

4차 산업혁명 선도를 위한 R&D
혁신의 현장 적용방안 도출 연구

2019년 7월

과학기술정보통신부
이 창 선

차 례

I. 서론	1
II. DEA 분석법을 통한 연구개발 효율성 측정	3
1. 연구 배경	3
2. Data envelopment analysis (DEA) 방법론	7
3. 2단계 DEA 분석법을 활용한 연구개발 효율성 분석	25
4. 각 국가별 R&D 자료를 활용한 효율성 계산 결과	33
5. 소결론	36
III. 영국의 연구개발 효율성 제고를 위한 정책	39
1. 영국의 연구개발 지원 조직과 정책	39
2. 연구개발 지원시스템 고도화	47
3. 영국의 민간 연구개발 투자의 간접 지원	52
4. 연구자들에 대한 연구개발비 지원 현황	56
IV. 옥스퍼드 대학의 연구개발 혁신 지원	62
1. 미래 예측연구와 연구개발 연계	62
2. Oxford 연구혁신 및 성과 확산	65
V. 산학협력 협력 모델 사례 연구	72
1. 산학협력에 대한 일반적 고찰	72
2. 산학협력 관점에서의 롤스로이스 대학기술센터	78
3. 롤스로이스 대학기술센터의 성공요인	82
4. 산학협력을 위한 대학과 정부의 역할	92
VI. 결론 및 정책적 시사점	97

국외훈련 개요

1. 훈련국: 영국
2. 훈련기관명: 옥스퍼드열유체연구소, 옥스퍼드대학
(Oxford Thermofluids Institute)
3. 훈련분야: 과학기술 정책
4. 훈련 기간: 2018년 8월 16일 - 2019년 8월 15일

훈련 기관 개요

1. 기본 정보

훈련기관 명 : Oxford Thermofluids Institute, University of Oxford

주 소 : Southwell Building, Osney Mead, Oxford, Ox2 0ES, UK

홈페이지 : oti.eng.ox.ac.uk

전화번호 : +44 (0)1865 288723

Fax번호 : +44 (0)1865 288756

Email : southwell.admin@eng.ox.ac.uk

센터장 : Professor Peter Ireland



2. 기능 및 조직

- 동 연구소는 1960년대 극초음속 유동을 연구하기 위해서 옥스퍼드 대학에 설립된 이후, 항공엔진 등에 활용되는 열전달과 유체역학을 연구하는 연구소이다.
- 이러한 연구는 항공엔진 등에 사용되는 가스터바인의 핵심적 기술로 영국의 항공엔진 제작업체인 롤스로이스와 연구협력을 해 오다, 1989년에는 롤스로이스의 산학협력 연구프로그램인 대학기술센터 (University Technology Center, UTC)로 선정되었다.
- 따라서 동 연구소는 옥스퍼드 대학의 부설 연구기관이면서 영국 롤스로이스의 대학기술센터(University Technology Center)의 하나로, 롤스로이스와 협력하여 기업에서 필요로 하는 기초연구 수행한다. 롤스로이스는 대학기술센터에서 필요로 하는 연구비, 인건비, 장비 구축비를 전액 지원하고, 졸업하는 박사급 연구인력을 자사에 수혈하는 산학 협력을 수행 중이다.
- 현재는 열전달 및 공기역학의 연구를 전문으로 하고 있으며, 연구자금을 매년 3천만 파운드 규모(450억원)를 수행 중이며, 현재는 롤스로이스 외에도 지멘스, 미츠비시 중공업 등 다양한 기업들과 산학협력 연구를 활발하게 수행하고 있다.
- 교수진 13명, 박사급 연구원 57명, 기술직 15명 등으로 구성되어 있다. 세부적으로는 교수진, 정식 연구원 및 박사후 과정 연구원, 기술 엔지니어, 시설관리, 연구학생(박사과정 학생)으로 구성되어 있다.

I. 서론

제4차 산업혁명 시대를 맞이하여 과학기술과 사회시스템이 결합하면서 사회시스템 전반의 혁신을 가져오고 있다. 과학기술이 기존의 산업의 핵심적 역할에서 사회혁신의 핵심적 역할로 확대되고 있다. 따라서 이제 과학기술은 경제 및 사회 전반의 발전을 견인하는 국가 경쟁력의 핵심으로 중요성이 더욱 커지고 있다.

주요 국가들은 과학기술을 중심으로 한 과학기술혁신시스템(National Innovation System)을 통해서 국가경쟁력을 높이기 위해서 노력하고 있다. 우리나라도 첨단 과학기술과 우수한 이공계 인력을 바탕으로 혁신성장을 선도하려는 계획을 세우고 실천하고 있다.

과학기술정통부에서는 2019년 업무보고[30]를 통해서 연구개발 예산 20조원 투자로 혁신성장을 선도하고 삶의 질을 높이겠다는 계획을 발표하였다. 연구개발의 투자 확대를 통해서 경제성장과 사회혁신을 선도하겠다는 것이다. 구체적으로는 데이터, 수소, 인공지능, 바이오 등 미래 성장산업에 과감한 연구개발 투자를 집중하여 세계 시장을 선도하겠다는 계획이다.

이러한 미래 선도산업에 대한 연구개발이 더욱 효과성을 가지기 위해서는 성과를 극대화할 수 있는 연구개발시스템을 갖추어야 한다. 연구개발 투자와 더불어 효율성을 높이는 국가적 노력도 병행되어야 한다. 우리나라도 연구개발 효율성을 높이기 위한 정책을 중장기적으로 추진해 오고 있다.

이에 동 훈련생은 연구개발의 효율성을 제고하기 위해 연구현장에서 연구효율성을 높이기 위한 정책에 대한 조사 연구를 수행하게 되었다. 정책이 실제 연구현장에 적용되기 위해서는 연구현장 중심의 정책 개발과 현장적용에 더욱 많은 노력을 기울여야 한다. 연구현장에 실제 적용되어 효과성을 낼 수 있는 정책이 무엇인지, 연구개발 정책의 효과성을

달성하기 위한 연구현장 정착 방법이 무엇인지를 영국 및 훈련기관인 옥스퍼드 대학의 연구시스템을 조사하는 것이다.

이러한 조사연구에 앞서, 동 훈련생은 연구개발 효율성을 측정하는 방법에 대한 훈련과 연구를 병행 실시하였다. 우수한 사례를 벤치마킹하는 것도 중요하지만, 근본적으로 국내 연구개발 시스템을 정확히 분석하는 것도 중요하기 때문이다.

연구개발 시스템에 대한 개관적인 분석은 연구효율성 향상을 위해서 중요한 과제이다. 그리고 그 분석은 과학적이고 개량적인 분석 도구를 활용해야 증거 중심의 정책(evidence based policy)을 실천할 수 있다. 또한 연구개발 정책이 현장에 적용되었을 때 그 효과를 측정하고 효과성을 분석하는 것도 연구개발 정책의 현장 적용에서 중요하다.

따라서 동 훈련생은 연구를 크게 세부분으로 나누어서 진행하였다. 먼저, 연구개발 효율성 측정할 수 있는 개관적 분석 방법에 대한 훈련과 연구를 진행하였다. 이를 통해 연구개발 효율성 측정에 대한 지식과 프로그램 활용 방법을 습득하였다. 연구개발 효율성을 측정하는 과학적 기법은 실제로 국내 연구개발 시스템의 객관적 분석에 활용 가능하도록 프로그램 개발도 병행하였다. 두 번째로, 영국의 연구개발 정책 전반에 대한 분석을 통해서 우리나라가 벤치마킹할 수 있는 제도를 조사하고 분석하는 것이다. 이러한 조사 및 분석은 영국 전반에 대한 조사와 훈련기관이 옥스퍼드 대학의 현장 혁신에 대한 조사를 병행하여 수행하였다.

마지막으로 실제 기업과의 산학협력 연구로 전 세계의 모범사례[23]로 소개되고 있는 옥스퍼드열유체연구소에서 연구현장을 경험하면서, 성공사례를 분석하였다. 그리고 연구 참여를 통해 관련 과학기술에 대한 지식도 습득하였다. 옥스퍼드대학 부설 열유체연구실에서 진행한 연구 보고서는 본 보고서에 포함하지는 않았지만, 논문 형식으로 별도로 첨부하여 보고하였다.

II. DEA 분석법을 통한 연구개발 효율성 측정

1. 연구 배경

국가적인 단위의 혁신은 연구개발을 통해서 지식을 창출하고, 이렇게 창출된 지식의 상업적 활용을 촉진하는 것이다. 이러한 국가 단위의 혁신에 대한 정책결정에서 정책입안자들은 과학기술혁신시스템(National Innovation System, NIS)[1]이라는 개념적인 틀을 통한 분석결과를 활용해 오고 있다. 그리고 UN, OECD 등 국제기구에서도 국가 단위나, 지역단위의 혁신 정책의 분석과 방향을 제시하는 데도 유용한 틀로 과학기술혁신시스템이라는 틀을 활용해 왔다[2].

따라서 대부분의 정부에서는 과학기술혁신시스템의 효율성을 측정하고 이를 개선하기 위해 정부가 관여하는 정책을 결정하고 있다[3]. 연구개발 정책책임자는 국가혁신시스템에 대한 문제점을 분석하고 이를 개선하는데 사명감을 가지고 있다. 이러한 연유로 관련 연구자들은 과학기술혁신시스템을 개관적으로 분석하는 도구를 개발하는데 많은 노력을 기울여 왔다. 효율성을 높이는 정책을 추진하기 전에 선행되어야 하는 것이 객관적인 혁신시스템의 평가와 분석이기 때문이다. 과학기술혁신시스템의 활동은 대부분 연구개발과 매우 밀접한 연관성을 가지고 있어, 과학기술혁신시스템의 효율성이 곧 연구개발의 효율성으로 받아들여지고 있다.

우리나라의 과학기술혁신시스템이 선진국과 비교하여 효율적인가에 대해 명확하게 답하기 쉽지 않다. 이는 과학기술혁신시스템에 대한 정량적인 분석이 어렵기 때문이다. 여러 성과지표로 구성된 국가별 과학기술경쟁력에 대한 비교 분석결과가 발표되지만, 보는 관점에 따라 해석이 다르게 할 가능성이 높은 지표를 사용한다. 연구효율성 향상을 위한 정책 수립 전에, 선행되어야 하는 것은 연구개발 역량에 대한 정확한 진단이다. 효과성 있는 연구개발 정책을 실시하기 위해서는 객관적인 분석 도구의 개발과 활용이 필요하다. 선진적인 과학기술 정책도 객관적 분석에 의해 데이터에 근거한 정책 수립에 있는 만큼, 연구개발시스템 또는 과학기술혁신시스템에 대한 선진화된 분석법을 연구하고 이를 정책에 반

영하는 것이 필요한 시점이다. 앞으로 객관적인 과학기술혁신시스템에 분석 도구의 개발 및 활용에 대한 요구는 점점 증대될 것이다.

1.1 연구개발시스템(또는 과학기술혁신시스템)의 효율성 측정

연구개발을 중심으로 한 과학기술혁신시스템의 개념이 등장한 이후, 국제기구 및 전문가들은 국가 차원의 연구개발 정책은 시스템적 접근방식을 가져야 한다는 것이 장려되었다[4]. 이러한 방향에 따라 주요 국가들은 시스템에 대한 분석과 효율성 향상에 대한 관심을 가지게 되었다. 정부의 개입도 이러한 시스템적 효율성 향상을 가져올 수 있는 분야에 집중하게 되었으며, 국제기구들도 개발도상국들에게 효율성 있는 연구개발 시스템 또는 혁신시스템의 구축을 조언하였다[3].

이러한 시스템적 연구개발체계를 구축하고 혁신을 촉진하기 위한 정책을 추진하기 위해서 선행적으로 시스템을 진단 할 수 있는 다양한 지표가 개발되었다. OECD 등 국제기구에서는 혁신을 주제로 다양한 통계들을 수집하고 이를 매년 각 국가와 연구기관에 배포하고 있다. 대표적으로 OECD는 과학, 기술 및 R&D 통계의 데이터베이스를 구축하고 기본적인 과학기술 인프라 통계와 과학기술 활동 지표에 대한 통계를 제공하고 있다[5].

특히, OECD는 1981년부터 주요 과학기술 지표(Main S&T Indicators)를 발표해 오고 있다. OECD 회원국과 비회원국들이 과학기술 분야에서 수행한 성과를 일련의 지표로 만들어서 제공하는 것이다. 이들 지표는 연구개발 투자, 연구원 수, 특허, 기술수지 등 연구개발의 산출물과 활동을 나타내는 것으로 OECD 회원국이 가장 빈번하게 사용하는 지표로 구성되어 있다. 이를 통해서 국가들의 시스템적 관점에서 그 효율성을 분석하고 정부가 정책을 결정해 나갈 것을 권고하고 있는 것이다.

그러나, 이러한 기초적인 통계자료와 부분적인 성과를 측정할 수 있는 과학기술 지표로는 국가적 또는 지역적 시스템의 연구개발 효율성을 측정하는 것은 한계가 있다. OECD 등 국제기구, 각 국가 단위의 축적

된 과학기술과 연구개발에 대한 다양한 통계자료와 지표를 활용하여 개관적이고 시스템적인 분석할 수 있는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

그 동안 연구개발 성과를 측정하는 방법은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 여러 지표를 결합하여 정량화하는 복합 지표 개발, 통계 분석에 의한 계량경제분석(econometric approach) 방법, 그리고 상대적 효율성을 측정하는 DEA(Data Envelopment Analysis) 분석법이다[7]. 복합지표는 단편적인 연구개발 지표를 보완하여 종합적인 혁신역량을 측정하는데 관심을 가지고 있으며, 계량경제분석은 주로 국가혁신역량에 핵심적인 영향을 미치는 요소를 결정하는데 주안점을 두고 있다. 계량경제분석은 기존의 통계를 바탕으로 각 요소의 민감도를 측정하여 어떤 요소가 성과에 민감하게 영향을 미치는 지를 찾아내는 것이다. 그러나 이러한 방법은 다양한 요소가 영향을 미치는 연구개발성과를 분석하는데 한계가 있다. 이런 점을 극복할 수 있는 가능성 가지고 있는 DEA 분석법은 점점 고도화되면서 시스템의 효율성을 측정하는 도구로 부상하고 있다.

1.2 연구개발시스템의 효율성 방법으로 DEA 분석법 전망

점점 복잡해지는 혁신 환경에서 연구개발 성과에 미치는 요소에 대한 보다 치밀한 분석이 필요해 지고 있다. 이러한 요구를 반영하여 단일 지표보다는 보다 다차원의 지표를 활용할 수 있는 DEA 분석법에 대한 관심이 높아지고 있다. 연구개발의 효율성 또는 과학기술혁신체계의 효율성에 대한 연구는 꾸준히 이어져 왔으며, 최근에는 더욱 활발해지고 있다.

DEA 분석법은 33개 아시아 및 유럽 국가의 과학기술혁신시스템(NIS)의 운영성과 측정[8], OECD 국가들의 연구개발 효율성 측정[7], 22개의 선진국과 개발도상국의 연구개발 과정의 효율성 측정[9], 31개 개발도상국들의 과학기술혁신시스템의 효율성 분석[4] 등에 활용되었

다. 이러한 초기의 연구개발 효율성 측정은 입력과 출력의 단순한 상대적 효율성에 국한되고 있다. 그러나, 점점 발전해 나가는 DEA 분석법은 새로운 중요한 분석정보를 알려 줄 가능성이 높아지고 있다. 이러한 분석의 고도화로 인해, DEA 분석법의 적용 범위가 더욱 확대되어 갈 것으로 예상된다. 국제기구, 각 국가들이 확충하고 있는 연구개발 관련 통계의 체계적인 확보와 축적이 가속화되고 있어, DEA 분석법에 필요한 입력정보도 축적되고 있다. DEA 분석법을 통한 효율성 분석 결과가 공식 자료로 발표되고 있지는 않지만, OECD 등 국제기구에서도 관련 세미나와 용역을 지속적으로 확대하고 있다. 따라서, 현재의 DEA 분석법이 보완되면, 국제기구, 주요국가의 핵심적인 혁신시스템 분석 도구로 자리 잡을 것으로 전망된다.

1.3 연구방향과 주안점

본 훈련생은 이번 연구를 통해 DEA 분석법에 대한 지식의 습득, 그리고 실제 활용이 가능할 정도의 프로그램 개발을 먼저 수행한다. 그리고 실제 국가 단위의 연구개발 효율을 측정해 DEA 분석법을 적용하여 상대적 효율적 연구개발 효율을 측정함으로써 실제 적용 가능성을 확보하는 것이다. 국가 단위의 연구개발 효율 측정은 기존의 연구에서 제시되지 않은 방법을 통해 연구개발 효율성을 측정함으로써 연구로서도 충분한 가치를 가질 수 있는 수준까지 진행하였다.

먼저, DEA 분석법의 전통적인 모델을 학습하고 이에 적용하여 주요 국가들의 연구개발 효율성을 직접 측정하였다. 이를 통해 연구개발 효율성 측정에서 전통적인 모델의 한계를 직접 연구하였다. 그리로 이를 극복하기 위해 제안된 최신 모델을 적용하여 연구개발 효율성을 분석하였다. 이때 제안된 방법은 기존에 발표되지 않은 방법으로 독창적 연구로서의 가능성을 가질 수 있도록 하였다.

연구를 위해 사용된 주요국의 연구개발 통계는 공신력 있는 OECD 통계를

활용하였다. 다만 논문실적에 대한 분석은 OECD에서 제공하지 않기 때문에 국내에서 분석하여 공식으로 발표한 논문실적 분석 자료를 사용하였다. 비교 대상국가의 선정은 OECD 국가와 아시아 등 연구개발에 대한 투자가 적절히 이루어지는 국가를 대상으로 하였고, 공식적인 비교 통계가 부족한 국가들은 신뢰성 확보를 위해 제외하였다.

이번 연구는 국가 단위의 상대적 비교분석이지만, 연구방법론은 국가 연구개발시스템을 구성하고 있는 대학, 기업, 공공연구기관의 연구성과 측정에 바로 적용이 가능하다. 이들 개별 주체들에 분석은 연구개발 정책 수립에 매우 중요하다. 따라서 동 훈련에서 습득된 지식을 활용해서 체계적으로 각 주체별 연구개발 효율성 측정을 지속해 나갈 계획이다.

2. Data envelopment analysis (DEA) 분석법

2.1. DEA 분석법 개요

DEA 분석법은 다수의 투입과 다수의 산출이 있는 시스템의 상대적 효율을 측정하는 평가 방법이다. 동 방법론은 단위 기관 또는 부문의 생산 효율성을 경험적으로 측정하여 의사결정을 하는데 사용되고 있다. 다수의 기관 또는 부문의 상대적 효율성을 측정하여 벤치마킹을 위한 우수한 사례를 도출하는데도 사용된다. 이러한 효율성 분석을 통해 관리자는 조직의 성과를 개선하는데 활용하고, 공공 부문에서는 공공 단위기관의 성과를 측정하고 연구하는데 활용한다[31].

이 분석에서는 은행 지점, 병원, 차량, 상점 및 기타 유사한 작업을 수행하는 단위조직의 상대적 효율성을 비교한다. 이들 단위조직은 동일한 투입과 성과를 가지고 있어야 한다. 예를 들어, 상점에는 직원, 공간의 투입이 있으며 판매량과 총수익이 성과로 산출된다. 단위성과에 영향을 미치는 모든 중요한 요소를 고려하여 효율성에 대한 완전하고 포괄적인 평가를 제공 할 수 있다. DEA 분석법은 다중 투입과 성과를

생산 효율의 단일 척도로 변환함으로써 성과 분석을 수행한다. 그렇게 함으로써 상대적으로 효율적으로 운영되는 단위와 그렇지 않은 단위를 식별한다. 비효율적인 단위조직은 낮은 점수를 얻는 반면, 자원을 최대한 활용하는 효율적인 단위조직은 100 %의 효율성을 가진다.

DEA 분석법은 효율성을 높이기 위해 얼마나 비효율적인 단위가 투입을 줄이거나 성과를 늘릴 필요가 있는지를 보여준다. 이것은 어떤 단위조직 A가 연구인력 수준에서 15 % 더 많은 논문을 산출할 수 있어야 하거나 단위 B가 연구비용을 25 % 줄이면서도 동일한 수준의 논문을 생산할 수 있어야 한다는 것과 같은 성과 목표를 제시한다. 또한 최고 실적을 내는 국가나 기관을 파악하고 모범 사례로 연구하여 그 비법을 전수 받을 수도 있다.

2.2 다중 입력, 다중 출력에서의 효율성 측정

일반적으로 효율성(E)은 출력(성과)을 입력(투입)으로 나누어서 그 비율로 표시할 수 있으며, 다음과 같이 측정된다.

$$E = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} \quad (1)$$

이 식은 출력과 입력이 명확하게 존재할 때 간단하게 계산할 수 있다. 그러나, 다양한 활동과 환경적인 요인으로 인해 단위 조직이 여러 개의 입력과 출력을 가지는 경우에는 간단한 식으로 효율성을 측정하는 것이 어렵다.

이러한 다수의 입력과 다수의 출력이 환경에서 단위 시스템의 효율(E) 계산은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$E = \frac{\sum_{j=1}^M a_j O_j}{\sum_{i=1}^N b_i I_i} \quad (2)$$

여기에서 a , b 는 가중치이며, O , I 는 출력과 입력을 나타낸다. 입력과 출력은 측정이 가능하지만, 가중치를 적절하게 부여하는 것은 어렵다. 이러한 가중치에 대한 문제를 자동으로 계산해 주는 것이 DEA 분석법이다. 입력과 출력의 단위에 의존하지 않으므로, 비 변수(nonparametric) 접근법이라고 한다. 다만, 이러한 방법은 입력과 출력에 대한 일반적인 방정식을 제공하지 않으며, 상대적 효율성만을 부여한다.

어떻게 자동으로 가중치를 부여하는 것일까? 이는 상대적으로 가장 효율이 높은 경계점들로 프론티어를 형성하고 이들 프론티어로부터 얼마나 떨어져 있는지를 계산해서 효율을 정하는 방식으로 진행된다. 다수의 입력과 출력에 의해 보다 복잡한 프론티어가 형성되지만 이들 프론티어는 단위와는 상관이 없게 된다. 따라서 DEA 분석법은 다중 입력, 다중 출력 생산기능에서 채택되었으며 많은 산업 분야에 적용되어 오고 있다. DEA 분석법은 가장 효율적인 생산자를 결정할 수 있다.

DEA 모델에서 K개의 생산 단위를 평가하고, 각 단위 조직은 서로 다른 입력을 받아 서로 다른 출력을 만들어 낸다. 이들 효율성은 조건들을 만족하는 선형프로그래밍을 통해 계산된다. 어떤 조건에서 효율성을 계산하는가에 따라 여러 모델이 존재한다.

2.3 CCR 모델

CCR 모델 (Charnes, Cooper, Rhodes)은 가장 기본적인 모델이며, 처음으로 소개된 전통적인 DEA 모델이다. CCR 모델을 선형프로그램으로 풀기 위한 한 개의 단위조직의 방정식과 조건은 다음과 같다.

$$Max E = \frac{\sum_{j=1}^M a_j O_j}{\sum_{i=1}^N b_i I_i} \quad (3)$$

이를 위한 필요조건은

$$0 \leq E \leq 1, \quad a_j, b_i \geq 0$$

이러한 조건은 여러 단위조직일 경우에도 적용이 된다. 여러 단위조직을 가지고 있는 경우의 $k0$ 단위 조직의 방정식은 다음과 같다.

$$Max E_k = \frac{\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k0}}{\sum_{i=1}^N b_i I_{i,k0}} \quad (4)$$

이를 위한 필요조건은

$$\sum_{i=1}^N a_i O_{i,k} - \sum_{i=1}^N b_i I_{i,k} \leq 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots, K$$

$$0 \leq a_j, b_i$$

식 (4)가 필요조건을 만족하는 선형방정식을 풀면 가중치를 구할 수 있다. 이러한 필요조건을 만족하는 선형 방정식을 푸는 것은 최적치 문제에서 많이 다루는 수학적인 문제이다. 선형 방정식을 선형 프로그램을 통해 가중치를 구하면, 입력과 출력을 알고 있기 때문에 효율성을 구할 수 있다.

선형 프로그램을 통해 선형방정식을 풀기 위해서는 몇 가지 가정이 필요하다. 선형 프로그램을 사용하기 위해서 입력을 1로 가정하면 최대의 효율을 가지기 위해서는 출력이 최대가 되는 식이 되는 것이다. 그래서, 입력을 다음과 같이 가정한다.

$$\sum_{i=1}^N b_i I_{i,k0} = 1 \quad (5)$$

따라서 선형 프로그램을 풀기 위한 식과 조건은 아래와 같이 주어진다.

$$\text{Max} \sum_{j=1}^M a_j O_{j,k} \quad (6)$$

그리고 필요조건은

$$\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k} - \sum_{i=1}^N b_i I_{i,k} \leq 0, k = 1, 2, 3, \dots, K$$

$$0 \leq a_j, b_i$$

표1은 동 선형방정식을 해석하는 프로그램을 Python으로 작성한 것이다. 선형방정식을 풀 수 있는 프로그램 언어는 다양하여 R, Matlab, SANTANA 등으로 작성되어 공개된 프로그램들이 있다. 그러나 이들 프로그램의 대부분은 팻키지 형태로 제공되어 사용에 한계가 많다. 실제 소스코드를 직접 프로그램을 할 수 있어야 이후 선진화된 방법을 활용할 수 있게 된다. 특히, Python은 오픈 소스의 무료 언어로 점점 사용빈도가 높아지고 있다. 그래서 동 언어를 프로그램 언어로 선택하였다.

작성된 프로그램을 간단히 설명하면, Linprog는 Python에서 제공하는 최소값을 구하는 최적화에 사용되는 명령어이다. 식 6은 최대값을 구하여야 때문에 값을 음수로 하여 최소값을 구하도록 알고리즘을 구성하였다. 그리고 Linprog에서 요구하는 최적화를 위한 필요조건을 프로그램으로 작성하여 입력하도록 하였다. 입력과 출력 가중치는 각 단위조직의 효율을 구할 때 구해지므로 한 개 단위조직의 효율을 구하는 것을 반복하여 최종적으로 모든 조직의 상대효율을 구하게 된다.

동 프로그램에서 u, v는 입력과 출력의 가중치를 나타내는 값이며, 동 프로그램에서는 해당 값을 출력하지 않으나, 필요한 경우에는 약간의 프로그램 수정으로 값을 출력하여 사용할 수 있다.

CCR method 프로그램 (Python code)

```
def SingleCCR(self, x, y, k): # 각 단위조직의 효율성 계산
    K, m = x.shape
    _, n = y.shape
    f = np.zeros((n+m))
    for i in range(n):
        f[i] = -y.values[k,i]
    Aeq = np.zeros((1,n+m))
    for j in range(m):
        Aeq[0,n+j] = x.values[k,j]
    beq = 1
    A = np.hstack((y, -x))
    b = np.zeros((K, 1))
    res = linprog(f, A_ub=A, b_ub=b, A_eq =Aeq,
                 b_eq=beq, bounds=(0, None), options={"disp": True})
    eff = -res.fun
    eff1 = np.round(eff*10000)/10000
    sol = res.x
    u1 = sol[0:n]
    v1 = sol[n:]
    class out:
        u = u1; v = v1; eff = eff1
    return eff1, out

def CCR(self, x, y): # 전체 단위조직의 효율성 계산
    K, m = x.shape
    _, n = y.shape
    E = np.zeros((K))
    for k in range(K):
        eff, out = self.SingleCCR(x, y, k)
        E[k] = eff
    return E
```

표 1 CCR 프로그램

2.4 BCC 모델

BCC 모델은 Banker, Chames and Cooper (1984)에 의해 소개된 모델로 투입의 크기가 비슷한 단위조직의 효율성을 측정한다. CCR모델은 선형적인 모델로 투입의 크기와 상관없이 동일한 효율성을 가지는 것으로 계산되기 때문에 크기가 다른 조직들에 나타나는 효율성 특성을 반영하기 어렵다는 단점이 있다. 이를 보완해서 동일한 크기에서 가장 효율적인 단위조직과 비교한 상대적 효율성을 측정하는 BCC 모델이 고안되었다. CCR 모델과 달리 BCC 모델은 가변적인 수익률을 낼 수 있어 가변모델(Variable Return to Scale)이라고도 하며 투입을 기준으로 하는지, 성과를 기준으로 하는지에 따라 모델이 달라진다.

출력 기준의 BCC 모델은 다음과 같은 수식과 조건으로 선형프로그램을 한다.

$$Max E_{k0} = \frac{\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k0} - U_{k0}}{\sum_{i=1}^N b_i I_{i,k0}} \quad (7)$$

앞선 CCR 모델과 같이 입력의 합을 1로 고정하면 입력 중심의 BCC가 된다. 따라서 입력 중심의 BBC 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$Max \sum_{j=1}^M a_j O_{j,k0} - U_{k0} \quad (8)$$

이를 위한 필요조건은

$$\sum_{i=1}^N b_i I_{i,0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k} - U_k - \sum_{i=1}^N b_i I_{i,k} \leq 0$$

$$0 \leq a_j, b_i$$

여기에서 U_k 는 부호에 상관없이 있다. 그리고 이 값을 중심으로 거리로 효율의 최적치를 찾아낸다. 그래서 가변적인 수익률을 낼 수 있으며, 규모에 따른 상대적인 효율성을 구할 수 있다.

출력 중심의 BBC와 달리 입력 기준의 BCC 모델은 출력을 1으로 고정하고 최소의 입력으로 1의 출력을 낼 수 있는 경우를 최대 효율성으로 구하는 것이다. 이를 수식과 조건으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N b_i I_{i,k0} + V_{k0} \quad (9)$$

그리고 이를 위한 필요조건은

$$\sum_{j=1}^M a_j O_{j,0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k} - V_k - \sum_{i=1}^N b_i I_{i,k} \leq 0$$

$$0 \leq a_j, b_i$$

입력 기준과 출력 기준의 BCC 모델을 선형프로그램으로 작성한 프로그램이 표2와 표3에 나타나 있다. 앞선 BBC 모델에 사용된 Linprog이 사용되었으며, 각 단위 조직의 효율성을 순차적으로 구하는 방식도 동일하다. 출력 기준의 BBC는 최대값을 구하기 때문에 음수로 하여 최소값을 구하도록 알고리즘을 구성한 반면, 입력 기준의 BCC는 최소값을 구하는 것으로 별도의 부호 변환없이 프로그램을 하였다. 식 (8)과 (9)를 구하기 위한 필요조건을 선형 방정식의 입력으로 프로그램하였다. 이들을 어떻게 프로그램으로 구현하는 지가 프로그램 개발의 핵심적 사항이다.

동 프로그램들도 BBC와 마찬가지로 상대적 효율성을 출력으로 하고 있고, 가중치도 프로그램에서 구할 수 있다.

```

# OOBCC method
def SingleOOBCC(self, x, y, k):
    K, m = x.shape
    _, n = y.shape
    f = np.zeros((n+m+1))
    for i in range(m):
        f[n+i] = x.values[k,i]
    f[n+m] = 1
    Aeq = np.zeros((1,n+m+1))
    for j in range(n):
        Aeq[0,j] = y.values[k,j]
    beq = 1
    A = np.hstack((y, -x, -np.ones((K,1))))
    b = np.zeros((K, 1))
    lb=np.vstack(([[0, None]]*(n+m),[-np.inf,None]))
    res = linprog(f, A_ub=A, b_ub=b, A_eq =Aeq,
                 b_eq=beq, bounds=lb, options={"disp": True})
    eff = 1/res.fun
    eff1 = np.round(eff*10000)/10000
    sol = res.x
    u1 = sol[0:n]; v1 = sol[n:n+m] ; v01 =sol[-1:]
    class out:
        u = u1; v = v1; v0= v01
        eff = eff1
    return eff1, out

def OOBCC(self, x, y):
    K, m = x.shape
    _, n = y.shape
    E = np.zeros((K))
    for k in range(K):
        eff, out = self.SingleOOBCC(x, y, k)
        E[k]      = eff
    return E

```

표 2 공급 중심 BCC 프로그램

```

# IOBCC method
def SingleIOBCC(self, x, y, k):
    K, m = x.shape
    _, n = y.shape
    f = np.zeros((n+m+1))
    for i in range(n):
        f[i] = -y.values[k,i]
    f[n+m] = -1
    Aeq = np.zeros((1,n+m+1))
    for j in range(m):
        Aeq[0,n+j] = x.values[k,j]
    beq = 1
    A = np.hstack((y, -x, np.ones((K,1))))
    b = np.zeros((K, 1))
    lb=np.vstack(([[0, None]]*(n+m),[-np.inf,None]))
    res = linprog(f, A_ub=A, b_ub=b, A_eq =Aeq,
                 b_eq=beq, bounds=lb, options={"disp": True})
    eff = -res.fun
    eff1 = np.round(eff*10000)/10000
    sol = res.x
    u1 = sol[0:n]; v1 = sol[n:n+m] ; u01 =sol[-1:]
    class out:
        u = u1; v = v1; u0= u01; eff = eff1
    return eff1, out
def IOBCC(self, x, y):
    K, m = x.shape
    _, n = y.shape
    E = np.zeros((K))
    for k in range(K):
        eff, out = self.SingleIOBCC(x, y, k)
        E[k] = eff
    return E

```

표 3 출력 중심 BCC 프로그램

2.5 합계 모델 (Additive model)

BBC 모델은 입력 중심 모델과 출력 중심 모델로 나눈다. 입력을 고정하는 가, 출력을 고정하는 가에 따라 그 결과가 달라진다. 이러한 입력과 출력을 동시에 변화하면서 효율성을 측정하는 방법이 합계 모델이다. 합계 모델은 여유분(Slack)을 최소화는 효율을 구하는 것이다.

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Max \left(\sum_{j=1}^M s_{j,k}^- + \sum_{ij=1}^N s_{i,k}^+ \right) \quad (10)$$

여기에서 $s_{j,k}^-$ 는 k 단위조직의 입력의 여유분이며 $s_{i,k}^+$ 는 출력의 부족분이다. 이들은 입력 또는 출력의 조정을 통해서 효율성을 높일 수 있는 여유를 말한다. 식 (10)은 이러한 조정을 통해서 구할 수 있는 최대의 효율성을 만드는 조건식이다. 그리고 필요조건은

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k O_{j,k} + s_{j,k}^- = x_j^k$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k I_{i,k} - s_{i,k}^+ = y_i^k$$

$$0 \leq s_{i,k}^+, s_{j,k}^-$$

$$\sum_k \lambda_k = 1$$

$$0 \leq \lambda_k$$

이를 선형 프로그램이 가능한 방정식으로 바꾸기 여유분에 대한 식으로 정리하면,

$$s_{j,k}^- = x_j^k - \sum_{k=1}^K \lambda_k O_{j,k} \quad (11)$$

$$s_{i,k}^+ = \sum_{k=1}^K \lambda_k I_{i,k} - y_i^k \quad (12)$$

이 식을 정리하여 수식 (10)에 반영하면 다음과 같이 쌍대(Dual correspondence) 방정식으로 표현된다[10].

$$\text{Min} \left(\sum_{i=1}^N b_i I_{i,k} - \sum_{j=1}^M a_j O_{j,k} + z_k \right) \quad (12)$$

이를 위한 필요조건은

$$\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k} - \sum_{i=1}^N b_i I_{i,k} - z_k \leq 0$$

$$0 \leq a_j, b_i$$

합계모델은 투입과 산출을 동시에 고려할 있어, 입력과 출력을 구분한 모델을 통합한다. 또한 여유분에 대한 최대치를 통해 효율을 구하게 되어, 2단계에 걸친 여유분 분석을 하지 않아도 되는 점이 장점이다.

표 5는 합계 모델에 대한 프로그램을 보여주고 있다. 수식 (12)을 구현하기 위한 함수를 구성하였다. 동 프로그램은 수식 (12)와 이를 위한 필요조건을 해석하는 프로그램이다. 동 방정식은 미지수인 가중치와 변수 z_k 를 구하는 것이다. 따라서 그러한 조건을 만족하는 가중치와 변수 z_k 를 통해 효율성을 구해야 한다. 효율성은 다음과 같이 구한다.

$$E_k = \frac{\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k}}{\sum_{i=1}^N b_i I_{i,k} + z_k} \quad (13)$$

```

# Additive method
def SingleADD(self, x, y, k):
    K, m = x.shape
    _, n = y.shape
    f = np.zeros((n+m+1))
    for i in range(n):
        f[i] = -y.values[k,i]
    for j in range(m):
        f[n+j] = x.values[k,j]
    f[n+m] = 1
    A = np.hstack((y, -x, -np.ones((K,1))))
    b = np.zeros((K, 1))
    lb=np.vstack([None]*(n+m),[-np.inf,None])
    res = linprog(f,method='interior-point', A_ub=A,
        b_ub=b, bounds=lb, options={"disp": True})
    sol = res.x
    u1 = sol[0:n] ; v1 = sol[n:n+m] ; v01 =sol[-1:]
    Y=u1@y.values[k,:]; X=v1@x.values[k,:]
    eff = Y/(X+v01)
    eff1 = np.round(eff*10000)/10000
    class out:
        u = u1 ; v = v1 ; v0= v01 ; eff = eff1
    return eff1, out

def ADD(self, x, y):
    K, m = x.shape
    _, n = y.shape
    E = np.zeros((K))
    for k in range(K):
        eff, out = self.SingleADD(x, y, k)
        E[k] = eff
    return E

```

표 5 합계모델 프로그램

2.6 프로그램 개발과정 설명

앞선 기술에서 3가지 전통적인 DEA 모델에 대해서 기술하고 실제 프로그램 된 소스코드를 첨부하였다. 대부분의 DEA 계산을 하는 패키지들은 활용은 가능하나, 내부의 소스코드를 공개하지 않는다. 따라서 쉽게 수정하거나, 향후 발전된 모델에 대한 직접 프로그램을 구현하는데 제약이 있다. 이 섹션에서는 프로그램의 핵심적인 알고리즘을 보다 상세히 기술하여 향후 DEA 해석법을 활용하고자 하는 분들에게 참고가 되도록 하였다.

DEA 분석법의 핵심은 선형방정식을 푸는 것이다. 일반적인 선형방정식은 제한 조건이 없으나, 많은 정책적 문제들은 제한 조건을 가진다. 이러한 제한 조건에서 최선의 값을 찾아내는 방식은 최적화라는 범주에서 많이 다루어져 왔다. 이러한 문제에 대한 해석은 수학자들과 많은 선도 학자들이 잘 제시해 주었다. 이를 프로그램화하여 대부분의 프로그램들은 함수로 제공하고 있다.

먼저, 제한조건이 있는 선형방정식을 푸는 기본 방정식은 다음과 같다.

$$\min f^T x \quad (14)$$

제한조건은

$$Ax \leq b$$

$$A_{eq}x = b_{eq}$$

$$lb \leq x \leq ub$$

선형방정식은 대부분의 경우는 3가지 제한 조건에 해당한다. 대부분의 언어들은 수식 (14)가 제한조건을 가질 때 선형방정식을 해석하는 함수를 제공한다. 이 함수를 CCR 모델에 적용하는 경우를 예시로 설명한다.

수식 (14)의 미지수는 x 벡터이다. CCR 모델에서 미지수는 a_j, b_i 이므

로 이들로 구성된 미지수 벡터를 만든다.

$$x = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_{N-1}, a_N, b_1, b_2, b_3, \dots, b_{M-1}, b_M]$$

이 경우, $\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k}$ 를 만들기 위한 f 는 다음과 같이 표현된다. 최소를 구하는 함수 특성을 반영하여 마이너스를 곱해 주었다.

$$f = -[O_{1,k}, O_{2,k}, O_{3,k}, \dots, O_{N-1,k}, O_{N,k}, 0, 0, 0, \dots, 0, 0]$$

이제 필요조건에 맞추어 입력 행렬을 만들어 주면 된다.

$$A = \begin{bmatrix} O_{1,1} & O_{1,2} & \dots & O_{1,N-1} & O_{1,N} & I_{1,1} & I_{1,2} & \dots & I_{1,M-1} & I_{1,M} \\ O_{2,1} & O_{2,2} & \dots & O_{2,N-1} & O_{2,N} & I_{2,1} & I_{2,2} & \dots & I_{2,M-1} & I_{2,M} \\ \dots & \dots \\ O_{K,1} & O_{K,2} & \dots & O_{K,N-1} & O_{K,N} & I_{K,1} & I_{K,2} & \dots & I_{K,M-1} & I_{K,M} \end{bmatrix}$$

$$b = [0, 0, 0, \dots, 0, 0]^T$$

$$A_{eq} = [0, 0, 0, \dots, 0, 0, I_{1,k}, I_{2,k}, I_{3,k}, \dots, I_{M-1,k}, I_{M,k}]$$

$$b_{eq} = 1$$

행렬이 만들어지면, Linprog에 입력하면 결과를 구할 수 있다. 다른 2가지 모델도 이와 유사하게 적절한 행렬을 만들어 적용하면 된다.

2.7 국제간 연구개발 효율성 계산을 통한 프로그램 검증

주요국의 연구개발 통계자료의 확보

프로그램의 검증을 위해서, DEA 방법을 적용하여 국가별 연구개발 효율성을 분석하였다. 대상 국가는 과학기술 상당한 투자를 하는 주요 국가들을 대상으로 하였다. 이들 국가들 중에는 연구개발에 대한 기본적인 통계가 갖추어져 있지 않은 나라가 있어 제외했다. DEA 분석을 위해서 통계의 확보가 매우 중요한 것을 인지하게 되었다.

각 국가별 통계는 OECD 통계자료를 활용하였으며, OECD에서 제공하지 않는 논문자료는 국내 논문분석 자료를 참고하였다. 먼저 투입자료로 연구개발 예산과 연구원 수를 활용하였다. 연구개발예산은 2016년 자료이며, 상대 물가를 보정한 값이다. 연구원수는 2016년을 기준으로 하여 전일제 연구원으로 환산된 연구원 수이다.

성과자료로 논문과 특허를 사용하였다. 논문수와 인용횟수는 2017년의 국내 논문 분석 자료를 사용하였다[11]. 한국과학기술평가원(KISTEP)과 한국과학기술원(KAIST)에서 과학인용색인(SCI, ScienceCitation Index) 데이터베이스를 바탕으로 SCI 논문 현황을 분석한 자료이다. 그리고 특허자료는 특허등록과 삼극 특허 등록 건수를 사용하였다. 삼극 특허는 미국, 일본, 유럽 등 특허등록을 주도하는 국가에 모두 등록된 특허를 말한다,

특히, 성과는 양적 성과와 질적 성과를 구분하기 위해서 두가지의 자료를 사용하였다. 논문수는 양적 학문성으로, 인용수는 질적 학문성으로 의미를 두었다. 그리고 특허 등록 건수는 양적 지식의 활용으로 삼극 특허 등록 건수는 질적 지식의 활용으로 의미를 두었다. 연구개발 효율성 분석에 사용된 각 국가별 연구개발 통계 자료는 표 6에 정리하여 첨부하였다.

〈 표6. 주요 국가별 연구개발 통계 (2016년, 2017년)〉

국가	R&D예산 (백만 달러)	연구원수 (명)	논문수	인용수	특허 수	삼극특허
한국	79354.28	356447	60529	88277	108875	2671
프랑스	62162.75	277631	79879	149836	12374	2470
중국	451201.5	1619028	345345	579802	404208	3766
일본	168644.9	662071	82797	122151	203087	17066
이탈리아	29915.92	125875	74915	143930	6429	836
영국	47244.52	284483	136231	264002	5602	1740
미국	511089	1379977	439781	784102	303049	15219
독일	118158.5	387982	118447	233413	15652	4583
스페인	20006.53	126633	74915	112523	2308	238

DEA를 통한 연구개발 성과분석 결과

각 국가들의 연구개발 통계를 활용해서 연구개발 효율성을 계산하였다. 계산을 위해서는 개발된 DEA 계산 프로그램이 사용되었다.

그림 1은 가장 기본적인 CCR 모델에 의해 구해진 상대적 효율성이다. 독일, 중국, 프랑스를 제외한 나라들은 상대적 효율성이 1로 가장 높다는 것이다. 여기에서 1이 6개 국가나 되는 것은 상대적 효율성은 프론티어 점을 찾아서 효율성을 측정하기 때문이다. 이들 국가들은 입력의 범위 내에서 가장 효율적인 프론티어를 형성하고 있다는 것이다.

그림 2는 입력 중심과 출력 중심의 BCC 모델을 비교한 것이다. 먼저 CCR 모델에서 비효율적인 중국이 동 모델에서는 효율적으로 나왔다. BCC 모델은 가변성이 있어, 규모를 고려한다. CCR 모델에서는 선형적으로 규모에 비례해서 성과로 증가하는 반면, BCC 모델에서는 규모에 비례하지 않고 주변의 단위 조직과 비교하여 효율성을 판단한다. 중국은 입력 규모가 크기 때문에 이의 영향을 받은 것으로 보인다. 그리고 대체로 입력 중심과 출력 중심의 차이가 거의 없는 것으로 보인다. 수치상의 약간의 차이는 있으나, 전체적인 경향에서는 서로 일치하고 있다.

그림 3은 CCR 모델, BCC 모델(입력중심, 출력중심), 합계모델 등 4개 모델에 대한 비교 분석 자료이다. 모델 간의 차이는 크게 나타나지 않는다. 중국의 경우 CCR 모델 외에서 상대적 효율성이 높은 것으로 나타났다. 상대적 효율성이 낮은 국가들의 상대적 효율성은 모델 간에 차이를 보였다. 특히, 독일의 경우, 모델에 따라 상대적 효율성의 계산 결과가 많은 차이를 보였다.

지금까지 본 결과에서 알 수 있듯이, 전통적인 모델에서 대부분 국가들이 상대적으로 효율적으로 나오고 있다. 이러한 결과는 비교 국가가 9개 국가로 제한된 영향이 있는 것으로 보인다. 그럼에도 분석 결과가 실제로 사용되기에는 한계가 있다는 알 수 있다. 특히, 전체적인 상대

적 효율성을 줌으로써 복잡한 연구개발 생태계에 대한 분석에 한계가 있다. 다양한 연구개발 결과는 관련 활동들이 결합이 되어서 연구개발의 효과가 전파된다. 시스템적 사고에 따라 연구개발 시스템의 효율성 분석은 이러한 관련 활동이 적절히 잘 이루어지는 지를 진단하여 알려주어야 한다. 그러나 전통적인 모델은 세부적인 활동에 대한 분석은 어렵다는 한계성이 있다. 따라서 이러한 기본 모델을 바탕으로 보다 상세한 분석 모델을 할 필요가 있다.

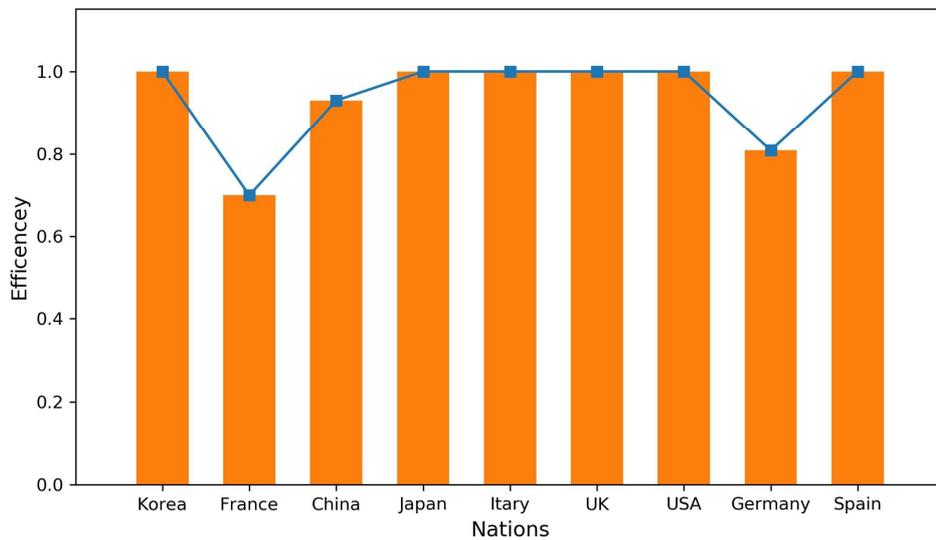


그림 2. CCR 모델로 계산한 주요 국가별 연구개발 효율성 비교

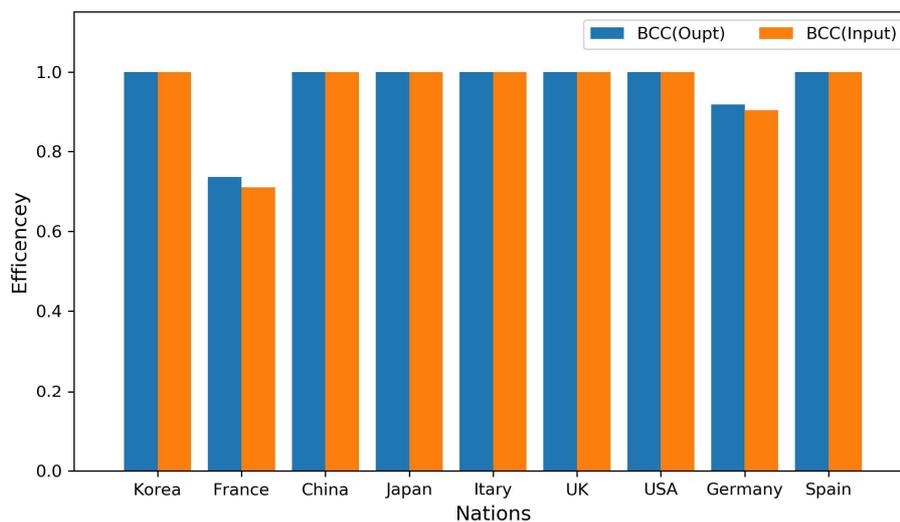


그림 3. BCC 모델로 계산한 주요 국가별 연구효율성 비교. 동 계산은 입력 및 출력 중심 BCC 모델을 비교하였다.

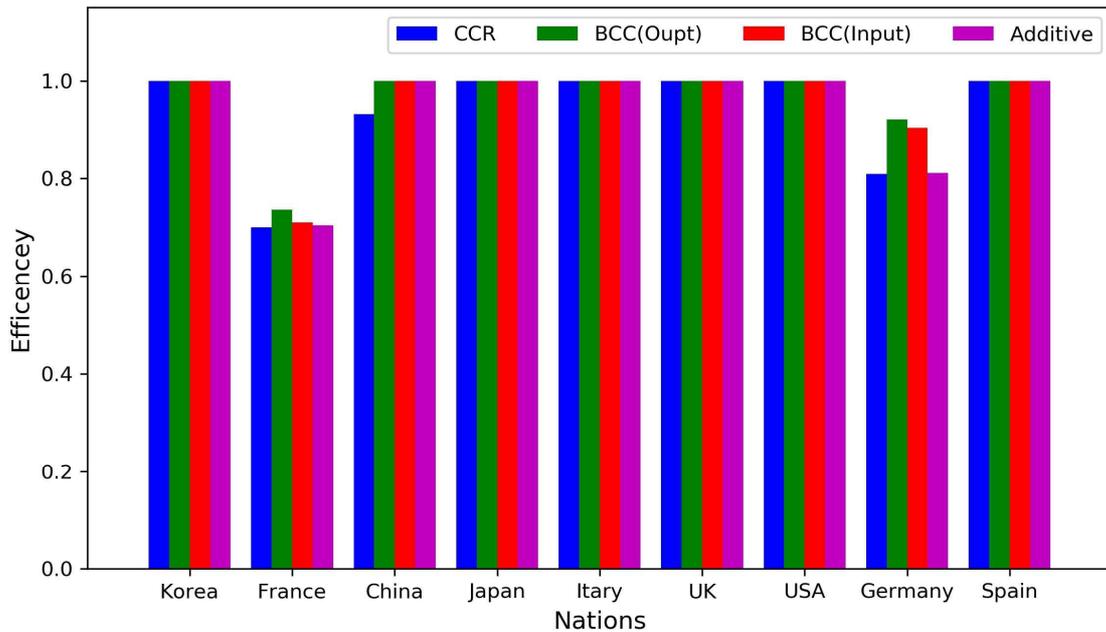


그림 4. CCR, BCC, 합계 모델 등 4개 모델로 계산한 주요 국가별 연구 효율성 비교

3. 2단계 DEA 분석법을 활용한 연구개발 효율성 분석

3.1 연구배경

앞서 보여 준 바와 같이 전통적인 모델은 복잡한 연구개발 활동을 분석하는데에는 한계가 있다. 따라서 최근에는 복잡한 연구개발 활동을 분석할 수 있는 보다 선진화된 DEA 방법들이 제안되고 있다.

먼저, 연구개발 시스템을 여러 활동의 구성으로 보고 이를 분석하는 것이다. Guan과 Chen (2012)[3]은 지식의 창출과 이를 상용화하는 과정으로 구성되어 있다고 제안하였다. 그들은 연구개발 효율성을 개선하기 위해서는 과학기술혁신시스템의 프로세스 중심으로 분석하고 개선책을 마련해야 한다고 주장하였다. Carayannis et al. (2016)[12]은 연구개발이 다단계로 구성되어 있으며 이를 측정할 수 있는 방안을 제안하였다. 그들은 연구개발 활동은 다양한 프로세스들이 일련의 순차적인

하위 프로세스들 구성되는 다단계 구조로 이루어져 있다고 설명했다.

이러한 다단계로 구성된 프로세스를 DEA로 구현하기 위해서는 한 단계의 출력이 다음 단계의 입력이 된다는 것이다. 이러한 단계적인 해석이 다양하게 사용되고 있다. 이중 가장 심플한 경우가 2단계 DEA 분석법이다. 2단계 DEA를 분석할 수 있는 경우에는 다단계 DEA는 간단히 단계를 확대하면 된다.

이러한 2단계로 분리하여 효율성을 측정하는 DEA 모델이 여러 문헌에서 제안되어 있다. Seiford와 Zhu[13]는 2단계 절차를 사용하여 미국 상업은행의 수익성과 시장성에 대한 분석을 추진하였다. 이 연구에서 노동과 자산을 투입물로 사용하여 첫 번째로 수익성을 측정하고, 이들 수익성을 입력으로 하여 두 번째 효율성을 측정하였다. 두 번째 효율성 측정에서는 기업의 시장가치, 주당 수익 등 시장성을 대표하는 산출물을 선택하였다. Chilingirian과 Sherman[14]은 의사의 치료를 측정하는 또 다른 2단계 과정에서 관리자 영역과 의사들의 전문가 영역을 나누어서 효율성을 측정하였다. 이렇게 효율성 측정을 구분하여 계산하는 경우, 세부적인 효율성 분석을 물론 보다 정확한 전체 효율성을 측정할 수 있다.

2단계 분석법을 사용하여 연구개발 효율성을 측정하고자 한다. 이번 연구에서는 연구개발 효율성은 양적인 측면과 질적인 측면으로 구분할 수 있다. 양적인 측면의 성과는 논문수, 특허 수 등 양적으로 측정할 수 있는 것이다. 그리고 질적인 성과로는 논문 당 피인용도 수, 삼극 특허 수 등이 있다. 양적인 성과가 높다고 실질적인 연구개발 효율성을 높이는 지에 대해서는 의문이 제기되고 있다. 따라서 초창기에는 양적인 성장을 추구할 수 있으나, 국가가 고도화되면서는 질적인 측면이 더욱 중요하다. 따라서 본 연구에서는 양적인 성과와 질적인 성과를 분리하여 효율을 측정하고 이들이 결합되었을 때의 효율을 측정하는 방안을 고려해 보기로 하였다.

3.2. 2단계 DEA 프로그램 개발 및 검증

Liang Liang et al.[15]은 2단계 DEA 분석법을 명확하게 확립하였다. 동 연구에서는 저자가 제안한 선형방식을 바탕으로 프로그램을 개발하였다. 성과측정 대상 조직에 대하여 2단계 프로세스를 고려한다. 또한 중앙 집중식 데이터 센터에서 데이터를 확인하고 총계 또는 전역 효율 점수를 최대화하는 중간 요인에 대한 최적의 가중치 세트를 결정하는 중앙화된 접근법을 사용하였다.

그림 4는 2단계 프로세스를 보여 주고 있다. $I_{j,k}$ 는 입력이고 $O_{i,k}$ 는 최종 출력이다. 그리고 $W_{d,k}$ 는 중간 출력이다. 전체 효율성은 각 효율성의 곱과 같다. 수식으로 다음과 같이 표시된다.

$$E_k = E_{1,k} \cdot E_{2,k} \quad (15)$$

여기에서 E 는 전체 효율성이고 E_1 과 E_2 는 각 단계의 효율성이다. 각 효율성은 다음과 같이 정의된다.

$$E_k = \frac{\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k}}{\sum_{i=1}^N b_i I_{i,k}}$$

$$E_{1,k} = \frac{\sum_{d=1}^L c_d W_{d,k}}{\sum_{i=1}^N b_i I_{i,k}}$$

$$E_{2,k} = \frac{\sum_{j=1}^M a_j O_{j,k}}{\sum_{d=1}^L c_d W_{d,k}}$$

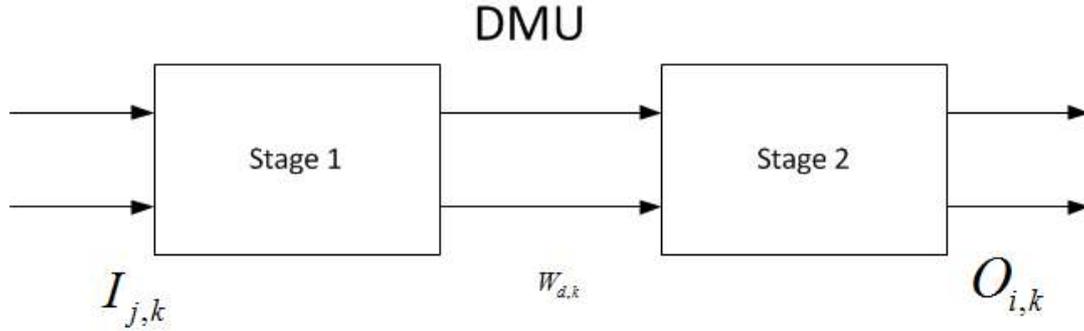


그림 5. 2단계 DEA 모형도

여기에서 E 는 효율성은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Max \sum_{j=1}^M a_j O_{j,k0} \quad (16)$$

필요조건은

$$\begin{aligned} \sum_{d=1}^L c_d W_{d,k} - \sum_{i=1}^N b_i I_{i,k} &\leq 0 \\ \sum_{j=1}^M a_j O_{j,k} - \sum_{d=1}^L c_d W_{d,k} &\leq 0 \\ \sum_{i=1}^N b_i I_{i,k0} &= 0 \\ 0 &\leq a_j, b_i, c_d \end{aligned}$$

이러한 선형방정식을 선형프로그램을 풀어서 효율성을 구할 수 있다. 기본적 DEA 모델과 발전된 2 단계 DEA 모델을 프로그램으로 작성한 것은 다음과 같다. 각 모델은 입력변수로 투입과 산출을 받아들이고 이를 선형프로그램으로 해를 구한다.

수식 (14)를 풀기 위한 조건들을 행렬로 만들어 주는 것이 프로그램의 핵심이다. 미지수 행렬 x 벡터이다.

$$x = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_{N-1}, a_N, c_1, c_2, c_3, \dots, c_{L-1}, c_L, b_1, b_2, b_3, \dots, b_{M-1}, b_M]$$

그리고 함수 및 필요조건의 행렬은 다음과 같이 만들면 된다.

$$f = - [O_{1,k}, O_{2,k}, O_{3,k}, \dots, O_{N-1,k}, O_{N,k}, 0, 0, 0, \dots, 0, 0, 0, 0, \dots, 0, 0]$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} O_{1,1} & O_{1,2} & \dots & O_{1,N-1} & O_{1,N} - W_{1,1} - W_{1,2} \dots - W_{1,L-1} - W_{1,L} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ O_{2,1} & O_{2,2} & \dots & O_{2,N-1} & O_{2,N} - W_{2,1} - W_{2,2} \dots - W_{2,L-1} - W_{2,L} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots \\ O_{K,1} & O_{K,2} & \dots & O_{K,N-1} & O_{K,N} - W_{K,1} - W_{K,2} \dots - W_{K,L-1} - W_{K,L} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & W_{1,1} & W_{1,2} & \dots & W_{1,L-1} & W_{1,L} - O_{1,1} - O_{1,2} \dots - O_{1,N-1} - O_{1,N} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & W_{2,1} & W_{2,2} & \dots & W_{2,L-1} & W_{2,L} - O_{2,1} - O_{2,2} \dots - O_{2,N-1} - O_{2,N} \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & W_{K,1} & W_{K,2} & \dots & W_{K,L-1} & W_{K,L} - O_{K,1} - O_{K,2} \dots - O_{K,N-1} - O_{K,N} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \end{pmatrix}$$

$$b = [0, 0, 0, \dots, 0, 0]^T$$

$$A_{eq} = [0, 0, 0, \dots, 0, 0, 0, 0, 0, \dots, 0, 0, I_{1,k}, I_{2,k}, I_{3,k}, \dots, I_{M-1,k}, I_{M,k}]$$

$$b_{eq} = 1$$

이 함수와 조건을 만족하는 x 를 구하면, 미지수를 모두 구하는 것이다. 구해진 해답을 사용해서 수식 (15)에 있는 식에 효율성을 구하면 된다.

표 7은 선형방정식을 실제로 해답을 구하는 선형프로그램을 보여 주고 있다. 프로그램에서 y_1 과 y_2 는 출력 즉 성과 중에 1단계에 해당하는 성과와 2단계에 해당하는 성과를 구분한 것이다. 한 단위 조직에 대한 효율성 계산을 순차적으로 수행하여 최종 결과를 얻는 방식으로 계산하게 프로그램 되었다. 여기에서 기술하지 않았지만, 미지수 x 에 대한 상한과 하한을 입력하게 되는데, 이들은 가상의 계수이며 0에서 1사이 에 존재하게 제한되었다.

```

# two stage method (centered methods)
def SingleMCC(self, x, y1, y2, k):
    K, m = x.shape
    _, n = y1.shape ; _, s = y2.shape
    f = np.zeros((n+m+s))
    for i in range(s):
        f[i] = -y2.values[k,i]
    Aeq = np.zeros((1,n+m+s))
    for j in range(m):
        Aeq[0,s+n+j] = x.values[k,j]
    beq = 1
    A1 = np.hstack((y2, -y1, np.zeros((K,m))))
    A2 = np.hstack((np.zeros((K,s)), y1, -x))
    A = np.vstack((A1,A2))
    b = np.zeros((2*K, 1))
    res = linprog(f, A_ub=A, b_ub=b, A_eq =Aeq,
                 b_eq=beq, bounds=(0, None), options={"disp": True})
    eff = -res.fun
    eff1 = np.round(eff*10000)/10000
    sol = res.x
    u1 = sol[0:s] ; w1 = sol[s:n] ; v1 = sol[n:]
    class out:
        u = u1; v = v1; w = w1
        eff = eff1
    return eff1, out
def MCC(self, x, y1, y2):
    K, m = x.shape
    E = np.zeros((K))
    for k in range(K):
        eff, out = self.SingleMCC(x, y1, y2, k)
        E[k] = eff
    return E

```

표 7 2단계 DEA 프로그램

개발된 프로그램이 오류없이 프로그램 되었는지를 검증하는 절차를 가졌다. Liang Liang et al.[15]에서 27개의 은행에 대해서 분석한 결과와 본 훈련생이 개발한 프로그램을 비교하여 프로그램의 오류 여부를 확인하고자 한다. Liang은 게임이론을 활용하여 단계에 대한 협력 정도를 고려하였으나, 효율을 극대화하는데 최선의 협력을 수행하다는 가정 하에 Centralized 모델을 비교하였다.

표 8[15]은 27개 은행에 대해 고정자산, 종업원수, 전산 투자를 입력으로 하고 1단계 결과는 예금액, 그리고 2단계 결과는 이익과 부채비율로 설정하였다. 표 9는 이러한 조건에서 계산한 1단계 효율, 2단계 효율, 전체 효율에 대한 결과이다. 계산 결과는 문헌에서 제시된 값과 잘 일치한다. 결과가 동일하게 나온 것으로 동 프로그램에 대한 검증을 완료하였다. 결과에 대한 구체적인 분석은 동 연구의 범위가 아니므로 논하지 않겠다.

< 표8. IT data set >

조직	고정자산 (10억달러)	IT 예산 (10억달러)	종업원수 (천명)	예금 (10억달러)	수익 (10억달러)	부채비율
1	0.713	0.15	13.3	14.478	0.232	0.986
2	1.071	0.17	16.9	19.502	0.34	0.986
3	1.224	0.235	24	20.952	0.363	0.986
4	0.363	0.211	15.6	13.902	0.211	0.982
5	0.409	0.133	18.485	15.206	0.237	0.984
6	5.846	0.497	56.42	81.186	1.103	0.955
7	0.918	0.06	56.42	81.186	1.103	0.986
8	1.235	0.071	12	11.441	0.199	0.985
9	18.12	1.5	89.51	124.072	1.858	0.972
10	1.821	0.12	19.8	17.425	0.274	0.983
11	1.915	0.12	19.8	17.425	0.274	0.983
12	0.874	0.05	13.1	14.342	0.177	0.985
13	6.918	0.37	12.5	32.491	0.648	0.945
14	4.432	0.44	41.9	47.653	0.639	0.979
15	4.504	0.431	41.1	52.63	0.741	0.981
16	1.241	0.11	14.4	17.493	0.243	0.988
17	0.45	0.053	7.6	9.512	0.067	0.98
18	5.892	0.345	15.5	42.469	1.002	0.948
19	0.973	0.128	12.6	18.987	0.243	0.985
20	0.444	0.055	5.9	7.546	0.153	0.987
21	0.508	0.057	5.7	7.595	0.123	0.987

22	0.37	0.098	14.1	16.906	0.233	0.981
23	0.395	0.104	14.6	17.264	0.263	0.983
24	2.68	0.206	19.6	36.43	0.601	0.982
25	0.781	0.067	10.5	11.581	0.12	0.987
26	0.872	0.1	12.1	22.207	0.248	0.972
27	1.757	0.0106	12.7	20.67	0.253	0.988

< 표 9. IT data set을 활용한 효율성 계산 결과 >

조직	본 연구결과			비교대상 (L.Liang et al., 2008)		
	E_1	E_2	$E_1 \cdot E_2$	E_1	E_2	$E_1 \cdot E_2$
1	0.638764	0.745885	0.4764	0.6388	0.7459	0.4764
2	0.650657	0.781852	0.5087	0.6507	0.7819	0.5087
3	0.517901	0.772962	0.4003	0.5179	0.773	0.4003
4	0.598624	0.714203	0.4275	0.5986	0.7142	0.4275
5	0.555613	0.723554	0.402	0.5556	0.7236	0.402
6	0.75987	0.575836	0.4376	0.7599	0.5758	0.4376
7	1	0.575836	0.5758	1	0.5758	0.5758
8	0.535208	0.824956	0.4415	0.5352	0.825	0.4415
9	0.624908	0.634711	0.3966	0.6249	0.6347	0.3966
10	0.496094	0.718807	0.3566	0.4963	0.7188	0.3567
11	0.494524	0.718807	0.3555	0.4945	0.7188	0.3555
12	0.668467	0.594903	0.3977	0.6685	0.5949	0.3977
13	0.948665	0.858182	0.8141	0.9487	0.8582	0.8141
14	0.587972	0.578249	0.34	0.588	0.5783	0.34
15	0.658214	0.603447	0.3972	0.6582	0.6035	0.3972
16	0.664576	0.643375	0.4276	0.6646	0.6434	0.4276
17	0.71766	0.787687	0.5653	0.7177	0.7877	0.5653
18	1	1	1	1	1	1
19	0.814354	0.592551	0.4825	0.8144	0.5926	0.4826
20	0.693347	1	0.6933	0.6934	1	0.6934
21	0.706732	0.993548	0.7022	0.7067	0.9936	0.7022
22	0.79416	0.640826	0.5089	0.7942	0.6408	0.5089
23	0.780217	0.699264	0.5456	0.7802	0.6993	0.5456
24	0.93002	0.713527	0.6636	0.93	0.7135	0.6636
25	0.627001	0.651584	0.4085	0.627	0.6516	0.4085
26	1	0.515169	0.5152	1	0.5152	0.5152
27	1	0.564416	0.5644	1	0.5644	0.5644

4. 각 국가별 R&D 자료를 활용한 효율성 계산

4.1 분석의 개요

기존의 전통적인 방식의 DEA 모델은 국가별 연구개발 효율성을 계산하는데, 한계를 가지는 것으로 보였다. 규모가 다른 경우에는 대부분의 국가들이 프론티어를 형성해서 1을 나타낸다. 이는 상대적으로 가장 효율적일 수도 있지만, 비교의 대상이 없다는 것일 수도 있다. 또다른 문제점은 시스템적 사고에서 알고자 하는 시스템 내부의 문제가 무엇인가를 알려주지 않는 것이다. 전통적인 DEA 모델은 블랙 박스와 같은 것이다. 그러나, 프로세스를 구분하고 이들 개발 프로세스를 반영하는 새로운 형태의 DEA는 이러한 문제점을 개선시킬 수 있다. 그래서 연구개발 효율성에 다단계 DEA 방법을 적용해 분석하고자 한다. 이번 에 분석하는 것은 2단계 분석법이지만, 이들 프로그램은 다단계로 쉽게 확대가 가능하므로 동 훈련생은 2단계 DEA 모델로만 연구하였다.

각 국가별 연구개발 통계 자료로 수집된 표 6에 제시된 자료를 사용한다. 입력은 즉 투입은 연구개발비와 연구원이다. 이들이 창출하는 성과는 논문과 특허가 있다. 프로세스 접근법에 따라 1단계를 논문과 특허 등 지식의 창출, 2단계로 노동생산성, 신산업 비중, 기술적 성과를 들어 국가 경제로의 지식 활용으로 구분한 사전연구가 있었다 [4]. 동 연구는 보다 연구개발 자체에 대한 구체적인 효율성에 집중하고자 하였다.

1단계는 양을 생산하고 2단계는 질을 확보하는 프로세스로 가정하였다. 이는 물리적인 프로세스가 아니라 개념적인 프로세스이다. 실제에서는 양과 질적 생산물이 동시에 산출되기 때문이다. 그러나, 연구개발 효율성 계산에서 양과 질을 동시에 고려하여 계산하는 경우, 결과에서 무엇이 문제인지를 알 수가 없다. 정책입안자에게는 시스템적 사고에서 양을 보완할 것인지 질적 수준을 높일 것인지에 대한 문제 파악이 정책 결정에서 유용하기 때문이다. 발전단계의 관점에서는 초기에는 양이 확대되고 성숙되면서 질이 향상되는 것이 합리적인 발전단계이기 때문이다. 그래서

국제기구와 주요국가들은 연구개발 지표 중 양을 측정하는 통계와 질을 측정하는 통계를 모두 확보하려고 노력해 왔다.

1단계 출력자료로 양을 의미하는 통계인 논문 수와 특허 수를 결정하였다. 그리고 논문의 질적 수준 지표인 인용수와 특허의 질적 수준인 삼극 특허 수를 2단계 출력 자료로 결정하였다. 특허와 논문은 동일한 지식 창출의 측도로 인식되고 있으나, 생산 주체가 다른 경우가 많다. 논문은 대학 등 학술기관에서 생산이 많고, 특허는 기업이 주도해서 생산하는 경우가 많다. 따라서 이들을 비교해 보는 것도 기업 활동과 대학의 학술 활동이 어떤 경향을 보이는 지를 분석할 수 있다.

4.2 분석결과

전체 효율성 분석

그림 5는 국가별 연구개발 효율성 분석 결과를 보여 준다. E_1 는 1단계 양적 성과에 대한 평가이고, E_2 는 2단계 질적 성과에 대한 평가 이다. 그리고 E 는 이들 모두를 고려한 전체 효율성 분석 결과이다. 동일한 통계 자료를 사용하였으나, 전통적인 DEA 모델과 결과에서 큰 차이를 보여주고 있다. 특히, 국가별 양적 성과 단계와 질적 성과 단계를 구분해 줌으로써 현재 각 국가의 연구개발 효율성에 대해 보다 명확하게 알려주고 있다.

투자 대비하여 양적 성과로 우수한 국가는 한국, 일본, 스페인, 미국 등이다. 반면 질적 성과가 우수한 국가는 프랑스, 영국, 일본, 독일 등 선진국들이 대부분을 차지하고 있다. 미국이 질적 성과에서 낮은 것은 의외의 결과이다. 미국은 논문 인용 수에서 최근 10년 이상을 1등을 유지하고 있다[11]. 이는 상대적으로 미국의 논문, 특허 등이 많아 양적 성과에 비해 질적 성과가 낮게 나타난 것으로 보인다. 양적 성과와 질적 성과를 모두 고려한 전체 효율성에서는 일본, 이탈리아, 영국, 스페인 순으로 나타났다.

단계별 프로세스에 대한 영향을 평가하기 위해 1단계는 논문의 학문적 성과 자료 (논문수, 피인용수)로 하고 2단계는 학문의 성과를 실질적인 권리로 전환한 특허에 대한 지표(특허수, 3극 특허 수)로 구성하였다. 그림 6은 이에 대한 결과를 보여 준다. 전체 효율성은 그림 5와 차이가 있다. 흥미로운 것은 1단계 논문 실적이 높음에도 특허 실적이 낮은 국가들은 이탈리아, 스페인, 영국으로 나타났다. 이들 국가들은 여러 가지 이유로 자국내 제조업이 낮은 국가들이다. 반면, 2단계 효율이 높은 한국, 중국, 일본은 제조업 중심의 국가들이며, 선진국 중에 상대적으로 높은 미국, 독일 등도 선진국 수준에서는 제조업의 경쟁력이 높은 국가들이다. 이러한 결과는 단계별 분석을 통해서 시스템의 특징을 알 수 있다는 가능성을 보여주고 있다.

우리나라의 경우, 그림 6에서 보듯이 2단계 특허의 효율이 높은 것을 보여 상당히 상업화 또는 기업들의 지식 활용이 높은 것으로 보인다. 그에 비해서 논문으로 대표되는 지식 창출은 주요 국가에 비해 낮은 것을 보여 준다. 특히, 그림 5에서 보듯, 전반적으로 양적으로는 프론티어를 형성할 정도로 뛰어나나 질적인 측면에서 아직 개선의 필요성이 보인다. 다만, 동 연구는 방법론적 훈련과제로 보다 정교한 데이터의 수집과 분석이 충분하지 않기 때문에 분석결과에 대한 단정적인 결론을 내리기는 어렵다는 것을 부연한다.

논문 및 특허의 개별성과 분석

논문과 특허를 동시에 고려하는 다중 성과로 인해 논문과 특허의 개별의 성과 분석이 명확하게 들어나지 않는 경우가 있다. 이를 보완하기 위해 논문과 특허를 개별로 성과를 측정해 보았다. 개별의 성과 측정에서도 1단계는 양적인 지표인 논문수, 특허등록 수로 하고 2단계에서는 피인용수, 삼극특허 수로 하였다.

그림 7은 논문에 대한 2단계 분석 자료이다. 흥미롭게도 1단계 양적측면에서는 국가 간 차이가 있으나, 2단계의 질적 측면의 효율성에서는 국가 간의 차이가 많이 나지 않고 있다. 효율성 개념에서 분석하면, 질적

성장은 투입에 비례해서 증가한다고 할 수 있다. 그림 8은 특허에 대한 2단계 분석 결과이다. 1단계 양적 측면에서는 한국, 일본, 중국, 미국이 높은 효율성을 보인 반면, 2단계 질적 측면에서는 영국, 독일, 프랑스 등 유럽의 선진국이 높은 위치를 차지하였다. 이러한 결과는 3극 특허가 미국, 일본, 유럽 등 3개 국가에 대한 특허 등록으로 유럽 국가들에게 유리한 측면이 일부 작용한 것으로 보인다.

5. 소결론

동 훈련생은 이번 DEA 분석법에 대한 심층 연구를 통해 객관적인 분석을 통한 연구개발 정책에 기여하고자 하였다. 국제기구, 주요 국가 등에서도 공공정책을 위한 분석 도구로 DEA 분석법의 활용이 늘어나고 있는 추세를 감안한 결정이었다. 그리고 이번 연구를 통해 DEA 분석법이 점차 고도화되면서 DEA 분석법의 적용 범위가 확대될 수 있다는 것을 알게 되었다. 그런 측면에서 이번 연구와 훈련은 유익했다.

연구내용을 간단히 요약하면, 전통적인 DEA 분석법은 다수 입력, 다수 출력의 상대적 효율성을 측정하는 기본적인 방법론을 제시하나, 실제 시스템적 사고에서 프로세스를 분석하지 못한다는 약점이 있다. 최근 이러한 DEA의 약점을 극복하고 다단계의 프로세스 등을 활용하여 시스템 네트워크를 분석할 수 있도록 진화하고 있어, 앞으로 공공정책에 활용도는 높아질 것으로 예상된다.

동 훈련생은 DEA 분석 패키지에 의존하지 않고 직접 수식과 프로그램을 통해 2단계 DEA 분석법으로 연구개발 효율성을 분석하였다. 이러한 분석을 통해 다단계 DEA는 시스템의 다양한 측면에서 분석이 가능하여 향후 그 용도가 더욱 확대될 것을 알게 되었다. 특히, 연구개발 시스템의 분석에 유용할 것으로 파악하였다.

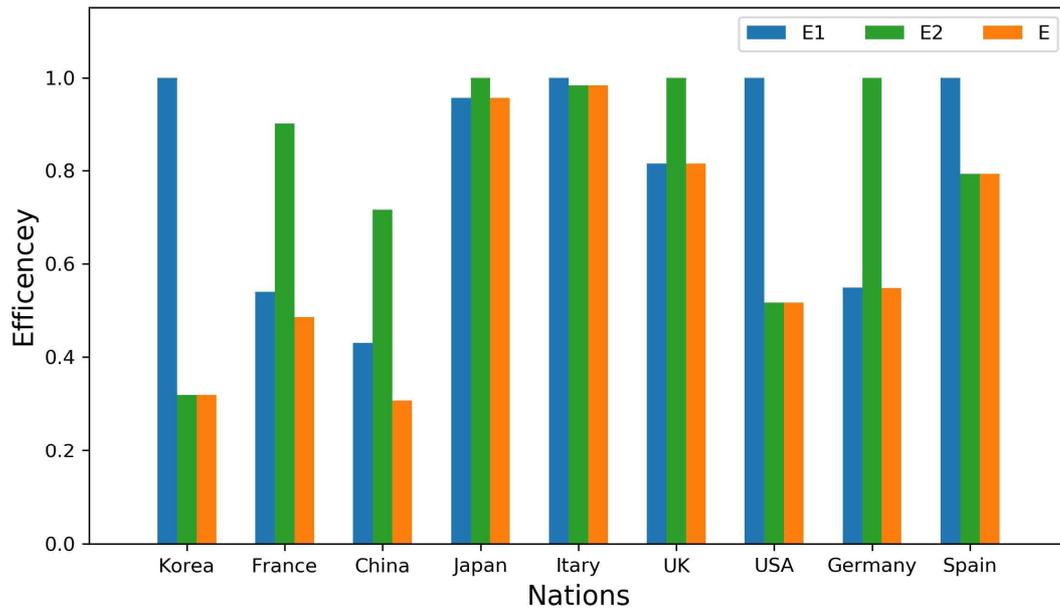


그림 6 2단계 분석법을 통한 주요 국가의 전체 연구개발 효율성 분석 (양적 지표-질적 지표로 단계 구성)

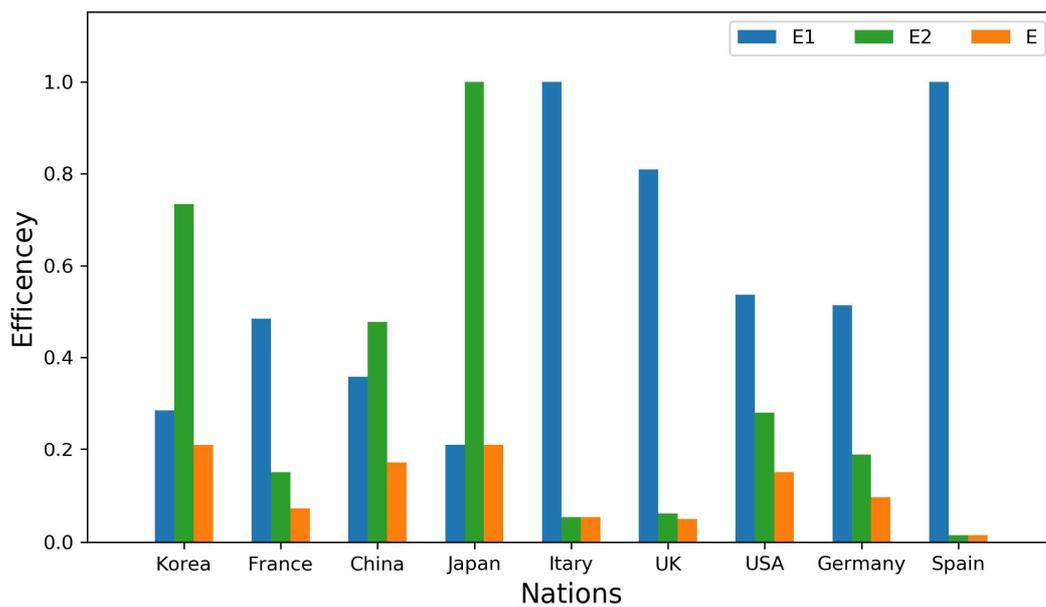


그림 7 2단계 분석법을 통한 주요 국가의 전체 효율성 분석 결과(논문-특허 단계로 프로세스 구성)

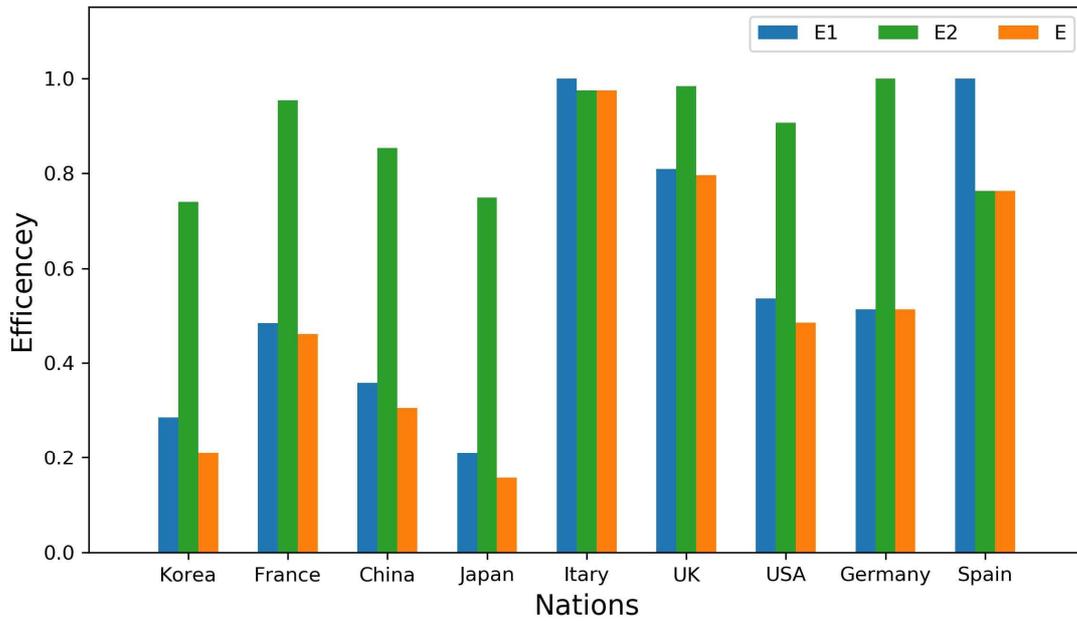


그림 8 논문실적에 대한 2단계 DEA 분석 결과 (논문수-피인용수 단계 구성)

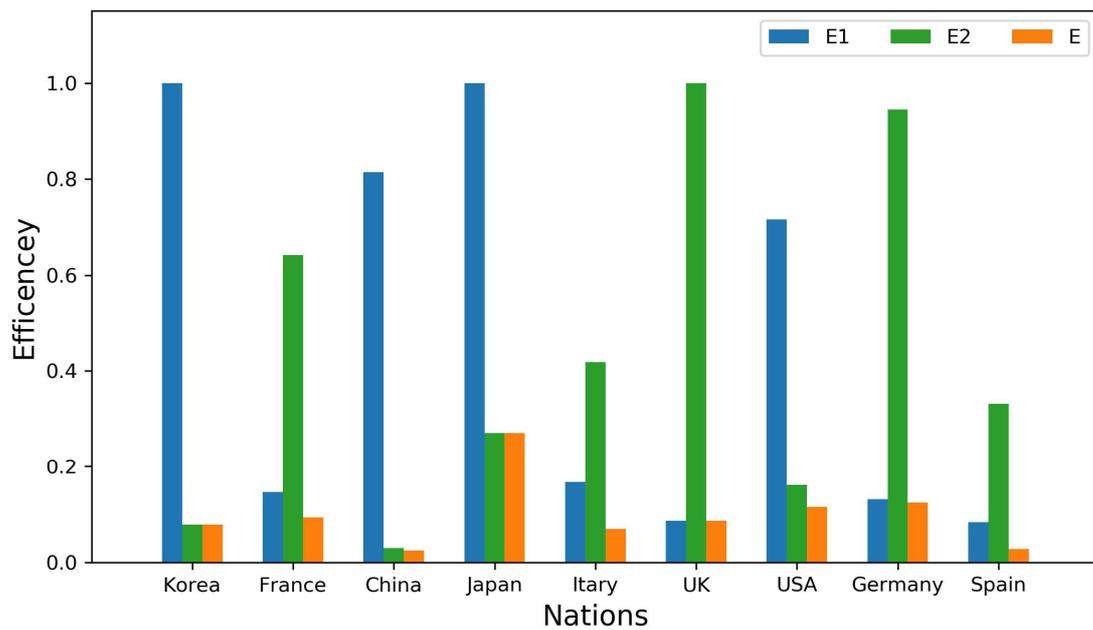


그림 9 특허실적에 대한 2단계 DEA 분석 결과 (특허수-삼극특허수로 단계 구성)

Ⅲ. 영국의 연구개발 효율성 제고를 위한 정책 분석

영국의 연구개발 혁신을 지원하는 다양한 정책이 실제 연구현장에 어떠한 효과를 나타내고 있는지를 알아보기 위해 영국의 연구개발혁신 지원 정책을 사전에 조사하였다. 연구개발혁신 지원 정책은 크게 ① 정부 연구개발비 지원, ② 연구혁신 인프라 제공, ③ 간접적 지원 등 구분하여 영국의 제도 현황을 조사하기로 하였다.

1. 영국의 연구개발 지원 조직과 정책

영국의 연구개발 지원 조직과 정책을 조사하였다. 연구개발을 전체를 조정하는 정책 조직 현황을 먼저 조사하고, 연구개발비의 지원 형태, 어디에 중점적으로 지원하는지에 대해서 조사하였다. 특히, 영국은 최근 2018년 4월에 연구개발 정책조직에 대대적 조정을 하였기에 이에 대한 정책 방향을 조사하는 것이 필요하다.

1.1 연구개발 지원 조직

영국 정부는 2016년 고등교육백서인 ‘Success as a Knowledge Economy’를 발표하였다[16]. 이번 백서에서는 고등교육 및 연구개발에 대한 영국 정부의 혁신정책에 대한 구체적인 방향을 담고 있다. 핵심적으로 교육에 대한 참여 확대, 고등교육 시장의 개방, 연구개발의 촉진으로 추진한다는 내용이 담겨있다.

2018년 4월, UK Research and Innovation(UKRI) 출범

동 백서에서는 영국의 연구개발에 대한 촉진 지원을 지속하기로 하였다. 이를 위해 UK Research and Innovation(UKRI)으로 연구개발과 혁신조직을 통합하기로 하였다. 기존의 Innovate UK, 7개 연구지원기관(Research council), Higher Education Funding Council for England (HEFCE)의 연구기능 등을 새롭게 설립되는 UKRI에서 통합 관할하게 한다는 계획이 포함되어 있다. 그리고 UKRI에서 학제 간 연구를 촉진하기 위해서 공동연구

기금을 운영을 책임지고 관할하도록 하도록 한다는 계획이다.

이에 따라, 영국은 2018년 4월부터 UK Research and Innovation(UKRI)을 출범시키고 연구 지원을 일원화하였다[17, 18]. 고등백서의 방침에 따라, 기존에 따로 운영되던 7개의 연구협의회, Innovate UK, 산학연구협력 기능을 모두 통합하여 조직을 신설하였다. 이를 통해서 일원화되고 통합된 조직을 통해서 다학제적 연구를 책임지고 활성화한다는 것이 설립 목적이다.

UKRI는 정부 관료 조직은 아닌 공공 단체이다. 그리고 대학, 연구기관, 혁신 기업 등 연구개발 주체연구와 협력을 통해 혁신 활동에 대한 투자를 촉진하고 지원하는 것을 목적으로 하고 있다. 동 기관은 비즈니스, 에너지 및 산업 전략부(BEIS)의 소속이면서 독립적인 회계와 경영을 보장 받고 있다.

UKRI는 Haldane principle을 원칙을 유지한다. Haldane principle은 영국 정부의 연구개발 자금을 대한 정치인보다 연구자들이 결정한다는 것이다. 그러나, 비즈니스, 에너지 및 산업 전략(BEIS)부는 전반적인 연구개발 및 혁신에 정책의 결정권, 주요 프로그램 결정 등 전략적 투자 우선순위에 대한 결정, 전반적인 UKRI의 운영 및 예산에 대한 승인 및 권고 등에 대한 권한과 책임은 Haldane principle의 영향을 받지 않는다고 명시되어 있다.

다른 원칙은 이중 자금 지원(Dual System)을 유지한다. 영국정부는 고등교육기관에 대한 기관 육성을 위한 보조금과 연구과제에 대한 연구자금으로 이원화된 시스템이다. 그리고 이러한 이중 지원에는 균형된 자금 배분이 신중히 고려되어야 한다는 원칙을 지속적으로 유지하기로 하였다.

UK Research and Innovation의 조직 운영

UKRI는 독립적이지만, 공공기관으로 정부의 정책과 일관성이 유지가 필요하다. 이에 따라, 상위 부처인 BEIS와의 관계에 대해서 명확하게 하고 있다. BEIS는 UKRI의 지원을 담당하고 정부 정책의 일관성 유지, 타 정부기관과의

관계에서 BEIS가 접촉점이 되어 후원과 입장 조율을 지원하다. 반면 UKRI는 BEIS와 효과적인 업무 연락을 하고 장관의 참여가 필요한 사항에 대해 협조하게 되어 있다. 그리고 BEIS는 UKRI의 이사회에 참여하고 관리 감독 및 문제의 해결을 요구할 수 있게 명문화되어 있다.

UKRI의 내부 통제 및 의사결정 구조를 가지고 있다. UKRI 이사회는 이사장, 재무이사, 9-12명의 독립 이사로 구성된다. 이사회는 전략적 목표 수립, 성과 달성에 대한 평가, 재무정보의 검토 등에 대해 논의와 결정을 수행한다. 이사회에는 BEIS 참여와 더불어 소속 기관들의 장들도 정책결정에 참여와 책임을 지게 되어 있다.

UK Research and Innovation의 소속기관과 역할

UKRI에는 7개 연구협의회, Innovate UK, Research England 등을 소속 기관으로 구성한다. 이들 기관은 법률에서 정한 고유의 업무를 수행하면서 이사회에 자문하고 연구 및 혁신 분야의 의사결정을 수행한다.

7개의 연구협의회 (Research Council)은 영국의 연구과제, 인력양성, 국제 협력 등 대학의 연구지원을 7개 분야로 나누어서 지원해 왔다. 미국의 연구재단이나 한국의 연구재단과 유사한 기능을 수행해 왔다. 각 연구협의회 장들이 모인 이사회에서 연구비 지원 방향을 결정한다.

Innovate UK는 혁신적인 연구와 산학연 협력을 지원한다. 연협의회 (Research Council)이 주로 대학의 연구를 지원한다면 Innovate UK는 연구결과의 실용화와 산학협력 연구 지원에 중점을 두고 있다. 연구결과를 어떻게 상용화하고 기업에 기술을 이전하는가에 정책의 초점이 맞추어져 있다. 기업 혁신에 다양한 기금을 지원해 오고 있으며, Innovate UK 산하에 있는 TSB(Technology Strategy Board)는 기업과 50:50의 매칭을 통해서 산학협력 연구자금을 지원하고 이들을 관리하는 업무를 추진한다.

Innovate UK 산하에는 지식을 확산하기 위한 조직으로 Knowledge Transfer

Network(KTN) [34]을 주식회사 형태로 설립하여 운영하고 있다. KTN은 산학연의 전문가들이 세미나 등을 통해 지식 네트워크를 구성하도록 도와주는 기능을 하고 있다. 지역별로, 분야별로 지식 네트워크를 조직할 수 있도록 하며, 정부 자금 지원을 위한 기회와 연계할 수 있도록 하고 있다.

Research England는 UKRI가 설립되면서 기존의 고등교육기관의 연구 지원을 하던 기능을 통합하면서 별도로 설립한 기관이다. 영국의 이중 자금 지원(Dual System) 정책에 따라, Research England는 블록 교부금 즉 성과에 대한 보조금 형태로 지급된다. 이는 Research Council의 연구 과제별 지원과 함께 이중 자금 지원을 이루게 된다. Research England는 블록 교부금을 통해 고등교육기관의 연구기반 및 시설 지원, 획기적 연구를 가능하게 지원하는 것을 목적으로 한다. 이들 지원금은 질적 평가에 의해 결정되고 개관적인 질적 평가 결과를 반영하여 자원을 배분한다.

< UK Research and Innovation 조직 운영도 >



1.2 영국 정부의 주요 연구개발 지원 방향

영국 정부는 연구개발 및 혁신관련 조직을 대대적으로 정비하여 연구개발과 혁신을 일원화하였다. 그리고 세계적인 과학기술 경쟁력을 유지하겠다는 영국 정부의 방향을 주요 연구사업에 반영하고 있다. 이들 주요 연구사업에 대한 조사는 미래에 대비하는 영국 정부 연구개발 및 혁신 방향을 알 수 있고, 국내 미래 대비 연구에도 참고가 될 것이다.

UKRI을 중심으로 영국 정부의 연구개발 사업은 첨단기술과 산업의 결합을 통한 미래 유망산업 육성, 학제 간 융합 연구 강화, 글로벌 연구협력 지향 등으로 요약할 수 있다.

첨단기술과 산업의 결합을 통한 미래 유망산업 육성

영국 정부는 영국 경제를 변화시켜 미래 사회에 적합한 영국으로 전환하기 위한 장기 산업전략을 추진하고 있다. 이를 지원하기 위해서 연구개발이 핵심적인 역할이 필요하고 이를 위한 연구개발 지원을 추진하고 있다. 기계획의 일환으로 현대 산업 전략을 시작했다.

UKRI은 중장기적 전략 실현을 위해 미래 산업에 필요한 5가지 생산 요소에 대한 연구개발의 역할에 대해서 제시하고 있다. 먼저, 2027년까지 총 연구 및 개발 투자를 GDP의 2.4 %로 끌어 올리고 혁신적인 가치 창출을 위해 산업전략 챌린지 프로그램에 725백만 파운드를 투자한다. 그리고 세계 최고의 과학기술 교육 시스템을 구축하기 위해 수학, 디지털 및 과학 교육에 406백만 파운드를 투자한다. 또한 전기자동차를 위한 충전 인프라에 400백만 파운드, 5G 등 디지털 인프라 향상을 위해 10억 파운드 등 국가 인프라에 투자 한다. 비즈니스 환경의 변화를 위해 생명과학, 건설, 인공지능(AI) 및 자동차 분야의 생산성 향상 지원하고 중소기업의 성장전략에 대한 전면적으로 검토를 시작한다.

이를 위한 대표적인 연구개발 사업이 산업전략 챌린지 기금(Industrial

Strategy Challenge Fund) [32]이다. 동 연구사업은 영국 과학 및 비즈니스를 강화하기 위해 4년 동안 47억 파운드의 연구 개발비를 지원하겠다는 정부의 공약에 핵심적인 역할을 한다. 세계 최대의 산업 및 사회 문제를 해결하기 위해 세계를 선도하는 연구 기반과 고도로 혁신적인 사업에 투자 하는 것을 목표로 하고 있다.

영국이 미래에 도전해야 할 과제를 선정하고 산업계에서 참여하도록 하고 있다. 이들 과제들은 영국이 세계 최고의 연구 및 비즈니스를 보유하고 있고 세계 시장은 크거나 빠르게 성장하는 분야들이다.

<미래 도전 분야 (예시) >

Audience of the future, Creative industries clusters, Driverless cars, Faraday battery challenge, From data to early diagnosis and precision medicine, Healthy ageing, Leading-edge healthcare, Manufacturing and future materials, Next generation services, Prospering from the energy revolution, Robots for a safer world, Quantum technologies, Transforming construction, Transforming food production

글로벌 연구개발 협력 강화

영국 정부는 신산업 분야에서 세계적 리더가 될 수 있도록 국제협력을 통해 국가간 파트너십을 강화한다는 계획이다. 이러한 국제협력은 두 가지의 큰 방향을 가지고 있다. 미래 신산업에 대한 국제 협력 강화 개발도상국과 사회문제 협력연구를 강화한다는 것이다.

BEIS 장관은 2019년 5월 연구개발 및 혁신 분야에서의 국제 협력을 지원하는 국제기구인 EUREKA 혁신장관회의에서 첨단분야 국제협력에 4백만 파운드의 협력 기금 지원을 발표하였다. 이번 기금에는 싱가포르, 네덜란드와 의료와 첨단생산기술에 대한 협력, 오스트리아, 캐나다, 한국 등 인공지능과 양자기술에 협력을 포함하고 있다.

이와 함께 글로벌챌린지연구기금(Global Challenges Research Fund) [33]을

통해 개발도상국이 직면 한 과제를 해결하는 첨단 연구를 지원하는 15억 파운드의 기금 지원하고 있다. 2015년에 신설한 글로벌챌린지연구기금은 도전적이고 다학제적 성격의 연구를 지원하며, 기존에 국제협력 연구에 참여하지 않았더라도 세계적 문제를 해결하는데 활용이 가능한 지식을 가진 연구자들의 적극적인 참여를 장려한다.

글로벌챌린지연구기금은 하나 이상의 특정 연구협의회로부터 조성되는 집단 기금으로 대규모의 학제 간 연구를 중점 지원한다. 이들 연구과제는 연구의 우수성과 세계 최고 수준의 국제 개발을 하나로 모으기 위한 가장 중요한 틀을 제공하는 목표에 따라 세계가 직면한 문제에 대한 해결이 전제되어야 한다. 이에 따라 3가지 목표가 제시되고 있다.

〈 글로벌챌린지연구의 목표와 지원분야 〉

목표	지원 분야
지속가능한 개발에 균등한 접근	지속 가능한 해양 자원과 농업, 지속 가능한 건강 및 복지, 포괄적이고 평등 한 양질의 교육, 깨끗한 공기, 물 및 위생, 저렴하고 안정적이며 지속 가능한 에너지 등
지속가능한 경제와 사회	지속 가능한 생태계 유지, 환경 변화에 대한 탄력성과 행동, 지속 가능한 도시와 지역 사회, 지속 가능한 생산 및 자원의 소비 등
인권, 좋은 정부, 사회정의	강제 이주와 난민 갈등 해결, 빈곤과 불평등 해소, 그리고 개발도상국의 지속전인 문제 해결 등 지원

학제 간 우수연구 지원(Cross-organisational themes and programmes)

영국정부는 첨단 기술을 산업에 접목하는 산업혁신을 위해 산업전략 챌린지 기금을 지원하고, 국제협력을 강화하는 글로벌챌린지연구기금을 지원하고 있다. 이러한 과제들은 한 연구분야에서 해결하기 보다 다양한 분야의 연구자들이 협력하여 해결해야 한다는 점을 강조하고

있다. 특히, 10년 20년 후 미래 문제를 해결을 위해서는 사회와 융합하고 학제 간 연구가 활성화되어야 한다는 점을 강조한다. 이를 위해 영국 정부는 학제 간 우수연구 지원을 강조하고 있다[35].

영국 정부는 연구 및 혁신의 최첨단에서 연구자와 기업이 선정한 우선 순위에 따라 자금이 지원하고 있다. 우선 추진할 종합적인 다학제 분야는 디지털 경제, 에너지, 세계 식량 안보, 항균제 저항성, 기술의 삶과 결합, 도시 생활 파트너십 등 지식과 숙련된 인력의 측면에서 중요하며 경제적 영향을 줄 수 있는 잠재력이 있는 분야를 선정하였다. UKRI를 통해 프로그램의 효과적인 조정을 통해 연구개발의 혜택 및 경제적 영향의 전달을 가속화할 것이라고 밝히고 있다. 이와 함께 이전에 투자된 평생 건강과 복지, 환경 변화와 공동 생활, 갈등, 범죄 및 보안 연구 등도 계속 지원하고 있다.

중장기 로드맵 작성 및 산학협력 강화

UKRI이 중심이 되어 연구 및 혁신 인프라 중장기 로드맵을 개발 중에 있다. 동 로드맵은 영국 정부와 대학에서 요청받아 수행하는 것으로 2027년까지 GDP의 2.4%를 R&D에 투자 의지를 담아 이러한 투자의 투자 전략, 투자 우선순위 등이 포함될 것으로 예상된다[36].

동 로드맵은 약 2030년까지 영국의 연구 및 혁신 인프라 로드맵을 작성하는 것을 목표로 하고 있다. 영국이 보유하고 있는 과학기술 인프라에 대한 분석, 연구에 대한 경제 및 사회의 미래 수요, 기술적 발전 등을 바탕으로 작성될 예정이며 2019년 하반기에 발표될 예정이다.

로드맵에서는 6개 세부 분야별(생명과학 및 건강, 환경, 에너지, 물리 및 공학, 사회과학 및 예술, 계산 및 디지털 인프라)로 작성될 예정이다. 동 작업을 책임지고 있는 UKRI는 기관 내의 자원을 넘어 전 영국의 자원을 어떻게 활용하고 발전시켜 나갈 것인가를 제시하는 것이라고 강조하고 있다.

이와 함께 산업계가 경쟁력을 가지고 혁신을 지속할 수 있도록 대학 등 연구기관과의 협력을 적극 장려하고 있다. 영국이 추구하는 산학협력은 국내 기업과의 협력을 넘어 세계 글로벌기업과의 협력을 통해 새로운 산업 기회를 찾는 것을 목표로 하고 있다.

Innovate UK를 통해서 별도의 혁신 펀드를 조성하여 분야별 혁신을 추진하는 기업에 지원하고 있으며, 연구개발이 이들 혁신의 핵심이 된다는 점을 강조하고 대학과 협력 연구를 강조하고 있다. 혁신 펀드의 지원에서도 각 연구협의회의 참여를 통해 연구개발과 혁신이 함께 가는 방향으로 지원하고 있다.

특히 Innovate UK는 Konfer라는 산학협력 파트너를 찾아주는 프로그램을 개발하여 사용을 장려하고 있다. 협력분야의 키워드를 넣으면, 관련 연구, 연구원, 시설 및 장비 등 연구 파트너가 될 수 있는 정보가 검색된다. Konfer에는 11만 9천명의 대학교수, 1만 5천 장비와 시설, 5만개의 공공 지원 연구 프로젝트에 접근하여 정보를 제공한다. 이러한 결과에 따른 산학협력은 Innovate UK를 통해 실질적으로 협력이 지원된다.

2. 연구개발 지원시스템 고도화

영국정부는 연구개발 지원시스템의 개선을 통해서 연구개발 효율성을 높이고 있다. 연구개발 지원시스템은 사용자인 연구자들이 전국적으로 분산되어 있어 정보시스템의 개선으로 귀결되고 있다. 연구자들과 연구지원기관 간의 원활한 정보소통을 통해서 연구개발의 효율성을 높이려는 것이다. 국내에서도 이들 시스템을 벤치마킹할 수 있어 조사결과를 동 보고서에 포함한다.

2.1 Gateway to Research (정부 연구성과 공개) [37]

영국정부는 공공기관에서 지원하는 연구프로젝트에 대한 정보와 연구성과를 검색할 수 있는 연구개발 과제에 대한 정보시스템을 구축하였다.

동 시스템은 현재 진행되는 연구과제 뿐만 아니라 과거에 수행한 연구과제에 대한 정보도 포함하고 있다. 연구개발의 성과를 활용하거나 특정 분야의 전문가를 찾는 중소기업이나, 학술적 연구를 수행하는 연구자들에게 유용한 연구개발 정보를 체계적으로 전달하여 연구개발 효율성을 높이고자 개발되었다. 검색된 개별 프로젝트는 전체 연구내용(요약), 참여기관, 참여연구원을 자세하게 기술하여 전문기관과 연구원에 연락이 가능하도록 하였고, 이들이 수행한 연구과제에 대한 검색도 가능하게 되어있다.

동 시스템은 프로젝트 정보(목적, 지원기관, 지원기간, 지원금액 등), 참여연구기관, 참여연구원, 논문실적 (원문 사이트 연결) 등 프로젝트에 대한 제반 정보를 포함하고 있다. 부가적인 정보로 프로젝트 상황(진행중, 종료), 펀딩 규모, 지역, 지원기관, 시작 연도 등도 분류하여 제공한다. 이들 자료는 GTR, GTR-2로 명명된 두개의 API를 제공된다. 동 시스템은 프로그램 정보에 대해 웹사이트(gtr.ukri.org), API(Application Programming Interface) 등을 통해 접근이 가능하다.

동 시스템에 의무적으로 포함되어야 하는 연구과제는 다음 기관에서 지원을 받아 수행하는 연구과제이다. 동 연구과제에 참여하는 연구책임자는 필요한 정보를 제공할 의무가 있다.

< Gateway to Research의 정보에 포함되는 기관 >

- Arts and Humanities Research Council (AHRC)
 - Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC)
 - Economic and Social Research Council (ESRC)
 - Engineering and Physical Sciences Research (EPSRC)
 - Medical Research Council (MRC)
 - Natural Environment Research Council (NERC)
 - Science and Technology Facilities Council (STFC)
 - Innovate UK
 - National Centre for the Replacement, Refinement and Reduction of Animals in Research (NC3Rs)
-

2.2 Researchfish (연구개발 정보 취합, 민간활용) [38]

Gateway to Research가 연구정보를 국민들에게 알려주는 서비스라면, Researchfish는 연구정보를 수집하고 분석하는 정보시스템이다. 영국 정부가 지원하는 연구개발과제 창출되는 연구성과물을 추적하여 연구지원의 영향을 분석하는 시스템이다.

동 시스템은 2007년 영국의 의료분야 연구비 지원기관인 MRC (Medical Research Council)에서 민간 전문가들과 연구성과를 추적하는 시스템을 개발하면서 시작되었다. 개발된 시스템을 바탕으로 Researchfish라는 민간 회사가 설립되어 운영 중이며, 2014년 이후에는 영국의 7개 연구지원기관(Research Council)을 비롯하여 영국의 100개 이상의 연구자금 지원기관에서 사용하고 있다. 최근에는 북미 및 유럽 등으로 서비스를 확대하고 있으며, 대학 등 연구수행 기관들도 기관의 연구성과를 측정하기 위해 가입하여 그 결과를 활용 중이다.

영국의 연구자금지원기관에서는 연구자금을 지원받은 연구기관들이 연구성과물을 Researchfish에 등록을 의무화하고 이들 결과를 바탕으로 연구계획 수립, 연구결과물의 국민공개 등을 수행하고 있다. 특히, 영국에서 수행되는 공공 연구과제는 Researchfish에 등록되고, 이들 정보는 GtR(Gateway to Research)로 이동하여 국민들에게 공개되고 있다.

또한 이들 정보를 활용해서 연구개발 효율성 분석 자료로 활용하고 있다. 2013년 이후 수집된 정보를 바탕으로 연구개발의 성과 및 사회적 영향을 분석한 보고서가 100개가 넘고 있다. 이들 성과분석 보고서는 어떻게 성공적으로 연구를 수행하고 연구결과를 지역 및 민간에 적용되었는지에 대한 연구성과 요인들을 분석과 연구기관과 연구원에게 피드백하는 기능을 수행하고 있다. 그리고 공개되지 않지만, 개별 대학 및 연구기관 자체적으로도 연구성과 정보를 활용하여 연구개발의 효율성 향상 방안을 마련하고 있는 것으로 알려져 있다.

각 대학, 연구소 등 공공 연구자금을 지원받는 기관들은 소속 연구원들에게 Researchfish에 자료 입력을 기한 내에 수행할 수 지원하고 있다. 연구책임자는 연구과제를 수주하면, 최대한 빠른 시일 내에 연구과제의 기본 정보를 입력하고, 성과는 매년 단위로 입력한다. 그리고 그 성과입력은 연구사업이 끝난 후, 5년간 지속된다. Researchfish에 연구정보와 성과 정보를 입력하는 6단계의 절차는 다음과 같다.

1. 영국 공공기관의 연구과제를 수주한 연구책임자는 Researchfish에 가입하도록 안내하는 안내 메일을 받는다.
2. 연구책임자는 연구과제와 연구단의 연구원에 대한 정보를 입력한다
3. 연구책임자는 연구가 시작되는 시점부터 매년 20여개로 세분화된 연구결과에 해당하는 연구결과를 등록하게 된다.
4. 등록된 연구성과물을 개인의 연구성과물로 등록여부를 결정하여 입력한다.
5. 연구지원기관의 정보 취합을 위한 기타 질문에 답변한다.(예시: 동물실험 여부, 주요 성과 기입 등)
6. 정해진 기간 내에 성과물 등록을 마친다.

그러나, 연구개발 정보를 수집하는 과정에서 연구자들이 연구결과를 Researchfish에 입력하는 것이 연구원들에게 행정부담이 된다는 점이 부각되고 있다. 이러한 행정부담은 부실한 자료의 수집으로 이어지게 될 수 있어 심각해 질 수 있다. 이에 연구자들이 보다 손쉽게 연구결과를 Researchfish에 등록할 수 있도록 시범사업을 진행하고 있으며, 이들 시범사업의 결과가 전 연구기관에 적용될 예정이다.

2.3 Konfer (산학협력 프로그램) [39]

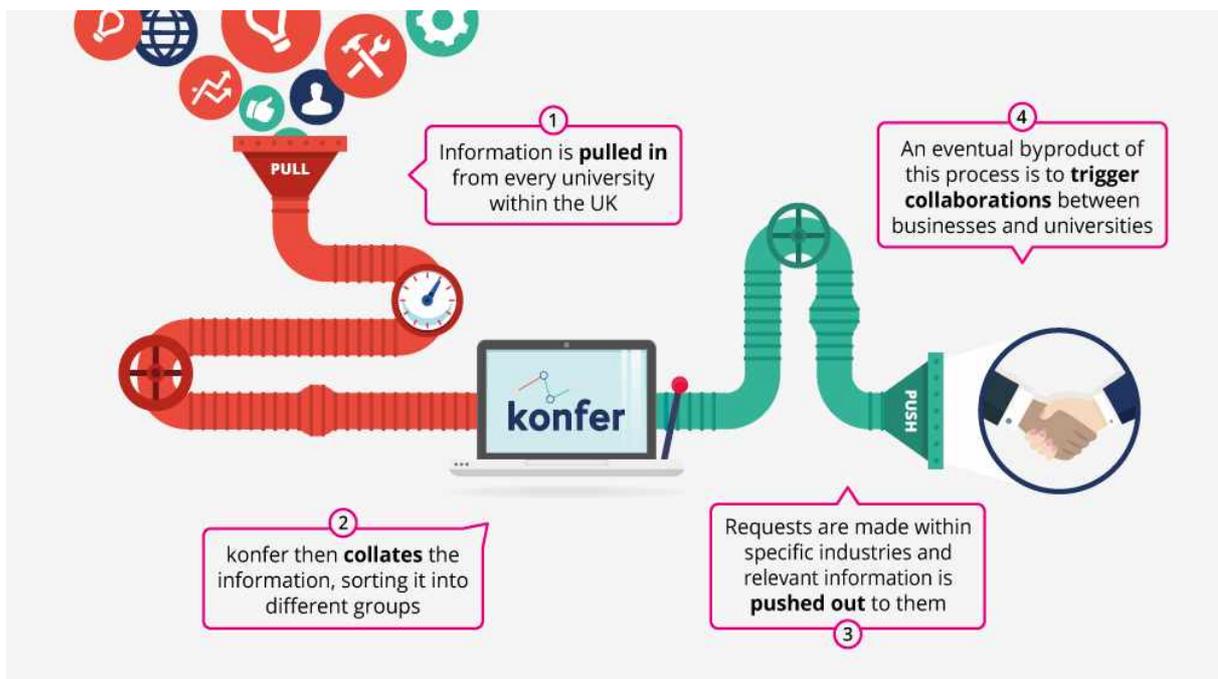
영국 정부에서는 산학연 협력을 활성화하기 위해서 Konfer라는 정보 시스템을 개발하여 사용을 장려하고 있다. 동 시스템은 “손끝(Fingertip)에서 혁신을 중개한다” 는 슬로건으로 산학연 연구개발 협력에 필요한 모든 정보를 제공하고 있다. 동 프로그램은 UKRI를 중심으로 영국의 연구지원기관들이 협력하여 개발하였다.

Konfer는 산학연 협력을 위해 영국의 대학, 연구기관 등의 연구원, 연구 과제, 장비, 서비스 등 연구협력에 필요한 자원을 검색하고, 이들을 연결해 주기 위해 개발되었다. 전문가, 연구자금, 연구과제, 장비, 협력, 기관, 대학 등으로 구분되어 있는 홈페이지에서 전문가에서 장비 등 모든 필요한 연구협력 자원을 검색할 수 있다. 그리고 전문가 검색되면 직접 연결 요청을 할 있다.

최근에는 업그레이드된 새로운 버전의 Konfer가 본격 서비스에 들어갔다. 최신 기계학습 및 자연어 처리 기술을 사용하여 보다 쉽게 연구, 전문가, 장비 등을 검색할 수 있게 개발되었다. 그리고 주제 및 개념 분석이 통합되어 검색 대상에 대해 고유한 검색을 사용할 수 있게 되었으며, 사용자 편의가 향상된 검색환경으로 바뀌었다.

동 프로그램은 영국 정부가 보유한 Gateway to Research (GtR), Innovate UK 최신 펀딩 정보, 대학 등의 RSS feeds, ORCID 등의 다양한 연구정보를 활용하여 시스템을 구축했다. 현재 Konfer에는 11만 9천명의 대학교수, 1만 5천 장비와 시설, 5만개의 공공 지원 연구 프로젝트에 접근하여 정보를 제공하고 있다.

< Konfer 개념도 >



2.4 equipment.data (연구장비 정보 제공 시스템) [40]

영국 정부는 대학의 연구 장비를 공동 활용하는 시스템인 equipment.data를 운영하고 있다. 영국 연구지원기관의 하나인 EPSRC(Engineering and Physical Sciences Research Council)에서 자금을 지원하여 개발하였다. 영국 내 연구 장비를 등록하여 필요한 사용자와 연결하여 연구장비의 사용 효율성을 높이려는 목적으로 개발하여 운영하고 있다. 동 프로젝트는 영국 정부의 데이터 개방 정책의 하나로 진행되고 있으며, 보다 많은 연구정보들을 개발하여 공개하는 정책을 추진 중이다.

동 시스템에선 제공 장비에 대한 사용 권한을 3개의 단위로 나누어 손쉽게 장비 사용 상태를 검색 가능토록 등록시키고 있다. 사용권한은 Gold, Silver, Bronze로 구분하고 연구기관, 대학 등 개별 기관별 검색 기능을 부여하여 각 기관내의 활용 장비를 검색 가능토록 지원 있다.

3. 영국의 민간 연구개발 투자의 간접 지원

영국 정부는 직접적인 연구개발 지원과 더불어 창출된 지식의 적극적인 활용을 촉진하기 위해서 다양한 연구개발 세제지원책을 추진하고 있다. 대표적인 연구개발 세제혜택은 연구개발 비용에 대한 세액 감면과 영국의 독특한 특허박스(Patent Box)제도 이다.

3.1 기업의 연구개발 비용에 대한 세액 감면 [41]

영국 정부는 과학기술 혁신을 위한 연구개발에 투자하는 기업들에 세액 감면으로 지원하고 있다. 세액 공제 대상은 해당 분야에서 기술적 진보를 위해 행해진 연구개발비용이다. 프로젝트에 실패하더라도 세액감면을 신청할 수 있다.

영국 정부는 2000년에 과학기술을 장려하는 기술혁신 계획의 일환으로 연구개발비용에 대한 법인세 감면을 실시해 오고 있다. 처음 도입 시

에는 법인세 인하 혜택을 주었으나, 2003년부터 연구센터 현지 설치 등 R&D 활동을 명확히 비용으로 추계하여 세액감면을 신청할 수 있도록 변경되었다. 세액감면은 모두 연구개발 과제에 소요된 비용의 12%까지 신청할 수 있다. 이는 2018년 1월부터 기존의 11%에서 1% 증가한 결과이다.

중소기업에 대해서는 중소기업을 위한 별도의 연구개발 세액 감면을 운영하고 있다. 중소기업의 경우, 연구개발 비용의 230%까지 세액 감면을 해 준다. 여기에서 230%는 일반적인 비용의 세액 감면 100%와 130% 추가 감면을 해 주는 것이다. 이 중소기업에 대한 R&D 세액 감면제도는 종업원 500명 이하, 매출액 1억 유로 이하 기업에 대해 적용된다.

세제혜택을 받는 연구개발 과제는 비즈니스와 관련된 과학기술 분야에만 한정하고 있다. 따라서 사회과학이나 수학 등 순수 학문을 진흥하는 목적의 연구과제는 대상이 되지 않는다. 그리고 연구개발과제는 전문가들에 의해서 쉽게 개선되는 것이 아니라 불확실성을 과학기술적으로 극복하는 과제를 말한다. 그리고 그 분야는 주로 공정혁신, 제품개선, 서비스 혁신 등에 관한 연구과제가 된다. 기업의 연구개발 목적에 맞게 타 경쟁 회사에서 개발하였더라도 일반에게 공개된 내용이 아니며 대상 과제로 가능하다.

기업들은 세제혜택을 받기 위해서 연구과제가 다음의 요소를 가지다고 제시하여야 한다. 먼저 첨단성을 제시하여야 한다. 연구과제의 목적이 해당 분야에서 전반적인 기술적 발전을 추구하여야 하며, 일반에 공개되지 않은 기술개발이어야 한다. 이는 해당분야 전문가들이 동 문제를 해결하지 못한다는 것을 보여 주어야 한다는 것이다. 조사, 실험, 해석 등 연구개발 활동을 통해 어떻게 기술적인 불확실성을 극복하였는지를 설명하여야 한다.

대상이 되는 연구개발에 소요된 대상 비용도 정해져 있다. 세액 감면

을 받는 대상 비용은 연구개발 프로젝트에 대해서만 인정된다. 먼저 연구과제에 직접적으로 참여하는 인력의 인건비가 대상이다. 행정인력 등 간접 인력은 프로젝트에 직접적인 지원에만 인정되고 일반적인 유지 업무는 포함되지 않는다. 그리고 위탁과제의 참여자의 인건비는 65%만 인정된다. 그리고, 위탁과제 비용의 청구는 비영리기관(대학, 연구소 등)과 개인과의 계약에만 적용 가능하다. 재료비, 공공요금 등 소비재 비용은 공제가 가능하나, 제품 생산 및 유통, 자본비용, 토지비용, 특허 비용은 청구할 수 없다.

연구과제별로 세액 공제가 되는 부분은 국내 세액공제와 다른 운영 방식이다. 연구과제 중심의 세액 공제로 인해 연구과제가 시작되어 문제가 해결되기 전까지는 지속된다. 일반적으로 프로토타입의 제품이 생산 체계로 전환되면 감면 대상기간은 종료된다. 새로운 연구개발의 필요성으로 연구개발 과제를 시작하는 경우 다시 감면 대상기간이 재 시작된다.

최근 영국 과학아카데미, 영국 혁신 기업 등에서는 R&D 비용에 대한 지속적인 세제 혜택을 요청하고 있으며, 영국 정부에서도 이에 부응하여 2018년에 1%를 상향하여 세제혜택을 주는 것으로 결정한 바 있다.

3.2. 영국의 특허박스(Patent Box) 제도 [19]

영국의 특허박스 제도는 R&D 비용에 대한 감면과 더불어 기업들의 혁신을 견인하는 제도로 알려져 있다. 영국의 특허박스제도는 2013년 4월 1일 도입되었으며, 기업이 특허 수익에 대해서 법인세의 낮은 세율을 적용받는 것으로 법인세가 10%까지 낮아 질수 있는 것으로 조사되고 있다. 일반적인 영국에서 기업 법인세는 20% 수준이다.

특허박스 제도는 특허 수익에 대해서 낮은 과세에 부과하여 연구개발을 장려하는 제도이다. 법인세 신고서의 특허박스에 체크를 통해서 법인세 감면을 받아서 특허박스 제도로 불린다. 주로 아일랜드 1973년

도입된 이래 유럽 국가들에 시행되어 온 제도다.

특허박스 제도에서 구분되어야 하는 것은 특허에 의한 수입에 대한 감세를 할 때, 어떤 수익이 대상이냐는 것이다. 특허의 판매, 대여 등 특허 의해 직접적인 수익을 대상으로 하느냐, 아니면 특허를 활용한 제품에 대한 포괄적인 수익을 대상으로 하느냐이다. 대부분의 유럽 국가들은 특허의 직접적 수익에 대해서 법인세를 감면하여 그 효과가 제한적이다. 국내에서도 특허의 직접적 소득에 대해 소득세를 50% 감면해 주고 있다. 이와 달리 네덜란드, 벨기에, 영국 등에서 도입된 특허박스는 그 대상이 특허를 활용한 포괄적 수익을 대상으로 하는 것으로 그 혜택의 광범위하다.

영국은 특허의 상업화를 촉진하기 위해서 동 제도를 도입하면서, 기존의 특허를 활용해서 제조된 제품의 수익의 법인세 10%를 감액해 주는 것이다. 대상 기업은 영국에 법인세를 납부하는 기업으로 특허권을 소유하거나 독점적 라이선스를 취득하여 특허를 활용해서 이익을 창출하여야한다.

특허는 영국 지적재산권 사무국, 유럽 특허청, 유럽 지역 지정된 다른 국가들에서 라이선스를 취득한 특허에만 자격을 부여한다. 세액감면의 대상소득은 특허 제품 생산에서 특허권 판매까지 다양한 분야를 허용하고 있다. ① 특허 제품 판매(특허를 활용한 제품의 수익은 다 포함), ② 특허권 허가 및 판매 소득, ③ 침해 소득, 특허권과 관련된 손해, 보험 또는 기타 보상, ④ 특허 제조공정, 특허 도구를 활용한 서비스 등도 혜택의 대상이 된다.

특허박스가 영국 등에서 도입하면서, 독일 재무장관은 특허박스가 낮은 세금으로 기업들을 자국 내로 유인하기 위한 제도로 유럽 내에서 재평가되어야 한다고 주장하였다. 이에 유해 세계에 관한 OECD 포럼과 EU 행동 강령 그룹을 중심으로 제도 개선을 협의하였다.

향후에는 자국 내에서 연구 활동을 통해 창출된 특허에 한해서 특허박스 혜택을 주는 제도로 보완하고 있으며, 영국은 아직 개선된 제도를 발표하지 않고 있는 상황이다. 개선된 NEXUS 접근법을 EU 내에서 합의하였으며, 특허 생산 비용을 계산하는 것으로 어디에서 특허 활동이 얼마만큼 있었는지를 결정하는 것이다. 부 기업의 경우 특허박스에 의해 법인세 감면이 수 %에 이르는 것으로 알려져 있으나, 향후에는 감소될 가능성이 높은 것으로 예상되고 있다.

4. 연구자들에 대한 연구개발비 지원 현황

4.1 연구개발 지원 기관

영국의 연구개발비를 지원하는 기관은 정부 및 공공기관과 민간기업으로 크게 구분되면, 정부 및 공공기관에는 매우 다양한 지원이 존재 한다. 그 중에서 핵심적 역할을 수행하는 연구개발비 지원 기관을 살펴보겠다.

연구위원회(Research Councils)과 Research England

영국에는 분야별로 연구개발비를 지원하는 7개의 연구위원회(Research councils)로 구성되어 있다. 이들 연구위원회는 정부 연구비 지원의 핵심적 역할을 수행하고 있으며, 의학 및 생물 과학에서부터 천문학, 물리학, 화학, 공학, 사회 과학, 경제 및 예술 및 인문학에 이르는 연구에 연평균 약 2.8억 파운드를 투자하고 있다. 그리고 최근에 UkRI의 설립과 함께 이전된 Research England는 별도로 운영된다.

각 연구 분야별로 연구자금을 어떻게 배분할 것인지, 연구목표는 어떻게 설정할 것인지는 정부 및 이해관계자들과 협의하여 연구위원회 협의회가 동의한 우선 순위와 연구목표를 반영하여 연구자금을 지원한다. Department for Business, Innovation and Skills (DBIS)가 7개의 연구위원회가 연구자금의 배정 활동을 하도록 지원한 책임을 가지고 있다.

연구 자선단체

영국의 연구자선 단체의 주요 목적은 공공재에 이익이 되는 지식을 창출하는 것이다. 자선 단체는 연구위원회와 정부 부처의 목표를 보완하는 중요한 독립적인 연구 자금을 제공한다. 이는 연구비가 정부와 기업 연구비로 크게 구분되는 국내와 다른 점이다. 영국에는 다양한 목적을 다루는 수백 개의 연구기금 자선 단체가 있으며, 자선 단체의 법률에 따라 자선기금 사용에 대한 특정 의무와 제한 사항을 준수해야 한다.

왕립학회(The Royal Society), 영국 학술원(The British Academy), 왕립 공학회(Royal Academy of Engineering) 등 민간기관이지만, 정부의 지원을 받는 기관이 있다. 이들은 독립성을 가지고 우수 인력 양성 차원에서 다양한 연구비를 지원하고 있다. 예를 들어 영국 왕립학회(The Royal Society)는 독립적인 과학단체로서, 박사후 과정에서 고등 교수까지 과학자들의 연구 활동을 독자적으로 지원한다. 특정 연구주제에 대한 지원을 중점적으로 하는 연구위원회와 달리 우수한 연구자 및 학생들을 지원하고 다양한 연구문화와 관련된 활동을 지원한다.

이와 함께 순수한 민간의 기부로 이루어진 자선단체들도 다양한 연구개발을 지원한다. 대부분 자선단체의 설립 목적에 맞는 분야의 연구개발을 지원한다. 예를 들어, 의학연구 자선단체(AMRC)는 의료 및 건강 연구를 지원하는 주요 영국 자선 단체의 회원 단체이며, 질병 연구에 다양한 연구에 자금을 지원하며, 소액 연구기금(small pump-priming grants)에서 대규모 연구 프로그램에 이르기까지 다양한 기금을 제공한다. 특히, 웰컴재단 (The Wellcome Trust)은 Wellcome 경이 설립한 자선 재단이며 의학은 연구개발에 의해 실현된다는 설립 취지를 지키며, 다양한 연구개발 과제를 지원하고 있다. 이 재단은 2018년에 256억 파운드의 투자재원 가지고 있으며, 향후 5년간 50억 파운드를 지원할 계획을 가지고 있다.

다양한 정부부처 연구자금

다수의 정부 부처가 다양한 연구 활동에 상당한 자금을 지원한다. 대규모 정부 연구개발비를 지원하는 UKRI과 소속 7개 연구협의회, Research England 외에 다수 정부 부처가 연구비를 지원한다. 이들 정부 부처들은 기초연구 보다는 정부부처의 현안 문제 및 특화된 프로그램을 운영한다. 다만, 대부분의 정부기관들은 연구목적을 정한 후, 연구과제 선정 등은 각 연구협회에 위임하는 경우가 대부분이다.

유럽 집행부(European Commission)

유럽집행부에서 집행하는 연구비는 참여국의 다양한 참여 기회를 제공하는 Horizon 2020(2014-2020)을 통해 이루어진다. UKRO(UK Research Office)는 Horizon 2020에 영국 연구자들이 효과적으로 참여할 수 있도록 만들어진 영국의 정보 제공 및 자문 서비스 기관이다. UKRO를 통해서 효과적으로 유럽위원회의 자금 지원을 받는 연구 프로그램 및 고등 교육 프로그램에 참여가 가능하고 연구자금을 지원받을 수 있다. 다만, 현재 브렉시트 협상이 진행되고 있어, 브렉시트로 인해 영국 대학과 연구기관이 유럽의 대형 연구사업에 참여할 수 없는 것에 대해 공개적으로 우려를 표명하고 있다.

민간기업의 연구자금

민간 기업에서 다양한 연구 활동자금이 지원된다. 민간기업의 자금은 산학협력을 기반으로 하고 있으며, 기업과 협상을 통해서 연구목표와 지원이 결정된다. 민간기업의 많은 연구과제는 정부의 보조를 받는 프로그램이 많으며, 이들 연구과제는 대학의 참여를 의무화하고 있어, 보다 많은 연구에 참여 기회가 제공된다.

민간기업과의 산학 연구활동은 지적 재산권의 소유권에 대한 문제, 연

구결과의 공개 등에 대한 상호 계약과 제약이 있을 수 있다. 때문에 대학에서는 민간기업과의 산학 연구계약을 전문적으로 지원하는 전문 그룹을 두기도 한다.

4.2 연구개발 서비스 현황

앞서 서술한 바와 같이 연구비의 출처가 다양하다. 연구비를 확보하고자 하는 연구원은 이들 자급에 대한 정보를 확인에서 연구비 신청서 작성, 결과의 확인 등 연구비 확보의 행정적 부담이 많다. 이를 해결하기 위해서 영국에서는 다양한 서비스들이 등장하고 있다. 영국 정부의 노력과 함께 연구개발 민간 서비스의 확산도 주목되는 부분이다.

공공 연구개발 지원기관의 통합적인 연구개발 정보 제공

7개 연구위원회(Research Councils), Research England 등 UKRI 산하 기관들에서 지원되는 연구과제에 대한 정보는 UKRI 홈페이지에서 통합적으로 정보를 제공한다. 현재 진행되고 있는 연구과제 공모에 대해 통합적으로 정보를 알려주고 자세한 사항은 개별 연구위원회의 공모 홈페이지로 연결되어 있다. UKRI는 연구과제 정보에 대한 게이트웨이 역할을 수행하는 것이다.

그러나, 자선단체, EU 국제기구 등에서 지원하는 연구과제가 많기 때문에 연구위원회의 통합적 정보제공으로 전체적 연구과제 공모 현황을 파악하기 힘들다. 또한 검색 기능이나 추가적인 정보 등에 대한 제공 등 기능의 한계도 존재한다. 이러한 이유로 대부분의 대학들은 소속 연구원들에게 유료로 제공되는 연구개발 서비스업체를 이용하도록 지원하고 있다.

연구개발 서비스 제공업체 활성화

영국의 대학 및 연구기관에서는 연구비 신청, 연구비용에 대한 세금 감면 신청 등을 지원하는 다양한 서비스 업체들을 활용한다. 이들은 유료

로 일정한 비용을 지불하고 서비스를 활용하는 것이다. 공공기관, 자선 단체 등 대부분의 연구개발 과제를 지원하는 기관에서도 우수한 연구 과제를 지원하기 위해서 이들 업체에 과제 공모 등의 정보를 공개하고 있다. Research professional, MSC R&D, Grant tree 등의 컨설팅 회사가 대학, 기업 등과 계약을 맺고 연구비 관련 행정 지원을 하고 있다.

그 중 가장 대표적인 연구개발 서비스인 Research professional[42]을 중심으로 운영현황을 기술한다. 동 훈련생은 옥스퍼드대학에서 제공하는 Research professional 사용에 대한 무료 교육을 이수하였으며, 옥스퍼드 대학은 Research professional과 유료 서비스 계약을 맺고 소속 교수, 연구원들이 Research professional을 활용하도록 하고 있다. 현재, 영국 대학 및 연구기관의 95% 이상이 Research professional에 가입되어 있는 것으로 알려져 있다.

Research professional은 신규과제 정보, 직업 정보, 연구개발 정책 등 연구개발과 관련된 다양한 정보를 제공한다. 초창기에는 Research Fortnight이라는 전문적인 연구정책과 연구자금에 대한 독립적 신문으로 운용되었으나, Research professional이라는 연구비 데이터베이스 제공하는 온라인 서비스로 발전한 것이다. 동 사이트에서는 각 분야별 연구비에 대한 정보를 검색할 수 있으며, 연구비에 대한 정책, 연구 프로젝트에 대한 노하우 공유 등 연구와 관련된 다양한 정보들도 종합적으로 파악할 수 있다. 그리고 각 프로젝트는 어떤 내용으로 공고되었으며, 공고 일정, 각 과제별 펀딩 규모 등이 상세하게 기술되어 있다. 과제 공모 담당자가 기재되어 있어 필요한 경우 문의와 의견을 낼 수도 있도록 되어 있다.

관련된 과제에 대해서 연구제안서를 작성하기 시작하면, 이미 연구프로젝트를 진행한 경험이 있는 연구자의 경우 자동으로 연구자 정보가 인식되어 별도의 개인정보를 추가로 등록할 필요가 없다고 한다. 그리고 연구제안서가 마무리 될 때까지 필요한 도움을 요청할 수 있도록 대학 및 연구기관과 계약이 되어 있어, 적절한 도움을 받을 수도 있다.

알림기능을 가지고 있어 신규 연구과제 공모 등에 대한 정보를 e-mail로 전달해 주고 연구원 직업에 대한 공고도 전달 해 준다. 그리고 소속된 대학, 연구기관 단위의 네트워크 연결, 연구주제에 대한 검색결과 공유 등의 부가 서비스도 제공한다.

< Research Professional 제공 웹사이트 >

*** Research Professional** University of Oxford Register Log in

News Funding Awards Our Institution Help Articles Opportunities Search Go

Opportunities Advanced Search

Search

[How to set up email alerts](#) [Tips to fine tune your searches and alerts](#)

Please log in to see your profile

Edition
UK edition ▼

Funding

Opportunity profile: Providing support to tackle thorny problems

The Rosetrees Trust may be a small biomedical research funder but its budget is growing, and so is its ambition, as Vineeth Rajkumar, research and communications officer

News



Politics

'We cannot afford to wait for Augar,' says Marsden

IV. 옥스퍼드 대학의 연구개발 혁신 지원

옥스퍼드의 산학협력사례를 기술하기 전에 옥스퍼드 대학에서 수행하고 있는 성공적인 연구개발 혁신제도를 먼저 소개한다. 먼저 미래 예측 연구와 연구개발의 연계 전략이다. 연구개발의 중장기적 발전방향 제시가 연구개발 정책에 중요한 요소라고 많은 연구자들이 주장하고 있다. 이러한 중장기적 방향제시의 좋은 사례로 마틴연구소를 중심으로 한 미래예측 연구를 통한 연구개발 방향 제시이다. 또한 대학의 기술이전을 모델로 잘 알려진 기술이전에 대한 대학의 정책을 소개한다.

1. 미래 예측연구와 연구개발 연계

옥스퍼드 대학의 과학기술 혁신 지원정책들은 방향성을 가지고 혁신을 지원하는 특성을 지니고 있다. 먼저 어떤 분야에서 무엇을 연구할 지에 대한 고민을 매우 체계적이고 심도있게 진행하고 있다. 미래사회에 대한 발전에 대한 고찰을 사회과학자들과 함께 고민하고 이를 바탕으로 과학기술적 연구를 수행한다. 그리고 과학기술 연구결과를 사회과학자들 및 일반 국민들에게 설명하고 사회제도 변화를 위해 무엇을 할 것인가에 대해서 함께 토의하는 형식이다.

이러한 활동을 지원하는 마틴연구소(Oxford Martine School)[43]를 중심으로 매주 토의를 진행하고 중장기적 미래 이슈에 대한 전문적 연구를 수행하고 있다. 마틴연구소의 활동과 지원은 매우 특별하고 미래 과학기술 연구방향 설정에 매우 중요한 제도이기 때문에 여기에서 소개할 예정이다.

옥스퍼드대학의 마틴연구소는 2005년 미래학자인 James Martin (1933-2013) 교수의 경제적 기여금으로 설립되었다. 동 연구소는 미래 나타날 도전적인 과제를 어떻게 해결해 나갈 것인가에 대한 연구를 통해 미래사회의 발전 방향을 제시하는 것을 주요 역할로 설정하고 있다. 이러한 역할의 설정에는 과학기술 발전 등으로 우리 사회가 빠르게 변

화하고 있고 그 전환기에 우리가 있다는 진단으로부터 시작되었다. 따라서 동 연구소의 미래 예측은 과학기술 연구와 밀접하게 연계되어 운영되고 있어, 과학기술 연구에 기여하는 역할은 지대하다.

옥스퍼드 마틴연구소는 전 세계 어느 대학에도 없는 독특한 형태의 연구기관으로, 옥스퍼드 대학을 비롯한 전 세계 200명이 넘는 석학들이 21세기의 가장 시급한 주제에 대한 연구를 진행하고 있다. 현재 20개 이상의 프로그램을 통해 식량, 의료, 에너지, 자원 등 과학기술의 핵심적 연구주제들에 대한 연구가 진행되고 있다.

옥스퍼드 마틴연구소에 주목할 점은 과학기술 연구개발에 있어서 제품 경쟁력에 향상을 통한 국가 경쟁력 제고에서 사회발전에 대한 과학기술 역할에 대한 이정표를 제시하는 것이다. 과학기술 연구가 단순한 사실의 발견이 아니라 우리의 미래사회가 무엇을 필요로 하고 무슨 문제를 해결해야 하는 지에 대한 심도 있는 연구와 토론을 통해 과학기술 연구가 나아가야 할 방향을 제시하는 것이다. 또한 과학기술 연구 결과들이 우리 사회를 어떻게 변화시키는가에 대한 연구를 통해 건강한 방향으로 미래발전이 될 수 있도록 유도하는 데에도 역할 수행하고 있다.

각 국가들은 과학기술에 대한 중장기적 계획을 세우고 이에 따라 연구개발을 지원하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 한정된 자원을 보다 효과적으로 지원하고자 하는 것이다. 그리고 과학기술의 성과가 사회에 적용될 수 있도록 다양한 노력도 기울이고 있다. 이러한 노력은 제 4차 산업혁명시대라는 과학기술 성과의 사회적 확산에 대비하고자 하는 것이다.

이러한 중장기적 계획과 연구 성과의 사회적응에 효과적으로 대응하는 것이 각 국가들이 고민하는 것이다. OECD에서도 디지털화 사회, 거대 과학기술 실증모델 등의 연구를 통해 과학기술의 사회적 수용성 강화와 사회적응을 위한 새로운 모델을 만들려고 하고 있다. 그러나, 이러

한 노력이 가시적인 성과를 내지 못하고 있는 것은 과학기술 연구자들이 미래 사회가 필요로 하는 수요에 대한 지식이 부족하기 때문이다. 과학기술 연구자들이 과학연구와 더불어 사회에 대한 연구를 동시에 병행하기 어렵기 때문이다. 이러한 부족한 부분을 옥스퍼드 마틴연구소가 보완해 주고 있다.

옥스퍼드 마틴연구소에서 연구하는 주제는 대부분 과학기술과 매우 밀접한 과제들이다. 현재 진행 중인 연구과제(예시) 들은 다음과 같다.

① Affordable Medicines : 현재 개발되고 있는 제약들은 대규모 개발 비용이 투자되고 실패율이 높아, 약값이 높아 필요한 제약을 공급받지 못하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 보다 개발비용이 적게 들과 성공률이 높은 신약을 개발할 수 있는 신약개발 혁신 모델을 구축하기 위해 신약개발자, 기업인, 대학 연구진들이 연구를 진행

② Carbon investment : 대기 중 이산화탄소의 지속적인 축적을 완화하기 위한 기술 개발과 사회제도 연구를 통해 지구 온난화에 대응하고 미래 청정에너지 개발과 에너지 시스템 변화 연구

③ Collective Responsibility for Infectious Disease : 미래의 전염병 확산, 항균성 미생물 저항성, 백신 거부 등 인류의 위협이 되는 질병과 전염병에 선제적으로 대응하기 위한 과학기술 연구와 사회 제도 연구

④ Global Cyber Security Capacity Centre : 효율적이고 효과적인 사이버 보안 역량 구축에 대한 연구를 위한 선도적인 국제 센터로서 전세계의 사이버 보안 역량 강화 이니셔티브의 규모, 속도, 품질 및 영향력 증대를 촉진하는 연구 수행

미래에 대한 예측을 통해서 선정된 핵심적인 도전과제에 대해 과학기술 연구 지원과 더불어 사회제도 변화에 대한 연구를 동시에 진행하는 것이 마틴연구소의 연구 방식이다. 그리고 이러한 연구의 성과를 대중

들과 공유하기 위해서 매주 각 연구주제별로 전문가 강연을 열고 다양한 전문가들과 토론을 진행한다. 강연 및 토론 내용은 홈페이지에 게재하여 미래 사회변화와 과학기술 발전에 대한 지식을 확산하고 공유하는 시스템을 갖추고 있다.

제 4차 산업혁명시대에는 과학기술이 사회에 확산되고 제도화될 때 일반 시민, 우리 사회가 수용하는 방식으로 혁신이 진행된다. 따라서 옥스퍼드의 마틴연구소는 이러한 전략적 기능을 잘 수행하고 있으며, 이는 옥스퍼드 대학의 연구자들이 어떤 연구를 진행할 것인가에 대한 방향을 제시해 주어 연구효율성을 높이는 데 큰 기여를 하고 있다.

2. Oxford 연구혁신 및 성과 확산

옥스퍼드 대학은 연구성과의 확산을 위해서 이원화된 구조를 가지고 있다. 각 단과대학별로 산업연구파트너십팀을 두고 대학과 산업계의 협력을 지원하고 있다. 한편, 연구성과의 상업적인 기술이전 확산을 위해서 Oxford University Innovation이라는 별도의 독립 자회사를 운영하고 있다.

2-1. 산업연구파트너십팀

Industrial Research Partnerships 팀에 오신 것을 환영합니다. 우리는 업계 파트너와 학계 간의 강력한 연구 협력을 수립하고 구축하며 지원합니다. 우리 팀은 회사와의 지속적인 전략적 파트너십을 촉진하고 공동 연구를 지원하는 데 중점을 둔다.

이 팀에서는 대학 연구원들이 산업계와 공동연구를 수행할 때 필요한 계약서 작성 지원, 연구제안서 작성 지원 등의 행정적인 임무를 지원한다. 대학 간의 협력 연구를 수행하는 경우에도 공동연구 차원에서 지원한다. 그리고, 대학 내에 있는 수학, 물리, 생명과학, 의료, 비즈니스 개발 등 다양한 분야의 전문가와 전문서비스를 연계하여 협력 지원한다.

사업연구과터너쉽팀에서 진행하는 행사들을 주요한 사업들은 다음과 같다.

사이언스 파크 로드쇼 (Science Park Roadshow) 및 해커톤 행사

대학의 연구성과를 바탕으로 기업과 공동연구를 촉진하기 위해 “사이언스 파크 로드쇼 (Science Park Roadshow)” 행사를 정기적으로 개최한다. 이를 통해서 옥스포드의 다양한 서비스와 기회에 대한 지식을 제공하는 것을 설명하고 기업, 대학 등 다양한 연구주체들의 네트워킹 기회를 제공하고 있다.

해커톤 등 기업과 연계된 다양한 행사를 개최하여 학생들의 기업가 정신을 고취한다. 2019년 3월 15일에 Quantum Computing Hackathon을 개최하였다. 동 행사에서는 양자 컴퓨터가 우주 분야의 과제를 해결하는 데 사용될 수 있는 방법을 제안하고 해결책을 제안하기 위해 코딩 기술을 적용하는 것을 목적으로 개최하였다. 이러한 기업들과 협력하여 다양한 기업체험 행사프로그램을 개최하고 있다.

AIMday 개최

바이오 기업과 학교의 연구자들이 함께 핵심 문제를 고민하고 연구 주제에 대해서 공감하자는 취지로 매년 개최되고 있다. 기업들은 기업들의 난제에 대해서 사전에 문제를 제기하고, 관련 연구자 및 전문가들이 제기된 문제에 대해서 모여서 토론을 하는 형식으로 진행된다.

제기된 문제에 답을 할 연구자 및 전문가가 각 문제의 방에서 모여서 자연스럽게 핵심문제에 공감하고 답을 찾지 못해도 기업이 원하는 것이 무엇이고, 어떤 연구가 기업에 도움이 되는 가를 쉽게 접할 수 있는 매우 소중한 시간이다. 또한 이러한 기회를 통해 자연스럽게 관련 기업과 전문가들이 서로 네트워크를 형성하고 공동연구로 발전하는 계기를 마련한다는 점에서 잇점이 많다. 학생들은 문제에 대한 해결 가

능한 역량을 보여 줌으로써 채용의 기회로도 활용하고 있다.

2016년부터 매년 개최하여 왔으며, 매년 주제를 달리하고 있다. 2016년에는 노화(Aging), 2017년에는 Microscopy, 2018년에는 Biomedical Imaging를 주제로 하였으며, 2019년에는 신약 분야인 Advanced Therapies & Regenerative Medicine를 주제로 개최했다.

창조적 파괴 연구소(Creative Destruction Lab) 운영

창조적 파괴연구소는 토론토 대학교에서 창안된 혁신지원 모델로, 초창기 벤처기업을 위한 멘토십 제공 프로그램이다. 동 프로그램은 숙련된 기업가, 연구자 및 MBA 학생들이 9개월 간의 프로그램을 통해 멘토링을 제공한다.

먼저 기업가와 엔젤투자자의 멘토링이 제공된다. 하루 종일 진행되는 종일 세션을 통해서 단기 목표가 설정되고 매 8주마다 새로운 목표설정을 위한 멘토링이 지속적으로 제공된다. 그리고 투자자들이 참여하여 투자재원의 확충을 돕는다.

그리고 전문 연구자의 기술 로드맵에 대한 자문이 제공된다. 세계적으로 유명한 전문가가 창립자에게 기술 피드백을 제공하고 기술 검증과 관련된 목표에 대해 조언한다. MBA 과정 학생들의 비즈니스 개발도 지원된다. MBA 학생들은 창립자와 협력하여 재무 모델을 개발하고 잠재적인 시장을 평가하며 확장을 위한 전략을 세밀하게 조정한다.

옥스퍼드대학은 초기에는 인공 지능 분야의 회사에 초점을 맞출 예정이다. 이 프로그램은 옥스포드 Said Business School에서 운영하며, 수학과학부의 전문가들이 참여하여 공동 추진된다.

이외에도 매년 창업을 위한 설명회 등 연구성과들이 산업계로 확산되고 창업으로 이어질 수 있도록 노력하고 있다.

2-2. Oxford University Innovation [44]

옥스퍼드 대학은 독립적으로 운영되는 연구성과 확산기관인 Oxford University Innovation을 가지고 있다. 동 연구소는 옥스퍼드 대학 소속이면서 기업에 준해서 별도의 회계로 운영되고 되고 있다. 2016년에 2천만 파운드 이상의 매출과 3,535건 이상의 거래를 성사시켰으며, 파이낸셜 타임지 등에서 세계적인 대학 기술이전 기관으로 선정되어 대학 연구개발 성과 이전기관의 모범이 되고 있다.

Oxford University Innovation은 옥스퍼드 대학의 전액 출자 자회사로서 대학 및 외부 전문가로 구성된 이사회가 감독을 받는다. 국내 대학에서 운영되고 있는 기술이전 담당부서(TLO)는 대학의 소속 부서로 운영되어 전문성이 부족하다. 그러나 동 기관은 기술이전 업계에서 전문적인 경험을 가진 변호사, 변리사 등 전문 인력이 전임제로 약 80여명이 근무하고 있다. 중국 등 해외 지사사와 별도 회사도 보유하고 있다. 동 기관에서 하는 주요 역할은 다음과 같다.

글로벌 컨설팅 서비스

초기의 생명공학 분야의 혁신관리 및 기술사용화 컨설팅을 통해 명성을 얻은 후 전 세계 60여개 국의 공공 및 민간부문 고객들에게 컨설팅 서비스를 제공하고 있다. 다른 대학, 연구 기관 및 정부를 고객으로 하고 있으며, 기술 이전 활동을 개발하고 민간 기업이 연구개발 프로세스 개선 등에 컨설팅을 하고 있다. 이러한 활동을 아시아 태평양 지역의 학술 및 정부 기술 이전 활동을 촉진하기 위해 홍콩에 사무소를 설립했습니다.

동 기관에서 제공하는 컨설팅 서비스는 다양하다. 예를 들어, 영국 정부의 Newton Fund의 파트너인 14개 개발 도상국의 혁신가들에게 전문가 코칭 및 멘토링을 제공하였다. 2 주간의 프로그램에서 새로운 비즈니스 전략을 개발, 사업 계획 및 투자 계획 개선 등에 대한 교육을 진

행하였다. 기술 상업화를 위한 프로세스 개선, 대학의 지식 창출과 관리 시스템 개선, 연구개발 조직에 대한 진단과 개선 등이 구체적인 서비스 대상이다.

스핀오프 기업의 창출

Oxford University Innovation은 옥스퍼드 대학에서 소유하고 있는 학술 연구에 기반 한 회사를 설립하는 책임을 맡았으며 평균 2개월마다 새로운 회사를 설립하고 있다. 2010년 이후 동 기관에서 설립한 회사들이 21억 파운드 이상의 외부 투자가 이루어졌으며 현재 런던과 뉴욕에 11개가 회사가 등록되어 있다. 이들 기업들은 대학 연구에 수백만 파운드의 이익을 가져다 주며 지역 경제 발전과 지역 일자리 창출에 기여하고 있다.

핵심기술 이전

Oxford University Innovation은 매주 평균 5가지 이상의 새로운 기술을 추가하고 있다. 기업들이 원하는 새롭고 향상된 기술 및 서비스를 제공할 수 있도록 지속적으로 개발된 기술을 기업에 이전할 수 있는 형태로 데이터베이스화하는 것이다. 기업에 라이선싱되는 기술은 의료진단, 에너지 효율, 디스플레이, 의료 이미징 등 첨단 분야가 대부분이다.

옥스퍼드 대학의 기술이전 협상에 대한 전권을 동 기관이 소유하고 있으며, 이들은 많은 경험을 가진 전문가들에 의한 전문적인 라이선싱협상 및 계약 등을 진행한다. 특히, 기업에 대한 정보 보조금관 연계, 기술에 대한 보증, 지적권 보호 조치 등 제공함으로써 고객인 기업들이 안전하게 기술을 이전 받도록 지원한다.

그리고 대학의 연구들의 상업화를 촉진하기 위한 대학 구성원에 대한 주기적 교육, 상담을 지원하고 벤처투자자, 기부자 등 다양한 펀딩 기관과 네트워크를 통해 기술의 상업화를 지원하고 있다.

이러한 결과로 2018년에는 24개의 신규 기업을 창업하여 그 동안 창업 기업 수를 뛰어 넘는 성과를 거두고, 매년 20억 파운드 투자를 유지하고 있다. 최근에 창업 보육센터를 개장하고 사회적 기업 프로그램을 시작했다.

2-3. 학생들의 자발적인 연구개발 혁신 활동 참여

옥스퍼드 대학의 연구성과의 확산에 의한 혁신생태계를 조성하려는 노력은 학생들의 자발적인 활동으로 이어지고 있다. 그러한 학생들의 활동이 조직화된 것이 과학혁신조합(Science Innovation Union)이다. 이 조직은 현재 전세계 조직으로 발전해 나가고 있다.

과학혁신조합은 과학기술을 전공한 졸업생, 젊은 전문가 등의 네트워크를 위한 비영리 조직이다. 연구자들의 글로벌 네트워크를 통해 과학기술을 통해 사회문제를 해결하고, 새로운 기업들을 만든다는 목적을 가진 조직이다. 이 조직을 통해서 과학기술 성과가 혁신적인 기업의 창업으로 이어질 수 있도록, 네트워킹, 창업교육 플랫폼을 제공하고 있다.

특히, 매년 학생 및 연구원의 창업을 지원하기 위해 스타트업 기업인을 초청하여 강연과 토의를 진행한다. 이후에는 네트워킹 시간을 가지고 스타트업 기업인과 직접 경험을 나누는 시간을 가진다. 금년에는 자가 운전 스마트 자동차의 개발과 휴대용 시퀀싱 장치 (MinIon) 개발과 사업화에 대해서 두 명 기업인을 모시고 강연 및 질의응답을 진행하였다.

첫번째 강연자인 Prof. Ingmar는 옥스퍼드 대학의 로봇 관련 연구소인 Oxford Robotics Institute를 책임지고 있는 교수이면서, 자율 차량 소프트웨어 회사인 Oxbotica의 설립자이다. 대학의 연구결과를 사업화하기 위해서 2014년에 설립된 회사의 비전과 연구와 사업화의 관계에 대해서 강연을 진행하였다. 두 번째 강연자인 DR. Lakmal Jayasinghe는 옥스퍼드 대학의 연구결과로 설립된 Oxford Nanopore Technologies의 연

구책임자로 있으며, 대학의 연구결과가 어떻게 스타트업으로 설립되고 현재 활용되는지에 대해서 강연을 진행하였다. ONT는 나노기공을 활용하여 유전체 분석을 하는 제품을 생산하는 회사이며, 대학 실험실의 연구결과를 사업화하여 중국, 한국 등에 진출한 벤처기업이다.

V. 산학협력 협력 모델 사례 연구:

옥스퍼드열유체연구소(Oxford Thermofluids Institute, OTI)

Oxford Thermofluids Institute(OTI)는 옥스퍼드 대학의 부설 연구기관이면서 영국 롤스로이스의 대학기술센터(University Technology Centre, UTC)이다. 동 연구소는 영국 내에 존재하는 롤스로이스의 대학기술센터 중의 1개이다. 롤스로이스의 대학기술센터는 대학과 기업의 성공적인 산학협력 모델로 평가 받고 있으며, 성공적인 산학협력 모델로 경영학 사례로 소개되고 있다[20]. 국내 대기업이나 대학들도 벤치마킹의 대상 혁신모델로 관심을 가지고 있다. 동 훈련생은 이러한 대학기술센터의 하나에서 훈련 중 습득한 경험과 정보를 바탕으로 연구현황과 성공요인을 정리하였다.

1. 산학협력에 대한 일반적 고찰

롤스로이스의 대학기술센터와 그 중 하나인 옥스퍼드 열유체연구소의 사례를 분석하기 전에, 산학 연구협력에 대한 최근 연구결과들을 정리하였다. 이들 연구 자료들은 사례연구에 대한 분석틀을 제시하는 측면에서 유용하다.

1.1 산학 연구협력의 중요성 증대와 장애 요인

산학 연구협력은 대부분의 기술기업들의 핵심적인 혁신전략이 되고 있다. 기업들의 내부 연구개발의 확대를 위한 파트너이거나, 개방적 혁신체계의 외부 혁신 수혈에서 대학은 핵심적인 혁신 동반자가 된다. 이러한 이유로 실리콘 벨리 등 세계적인 혁신단지들은 대학을 중심으로 발전하고 하고 있다. 대학은 혁신을 추구하는 기업들에게 아이디어, 인력, 기초지식, 연구 인프라의 제공처로 역할을 수행한다.

최근 기업과 대학의 산학연구협력에서 중요하게 부상하는 것이 전략적 협력 관계이다[21]. 대학은 혁신생태계와 연결되면서 혁신생태계에서 다양한 가

능성을 제시하고 있다. 기업과 대학의 기술협력은 단순한 대학의 기술이전, 또는 대학의 발명에 대한 특허 라이선스에 국한되지 않는다. 영국의 기업은 이미 대학의 라이선스보다 대학 연구협력에 20배 이상 더 많은 돈을 지출한다[22]. 이제 기업은 어떻게 대학과 전략적 파트너십을 수립하고 운영하는가에 대해 보다 많은 고민이 필요해 지고 있다.

그러나 대학과의 협력은 관리자에게 상당한 과제를 안겨주고 있다. 산학협력을 어렵게 하는 근본적인 이유는 두가지이다[22]. 첫째, 대학의 학문적 개방성은 기업이 사용하는 기술 보호와 충돌할 수 있다. 둘째, 대학의 학술 연구는 장기적인 과제에 중점을 두고 천천히 진행될 수 있지만, 기업의 연구개발은 제품의 개발 프로젝트와 일치해야 연구개발의 활용이 될 수 있다. 이러한 문제는 그 동안 대학과 산학협력을 단편적인 협력에 머물게 하는 요인이 되었다. 장기적이고 개방적인 기초연구 성과를 기업이 이전 받아 기업 자체적으로 제품화 연구를 진행하거나, 대학에서 기업으로 기술이전을 위해 기술 보호를 자체적으로 한 결과를 활용하는 것이다. 이들은 기존의 산학협력이 라이선스 중심의 기술이전에 머물렀던 이유이다.

그러나, 점점 기술개발과 산업화의 주기가 짧아지면서 대학의 연구역량이 기업 성장에 더욱 유용해지고 있다. 그래서 앞서 언급된 한계를 극복하고 대규모 재정이 투입되어 구축된 대학의 연구역량이 기업에서 전략적으로 활용할 필요성이 높아지고 있다.

1.2 산학협력의 유형 [22]

기업들은 연구결과의 활용분야, 기업 규모, 협력을 위한 동기 등 다양한 측면의 분석을 통해 적절한 산학협력 모델을 선정해야 한다. 산학협력 모델은 그 사업영역, 성취목적, 참여 열정, 비용 등에서 각각의 장단점을 가지고 있다. 그래서 어떤 모델이 가장 좋다고 할 수 없다. 적합한 모델을 마련하고 성과를 거둘수 있게 운영하는 것이 더 중요하다.

Markus Perkmann와 Ammon Salter[22]는 산학협력을 4가지 모델로 정의

하고 있다. 이들 4가지 모형은 ① 개방적이고 단기적 모델, ② 개방적이고 장기적 모델, ③ 폐쇄적이고 단기적 모델, ④ 폐쇄적이고 장기적 모델 등이다. 이들의 특징과 장단점은 다음과 같이 요약된다.

첫째는 개방적이고 단기적 모델이다. 기업이 대학에 단기적인 문제 해결을 요구하고 대학에서 연구결과를 공개할 수 있게 허용하는 모델이다. 연구결과의 공개는 연구결과를 기업이 독점할 수 없다는 단점이 있으나, 많은 연구자들을 관심을 이끌 수 있다. 지적 재산권 분쟁도 적어서 관리도 간편하며, 소규모로 아이디어를 수집하는 산학협력에 적합하다. HP의 혁신연구프로그램이 대표적인 경우이다. 동 프로그램은 매년 500건의 제안을 받고 50건을 선정하여 지원하지만, 보조금은 7만5천불로 많지 않은 편이다.

둘째는 개방적이고 장기적인 도전 모델이다. 개방적이고 장기적인 도전에 연구는 대학의 학자들이 좋아하는 분야이다. 이런 산학협력은 큰 문제없이 잘 수행된다. 기업에서 연구목표를 잘 정의하고 대학의 연구자들과 상호 협력을 신중하게 관리하면 좋은 결과를 얻을 수 있다. 대표적으로 제약회사들의 컨소시엄인 구조적 지노믹스컨시엄에서 수행한 단백질에 대한 기본연구 수행이다. 그러나, 이 연구결과는 공개되어 누구나 활용할 수 있게 된다. 또 다른 요인은 새로운 신시장에 대한 조기 확산을 하고자 하는 기업들이 관련 연구 활성화를 위해 투자한다.

기업들은 왜 이 결과를 독점하지 못하는 이러한 연구에 지원해야 하는가에 대한 의문을 가지게 된다. 미래 지향적이고 산업계가 전체가 공동으로 대처해야 하는 문제이기 때문에 집단적인 지원이 필요하게 된다. 경쟁관계 회사들과 협의하여 투자를 진행하는 경우가 많고, 정부에서 국가적 이익 관점에서 매칭을 하는 경우가 많다. 다만, 기업들이 단기적인 성과를 지향하는 경향이 있고, 개별 기업입장에서는 무임승차에 대한 욕구가 있어 투자가 미래 전망이 밝은 분야를 제외하고는 투자가 잘 이루어지지 않는다는 문제가 있다. 이를 극복하기 위한 정부의 노력이 필요한 부분이다. 그리고 연구관리에 있어서도 느슨해 질 수 있는 문제가 있어, 보다 책임있는 관리시스템이 필요하다.

셋째는 폐쇄적 단기연구 모델이다. 대학의 연구원은 전문화된 지식인으로 기업 환경과 다른 관점에서 문제를 바라보는 역량이 있다. 그리고 기업이 가지지 못하고 있는 보다 풍부한 지식네트워크를 활용할 수 있다. 또한 상업적 이해관계가 거의 없다. 따라서 기업의 비정상적인 문제에 대한 원인 규명 등 객관적이고 전문적인 역량이 필요한 경우에 도입되는 모델이다. 예를 들어 개발된 엔진의 폭발이 일어난 문제에 대해서 대학 연구진들이 6주 만에 근본적인 원인을 찾은 사례가 있다. 이러한 협력은 폐쇄적인 계약이 이루어지게 된다.

이러한 연구협력은 기업에는 매우 중요한 사항이나 대학의 연구진들에게는 매력적이지 않다. 그래서 이러한 산학협력이 성공하기 위해선 단기적 협력 문제가 해결되면, 보다 장기적인 협력으로 이어질 수 있다는 제안이 필요하다.

마지막으로 폐쇄적이고 장기적인 협력 모델이다. 대학과의 장기적이고 폐쇄적인 심도있는 산학협력을 통해 기업은 새로운 지식을 창출하고 경쟁력을 할 수 있다. 투자기업은 대학 연구실에 대규모 장기투자를 하고 연구실의 성과를 독점한다. 연구자는 자신이 연구분야에 집중하여 연구를 수행하게 되며, 기업은 타 기업의 연구결과에 대한 접근을 제한한다. 기업에게는 이러한 폐쇄적 독점권에 비용이 많이 들며, 대규모 투자가 수반되게 된다. 롤스로이스의 대학기술센터는 이 모델에 속한다.

1.3 산학협력의 발전 단계 [20]

산학협력에는 협력의 발전단계가 있다. 이는 기업의 협력목적, 협력분야 뿐만 아니라 기업의 규모, 주변 혁신 환경 등에도 영향을 받는다. 그리고 기업과 대학의 협력의 시간도 중요한 요소로 작용하게 된다. 산학협력은 낮은 단계에서 높은 단계로 점진적으로 발전해 나가기도 하지만, 어떤 경우는 높은 단계의 협력으로 바로 진입할 수도 있다. 또한 낮은 단계에 머물기도 한다.

현대의 첨단기업들에게 대학과 전략적 연구협력 관계를 구축하는 것이 필요하다고 조언되고 있다. 그러나, 전략적 연구협력 관계를 구축하는 것이 단순한 바람과 자원의 투입으로 쉽게 만들어 질수는 없다. 그래서 산학협력

의 성공적인 구축을 위해서는 기업과 대학이 모두 준비하는 시간이 필요하다. 성공적인 산학협력 체계를 가진 기업들은 임시적인 협력(Ad Hoc)에서 전략적 단계로 점진적으로 발전한 사례가 많다. 기업과 대학은 추구하는 가치가 다르고 이를 조정하고 협력을 위한 문화를 만드는 시간도 필요하기 때문이다. 어떤 경우는 낮은 단계의 협력을 유지하는 것이 기업에 적합한 경우도 있다. 이런 복잡한 산학협력의 특성과 산학협력의 발전단계를 이해하고 기업과 대학이 상호협의로 적합한 발전방향을 모색할 필요가 있다.

임시적인 협력(Ad Hoc) 단계는 기업과 대학의 개인 연구자들 사이에 협력 관계가 형성되는 초기 단계이다. 그리고 연구협력과제도 개인의 필요성에 의해 선정되고 구체적인 과제에 집중하는 형태가 된다. 협력을 위한 대학의 연구자도 개인적 연구경험, 동료의 추천으로 이루어지는 경우가 대부분이다. 이러한 협력은 기업과 대학의 협력체계 보다는 개인의 친밀도로 이루어지기 때문에 대학의 역할은 크지 않다. 대학 측에서는 개인연구자의 연구자금 확보, 학생들의 관련 산업계 경험 획득 등의 잇점에 주목한다. 반면 다수의 여러 협력이 진행되면 행정적 부담이 가중되고 여러 유형의 협력이 일어나서, 행정부서의 지연된 지원이 산학협력의 걸림돌이 되는 경우가 발생한다.

대학과 전략적 협력 단계에 이르면, 기업은 대학과 전략적 협약을 맺고 연구협력을 한다. 이 단계에서는 개인적인 관계로 쉽게 협력관계를 맺을 수 없다. 기업의 전략, 대학의 전문성, 기업과 대학의 기관의 협력관계 등이 고려된다. 이러한 전략적 협력을 선택하는 기업이 점차 늘어나고 있다. 이러한 전략적 협력관계에서는 대학이 장기적 협력을 위해 기업연구원의 인력교류 등 다양한 측면의 협력활동을 지원한다.

기업과 전략적 가치를 공유하는 단계이다. 점진적 문제해결 단계에서 변화된 단계로 기업의 전략적이고 핵심적인 도전과제를 공유하고 보다 심도있는 연구를 진행하는 단계이다. 대학이 기업의 당면한 문제를 해결하는 기업의 확장된 연구조직 뿐만 아니라, 보다 도전적인 미래 도전을 하는 곳으로 작용한다는 인식을 공유한다. 이 단계에서는 기업 내에서 대학과 협력을 전담

하는 조직이 있고, 향후 협력 방향, 협력 형태, 협력 분야 등 전략적 협력 방향이 고민되고 협력에 평가, 지적재산권의 관리 등도 명확히 정립된다. 이러한 기업의 변화에 대해 대학은 큰 조직적 변화는 없지만, 기업의 전담 조직의 전략에 맞추어 자연스러운 연구방향, 연구형태 등이 변화하게 된다. 그리고 대학의 협력도 보다 광범위하게 확대된다.

다음단계 대학과 기업협력이 개별 기업을 넘어 혁신생태계와 결합되는 단계이다. 기업의 규모가 크면, 기업은 대학과 문제해결에만 협력하는 것이 아니라 지역정부, 중소기업 등 다양한 혁신주체들과 유기적으로 연계되어 협력한다. 대학도 지역 혁신주체들과 협력도 일상적이다. 그래서 미래적인 혁신기술에 있어서는 이러한 혁신생태계와 협력하는 것은 현대에서는 자연스러운 것이다. 그리고 그 협력은 국가 단위를 넘어 글로벌 단위로 확대되는 방향으로 발전하게 된다.

〈 기술협력 단계 요약 [23] 〉

산학협력 단계	주요 내용
임시적 단계 (Ad Hoc)	<ul style="list-style-type: none"> • 목표 : 단기적, 점진적 문제해결 • 협력연구자는 개인 프로젝트를 위해 친밀도에 따라 선정 • 대학 본부 등 조직적 관여가 적음
전략적 단계 (Strategic)	<ul style="list-style-type: none"> • 목표 : 신기술의 장기적 개발, 우수인재의 선점 • 기업의 전반적인 목적에 부합하는 전략적 협력 대상 대학을 선정 • 중앙 조직차원에서 실시되고 고위층의 참여
혁신생태계 단계 (Innovation ecosystem)	<ul style="list-style-type: none"> • 목표 : 스타트업을 통한 신기술과 신산업 확보 • 지역 혁신 생태계에 접근을 통해 협력 대상이 결정 • 지역혁신생태계를 위해 별도의 조직 구성

2. 산학협력 관점에서의 롤스로이스 대학기술센터

2.1 롤스로이스 대학기술센터(University Technology Center, UTC)

롤스로이스는 항공엔진의 핵심 기술별로 대학에 연구협력 센터를 대학기술센터(University Technology Center, UTC)로 지정하고 지원해 오고 있다. 이들 대학기술협력센터는 영국을 넘어서 미국, 일본, 한국, 중국 등 전 세계적으로 연구협력 네트워크를 확대하고 있으며, 현재 전 세계 30여개에 이르는 연구협력센터가 운영되고 있다. 그리고 연구협력 분야는 과학기술 분야의 광범위한 영역에 걸쳐 있다. 최근에는 이러한 대학과의 연구협력 네트워크를 첨단 생산기술 부문으로 확대하여 선진 생산기술센터(Advanced manufacture research center)로 협력을 확대하고 있다.

대학기술협력센터의 성과들은 롤스로이스의 제품과 서비스에 활용된다는 목표를 가지고 있다. 롤스로이스와 중장기적 협력 관계를 가지고, 우수 연구인력 공급과 미래 기술에 대한 창의적이고 혁신적인 아이디어를 공급 받는다는 것이다. 이들 센터들은 롤스로이스와 협약을 통해 기업에서 연구비를 지원 받는 대신에, 기업에서 요구하는 분야에 특화된 연구개발, 장비 구축 및 운영, 인력양성을 하게 된다. 그리고 연구 성과는 기업으로 이전되어 실제 롤스로이스의 항공엔진 개발에 활용된다. 그리고 연구과제에 참여한 학생들은 미래 핵심 인력으로 롤스로이스에 공급된다.

롤스로이스는 각 UTC와 상호협의를 통해 핵심적 역할을 부여하고 그 분야를 중장기적으로 집중적으로 연구를 진행하도록 한다. 그래서 표에 나타난 바와 같이 영국 내 대학기술센터는 중점분야를 집중 육성하고 있다. 해당 분야에 특화하여 협력함으로써 센터 간 중복을 방지하고, 대학은 특화된 분야에 집중하게 된다.

< 영국 UTC와 중점 분야 >

Bristol(복합소재), Cambridge(재료, 가스터바인원리), Cranfield(성능)
Birmingham(소재), Surry(열유체시스템), Oxford(열전달 및 유동, 고체 역학), Sheffield(첨단전기공학), Imperial College(원자력, 진동),
Loughborough(연소시스템), Manchester(동력변환) 등

< 롤스로이스 그룹의 개요 [24, 25] >

롤스로이스 그룹은 항공기(민간 및 국방), 선박, 원자력, 발전 등에 활용되는 고성능동력시스템 분야의 세계적 기업이다. 이들 제품은 400개의 항공회사와 거래하고 4000개가 넘는 해양 고객사를 가지고 있다.

초창기 자동차 엔진회사로 출발하였으나, 가스터바인이라는 항공기, 선박, 발전소 등에 사용되는 엔진기술을 활용하는 기업으로 전환하였다. 롤스로이스라는 자동차 브랜드를 독일의 BMW에 판매하는 등 1970년대에 자동차 관련 사업은 정리하였다.

현재 롤스로이스는 크게 4가지 사업영역을 가지고 있다. 먼저 민간 항공엔진분야다. 전 세계 항공엔진 시장을 양분하는 유럽시장을 석권하고 있으며, Trent 엔진으로 대변되는 항공엔진의 혁신을 가져왔다. 둘째는 군사용 항공엔진이다. 영국 공군에서 사용하는 항공기, 헬리콥터 등 군사용 항공엔진을 공급한다. 세 번째는 발전 및 해양 선박엔진이다. 그리고 원자력 분야이다. 영국 해군이 보유한 핵잠수함의 원자력 엔진을 개발하고 공급한다.

롤스로이스의 사업영역은 고도의 기술력을 필요로 하는 분야로 영국에 유일하게 남은 기술기업이라는 칭호를 받고 있다. 2018년 기준으로 50개국에 5만명의 종업원을 가지고 있으며, 이중 1만 8천명은 엔지니어이다. 그리고 매출액(약 151억 파운드)의 약 7.6% 수준인 연간 11.4억 파운드를 연구개발에 투입하고 있다.

롤스로이스 주요 통계 (2018년)

- ▶ 회사명: Rolls-Royce Group
- ▶ 매출액(이익): 15,067백만 파운드 446백만 파운드
(민영항공기 48%, 동력시스템 22%, 국방 20% 등)
- ▶ 종업원 수(엔지니어 수) : 50,000(18,245) (2017년 통계)
- ▶ 연구개발 비용 : 11.4억 파운드 (매출액 대비 7.6%)
- ▶ 산업 분야 : 항공엔진, 동력장치, 해양, 원자력

2.2 분산적 연구협력에서 전략적 연구협력으로 전환

롤스로이스는 1980년대까지 영국 내 80개의 대학과 기술협력을 하였다. 이러한 다수의 협력은 롤스로이스가 취급하는 제품이 항공기 엔진 등 최첨단 기술제품이기 때문에 대학과 연구협력은 필수적이었다. 그러나 다수의 개인적 연구협력은 전략성이 부족하고 다수의 부서와 연구팀이 참여하면서 중복적인 투자의 문제가 제기되었다. 그리고 투자 우선순위가 없는 협력으로 투자 효율성이 낮고, 대규모 인프라가 필요한 전략적 연구는 제한되는 등의 문제도 들어났다. 또한 연구협력이 영국에서만 이루어져 글로벌 혁신자원의 활용에 대한 필요성도 대두 되었다.

이러한 문제를 극복하기 위한 노력으로 1985년 대학혁신센터(UTC)를 지정하여 우수한 연구협력 네트워크를 만들기로 결정하였다. 이러한 결정은 단순히 혁신센터를 통해 대학의 연구협력을 강화하는 것에 머물지 않고, 롤스로이스 기업 전체의 연구문화와 조직을 변화하는 것도 수반하여 추진되었다. 롤스로이스는 전 세계 우수한 대학을 활용하여 원천연구(fundamental research)를 진행하고 롤스로이스 자체는 연구결과를 활용하여 제품에 접목하는 역량에 집중하여 혁신적 연구의 성공률을 높이는 전략을 수립한 것이다. 현재 롤스로이스의 원천연구 85%는 대학에서 수행되고 있다 [20].

23 폐쇄형 장기협력의 대표적 모델

롤스로이스의 대학기술센터는 폐쇄형 장기협력 모델의 대표적 사례이다. 대학기술센터로 선정되면, 장기적이고 안정적인 연구지원에 대한 협약을 체결한다. 안정적 연구지원은 연구자금과 더불어 충분한 운영인력과 연구인프라를 포함한다.

장기적인 협력을 통해 롤스로이스의 중장기적 전략과 각 대학기술센터의 연구는 유기적으로 연계되어 있다. 그리고 소속 연구원의 연구과제의 추가적인 수주 등의 외적인 불안전성으로 해방되어 있다. 각 센터는 5년 간격으로 자금을 지원 받고 있으며 특정 성과지표가 충족되면 재계약이 되는 공통적인

기준을 가지고 있다. 그러나, 대학연구센터는 중단없이 계속 지원되는 것은 아니다. 25년 이상 된 협력센터도 있지만, 그동안 중단된 협력센터도 존재한다. 중단된 협력센터는 연구 분야가 대규모 집중 지원이 더 이상 필요없는 경우가 대부분이다. 그렇더라도 동 프로그램에 참여한 개인들과의 연구협력은 필요한 경우 지속된다.

롤스로이스는 장기적인 투자를 진행하면서 각 센터의 연구 성과에 대한 독점적 사용권을 가진다. 이러한 독점권은 대학과 롤스로이스의 계약에 의해 이루어지고 있다. 앞서 언급됐듯이, 폐쇄형 연구협력은 기업이 투자해야 하는 비용이 상승한다. 협력연구실에 충분한 지원이 되어야 독점적 지위를 가질 수 있다. 롤스로이스의 지원은 연구비, 학생인건비, 학비, 연구원 급여, 연구 인프라 운영비 등 상당한 연구비가 지원된다.

2.4 네트워크형 연구협력으로 진화

롤스로이스의 대학기술센터는 초기의 영국 내 대학을 중심으로 선정이 구축이 되었으나, 현재는 전 세계 글로벌 네트워크를 이루고 있다. 2018년 기준으로 31개의 대학기술센터가 있으며, 이중 약 30%가 글로벌 대학기술센터이다. 글로벌 대학기술센터는 아시아, 유럽, 미주 등 다양한 지역으로 분포되어 있다. 그리고 이들 대학기술센터는 14개의 롤스로이스 연구센터 및 협력 파트너십과 네트워크로 연결되어 있다.

다수의 연구센터들이 하나의 기업의 네트워크로 묶이면서, 센터 간 연구협력이 빈번해 지고 있다. 이러한 협력연구는 제품이 고도화되면서 주어진 문제가 복잡하여 다 학제적 연구협력으로 해결이 가능한 경우가 늘어나기 때문이다. 그리고 우수한 운영사례의 벤칭마킹과 확산도 늘어나게 있다. 대학원생 등 센터 간 연구 인력의 상호교류도 빈번해 지고 있다. 이렇게 글로벌 연구협력체제의 네트워크가 더욱 강화되는 경향을 보여주고 있다.

대학기술센터의 네트워크를 강화시키는 데는 롤스로이스의 대학기술센터를

전담하는 조직의 역할이 크다. 센터간의 만남을 위해 매년 대학기술센터장들의 모임을 주선하고 있다. 기술적 협력이 필요한 경우, 대상 대학기술센터의 협력을 주선한다. 인력교류도 협력연구에 도움이 될 수 있는 방향으로 재배치를 주선한다. 박사학위를 마친 연구원을 박사후 과정을 위한 센터를 소개하는 형식이다.

3. 롤스로이스 대학기술센터의 성공요인

롤스로이스의 대학기술센터가 가지는 장점과 한계가 있다. 롤스로이스가 20년 이상 과감한 투자를 해 오는 것은 대학기술센터를 통해 충분한 가치를 획득했다고 할 수 있다. 이러한 점을 고려했을 때, 롤스로이스의 대학기술센터는 어떻게 장기간 좋은 협력을 하고 있는지를 중점적으로 살펴보겠다.

3.1 비전을 공유하는 장기적 협력 관계

1990년 처음 설립된 대학기술센터는 옥스퍼드대학의 고체역학 연구실과 임페리얼칼리지의 진동연구실이다. 두 연구실은 아직 지원되고 있는 것은 대학기술센터가 장기적 관점의 협력에 있다 것을 잘 보여준다. 롤스로이스의 대부분 기술연구센터는 설립한지 20년 이상 지속적인 산학협력 관계를 이어오고 있다.

이러한 장기적 협력은 연구협력에서 연구효율성을 높일 수 있는 방법이다. 창의적인 연구자들에게 연구안전성은 중요한 요소이기 때문이다. 창의적인 연구 활동은 장기적인 집중하여 연구를 심화시켜 나가기 때문에 단기간 연구 활동으로 성과를 내기가 어렵다. 단기적인 협력의 경우, 문제 해결보다는 문제 파악에 대부분의 시간을 소비하고, 근본적인 해결보다는 단기적이고 기존 방식의 연장에서 문제를 해결하는 경향이 있기 때문이다. 대학과 협력하는 것은 기존 방식의 기술에서 탈피하여 혁신적인 아이디어를 원하는 것이기 때문에 대학과 협력에서 시간의 문제는 매우 중요하다.

그러나, 장기간의 협력은 잘못된 투자와 느슨한 관리로 인해 실패에 주의하여야 한다. 기업에서 올바른 방향 제시와 부실한 관리를 하면, 대학

의 연구자들은 자신의 관심분야로 연구를 전환하고, 비용은 기업에 청구하는 형식이 된다. 이럴 경우, 기업에 활용되는 연구결과는 적어지고 대규모 투자에 대한 회의가 올수 있다. 최악의 경우, 산학협력을 중단하게 되며, 기업과 대학은 서로 책임을 미루는 비난을 하는 경우도 생기게 된다.

롤스로이스는 이러한 장기간 연구의 문제를 어떻게 극복하였을까 ?

롤스로이스의 대학기술센터는 출발에서부터 대학과 연구협력의 관점을 달리 하였다. 롤스로이스는 기업 내 기초연구를 전담하는 연구소가 없다. 이는 기초 연구기능을 대학으로 옮겨 놓은 것이다. 이러한 산학협력의 개념은 외부로부터 필요한 기술을 아웃소싱하겠다는 일반적인 산학협력과 다른 개념이었다.

이렇게 변화된 산학협력 개념은 두 가지를 가능하게 한다. 첫째는 대규모 투자가 가능하게 된다. 기존의 기업연구에서는 기업 내 연구와 산학협력 연구에 동시에 투자해야 하기 때문에 주요 연구기능을 가진 기업 내 연구를 줄이고 산학협력 연구에 대규모 투자를 할 수가 없다. 그러나, 이를 대학으로 일원화 하면 대규모 투자가 가능하게 된다. 둘째는 기업의 핵심조직 일원으로 기업에서 전략적으로 관리할 수 있다. 기업 내 부설연구소에서 조력자로 있는 산학협력 조직을 관리하는 것이 아니라 기업의 조직관리와 같이 강력한 지배적 경영을 하는 것이다.

롤스로이스에는 대학기술센터만을 전담하는 조직이 존재하고, 이 조직은 강력한 지배적 경영을 뒷받침한다. 전략적 방향부터 운영, 인력채용 등 전반에 대해서 각 센터와 협의한다. 이러한 철저한 협의 경영으로 대학기술센터는 롤스로이스의 기술적 비전을 공유한다. 그리고 그러한 비전공유는 일시적으로 이루어지는 것이 아니라 대학기술센터에 장기적으로 문화로 자리잡게 지속적으로 주입하고 있다.

대학기술센터는 센터장들은 매년 합숙 토론회를 가진다. 서로의 비전을 나누고, 롤스로이스의 비전과 전략을 토의하고 전달한다. 이렇게 대학기술센터장이 롤스로이스의 조직의 일원으로 인식할 수 있도록 비전을 공유

하는 것이다. 각 대학기술센터들은 연례미팅을 개최하고 1년간의 성과를 기업과 공유하는 행사를 가진다. 이 행사는 각 대학기술센터들이 가장 중요하게 생각하는 행사이다. 특이한 것은 연구개발 성과 발표임에도 롤스로이스의 고위임원들을 비롯해 많은 관계자들이 참석한다. 단순한 성과 발표가 아니라 조직의 일원으로 가치를 부여하는 행사인 것이다. 개별적인 프로젝트에도 최소한 분기별 기술협의를와 진도관리를 실시한다. 하루 동안 진행되는 프로젝트 회의를 통해 성과만 설명하는 것이 아니라, 연구의 계획 수립과 이행을 철저히 협의한다.

이렇게 롤스로이스는 대학기술센터가 기업의 조직일원으로 비전과 가치를 공유하게 관리한다. 그리고 자유롭고 창의적인 연구를 수행하게 하지만, 철저히 롤스로이스의 미래 연구에 방향이 맞추질 수 있도록 수시로 협의한다. 전문인력에 의한 철저한 관리를 통해 산학 연구 지원을 통해서 얻고자 하는 중장기적 목표를 공유하고 방향을 제시한다.

3.2 전략적 역할 분담

기업과 대학의 연구협력에서 중요한 장애 중에 하나는 서로의 추구하는 가치가 다르다는 것이다. 대학의 연구실은 학문적 우수성을 인정받기를 원하고, 기업은 제품의 현실적인 문제를 해결하기를 원한다. 대학은 성과의 개방을 통해 개방된 학문영역에서 명성을 가지길 원한다. 그러나, 기업은 관련 핵심기술이 경쟁하는 기업에 노출되는 것을 꺼린다. 이러한 대학과 기업의 시각차는 대학과 기업의 전문역량과도 관련이 있다. 대학의 연구실은 학문적 가치를 추구하는 반면, 제품에 대한 세부적인 기술사항에 대한 지식이 없는 경우가 대부분이다. 기업의 연구원들은 제품의 세부적인 기술사항에 대해서는 전문성이 있으나, 그 원리에 대한 연구를 수행할 수 있는 시간과 장비가 부족하다. 대학기술센터에서는 전략적 역할 부담을 통해 연구효율성을 극대화하고 있으며, 지속적인 협의를 통해 세부적인 사항들을 조정하고 있다,

롤스로이스는 연구개발 프로그램을 기술수준(Technology Readiness Level,

TRL)로 구분하여 관리한다 [23]. 대학기술센터는 TRL 1- 4 수준에서 연구를 진행한다. TRL 4 단계에 이른 연구는 롤스로이스로 이전되어 실제 신제품 디자인이 나오는 단계인 TRL 6단계까지 개발된다. 원칙적으로 대학은 장기적 관점의 탐색연구, 검증되지 않은 신기술, 롤스로이스에서 가능성에 대한 검토가 된 초기 단계의 기술들을 수행하게 된다. 그러한 과정에서 상당한 제품과 관련된 기술 자료와 경험이 대학으로 이전되고 있다. 그리고 대학의 역할은 학문적 성취로 이어질 수 있고, 부족한 산업계의 기술적 어려움을 이해할 수 있기 때문에 양쪽 모두 만족할 수 있는 합리적 역할 분담이다.

롤스로이스가 가지고 있는 TRL에 따른 대학과 기업의 전략적 역할분담은 매우 상식적으로 보인다. 그러나 이 원칙을 지키면서 산학협력을 하는 것은 상당히 어려운 과제다. 여러 산학협력은 이러한 원칙을 어기는 경우가 대부분이다. 이러한 역할분담을 통한 산학협력 관계를 지속하기 위해서는 원천 연구에서 획득된 연구성과를 이해하고 제품개발에 접목할 수 있는 높은 수준의 연구역량을 기업이 보유했을 때 가능하다. 만일 기업이 높은 연구역량을 가지지 않은 경우, 투자에 대한 성과를 얻기 위해 대학에 더 높은 단계 TRL의 연구 활동을 요구하게 되어 연구효율성이 급속히 떨어지게 된다. 높은 단계 TRL로 넘어가면, 기업의 제품 개발단계에 들어가기 때문에 시장 요구에 따른 의사결정이 필요하다. 그렇기 때문에 기업의 의사결정 단계에 있지 않고 기초연구에 특화된 대학이 높은 단계의 TRL을 수행하기에는 장애가 많이 생긴다.

롤스로이스는 상당한 기술력의 보유한 기업으로 실제 산학협력에 관여하는 직원들은 박사급 직원들이 대부분이고 실제 항공엔진의 설계에 전문지식과 연구결과를 이해하는 역량이 뛰어나다. 그리고 대학연구진에게 부족한 현장 실무지식을 보완해 주는 역할을 수행한다. 대학이 원하고 잘할 수 있는 부분에 집중하도록 유도하고 기업은 기업이 잘할 수 있는 부분을 맡아서 역할을 수행하게 된다. 기업이 내려야 하는 판단을 대학에 미루지 않고, 기업이 특허 관리 등 전반적인 기술행정도 책임지고 한다. 이러한 이유로 롤스로이스와 협력관계에 있는 대학기술센터는 기업과 산학협력 연구를 함에도 큰 어려움이 없이 우수한 연구진들 확보할 수 있다.

롤스로이스의 최초의 대학기술센터인 옥스퍼드대학의 고체역학연구실이 25주년을 맞이하여 한 행사에서 기업과 센터를 대표해서 그 동안의 협력관계를 다음과 같이 표현하고 있다 [27]. “기업은 도전에 직면해 있고, 기존 보다 한 단계 발전된 새로운 설계를 개발함으로 극복된다. 이러한 도약은 위험을 수반하며, 대학기술센터는 이러한 위험을 최소화하는 데 필요한 기초 연구를 제공하는 역할 수행한다.” 반면, 대학기술센터는 “대학의 연구자들은 연구 결과를 통해 기초과학에 대한 우리의 이해뿐만 아니라 세계 최고의 가스터빈 제품의 개발에 기여한다는 것을 보는 것은 흥분되는 것이다.” 이들 발언은 대학기술센터를 바라보는 기업의 관점과 대학기술센터가 가지는 입장이 잘 표현된 것이다. 기업이 대학에 보다 높은 TRL을 요구하는 수준인 경우에는 폐쇄적이고 장기적인 산학협력은 적합하지 않을 가능성이 높다.

〈 기술수준의 정의 [26] 〉

기술수준	정의
TRL 1	Basic principles observed and reported
TRL 2	Technology concept and/or application formulated
TRL 3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of concept
TRL 4	Component and/or breadboard validation in laboratory environment
TRL 5	Component and/or breadboard validation irrelevant environment
TRL 6	System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment(ground or space)
TRL 7	System prototype demonstration in a space environment
TRL 8	Actual system completed and “flight qualified”through test and demonstration (ground or space)
TRL 9	Actual system “flightproven” through successful mission operations

3.3 신뢰 기반의 산학협력 문화

대학과 기업이 협력을 할 때, 핵심적으로 필요한 요소는 신뢰이다. 이러한 상호 신뢰에 대한 의문은 믿을 수 있는 개인적 네트워크에 의존한 소규모 산학협력에 머물게 한다. 대규모 장기적 산학협력을 위해서 상호신뢰는 필수적인 요소이다. 기업들이 대학과 협력을 할 때 의문을 가지는 몇 가지 신뢰와 관련된 사항이 있다.

먼저 기업의 핵심적 기술이 경쟁기업에 유출될 수 있거나 없느냐는 문제다. 대학은 학문의 교류, 인력의 교류를 장려하는 개방적 조직이기 때문에 그러한 우려가 높다. 기업의 입장에서는 대학에서 핵심기술을 의도적으로 경쟁기업에 유출하지 않더라도, 차세대 전략에 대한 일부 내용만 공개되어도 경쟁업체들은 해당기업이 무엇에 주목하고 어디에 집중하는지를 알 수가 있다. 첨단 분야의 경우, 이러한 핵심 기술 정보 및 전략에 대한 우려가 높다. 기업이 대학을 신뢰하지 못하면, 상호 핵심기술 정보의 교환 보다는 기업은 대학으로부터 일방적인 연구정보만을 받게 된다. 그럴 경우, 대학의 연구실의 연구는 기업의 요구와 동떨어진 연구결과를 내고, 기업은 대학의 역량에 대해서 불신하게 되는 악순환이 만들어 지게 된다. 그리고 대학의 연구진들도 실제 기업의 핵심적 문제에 대해 정보를 확보하지 못하면서, 산학협력에 대한 회의를 가지게 된다. 기업의 핵심적 문제에 대해 연구하는 것은 연구주제의 가치를 높여주어 연구자들이 산학협력에서 얻고자 하는 부수적인 효과이다.

두 번째의 신뢰의 문제는 대학이 기업이 요구하는 수준의 연구결과를 적기에 제공할 수 있는가 이다. 이러한 믿음이 부족한 기업들은 핵심적인 기술개발은 기업 자체연구를 통해 확보하고자 하다. 또한 핵심적 기술개발에 대해 이중적 연구 발주를 진행하게 된다. 그럴 경우, 연구자원이 분산되고, 대학의 역량을 충분히 활용하지 못하게 된다.

본 훈련생이 있는 옥스퍼드 열유체 연구소의 센터장은 롤스로이스 대학기술 센터의 성공의 핵심적 요소로 신뢰(Trust)라고 단호히 꼽고 있다[23]. 롤스로이스는 우수한 연구결과를 내기 위해서 각 대학 기술센터가 최선의 노력하고

적기에 우수한 결과를 만들어 낸다는 믿음을 가지고 있다는 것이다. 롤스로이스는 기업 제품의 핵심적 기술개발을 대학기술센터에 맡기고, 이를 의심하는 대안을 만들지 않고 성공을 위한 투자를 집중한다. 이러한 성공에 대한 믿음은 그 동안 기술개발의 성공적인 과거 이력이 축적되면서 형성된다. 현재의 옥스퍼드 열유체연구소로 핵심적인 기술개발이 집중되는 것은 그 동안의 서로간의 믿음이 축적된 것이라는 것이 센터장의 주장이다.

핵심적 기술개발에는 필연적으로 기업의 기술비밀 및 중장기적 핵심 전략이 포함되어 있다. 기업과 연구소의 신뢰가 없이는 대외에 공개하기 어려운 기술적 문제들이다. 기업에서는 효과적인 연구가 될 수 있도록 기업이 보유한 핵심 아이디어와 기술을 대학과 공유해야 한다. 이때 협력 기업은 그렇게 공유한 아이디어와 기술이 대외로 유출되지 않을 것이란 믿음이 필요하다. 대학 협력연구원들의 윤리성은 기본적으로 중요하다. 그리고 보안을 유지하기 위한 치밀한 기술적 행정요소도 잘 설계되어야 한다. 대학기술센터는 연구에는 매우 자유롭지만, 결과의 대외 발표, 이전된 문서의 관리, 연구원들 자료 관리에 대한 기업의 가이드라인 등 롤스로이스 대학기술센터 관리팀의 잘 설계된 연구관리도 이러한 신뢰의 중요한 요소로 작용하고 있다.

3.4 기업 수요중심의 연구개발

정부에서는 산업현장에 도움이 되는 산업과 협력하는 연구를 촉진하기를 원한다. 때때로 기업의 입장만 강조되어 제품개발 위주의 실용 연구만을 추구하면서 대학이 기업과 협력을 기피하게 되기도 한다. 이러한 결과는 대학 연구자들이 추구하는 학문적 성취를 무시하여 나타나는 현상이다. 대학의 연구자들이 산업현장 문제에 관심이 없다고 비판하기 보다는 기업과 대학이 만족하는 파트너십을 형성하는 것이 중요하다.

롤스로이스 대학기술센터는 산업협장에서 필요로 하는 기업 수요 중심의 연구로 유명하다. 기업과 협의된 연구과제이기 때문에 기업에 필요하지 않은 연구과제는 진행될 수가 없다. 기업과 산학협력 연구의 핵심적 역할을 수행하는 옥스퍼드 열유체실험실(OTI)도 철저한 현장 중심의 연구개발 문화가

자리 잡고 있다. 교수, 대학원생, 박사후 과정 연구원 등 모든 연구원은 기업의 연구 프로젝트에 참여한다. 기업의 연구프로젝트는 단순한 엔지니어링 문제가 아니라 기업의 중장기적으로 풀어야 하는 난제로 구성되어 있다. 즉 차세대 항공기 엔진이나 현재의 항공기 엔진의 성능 개선을 위해서 해야 하는 필수적인 공학 문제들이다. 이러한 기업의 수요중심의 연구개발이 자리 잡게 된 성공요인은 무엇일까?

대학기술센터에서 진행되는 연구주제는 미래 탐색연구이거나 핵심적 개발과제가 대부분이다. 단순히 현장에서 해결될 수 있는 문제들은 협력 연구과제가 될 수가 없다. 롤스로이스의 고위층은 대학기술센터에 요구하는 것은 단순한 문제 해결이 아니라 핵심적 문제 해결임을 끊임 없이 강조한다. 그래서 기업 현장 연구자들이 개인이 기업 내에서 스스로 해결해야 할 현안문제를 협력 대학으로 떠넘기는 형태가 방지된다.

협력 연구과제가 첨단 산업현장의 핵심적 공학 문제이기 때문에 연구에 참여하는 연구원에게는 연구에 참여 자체가 연구원들의 미래 자산이 된다. 참여 연구원에게는 관련된 기업의 중요한 설계자료 및 실제 운영한 엔진 자료, 선행 연구자료 등 핵심적 기업 연구 자료들에 접근할 기회가 생긴다. 물론 이러한 자료들은 대외기밀로 처리되지만, 공학적 지식을 확보하고 전문가로 경험을 축적하는데 유용하다. 자연스럽게 참여 연구원의 연구 열정을 이끌어 내고 있다.

롤스로이스는 대학기술센터를 자사의 핵심적 인프라로 인식하고 있어, 대규모 연구시설 투자에 주저하지 않는다. 이러한 연구시설은 실험실 규모에 머물지 않고 실제 항공기 부품의 성능을 측정할 수 있는 기업의 핵심시설이 포함되어 있다. 특히 옥스퍼드열유체연구소에서는 9,500RPM으로 회전하는 터빈시설 등 28종 이상의 고가의 연구시설을 보유하고 있다[28]. 이러한 대규모 최첨단 연구시설을 바탕으로 연구가 진행되기 때문에 질 높은 연구결과가 나오고 이는 협력기업 뿐만 아니라 참여연구원에게도 혜택이 돌아가는 상호 윈윈협력이 되는 것이다. 롤스로이스는 고가의 연구시설들을 운영하는 별도의 전문가 채용을 지원하고 있다.

이러한 연구결과는 바탕으로 대학원생, 박사 후 연구원 등 소속 연구원들이 논문발표 등 다양한 학술활동도 일정한 가이드 내에서 활발하게 하도록 허용하고 있다. 기업 수요 중심의 연구에도 불구하고, 대학기술센터에서 매년 수백편의 논문 발표, 평균 700건의 특허 출원이 되고 있다 [23].

3.4 연구협력 네트워크 중심으로 기업-대학 간 활발한 상호 교류

대학기술센터의 성공적인 성과는 다양한 네트워킹에 있다. “산학협력은 대학과 산업계의 네트워킹 과정이다” 고 윌슨경은 영국 산학협력보고서[29]에서 밝히고 있다. 산학협력을 위한 네트워킹은 구조화된 네트워킹과 비정형화된 정보 네트워킹이 다양한 형태로 발전되어야 한다. 롤스로이스와 대학기술협력센터 간에는 이러한 복잡한 협력 네트워크가 잘 발달되어 있다.

롤스로이스의 연구주제는 다양한 전문분야의 협업으로 해결이 가능하다. 이를 해결하기 위해서 여러 대학기술센터의 협력적 연구를 조직한다. 롤스로이스는 대학기술센터들이 연계된 연구의 기획이 더욱 빈번해 지고 있다. 그 협력은 영국 내 대학기술센터들과 협력뿐만 아니라 글로벌 대학기술혁신센터와도 협력하고 있다. 일례로 팬블레이드라는 핵심부품의 개발을 위해서 6개의 대학기술센터가 연구에 참여했다[23]. 여기에 각 대학기술센터와 협력하는 많은 전문가 연구네트워크들이 참여한다. 롤스로이스를 중심으로 항공엔진기술의 거대한 글로벌 연구생태계가 조성된 것이다. 이러한 글로벌 연구생태계가 형성되고 성과를 낼 수 있게 된 것에는 몇 가지 요소들이 있다.

먼저, 롤스로이스가 중재자로 역할을 충실히 한다는 것이다. 대학기술센터 간, 대학기술센터와 연결된 각각의 연구네트워크가 연결되는데 롤스로이스의 중재자로 강력한 역할을 한다. 롤스로이스는 인적 네트워크 형성할 수 있는 공식적, 비공식적 이벤트를 개최한다. 이는 연구 분야가 다른 학제적 연구에서 가장 어려운 문제인 다른 분야 간 전문가들과 관계형성이다. 최고의 전문가로 인정받는 연구집단과 쉽게 협력연구를 할 수 있다. 필요한 경우는 전문가들을 롤스로이스에서 연결해 준다. 센터 간 인력 교류, 공동 연구 등 다양한 활동들이 중재자로 롤스로이스의 개입이 성공 가능성을 높이고 있다.

둘째로, 대학기술협력센터의 네트워크에서는 민감한 기술정보의 자유로운 이동이 보장되는 것이다. 비록 다른 대학이라도 대학기술센터의 네트워크로 연결되면, 기술정보와 인력 교류에 제한이 없다. 대학기술센터 네트워크 안에서는 자유로운 정보, 인력, 연구인프라의 접근 등 효율적인 협력연구가 가능하다. 또한 특허문제 등 표준화된 기술행정도 협력연구의 효율성을 높이는 요인이 된다.

일반적인 산학협력에서는 기업들이 대학연구실과 산학협력 관계를 맺더라도, 이들 연구실이 기업의 민감한 기술자료를 다른 연구집단과 공유하는 것은 매우 민감한 문제이다. 이러한 이유로 시너지 효과를 낼 수 있더라도 다른 연구집단과 협력연구가 제한되는 경우가 많다. 또한 필요성이 인정되어 협력기업으로부터 다른 연구집단과 협력연구가 허용되었더라도, 기술보안을 위한 복잡한 행정절차로 인해서 연구 효율성이 떨어진다.

셋째는 롤스로이스와 대학기술협력센터 간에도 많은 교류로 기업과 협력 네트워크도 강화된다. 3개월 마다 연구 프로젝트에 대한 점검과 실제 박사급 기업 연구원들과 의견을 나눔으로써 관련된 실제 개발 현장의 공학적 문제에 대해서 서로 공유하게 된다. 그리고 롤스로이스는 대학기술센터의 박사과정 학생, 박사 후 연구원들에게 단기 기업체험을 할 수 기회를 부여한다. 대학혁신센터의 교수들도 학교에 휴직하고 롤스로이스의 전문가로 취업하여 실제 현장의 경험을 하고 다시 학교로 돌아올 수 있는 프로그램도 운영한다. 옥스퍼드열유체 연구소의 소장도 휴직을 하고 롤스로이스의 과학기술전문가라는 직위로 3년을 근무하면서, 실제 연구가 현장에 어떻게 적용되고 기업의 제품설계와 생산에 대한 현장 지식을 경험하고 학교로 돌아왔다. 롤스로이스의 전문가들도 대학연구센터에 전문가, 연구교수 등의 직함으로 파견되어 실제 학교에서 진행되는 연구과제에 참여한다. 또한 롤스로이스의 기술전문가로 근무하고 있는 많은 박사급 전문가들은 대학기술센터에서 학위를 하였다.

이렇게 공식적, 비공식 연구협력네트워크가 점점 강화되면서, 대학기술센터는 새로운 형태의 연구생태계가 형성되고 있다.

4. 산학협력을 위한 대학과 정부의 역할

산학협력을 위해서는 기업의 노력과 함께 대학과 정부의 역할도 중요하다. 대학 기술센터 사례에서 정부와 대학의 역할과 노력을 정리하였다.

4.1 공공 연구개발과 산학협력의 연계

정부 입장에서는 산학협력이 연구효율성을 높일 수 있는 핵심적인 정책이다. 공공 연구지원으로 확보된 대학 등 공공 연구자원을 기업이 효율적으로 활용하는 것이 연구개발 효율성을 높이는 길이기 때문이다. 또한 기업과 산학협력을 통해서 대학 등 공공연구기관이 보다 수요자 중심의 연구와 교육을 하도록 유도할 수 있다. 이러한 대학 및 공공연구기관에서 교육과 경험을 가진 인재들이 기업을 창업하거나 기존 기업에 공급하는 것도 중요한 정책과제이다.

영국 정부는 이러한 이유로 산학협력 연구과제에 매칭으로 지원한다. 톨스로이스와 옥스퍼드열유체연구소 간의 프로젝트도 많은 부분이 정부의 지원을 받는 프로그램으로 구성되어 있다. 영국 정부에서 산학협력 연구프로젝트를 전문적으로 지원하는 Innovate UK는 기본적으로 50:50 원칙을 가지고 있다. 전체 연구과제의 50%는 정부가, 50%는 민간기업이 현금으로 분담한다. 이러한 지원은 상호 간에 이득인 것이다. 정부에서는 기존에 육성되어 있는 대학과 공공연구기관의 연구역량을 기업들이 활용하게 해서 산학협력 연구의 효과를 불려고 한다. 반면, 기업에서는 기술비밀 유지, 신속한 개발, 책임있는 조직으로 역할을 수행하는 기업 자체개발을 우선시 하는 경향이 있으나, 연구개발 비용 대비하여 효율성이 높은 산학협력이 있으면 관심을 가질 것이다. 정부의 50% 보조는 이러한 경제적 효율성 측면에서 기업에는 이점으로 작용하게 된다. 또한 톨스로이스와 대학협력센터는 긴밀한 산학협력을 바탕으로 유럽연합에서 지원하는 다양한 연구 프로그램에도 참여하고 있다.

또한 정부가 투자한 대학과 공공기관의 연구시설, 정부의 지속적인 장기 연구과제와 인력양성에 대한 투자도 기업들의 산학협력을 촉진하는 요소가 될 수 있다. 예를 들어, 최근에 영국정부는 새로운 개념의 산학협력 인력양성 프로

그램을 만들어 지원하고 있다. 옥스퍼드열유체연구소가 포함된 가스터빈의 공 기억학 분야의 박사인력 양성 프로그램은 톨스로이스, 지멘스 등 주요 기업들과 옥스퍼드, 캠브리지, 러프브루 대학들과 합작으로 운영하는 인력양성 프로그램이다. 1년 동안 통합교육을 실시하고 각 대학의 연구실에서 3년간 연구하는 것이다. 이들 학생들은 각 대학과 기업을 순회하면서 다양한 연구 및 기업 경험을 가질 수 있도록 하는 현장 중심의 인력양성이다. 이러한 정부 지원 프로그램은 기존의 대학기술센터의 역할을 강화시키고 경제적인 연구효율성을 높이는 효과를 가져온다.

이러한 영국 정부의 혁신환경 조성 차원에서 지원되는 다양한 공공지원이 기업의 산학협력의 잇점을 강화시켜 주고 있다.

4.2 산학협력을 위한 대학의 유연한 행정

대학은 기업들에 필요로 하는 아이디어, 인력, 연구 인프라를 제공하는 좋은 파트너이지만, 산학협력이 항상 성공하지는 못한다. 이러한 이유 중에 하나는 분산적이고 자율적인 학교 문화가 있다[20]. 기업이 원하는 형태의 조직적인 연구 집단이 형성되고 적기에 연구결과가 공급되어야 보다 제품에 즉시 적용 가능한 연구협력을 할 수 있는 것이다. 기업의 투자를 이끌어 내기 위해서 대학의 자율성과 분산적인 조직을 기업의 요구에 얼마나 맞추어 줄 것인가가 산학협력의 성공을 위한 조건이 된다.

이런 측면에서 톨스로이스와 산학 연구협력을 위해 옥스퍼드 대학이 보인 노력은 산학협력을 걸림돌이 되는 대학조직 특성을 극복한 것이다. 먼저, 대학기술센터에 인사 및 학생선발 등에 대한 상당한 자율성을 보장하고 있다. 이는 대학기술센터에 투자 기업의 의사가 반영될 수는 길을 열어 준 것이다. 대학기술센터의 장은 옥스퍼드대학의 교수이지만, 선발에 있어 투자기업인 톨스로이스의 의사를 반영하여 전 세계 공모형태로 진행한다. 그리고 중장기적으로 운영되는 연구 장비를 위해 채용되는 직원들에게도 안정적인 근무가 가능하도록 지위를 허용해 주고 있으며, 임금에 대한 부분도 투자기업의 의사가 반영될 수 있도록 하고 있다.

대학기술협력센터에 대한 투자기업의 참여를 활성화하기 위해서 전문 인력의 파견을 보다 자유롭게 할 수 있도록 자율성을 보장하고 있다. 중단기적으로 파견된 투자기업의 전문가들은 연구프로젝트에 참여하면서 현장에서 의사결정이 바로 이루어질 수 있도록 하고 있다. 이는 단순한 지식의 이전이 아니라 기한 내에 연구 성과를 확보해야 하는 기업의 입장에서는 대학의 협력 연구조직이 체계적인 기술혁신 조직으로 역할을 수행하는데 중요한 요소가 될 수 있다.

대학은 기업의 산학협력을 위한 매칭 투자도 적극적으로 수행한다. 옥스퍼드열유체실험실의 연구공간을 확대하기 위해서 2010년 새로운 부지로 옮기면서 기업에서 시설과 장비에 투자를 하고 건물매입에 대학도 50%의 매칭펀드를 투자했다. 이러한 대학의 과감한 투자는 중장기적 산학협력이 가져오는 대학의 발전에 대한 이해에서 가능하다.

4.3 산학협력을 위한 표준화된 연구관리 시스템 구축

기업의 연구는 대학에서 수행하는 소규모 실험실 수준의 연구를 뛰어넘는 실제 제품을 위한 큰 규모의 실증 연구를 동반하는 경우가 많다. 기업에서 제품을 출시하기 위해 필요한 대규모 실증연구는 고압 등 위험을 내포한 대형 설비를 사용하는 경우가 많다. 그리고 기업은 고객들과 인허가를 위해서 표준화된 자료를 확보해야 한다. 오류가 포함된 자료들은 대형사고, 인허가 영향, 제품의 신뢰도 하락 등 기업에게 치명적인 피해를 줄 수 있다. 이러한 연유로, 기업은 중요한 연구를 기업의 자체연구로 해결하려 한다. 대학이 기업과 더욱 긴밀한 연구협력을 위해서는 기업의 이러한 안전과 데이터 표준 등 연구관리에 대한 인프라를 갖추어야 하다.

옥스퍼드열유체실험실은 이러한 측면에서 선도적인 관리시스템을 갖추고 있다. 옥스퍼드열유체실험실은 고압과 고온을 다루는 항공엔진의 실험을 진행하므로 위험한 연구시설을 많이 보유하고 있다. 롤스로이스는 산학협력을 수행하는 연구실에서 사고를 방지하기 위해 안전관리를 특별히 강조한다.

영국 정부는 HSE(Health & Safety Executive)를 중심으로 위험요인별(소음, 화학물질, 석면 등), 산업별(농업, 공업, 학교, 원자력 등) 위험관리에 대한 안전가이드를 제시하고 각 작업장에서 지키도록 하고 있다. 그러나, 대학 등 연구기관의 경우 고등교육 분야를 별도로 구분하여 대학 및 연구기관들이 스스로 안전관리를 향상 할 수 있도록 전문가로 구성된 대학안전협회(Universities Safety and Health Association , USHA)에 권한을 위임하였다.

옥스퍼드대학은 대학안전협회에 가입하고 이들의 가이드를 따르고 있다. 옥스퍼드 대학은 ‘대학 안전정책 위원회’ 를 구성하여 중요 정책을 결정하고 대학본부에 소속된 안전본부에서 정책을 실행한다. 각 단과대학에도 안전팀이 별도 조직으로 설치되어 있고, 실제 현장의 안전조치는 안전팀에서 수행한다. 특히 옥스퍼드열유체연구소는 위험한 시설을 관리하기 때문에 별도의 안전 관리 직원을 배치하고, 연구장비의 설치, 운영 전반에 대한 안전을 관리하도록 하고 있다. 새로운 연구장비는 대학의 안전연구팀과 협의 하에 설치 및 운영이 가능하다. 옥스퍼드열유체연구소의 별도로 배치된 안전관리 요원은 교육훈련 참여, 실험시설의 안전 규제 이행 여부 등을 세밀하게 관리하고 있다.

특히, 위험 연구시설을 설치하고자 할 때는 연구소는 대학본부와 협의하여 설계단계부터 조언을 듣는다. 설치된 장비의 운영은 객관적인 보험사의 최종 안전 확인이 있어야 가능하다. 대학의 연구시설은 안전사고에 대한 보험이 가입되어 있으며, 보험사는 보험대상이 되는 실험장비에 대한 사전 안전조치 여부를 점검하고 보험 가입대상으로 확정한다. 예를 들어 압력 용기 등 위험시설의 경우에는 보험사의 엔지니어가 직접 방문하여 안전조치들이 갖추어져 있는지 점검하고 보험대상으로 선정하며, 이후에도 주기적으로 안전 관리가 되고 있는지를 확인한다.

대학 연구실은 전문적인 안전조치 외에도 일반적인 상시적인 안전점검을 실시하고 주기적 훈련을 실시한다. 화재에 대비한 주기적 훈련, 시설에 대한 주기적 안전점검, 교육훈련 등에 점검, 신규시설에 대한 내부 안전 점검

등이 일상적으로 이루어지고 있다. 대학에서 요구하는 안전조치에 철저히 대응하여, 별도 전열기구 반입 금지, 전기안전 테스트 통과 콘센트만 사용, 응급조치에 대한 자격증 취득 등에 대해서 철저하게 지키고 있다. 이러한 연구실 안전에 철저한 시스템은 폴스로이스가 믿고 대형 연구시설의 설치와 운영을 지원할 수 있게 한다.

옥스퍼드열유체연구소는 품질경영을 대외적으로 확인하기 위해 2013년 ISO 9001을 획득했다. ISO 9001은 지속적으로 고품질의 제품과 서비스를 제공할 수 있는 시스템을 갖추었다는 것을 증명하는 것이다. 이러한 노력은 기업들과 산업협력을 위한 대학의 끊임없는 노력의 일환으로 이루어지고 있다.

< 대학안전협의회(USHA) 현황과 역할 [45] >

- USHA는 대학 및 연구 기관에서 4,000 명의 보건 안전 전문가를 대표하는 영국의 고등교육 부문의 선도적인 보건 및 안전 협회
- 1972년부터 운영되어 오고 있으며, 현재는 유럽 등 타국가의 대학도 회원으로 가입하고 있고 약 138개의 영국 대학교 및 연구소가 가입한 비영리 단체
- 고등교육기관의 안전관리 가이드라인을 별도로 발표하여 대학의 안전정책 전반에 대한 가이드라인을 제시하고
 - 정기적인 모임을 가지고 주제별 안전정책 향상, 안전관리 가이드라인의 개정 등을 논의하는 역할을 수행
- 이를 위해 대학 부문의 보건 및 안전 발전을 위한 전략적 계획 및 운영 방안을 제시하고 국내 및 국제 안전교류 활동 촉진
 - 영국 대학, 보건안전청 등에 안전과 관련한 조언 및 주요한 안전 보건 문제에 대해서 토론 및 정보 교환의 장 마련
 - 대학의 안전 전문가들을 위한 교육 훈련을 지원하고 보건 안전에 대한 전문지식, 솔루션, 교육 자료를 개발하고 보급

VI. 결론 및 정책적 시사점

연구개발 효율성에 대한 이론적 연구부터, 영국 혁신시스템 분석, 옥스퍼드 대학의 혁신지원, 그리고 룰스로이스의 대학기술센터인 옥스퍼드열유체연구소의 운영에 대해 산학 연구협력 관점에서 분석하였다. 이러한 조사결과를 바탕으로 아래와 같은 정책 제안을 한다.

1. DEA 분석법의 국가과학기술시스템 분석에 적극 활용

본 훈련생은 DEA 분석법을 활용한 연구개발 효율성에 대해서 기술하였다. 기존의 전통적인 DEA 분석법은 국가과학기술혁신시스템(NIS)의 세부적인 분석에 한계가 있다는 것으로 나타났다. 그러나, 최근 개발된 다단계 DEA 모델은 효율적 관점의 국가과학기술혁신시스템에 대한 다양한 분석이 가능한 것으로 나타났다. 2단계 DEA 모델을 통해 연구 성과의 양(Quantity)과 질(Quality)을 분리하여 계산함으로써 국가별 국가과학기술혁신시스템(NIS)에 대한 보다 자세한 분석결과를 얻을 수 있었다.

국내에서도 국가연구개발조사분석, 연구개발활동조사보고서 등 다양한 연구개발 자료의 수집과 분석이 이루어지고 있다. 특히 종합적 관점의 국가과학기술혁신시스템의 분석자료인 과학기술혁신보고서를 매년 발행하고 있다. 그러나, 이들 분석자료는 성과지표를 바탕으로 분석하여 연구자의 주관에 따라 결과가 달라질 수 있다.

이런 점을 보완하여 증거기반의 행정이 이루어질 수 있도록 DEA 분석법 등 보다 개관적인 분석 방법의 장기적인 도입이 필요하다. 아직 학계에서도 DEA 분석법에 대해 연구단계에 있기 때문에, 단기적으로 보조 분석방법으로 활용하고 장기적으로 그 효과성이 충분히 검증되면 보다 적극적으로 DEA 분석법을 국가과학기술혁신시스템 분석에 도입할 필요가 있다.

2. 국내 연구개발 정보시스템의 개선 추진

본 훈련생은 영국 정부에서 실시되는 전반적인 연구개발 지원에 대한 최신 정책 대한 자료를 수집하고 분석하였다. 특히, 영국의 연구개발 정보의 수집과 활용은 체계적으로 이루어지고 있다는 것을 파악하였다. 영국 정부는 연구개발 정보를 researchfish라는 시스템으로 수집하고 있다. 연구개발 자료의 수집에 있어서, 연구자의 편리함을 확보하기 위한 개선과 정보의 누락을 막기 위한 노력이 지속적으로 개선되고 있다. 이렇게 수집된 연구개발 자료는 정보 가공을 통해 다양한 형태의 서비스로 연구자, 기업 등으로 제공되고 있다. 그리고 그 정보의 수집과 가공과정에 기업들이 참여하고 그 결과를 기업들의 사업에 활용할 수 있도록 하여 민간 연구개발 서비스업이 창출되고 있다.

국내에서도 연구개발정보를 수집하고 분석하는 시스템을 개발하여 운영하고 있다. 그러나, 영국의 시스템과 비교했을 때 국내 연구개발 정보시스템은 경직된 측면이 있고, 수집된 자료의 가공에 취약한 면을 보여주고 있다. 이는 연구개발 정보에 대한 개방이 이루어지지 않고 공공기관 간에 서로 공유되지 못하는 문제에서 발생하는 것으로 파악되고 있다. 영국은 수집하는 기관과 서비스로 변형하여 제공하는 기관이 다름에도 정보공유가 원활히 이루어지고 있다. 그리고 이 과정에서 민간기업을 적극적 활용하고 있다. 영국 연구개발 정보시스템에 대한 사례를 보다 면밀히 분석하여 국내 연구개발 정보시스템의 수집과 활용을 개선하는데 활용할 것을 제안한다.

3. 롤스로이스의 대학기술센터와 같은 전략적 산학협력 지원

산학협력의 모범 연구현장인 옥스퍼드대학과 산하 옥스퍼드열유체연구소의 산학협력 사례를 조사하였다. 이러한 성공적인 산학모델이 만들어진 요소에는 여러 가지 사유가 있었다.

먼저 롤스로이스의 과감한 전략과 투자가 있었다. 롤스로이스는 대학의 산학협력센터에 대부분의 핵심연구를 맡겼다. 첨단 항공엔진 기업이지만, 기업 내 연구개발을 줄이고 대학의 산학협력센터를 기업 내 자체 연구소처럼 활용하였다. 기존의 기업들이 자체 연구소를 가지던 이유로 들던,

기술 정보의 대외 유출, 기한 내 연구 성과 달성 어려움, 연구조직에 대한 지배력 약화 등을 극복해 내고 20년 이상 장기간 성공적인 협력을 이어오고 있다.

그리고 산학협력을 촉진하기 위한 정부와 대학의 노력도 이러한 산학협력의 성공요인이었다. 정부는 산학협력의 경제적 효율성을 높이기 위해 과감한 매칭 투자를 하였다. 대학은 행정을 유연하게 적용하여 기업의 산학협력이 가능하게 하는 한편, 기업들이 원하는 표준화된 연구개발 시스템을 갖추는 노력을 지속했다.

산학연구협력에는 다양한 형태가 존재한다. 기업들은 기업의 환경, 기술분야, 대학의 여건 등이 고려되어 가장 적합한 산학협력 모델을 선택할 수 있다. 이번에 조사한 내용은 롤스로이스의 모델과 같은 혁신적인 산학모델을 선택하는 기업이 성공하기 위한 조건은 무엇인가에 대해 국한되어야 한다.

국내에서도 점차 롤스로이스와 같은 대학과 전략적 산학협력으로 전환하려는 기업들이 나타나고 있다. 이러한 기업이 성공적인 산학협력을 하도록 정부와 대학도 변화하여야 한다.

대학행정을 보다 유연하게 하여 기업들이 대학과 연구협력 조직에 대한 보다 지배적인 경영을 할 수 있도록 허용하고 정보에서도 매칭펀드 지원 등이 검토되어야 한다. 그러나, 앞서 조사에서 나타났듯이 대학기술센터에 대한 대부분의 투자와 연구효율성 향상을 노력은 기업 자체에서 나오고 있다. 정부와 대학은 이들 기업이 잘 할 수 있도록 도와주는 역할에 있다.

참고문헌

- [1] Chris Freeman. The ‘national system of innovation’ in historical perspective. *Cambridge Journal of economics*, 19(1):5-4, 1995.
- [2] Ram´on Padilla-P´erez and Yannick Gaudin. Science, technology and innovation policies in small and developing economies: The case of central america. *Research Policy*, 43(4):749-59, 2014.
- [3] Jiancheng Guan and Kaihua Chen. Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research policy*, 41(1):102-15, 2012.
- [4] Hyeri Choi and Hangjung Zo. Assessing the efficiency of national innovation systems in developing countries. *Science and Public Policy*, 2019.
- [5] OECD. OECD Science, Technology and RnD Statistics. www.oecdilibrary.org, 2019.
- [6] Astrid Cullmann, Jens Schmidt-Ehmcke, and Petra Zloczysti. Innovation, r&d efficiency and the impact of the regulatory environment: A two-stage semi-parametric dea approach. 2009.
- [7] Yuezhou Cai. Factors affecting the efficiency of the bricss’ national innovation systems: A comparative study based on dea and panel data analysis. *Economics Discussion paper*, (2011-52), 2011.
- [8] Ta-Wei Pan, Shiu-Wan Hung, and Wen-Min Lu. Dea performance measurement of the national innovation system in asia and europe. *Asia-Pacific Journal of operational research*, 27(03):369-92, 2010.
- [9] Seema Sharma and V Thomas. Inter-country r&d efficiency analysis: An application of data envelopment analysis. *Scientometrics*, 76(3):483-01, 2008.
- [10] Wade D Cook. *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and dea-solver software*, 2001.
- [11] 안지혜. 2017년 한국의 과학기술논문 발표 및 인용 현황, 2019.
- [12] Elias G Carayannis, Evangelos Grigoroudis, and Yorgos Goletsis. A multilevel and multistage efficiency evaluation of innovation systems: A multiobjective dea approach. *Expert Systems with Applications*, 62:63-80, 2016.
- [13] Lawrence M Seiford and Joe Zhu. Profitability and marketability of the top 55 us commercial banks. *Management science*, 45(9):1270-288, 1999.
- [14] Jon A Chilingerian and H David Sherman. Health care

applications. In Handbook on data envelopment analysis, pages 481–37. Springer, 2004.

[15] Liang Liang, Wade D Cook, and Joe Zhu. Dea models for two-stage processes: Game approach and efficiency

[16] Innovation & Skills Department for Business. Higher education: Success as a knowledge economy-.white paper, 2016.

[17] UK BEIS. UKRI Framework Document, 2018.

[18] UK Research and Innovation. www.ukri.org

[19] Annette Alstadsater, Salvador Barrios, Gaëtan Nicodéme, Agnieszka Maria Skonieczna, and Antonio Vezzani. Patent boxes design, patents location, and local r&d. Economic Policy, 33(93):131–177, 2018.

[20] Lars Frolund, Fiona Murray, and Max Riedel. Developing successful strategic partnerships with universities. MIT Sloan management review, 59(2):71–79, 2018.

[21] Giovanni Schiuma and Daniela Carlucci. Managing strategic partnerships with universities in innovation ecosystems: A research agenda. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 4(3):25, 2018.

[22] Markus Perkmann, Ammon Salter, et al. How to create productive partnerships with universities. MIT Sloan Management Review, 53(4):79–88, 2012.

[23] Lars Frolund and Max Riedel. Strategic Industry-university Partnerships: Success-factors from Innovative Companies. Elsevier, 2018.

[24] Rolls-Royce Holdings plc. www.roll-royce.com.

[25] Rolls-Royce Holdings plc. 2018 annualreport, 2019.

[26] ESA TEC-SHS. Technology readiness levels handbook for space applications, 2008.

[27] University of Oxford. Celebrating 25th anniversary of the rolls-royce university technology centre in solid mechanics, 2015.

[28] Oxford Thermofluids Institute. <http://oti.eng.ox.ac.uk/>

[29] Tim Wilson. A review of business-university collaboration. 2012.

[30] 과학기술정보통신부. 2019년도 업무계획, 2019.

- [31] 오동현 이정동. 효율성 분석 이론. 지필미디어, 2012.
- [32] UKRI. www.ukri.org/innovation/industrial-strategy-challengefund, 2019.
- [33] UKRI. www.ukri.org/research/global-challenges-research-fund, 2019.
- [34] UKRI. ktn-uk.co.uk, 2019.
- [35] UK Research and UK Innovate. Delivery plan 2019, 2019.
- [36] UK Research and UK Innovate. Ukri infrastructure roadmap: Summary of the progress report, 2019.
- [37] UK Research and UK Innovate. gtr.ukri.org, 2019.
- [38] Researchfish. www.researchfish.net, 2019.
- [39] UK Research and UK Innovate. konfer.online, 2019.
- [40] UK EPSRC. equipment.data.ac.uk, 2019.
- [41] UK HM Revenue & Customs. Research and development tax relief, 2016.
- [42] Research Professional. info.researchprofessional.com, 2019.
- [43] Oxford Martin School. www.oxfordmartin.ox.ac.uk, 2019.
- [44] Oxford University Innovation. innovation.ox.ac.uk, 2019.
- [45] The Universities Safety and Health Association. www.usha.org.uk, 2019.