

DEA를 활용한 국가별 글로벌 기술협력 수준 분석 : OECD 국가를 중심으로*

이민국 · 이성주[†]
아주대학교 산업공학과

Using DEA to Analyze the Degree of Global Technology Cooperation at the National Level

Mingook Lee · Sungjoo Lee
Department of Industrial Engineering, Ajou University

■ Abstract ■

Under a rapidly changing environment, firms have attempted to co-operate with organizations that possess high technologies to improve their technical capabilities. Most countries have worked towards developing a suitable strategy for international technology co-operation based on the diagnostic results of their technological capabilities and indices. These diagnostic results indicate the level and degree of international technology co-operation that have been developed in academia. However, identifying the overall conditions of international technology co-operation based on existing indices is a difficult task. Hence, to address this problem, indices that can measure diverse perspectives of core technology co-operation activities need to be developed.

This research aims to develop a framework for identifying the current state of international technology co-operation in diverse perspectives at the national level. We develop indices based on relevant literature and formulate an analytical framework for international technology co-operation in diverse perspectives using DEA analysis. The results are expected to contribute to effective technology planning at the national level by diagnosing capabilities for international technology co-operation from diverse perspectives.

Keywords : Global Technology Cooperation, Indicator Development

논문접수일 : 2015년 12월 02일 논문게재확정일 : 2016년 03월 29일

논문수정일(1차 : 2016년 02월 01일, 2차 : 2016년 03월 15일)

* 본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 이루어졌습니다(2013R1A2A2A03016904).

[†] 교신저자, sungjoo@ajou.ac.kr

1. 서 론

개방형 혁신 및 글로벌 기술경쟁의 시대에서, 지속적인 성장을 위해서는 해외의 첨단기술자원을 적극 활용하여 산업기술 R&D(Research and Development)의 효율을 높여야 할 필요성이 제기되고 있다 [3, 8]. 이는 기술의 수명주기가 짧아지고 연구개발 투자의 위험이 커짐에 따라, 혁신 시스템을 통한 기술 경쟁력의 확보가 중요해지고 있기 때문이다. 특히, 노동력과 자본 등 여러 제약을 가진 단일 기업과 개발도상국의 경우에는 기술개발 단계에서 선진기술을 모방하거나 학습하여 기술 경험을 충분히 축적한 뒤에, 새로운 기술혁신을 창출할 수 있는 단계로 발전할 수 있으므로 더욱 필수적이라고 할 수 있다[19].

국제 기술협력(Global Technology Cooperation)은 이런 패러다임이 반영된 현상으로서 하나 이상의 국가가 포함된 동반 관계 속에서 연구개발 활동의 결과물을 만들어내기 위한 폭 넓은 범위의 상호작용을 의미한다[6]. 이는 민간부문 뿐만 아니라 공공부문에서도 활발히 이루어지고 있으며[16], 과학기술 논문의 공동 출판과 일본의 연구자 교환프로그램인 HFSP(Human Frontier Science Program) 및 유럽의 R&D 프로젝트 네트워크 개발정책 등을 그 예로 들 수 있다[11, 13, 21, 26].

과거에도 국가 사이의 기술협력 개념이 있었지만 신흥 성장국가들이 세계시장에 빨리 참여할 수 있도록, 정치적이거나 인도주의적 차원에서 기초 과학기술을 전파하는 수준에 불과했다. 특정 선진국 간에는 지구적 차원의 문제를 해결하기 위해 거대과학(Big Science)이나 메가 사이언스(Mega Science)로 불리는 프로젝트를 수행한 전례가 있었지만 공동과학연구에서 산업기술로의 전환이 일어나지 않았으므로 기술협력이 실현되었다고 보기 힘들다. 즉, 최근의 국제 기술협력이란 산업에서 활용할 수 있는 기술을 능동적으로 획득하고 개발하기 위한 다양한 R&D 활동으로도 받아들일 수 있다. 이러한 배경에서, 기술협력을 유형화하기 위해 협력의 주체, 목적 및 방식 등을 바탕으로 한 개념을 제시하거나 실증

적 방법으로 성과를 분석하고 원인을 규정하는 등의 다양한 연구가 이루어져 왔다.

한편, 이를 위해 학계를 비롯한 공신력 있는 민간 및 공공기관에서는 기술협력의 글로벌화 수준을 측정하고 평가할 수 있는 지표를 개발하고 제시해왔다. 혁신 네트워크 또는 국가혁신 시스템의 개념을 바탕으로 R&D 활동의 글로벌화를 파악할 수 있는 방안이나[23, 25], OECD의 STI Scoreboard(Science, Technology and Industry Scoreboard) 또는 IMD와 WEF에서 발간하는 세계경쟁력 지표 등이 바로 그것이다. 그러나 전자의 경우에는 실제 데이터에 적용하여 가용성과 유용성이 검증하지 않았기에 다소 제한되거나 추상적인 개념 제시에서 그칠 수 있고 후자의 경우, 국제 기술협력 현황에 집중적으로 초점을 맞춘 별도의 지표가 구성되지 않았을 뿐만 아니라 이론적 배경에 근거하여 설계되지 않았다는 한계가 있다. 특히, 국가별 글로벌 R&D 협력 현황을 분석한 사례는 많지 않으므로 각 국가의 국제 기술협력 역량을 다양한 요소별로 진단한다면 해당 국가의 효과적인 기술협력 전략 수립에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이를 위해서는 핵심 R&D 협력활동의 여러 측면을 고려할 수 있는 지표가 개발되어야 하며 실증적인 분석으로 검증되어야 한다.

따라서 본 연구는 이전이 쉽게 이루어지지 않는 핵심 원천기술이 아니라, 성공적인 시장진출을 위해 협력이 요구되는 산업기술을 대상으로, 국가 차원에서 글로벌 기술협력의 현황을 분석할 수 있는 프레임워크를 개발한 뒤, 실제 OECD 회원국가 데이터에 적용하여 해당 국가들의 시사점을 도출하는 것을 목표로 한다. 이를 위해, 첫째, 국제 기술협력과 분석방법에 대한 연구로부터 기술협력 수준에 영향을 줄 수 있는 직접, 간접 요인들을 조사한 뒤, 가용지표의 선택기준을 설계하고 OECD STI 등의 국제 통계자료를 취합한 지표를 도출하였다. 둘째, OECD 회원 국가 데이터를 대상으로 지표의 주성분 분석을 수행하여 다수 지표들로부터 핵심 협력 요인을 추출하였다. 셋째, 군집분석을 수행하여 각 국가들의 특징을 분석하였다. 마지막으로, 추출된 핵심 협력 요

인 점수를 T 분포 점수로 변환한 뒤, DEA를 적용하여 회원 국가들의 국제협력 수준을 분석하였다.

DEA는 다수 투입과 산출을 갖는 의사결정단위(DMU)의 상대적 효율성 분석방법이다[7]. 초기 연구는 의사결정 단위의 운영효율성이나 수익성 등을 측정하기 위해 활용되었으나 최근 연구에서는 범위가 확장되어 공급자 선정 등의 다기준 의사결정 문제로 확장되고 있으며[2, 10], 벤치마킹(Benchmarking)을 위한 방안을 수립케 하는데 일조하고 있다[1]. 이러한 DEA를 활용한 연구들은 정량지표 뿐 아니라 정성지표 또한 산출지표로 활용되고 있다[18]. 산업기술 협력수준을 평가하는 문제 또한 다기준 의사결정 문제의 일종으로 파악할 수 있다. 즉, 산업기술 협력수준을 측정할 수 있는 다수 개의 핵심요인에 따라 협력수준이 가장 높은 국가를 선정하는 문제가 될 수 있으며, 분석대상 중 가장 효율적인 대상을 기준으로 비효율적인 나머지를 상대적으로 평가하는 비모수 기법인 DEA가 분석방법으로써 적합하다. 해당 분석은 벤치마킹의 목적에서 절대비교가 아닌 상대비교가 이루어져야 할 뿐만 아니라, OECD 가입국가라는 소수의 분석대상은 통계적 분포를 띄지 않으므로 비모수적 통계분석이 필요하기 때문이다. 한편, 본 문제의 경우 산업기술 협력수준에 영향을 미치는 투입요인이 무수히 많고 복잡하며, 투입요인이 증가할수록 산업기술 협력수준이 반드시 높아진다는 DEA의 기본 전제가 성립하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 기존의 DEA 모형 대신 Lovell and Pastor[20]이 제안한 순수 산출지향형 DEA 모형을 적용한다. 본 모형은 투입이 없이 산출만을 갖는 DEA 모형으로 투입과 산출의 관계가 불명확할 경우에 가용한 모형[18]으로, 본 연구의 목적에 적합할 것으로 판단된다.

본 연구결과는 이론적으로는 다양한 평가지표를 활용하여 국제 협력기술수준을 정량적으로 분석할 수 있는 방법론을 제시하였으며, 실무적으로는 우리나라의 국제 협력기술수준이 어느 정도이며, 이를 개선하기 위해 어떠한 전략이 필요한지를 분석할 수 있도록 지원할 것이다.

2. 이론적 배경

2.1 국제 기술협력

국제 기술협력이란 파트너 각각의 입장에서 비용을 줄이고 이득을 창출하기 위한 모든 R&D 활동으로, 최근의 국제화 추세에 따라 국경을 넘은 교류가 지속적으로 커지고 있다[17]. 그 결과, 협력의 주체와 목적 그리고 촉진 및 저해요인이 무엇인가에 대한 연구가 다양하게 진행되었다.

먼저, 기술협력이 국제 과학협정에 따른 몇몇 정부연구기관으로 제한되지 않고 개별 연구자, 기업, 대학교까지 참여범위가 더욱 넓어짐에 따라 이에 주목하여 협력을 분류하려는 시도가 이루어졌다[15]. Geisler[12]는 다양한 연구 섹터 간 협력을 각각 정의한 뒤, 협력의 산출물들과 대치한 매트릭스를 협력의 분류 체계로 제시하였다. 이 밖에도 기술의 세계화를 ‘혁신의 국제적 활용’, ‘혁신의 세계적 개발’, ‘과학기술협력’ 세 가지 관점으로 보고 각각의 행위자 및 형태를 제시한 연구도 존재한다[4]. 이들의 연구는 국제 기술협력에 참여하는 연구주체와 협력의 성과가 무엇인지를 정리한다는 점에서 공통점을 가지고 있다.

한편, 초국가적인 기술협력을 수행하는 목적이 무엇인지를 규명한 연구도 있다. 이득을 그 원인으로 본 Georghiou and Hinder[14]는 과학기술을 개발하고 그 성과를 공유할 수 있는 조직에게 유익한 직접 이득과 협력이 이루어지는 정치, 경제, 문화, 사회적 환경이 얻는 간접 이득이 무엇인지 알아보는 연구를 진행하였다. Niosi[24]는 학습 경험을 확보하게 되면 기술에 대한 사회의 흡수 역량을 높일 수 있기 때문에 협력을 기반으로 한 R&D의 국제화가 더욱 성취하기 수월하다는 연구를 제시하였다.

이러한 연구뿐만 아니라 협력을 촉진하거나 저해할 수 있는 요인을 규명한 연구도 진행되었다. CREST Working Group[9]의 연구에 따르면, 협력 국가의 선택에 있어서 지식 노동자들의 유·출입과 지리, 역사, 언어, 문화적 요인 및 무역 마찰, 규제 정책, 불공

정 거래 등 정부 간 관리 규제의 차이점을 고려해야 한다. 해외 프로그램을 지속적으로 유지하고 공정한 무역을 세우며, 지적재산권 등의 표준을 수립하는 것이 중요하다는 연구도 이를 뒷받침한다[16].

국제 기술협력에 대한 기존 연구들은 다양한 관점을 제시하고 있지만 이를 뒷받침할 수 있는 실증적인 분석이 수행되지 않아, 실제 협력에서 의도한 대로 작용하고 있는지를 확인할 수가 없다. 그러나 열거된 다양한 관점들은 지표의 개발에서 고려해야 할 사항임은 분명하므로 참고자료로서 활용할 수 있다. 결국, 이론적 근거에 의한 지표의 개발은 국제 기술협력 현황 분석체계에서 논리적인 설명력을 가질 수 있을 것으로 기대된다.

2.2 기술협력 분석지표 및 체계

국제 기술협력을 측정하려는 시도는 학계뿐만 아니라 국제적으로 공신력 있는 민간 및 공공기관에 의해서도 이루어지고 있다.

Niosi and Bellon[23]는 과학기술의 국제화 추세에 따라 국가혁신시스템(National System of Innovation, NSI)의 개방이 시급하다는 점을 역설하기 위하여 국제적인 R&D 활동의 측정 기준 및 이에 적합한 기존 지표를 제시하였으며 국제화가 활발히 진행되기 위해서는 충분한 재화 및 서비스의 수요, 산업의 탈지역화 및 탈규제화, 유동적인 자본시장, 다국적 회사(Multi-National Corporations)의 기술소유가 필요하다고 강조하였다. 기존의 기술협력 분석 지표는 혁신의 인풋과 아웃풋에만 초점을 맞추고 있다는 점을 지적하고 혁신 프로세스를 설명할 수 있는 변수가 필요하다는 배경에서 수행된 연구도 있다[25]. Archibugi and Michie[4]가 제시한 ‘기술의 세계화’ 분류체계에 근거하여 기술의 활용과, 기술의 협력, 기술의 개발을 틀로 하여 각각을 설명할 수 있는 혁신 인풋 지표, 혁신 프로세스 지표, 혁신 아웃풋 지표를 제시하였다.

글로벌 기술협력의 정도를 직·간접적으로 측정할 수 있는 지표들은 기존의 OECD, WEF, IMD와 같은 기존의 국제비교 목적 지표에 포함되어 있다. 이

는 통계지표뿐만 아니라 설문지표를 포함하고 있다는 점에서 정량 및 정성적인 정보를 복합적으로 다룰 수 있고, 매해 주기적으로 데이터가 갱신된다는 점에서 지속적인 정보의 확보도 용이하다. 그러나 통계정보의 전달에만 초점을 맞춘 본래의 목적 상 이론적 근거를 제시하지 않으므로 전략적으로 분석할 때, 논리적 근거를 제공할 수 없다. 또한, 지표의 유기적인 연계가 이루어지지 않으므로 종합적인 과학기술의 협력현황을 파악하고 분석하기 힘들다.

따라서 국제 기술협력의 분석지표를 기존의 국제 비교지표에서 추출하되, 학계에서 제시된 이론적 토대에 적합한 선정기준으로 선정되고 분류 및 검증되는 연구가 수행되어야 할 것이다.

특히 본 연구에서는 과학기술이 아닌 산업기술 관점에서 국제 기술협력수준을 분석하고자 한다. 따라서 기존연구에서 많이 활용하였던 특허와 논문, 공동 R&D 건수 뿐 아니라 산업기술 관점에서 인력교류, 자금교류 등을 지원해 주 수 있는 산업인프라 및 문화·환경 측면에서의 특성까지 반영한 평가체계를 개발하고자 한다.

3. 연구 방법론

3.1 데이터

분석에는 R&D 활동을 조사하는 OECD STI 지표와 국가별 경쟁력을 비교하고 평가하는 WEF와 IMD의 세계경쟁력지표를 2010년 기준으로 수집 가능한 모든 데이터가 활용되었다 <표 1>. OECD STI는 과학과 기술 그리고 혁신에 관련한 18개의 주제로 구성되고, 세부지표는 2010년 기준 총 76개로 구성되어 있다. OECD의 특허통계가 연계되어 있어, 공동연구의 측정 및 관련 지표들을 개발할 때 유용하다. WEF 세계경쟁력지표는 기본요인, 효율성증진, 기업혁신 성숙도의 3대 분야 및 12개 부문으로 구성되고 IMD 세계경쟁력지표는 경제적 성과, 정부의 효율성, 기업의 효율성, 인프라를 설명하는 4대 부문과 20개 하위 부문으로 이루어졌다. 양 지표 모두 정량 및 정성지표를 다루고 있어 다양한

주제로 활용하기 수월하다. 평가 대상 국가는 제시된 3개의 지표에 공통적으로 포함된 미국, 영국, 한국 등 34개의 OECD 회원 국가이다. OECD는 경제협력과 개발을 위한 조직인 만큼 국제기술협력의 현황을 파악할 대상으로 적합해 보인다.

〈표 1〉 국제 기술협력 평가지표의 원천

데이터 원천	출처
OECD	OECD STI Scoreboard 2011 OECD STI Scoreboard 2012
WEF	WEF Global Competitiveness Report 2010~2011
IMD	IMD World Competitiveness Yearbook 2010 IMD World Competitiveness Yearbook 2011

3.2 연구 프로세스

본 연구의 전체적인 연구 프로세스는 [그림 1]과 같으며 크게 네 단계로 구성된다.

연구를 위한 첫 번째 단계는 문헌연구에 의한 지표의 개념모형을 수립하여 OECD, IMD, WEF의 국제 비교지표 데이터베이스로부터 국제 기술협력 지표로 활용할 수 있는 가용지표들을 탐색한다. 이를 위해서, 선택지표들이 기술협력을 구성하는 주요 요소별로 균등하게 구성되었는지를 파악할 수 있는 기준이 필요하다.

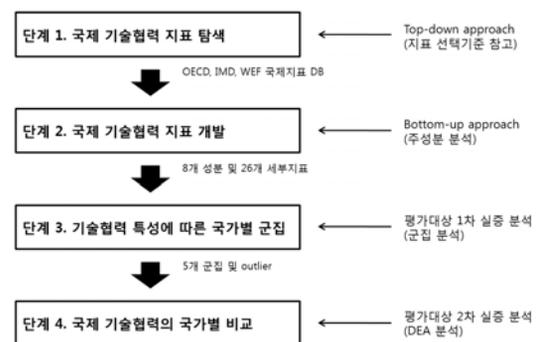
한편, Rycroft[25]는 기존의 국제 기술협력 비교 지표가 혁신의 인풋과 아웃풋 측면에 치중한 나머지 그 과정을 나타내는 프로세스가 경시되었다고 지적하였다. 이런 배경에서 본 연구는 R&D 인풋과 아웃풋 측면을 담당하는 직접평가와 프로세스 측면을 담당하는 간접평가로 구성된다. 직접평가는 글로벌 기술협력을 위한 노력과 결과물[4, 25]이 얼마나 산출되는지를 평가하고 간접평가는 글로벌 기술협력을 지원해줄 수 있는 환경적(시장과 비즈니스 글로벌화) 요소[9], 역량적(교육과 언어 글로벌화) 요소[24], 자원적(인력과 자본 글로벌화) 요소[22]를 평가한다.

두 번째 단계에서는 추출된 세부지표들을 대상으

로 국제 기술협력의 주된 요소를 추출하기 위하여 주 성분 분석을 수행한다. 이를 통해 다양한 변수들을 보다 적은 개수로 설명할 수 있는 새로운 변수를 확보할 수 있고 이를 통해 새로 명명된 성분들은 대표성 또한 지니고 있으므로 국제 기술협력을 나타내는 지표로도 활용할 수 있다.

세 번째 단계에서는 새로 개발된 주성분을 활용하여 OECD 회원 국가에 대하여 기술협력 현황을 파악한다. 이를 위해서 계층적 군집 분석과 K-means Clustering을 활용하여 각각의 군집을 기술협력의 유형으로 명명하는 작업이 이어진다. 일반적인 국가의 정보와 기술협력 지표에 의해서 구분되는 국가의 분포를 확인할 수 있게 된다.

마지막으로 각 지표를 T점수로 환산하여 국가 대 국가로 비교 및 분석하는 작업을 수행한다. 이를 위해 26개에 달하는 각 국제 기술협력 지표를 대상으로 DEA 분석을 수행하여 종합 순위를 추출해낸다. 또한, 기술협력에 직접적으로 영향을 미치는 지표 그룹과 간접적으로 영향을 미치는 지표 그룹 각각 DEA 분석을 실시한 뒤, 기술협력 역량에 있어서 각 국가의 상대적인 위치를 확인할 수 있는 매트릭스를 구성한다.



[그림 1] 연구 모형

DEA 분석 결과와 군집분석 결과는 국제 기술협력의 관점에서 벤치마킹의 일환으로 활용될 수 있다. 기본적으로 기술협력의 직접요인과 간접요인을 통합한 DEA 종합순위를 벤치마킹의 1차적 기준으로 바라보되, 동일 군집 내에서 효율성 측면에서 뛰어난 국

가를 2차적으로 우선한다. 만약, 이를 만족하는 경우가 없을 경우에는, 분석자의 기호에 따라 직접요인 또는 간접요인 측면에서 벤치마킹의 대상으로 볼 수 있는 국가를 기술협력의 대상으로써 추가 분석을 실시하여 시사점을 추출하는 작업이 이루어진다. 한편, 군집결과는 기술협력의 특성을 나타낼 뿐 절대적인 우위를 가리키는 것이 아니므로 해석할 때 이를 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 제시한 방법론의 적용사례로서 한국의 벤치마킹에 대해 고찰하였으며, 마지막으로 추후 연구방향을 논의한다.

4. 국제 기술협력 현황 분석체계

4.1 기존 기술협력 지표 탐색

직접평가와 간접평가의 관점에서 R&D 인풋, R&D 프로세스, R&D 아웃풋을 측정하기 위하여 8개 평가항목, 19개 평가기준, 26개의 세부지표가 구성되었고 정량지표는 17개, 정성지표는 9개가 포함되었다(<표 2>, <표 3> 참조). 그리고 평가 기준에 따라 WEF, OECD, IMD의 지표를 수집하되, 'FDI 유·출입 Stock 규모'와 같이 해당 국가가 타 국가로부터

<표 2> 국제 기술협력 평가의 선택지표

평가 항목	평가기준	지표	자료원
시장 (Market)	시장 효율성	외국인의 소유권 인정*	WEF
		Hidden 무역장벽/무역장벽의 확산*	WEF
	시장 효과성	GDP 대비 하이테크 산업의 교역비중	OECD
비즈니스 (Business)	경쟁우위	국제 시장 경쟁우위의 원천*	WEF
		국제 유통채널에 대한 통제*	WEF
		국내 대비 국외 자회사의 비율	OECD
	가치/태도	글로벌화에 대한 인식*	IMD
해외에서의 이미지*		IMD	
교육 (Education)	해외유출	인구 1,000명 당 해외유출 인력	IMD
	국내유입	인구 1,000명 당 해외유입 인력	IMD
언어 (Language)	영어능력	TOEFL 점수	IMD
	언어능력	언어 능력이 기업니즈를 만족시키는지 여부*	IMD
인력 (Labor)	해외인력	High-skilled 해외노동력이 느끼는 매력도*	IMD
	국내인력	국내인력의 해외경험*	IMD
	과학기술인력	고용 대비 과학기술 직업의 비율	OECD
자본 (Capital)	FDI stock	FDI 유·출입 Stock 규모	IMD
	FDI flow	FDI 유·출입 Flow 규모	IMD
노력 (Efforts)	해외투자	국내 R&D 지출 중 해외로부터의 투자율	OECD
		기업 R&D 지출 중 해외로부터의 투자율	OECD
	국내투자	기업 R&D 지출 중 해외자회사 R&D 투자율	OECD
성과 (Performance)	공동특허	발명의 국제적 소유 비율	OECD
		해외와의 공동개발 특허 비율	OECD
	공동출판	과학논문의 국제공동 비율	OECD
	파급효과	국제 공동연구의 인용결과	OECD
	기술거래	국제 기술 수입금 비율	OECD
국제 기술 지급금 비율		OECD	

주) * 정성지표.

〈표 3〉 국제 기술협력 평가의 선택지표 별 설명

지표	설명
외국인의 소유권 인정*	외국인이 소유한 기업의 비중
Hidden 무역장벽/무역장벽의 확산*	무역장벽으로 인한 제약의 정도
GDP 대비 하이테크 산업의 교역비중	국내 총 생산 대비 R&D 집약산업(항공, 전자, 제약, 기구, 사무기계 및 컴퓨터) 무역수지의 평균
국제시장 경쟁우위의 원천*	독자적 제품과 프로세스에 기반을 둔 경쟁우위 여부
국제유통채널에 대한 통제*	자국 기업에 의한 유통과 마케팅 활동 여부
국내 대비 국외 자회사의 비율	국내 회사 대비 해외 자회사의 비중
글로벌화에 대한 인식*	글로벌화에 대한 긍정적인 태도
해외에서의 이미지*	국가 이미지가 비즈니스 착수에 긍정적 영향을 미치는 정도
인구 1,000명 당 해외유출 인력	인구 1,000명 당 해외에서 수학하는 유학생의 비중(고등교육 기준)
인구 1,000명 당 해외유입 인력	인구 1,000명 당 국내에서 수학하는 유학생의 비중(고등교육 기준)
TOEFL 점수	국가별 TOEFL 점수의 평균
언어능력이 기업니즈를 만족시키는지 여부*	기업 니즈(Needs)를 충족하는 인력의 언어역량
High-skilled 해외노동력이 느끼는 매력도*	High-skilled 인력이 느끼는 국가별 비즈니스 환경의 매력도
국내인력의 해외경험*	국제경험을 보유한 관리자의 중요성
고용 대비 과학기술 직업의 비율	전체 대비 과학기술 직업군의 비중
FDI 유·출입 Stock 규모	국내 총 생산 대비 국내·해외 간 투자비 저장량의 평균
FDI 유·출입 Flow 규모	국내 총 생산 대비 국내·해외 간 투자비 유량의 평균
국내 R&D 지출 중 해외로부터의 투자율	국가 총 연구개발비 대비 해외발 투자비의 비중
기업 R&D 지출 중 해외로부터의 투자율	기업 총 연구개발비 대비 해외발 투자비의 비중
기업 R&D 지출 중 해외자회사 R&D 투자율	기업 총 연구개발비 대비 해외 자회사의 연구개발비의 비중
발명의 국제적 소유 비율	해외 소유의 국내발명 비중과 국내 소유의 해외발명 비중의 평균
해외와의 공동개발 특허 비율	해외 출신 공동 발명자가 참여한 특허의 비중
과학논문의 국제공동 비율	타 국가 소속 복수 이상의 저자와 공동으로 저술한 과학 논문의 비중
국제 공동연구의 인용결과	세계 평균 인용 대비 국가별 타 국가, 기관 및 저자로부터 인용 받는 규모의 정규화 값(국제협력 비중 반영)
국제 기술 수입금 비율	국가 총 연구개발비 대비 기술 수입금의 비중
국제 기술 지급금 비율	국가 총 연구개발비 대비 기술 지급금의 비중

주) * 정성지표.

터 협력의 대상이 되거나 협력을 능동적으로 실시하는지를 동시에 바라볼 수 있는 관점을 견지하여 복합지표를 개발하는 작업도 수행되어졌다. 그 결과, 과학기술지표를 다수 보유하고 있는 OECD 지표로 직접 평가가 이루어지고, 다양한 주제를 가진 WEF와 IMD의 지표가 간접 평가로서 주로 활용되고 있다.

4.2 기술협력 지표 개발

주성분 분석으로 직접평가와 간접평가에서 쓰이

는 지표들을 베리맥스(Varimax) 회전으로 이용하였다. 각 관점의 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO) 점수 모두 0.6을 넘으므로 표집이 적합하고 Bartlett의 구형성 검증 점수도 유의확률이 0.001보다 작으므로 주성분 분석이 적절하다는 것을 확인할 수 있다. 직접평가의 9개 세부지표들은 3개의 주성분으로 분산의 81.47%를 설명할 수 있으며 첫 번째 성분은 R&D 협력 성과, 두 번째 성분은 개방적 R&D 자본 운용, 세 번째 성분은 국제 기술거래의 유동성으로 볼 수 있다(<표 4> 참조). 간접평가의 17개 지표들은 5개의

〈표 4〉 직접평가 지표의 주성분 분석결과

주성분	지표	자료원
R&D 협력 성과	발명의 국제적 소유 비율	OECD
	해외와의 공동개발 특허 비율	OECD
	과학논문의 국제공동 비율	OECD
	국제공동연구의 인용결과	OECD
개방적 R&D 자본 운용	국내 R&D 지출 중 해외로부터의 투자율	OECD
	기업 R&D 지출 중 해외로부터의 투자율	OECD
	기업 R&D 지출 중 해외자회사 R&D 투자율	OECD
국제 기술거래 유동성	국제 기술 수입금 비율	OECD
	국제 기술 지급금 비율	OECD

〈표 5〉 간접평가 지표의 주성분 분석결과

주성분	지표	자료원
해외 자본 및 노동력 유인 환경	외국인의 소유권 인정*	WEF
	해외에서의 이미지*	IMD
	인구 1,000명 당 해외유입 인력	IMD
	High-skilled 해외노동력이 느끼는 매력도*	IMD
	국내인력의 해외경험*	IMD
세계 과학기술인력의 고용 환경	TOEFL 점수	IMD
	언어능력이 기업니즈를 만족시키는지 여부*	IMD
	고용 대비 과학기술 직업의 비율	OECD
하이테크 산업의 국제경영 환경	GDP 대비 하이테크 산업의 교역비중	OECD
	국내 대비 국외 자회사의 비율	OECD
	FDI 유·출입 stock 규모	IMD
	FDI 유·출입 flow 규모	IMD
경쟁력의 비즈니스 환경	Hidden 무역장벽/무역장벽의 확산*	WEF
	국제시장 경쟁우위의 원천*	WEF
	국제유통채널에 대한 통제*	WEF
능동적 국제융화 환경	글로벌화에 대한 인식*	IMD
	인구 1,000명 당 해외유출 인력	IMD

주) * 정성지표.

주성분으로 분산의 73.87%를 설명할 수 있고 각 성분은 해외 자본 및 노동력의 유인이 원활한 환경, 세계 과학기술인력의 고용 환경, 하이테크 산업의 국제경영 환경, 경쟁력의 비즈니스 환경, 능동적인 국제융화 환경을 나타낸다(〈표 5〉 참조).

4.3 기술협력 특성에 따른 국가별 군집

추출된 주성분을 바탕으로, 기술협력의 특성에 따라 국가를 구별하기 위하여 혼합 Clustering 기법이 적용된다. 먼저, 계층적 군집 분석을 실시하여 초기 군집 수를 9개로 정한 다음, K-means Clustering으

로 각 군집 별 국가를 분류하였다. 계층적 군집 분석의 방법으로 Ward's method가 쓰였으며 등간측도인 Euclidean 거리 방식을 채택하였다. 통계학적으로 군집 수를 결정하기 위한 최선의 방법은 없지만 가장 많이 쓰이는 방법으로 Ward's method가 있다[2]. 군집 내 제곱합을 계산한 뒤, 최소 제곱합을 가지는 군집 간에 연결하는 방법으로써, 확연히 구별되는 국가 군집을 해석해야 하는 본 연구에 적합하다고 볼 수 있다. 다음 <표 6>는 각각의 군집에서 주성분에 의해 설명되는 부분을 설명한다.

확보한 총 9개의 군집 중 복수 이상의 국가가 포함된 군집은 5개이며 나머지 4개의 군집은 한 국가씩만 포함되어 있는 Outlier라고 할 수 있다(<표

7> 참조).

첫 번째 군집인 '해외 자본 및 노동력 유인 국가'는 해외에서 좋은 이미지로 받아들여질 뿐만 아니라 실제로 외국에 개방적인 태도를 취하고 있으므로 해외의 자본과 노동력을 끌어 들이는데 큰 어려움이 없다. 북미와 북유럽 및 서부유럽의 선진 국가들이 포진되어 있고 이들의 공통점으로는 GDP와 R&D 집적도가 높다는 특징이 있다.

두 번째 군집인 '국제적 하이테크 산업 중심의 국가'는 벨기에와 헝가리를 가리키며 비록 글로벌화에 긍정적인 문화를 가지고 있지만 과학기술인력의 확보를 기반으로 고기술 산업의 국제경쟁을 적극적으로 수행하고 있다. 세 번째 군집인 '자

<표 6> 군집별 최종중심

주성분	군집								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
해외 자본 및 노동력 유인 환경	.80	.75	-.45	-.13	-.41	-.63	.65	-.39	-.02
세계 과학기술인력의 고용 환경	.34	1.47	1.15	.78	-2.08	-.28	0.71	0.03	-.78
하이테크 산업의 국제경영 환경	-.43	-.30	1.41	-.20	-.13	-.30	.67	1.07	4.09
경쟁력의 비즈니스 환경	.26	-.68	-.88	1.01	1.21	-.73	1.79	-.23	-.59
능동적 국제융화 환경	-.15	2.69	-1.76	2.12	-.22	-.16	-.32	1.25	1.04
R&D 협력 성과	.19	2.81	.78	1.84	-1.86	-.32	.84	-.85	-.11
개방적 R&D 자본 운용	.09	-1.3	.56	.01	-1.13	-.03	-.78	3.52	.85
국제 기술거래 유동성	-.38	-7.2	.17	-.67	.05	-.030	-.08	-.76	5.32

<표 7> 군집 별 국가 세부현황

군집	소속 국가		
해외 자본 및 노동력 유인 국가	Australia Austria Canada Denmark	Finland France Netherlands New Zealand	Norway Sweden United Kingdom United States
국제적 하이테크 산업 중심의 국가	Belgium	Hungary	
자체 기술개발 중심의 국가	Japan	Korea	Turkey
자기자본 의존의 국가	Chile Czech Republic Estonia Greece	Italy Mexico Poland Portugal	Slovak Republic Slovenia Spain
안전하고 공정한 비즈니스 환경의 국가	Germany	Switzerland	
Outlier	Iceland Ireland	Israel	Luxembourg

체 기술개발 중심의 국가'는 뛰어난 비즈니스 환경을 갖추고 있는 반면에 공동연구나 발명에 적극적인 자세를 취하지 않아 협력의 성과를 확보하지 못한 나라들을 지칭한다. 이들은 자체적인 기술개발에 집중하여 경쟁력을 높이려는 국가들로 보인다.

네 번째 군집인 '자기자본 의존의 국가'는 기술개발능력이 상대적으로 낮을 뿐만 아니라 외국의 자본 또한 적극적으로 유치하지 않는 동·남부 유럽 및 남미의 국가들도 있다. 자국의 시장에 크게 기반을 두고 있는 형태라고 볼 수 있다.

다섯 번째 군집은 '안전하고 공정한 비즈니스 환경의 국가'로서, 타 국가대비 무역장벽이 거의 없고 국제시장에서 경쟁력 있는 비즈니스 활동이 가능한 독일과 스위스를 가리킨다. 이들은 R&D 협력 성과, 개방적 R&D 자본의 운영, 국제 기술거래의 유동성 모든 직접 평가의 관점에서 골고루 우수하다는 특이점도 있다.

마지막으로, Outlier로 구분된 아이슬란드, 이스라엘, 룩셈부르크, 아일랜드의 공통점은 우선적으로 국가의 규모가 타 국가대비 매우 작다는 것이다. 이는 인구와 GDP, GERD 측면 모두를 의미한다. 그러나 이런 한계에 불구하고 각종 협력활동의 수준이 훨씬 높기 때문에 타 군집과 크게 다른 특징을 가지게 된 것으로 관찰된다.

4.4 국가 별 기술협력 점수

우선, 순수 산출지향 DEA 모형에서 26개의 각 지표를 대상으로, 총 34개의 국가가 국제 기술협력의 주체이자 대상으로서 우수한지를 종합 점수로서 파악하였다. 그 결과, 데이터를 확보한 2010년을 기준으로, 국가 간의 상대적인 효율성 점수를 <표 8>과 같이 확인할 수 있다. 해당 작업은 군집분석을 통해 판별한 국가의 기술협력 특성이 절대적인 우위를 나타내는지를 검증할 수 있는 작업이 된다.

종합 점수를 산출한 결과, 가장 높은 점수를 차지한 국가는 총 5개로, 특이점은 '해외 자본 및 노동력 유인 국가'로서 판별된 호주와, '안전하고 공정한 비즈

니스 환경의 국가'의 상대우위를 갖는 스위스를 제외하고, 3개의 국가(아일랜드, 이스라엘, 룩셈부르크)가 모두 Outlier에 속해 있다는 것이다. Outlier의 소속 국가는 모두 OECD 가입국가의 GDP 기준으로 하위 10위권 내에 위치하고 있지만, 직접요인인 개방적 R&D 자본 운용(이스라엘 T 점수: 81.36), 간접요인인 하이테크 산업의 국제경영환경(룩셈부르크 T 점수: 95.33)에서 매우 뛰어난 역량을 갖추고 있다는 점이 이런 결과에 영향을 미친 것으로 보인다. 이는 다국적 협력 자본을 유치할 발판을 찾되, 규모보다는 효율성에 초점을 맞춘 R&D 전략을 구사할 경우, 우선협력 대상자로서 Outlier 그룹이 고려될 수 있다는 점을 나타낸다.

한편, 종합점수 80점 미만의 하위그룹에는 한국과 일본 및 터키(자체 기술개발 중심의 국가)와 멕시코 및 스페인(자기자본 의존의 국가), 총 5개 국가가 속해 있는 것을 알 수 있다. 여기서 주목할 점은, 국가적 측면에서 R&D 투자에 대한 노력과 관심을 나타내는 대표적인 지표인 GDP 대비 국내 R&D

<표 8> 국가별 국제 기술협력 종합 점수

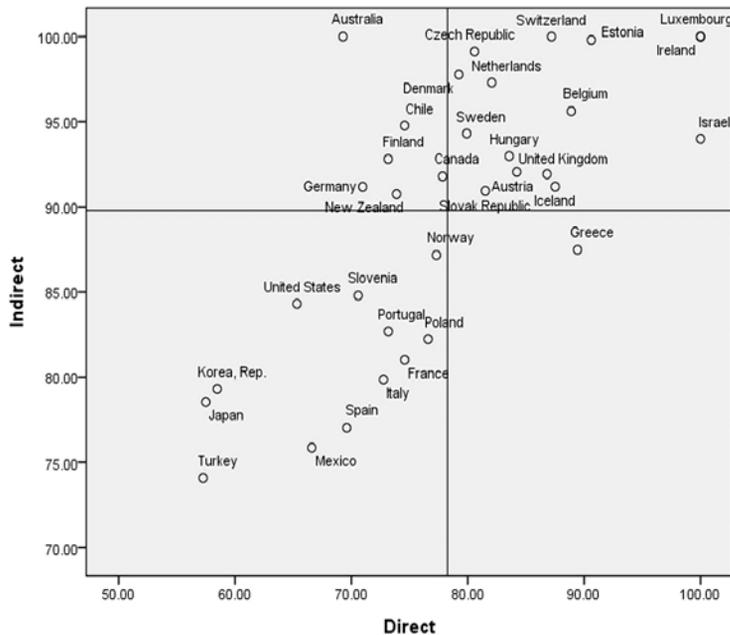
국가명	점수	국가명	점수
Australia	100.00	Iceland	91.19
Ireland	100.00	Germany	91.18
Israel	100.00	Greece	91.06
Luxembourg	100.00	Slovak Republic	90.94
Switzerland	100.00	New Zealand	90.75
Estonia	99.80	Norway	87.36
Czech Republic	99.12	Slovenia	84.79
Denmark	97.77	United States	84.31
Netherlands	97.30	Poland	83.02
Austria	96.11	Portugal	82.69
Belgium	95.71	France	81.82
United Kingdom	95.42	Italy	80.51
Chile	94.77	Korea, Rep.	79.30
Sweden	94.31	Japan	78.55
Canada	93.04	Spain	77.03
Hungary	92.98	Mexico	75.86
Finland	92.81	Turkey	74.08

지출(%)과 기업 R&D 지출(%)에서 일본은 5위와 4위를, 한국은 3위와 2위를 차지했음에도 불구하고 이런 결과를 가진다는 점이다. 즉, 뛰어난 기술력을 갖추고 있다는 사실과, 기술협력을 통한 성과의 창출 또는 효율의 향상 간에는 직접적인 연관관계가 크지 않은 것으로 해석할 수 있다. 세계 최고의 기술강국인 미국 또한, 높지 않은 순위(25위)를 가진다는 점은 이런 가정을 뒷받침한다.

지표 분석은 단순한 순위비교 뿐만 아니라, 벤치마킹을 위해서도 활용될 수 있다. 벤치마킹 대상을 현실적으로 결정하기 위해서는 비슷한 특성을 갖추되 앞선 경쟁자를 포착하는 것을 첫 단계로 볼 수 있다. 한편, 국가별 종합순위의 분석결과에서, 국가의 군집 유형만으로는 뚜렷한 우열을 나타내지 않는다. 즉, 동일한 국제 기술협력 군집에 속해 있는 선도자와의 비교를 통해 취약점을 찾아내고, 개발할 우위를 파악해야 할 것이다.

같은 관점에서, 한국의 벤치마킹 사례를 보면, 같은 특성을 가지고 있는 나머지 국가인 일본과 터키

가 오히려 더 하위권을 형성하고 있다. 대신에, 5개의 직접 요인과 3개의 간접 요인을 산출물로 가지는 각각의 DEA 분석 결과를 통해 동일한 목적을 달성할 수 있다([그림 2] 참조). 이에 따라, 국제 기술협력의 간접적인 환경의 상대적인 효율성 점수에서는 유사하나, 직접적인 노력과 결과 측면에서 상대적으로 뛰어난 벤치마킹의 대상국가로서, 이탈리아를 선정할 수 있다. 이탈리아는 한국 대비, ‘개방적 R&D 자본 운용’ 측면에서 크게 앞서는 것으로 나타났다며, 특히 ‘국내 R&D 지출 중 해외로부터의 투자율’ 지표에서 10점 이상의 T 점수 차이(이탈리아 : 45.00, 한국 : 33.22)를 보였다. 또한, ‘R&D 협력 성과’ 요인의 ‘국제 공동연구의 인용결과’ 지표에서도 10점 이상의 T 점수 차이(이탈리아 : 52.17, 한국 : 40.06)를 나타내었다. 이런 차이에도 시장, 문화 측면에서 비슷한 간접 환경을 가지고 있으므로, 한국의 1차 기술협력 국가로 이탈리아를 고려하되, 그들이 실시하고 있는 연구 성과의 관리 및 파급효과 창출을 위한 정책을 참고해야 할 것이다.



[그림 2] 직접-간접 요인별 국제 기술협력 수준비교

5. 결 론

본 연구는 기존 이론적 배경과 실증 데이터를 동시에 활용하여 국제 기술협력 지표를 개발한 뒤, OECD 가입 국가를 대상으로 어떤 기술협력의 특성을 가지고 있는지를 분석할 수 있는 체계를 개발하는 것을 목적으로 하였다. 기존의 연구들은 국제적인 기술협력의 현황을 이론적으로 평가할 수 있는 방안만을 제시하고 있다는 한계점을 보유하고 있었기 때문이다. 이를 위해 OECD와 IMD, WEF에서 발표한 2010년 기준, 국가의 경쟁력비교 지표들을 직접 평가와 간접평가 및 혁신의 인풋, 아웃풋, 프로세스 측면을 고려하는 선택기준에 따라 수집하고 종합하였다. 확보된 지표를 대상으로 주성분 분석을 수행하여 국제 기술협력 지표를 개발하였고 이를 활용하여 군집 분석을 수행하였으며 그 결과, 총 5개의 기술협력 유형을 다음과 같이 파악할 수 있었다.

- 해외 자본 및 노동력 유인 국가
- 국제적 하이테크 산업 중심의 국가
- 자체 기술개발 중심의 국가
- 자기자본 의존의 국가
- 안전하고 공정한 비즈니스 환경의 국가

또한, DEA 분석을 수행하여 종합적인 관점뿐만 아니라, 앞서 제시했던 직접/간접 지표 관점에서 국가 간 수준비교를 실시할 수 있었다. 그 결과, 종합 순위뿐만 아니라 파악된 기술협력의 국가군집 내에서, 상위 점수를 기록한 국가와 그렇지 않은 국가가 같이 포진한다는 것도 파악할 수 있었고, 이를 활용하여 국가 간 벤치마킹 활동을 수행할 수 있음을 한국의 사례를 통해 나타내었다.

결국, 본 연구결과는 기술협력이 가능한 국가를 특정 국가의 수준과 특성에 맞추어 선별하고 벤치마킹할 목적으로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 제안된 방법은 언제 어디서나 접근할 수 있는 국가 데이터에 기반을 두고 있으므로, 세계정책의 동향에 민감한 정책수립 의사결정 과정에서 유용한 자료로

쓰일 수 있다. 예를 들어, 누적된 기술협력 자료를 바탕으로 개도국으로부터 시작된 추격형 협력 또는, 선진국의 시장확장을 위한 선도형 협력이 이루어지는 상황을 시기별로 분석하여 여러 이슈를 발굴하는 것이 가능하다. 즉, 연구에서 제안된 방법은 전 세계 국가의 기술협력을 포착하고 제시할 수 있는 체계로 활용될 수 있다.

한편, 본 연구는 여러 선행 연구자들이 밝힌 기술협력의 특성을 반영할 수 있는 지표를 추출한 뒤, 군집화 및 DEA 기법으로 실증 분석으로 수행하였지만, 여러 한계로부터 자유롭지는 않다. 첫째, 데이터를 2010년에 한정해서 수집하였으므로, 연도별 기술협력의 군집유형과 수준 점수의 변동을 관찰하지 않았다. 추후 연구에서는 최소 10년에 걸친 데이터를 확보하여, 특성이 동일한 군집 내에서 소속국가의 변동이 일어나는지, 새로운 기술협력의 군집이 나타나는지에 대한 연구를 실시할 수 있다면 시사점을 얻을 수 있을 것이다. 또한, 각 기술협력 지표가 시기에 상관없이 유의한 설명력을 갖는지를 검증할 수 있을 것이다. 둘째, OECD 34개 국가에 한정하여 데이터를 수집하였으므로 국가의 범위를 넓힐 필요가 있다. OECD 회원국이 전세계에 큰 영향을 미치고 있는 점은 사실이지만, 선진국에 비견될 경제력을 갖추었거나 급속도로 성장하고 있는 러시아, 인도, 중국 등의 국가도 고려되어야 하기 때문이다. 단, 이 국가들은 본 연구에서 제시된 지표로 측정되기 어려울 수도 있기에 추가적인 대응지표를 확보해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 오수정, 김현정, 김수옥, “DEA를 이용한 모기업과 협력기업의 공급망 품질경영 효율성 분석”, 『경영과학』, 제30권, 제2호(2013), pp.43-61.
- [2] 전훈, 이학연, “DEA Window 분석을 이용한 국내 온라인 게임 기업의 운영 효율성 평가”, 『한국경영과학회지』, 제39권, 제3호(2014), pp.204-222.

- [3] 조정은, 김동희, 김수옥, “다국적 기업의 글로벌 R&D 활동 성과 결정 요인에 관한 연구”, 『경영과학』, 제27권, 제2호(2010), pp.1-20.
- [4] Archibugi, D. and J. Michie, “The globalisation of technology : A new taxonomy,” *Cambridge Journal of Economics*, Vol.19, No.1 (1995), pp.121-140.
- [5] Banker, R.D., A. Charnes, and W.W. Cooper, “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis,” *Management Science*, Vol.30, No.9(1984), pp.1078-1092.
- [6] Bergek, A. and M. Bruzelius, “Are patents with multiple inventors from different countries a good Indicator of international R&D collaboration? The case of ABB,” *Research Policy*, Vol.39, No.10(2010), pp.1321-1334.
- [7] Cooper, W.W., L.M., Seiford, and K. Tone, *Data envelopment analysis : Theory, methodology, and applications, references and DEA-solver software*, Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [8] Chesbrough, H., “Why companies should have open business models,” *MIT Sloan Management Review*, Vol.48, No.2(2007), pp.22-28.
- [9] CREST Working Group, “Internationalization of R&D_Facing the challenge of globalisation : Approaches to a proactive international policy in S&T,” *European Commission*, Brussels, 2008.
- [10] Falagario, M., F. Sciancalepore, N. Costantino, and R. Pietroforte, “Using a DEA-cross efficiency approach in public procurement tenders,” *European Journal of Operational Research*, Vol.48, No.218(2012), pp.523-529.
- [11] Frame, J.D. and M.P. Carpenter, “International research collaboration,” *Social Studies of Science*, Vol.9, No.4(1979), pp.481-497.
- [12] Geisler, E., “Benchmarking inter-organizational technology cooperation : The link between infrastructure and sustained performance,” *International Journal of Technology Management*, Vol.25, No.8(2003), pp.675-702.
- [13] Georghiou, L., “Global cooperation in research,” *Research Policy*, Vol.27, No.6(1998), pp.611-626.
- [14] Georghiou, L. and S. Hinder, “RTD cooperation activities of member states and EEA countries with highly industrialised countries in the field of scientific and technological research,” *Report to Commission of the European Communities(1998)*.
- [15] Hagedoorn, J., N.L. Albert, and S.V. Nicholas, “Research partnerships,” *Research Policy*, Vol.29, No.4(2000), pp.567-586.
- [16] Hagedoorn, J., D. Cloudt, and H. Van Kranenburg, “Intellectual property rights and the governance of international R&D partnerships,” *Journal of International Business Studies*, Vol.36, No.2(2005), pp.175-186.
- [17] Katz, J.S. and B.R. Martin, “What is research collaboration?,” *Research Policy*, Vol.26, No.1 (1997), pp.1-18.
- [18] Lee, H.S. and C. Kim, “Benchmarking of service quality with data envelopment analysis,” *Expert Systems With Application*, Vol.41(2014), pp.3761-3768.
- [19] Lee, J., Z.T. Bae, and D.K. Choi, “Technology development processes : A model for a developing country with a global perspective,” *R&D Management*, Vol.18, No.3(1988), pp. 235-250.
- [20] Lovell, C.A.K. and J.T. Pastor, “Radial DEA models without inputs or without outputs,” *European Journal of Operational Research*, Vol.118, No.1(1999), pp.46-51.

- [21] Luukkonen, T., R.J.W. Tijssen, O. Persson, and G. Sivertsen, "The measurement of international scientific collaboration," *Scientometrics*, Vol.28, No.1(1993), pp.15-36.
- [22] Mowery, D.C. and J.E. Oxley, "Inward technology transfer and competitiveness : The Role of National Innovation Systems," *Cambridge Journal of Economics*, Vol.19, No.1(1995), pp. 67-93.
- [23] Niosi, J. and B. Bellon, "The global interdependence of national innovation systems : Evidence, limits, and implications," *Technology in Society*, Vol.16, No.2(1994), pp.173-197.
- [24] Niosi, J., "The internationalization of industrial R&D from technology transfer to the learning organization," *Research policy*, Vol. 28, No.2/3(1999), pp.107-117.
- [25] Rycroft, R.W., "Technology-based globalization indicators : The centrality of innovation network data," *Technology in Society*, Vol. 25, No.3(2003), pp.299-317.
- [26] Timmers, P., "Building effective public R&D programs," In : Kocaoglu, D.F. and T.R. Anderson, *Technology and Innovation Management, Portland International Conference on the Management of Engineering and Technology*, PICMET, Portland, 1999.