

대형연구장치 활용 기초연구의 성과측정에 관한연구 : KSTAR 사례를 중심으로

최원재* · 서일원** · 김유빈**** · 도현수**** · 장한수*****

I. 서론

1. 연구배경

핵융합 및 가속기 등 대형연구장치를 활용한 기초연구는 일반적인 기초연구의 성과측정과는 다른 방법을 활용해야 할 것이다. 즉, 실험 및 이론 연구를 통한 과학적 성과의 의미도 크지만, 거대과학장치를 제작하면서 발생하는 기술혁신 및 산업체 출현 등의 일출(spill over) 현상 등도 중요한 성과라고 볼 수 있다. 실제로 세계 최대의 입자가속기를 보유하고 있는 유럽입자물리연구소(CERN)의 경우 대형 가속기 제작에 약 6,400여개의 기업이 참여하여, 관련 생태계를 형성하고 있다(미래창조과학부, 2013).

일반적으로 기초연구의 성과는 논문, 특허, 연구인력 양성, 연구방법 개선, 연구기반 및 환경조성, 국가 지식기반의 확충, 신규기업 창출 등 여러 분야에서 다양한 형태로 나타나고 있다. 그러나, 기초연구의 성과측정은 대부분의 경우 논문을 중심으로 특허 등이 포함되는 ‘양(量)적 지표’가 이용되고 있는 실정이다(이장재외, 2011).

또한, 기초연구는 그 결과가 상품화 되기 위해서는 연구종료 후 평균 3년에서 많게는 30년이상 소요되며, 파급효과 또한 광범위하여 단순한 계량적 모형에 의한 성과측정이 매우 어려운 한계도 내포하고 있다.

기초연구의 성과측정에 대한 기존연구 역시 응용연구 및 개발연구와 구분하여 정의하는데 의의를 두고 있으며, 기초연구 내에서도 대형연구장치를 활용하는 기초연구와 일반 대학 실험실에서 하는 소규모 기초연구의 구분이 없는 실정이다.

2. 연구의 목적 및 내용

본 논문에서는 위에서 언급한 문제의식을 바탕으로 대형연구장치 활용 기초연구의 ‘성과’ 및 ‘성과측정’에 대한 개념과 정의를 체계화하고, 실제로 한국형초전도핵융합연구장치(이하 KSTAR:) 사업의 성과측정을 통해 관련 사례를 분석하고자 한다.

* 최원재, 국가핵융합연구소 선임연구원, 042-879-5082, cwj147@nfri.re.kr

** 서일원, 한국표준과학연구원 선임연구원

*** 김유빈, 국가핵융합연구소 선임연구원, 042-879-5085, ybkim@nfri.re.kr

**** 도현수, 국가핵융합연구소 선임연구원, 042-879-5086, ths5001@nfri.re.kr

***** 장한수, 국가핵융합연구소 연구정책팀장, 042-879-5080, jjang@nfri.re.kr

II. 이론적 배경

1. 기초연구의 개념

기초연구란 “특정 응용이나 용도를 고려하지 않고, 현상이나 관찰되는 사실을 토대로 새로운 지식을 획득하기 위해 주로 수행되는 실험적이거나 이론적인 활동”을 지칭한다. 기초연구 활동은 세부적으로 이익과의 직접적인 연관성을 기준으로 순수기초연구(pure basic research)와 목적기초연구 (oriented basic research)로 구분할 수 있다. 순수기초연구란 장기적인 경제적 사회적 이익에 대한 명백한 지향성 없이, 결과를 실제적인 문제에 응용하거나 결과를 응용과 관련 있는 영역으로 이전하기 위한 적극적인 노력이 없는 활동이다. 목적기초연구란 인지되고 예상되는 현재나 미래의 실제적인 문제나 가능성에 대한 해결책을 바탕으로 형성할 수 있는 지식의 넓은 기반을 생산하기 위해 수행되는 활동으로 구분할 수 있다(OECD, 2002). 미국 국립과학재단은 기초연구에 대해 “특정한 응용의 목적 없이 연구가 진행 중인 주제에 대한 이해나 완전한 지식을 얻는 활동”으로 정의하고 있으며 Stokes(1997)는 “근본적 원리에 대한 이해를 증진키 위해 실시되는 연구”로 순수 혹은 기초연구를 정의하면서, 최종 연구결과가 상업적 이익과는 직접적이거나 즉각적인 결과를 가져오지 않는 것으로 규정하고 있다. 이외에도 Martin & Salter (1996) 등의 연구를 종합해보면 기초연구는 단순한 지식의 확장 혹은 호기심을 충족시키기 위한 목적으로 연구성과가 유용하지 않을 수 있으며, 결과의 예측이 불가능하고 일반적인 이론을 지향한다. 이처럼 기초연구는 객관적·절대적(objective and absolute) 실체를 지닌 현상이라기보다는 부분적으로는 주관적·상대적인 성격을 지니고 있으며 기술적, 경제적, 문화적 측면 등 다면적인 측면을 내포하고 있어 성과유형과 그 측정방식 역시 다양한 측면을 고려해야 한다.

구분		개념 및 정의
해외	Stokes (1997)	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구 : 근본적 원리에 대한 이해 증진을 위한 연구 연구결과와 상업적 이익과의 연계는 장기적이며, 응용연구 및 제품의 기초가 되는 연구
	OST (1994)	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구 : 새로운 지식을 획득하는 활동으로 순수기초연구와 목적기초연구로 구분 순수기초연구 : 단지 지식 증진을 위해 수행되는 연구(장기적인 경제 및 사회적 편익을 고려하지 않음, 실용적 목적을 위해 결과를 사용하고자 하는 노력이 없음) 목적기초연구 : 현재 문제들을 해결하려는데 필요한 광범위한 기반지식을 생산할 목적의 연구 전략적 응용연구 : 기초연구와 전략적 응용연구의 결합으로 다양한 목적에 영향을 미치는 작업을 기술하는 연구 특정응용연구 : 특정한 생산품, 공정, 시스템 등 구체적인 목표를 가지고 수행되는 연구
	NAS (1998)	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구 : 새로운 지식창출, 범용적·공개적으로 사용가능한 특정 응용의 목적을 갖지 않고 장기적인 투자가 필요한 연구 활동
	NSF (1998)	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구 : 특정한 응용의 목적 없이 연구가 진행 중인 주제에 대한 이해나 완전한 지식을 얻는 활동 응용연구 : 뚜렷하게 인지된 필요를 충족시키기 위해 지식이나 이해를 얻는 것이 목적 개발연구 : 원형과 공정의 디자인과 개발을 포함하는 유용한 물질, 기구, 시스템이나 방법의 생산을 지향하는 연구로부터 얻어지는 지식과 이해의 체계적인 활동

구분		개념 및 정의
	OECD (2002)	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구 : 특정 응용이나 용도를 고려하지 않고, 현상이나 관찰되는 사실을 토대로 새로운 지식을 획득하기 위해 주로 수행되는 실험적이거나 이론적인 활동(경제사회적 연관성 여부에 따른 순수기초연구와 목적기초연구로 구분) 순수기초연구 : 장기적인 경제적 사회적 이익에 대한 명백한 지향 없음 목적기초연구 : 문제의 해결책의 기반을 도출하는 것으로 기대하며, 수행되는 연구 응용연구 : 특정의 실제적인 목표와 목적을 지향하여, 새로운 지식을 획득하기 위해 착수되는 독창적인 탐구활동 실험적 개발 : 새로운 물질, 제품이나 기구를 생산하고, 새로운 공정, 체계 및 서비스를 구축하려는 활동 / 이미 생산하거나 구축된 것을 상당히 개선하기 위해 연구나 실제적인 경험으로부터 얻은 현존지식을 기술하는 체계적인 작업
국내	기초연구진흥 종합계획안 (교육과학기술부, 2009)	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구 : 기초과학 또는 기초과학과 공학, 의학, 농학 등과의 융합을 통해 새로운 이론과 지식 등을 창출하는 연구 활동 응용연구 : 주로 특정한 실용적인 목표 또는 목적하에 새로운 지식을 획득하기 위해 행해지는 체계적인 연구 활동 개발연구 : 기초연구, 응용연구 및 실제 경험으로부터 얻어지는 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장비를 생산하거나 새로운 공정, 시스템 및 서비스를 설치 또는 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위해 행해지는 체계적인 연구 활동
	국가연구개발사업 조사분석보고서 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구 : 특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구 응용연구 : 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 수행되는 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구 개발연구 : 기초·응용연구 및 실제 경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나, 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구
	한국과학기술단체 총연합회	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구 : 연구개발의 단계 관점에서 특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구 기초과학은 연구개발의 목적 관점에서 주로 자연현상에 대해 이해 그 자체를 목적으로 자연에 대한 새로운 이론과 창조적 지식을 획득하거나 정립하는 연구

2. 기초연구의 성과측정

기초연구 성과측정과 관련한 연구는 성과의 형성방식에 관한 관점에 따라 성과측정방식이 구분되어진다. 연구 활동이 논문과 특허와 같은 최종성으로 구현된 상태로 간주하는 관점이 있지만 기초연구의 다면적인 특성을 고려할 때 유량의 개념과 함께 사용되는 경우가 많다 (OECD, 1998; Martin & Salter, 2001). 기초연구의 '유량적(flow)' 성과는 Zellner(2002), Kanninen & Lemola(2006) 등에서 찾아 볼 수 있다. Zellner(2002)는 정부지원 기초연구의 대표적 사회경제적 효과로 기초연구 지식을 보유한 과학자가 기업으로 이동하는 인적 이동성(mobility)을 제시하고 있다. Kanninen & Lemola(2006)는 기초연구의 영향이 실현되는 과정을 과학계(scientific community)의 산출량 증가와 일반사회계(external stakeholder groups)에 대한 영향(과학저작물의 출판물의 이용수 등)으로 구분하고 있다. Martin & Salter(1996)는 유용한 지식 저장(출판물 등)의 증대,

대학원생 훈련 및 양성, 새로운 과학적 도구(instrumentation) 및 방법론의 개발, 과학기술적 문제해결 능력의 증진 등으로 구분하고 있다. 또한 사회적, 경제적 성과 측면에서 DEST(2006)는 기초연구의 사회적 성과로 삶의 질 향상, 사회문제에 대한 새로운 접근법 개발, 지역사회의 태도 변화, 일반사회문제 해결에 기여, 과학 기술지식근거에 입각한 공공토론 및 정책결정, 국가의 지식 및 이해도의 증진, 보건/안전/안보의 증진을 들고 있다. 기초연구의 경제적 성과로 생산성 증대, 경제성장 및 국부 창출 기여, 기술기반(skill base) 향상, 고용 촉진, 원가 절감 등 정성적인 경제적 편익등 광범위한 관점을 제시하였다.

기초연구개발사업에 대한 경제적 효과분석이 의미를 가지기 위해서는 기초연구개발사업의 객관적 검정이 가능한 모든 비용과 효과 및 편익을 고려할 수 있어야 함에도 경제적 효과와 창출되는 길고 복잡한 경로는 사업의 모든 투입 및 성과의 확인 및 측정을 어렵게 하고 있다. 기초연구로 인한 새로운 과학적 지식이 실질적인 경제적 효과로 이어지기까지는 상당한 시간이 요구된다. 연구개발사업 중 산업기술개발의 경우 개발 완료 이후 바로 상용화되어 경제적인 편익을 발생시키기도 하지만, 기초연구개발의 경우 실질적인 경제적 파급효과를 얻기까지 최소 3~5년 에서 길게는 수십 년이 걸릴 수도 있다. 특히, 정부 지원에 의해 수행되는 기초연구개발사업의 성과가 민간 부문의 생산성 향상 등의 파급효과로 이어지기까지는 매우 다양한 경로가 존재한다. 관련된 파급효과가 간접적인 경로를 통해 발생할 경우 경제적 파급효과에 영향을 미치는 모든 요소를 파악하여 분석하기는 어렵다.

이러한 특성들로 인해 기초연구의 성과측정 방식을 연구개발 프로세스의 유형을 정의하고 이에 따른 성과 지표를 한정하는 연구가 이어졌다. Kanninen & Lemola(2006)은 기초연구의 성과가 유관학문 분야로 점차 타 분야로 확산되는 모형을 제시하였으며 Toole(2012)은 기초연구의 성과가 신제품의 아이디어로 이어지는 모형을 제시한바 있다. 또한 Turner & Kiesler (1981)는 기초연구가 저널에서 인용되는 피인용도를 성과로 제시하였으며 인력의 이동 측면에서 Zellner(2002)는 기초연구 분야의 과학자가 기업으로 이동하고 보유하는 보유율을 주목하기도 하였다. 하지만, 이들의 연구는 기초연구가 갖는 종합적인 다면성에 관한 고려가 미흡하며, 점차 복잡해지는 비선형적(non-linear) 연구개발의 프로세스와 경제성과 복합적 상호관계에 대한 고려가 미흡하다.

3. 분석틀

분석틀로는 Martin & Tang(2006)의 7가지 경제적 편익으로 하였다. Martin & Tang(2006)은 연구개발과 기술혁신, 이들의 사회-경제적 편익에 관해 복합적으로 접근하였다. 대표적으로 기술개발, 혁신 사이의 관계가 일방적인 관계가 아니라 복합적으로 수요가 연구개발을 견인하고, 사회경제적 편익이 다시 연구로 이어지는 순환모형체인-링크모형(chain-link model)과 기술개발 과정에서 시행착오나 경험 등의 암묵지와 같은 불특정 요인이 연구개발에 영향을 주고, 시장분석, 소비자 피드백 등과 같은 요인이 혁신활동에 영향을 주는 기타 요인 효과(The effects of other factors) 모형을 제시하였다. 이들은 이러한 모형을 토대로 기초 연구가 제공하는 사회, 경제적으로 제공하는 편익을 다음과 같이 7가지 채널로 구분하였다.

① 유용한 지식의 증대 (increasing the stock of useful knowledge) : 공공지원 연구를 통해 얻은 새로운 지식은 연구의 결과를 혁신으로 전환하는 대표적인 활용 경로로써 기업의 기술활동에 사용할 수 있는 과학적 지식의 저변(Pool)을 확대한다.

② 숙련된 졸업생 및 연구자 양성 (training skilled graduates) : 기업이 기초연구로부터 경제적 이익을 취하는 가장 중요한 메커니즘으로써 졸업생은 최신 과학 연구 지식, 새로운 아이디어 개발에 필요한 기술, 지식 활용 방법론, 복잡한 문제 해결 능력 등을 지니고 있기 때문에 숙련된 연구원 양성을 기초과학의 주요한 편익

제공 수단으로 간주하였다.

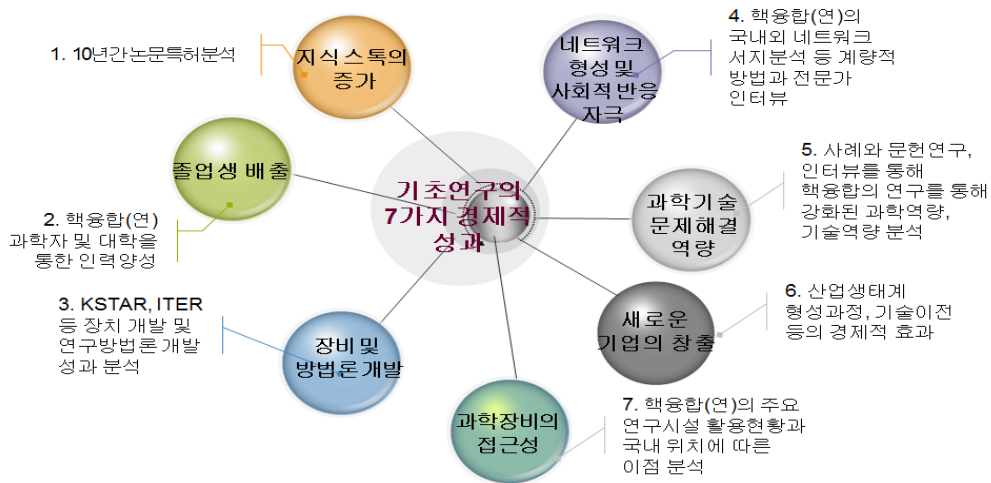
③ 새로운 과학적 수단/방법론(creating new scientific instrumentation and methodologies) : 새로운 연구수단이나 특정 방법론은 기초연구의 주요한 성과의 하나로 기업은 이를 활용하여 연구 영역을 확장하며, 과학적 수단은 산업자본재와 유사한 역할을 수행한다.

④ 네트워크의 형성과 사회적인 반응의 자극 (forming networks and stimulating social interaction) : 공공 지원을 받은 연구원들에 의해 형성된 네트워크는 최신 과학 지식을 유지할 수 있는 효과적 수단이다. 이를 통해 산업체는 네트워크를 통해 관련 이득을 전달 받을 수 있으며, 양자 간의 협력을 위한 신뢰 및 이해 구축의 유용한 수단이 된다.

⑤ 과학기술적 문제해결역량의 강화(increasing the capacity for scientific and technological problem-solving) : 공공지원 기초연구는 기업에서 발생할 수 있는 문제 해결을 위해 광범위한 리소스 풀(resource pool)을 제공한다.

⑥ 새로운 기업의 창출 (creating new firms) : 연구원과 학생들은 새로운 아이디어와 기술 개발을 위한 창업을 통해 기초연구의 성과를 산업체로 이전할 수 있는 도구로 활용된다.

⑦ 과학 장비에의 접근성(access to scientific facilities) : 기초연구 과정에서 구축한 장비를 산업체에 제공함으로써 연구성과를 사회에 환원할 수 있다.



[핵융합의 기초연구 성과분석 모델]

참고문헌

OECD(2002), “Proposed Standard Practice for Surveys of Research and Experimental Development : Frascati Manual“, Paris.

Martin, B. and A. Salter(1996), “The relationship between publicly funded basic research and economic performance” Science Policy Research Unit, University of Sussex, East Sussex.

Stokes, D.E.(1997), “Pasteur’ Quadrant: Basic Science and Technological Innovation“, Brookings Institution, Washington, DC.

Zellner, C. (2003), “The economic effects of basic research: evidence for embodied knowledge transfer via

- scientists' migration", *Research Policy*, 32(10).
- Kanninen, Sami, and Tarmo Lemola(2006). "Methods for Evaluating the impact of basic research funding: An analysis of recent international evaluation activity", Academy of Finland.
- Department of Education, Science and Training (DEST)(2006), "Research quality framework: Assessing the quality and impact of research in Australia Research impact (Report by the RQF development advisory group)", Canberra: Commonwealth of Australia.
- Toole, Andrew A.(2012), "The impact of public basic research on industrial innovation: Evidence from the pharmaceutical industry", *Research Policy*, 41(1).
- Turner, C. F. and Sara B. Kiesler.(1981), "The Impact of Basic Research in the Social Sciences: The Case of Education", *Scientometrics* 3(3).
- Ben R. Martin and Puay Tang(2006), "The benefits from publicly funded research", SPRU Electronics Working Paper Series (161).