및 기준, 대상, 범위, 방법, 점수체계는 아래와 같았다.

“고등학생이 성취할 수 있는 일의 범위가 굉장히 제한적이므로, 근면성실에 더 후한 점수를 주게 됩니다. 오히려, 근면성실이 평가의 대상과 범위의 대부분입니다. 거의 Pass/Fail을 기준으로 평가점수를 산정하고 있습니다. Quantitative한 점수를 주기에는 상당히 주관적일 뿐만 아니라, 개인의 감정 요소도 또한 배제할 수 없기 때문입니다. 대신, 학생이 Exceptional할 경우 Program committee에 건의를 하여 Extra 상을 받을 수 있게 추천합니다.”

셋째, 연구 종료 후, 많은 사례들( $N=4$ ; 1, 3, 4, 5)은 지식창출을 한 것으로 보고했다. 지도

교수 및 지도연구원은 학생들이 연구 과정을 통해 연구 경험, 흥미 및 관심 확장, 과학의 방법론 및 과학적 사고 함양, 비판적 관찰력 함양, 최신 기술 습득 및 경험 등의 목표에 도달할 수 있었던 것으로 판단하는 한편, 다수 학생들은 대입을 위해 지도교수의 추천서를 받기를 희망했다고 한다. 추천서는 학생의 실험 수행능력과 개인 역량과 가능성에 대한 평가를 바탕으로 작성되며, 가끔, 성실하게 연구에 임한 학생의 경우, 지도교수가 프로그램 진행 센터에 수상을 추천하기도 했고, 랩에서 계속 일할 수 있는 기회를 제공하기도 했다.

### 3) 전략요인: 멘토링·학생주도연구·학생적정연구

첫째, 모든 사례( $N=8$ )에 의하면, 해당 랩에서의 연구활동은 세계적 석학인 지도교수 및 전문연구원의 개별적인 지도, 안내, 가르침을 통해 이루어지는 멘토링 과정이라고 했다. 이 과정은 과학 분야에 특정 관심을 보이는 고등학생들로 하여금 실무 지식을 쌓게 하는 의미있는 학습 과정이며, 그 목표는 연구과정에 대한 경험, 관심의 증진, 협동 정신 및 배려심을 함양하는 것이었다. 사례 3, 4, 5, 6, 7은 고등학생이 경험하기 힘든 최신 연구, 나노기술과 생물학의 융합 연구 등을 경험할 수 있었다고 했다. 모든 사례( $N=8$ )의 보고에 따르면, 지도교수는 멘토로서 학생 및 지도연구원 배치, 주제 선정, 최종 평가 및 추천서 작성 등을, 지도연구원은 실제적인 멘토로서 연구 전반의 진행, 연구 설계, 내용 구성, 결과 분석, 학생 관리, 그리고 학생 평가 등을 이행했다. 특히, 지도연구원은 학생이 매주 3-5회 실험실에 올 때마다 당일 할 일을 함께 계획하고 한 일과 결과를 리뷰하고 피드백을 주며 다음 실험 계획을 수립했다. 학생이 실험을 할 때는 지도연구원이 자리를 비우지 않고 충실하게 관리, 안내하고, 필요 시, 설명 및 강의, 토론, 리허설 기회를 제공했으며, 모르는 내용이 나올 경우 1대1 질의응답을 통해 해결했다. 모든 사례( $N=8$ )는 지도자에게 요구되는 역량으로 학생 과제 설정 안목, 연구 주제에 대한 학생의 인식 수준 이해, 실험에 대한 학생의 숙련도, 학생의 흥미를 이끌어내고 동기부여하는 소통 능력, 관찰력, 그리고 열정을 꼽았다.

둘째, 모든 사례( $N=8$ )는 학생이 전문가 랩에서 의미 있는 경험을 하려면 학생주도적 연구를 수행하는 것이 그 무엇보다 중요하다고 했다. 사례 1, 3, 4, 5는 전문가 수준의 연구는 스스로 찾아가는 자세가 가장 중요하며, 실제 연구실에서 다루는 최신 연구 주제를 가지고 자료조사부터 결과 발표까지 주도적으로 수행할 수 있어야 한다고 피력했다. ‘과정 요인’에서 밝힌 바와 같이, 지도연구원은 학생이 스스로 학습할 수 있도록 안내하고 지침을 제시했다. 학생이 관심 주제를 선정하여 본인 프로젝트로 만들어 진행하는 것이 좋은 전략이 된다고 했다.

연구 시작 전, 학생 선발 과정을 거치는 것도 이 때문이다. 모든 랩( $N=8$ )은 주도적 연구가 가능한 학생을 선발하고자 했다. 자기소개서, 성적표, 추천서, 연구경험, 면접 등을 통해 지원 학생의 동기, 역량 및 준비도, 연구에 대한 관심, 열정, 추후 관심 지속 여부 등을 확인한 다음 연구에 참여할 수 있도록 했다(대학 진학한 모든 학생들은 명문대에 진학함).

셋째, 학생주도적 연구는 고등학생 수준에 맞는 학생적정연구를 계획, 수행함으로써 가능한 것으로 다수의 사례( $N=5$ ; 1, 3, 5, 6, 7)는 언급했다. 랩에서 진행하고 있는 연구는 고등학생이

수행하기에는 많은 어려움이 있으므로, 지도연구원이 진행하고 있는 실험 계획 중 학생을 지도하기에 적합하다고 판단되는 연구 주제나 고등학교 학생과 함께 하면 좋을 세부 분야의 연구를 수행하도록 했다. 학생의 요구를 더 고려한 방식으로, 학생이 연구 가능한 주제들을 보여주고, 그 중에서 학생이 원하는 주제를 선택, 수행하면서 수정해가는 형태나 또는 학생이 원하는 분야의 연구 주제를 모두 고려하여 선정하는 방식으로 진행하기도 했다. 사례 5, 6, 7은 연구 현장에서 이뤄지는 세부적인 내용을 학생들이 한 번에 학습하기 곤란하므로, 지도연구원은 내용을 한정하고, 적정 목표를 제시하기도 한다. 한 예로, 학생에게 실험 방법에 대한 protocol을 주고 학습하게 하거나 연구원이 했던 연구과정을 설명하는 쉼도잉 학습을 하게 하여, 학생들이 연구에 효율적으로 진입하도록 했다. 사례 1, 4, 6, 7은 hand-on 학습 경험을 목적으로, 고등학교 교육과정에는 없지만, 고등학생이면 잘 따라올 수 있는 프로젝트 형태로 진행하면서, 연구실 환경을 접해보고 다양한 실험을 해봄으로써, 향후 학부생 연구원으로서 독자적인 연구에 쉽게, 빠르게 적응, 진행하는 데 유익하다고 했다.

“학생이 (처음) 들어왔을 때는 지도교수가 선정한 내용을 지도연구원이 발괄 및 구체화를 거의 끝낸 상태지만, 학생에게도 똑같이 (수행)하도록 합니다.”

요약하면, 연구 요소는 과학영재가 과학 지식의 생성 과정에 참여하는 활동과 관련된 것으로, 과정, 성과, 그리고 지도 전략을 포함한다. 이는 과학의 본성을 이해하는 과정이며, 과학에 대한 이해와 역량을 향상시키는 과정이다. 과정 요인과 관련하여, 주제 선정, 지식의 이해, 가설설정, 문제해결 과정을 거친다. 주제 선정과 가설설정은 랩에서 이미 정해놓은 것이고, 관련 지식은 학생에게 매우 생소하고 어려운 내용이다. 그럼에도 지도연구원은 학생이 정해진 주제 속에서 자신의 관심을 반영하여 작은 주제를 찾고, 연구문제를 구체화 하는 기회와 새로운 가설을 제설정하는 기회를 가짐으로써, 학생주도적으로 문제해결을 하도록 안내, 지도했다. 또한, 지도연구원은 체계적이고 면밀한 관리를 통해 학생에게 부족한 배경지식의 이해, 실험 방법의 훈련, 자료 수집 방법 및 분석 방법, 해석 역량 등이 향상되고 과학적 연구가 이루어지도록 했다. 한편, 학생은 주어진 지침을 성실하게 따랐고, 주도적이고 능동적인 자세로 연구에 참여했다. 성과 측면에서 보면, 결과물을 결과보고서, 논문작성, 구두 발표 등으로 세분화 하여 작성하도록 하여, 학생이 연구 결과를 다양한 목적과 대상에 따라 다른 차원에서 생각하는 경험을 가지도록 했다. 평가 요소는 비교적 명확하고 체계적이었다(사례 6 & 7: 성실성, 실험 수행능력, 결과분석능력). 그 사회적 기여도에 있어서도 결과보고서에서 SCI 급 논문에 이르기까지 수준차가 크다. 이러한 현상은 랩 차원에서 학생의 연구 수행을 충실하게 관리하여 학생이 자신의 역량을 최대한 발휘하도록 지원했음을 반증한다. 마지막으로, 지도 전략 측면에서, 대부분의 지도사례들은 참여 학생이 최신 연구 경험을 갖고, 학생주도적 연구를 수행하며, 이를 위해 학생의 역량과 준비도를 고려한 작은 주제, 기존 연구를 반복하는 훈련 기회를 제공했다. 이는 궁극적으로 학생 스스로가 연구 전반을 계획, 수행, 시도, 조절, 해결, 결과 발표하는 기회를 가짐으로써 실험 내용을 제대로 이해하고 큰 그림을 그리는 경험을 갖도록 하는

데 초점을 맞추고 있었다. 나아가, 과학영재가 주인의식을 가지고 연구, 자아실현 하는 계기를 통해 미래 지속성장을 추동하는 추진체가 되기를 멘토는 기대했다. 박기수, 유미현(2013)에 의하면, 이는 과학의 본성을 이해하는 과정이며, 과학적 소양을 기르는 필수적인 과정이다. 관련 내용은 <표 11>과 같다.

<표 11> 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(최종안): 연구요소

요인	하위요인	세부 성분(사례수)
과정	주제선정	학생과 의논, 토론으로 랩 진행주제 중 적합한 세부 분야 선정(8)
	지식이해	전문 지식 및 기술(4), 토대마련(8), 논문리뷰(8)
	가설설정	실험 결과기반 가설설정(4)
	문제해결	메 가설검증(5), (초기연습후)스스로 문제해결(7), 실험 지표 제공(2)
성과	산출물	결과보고서(6), 논문작성(4), 발표(7)
	평가	전문가평가(7), 기준(7), 학점취득(7)
	지식창출	연구경험(4), 학문적기여(4)
전략	멘토링	도제식(8), 최신 연구(5), 지도자(8)
	학생주도	주도적학습(8), 학생선발(8)
	적정연구	작은 주제(5), 웨도잉 연구(3), 체험(4)

다. 기관요소

1) 교육과정 요인: 연구교과·도구교과

첫째, 몇몇 사례( $N=4$ ; 1, 2, 3, 5)들은 문제해결을 학생주도적으로 할 수 있도록 대학 차원에서 사전 교과목의 필요성에 대해 언급했고, Stanford 대학의 SIMR에서는 참여자로 선정된 학생들을 대상으로 프로그램 시작 전에 과학실험의 기초, Personal Protective Equipment, 그리고 연구실 안전 등에 대해 포괄적으로 수업을 제공했다. 특히, 사례 5는 가설 수립 및 연구설계 교과를 중·고등학교에서 수업을 통해 미리 훈련하는 것이 전문가 연구 수행에 큰 도움이 될 것이라고 했다.

둘째, 몇몇 사례( $N=4$ ; 1, 2, 3, 5)들은 연구 수행 전에 다양한 수업을 제공했다. SIMR(사례 1, 2, 3)에서는 ‘과학적 사고 방법’ 수업을, 사례 5는 전산 프로그램 활용 소프트웨어 수업을 제공하여, 학생주도적 연구 수행에 도움이 되도록 했다.

2) 관리 요인: 관리자·활동·방법

첫째, 다수 사례( $N= 5$ ; 1, 2, 3, 5, 6, 7)는 해당 대학 및 연구소에서 지원하는 교고 대상 프로그램의 책임자 또는 담당자가 전반적인 관리 및 지원을 했다.

둘째, 관리자의 주요 활동은 프로그램 지원 학생을 선발, 배치하고(Stanford 대학, UCSF, Yale 대학), 우수한 성취 학생의 수상을 위해 프로그램 위원회에 추천하며(Stanford 대학), 그리고 연구 진행 관리를 위해 프로그램 기간 동안 총 3회에 보고를 받거나(UCSF) 성과 관리를

위해 프로그램 종료 시 포스터 혹은 논문 초록을 취합하기도 한다(Stanford 대학).

셋째, 기관 차원의 지원 및 관리는 Stanford 대, UCSF, Yale대 모두가 고교-대학 연계 프로그램을 개설하여 대학 자체적으로 하고 있다.

### 3) 자원 요인: 예산

첫째, 예산 지원은 연구실 지원과 학생 지원으로 구분되는데, 전자의 경우, 3사례( $N=3$ ; 1, 2, 3)는 프로그램 운영 기관(SIMR)에서 연구실 당 \$ 1,000 정도를 지원하였으며, 사례 8은 연구비 형식으로 랩에 배정했다. 후자의 경우, 3사례(1, 2, 3)는 여름철 학생 체제비를 지원했고, 사례 8은 학생에게 셸러리를 지급했다.

요약하면, 기관 요소는 과학영재가 과학 지식의 생성 과정에 참여하는 활동이 보다 체계적으로, 원활하게 이루어지도록 교육과정 운영, 진행 관리, 자원 등을 포함한다. 교육과정 요인은 학생주도적 연구 수행이 가능하도록 연구 역량을 향상시키는 기초 실험 과목, 개인 연구 장비, 안전 교육 등을, 그리고 과학적 사고 수업 또는 전산 프로그램 활용 수업을 제공했다. 이러한 지원은 모두 대학 또는 기관 자체적으로 프로그램을 개설하여 책임자 및 담당자를 통해 이루어지고 있다. 주된 활동은 학생 선발과 랩 배정, 수상, 진행 관리(사전, 중간, 최종 보고 받기), 성과 관리(포스터 발표 진행), 예산 지원(연구실 지원, 학생 지원) 등이다. 관련 내용은 <표 12>와 같다.

<표 12> 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(최종안): 기관요소

요인	하위요인	세부 성분(사례수)
교육 과정	연구교과	사전 수업(4): 과학실험의 기초/ Personal Protective Equipment/ Lab Safety(3), 가설수립, 연구디자인 등을 중등학교에서 사전 훈련이 필요(1)
	도구교과	과학적 사고 방법(3), 전산 프로그램 활용 소프트웨어(5)
관리	관리자	대학 지원 기관(6): Stanford대 SIMR program staff members(3), UCSF 연구소 내 코디네이터(1), Yale 대 지원 프로그램의 책임 디렉터(2)
	활동	학생 선발(6): 프로그램 지원 학생 선정, 배치(Stanford, UCSF, Yale) 수상(3): Exceptional 학생에 대한 Extra상을 Program committee에 추천 점검(5): 포스터, 초록 취합(3), 연구소 코디네이트가 총3회 진행 상황 점검(5)
	방법	대학에서 고교 연계 프로그램을 별도로 운영, 지원(3): Stanford, Yale, UCSF
자원	예산	연구실 지원(4): SIMR program-\$1,000(3), 랩에 연구비 형식으로 가져옴(1) 학생 지원(4): 여름철 체제비(3), 정부지침에 따라 셸러리 지급됨(1)

결론적으로, 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(최종안)은 3요소 9요인이 적합한 것으로 나타났다. 이 개념모델(최종안)은 개념모델(초안)의 구조와는 동일하나 그 성격은 다소 차이가 있다. 3요소(9요인)는 학생 요소(조직화, 경험 소통 요인), 연구 요소(과정, 성과, 전략 요인), 기관 요소(교육과정, 관리, 자원)로 구성된다. 그리고, 9요인(하위요인)은 구체적으로 다음과 같다: 조직화 요인(지식, 사고, 정서 및 태도), 경험 요인(탐색, 준비, 성장), 소통 요인(설득, 표현, 교류), 과정 요인(주제선정, 지식이해, 가설설정, 문제해결), 성과 요인(산출물, 평가, 지식창출), 전략 요인(멘토링, 학생주도연구, 적정연구), 교육과정 요인(연구 교과, 도구 교과),

관리 요인(관리자, 활동, 방법), 자원(예산). 이 개념모델(최종안)은 개념모델(초안)에서 2요소(개인 요소 → 학생 요소; 학교 요소 → 기관 요소) 1요인(지원 → 자원) 7하위요인(배경지식 → 지식이해; 문제정의 → 가설설정; 연구경험 → 지식창출; 멘토링; 기본교과(삭제); 지도교사 → 관리자; 시설 → 예산)이 수정, 삭제, 또는 생성되었다. <표 13>과 같다.

<표 13> 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델의 변화 과정

항목	개념모델(초안)	개념모델(최종안)
구성	3요소 9요인	3요소 9요인
요소	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 개인 요소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 학생 요소</li> </ul>
-	- 조직화: 지적, 사고, 정서 및 태도	- 조직화: 지적, 사고, 정서 및 태도
요인	- 경험: 탐색, 준비, 성장	- 경험: 탐색, 준비, 성장
-	- 소통: 설득, 표현, 교류	- 소통: 설득, 표현, 교류
세부	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 연구 요소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 연구 요소</li> </ul>
내용	- 과정: 주제선정, <u>배경지식</u> , <u>문제정의</u> , 문제해결	- 과정: 주제선정, <u>지식이해</u> , <u>가설설정</u> , 문제해결
- 성과: 산출물, 평가, 연구경험	- 성과: 산출물, 평가, 연구경험	- 성과: 산출물, 평가, <u>지식창출</u>
- 전략: 학생주도연구, 적정연구	- 전략: 학생주도연구, 적정연구	- 전략: <u>멘토링</u> , 학생주도연구, 적정연구
● 학교 요소	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 학교 요소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 기관 요소</li> </ul>
- 교육과정: <u>기본</u> , 연구, 도구 교과	- 교육과정: <u>기본</u> , 연구, 도구 교과	- 교육과정: 연구 교과, 도구 교과
- 관리: <u>지도교사</u> , 활동, 방법	- 관리: <u>지도교사</u> , 활동, 방법	- 관리: <u>관리자</u> , 활동, 방법
- 지원: <u>시설</u>	- 지원: <u>시설</u>	- 자원: <u>예산</u>

‘\_\_\_’은 수정, 삭제, 또는 생성된 내용임.

#### IV. 논의 및 결론

본 연구는 두 가지의 소연구가 진행되었다. 첫 번째 연구는 창의적 과학자들이 생각하는 바람직한 과학영재 연구활동이 무엇인지를 확인하기 위한 것이며, 부가적으로, 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(초안)을 산출하였다. 두 번째 연구는 세계 명문대학 및 연구소에서 제공하는 자율연구 지도는 어떻게 이루어지고 있는지를 탐색하기 위한 것이며, 부가적으로, 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(최종안)을 산출하였다. 전자는 과학영재 자율연구의 출발점, 나아갈 방향, 활동 준거, 범위와 수준, 그리고 내용과 방법을 설명하는 모델을 제시함으로써, 과학영재가 미래에 글로벌 과학자로 지속성장하는 데 기반이 되는 연구활동의 방향성과 정체성을 탐색할 수 있었다. 후자는 상급 기관의 최적화된 현장 사례를 소개하는 자율연구 모델을 통해 구체적인 지도 가이드와 전략을 확보할 수 있었다.

첫째, 과학자가 생각하는 지속성장형 과학영재 연구활동 모델의 구성요소는 무엇인가? 지속성장형 과학영재 연구활동은 그것의 준거가 되는 과학자의 연구활동을 기반으로 추출되었다. 과학자의 연구활동은 2요소 5요인으로 구성되었다. 개인요소는 조직화 요인(지식, 사고, 정서 및 태도)(Gruber, & Davis, 1988), 경험 요인(탐색, 요동, 창발), 그리고 소통 요인(설득, 표현, 교류)(Simonton, 1988)으로, 연구요소는 과정 요인(주제선정, 배경지식, 문제정의, 문제

해결), 성과 요인(산출물, 평가, 지식창출)으로 이루어졌다. 과학자의 연구활동은 과학 기술 분야에서 최고의 영예를 얻은 과학자들의 활동에 근거하는 것으로, 과학영재들이 목표로 하는 미래 과학자로서의 활동 준거이며, 현재, 수행하고자 하는 연구의 목표가 되기도 한다.

다음으로, 과학자가 정의하는 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(초안)은 3요소 9요인이 적합한 것으로 요약되었다. 개인요소는 조직화 요인(지식, 사고, 정서 및 태도), 경험 요인(탐색, 준비, 성장), 소통 요인(설득, 표현, 교류)으로, 연구요소는 과정 요인(주제선정, 배경 지식, 문제정의, 문제해결), 성과 요인(산출물, 평가, 연구경험), 전략 요인(학생주도, 적정연구)으로, 마지막으로, 학교요소는 교육과정 요인(기본교과, 연구교과, 도구교과), 관리 요인(지도교사, 활동, 방법), 지원 요인(시설)으로 구성되었다.

지속성장형 과학영재 연구활동은 과학자의 그것에 비해 범위와 수준에서 큰 차이를 보였다. 과학영재 연구활동은 개인요소에서는 기본지식, 문제발견, 연구실 내의 소통, 연구에 적응적이기 위한 지적, 정서적 준비가 우선되어야 한다. 이는 폭넓은 지식이나 글로벌한 네트워크의 활용, 그리고 창발 등을 위해 고심하는 전문가의 수준과는 확연하게 다르다. 연구요소에서는 관심 주제, 측정 및 분석, 연구가능한 문제, 연구설계, 보고서 작성 및 발표, 연구 경험, 그리고 학생주도적 연구, 교과 연계 및 반복연구, 체험연구 등을 고려한 학생수준에 맞는 적정연구가 요구된다. 복잡성 주제를 다루고 SCI급 논문작성에 심혈을 기울이는 전문가와는 차이가 있다. 학교 요소에서는 기본교과, 연구교과, 도구교과 등이, 지도교사, 활동, 방법 등의 관리가, 그리고 시설이 필요한 것으로 보고되었다. 결국, 과학영재 연구활동은 학생주도적 연구를 위해 가깝게는 고교-대학 간의 사전 협의를 통한 연구 계획과 체계적 관리를 통해, 장기적으로는 교육과정 개편을 통한 연구 계획 및 체계적 관리를 필요로 한다.

둘째, 세계 명문대의 지속성장형 과학영재 자율연구 지도는 어떻게 이루어지는가? 세계 명문대 자율연구 지도 사례 기반의 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(최종안)은 3요소 9요인 모델이다. 개념모델(초안)과 요소 및 요인의 명칭이 미미하게 변경되었다. 지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델(최종안)의 구조이다: 학생요소는 조직화 요인(지적, 사고, 정서 및 태도), 경험 요인(탐색, 준비, 성장), 소통 요인(설득, 전달, 교류), 연구요소는 과정 요인(주제선정, 지식이해, 가설설정, 문제해결), 성과 요인(산출물, 평가, 지식창출), 전략 요인(멘토링, 학생주도연구, 적정연구), 기관요소는 교육과정 요인(연구교과, 도구교과), 관리 요인(관리자, 활동, 방법), 자원 요인(예산).

당 모델의 특징은 학생주도적 연구, 학생적정연구, 사전 준비, 체계적 관리, 그리고 토론과 훈련으로 요약될 수 있다. 대부분의 학생은 랩 주도적 상황에서 연구를 시작한다. 이를 테면, 학생이 연구 참여를 위해 랩에 들어가면, 주제, 문제, 가설이 이미 선정, 정의, 설정되어 있다. 그럼에도, 과학영재의 학생주도적 연구, 그리고 학생적정연구를 위해 해당 랩에서는 많은 노력과 시간을 쏟는다. 학생의 프로그램 참여는 랩에서 혹은 지도연구원이 진행하고 있는 연구 주제 가운데 작은 주제를 찾는 일에서 시작하는데, 이는 학생의 관심을 반영하기 위해 사전 계획 단계에서부터 많은 토론을 거쳐 진행된다. 학생이 작은 주제를 찾게 되면 관련된 주요 논문이나 문헌을 찾아 전공지식을 이해하기 위해 지도연구원과 많은 시간을 보낸다. 이는 주

도적 연구와 직결되는 것으로, 지도연구원은 학생이 논문을 충분히 이해할 수 있도록 토론, 설명, 수업, 질의응답을 반복한다. Plucker 외(2017)에 의하면, 이는 탁월한 영재의 학습 또한, Vygotsky의 학습의 근접발달영역(the Zone of Proximal Development)에서 유익한 상호작용이 잘 일어나기 때문이다. 문제정의는 너무 어려워 지도연구원이 연구문제를 찾아온 과정을 학습하는 데 그친다. 실험 훈련을 어느 정도 받은 학생은 주어진 가설검정을 계속하면서 문제해결책을 찾는다. 이 때, 문제해결을 한 학생들은 새로운 가설검정을 하는 기회를 가지면서 주도적 연구의 문으로 들어가게 되고, 이 때, 학생은 능동적이고 적극적으로 연구에 참여한다. 학생주도적 연구의 중요성은 박종원(2009)의 주장과도 일치한다. 탁월한 학생들 중, 운 좋게 4명의 학생들은 성공적인 연구결과를 만들어 지식창출로 사회적 기여의 기회를 갖기도 했다. 연구 과정 내내, 매일, 매주, 매월 진행했던 도전적인 계획과 성실한 결과보고가 성공의 밑알이 되었다. 이에 더하여, 중간보고, 최종보고, 지도연구원과의 결과보고, 지도교수 및 랩 미팅에서의 결과보고, 프로그램 컨퍼런스에서의 결과보고 등 연속되는 전달과 발표를 끝내고 집으로 돌아가는 학생은 어느 덧 성숙한 ‘어린이 과학자’가 되어 있었다. 이는 지도연구원의 진심어린 멘토링으로 얻은 결실일 것이다. 강성주 외(2009)와 박종원(2009)의 연구에서도 멘토의 중요성을 강조한 바 있다. 자율연구는 과학 지식이 창출되는 과정으로서의 과학의 본성을 이해하는 활동으로, 과학영재가 갖추어야 할 과학적 소양의 핵심이고 과학영재교육의 중요한 목표이며 (박기수, 유미현, 2013), 특히, 이를 위한 학생주도적 환경은 개인의 특별한 관심이 사회적 관계를 통해 사회적 성취로 이끄는 맥락이 된다는 점에서 매우 중요하다(Plucker et al., 2017). 지속성장형 과학영재 연구활동이 이루어지려면, 학생은 자신의 관심을 탐색, 심화, 확장하고 이를 의미있게 성장시키기 위한 독립적, 능동적, 도전적 지식창출을 통한 ‘폭발적 성장’을 맞는 계기를 스스로 만들어 가도록 성실하게 임해야 하며, 영재교육기관은 자율연구를 위해 교과 간 ‘초연결적’ 시도를 통한 기본 교육과정 개선(기본교과, 연구교육, 도구교과)을, 그리고 연구기관은 학생주도적 연구 수행을 위한 ‘다초점적’ 전략을 통한 학생역량 이해, 체계적 연구계획, 체계적 관리, 대학 자체적 지원 대책을 강구해야 할 것이다.

본 연구는 고교-대학 연계 프로그램의 상급기관의 최적화된 실체에 대해 그리고 그 활용 가능성을 탐색해 본 연구이다. 두 단계의 연구를 통해, 본 연구자는 과학자와 과학영재의 연구활동의 차이, 지도연구원과 학생의 활동의 차이, 그리고 영재학교의 지원과 상급기관의 지원의 차이를 다중적 차원에서 조망해 보고자 했다. 특히, 본 연구가 제시한 충실한 자율연구지도 사례를 보면서 우리의 문제를 비춰보는 계기를 마련하고자 했다. 이를 통해, 학생이 풀어야 할 문제, 영재교육기관에서 풀어야 할 문제, 그리고 상급기관에서 풀어야 할 문제에 대해 재조명하는 장이 되기를 바라고, 운영상의 문제인지, 콘텐츠의 문제인지, 지원의 문제인지, 정책의 문제인지, 당사자의 문제인지 등을 본 자료에 투사하여 새로운 시각으로 들여다 볼 수 있기를 기대한다.

본 연구에서 도출된 ‘지속성장형 과학영재 연구활동 개념모델’은 8사례라는 비교적 적은 사례를 바탕으로 타당화가 진행됨으로써, 다소 한계가 있다. 추후 더 많은 다양한 사례들을 대상으로 검증, 성장되기를 기대한다.



## 참 고 문 헌

- 강성주, 김현주, 이길재, 권영식, 김명희, 김연숙, 김윤화, 신호심, 임희영, 하지희 (2009). R&E 프로그램에 대한 과학영재고등학생들의 인식 연구. **한국과학교육학회지**, 29(6), 626-638.
- 강정하, 최인수 (2009). 과학적 창의성의 발달. **영재교육연구**, 19(3), 529-563.
- 강정하 (2014). **과학예술영재학교 보통교과 실라버스·STEAM Activity**. KEDI, CR 2014-42.
- 강정하, 조선희, 김미진 (2014). 과학 분야 창의적 산물 발현과정 연구: 과학자의 주관적 경험이 객관적 지식으로 발현하는 자기조직화 과정의 사례 분석. **영재교육연구**, 24(1), 113-147.
- 강정하, 권경아, 석혜은 (2017). 과학영재 진로결정의 개념모델 타당화 및 요구 분석: 국가수준 과학영재교육 기관을 중심으로. **영재교육연구**, 27(4), 717-743.
- 김경대, 심재영 (2008). R&E 프로그램을 체험한 과학영재들의 사사교육 프로그램 효과에 대한 인식: KAIST 신입생을 중심으로. **한국과학교육학회지**, 28(4), 282-290.
- 박기수, 유미현 (2013). ‘과학사 기반 화학자 탐구 프로그램’이 고등학교 과학영재의 과학의 본성에 대한 인식과 과학적 태도, 과학 진로지향도에 미치는 영향. **한국화학학회지**, 57(6), 821-829.
- 박종원 (2009). 과학영재를 위한 사사교육 준비와 유형에 대한 논의. **과학영재교육**, 1(3), 1-19.
- 신학수 (2016). **창의성 개발과 과학영재학교 교육과정**. 2016년 한국영재교육학회 추계학술대회 발표 자료집, 39-53.
- 이선길 (2006). **고등학교 과학영재를 위한 사사연구(R&E) 프로젝트 학습 모형의 개발과 적용**. 이화여자대학교 박사학위논문.
- 이신동, 최병연, 김기명, 고운정, 홍중선, 오혜미 (2010). **영재학교 및 과학고와 대학과의 연계 강화 방안 연구**. 한국과학창의재단.
- 이효녕, 조현준 (2008). 과학영재교육에서 자율탐구활동의 의미와 중요성에 대한 이론적 고찰. **Journal of Science Education Kyungpook National University**, 32(2), 33-50.
- 정용욱, 김은혜, 정민석, 이재구 (2014). 과학영재의 자유탐구를 안내하는 연구단계별 질문목록 개발. **영재교육연구**, 24(1), 63-80.
- 최호성, 강호감, 서혜애, 박일영, 이혁우, 이진희, 박경희, 박지현(2003). **연구와 교육(R&E) 프로그램을 통한 과학영재의 창의성 신장 방안에 관한 연구**. 서울: 한국과학재단(정책연구 2002-5092).
- 최호성, 태진미 (2015). 과학고 R&E(Research & Education) 프로그램의 참여경험과 의미: 졸업생 면담 사례를 중심으로. **영재와 영재교육**, 14(3), 51-79.
- Bruner, J. (1977). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Chouhan, V. S., & Srivastava, S. (2014). Understanding competencies and competency modeling-A literature survey. *IOSR Journal of Business and Management (IOSM-JBM)*, 16(1), 14-22.
- Gardner, H. (1993). *Creating minds*. New York, NY: Basic Books.
- Gruber, H. E. (1981). *Darwin on man: A psychological study of scientific creativity* (2nd). Chicago,

- IL: 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.
- Kittur, H., Shaw, L. & Herrera, W. (2017). A new model for a multi-disciplinary engineering summer research program for high school seniors: program overview, effectiveness, and outcomes. *Journal of STEM Education*, 18(4), 25-31.
- Markowitz, D. G. (2004). Evaluation of the long-term impact of a university high school summer science program on students' interest and perceived abilities in science. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 395-407.
- Olivero, O. A. (2014). *Interdisciplinary mentoring in science*. Waltham, MA: Academic Press
- O'Neill, D. K., & Polman, J. L. (2004). Why educate "Little Scientists?" examining the potential of practice-based scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(3), 234-266.
- Plucker, J. A., McWilliams, J., & Guo, J. (2017). Ch 10. Smart contexts for 21-Century talent development. In J. A. Plucker, A. N. Rimm, & M. C. Makel(Eds.), *From giftedness to gifted education: Reflecting theory in practice*(pp. 227-248). Waco, TX: Prufrock Press Inc..
- Schwab, K. (2016). 제4차 산업혁명. 송경진(역). 서울: 메가스터디(주).
- Shoemaker, S. E., Thomas C., Roberts T., & Boltz, R. (2016). Building a mentorship-based research program focused on individual interests, curiosity, and professional skills at the North Carolina School of Science and Mathematics. *Gifted Child Today*, 39, 191-204.
- Simonton, D. K. (1988). Creativity, leadership, and chance. In R. J. Sternberg(Ed.), *The nature of creativity: Contemporary psychological perspectives*(pp. 386-426). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Subotnik, R. F., Olszewski-Kubilius, P., & Worrell, F. C. (2011). Rethinking giftedness and gifted education: A proposed direction forward based on psychological science. *Psychological Science in the Public Interest*, 12(1), 3-54.
- Tomlinson, C. A., Kaplan, S. N., Renzulli, J. S., Purcell, J. H., Leppien, J. H., Burns, D. E., Strickland, C. A., & Imbeau, M. B. (2009). *The parallel curriculum: A design to develop learner potential and challenge advanced learners*(2nd). Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- The College Preparatory School 홈페이지. <https://www.college-prep.org/page> (검색: 2018. 3. 8).

= Abstract =

## A Case Study on the Guide of Research & Education Programs for the Sustainable Growth of the Gifted in Science: Based on Prestigious Universities

Jung-Ha Kang

*KAIST*

Sun-Hee Park

*University of Virginia*

Hak-Soo Shin

*Seoul Science High School*

Sung-Ho Hong

*KAIST*

In this study, we intended to develop ‘a conceptual model of research activity for the sustainable growth of the gifted in science’ through a case study on the guide of research & education programs implemented in prestigious universities and research institutes in the world. Based on the conceptual model of research activity, we also aimed to suggest education and policy implications. For the purpose of this study, first, we built ‘the first version of the conceptual model of research activity’ by analyzing research activities for the gifted in science using qualitative data from eight creative scientists. The final version of the conceptual model of research activity consisted of 3 components and 9 factors: Student component, Research component, and Resource component. The final version of the conceptual model of research activity was completed by analyzing qualitative data from eight cases collected from researchers at prestigious universities and research institutes in the U.S. Results indicated that research programs for the gifted in science should be designed as a self-directed research and research programs appropriate to students’ prior knowledge.

**Key Words:** Sustainable Growth, R&E, Case Study, Scientifically Gifted Students, Prestigious Universities

1차 원고접수: 2018년 2월 20일
수정원고접수: 2018년 3월 27일
최종게재결정: 2018년 3월 28일