

# 과학과 기술의 공진화를 통한 과학의 추격: 천문우주과학과 핵융합연구 비교 분석

권기석\* · 김시은\*\* · 최원재\*\*\* · 김유빈\*\*\*\* · 김진국\*\*\*\*\*

## I. 서론

보통 ‘과학’과 ‘기술’은 밀접한 관련으로 인해 ‘과학기술’로 뭉뚱그려 언급되고 있으나, 서로 상이한 목적과 과정을 거치는 것으로 이해할 수 있다 (권기석·이문영, 2009). 과학은 자연에 대한 이해를 위한 가설의 제안과 실험 등이 개입되지만, 기술은 인간의 요구에 따른 인공물(artifact)을 만드는 과정에 필요한 지식이나 노하우로 정의될 수 있다.

과학은 서구에서 16세기와 17세기 과학혁명기를 거쳐 형성되었으며, 우리나라와 중국, 일본 등 동아시아에는 근대에 이르러 이식되었다. 최근 과학 또는 기초연구의 상업화를 통해 경제에 대한 기여가 강조되면서, 과학활동이 중요한 국가정책 대상영역의 하나로 인식되고 있다(Kwon, 2011). 특히 우리나라와 같이, 새로운 기술경로를 개척해야하는 시기에 이른 성공적인 경제추격국의 경우, 기초연구에의 투자와 성공이 선진국 진입의 중요한 성공요인으로 인식되고 있다(이근, 2014).

우리나라의 경우, 과학이나 연구개발보다는 재빠른 학습역량을 바탕으로 기술 추격에 성공했다고 볼 수 있다. 이에 본 연구는 우리나라의 기술의 추격 이후 중요해 진 과학의 추격에 초점을 맞추고자 한다. 한 국가 과학의 추격은 그 국가의 자원과 문화가 중요한 토대가 된다. 따라서 본 연구는 기술적 역량을 바탕으로 과학의 추격을 추구한다는 관점을 바탕으로, 우리나라 천문우주과학과 핵융합연구의 추격 사례분석을 시도하고자 한다.

## II. 과학과 기술의 상호작용과 공진화

### 1. 과학에 대한 체제론적 접근

과학은 동료, 과학 조직은 물론 사회경제적 배경과 밀접한 관련을 가지면서 이루어지는 “사회현상” (예. Bernal, 1939)이라고 할 수 있다. 따라서 과학에 대한 이해는 분과별 지식에 대한 이해 뿐 아니라 과학을 둘러싼 환경의 맥락을 함께 고려해야 할 필요가 있으며, 이러한 관점에서 과학의 맥락과 총체성을 담지할 수 있는 체제론 시각이 통찰력을 제공해 줄 수 있다.

특히 우리나라의 경우 이러한 과학에 대한 체제론, 융합학문적 접근이 더욱 필요하다고 할 수 있는데, 이는 우리나라가 과거 추격형 시기에서 오늘날 탈추격 시기에 접어들면서 기초연구 또는 과학에 대한 경영과 정책

\* 권기석, 한밭대학교 공공행정학과 교수, 042-821-1786, kiseok@hanbat.ac.kr

\*\* 김시은, UST 과학기술경영정책전공 박사과정, 042-865-2021, mohrenhirse@kasi.re.kr

\*\*\* 최원재, 국가핵융합연구소 미래전략실 선임연구원, 충남대 행정학과 박사과정 수료, 042-879-5082, cwj147@nfri.re.kr

\*\*\*\* 김유빈, 국가핵융합연구소 미래전략실장, 한양대 과학기술정책학과 박사과정, 042-879-5085, ybkim@nfri.re.kr

\*\*\*\*\* 김진국, 배재대학교 기업건설링학과 교수, jgkim@pcu.ac.kr

이 보다 중요해지고 있으며, 둘째, 사회와 끝없이 상호작용하는 과학의 특성 상 체제론 관점에서 한국적 현실과 연계되는 고유한 과학 활동의 특징을 바탕으로 정책적 시사점을 도출해 낼 필요가 있기 때문이다. 마지막으로, 기존에 이루어진 과학사, 과학철학, 과학사회학 등 과학의 본질과 사회에서의 의미를 연결하는 방대한 연구가 과학기술정책에 적절히 적용되지 못하고 있기 때문에 이를 반영한 과학체제론 접근이 시도될 필요가 있다.

## 2. 과학과 기술의 상호작용과 과학-기술 체제론

앞에서 제시한 과학체제는 최근 과학과 기술의 융합범주를 고려할 때 기술체제와 함께 고려해야 할 필요가 있다. 특히 우리나라의 경우, 기술 중심의 관점에서 과학기술정책을 수행해 왔다는 점을 고려할 때, 기술체제와의 연계성을 가지고 과학의 체제론적 접근이 적용되어야 할 필요가 있다. 과학과 기술의 관계에 대한 논의는 과학기술학(STS, Science Technology and Society)에서 살펴볼 수 있는데, 기초연구와 기술의 관계를 선형, 대칭, 수렴의 관계로 대별하여 파악하고 있다(이영희, 1995). 또한 혁신연구(innovation studies) 분야의 학자들은 주로 과학적 지식에 초점을 맞춘 기초연구와 시장사이에서 어떤 방식으로 기술혁신이 창출되는가에 초점을 맞추고 있다(이공래, 2000).

결론적으로, 두 연구흐름을 종합하면 “과학과 기술은 춤추는 파트너라고 할 수 있는데, 독립되면서 긴밀히 상호작용한다”고 볼 수 있다(Rip, 1992; De Solla Price, 1965). 그러나 이러한 춤이 특정 국가의 과학시스템에서 어떻게 위치되는지, 어떤 기제를 통해 시너지 효과를 생산하는지에 대한 연구는 미흡하며, 이는 국가과학시스템에 대한 통찰과 풍부한 제도적 분석이 필요한 이유에 대한 설명이기도 하다. 이에 본 연구에서는 과학과 기술의 상호작용을 체제론적 관점에서 접근하고자 하며, 특히 우리나라의 천문우주과학과 핵융합연구에서 과학과 기술이 어떻게 상호작용하면서 진화했는지, 이러한 진화에 어떤 요인이 중요했는지에 대하여 초점을 맞추었다.

## 3. 한국 과학과 기술의 공진화 모형

과학의 제도적 변천에 대한 기존 연구에 따르면, 16세기 과학혁명기의 영국, 19세기 초 프랑스, 19세기말 독일, 20세기 미국 등은 각국의 정치, 사회, 교육체제의 특성을 반영한 국가과학체제를 구축하였다(Ben-David, 1971). 따라서 유일한 최적의 국가과학체제가 존재하기 보다는 다양한 환경에 적합한 과학활동의 제도를 구축할 수 있다고 보는 것이 타당하다.

그렇다면 ‘우리식’ 과학체제가 가능한가? 한국의 고유한 과학체제의 특성을 반영한 진화모형을 어떻게 구축할 것인가? 이에 우리는 연구에 있어 두 가지 출발점을 제시하고자 한다. 첫째, 과학연구에 있어 연구장비의 중요성이 높다는 것이다. 즉, 연구장비의 질이 과학의 질을 결정하는 시대가 도래한 것이다. 둘째, 과학의 요구사항(specification)에 따른 장비의 개발이 가속화될 수 있다. 이러한 과학과 기술사이의 긍정적 상승작용을 활용한다면, 재빠른 과학 추격의 기반 구축을 기대해 볼 수 있을 것이다. 이를 과학과 기술의 공진화 모형(science-technology co-evolutionary model)으로 개념화하고자 한다.

## III. 연구설계

본 연구를 위해 우리나라 천문우주과학과 핵융합연구의 추격사례를 분석하기 위한 틀을 제시해 보고자 한다. 과학시스템과 기술시스템이 서로 상호작용하고 하고 있으며, 과학시스템은 학습에서 질문으로 발전하며, 기술시스템은 모방에서 혁신으로 전환한다. 이러한 과학의 단계(S1, S2, S3)와 기술의 단계(T1, T2)를 서로

가로 지르며 과학이 발전하는 것으로 과학과 기술의 진화모델을 상정하였다. 과학에서 기술로 이동할 경우에는 측정도구의 개발이, 기술에서 과학으로 이동할 경우에는 측정도구의 활용이 주요 동인이 될 것으로 보았다.

이러한 모델에 따라 다중 사례로서 비교분석하였는데(Yin, 2003), 먼저 두 과학의 특징과 우리나라에서의 발전양상에 대한 역사를 탐색하였다. 다음으로 모델 적용을 통한 진화의 동인과 조건, 문제점들을 파악하려 하였다. 이러한 과정에서 다음 장에서 제시한 바와 같은 두 과학의 공진화과정에서의 공통점과 차이점을 발견할 수 있었다.

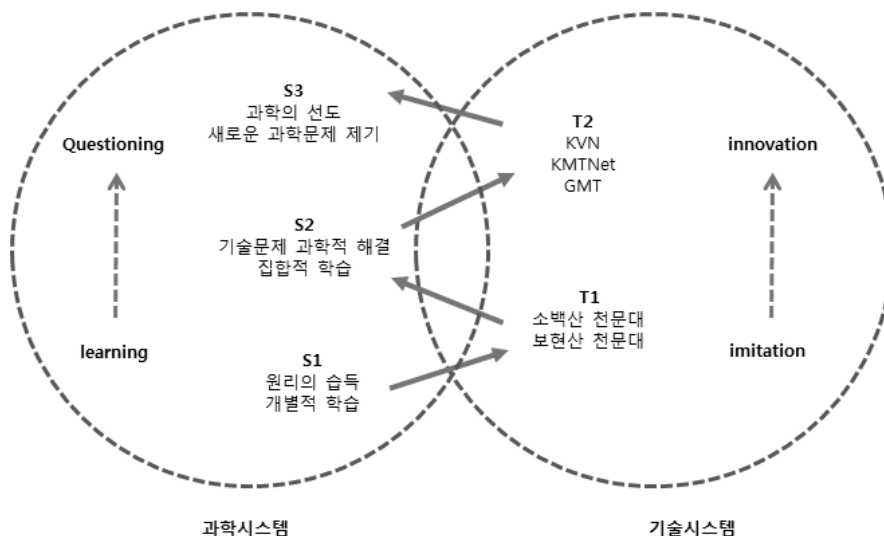
## IV. 우리나라 과학과 기술의 공진화 사례 분석

### 1. 천문우주과학

우리나라 현대 천문우주과학 연구의 진화는 다음과 같은 네 단계의 과정을 거쳤다고 할 수 있다.

- 제1단계 (S1) : 광복 이후, 대학 내 관련 전공과정 설치, 학회 및 국립천문대 설립을 통해 연구기반 마련 및 교육을 통한 연구인력 양성을 시작하였다.
- 제2단계 (T1) : 1970년대 각 대학 내 천문대 교육·연구용 망원경 설치, 한국천문연구원, 소백산·보현산 천문대 준공과 관측장비의 추가 도입 등 연구활동 활성화를 위한 관측기기 확보의 노력이 제기되었다.
- 제3단계 (S2) : 2000년대 전후 이들 기기로 학위를 취득한 신진연구인력이 크게 증가하였고, 누적된 국내 연구진 규모는 연구 및 기술개발 활동의 증가를 일으켜 해당시기에는 국내 최초의 사이언스·네이처 지 논문 게재, 고분산에셀분광기 개발 성공 등 연구성과창출의 양과 질이 급증하였다.
- 제4단계 (T2) : 2010년대 전후에는 KVN, KMTNet 등 세계적인 수준의 관측기기 자체개발 성공을 비롯하여 AMLA, GMT 등 국제공동 관측기기 개발에 본격적으로 참여하며 거대 관측기기 확보를 통한 과학의 선도 및 획기적인 성과창출을 위한 발걸음을 내딛었다.

이같은 한국의 천문우주과학 분야의 발전단계를 살펴볼 때, 연구 기반 구축, 성장 및 심화기 동안 과학시스템과 기술시스템은 서로간의 한계를 상호 공진화를 통해 극복함으로써 과학-기술시스템의 진화를 이루었음을 확인할 수 있다.



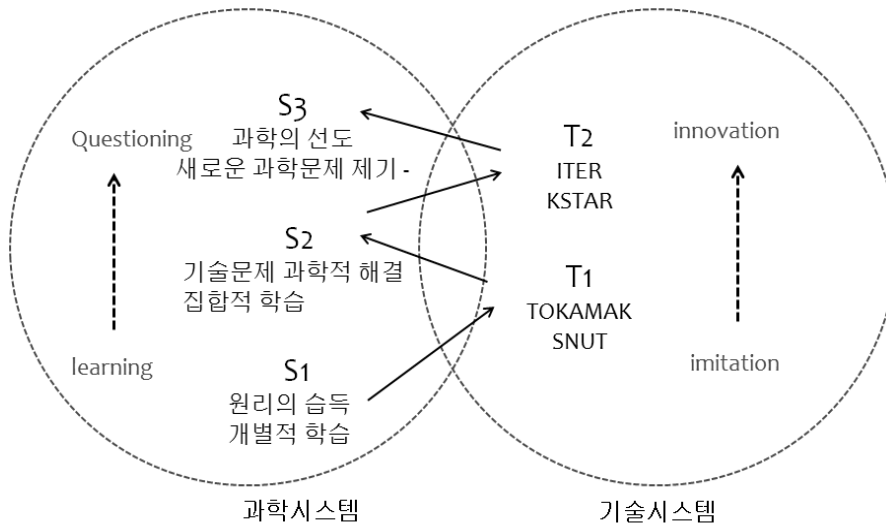
<그림 1> 천문우주과학과 기술의 상호작용을 통한 우리나라 천문우주과학 연구의 진화

## 2. 핵융합

우리나라의 핵융합 연구의 진화는 다음과 같은 네 단계 과정을 거쳤다고 할 수 있다.

- 제1단계 (S1) : 1970년대 후반 이론과 원리에 대한 연구자들의 개별적 핵융합 연구 및 전문연구인력 양성이 시작되었다.
- 제2단계 (T1) : 1980년대 핵융합 기술의 모방과 함께 다수의 신진연구인력 배출과 응용기술 개발이 이루어졌다. 또한 장비에 체화된 과학과 기술에 대한 습득이 본격적으로 이루어지기 시작하였다.
- 제3단계 (S2) : 1990년대에는 핵융합로 운영 및 실험, 그리고 학회활동을 기반으로 핵융합 연구가 집합적으로 (collective learning) 이루어졌다. 또한 이들을 통한 노하우를 바탕으로 1995년 KSTAR 사업이 G7 사업으로 선정되는 등 혁신에 도전하게 된다.
- 제4단계 (T2) : 이같은 글로벌 수준의 새로운 장비구축의 성공으로 2003년 ITER 사업 참여 회원국으로 가입하였고, 2007년에는 핵융합 기술의 혁신이 완성되었다. 향후에는 새로운 과학적 문제를 정의하고 이의 해결에 도전하여 핵융합 과학과 기술을 선도하는 단계에 진입하는 것을 목표로 하고 있다.

또한, 핵융합 연구에 있어서 과학과 기술의 진화를 그림으로 표현하면 다음과 같다.



<그림 2> 핵융합 과학과 기술의 상호작용을 통한 우리나라 핵융합 연구의 진화

즉, 핵융합 분야에서 과학과 기술의 상호작용을 통한 진화는 분야 내에서도 앞에서 제시한 바와 같이 크게 과학시스템과 기술시스템으로 나누어지며 이 두 시스템(즉, 과학-기술 체제)의 경계면에서 연구의 진화가 이루어졌다고 할 수 있다.

## 3. 사례 비교분석

한국의 과학시스템이라는 동일기반을 바탕으로 발전해온 천문우주과학 연구와 핵융합 연구는 각각의 진화 과정동안 과학과 기술의 상호작용 가운데 다음과 같은 내적 요인과 외적 요인이 공통적으로 혹은 차별적으로 발현되는 과정을 거쳤다고 할 수 있다.

먼저, 이들 연구의 진화과정 중 적용된 환경적 요인과 이들이 각 분야의 진화과정에 기여한 내용은 다음과 같다.

<표 1> 두 과학의 과학기술 공진화 과정의 공통점

요인 \ 분야	천문우주과학	핵융합
정부지원사업	G7(핵융합), BK21(천문우주과학)과 같은 정부의 연구개발 지원사업으로 연구역량 증가	
기기 확보	발달된 기기의 확보는 연구분야 심화와 인력양성을 가능케 하여 성과증진에 기여하였음	
연구인력 양성	연구·교육 기관의 기기확보에 따른 연구인력 양성 규모 확대	
기술개발	과학기술 역량을 바탕으로 선진국과의 연구 협력 범위를 증가시켜 국가 위상이 제고됨	
국외 연구기관	기술·기기확보 및 인력양성으로 인하여 과거 모방의 대상에서 연구 협력의 대상으로 전환	

한편, 이들 연구분야의 발전에 기여한 요소 중에는 과학과 기술의 상호작용을 통한 다음 발전단계로의 진입을 위하여 우선적으로 요구되는 요인이 존재하는데, 이는 분야의 특성에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.

<표 2> 두 과학의 공진화 과정에서의 차이점

요인 \ 분야	천문우주과학	핵융합
연구 중심	과학적 의문 중심	기술 개발 중심
과학기술 시스템의 주요 변화 동인	각국 연구기관과의 공동연구 네트워크가 중요	기업과의 기술개발 협력이 중요
해외 유학파 인재 유입	국제적인 연구 네트워크 형성에 기여	단계별 기술개발에 기여
단계별 한계 극복요인	관측기기 확보 및 과학적 의문이 우선시 됨	기술적 문제 해결이 중요
기술 발전단계로 진입하는 요인 (S→T)	과학적 의문 해결을 위한 고성능의 기기 필요성 증대 (ex. 망원경 개발 등)	과학적 발견이 기술문제 해결에 적용됨 (ex. 토카막 개발)
과학 발전단계로 진입하는 요인 (T→S)	발달한 관측기기로 확보한 관측 데이터를 통한 과학적 문제 해결 (ex. 허블우주망원경의 우주가속팽창증거 발견 등)	연구를 위한 기술적용 단계가 한계에 부딪힘 (ex. 극한재료 개발의 필요성 등)

이러한 점을 고려할 때 한국의 핵융합 연구와 천문우주과학 연구는 마치 같은 구획의 토양에서 자라나는 식물이 해당 토양의 영양분을 통하여 각 나무의 열매를 맺는 것과 같이 국가과학기술시스템의 체제가 자국 내 과학과 기술의 진화에 어떻게 작용하였는지를 보여주는 사례라고 할 수 있다.

## V. 결론 및 시사점

과학과 기술의 상호작용을 통한 진화는 과학을 선도하는 국가로 나아가기 위한 다양한 정책적 시사점을 보여준다. 먼저, 과학적 역량이 기술적 역량과 함께 필수적이라는 것을 알 수 있다. 따라서 과학의 발전을 위한 별도의 관리와 이를 뒷받침할 제도가 필요하다는 것을 알 수 있다. 또한 과학적 노하우가 다음단계에서의 기술적 성공으로, 기술적 성공이 다음단계의 과학적 탐구에 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉 과학적 역량이 구축되지 않은 단계에서 기술적 돌파구(breakthrough)를 이루는 데에는 한계가 노출된다. 역으로 기술적 역량은 다음의 과학적 단계로 나아가는 데에 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 마지막으로, 전 단계에서의 암묵적 지식의 축적이 다음 단계에서 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있으며, 이러한 진화를 촉진하기 위해서는 전 단계에서의 과학과 기술의 역량 강화를 위한 다양한 노력이 필요하다.

## 참고문헌

- 권기석·이문영(2009), 과학기획의 방법론과 적용, 과학기술학연구지, 9(2), pp.29-49.
- 이근(2014), 경제추격론의 재창조, 도서출판오래.
- 이공래(2000), 기술혁신이론 개관, 과학기술정책연구원.
- 이영희(1995), 과학기술과 사회의 상호관계, 과학기술정책연구원.
- Ben-David, J. (1971), *The Scientist's Role in Society, a Comparative Study*, Prentice Hall.
- Bernal, J. D. (1939), *The Social Function of Science*, Routledge.
- De Solla Price (1965), Is technology historically independent of science? A study in statistical historiography, *Technology and Culture*, 6(4), 553-568.
- Kwon, K.-S. (2011), Evolution of Academic Research and Knowledge-Transfer Activities of Universities in a Catch-up Country: the Case of Korea, *Science and Public Policy*, 38(6), pp.493-503.
- Rip, A. (1992), Science and technology as dancing partners. In: Kroes, P., Bakker, M. (Eds.), *Technological Development and Science in the Industrial Age*. Kluwer, n.p., pp. 231-270.
- Yin, R. (2003), *Case Study Research*, SAGE Publications.
- 국내발전설비현황 2013 (atomstory.or.kr)
- 전력통계정보시스템(<https://epsis.kpx.or.kr>)
- 서울대학교 물리천문학부 천문학 전공 홈페이지, <http://astro2.snu.ac.kr/main.php>
- 세종대학교 천문우주학과 홈페이지, <http://astro.sejong.ac.kr/web/view/history.php>
- 연세대학교 천문우주학과 홈페이지, <http://galaxy2.yonsei.ac.kr/>
- 충남대학교 천문우주과학과 홈페이지, <http://astro1.cnu.ac.kr/smain.html>
- 충북대학교 천문우주학과 홈페이지, <http://ast.chungbuk.ac.kr/>
- 한국우주과학회 홈페이지, [www.ksss.or.kr](http://www.ksss.or.kr)
- 한국천문학회 홈페이지, [www.kas.org](http://www.kas.org)
- 미 항공우주국 홈페이지, <http://www.nasa.gov/externalflash/PQTimeline/>