

Analyzing the Influence Factors on Efficiency in Open R&D by Tobit Model

Hyun-Ku Min[†]

School of Business and Economics, Hanyang University ERICA

Tobit 모형을 활용한 개방형 R&D 효율성 영향요인 분석

민 현 구[†]

한양대학교 경상대학 경영학부

In this study, the factors affecting the efficiency of 48 projects of private R&D institutes were analyzed using the Tobit model. Influencing factors were selected as open R&D network size, IT industry, interaction between R&D network size and IT industry, and type of R&D network cooperation. As a result of Tobit analysis, the R&D network size, the IT industry, and the type of R&D network cooperation were found to be significant. The larger the open R&D network size, the lower the efficiency, and the IT industry showed lower R&D efficiency than other industries. In addition, cooperation with universities and research institutes showed lower R&D efficiency than cooperation with companies. As a result of these studies, companies will be able to select and focus on cooperation with the outside in relations and investment allocation.

Keywords : Open R&D, Tobit Model, R&D Effectiveness, Influential Factors

1. 서 론

개방형 혁신이 기업성장에 미치는 영향을 기업사례 중심으로 규명한 이후[7] 개방형 혁신에 대한 다양한 성과와 사례 및 실증연구가 제시되고 있다. 그런데 개방형 혁신에 관한 연구방법은 개별 사례연구와 설문 조사 방법 외에 객관적인 분석방법이 제시 되지 않았다. 개방형 혁신 활동 중에 하나인 개방형 R&D에 관한 연구에서도 유사한 형태를 보이고 있다. 또한 기존의 연구방법론과 분석모델은 기존의 공개 자료를 활용한 분석방법의 제시가 미흡하였다. 윤진호 외[27]는 특허를 통한 기업의 개방형 혁신 분석방법을 보다 체계적인 분석모델의 형태로 제시하였다.

개방형 R&D는 혁신성과를 창출하기 위해 외부와의 협력

을 통해 다양한 기술들과 지식을 받아들이는 것으로 R&D 활동의 개방성에 초점을 맞추고 있다. 개방형 R&D 중 R&D 아웃소싱과 기술도입은 외부에 완전히 의존하는 공통점을 가지고 있다. 하지만 본 연구에서의 개방형 R&D는 외부혁신 주체들과의 공동 R&D 활동으로 국한한다. 이러한 개방형 R&D에 대한 기존 연구는 대부분 혁신성과와의 관계규명 초점을 두고 진행되어 왔다.

Berchicci[4]는 외부 R&D 지출에 따른 기업성과간의 관계 연구에서 비선형의 역U자형태의 관계를 보이고 있음을 증명하였다. 이러한 결과는 거래비용관점에서 외부 R&D 지출과 기업의 혁신성과 간에 일정시점 이후 상쇄 효과가 나타남을 의미한다.

R&D 성과에 영향을 미치는 요인에 관한 선행연구는 개방형 혁신 여건 또는 투입변수가 지닌 배분 특성과 효율성 간의 관계를 분석하는 연구가 이루어졌다. 이러한 영향요인들은 회사규모, 해당산업, R&D 집중도, 기술적 성숙도, R&D 협력비중, R&D 아웃소싱비중 등이 있다. R&D 성과

향상을 위해서는 개방형 R&D 및 배분투자 특성이 성과에 어떠한 영향을 미치는지 분석할 필요가 있다.

본 연구는 개방형 R&D 하에서 어떠한 외부 영향요인들이 R&D 성과평가에 영향을 미치고 있는지 분석하고자 한다. 이러한 이론적, 실증적 분석으로 어떻게 하면 R&D 성과를 높일 수 있을지에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

2. 선행연구 검토

효율성 결정요인에 대한 분석에 있어 회귀분석법은 효율성 척도 혹은 생산성 변화율 척도를 종속변수로 하고 이들을 설명할 수 있는 다양한 독립변수를 사용하여 통계적으로 회귀분석 하는 것이다. DEA로 효율성을 측정하고, 효율성의 결정요인을 회귀분석 하는 것을 2단계 분석법(two-stage approach)라고 한다. 백철우 외[2]은 아시아 5개국(한국, 일본, 중국, 싱가포르, 대만)의 효율성을 분석한 후 개방성, 지식재산권, 경쟁정책, 산학협력, 벤처캐피탈 등 기술혁신 환경요인이 아시아 국가의 R&D 효율성에 어떠한 영향을 미쳤는지를 토빗모형 분석을 이용하여 검증하였다. DEA와 회귀분석을 활용한 분석은 효율성 및 생산성 변화의 다양한 원인을 고려할 수 있고 분석기법이 비교적 표준화되어 있다는 장점이 있어 가장 보편적으로 활용되고 있다. 그러나 타당한 외부 영향 변수를 선택하고 이 외부 영향 변수를 가장 잘 표현해주는 현실적인 자료를 찾는 과정에서 연구자의 자의성이 개입될 여지가 많아 분석 결과의 일반성과 신뢰성이 떨어질 수 있다.

3단계 접근법(three-stage approach)을 통해 DMU의 효율성 평가에 영향을 미치는 외부 변수를 통제된 순 효율성을 구할 수 있다. 즉, 효율성을 측정 및 분석 시 평가대상이 외부환경요인으로 인해 받는 불이익 혹은 이익을 통제하여 동일한 조건에서 효율성을 측정 할 수 있도록 한다. 다양한 투입과 산출을 지닌 DMU의 동등한 상대적 효율성 측정을 위해 1단계와 3단계에서는 DEA 기법이 2단계에서 토빗 분석(Tobit Model)이 적용된다. 황석원 외[13]은 토빗모형을 이용한 3단계 접근법으로 외부환경 영향력 통제 시 개발연구에 속하는 사업유형들이 응용연구에 속한 사업유형들보다 더 효율적인 것으로 확인되었다.

Wang and Huang[26]은 연구개발의 상대적 효율성 분석에 3단계 접근법을 제안하고 첫 단계에서는 투입지향 DEA 모형을 적용하여 각 국가별 기술효율성과 투입여유(input slack)를 측정한다. 두 번째 단계에서는 종속변수를 투입여유로 독립변수를 외부 환경으로 설정하여 토빗모형(tobit model)을 이용한 회귀분석을 실시한다. 마지막 단계에서는 2단계 결과를 바탕으로 도출된 새로운 투입 데이터와 기존의 산출 데이터를 이용하여 DEA 모형을

다시 적용한다. 3단계의 새로운 효율성 점수는 외부의 영향을 배제한 순(net) 효율성을 대표한다.

토빗모형을 이용한 3단계 접근법으로 Hus and Hsueh[11]은 대만 정부의 R&D지원과제를 수행하는 기업 중 규모가 작을수록 효율적이며 외부요인의 효과를 고려하지 않은 효율성이 외부요인을 고려한 효율성에 비해 낮음을 확인하였다. 황석원 외[13]은 토빗모형을 이용한 3단계 접근법으로 외부환경 영향력 통제 시 개발연구에 속하는 사업유형들이 응용연구에 속한 사업유형들보다 더 효율적인 것으로 확인되었다.

최근 R&D연구에 있어 효율성에 대한 측정과 더불어 이에 영향을 주는 결정요인들에 대해 비모수적 통계를 통한 집단비교 또는 토빗모형을 활용한 2단계 접근법으로 사후분석이 이루어지고 있다. 또한 기존에 연구된 R&D 성과 효율성 평가 분석 대상은 국내외 문헌 대다수가 정부지원 R&D 프로젝트 또는 프로그램을 대상으로 연구되어 오고 있다.

이에 본 연구에서는 Kim et al.[17]이 민간연구소를 대상으로 측정한 개방형 R&D 효율성 값을 기반으로 토빗모형을 활용하여 효율성에 영향을 주는 요인들을 분석하고자 한다.

3. 영향요인 선정 및 가설

3.1 영향요인 선정

접근방법은 도출된 DEA 효율성 값에 외생 투입변수를 회귀분석 하는 것이다. 외생 변수에 대한 선정 후 회귀분석을 통해 환경적 요인에 대해 통계적으로 유의미한지를 파악한다. 산출물에 영향을 미치는 투입변수는 여건변수와 정책변수로 구분된다.

김재홍[16]은 개방형 혁신 하의 R&D의 외생적 변수로 기초지식의 축적, 우수인력의 유동성, 금융서비스의 접근, 경쟁 환경, 지식재산권 환경 등을 고려하여 R&D 투자에 미치는 영향을 분석하였다. Hus and Hsueh[11]은 R&D 성과에 미치는 외생적 변수로 회사규모, 해당산업특성, R&D 집중도, 기술적 성숙도, R&D 예산 정부보조 비율 등을 고려하였다. 박석중 외[22]는 정부 R&D 효율성에 영향을 주는 외부환경요인으로 R&D 투입의 배분특성을 고려하여 요인분석을 실시하였다. 외부환경요인으로는 기초연구비중, 연평균 세무 과제 수, 협력연구비중, 도입기 연구비중, 세부과제당투자비, 대학연구수행비중, 중소기업 연구비중, 대기업 연구비중, 연구소 연구 비중을 선정한 후 효율성이 높은 그룹과 낮은 그룹 간의 차이를 분석하였다. 황석원 외[13]는 민간참여와 개방정도가 R&D 효율성에 영향을

미치는 외부환경요인으로 민간참여와 국내·해외협동연구를 설정하여 토빗모형 분석을 실시하였다. 백철우 외[2]는 기술혁신 영향요인으로 개방성, 지식재산권 보호 정도, 반독점정책, 산학연계, 벤처캐피탈 활용정도 등 크게 5가지로 구분하여 분석하였다. 박상문[23]은 외부 지식탐색 활용에 영향을 주는 요인으로 기술전략특성과 기술역량수준으로 분석하였다.

3.2 가설 설정

3.2.1 개방형 R&D 네트워크 크기와 R&D 효율성

R&D 조직은 외부의 지식과 아이디어를 활용하기 위해 대학, 연구소, 민간기업, 연구기관 등과 협력으로 새로운 기술과 시장을 만들어 가고 있다. 일반적으로 공동연구개발은 연구개발 비용과 위험을 분담하고, 지식을 보완함으로써 기술혁신을 촉진하는데 기여하는 것으로 인식되어 왔다. 공동연구개발은 상호 보완적·기술적 지식 활용을 통해 연구의 질을 높이고 특히 고비용과 불확실성이 높은 대규모 연구개발의 경우 공동연구는 연구의 성공을 위한 다양한 시너지 효과를 얻을 수 있다. 그러나 공동연구개발이 반드시 R&D 효율성에 기여하는 것은 아니라는 의견도 제시되어 왔다. 이는 거래비용과 조정비용을 부가시키고 파트너 간의 비대칭적인 정보로 인한 기회주의적 행태, 무임승차의 문제 등으로 오히려 R&D 효율성을 저해시키는 요인이 될 수 있다[2].

Becker and Dietz[3]는 공동 R&D로 내부자원의 부족함을 보완해주며 제품 혁신을 강화한다는 연구결과를 제시하였다.

황석원 외[13]는 민간참여와 개방정도가 R&D 효율성에 영향을 미치는 외부환경요인으로 민간참여와 국내·해외협동연구를 설정하여 토빗모형 분석을 실시한 결과 민간투자 비중이 높을수록, 타 기관과의 협동 정도가 높을수록, 해외기관과의 협력비중이 높을수록 R&D 효율성이 높게 나타났다. 백철우 외[2]의 연구결과에서 산학협력은 OECD 회원국의 R&D 효율성에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 공동연구개발이 반드시 R&D 효율성에 기여하는 것은 아니라는 상반된 결과이다.

이러한 연구결과를 고려해 볼 때 외부와의 협력을 통한 개방형 R&D는 혁신성과에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 하지만 외부와의 협력이 어떠한 방향으로 영향을 미치는지를 파악해 볼 필요가 있다. 따라서 다음과 같은 가설을 통해 이들의 관계를 검증하고자 한다.

가설 1 : 개방형 R&D 네트워크 크기가 클수록 R&D 효율성은 증가한다.

3.2.2 IT산업의 R&D 효율성

개방형 혁신은 주로 첨단산업 내 활동으로 소규모의 혁신 전문가들에 의해 발전되어 왔다[9], 첨단산업 중 IT산업에 대한 국내 연구를 살펴보면, IT산업에 대한 분류를 다음과 같이 하였다. 모수원 외[20]은 IT산업과 비 IT산업에 대한 연구에서 IT산업에 대해 반도체, 컴퓨터, 정보통신기기 등을 IT산업으로 구분하였다. 허재용 외[10]는 IT산업의 산업효과 분석에 관한 연구에서 IT산업에 대해 한국정보통신산업협회 내 정보통신통계연보와 한국은행 자료를 근거로 하여 정보통신서비스, 정보통신기기, 소프트웨어 및 콘텐츠로 정의하고 분류하였다. 서환주 외[24]는 공공부문 R&D 투자가 IT산업에 미치는 파급효과 분석연구에서 IT산업을 IT제조업과 IT서비스업으로 구분하였다. IT제조업은 정보기기와 방송통신기기 및 부품산업으로, IT서비스업은 소프트웨어, 컴퓨터관련 서비스 산업 및 방송서비스 산업으로 구분하였다.

IT산업은 기술적 기회(technological opportunities)가 많은 산업 중 하나이다. 기술적 기회는 기술 개발에 필요한 기술적 아이디어가 공급되는 기회[25]이며 회사가 새로운 기술적 지식을 만들도록 R&D 기회를 주는 것이다[21]. 즉, 한 산업에서의 기술적 기회는 또 다른 산업의 기술적 기회를 가져다준다. IT 산업에서의 컴퓨팅 및 스토리지 기술의 향상으로 기업 비즈니스 시장과 공공 부문에 클라우드 보급이 확산되고 있으며 그동안 담보 상태를 보이던 생명공학기술, 나노기술을 위시하여 환경·에너지 등의 범지구적 이슈 해결에도 새로운 전기를 마련하고 있다. 결국 현실과 가상세계, 스마트와 유비쿼터스 등이 실현되며 IT는 산업 진화의 핵심적 역할을 수행하고 있다[15].

최근 몇 년 동안 스마트 폰과 태블릿 PC의 등장은 많은 시장과 산업에서 주목받아 오고 있다. 이와 관련한 반도체 산업의 발달과 정보 통신서비스 산업에도 높은 파급효과를 가져오고 있으며 관련 소프트 개발 산업에도 영향을 미치고 있다. IT산업은 국가경제 측면에서 보면 산업간접자본과 같은 매우 중요한 산업으로 발전하고 있다[10]. 공공부문의 R&D 투자가 IT산업의 생산유발효과 및 취업유발효과에서 높게 나타났다[24].

이러한 선행연구를 살펴볼 때, IT 산업이 가지고 있는 기술적 기회가 타 산업에 비해 높다고 판단되며 이러한 IT 산업의 기술적 기회를 통해 타 산업에 비해 R&D 효율성이 더 높을 것이라 기대된다. 따라서 다음과 같은 가설을 통해 이들의 관계를 검증하고자 한다.

가설 2 : IT산업이 타산업보다 R&D 효율성이 더 높다.

3.2.3 R&D 네트워크 크기와 IT산업 간의 상호작용

IT 제품의 수명은 1~2년에 불과하다. 하지만 상품하나를 개발하기 위해 반도체, 통신, 소프트웨어 등 다양한 기술이 요구된다. IT 제품은 기술 융합과 기술수명 단축 등으로 인해 내부 R&D를 통해 모든 기술을 개발하기에는 시간과 비용이 많이 소요된다. 또한 모든 기술을 내부에서 다 개발 할 수 없다는 점 때문에 더욱 개방형 R&D가 필요하다.

IT 산업은 기술적 기회가 많으며 IT 제품과 관련 기술을 개발하기 위해서는 외부와의 협력이 필요하다. 이러한 측면을 고려해 볼 때, R&D 네트워크 크기가 클수록 IT 산업이 타 산업 보다 효율성이 높을 것으로 기대된다. 따라서 다음과 같은 가설을 통해 이를 검증하고자 한다.

가설 3 : R&D 네트워크가 클수록 IT산업이 타산업보다 R&D 효율성이 더 높다.

3.2.4 R&D 네트워크 협력 유형과 R&D 효율성

기업들은 R&D 투자의 성과를 높이기 위해 다양한 형태의 기술협력을 한다. 기업은 기술혁신을 위한 연구개발 비용의 증가, 연구 개발 인력의 부족 등 내부역량 만으로 새로운 지식과 기술을 발전시키는데 한계가 있기 때문이다. 기업, 대학 및 연구소 등 연구주체들 간의 협력 체계는 제한된 자원을 보다 효율적으로 활용할 수 있는 연구 수행 체계가 될 것이다.

R&D 협력을 수행하는 주체의 유형에 따라 기업이 획득할 수 있는 기술이나 지식의 종류가 다르다. 예를 들어, 기업은 상용화 기술 역량이, 대학은 기초연구 역량이, 연구소는 응용연구 역량이 각각 높은 것으로 인식되고 있다[6]. 배진희 외[1]는 R&D 성과창출 영향요인 분석 결과 R&D 협력에 있어 타유형간협력이 동일유형간협력 및 단독과 비교할 때 성과창출 성공확률이 높게 나타났다.

대기업, 중소기업, 벤처기업, 연구소, 대학 등 산학연 간의 협력개발과 R&D 투자성과 간의 관계에 관한 연구들을 살펴보면, 기초연구나 응용연구 및 상용화 기술 등과 같은 개발연구를 중심으로 R&D 협력을 수행할 경우 성과는 논문, 특허, 노하우로 주로 나타나며[14], Lee and Bozeman[19]은 공동연구자들이 단독 연구자들보다 논문 게재가 더 많다는 것을 발견하였다. 하지만 국내의 경우, 기술적인 지표인 논문 성과를 비교해 보면 산학연간의 협력연구보다 단독 연구를 통해 수행된 논문들이 오히려 피인용도가 높은 학술지에 더 많이 기재된 것으로 분석되었다[18]. 백철우 외[2]는 아시아 혁신환경 요인의 R&D 효율성에 미치는 영향에 관한 분석에서 산학협력은 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 장금영[6]은 R&D

성과를 1차적 성과물인 특허등록건수와 논문 게재수로 한 연구에서 산학연의 협력개발이 단독개발보다 대체적으로 R&D 성과가 높은 것으로 나타났다. 중소기업 대상의 R&D 협력 유형에 따른 기술적 성과에 관한 연구에서는 산산 협력 연구는 기술적 성과에 부정적 영향을 미치는 반면, 산학연 협력 연구는 기술적 성과에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다[8]. 기업들 간의 협력 연구는 특허, 노하우 등과 같은 지적재산권을 먼저 획득하고 시장에 사업화를 위해 서로 기회주의적 행동을 할 수 있기 때문이다[5]. 따라서 대학 및 연구소와의 R&D 협력이 혁신에 도움을 제공하는 유용한 협력관계로[12] 기회주의적 행동을 할 가능성이 낮은 대학이나 연구소가 파트너로써 더 선호된다[5].

지금까지 선행연구를 살펴본 것처럼 산학연의 참여 유형에 따라 R&D 성과에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 하지만 그 미치는 영향이 다를 것으로 판단된다. 거래비용이론관점에서 보면 대학 및 연구소가 기업과의 협력보다 기회주의적 행동을 할 가능성이 낮아 대학 및 연구소와의 협력을 통한 R&D 성과가 기업과의 협력 보다 더 효율성이 높을 것이라 기대 된다.

가설 4 : 대학 및 연구소와의 협력이 기업과의 협력 보다 R&D 성과 효율성이 더 높다.

4. 분석 모형 및 데이터

4.1 토빗(Tobit) 모형

종속변수가 질적인 변수로 둘 이상의 범주를 대변하는 이분변수일 경우 이를 일종의 더미변수 취급하여 로짓(logit) 혹은 프라빗(probit) 모형의 형태로 추정할 수 있다. 즉, 로짓 모형이나 프라빗 모형은 다음과 같이 가정한다.

$$y_i = 1 \quad \text{if } y_i^* > 0$$

$$y_i = 0 \quad \text{if } y_i^* \leq 0$$

(단, $y_i^* = \alpha + \beta x_i + e_i$)

그러나 만일 종속변수가 양적인 변수이면서 $y^* > 0$ 이면 관측이 가능하지만, $y^* \leq 0$ 이면 관측이 불가능하여 그 관측범위가 제약되는 회귀모형이 존재할 수 있다. 따라서 위의 식을 아래식과 같이 재정의 할 수 있으며 이를 토빗모형이라 한다.

$$y_i = y_i^* = \alpha + \beta x_i + e_i \quad \text{if } y_i^* > 0$$

$$y_i = 0 \quad \text{if } y_i^* \leq 0$$

0과 양(+)의 값을 갖는 절단자료 형태의 종속변수에 적용되는 방법은 토빗모형이며 통상최소자승회귀모형을 적용하는 경우보다 불편의, 일치추정량을 얻게 되는 장점이 있다. 토빗모형은 0에서 절삭된다는 의미에서 중도절단 회귀모형(censored normal regression model)이라고 한다. 이와 관련해서 DEA 효율성 분석 값은 효율적인 DMU의 경우 1의 값을 가지며, 비효율적인 DMU의 경우 0과 1사이의 제한된 범위의 값을 가지게 된다.

이와 같이 DEA모형을 활용한 각 R&D 프로젝트의 효율성 평가값은 0과 1사이의 제한된 범위의 값을 갖는다. 때문에 그 분포가 항상 일정한 방향으로 한계값을 갖는 분포가 된다. 이는 일반적인 회귀모형에서 가정하고 있는 정규분포와 다르므로 일반적인 최소자승법에 의한 회귀모형 적용시 실제 변수의 영향이 과소평가되는 오류가 발생할 수 있다. 그러므로 DEA 효율성 값에 영향을 미치는 요인들을 식별하고 이들 변수들이 효율성에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 심층 분석과 관련하여 본 연구에서는 중도절단 회귀분석모델인 토빗모형을 적용하여 분석을 실시한다. 이는 DEA와 같이 종속변수의 범위가 제한된 경우 일반회귀모형 적용 시 발생하는 문제점을 극복하고, 다른 한편으로는 효율성 분석에 사용된 변수들이 효율성에 미치는 영향의 크기를 알아보기 위해서이다.

4.2 분석 방법

종속변수인 Y_i 는 각각의 DMU_i 에 대한 효율성 값을 종속변수로 표기하고, 독립변수인 NETWORK는 개방형 R&D 네트워크 크기, INDIT는 R&D 연구 산업분야를, ITNET는 개방형 R&D 네트워크 크기와 IT산업 간의 교호항, NETTYPE은 R&D 협력유형을 의미한다. 개방형 R&D와 관련하여 주요 요인들을 독립변수로 하고, R&D 효율성 값을 종속변수로 한 회귀함수를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Y_i = CONSTANT + \beta_1 NETWORK + \beta_2 INDIT + \beta_3 ITNET + \epsilon_i \quad (1)$$

$$Y_i = CONSTANT + \beta_1 NETWORK + \beta_2 NETTYPE + \epsilon_i \quad (2)$$

본 연구에서는 이러한 네 가지 외부 환경변수, 즉 개방형 R&D 환경 하에서 R&D 성과에 미치는 영향을 토빗모형으로 분석하고자 한다.

$$Y_i = \alpha + \sum_{k=1}^p \beta_p X_k + \epsilon_i$$

위 식에서 Y_i 는 i 번째 의사결정단위(DMU)의 효율성 값이며, X_k 는 효율성 값에 영향을 미치는 독립변수이다. 또한 오차항 ϵ_i 는 정규분포를 가정한다.

4.3 데이터

대부분의 R&D 효율성 분석연구에 따르면 응용과 개발연구 중심의 민간 R&D는 1~2년의 시차를, 기초와 원천연구 중심의 정부 R&D는 2~3년 정도의 시차를 가정한다[2]. 본 분석의 R&D 투입에 있어 민간기업의 투자를 중심으로 분석됨에 따라 시차를 1~2년으로 하였으며, 이에 따른 2009년과 2010년 투입과 2011년 산출변수의 기초 통계값은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Basic Statistics

Variable	Mean	Standard deviation	Min	Max
R&D Schedule	11.85	0.08	9	12
R&D People	9.94	0.87	4	29
Open Innovation R&D	0.05	0.01	0	0.29
SCI Journal Papers	0.81	0.19	0	5
Major Conference Proceedings	1.85	0.29	0	8
External Co-author Rate	0.15	0.05	0	1
Citation Papers in SCI Journal	0.89	0.44	0	19
Patents Granted	10.81	1.09	3	38
Patents Licenced	1.21	0.12	0	3
Technical Level	4.42	0.22	2	7

분석대상 DMU 48개 효율성 측정값(Y)을 다음 식에 의거하여 변환시킨 후, 변환된 효율치 $y^* = (1/y) - 1$ 을 토빗모형의 종속변수로 사용하였다. 따라서 토빗모형의 분석결과와 영향의 부호는 실제와 반대 부호로 해석해야 한다.

본 연구의 독립변수는 R&D 네트워크 크기, IT산업, R&D 네트워크 크기와 IT산업 간의 상호작용, R&D 협력유형으로 구분된다.

개방형 R&D는 외부 혁신주체들과의 협력을 통해 진행된다. 개방형 R&D 네트워크 크기는 개방형 R&D 수행 시 얼마나 다양한 외부 혁신주체들과 수행했는지를 나타내는 것이다.

다양한 외부혁신 주체 유형은 대학, 공공연구기관, 민간연구소, 대기업, 중소기업, 해외의 대학, 병원 등이 있다. 개방형 R&D 네트워크 크기는 개방형 R&D 외부파트너 유형의 수로 측정하였다. R&D 조직 내 수행 프로젝트들은 산업의 특성에 따라 성과에 차이가 존재할 수 있기 때문에 더미변수를 사용하였으며 IT와 비IT산업으로 구분하여 더미변수로 IT = 0, 비IT = 1로 측정하였다. ITNET은 개방형 R&D 크기와 IT산업이 R&D 성과에 어떠한 상호작용을 발생시키는지 검증하기 위해 개방형 R&D 네트워크 크기(NETWORK)와 IT산업(INDIT)과의 상호작용변수(NETWORK×INDIT)를 독립변수로 사용하였다. R&D 협력유형은 연구소 및 대학과 기업으로 구분하였으며 연구소 및 대학 = 0, 기업 = 1로 더미변수로 측정하였다.

5. 분석 결과

본 연구는 STATA를 활용하여 토빗모형을 추정하였으며, 각 R&D 프로젝트별 효율성 영향요인에 대한 분석결과를 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 변수들 간의 상관관계 여부에 대한 분석을 실시하였다. 변수들 간에 상관관계가 매우 강한 변수들을 모형에 포함한다면 다중공선성 문제로 인해 유의해야 할 변수들이 유의하지 않게 되는 결과를 낳을 가능성이 높다. 상관관계가 강할 경우 추정계수의 표준오차가 커지고, 이것이 추정치의 유의성을 저하시키는 것이다. 이에 통계 분석에 앞서 변수들 간에 상관관계를 분석해 본 결과, <Table 2>에서 보는 바와 같이 거의 대부분 유의한 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다.

<Table 2> Pearson's Correlation Coefficient

Variables	DEA	IND_IT	NETWORK SIZE	NETTYPE
DEA	1.0000			
INDIT	0.2607***	1.0000		
NETWORK SIZE	0.2496***	-0.1451	1.0000	
NETTYPE	0.4581***	0.0000	-0.2402	1.0000

P-Value* : 0.01, P-Value** : 0.05, P-Value*** : 0.1

분석결과를 독립변수별로 살펴보면, (+)의 영향력을 보이는 변수와 (-)의 영향력을 보이는 변수가 다양하게 나타나고 있다. 따라서 이러한 분석결과 중에서 앞에서 설정한 가설들을 지지하는 경우 통계적 유의성이 있으면서 (-)의 영향력을 보이는 경우라 하겠다.

먼저, 가설 1에 대한 <Table 3>의 추정결과에 따르면, 개방형 R&D 네트워크의 크기가 클수록 R&D 효율성은

증가한다는 주장에 대해 양(+)의 부호로 유의수준 5%에서 지지됨을 확인시켜 주고 있다. 이러한 결과는 개방형 R&D에 있어 네트워크 크기가 클수록 효율성이 낮아진다는 것을 보여주고 있다. 앞서 살펴보았듯이 개방형 R&D는 양면성을 지니고 있다. 개방형 R&D는 새로운 기술을 개발하고 비용을 절감시키지만, 동시에 위험성이 존재하고 있다. 개방형 R&D를 통해 핵심경쟁력이 될 수 있는 원천 기술 확보에 대한 보안 및 공유에 대한 상호 이해관계가 충돌할 위험이 존재하고 기술 및 아이디어 공유 상에서 정보의 유출 문제가 발생할 수 있다는 문제점이 있다. 즉, 공동연구개발에 따른 시너지 효과보다는 거래비용과 조정비용의 증가로 R&D 효율성을 저해하는 것으로 해석될 수 있다. 특히, 과학기술적 성과인 논문과 특허에 있어 공동연구 결과물에 대한 소유 구조의 문제가 발생되며 이를 조정하고 협의하는데 추가적인 시간과 비용이 발생할 것으로 판단된다. 연구자들도 공동연구를 통한 연구몰입도를 저해시킴으로 인해 효율성이 낮아질 것으로 판단된다.

한편, IT산업이 타 산업보다 R&D 효율성이 높을 것으로 기대하였는데, <Table 3>의 가설 2에 대한 추정결과에 따르면, 양(+)의 부호로 유의수준 5%에서 지지됨을 확인시켜 주고 있다. 따라서 IT산업이 타 산업보다 R&D 효율성이 낮다는 것을 보여주고 있다. IT산업은 타 산업에 비해 기술적 기회를 가지고 있다. 또한 과거 기술추격형 산업이 아닌 기술선도형 산업으로 자리 매김하기 위해 제품혁신 중심이 아닌 기술혁신 중심의 R&D를 진행해 오고 있다.

이러한 IT산업 분야 R&D는 과학기술적 성과에 대한 효율성을 저해 할 수 있다. IT산업 내 기술 속도가 빨라짐에 따라 기업이나 연구소는 R&D를 통해 얻은 기술에 대한 보호차원에서 과학적 성과인 논문에 대한 게재시기를 지연시킬 수 있다.

<Table 3> R&D Performance Influence Factors : Tobit Estimation Results(1)

DEA	Coef.	Std.Err	t	P > t	[95%Conf.Interval]	
INDIT	0.6992904	0.319677	2.19	0.034	0.055426	1.343154
NETWORK SIZE	0.8801738	0.383118	2.30	0.026	0.108533	1.651815
ITNET	-0.4983871	0.444974	-1.12	0.269	-1.394613	0.397838
_cons	-0.6071772	0.298668	-2.03	0.048	-1.208726	-0.005628
sigma	0.6348559	0.092713			0.4481218	0.82159

<Table 4> R&D Performance Influence Factors : Tobit Estimation Results(2)

DEA	Coef.	Std.Err	t	P > t	[95% Conf.Interval]	
NETWORK SIZE	0.950511	0.621797	1.53	0.152	-0.404269	2.305292
NETTYPE	0.826701	0.331038	2.50	0.028	0.105431	1.547971
_cons	-0.991167	0.741055	-1.34	0.209	-2.605789	0.623453
sigma	0.576589	0.118425			0.318562	0.834617

IT산업에서는 특허소송 및 분쟁이 증가하고 있으며 연구소나 기업들은 방어적 차원에서 특허에 대한 확보를 늘려가고 있다. 특허에 대한 보호수준이 강할수록 혁신 창출보다는 지식의 금고 역할이 강해져 개방형 활동에 대해 부정적 영향을 미치게 된다. 이는 외부와의 협력보다는 단독 R&D를 실시하고자 하여 R&D 효율성을 저해하는 것으로 판단된다.

가설 3에 대한 <Table 3>의 추정결과에 따르면, 개방형 R&D 네트워크 크기가 클수록 IT산업이 타 산업보다 효율적일 거라는 상호작용 변수(NETWORK×INDIT)에 대한 계수추정치는 음(-)의 값을 가지며 유의수준 5%에서 통계적 유의성을 가지지 못하는 것으로 나타났다.

가설 4에 대한 <Table 4>의 추정결과에 따르면, R&D 협력 유형에 있어 대학 및 연구소와의 협력이 기업과의 협력보다 R&D 성과 효율성이 더 높다는 주장에 대해 양(+)의 부호로 유의수준 5%에서 지지됨을 확인시켜 주고 있다. 이러한 결과는 대학 및 연구소와의 협력이 기업과의 협력보다 효율성이 더 낮아진다는 것을 보여준다.

R&D 성과에 대한 대학과 연구소, 기업의 평가 항목과 기준은 다르다. 대학이나 연구소는 논문 건수, 특허 건수 등 과학기술적 성과항목에 대해 평가하지만, 기업의 경우는 기술개발을 통한 매출액 등을 성과항목으로 평가한다. 연구소와 대학 또는 연구소간의 협력은 연구주체들 내에서의 성과에 대한 평가 방식이 유사함으로 인해 그들의 연구 성과를 보호하려하기 때문에 R&D 효율성이 낮아지는 것으로 판단된다. 앞서 언급했듯이, 기업입장에서의 연구소와의 협력 목적은 단기간에 지식을 습득하고자 함에 있기 때문이다. 특히 상업화를 위한 기회주의적 행동을 위해서 과학기술적 성과를 빠르게 확보하고자 노력한다. 따라서 연구소 입장에서 보면 동일한 평가 기준과 보상절차를 가지고 있는 대학 또는 연구소와의 협력이 오히려 과학기술적성과에 효율성을 저해 하는 것으로 해석 될 수 있다.

6. 결론

R&D 성과에 영향을 미치는 요인에 관한 선행연구는 개방형 혁신 여건 또는 투입변수가 지닌 배분 특성과 효율성 간의 관계를 분석하는 연구가 이루어졌다. 이러한 영향요인들은 회사규모, 해당산업, R&D 집중도, 기술적 성숙도, R&D 협력비중, R&D 아웃소싱비중 등이 있다.

R&D 성과 향상을 위해서는 개방형 R&D 및 배분투자 특성이 성과에 어떠한 영향을 미치는지 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 개방형 R&D의 특성으로 협력 네트워크의 크기와 기업, 학교, 연구소 등의 협력 형태 그리고 기술적 기회를 가지고 있는 IT산업이 효율성에 미치는 영향에 관한 분석을 실시하였다.

그 결과 토빗 분석을 통해 개방형 R&D 네트워크의 크기가 양(+)의 부호를 가져 개방형 R&D 네트워크 크기가 클수록 효율성이 낮게 나타났다. IT산업은 양(+)의 부호를 가져 타 산업보다 R&D 효율성이 낮았다. R&D 협력 유형에 있어 대학 및 연구소와의 협력이 기업과의 협력보다 R&D 성과 효율성이 낮다는 것을 보여주고 있다.

본 연구는 민간 R&D 연구소의 프로젝트들에 대해 효율성을 평가 분석한 결과 값을 종속변수로 한 토빗모형 분석으로 사후분석을 실시하였다. 이러한 본 연구의 결과는 다음 몇 가지 점에서 의의를 갖는다. 비모수적방법인 DEA 분석 후 R&D 효율성에 영향을 미치는 요인분석을 위해 모수적(parameter) 통계 방법인 토빗모형을 제시하였다는 것이다. 기업의 개방형 혁신 전략에 따른 외부와의 협력이 증대되고 있으며, 개방형 혁신 또는 R&D와 기업성과를 중심으로 연구가 이루어진 반면, 본 연구는 외부와의 협력정도를 측정할 수 있는 개방형 R&D 비중을 통해 개방형 R&D와 R&D 효율성 간의 관계를 분석하였다 것이다. 정부나 국가차원에서의 개방형 혁신 영향요인과 R&D 배분특성이 효율성에 미치는 영향에 관한 연구가 있기는 하나, 본 연구에서는 기업 연구소 차원에서 R&D 효율성에 영향을 미칠 것으로 보는 영향요인으로 R&D 네트워크 크기, 협력 유형, IT산업 등 외부주체와의 협력 특성 및 배분특성 요인을 가지고 프로젝트별로 그 영향 정도를 분석해 보았다는 것이다. 이러한 결과를 통해 기업은 R&D 기획단계에서부터 외부와의 협력 관계와 투입변수 배분에 있어 R&D 목표달성을 위한 선택과 집중이 가능할 것이다.

본 연구의 한계는 개방형 R&D와 폐쇄형 R&D의 실행에 있어 거래비용관점의 영향요인들의 특성을 구체적으로 구분하여 분석하지 못했다는 것이다. 향후 개방형 R&D 추진 시 위험, 혜택 등에 대한 거래비용관점에서의 영향요인들에 대한 계량화와 이에 따른 효율성이 극대화 되는지에 대한 연구 및 이러한 요소들이 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 분석할 필요가 있다.

References

- [1] Bae, J.H., Jun, K.Y., and Park, S.M., Analyzing influence factors on R&D performance by logistic regression, *Korean Management Consulting Review*, 2015, Vol. 15, No. 2, pp. 9-21.
- [2] Baek, C.W., Kwon, M.H., and Yoo, S.H., The impact of asian innovation environment on R&D efficiency, *The Journal of Philippine and Southeast Asian Studies*, 2009, Vol. 12, No. 2, pp. 113-139.
- [3] Becker, R. and Dietz, J., R&D cooperation and innovation activities of firms-evidence for the German manu-

- facturing industry, *Research Policy*, 2004, Vol. 33, No. 2, pp. 209-223.
- [4] Berchicci, L., Towards an open R&D system : internal R&D investment, external knowledge acquisition and innovative performance, *Research Policy*, 2012, Vol. 42, No. 1, pp. 117-127.
- [5] Bercovitz, J.E.L. and Feldman, M.P., Fishing upstream : Firm innovation strategy and university research alliances, *Research Policy*, 2007, Vol. 36, No. 7, pp. 930-948.
- [6] Chang, K.Y., R&D investment and project performance : research on industrial R&D programs of government, *Journal of Technology Innovation*, 2010, Vol. 18, No. 1, pp. 75-98.
- [7] Chesbrough, H.W., *Open innovation : the new imperative for creating & profiting from technology*, Boston, Massachusetts, USA : Harvard Business School Press, 2003.
- [8] Chung, D.B., Kim, K.N., and Ko, Y.M., An analysis of industry-university-institute R&D collaboration and firm performance on SMEs, *Journal of Technology Innovation*, 2012, Vol. 20, No. 1, pp. 115-140.
- [9] Gassmann, O., Enkel, E., and Chesbrough, H., Special issue : the future of open innovation, *R&D Management*, 2010, Vol. 40, No. 3, pp. 213-221.
- [10] Heo, J.Y., Kwak, S.J., and Yoo, S.H., The role of the IT industry in the korean national economy : an input-output analysis, *Korea Industrial Economics Association*, 2008, Vol. 21, No. 2, pp. 483-500.
- [11] Hsu, P.M. and Hsueh, C.C., Measuring realtive efficiency of government-sponsored R&D projects : A three-stage approach, *Evaluation & Program Planning*, 2009, Vol. 32, No. 2, pp. 178-186.
- [12] Hwang, J.T., Han, J.H., and Kang, H.J., The impact of innovative collaboration on the performance of small and medium enterprises, *Journal of Technology Innovation Society*, 2010, Vol. 13, No. 2, pp. 332-364.
- [13] Hwang, S.W., Son, S.H., and Jang, J.K., A study on analyzing performance in parts and materials industry competitiveness improvement business, *Journal of Korea Technology Innovation Society*, 2009, pp. 399-415.
- [14] Jang, J.K., Various methods to analyse the productivity of the public R&D investment, *Science and Technology Policy Institute*, 2003, pp. 1-138.
- [15] Kim, H.N., IT R&D strategy for smart korea, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 2011, Vol. 29, No. 1, pp. 30-37.
- [16] Kim, J.H., Performance improvement of government R&D investments through creating open innovation conditions, *The Journal of Digital Policy and Management*, 2010, Vol. 8, No. 2, pp. 29-42.
- [17] Kim, T.Y., Min, H.K., and Hwang, S.J., Open Innovation R&D efficiency evaluation by integrated AHP-DEA, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 4, pp. 149-161.
- [18] Kim, Y.J., Oh, Y.J., Lee, S.N., Kim, S.Y., and Lee, J.J., Research performances of government R&D programs in korea 2010, Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning, 2011.
- [19] Lee, S.H. and Bozeman, B., The Impact of research collaboration on scientific productivity, *Social of Science*, 2005, Vol. 35, No. 5, pp. 673-702.
- [20] Mo, S.W. and Kim, C.B., Structural analysis of IT and non-IT industries-IC equipments and passenger cars-, *Korea Trade Review*, 2003, Vol. 28, No. 1, pp. 5-22.
- [21] Nakata, A. and Shinozaki, K., Determinant factors of innovation in japan's chemical industry : analysis of its technological opportunities, *PICMET Proceedings*, 2007.
- [22] Park, S.J., Kim, K.H., and Jeong, S.K., The study on the analysis of efficiency of governmental R&D programs regarding to the S&T outcomes, *Journal of Technology Innovation*, 2011, Vol. 14, No. 2, pp. 205-222.
- [23] Park, S.M., Internal R&D and external knowledge search : technology strategy, capability, and R&D center, *Korean Journal of Business Administration*, 2018, Vol. 31, No. 3, pp 647-665.
- [24] Seo, W.J. and Hong, P.K., Analysis of government R&D contribution to the IT industry, *Informatization Policy*, 2010, Vol. 17, No. 1, pp. 63-77.
- [25] Song, W.J., Sectoral patterns of technological innovation, *Science and Technology Policy*, 2000, Vol. 10, No. 3, pp. 152-165.
- [26] Wang, E.C. and Huang, W., Relative efficiency of R&D activities : A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach, *Research Policy*, 2007, Vol. 36, No. 2, pp. 260-273.
- [27] Yoon, J.H., Kwon, O.J., Park, J.S., and Jung, U.S., A study on the development and adaption of open innovation analysis model, *Journal of Korea Technology Innovation Society*, 2010, Vol. 13, No. 1, pp. 99-123.

ORCIDHyun-Ku Min | <http://orcid.org/0000-0002-2040-0066>