

R&D 스톡의 시차와 기간간 연속성을 고려한 정부 R&D 효율성 측정: Dynamic DEA 모형의 적용*

문 광 민†

충남대학교 행정학부

본 연구는 정부 R&D 관련 투입이 산출로 이어지는 R&D 프로세스에 R&D 투자지출의 시차를 반영함과 아울러 기간간 연계성을 가지는 준고정투입(quasi-fixed input) 요소로서 R&D 스톡을 반영하여 지역별 정부 R&D 효율성 측정을 시도하였다. R&D 스톡의 기간간 연계성을 반영하여 dynamic DEA 모형을 통해 지역별 R&D 효율성을 측정한 결과 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시 등 3개 지역은 R&D 효율성이 1의 값을 가짐으로써 가장 효율적인 지역인 것으로 나타난데 반해 경기도, 서울특별시, 인천광역시, 충청남도의 경우 상대적으로 R&D 효율성이 낮은 것으로 나타났다. 또한 상대적으로 R&D 비효율성을 나타낸 지역 중에서 경기도, 경상북도, 부산광역시, 인천광역시, 전라북도, 충청남도, 충청북도는 분석기간에 걸쳐 상대적으로 R&D 효율성이 지속적으로 하락하는 시계열적 특징을 보인 반면, 강원도 등의 지역은 분석 기간 동안 R&D 효율성이 등락을 보이는 시계열적 특징이 나타났다. 이와 함께 지역별 R&D 스톡의 요소효율성 분석에서는 경상남도, 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시의 경우 요소효율성 지수값이 지속적으로 0으로 나타나 R&D 스톡의 활용이 매우 효율적인 반면 전라북도를 제외한 여러 지역에서 다기간에 걸쳐 요소효율성 지수값이 0 미만으로 나타나 R&D 스톡이 과소투입(input shortfall) 상태로 볼 수 있다. 특히 경기도, 전라남도, 제주특별자치도, 충청북도의 경우 R&D 스톡의 과소투입이 상대적으로 심각한 것으로 나타났다.

주요어: R&D 스톡, R&D 효율성, 준고정투입 요소, Dynamic DEA 모형, 요소효율성 지수

* 이 연구는 2018년도 충남대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행되었음.

† 단독저자 : 문광민, 충남대학교 행정학부 부교수, 대전광역시 유성구 대학로 99, E-mail : mkm95@cnu.ac.kr

■ 최초투고일 : 2019년 3월 15일 ■ 심사마감일 : 2019년 7월 14일 ■ 게재확정일 : 2019년 9월 24일

1. 서론

세계화가 진행됨에 따라 경제활동과 경쟁의 범위가 전 세계적으로 확대되고 있다. 세계 각국은 과학기술 경쟁력 강화를 위해 관련 투자를 지속적으로 확대하고 과학기술발전을 위한 제도적 기반을 조성하고 있다. 우리나라도 지속적인 R&D 투자 확대와 관련 인프라 구축을 통해 선진국과 대등한 수준의 과학기술 경쟁력을 확보하기 위해 노력 중이다(한국과학기술기획평가원, 2019).

우리나라는 OECD 국가들의 과학기술경쟁력 수준을 파악하고 과학기술혁신역량의 강·약점을 진단하여 정책적 방향을 제시하기 위해 ‘국가 과학기술혁신역량평가’를 2006년부터 시행 중에 있다. 이와 더불어 오늘날의 세계는 국가 간 경쟁에서 지역·도시 간 경쟁으로 확대되고 있어, 국가 단위의 혁신역량뿐만 아니라 지역 단위의 혁신역량에 대한 관심과 분석 또한 증가하는 추세이다. 각 지역마다 독자적인 혁신체계를 구축하여 지역 경쟁력을 향상시키기 위한 노력을 지속적으로 수행하고 있다.

결국 지역경제의 중요성이 더해가고 있으며, 이와 함께 글로벌화 및 지식기반경제로의 이행을 배경으로 지역 소재 기업들의 잠재적 역량이 어떻게 발휘되는가가 경쟁우위를 점하는데 핵심요소로 등장했다. 이와 함께 지역경제의 역량은 비단 지역경쟁력 뿐만 아니라 국가경쟁력의 중요한 요소로 부각됨에 따라 지역의 내재적 역량을 강화하기 위해 정부의 다양한 정책과 지원이 이루어지고 있다. 무엇보다도 산업육성 관점에서 기반 구축·연구개발·인력양성·기업지원 관련 사업들이 상호관련성을 가지며 지속적으로 추진되고 있다(이광배, 2013).

이렇듯 지역R&D가 지역경제 성장과 발전의 주요 원동력으로 주목받으면서 국내에서도 최근 약

10년간 자료포락분석(DEA)과 이를 응용한 다양한 동태적 기법들을 이용하여 지역 R&D의 효율성을 분석하고자 하는 다양한 학술적 시도들이 있어왔다(민수진·김주성, 2017). 그러나 대부분의 선행연구들은 R&D 관련 투입에 대한 R&D 관련 산출의 관계에 있어서 투입이 시차를 충분히 고려하지 못하고 있을뿐만 아니라 R&D 투자에 따른 저량으로서 R&D 스톡(stock)의 기간간 연계성(interperiodic relationship)을 간과하고 있다. 이로 인해 R&D 투입이 R&D 산출로 이어지는 R&D 프로세스의 특징을 제대로 반영하지 못하고 있다는 한계가 있다.

본 연구는 정부 R&D 관련 투입이 산출로 이어지는 R&D 프로세스에 R&D 투자지출의 시차를 반영함과 아울러 기간간 연계성을 가지는 준고정 투입(quasi-fixed input) 요소로서 R&D 스톡을 반영하여 지역별 정부 R&D 효율성 측정을 시도한다는 점에서 기존 연구들과의 명확한 차별성을 가진다고 할 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 이론적 논의로 R&D 효율성의 의의와 선행연구의 검토를 통하여 본 연구의 차별성을 제시한다. 제3장에서는 dynamic DEA 모형을 중심으로 하는 R&D 효율성 측정을 위한 연구설계가 제시되며, 제4장에서는 R&D 스톡 및 dynamic DEA 효율성 측정 결과를 제시한다. 마지막으로 제5장에서는 분석결과의 요약하고 분석결과를 바탕으로 연구의 함의를 제시한다.

2. 이론적 논의 및 선행연구의 검토

1) R&D 효율성의 의의

연구개발투자를 통한 기술혁신이 경제성장을 견

인하고, 국가경쟁력을 강화한다는 견해는 사실 폭 넓게 받아들여지고 있다. 노동, 자본 등 전통적 생산요소에 의존적인 성장은 결국 한계에 이른다는 점에서 연구개발투자를 기술혁신은 지속가능성장을 위한 필수적 선택이 되었다. 비단 우리나라만이 아니라 이미 많은 국가들은 지속가능한 성장을 위해 연구개발(이하 R&D) 투자를 적극적으로 확대해 나가고 있다. 무엇보다도 4차 산업혁명에 대한 논의가 무르익으면서 연구개발투자의 중요성은 그 어느 때보다도 강조되고 있는 상황이다(임응순·이종하, 2017). 유량(flow)으로서 연구개발 투자는 시간이 흐르면서 연구개발 스톡(R&D stock)으로 축적되는데, R&D스톡은 기업의 생산 활동에 직접 이용되고, 미래의 기술개발을 촉진하는데 기술적으로 유용한 지식정보의 보유량으로서 기술지식스톡(technological knowledge stock)이라고도 한다. 산업성장에 기여하는 것은 자본투자가 아니라 자본 스톡(capital stock)이라는 점에서 R&D스톡은 자본스톡의 개념과 유사하다. 즉 어떤 기업의 기술개발 능력 및 잠재력을 나타내는 것은 당해연도의 R&D지출의 흐름(flow)이 아니라 국가가 보유하고 있는 지식과 경험의 스톡이라고 할 수 있다(홍순기 외, 1991; 안상인 외, 2009).

한편 국가 R&D 사업에 대한 시각이 투입 중심에서 산출 및 결과 등 성과 중심으로 전이함에 따라 R&D 효율성에 대한 관심이 더욱 높아지게 되었다(김태희 외, 2009). 일반적으로 효율성은 투입(또는 비용)에 대한 산출(또는 편익)의 비율로 정의되는데, 투입이나 산출의 어느 한 측면에만 관련된 것이 아니라 양자의 관계에 초점을 맞추는 개념이라고 할 수 있다(윤경준, 1995). Farrell(1957)에 따르면 의사결정단위의 효율성은 기술적 효율성(technical efficiency)과 배분적 효율성(allocative efficiency) 등 두 가지로 구분되며,

전자는 투입으로부터 최대의 산출을 얻는 의사결정단위의 능력을, 후자는 투입요소가격과 생산기술이 주어진 경우에 최적비율로 투입요소를 활용하는 의사결정단위의 능력을 반영하는 것으로 보았다. 이러한 두 지표를 곱하면 총효율성(overall efficiency) 내지는 경제적 효율성(economic efficiency)의 측정지표가 된다(유금록, 2004).

관리적 효율성(managerial efficiency)이라고도 불리는 기술적 효율성은 물리적 투입에 대한 물리적 산출의 비율을 측정하는 것으로서, 물리적 산출과의 관련 속에서 물리적 자원사용을 측정하는 것을 의미한다. 즉 투입요소의 선택에 있어 기술적 효율성(input technical efficiency)은 주어진 산출량을 최소한의 투입요소를 활용하여 생산해내는 것을 의미한다. 이에 비해 산출물 선택에 대한 기술적 효율성(output technical efficiency)은 주어진 투입량을 사용하여 최대한의 산출물을 얻어내는 것을 의미한다(문준걸, 1998). 기술적 효율성의 개선은 결국 생산가능경계(best practice)로의 이동을 의미한다.

한편 효율성을 측정하는 방식은 여러 가지가 있을 수 있는데, 그 중에서 효율성을 유사한 다른 조직과 상대적으로 측정하는 방식이 주로 이용되고 있다. 이 때 상대적(relative)이란 말은 한 조직의 효율성이 다른 조직의 효율성에 따라 정해진다는 것을 의미하며, 이는 곧 준거집단(reference or peer group)이 되는 다른 유사 조직들과의 비교를 통해 조직의 효율성을 측정하는 것을 말한다. 이러한 상대적 효율성 개념은 Farrell(1957)이 제시하였으며, 다수의 산출물을 생산하기 위해 다수의 투입요소를 사용하는 단위들의 성과를 평가하는데 효과적으로 적용될 수 있다. 특히 성과평가에 대한 전통적인 비율분석 방법과 다른 모수적 방법들에 비해서 상대적으로 장점을 많은 것으로 평가되고 있다(Thanassoulis et al., 1996;

유금록, 2004).

본 연구에서는 기술적 효율성과 상대적 효율성 개념에 입각하여 R&D 효율성을 정의하고자 하며, 이에 따라 R&D 효율성은 'R&D와 관련된 투입물 대비 R&D 관련 산출물 비율의 비교 대상 국가간 상대적인 크기'로 정의한다.

2) 준고정투입 요소로서 R&D 스톡

R&D 스톡은 연구개발 결과 생산되는 지식이 시간의 경과와 함께 축적된 것을 정량적으로 표현한 것이라고 할 수 있다(신태영, 2005). R&D 스톡은 기업의 생산활동에 직접 이용되며 미래의 기술개발을 촉진하는데 기술적으로 유용한 지식 정보의 보유량이며, 기술지식 스톡(technological knowledge stock)이라고도 한다. 이러한 R&D 스톡의 형성과정에는 연구개발 결과 새로운 지식이 형성되고 새로이 공급되는 지식이 지식스톡에 편입되고 축적된 지식이 일정 비율로 진부화되어 가는 경향성이 나타나는 것이 일반적이다.

그런데 산업성장에 기여하는 것은 자본투자가 아니라 자본스톡(capital stock)이라는 점에서 R&D 스톡은 자본스톡의 개념과 유사하다. 즉 어떤 기업의 기술개발 능력 및 잠재력을 나타내는 것은 당해연도의 R&D 지출의 흐름(flow)이 아니라 국가가 보유하고 있는 지식과 경험의 스톡이라고 할 수 있다(홍순기 외, 1991; 안상인 외, 2009). 그렇다면 R&D 효율성을 측정하고 평가할 때 R&D 지출보다는 R&D 스톡을 투입요소로 간주하는 것이 바람직하다. 기술개발 능력 및 잠재력을 나타내는 것은 당해연도의 R&D 지출의 흐름(flow)이 아니라 국가가 보유하고 있는 지식과 경험의 스톡이기 때문이다.

R&D 프로세스에서 R&D 스톡은 준고정투입(quasi-fixed input) 요소로의 의미를 가진다. 준

고정투입 요소는 어느 한 기간에 생성되었지만 이후 여러 기간에 걸쳐 투입으로 사용되는 요소를 말한다(Färe & Grosskopf, 1997). 준고정투입 요소는 조정비용(adjustment cost) 없이는 한 기간에 즉각적으로 최적수준에 이를 수 없는 특징을 가지며(Nemoto & Goto, 1999), 현재를 포함하여 이후의 기간에도 생산에 기여하는 이른바 시차적 생산효과(lagged productive effects)를 가져온다(Chen & van Dalen, 2010).

3) 선행연구의 검토

연구개발분야에서 모수적, 비수적 방법들을 통해 효율성과 생산성변화 양상을 분석한 선행연구는 이미 적지 않은 상황이며 투입 및 산출변수의 선정에 있어서 계량모형을 적용하거나 다른 성과평가방법론과의 비교를 모색하는 등 방법론적으로 상당히 개선되어 가는 상황이다(박창일·서호준, 2018). 또한, 분석대상도 국가차원의 R&D 효율성을 다른 나라들과 비교하여 정책적 시사점을 도출하는 경우는 물론(Kocher et al., 2006; Lee & Park, 2005; Wang & Huang, 2007; Sharma & Thomas, 2008; Wang, 2007; Hsu & Hsueh, 2009; Lee et al., 2009; 김영훈·김선근, 2011; 안상인 외, 2009), 광역시도 차원에서의 R&D 효율성을 분석하거나(배세영, 2009; 방민석·정혜진, 2011; 이민희 외, 2012; 이광배·모수원, 2013), 특정 연구개발사업내 과제별 효율성 수준을 비교하고 연구개발사업간 효율성 분석을 시도하는 등(김태희 외, 2009; 박정희·문종범, 2010; 박성민, 2010; 홍진원 외, 2011; 박석종 외, 2011; 송광석 외, 2015) 다양한 차원에서 연구노력이 이루어지고 있다(박창일·서호준, 2018). 특히 행정구역을 기준으로 국내 전국 시·도의 지역 R&D 효율성을 분석함과 아울러(이병철, 2008; 박정희 외, 2010; 방

민석·정혜진, 2011; 염명배 외, 2011; 이민희 외, 2012; 한하늘, 2013; 이광배·모수원, 2013; 민수진·김주성, 2017, 서형준·이형석, 2018) 지역 차원의 R&D 정책에 기여하고자 하는 목적이 연구들도 다수 존재한다(박정희·문종범, 2010; 소순후, 2011; 이상현 외, 2011; 구훈영 외, 2016).

그런데 R&D 효율성을 측정한 대부분의 선행연구에서는 R&D 지출의 시차 문제를 모형 내에 명시적으로 고려하지 못하고 있음을 볼 수 있다. 아울러 R&D 지출을 자본의 성격을 가지는 요소로 간주하여 투입물로 고려하고 있지만 스톡(stock)이 아니라 유량(flow)으로 반영함으로써 R&D 스톡의 장기적 속성을 제대로 고려하지 못하고 있다는 비판이 가능하다. 즉 R&D 지출은 해당 지출이 이루어지는 당해연도의 산출물을 가져오는 것이 아니라 최소한 몇 기간에 걸쳐 산출에 기여하며, 유량으로서 R&D 지출보다는 저량으로서 R&D 스톡이 산출에 기여하는 것으로 보는 것이 타당하다.

일반적으로 R&D 스톡 형성을 위한 R&D 투자 의사결정 과정에 있어서 의사결정 단위(DMU)는 구축비용(installation costs)에 직면하게 된다. 즉 R&D 스톡 구축에 자원이 더 많이 사용될수록 즉시적으로 산출물 생산을 위해 사용될 자원은 적어지게 되는 반면 다음 기에서의 R&D 스톡은 해당 시점과 더불어 이후 기간들에 있어서 R&D 생산능력의 증대를 가져오게 된다(문광민, 2011). 이러한 과정은 근시안적으로(myopically) 금기의 산출을 극대화할 것인가 아니면 이후 기간들에서의 산출을 증가시키기 위해 R&D 스톡에 대한 투자를 극대화할 것인지를 두고 의사결정단위가 직면하게 되는 상충관계(trade-off)라고 할 수 있다. 결국 의사결정단위의 효율성을 평가하는 연구에서 주로 투입요소로 고려되고 있는 R&D 스톡은 단기적으로는 큰 폭의 변화를 주기 어려운

준고정적 투입(quasi-fixed inputs)의 성질을 가진다. 이와 함께 한 기에 한정되지 않고 연속된 기간에 걸쳐 DMU의 의사결정에 영향을 미침으로써 종국적으로 DMU의 효율성에도 영향을 미치게 된다. 이러한 속성을 일컬어 기간간 동태적 속성(intertemporal dynamics)이라고 한다(문광민, 2011).

본 연구는 R&D 프로세스에서 R&D 스톡이 가지는 특성들을 반영하여 지역별 R&D 효율성을 측정하고자 한다. R&D 효율성 측정을 위해 영구재 고법에 따라 R&D 지출의 시차를 반영한 R&D 스톡을 계산하고, 이러한 R&D 스톡을 기간간 연계성을 가지는 준고정투입요소(quasi-fixed input)로 R&D 효율성 측정에 명시적으로 고려하였다는 점에서 기존 연구와의 명확한 차별성을 가진다고 할 것이다.

3. 연구설계

1) Dynamic DEA 모형

(1) 생산가능집합과 모형

T 기 ($t = 1, \dots, T$)에 있어서 n 개의 DMU ($j = 1, \dots, n$)를 다루며, 각 기마다 DMU들은 공통적으로 m 개의 투입물 ($i = 1, \dots, m$), s 개의 산출물($i = 1, \dots, s$), 그리고 k 개의 시점간 중간재($i = 1, \dots, k$)을 가지고 있다. x_{ijt} ($i = 1, \dots, m$), y_{ijt} ($i = 1, \dots, s$), z_{ijt} ($i = 1, \dots, k$)를 각각 t 기에 DMU j 의 관측된 투입물, 산출물 그리고 시점간 중간재(intermediates)인 투자라고 하자. 이때 투자는 재량적 부분(free)과 비재량적인 부분(fix)이 혼재되어 있다고 가정한다. 이에 따라 생산가능집합 $\{x_{it}\}$, $\{y_{it}\}$, $\{z_{it}\}$ 는 다음과 같이 정의

할 수 있다.

$$x_{it} \geq \sum_{j=1}^n x_{ijt} \lambda_j^t \quad (i=1, \dots, m; t=1, \dots, T)$$

$$y_{it} \leq \sum_{j=1}^n y_{ijt} \lambda_j^t \quad (i=1, \dots, s; t=1, \dots, T)$$

$$z_{it} = \delta z_{it}^{free} + (1-\delta) z_{it}^{fix} \quad (i=1, \dots, k; t=1, \dots, T), \delta: \text{상대적 비중}$$

$$z_{it}^{free} \leq \sum_{j=1}^n z_{ijt}^{free} \lambda_j^t \quad (i=1, \dots, k; t=1, \dots, T)$$

$$z_{it}^{fix} = \sum_{j=1}^n z_{ijt}^{fix} \lambda_j^t \quad (i=1, \dots, k; t=1, \dots, T)$$

$$\lambda_j^t \geq 0 \quad (i=1, \dots, s; t=1, \dots, T)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t = 1 \quad (t=1, \dots, T)$$

식(1)

여기서 $\lambda^t \in R^n$ ($t=1, \dots, T$)는 t기에 대한 가중치 벡터(intensity vector)이며, 마지막 제약식은 규모수익가변(variable returns-to-scale) 가정을 나타낸다. 만약 이 제약식을 두지 않으면 규모수익불변(constant returns-to-scale)이 된다. 제약식의 우변은 모두 양수(positive)인 관측치이며 좌변은 가중치 변수 λ_j^t 에 의해 연결되는 변수들이다. 이 때 다음의 조건을 통해 t기와 t+1기간의 연계가 보장된다.

$$\sum_{j=1}^n z_{ijt}^\alpha \lambda_j^t = \sum_{j=1}^n z_{ijt}^\alpha \lambda_j^{t+1} \quad (\forall i; t=1, \dots, T-1)$$

식(2)

여기서 α 는 재량적 투자와 비재량적 투자의 경우를 의미하며, 이 제약식은 t기와 t+1기의 활동

을 연결해준다는 점에서 동태적 모형에 매우 중요한 의미를 가진다. DMU_o ($o=1, \dots, n$)를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x_{iot} = \sum_{j=1}^n x_{ijt} \lambda_j^t + s_{it}^- \quad (i=1, \dots, m; t=1, \dots, T)$$

$$y_{iot} = \sum_{j=1}^n y_{ijt} \lambda_j^t - s_{it}^+ \quad (i=1, \dots, s; t=1, \dots, T)$$

$$z_{iot}^{free} = \sum_{j=1}^n z_{ijt}^{free} \lambda_j^t + s_{it}^{free} \quad (i=1, \dots, k; t=1, \dots, T)$$

$$z_{iot}^{fix} = \sum_{j=1}^n z_{ijt}^{fix} \lambda_j^t \quad (i=1, \dots, k; t=1, \dots, T)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t = 1 \quad (t=1, \dots, T)$$

$\lambda_j^t \geq 0$, $s_{it}^- \geq 0$, $s_{it}^+ \geq 0$, 그리고 s_{it}^{free} 는 s_{it}^{free-} 또는 s_{it}^{free+} 일 수 있다 ($\forall i, t$).

식(3)

여기서 s_{it}^- , s_{it}^+ , s_{it}^{free} (s_{it}^{free-} or s_{it}^{free+})는 각각 투입 초과(input excess), 산출 부족(output shortfall), 연결 차이(link deviation)를 나타내는 슬랙변수이다. 그리고 s_{it}^{free-} 와 s_{it}^{free+} 는 재량적 투자부분이 각각 투입과 산출로서 기능할 때 슬랙을 의미한다.

(2) 목적함수와 효율성

한편 input-, output- 그리고 non-orientation 등 세 가지 orientation에 따라 $(\{\lambda^t\}, \{s_{it}^-\}, \{s_{it}^+\}, \{s_{it}^c\})$ 를 변수로 취하여 DMU_o 의 총효율성(overall efficiency)을 구할 수 있다. 이 중에서 이 중에서 산출지향 총효율성(output-oriented overall efficiency) τ_o^* 는 다음과 같이 정의한다. 식(2)과 (3)의 제약 하에서

$$\frac{1}{\tau_o^*} = \max \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T w^t \left[1 + \frac{1}{m+k} \left(\sum_{i=1}^m \frac{w_i^+ s_{iot}^+}{y_{iot}} + \sum_{i=1}^k \frac{s_{iot}^{free}}{z_{iot}^{free}} \right) \right]$$

식(4)

효율을 나타낸다. 전 기간에 대한 총효율성(τ_o^*)은 기간별 효율성 τ_{ot}^* 의 가중평균이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_o^* = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{w^t}{\tau_{ot}^*}$$

식(7)

이 때 w^t 와 w_i^+ 는 t기와 산출물 i에 대한 가중치이며 다음의 조건을 충족시킨다.

$$\sum_{t=1}^T w^t = T \quad \text{그리고} \quad \sum_{i=1}^m w_i^+ = s$$

식(5)

(3) 요소효율성 지수

이러한 목적함수는 산출지향 SBM 모형의 확장이라 할 수 있으며 평가의 주요한 초점으로 산출물과 시점간 중간재의 부족(shortfalls)을 다룬다. 시점간 중간재의 부족은 더 큰 규모가 바람직하다는 유사한 특징 때문에 산출물 부족과 같은 방식으로 목적함수에서 고려할 수 있다. 그러나 중간재를 산출물과 완전히 같다고 보는 것은 타당하지 않다. 중간재는 연속되는 두 기간을 연결하는 역할을 하기 때문이다. 식(4)에서 $\sum_{i=1}^m \frac{w_i^+ s_{it}^+}{y_{iot}}$ 와 $\sum_{i=1}^k \frac{s_{iot}^{free}}{z_{iot}^{free}}$ 는 각각 산출과 중간재의 상대적 슬랙 측정치이며 t기에서의 효율성과 관련되어 있다. 식(4)는 전 기간에 걸친 기간별 효율성의 가중평균이며 이를 산출지향 총효율성으로 부르며, 0에서 1까지의 값을 가진다. 식(2)와 (3)의 제약 하 식(4)의 최적해를 ($\{\lambda_o^*\}, \{s_{ot}^{*-}\}, \{s_{ot}^{*+}\}, \{s_{ot}^{free*}\}$)라고 할 때, 산출지향 기간별 효율성 τ_{ot}^* 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Tone & Tsutsui(2010)는 잔여기준모형(SBM)이 비방사적 모형의 특성을 고려하여 개별 투입, 산출 및 시점간 중간재 각각의 실제값(observed value)과 예측된 값(projected value)을 이용하여 각각의 요소 효율성 지수(factor efficiency index, FEI)를 도출하고 있다. 이러한 요소효율성 지수는 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$FEI = \frac{Actual \ Data}{Projection} - 1$$

식(8)

FEI가 0이면 그 요소는 효율적인 것으로 간주할 수 있으며, 반면 FEI가 양수 내지 음수의 값을 나타내면 비효율적인 것으로 간주한다. 만약 투입 요소의 FEI가 양수이면 투입초과(input excess)를, 산출요소의 FEI가 음수이면 산출부족(output shortfall)을 나타낸다. 이와 달리 시점간 중간재의 FEI는 양수 내지 음수 모두 나타낼 수 있는데, 양수와 음수는 각각 투입초과와 투입부족을 의미한다(Tone & Tsutsui, 2010; 문광민, 2011).

$$\tau_{ot}^* = \frac{1}{1 + \frac{1}{m+k} \left(\sum_{i=1}^m \frac{w_i^+ s_{iot}^+}{y_{iot}} + \sum_{i=1}^k \frac{s_{iot}^{free*}}{z_{iot}^{free}} \right)}$$

$t = 1, \dots, T$ 식(6)

2) 정부 R&D 스탁 측정

이러한 기간별 효율성은 t기에서의 산출지향 효

R&D 스탁은 연구개발 결과 생성되는 지식이

시간의 경과와 함께 축적된 것을 정량적으로 표현한 것이다(Arrow, 1962; Romer, 1990). 연구 개발 결과 새로운 지식이 형성되고 새로이 공급되는 지식이 지식 스톡에 편입되고 축적된 지식이 일정 비율로 진부화되어 간다면, R&D 스톡은 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$Z_t = F_t + (1-\gamma)Z_{t-1}$$

여기서, Z_t : t시점에서의 R&D 스톡,

F_t : t시점에서 새로 공급된 지식형성,

γ : 지식 진부화율

식(8)

한편 위의 식을 이용하여 R&D 스톡을 추정하기 위해서는 기준이 되는 첫 해(t_0)의 R&D 스톡을 알아야 하는데, 첫 해의 R&D 스톡을 이미 오래 전부터 매년 새롭게 형성된 기술지식이 누적되어 온 결과로 정의하면 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{t_0} = \sum_{i=0}^{INF} F_{t_0-i} (1-\gamma)^i$$

식(9)

여기서 기준이 되는 첫 해 이전의 기술지식 증가율을 첫 해가 지난 이후에 실현된 평균적인 연구개발스톡의 증가율(g)과 같다고 정의하면, 위의 식은 다시 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{t_0} = F_{t_0} \left[\frac{1+g}{g+\gamma} \right]$$

식(10)

다음으로 t시점에서 새로 형성되는 지식의 흐름

(F_t)은 연구개발 활동의 결과에서 비롯되는데, 여기에는 시차(time lags)가 허용되어야 한다. 그리고 기존의 지식 스톡이 일정하게 진부화된다고 가정할 수 있다. 신태영·박병무(1998)는 민간부문의 R&D 시차는 2년, 정부부문은 3년으로 가정하고, R&D스톡이 감가상각되는 기간을 8년으로 가정하여 이것의 역수인 0.125를 진부화율로 가정하여 민간부문의 R&D 스톡과 정부부문의 R&D스톡을 측정한 바 있다. 그 밖에 신태영(2002), 안상인 외(2009) 등에서도 유사한 방식의 R&D스톡 시차와 진부화율을 가정하고 있다. 본 연구에서는 신태영·박병무(1999) 등의 연구를 참고하여 정부부문 R&D 스톡 형성에 있어 R&D 투자(R)의 시차는 3년, 지식 진부화율은 0.125로 가정하며, 이러한 가정에 따라 R&D 스톡은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_t = R_{t-3} + (1-\gamma)Z_{t-1}$$

여기서, R_{t-3} : 3년 시차의 R&D 투자

식(11)

3) 투입요소 및 산출요소

<표 1>은 지역 R&D 효율성을 평가한 선행연구의 분석방법, 투입 및 산출물 변수를 보여주고 있다. 이에 따르면 다양한 분석모형이 적용되고 있음을 볼 수 있는데, 기본적으로 Malmquist 기법, 그리고 DEA 초기의 연구모형이라 할 수 있는 CCR 내지 BCC 모형을 적용하고 있음을 볼 수 있다.

본 연구에서의 투입 및 산출요소는 기본적으로 이상의 지역 R&D 효율성을 평가한 선행연구들을 참고하여 설정하였다. <표 1>에서 보는 바와 같이 투입요소의 경우 다소간의 차이는 있지만

<표 1> 지역 R&D 효율성을 측정된 선행연구

연구자	선택모형	투입물	산출물
이병철 (2008)	DEA CCR, BCC Malmquist	연구개발인력 연구개발비	특허출원수 특허등록수
박정희 외 (2010)	DEA CCR	연구개발비 연구개발기간 특허 건수	특허출원 및 등록건수 논문 건수 매출액 고용창출인력
방민석·정혜진 (2011)	DEA CCR, BCC	연구개발 투자비 연구원 수 연구장비 구입액	특허출원 수 SCI(보정지수)
염명배 외 (2011)	DEA CCR, BCC	과학기술관련예산 국가연구개발비 연구원 수	지역내총생산
이민희 외 (2012)	DEA CCR	연구개발비 연구개발인력	특허 지역내총생산
한하늘 (2013)	Malmquist	연구원 수 연구개발비	특허출원 수 특허등록 수
이광배·모수원 (2013)	Malmquist DEA/window	연구개발비 연구개발인력	특허 지역내총생산
민수진·김주성 (2017)	CCR, BCC 횡단면	R&D 투자비 R&D 인력 R&D 수행기관 수	국내 출원 특허 수 SCI 논문수 1인당 지역내총부가가치 국가연구개발 기술이전수입 대학 기술이전 수입
서형준·이형석 (2018)	DEA SBM	총연구개발비 연구원 수	지역혁신산출지수 SCI 편수

일반적으로 지역별 연구개발비, 연구개발인력 등을 가변투입요소로 고려하고 있다. 지역별 연구장비 구입액을 투입요소로 설정하여 R&D 자본스톡의 성격을 반영하고자 하는 연구들도 있다. 그러나 마찬가지로 지역별 연구장비 구입액을 연도별 유량(flow)으로 측정함으로써 R&D 스톡의 성격을 여전히 반영하지 못하고 있음을 볼 수 있다. 이처럼 R&D 효율성과 관련하여 투입물로 자본적 요소를 고려하는 경우에도 이를 가변투입요소로 파악함으로써 R&D 스톡이 가지는 기간간 연계활동적 속성을 명백히 고려하지 못하는 한계가 있음을 지적할 수 있다. 본 연구에서는 이들 선행연구들을 확장하여 지역별 정부 R&D 스톡을 이론모형을 통해 측정하고 이를 준고정적 투입요소로 설정함으로써 자본의 기간간 연계활동

적 속성을 효율성 측정모형에 명백히 반영하고자 한다. 그리고 산출요소의 경우에는 매우 다양한 지표들이 사용되고 있음을 볼 수 있는데, 본 연구에서는 이 중 지역별 정부 R&D 활동과 직접적으로 관련되는 산출물로서 특허등록, 특허출원, 논문게재, 기술료수입, 사업화성과 등을 선정하였다.

한편 투입 및 산출지표를 절대값으로 측정하는가 또는 지역별 인구수 또는 GRDP 등으로 나눈 비율값으로 측정하여 고려하는가에 따라 DEA를 통해 도출되는 효율성 점수는 달라질 수 있는 한계가 있다. 그러함에도 어떠한 방식에 따라 측정하는 것이 바람직한가에 대한 절대적인 기준에 대해서는 여전히 정립되지 못한 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 자료원으로부터 획득한 자료를 가급적 그대로 이용하되 가변투입물, 준고정

투입물, 그리고 산출물에 일관성 있는 측정 기준을 적용하였다.

4) 분석자료 및 변수

본 연구에서는 기본적으로 KISTEP이 발간하는 연도별 국가연구개발사업 조사분석보고서와 국가과학기술지식정보서비스(이하 NTIS)의 R&D 데이터베이스를 이용하여 분석을 실시하였다.

분석기간은 2007년부터 2015년까지 총 9개년이며, 해당 기간 동안 계속적으로 존재하였던 광역자치단체를 분석대상으로 하였다. 이 때 세종특별자치시의 경우 2012년에 출범하여 2013년부터 R&D 관련 자료가 축적되기 시작한 관계로 분석의 편의상 세종특별자치시의 자료는 충청남도에 포함시켰다. 아울러 지방정부 R&D 효율성은 수집된 자료를 바탕으로 MaxDEA 7 Ultra version을 활용하여 측정하였으며, 그래프 등 기술통계 작성에는 STATA 15를 활용하였다.

<표 2> 투입 및 산출변수의 선정

투입/산출	변수명	측정치표	단위
투입 요소	연구개발인력	지역 내 공공연구기관 및 대학 소속 연구개발인력 수	명
준고정 투입 요소	정부 R&D 스톡 (z)	$Z_t = (1 - \delta)R_{t-3} + Z_{t-1}$ *연구재고법: R&D 투자지차(3년) 및 지식진부화율(δ) 반영	억원
산출 요소	특허 등록	(국내 + 국외) 성과인정 특허 등록수	건수
	특허 출원	(국내 + 국외) 성과인정 특허 등록수	건수
	논문 게재	성과인정 SCI논문게재수	건수
	기술료 수입	기술료 성과 당해연도 징수액	억원
사업화 성과	사업화 수	건수	건수

4. 분석결과

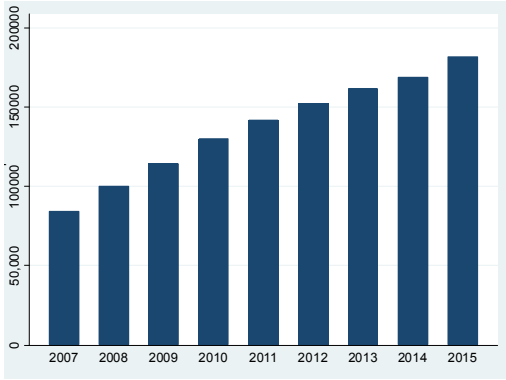
1) 정부 R&D 스톡의 추계

Dynamic DEA 모형을 통해 지역별 R&D 효율성을 측정하기에 앞서 본 연구의 주요한 관심 대상인 정부 R&D 투자 및 준고정투입 요소로서 추계된 정부 R&D 스톡의 규모 및 추이를 살펴본다. 이와 함께 모형에서 설정된 그 밖의 투입물, 그리고 산출물의 기초통계량을 살펴본다.

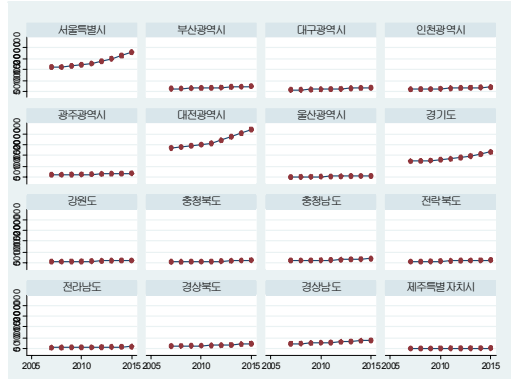
우선 연도별, 지역별 정부 R&D 투자 규모를 살펴본다. <그림 1>은 연도별 정부 R&D 투자 금액을 보여주고 있다. 이에 따르면 R&D 투자는 2007년 8조 4천억 원에서 2015년 정부 15조 2천억 원 정도의 규모로 약 2배 정도 증가하였음을 볼 수 있다. 그런데 <그림 2>에 따르면 경기도, 대전광역시, 서울특별시 등의 지역은 정부 R&D 투자의 규모가 상대적으로 클 뿐만 아니라 증가 속도도 높음을 알 수 있다. 결국 지역별로 큰 편차를 보임과 아울러 R&D 투자의 증가속도도 차이가 적지 않음을 확인할 수 있다.

다음으로 <그림 3>과 <그림 4>를 통해 정부 R&D 투자로부터 축적되는 정부 R&D 스톡의 규모와 증가 추이를 연도별, 지역별로 살펴본다. <그림 3>에 따르면 정부 R&D 스톡은 매년 증가 추세를 보이며, 2007년 약 44조 2천억 원 규모에서 2015년 약 74조 3천억 원으로 약 1.7배 증가한 것으로 나타났다.

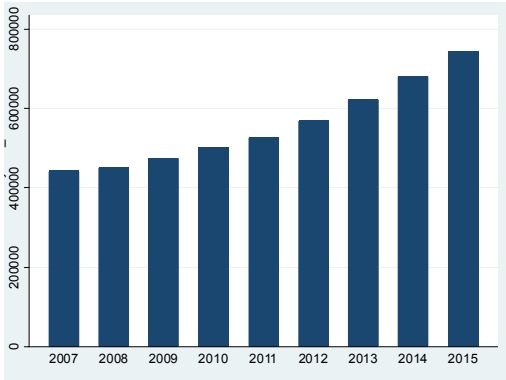
<그림 4>는 2007-2015년 기간 동안의 평균 R&D 스톡의 규모를 나타내고 있다. 이에 따르면 R&D 스톡의 경우 지역별 편차가 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있는데, 대전광역시가 가장 규모가 크며, 서울특별시, 경기도 등이 그 뒤를 따르고 있다. 이에 비해 울산광역시, 전라남도, 제주특별자치도의 경우 상대적으로 R&D 스톡의 규모



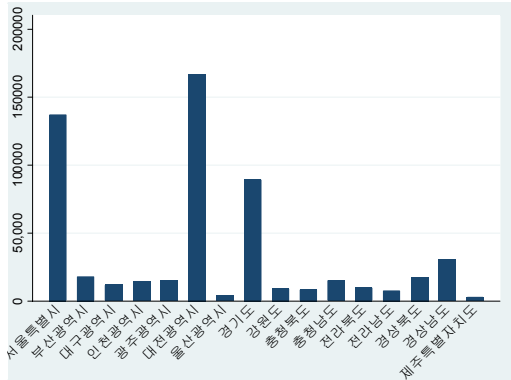
<그림 1> 연도별 정부 R&D 투자 추이



<그림 2> 지역별 정부 R&D 투자 추이



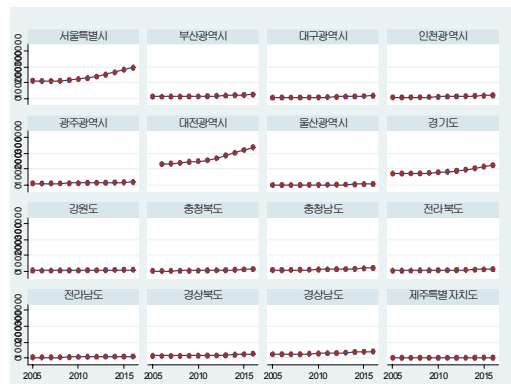
<그림 3> 연도별 정부 R&D 스톡 규모 추이



<그림 4> 정부 R&D 스톡 지역별 평균 규모 (2007-2015)

가 작은 것으로 나타났다.

이와 함께 <그림 5>는 2007년부터 2015년까지의 지역별 정부 R&D 스톡의 추이를 보여주고 있다. 이에 따르면 지역 간에는 R&D 스톡의 규모뿐만 아니라 R&D 스톡의 축적 속도에 있어서도 적지 않은 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 대전광역시와 경기도, 서울특별시의 경우 R&D 스톡의 규모뿐만 아니라 증가속도 또한 높은 것으로 나타났다. 반면 이들을 제외한 나머지 지역들의 R&D 스톡은 규모가 상대적으로 작을 뿐만 아니라 R&D 스톡의 증가속도도 상대적으로 완만함을 볼 수 있다.



<그림 5> 지역별 R&D 스톡 추이

이상의 변수들 이외에 지역별 정부 R&D 효율

성 측정에 사용된 투입 및 산출 변수들에 대한 기술통계치는 <표 3>을 통해 확인할 수 있다.

<표 3> 기술통계 요약

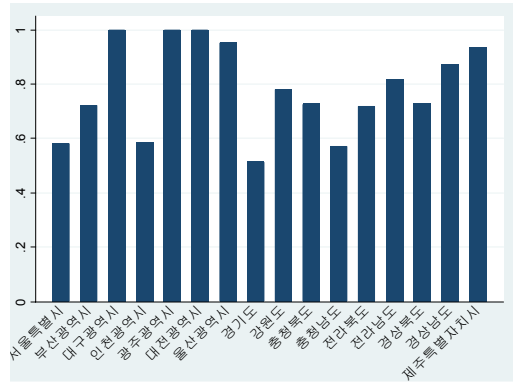
변수	관측치	평균	표준 편차	최소값	최대값
연구개발 인력	144	32,731	45,559	1,372	202,267
R&D 스투크	144	34,785	49,713	1,510	219,496
특허등록 건수	144	652.9	982.4	18	4,588
특허출원 건수	144	1,436	1,990	64	8,826
논문게재 건수	144	1,664	2,495	76.42	13,385
기술료 징수액	144	14,894	21,536	224.0	91,594
사업화수	144	749.8	873.4	64	5,735

2) 효율성 측정 결과

R&D 스투크의 기간간 연계성을 반영하여 dynamic DEA 모형을 통해 지역별 R&D 효율성을 측정 한 결과는 <그림 6>에서 <그림 8>을 통해 확인할 수 있다.

우선 <그림 6>은 분석기간 동안 지역별 R&D 효율성 평균값을 비교하여 보여주고 있다. 이에 따르면 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시 등 3개 지역은 R&D 효율성이 1의 값을 가짐으로써 가장 효율적인 지역인 것으로 나타났다. 이에 비해 경기도, 서울특별시, 인천광역시, 충청남도의 경우 상대적으로 R&D 효율성이 낮은 것으로 나타났다.

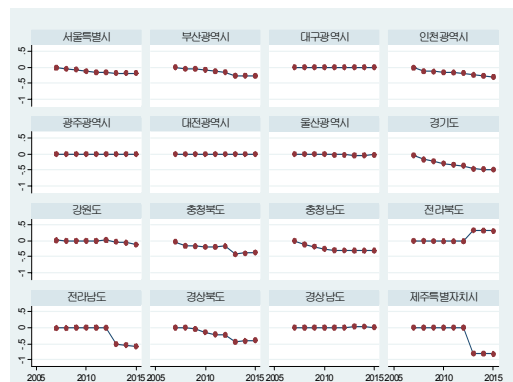
한편 <그림 7>을 통해 이러한 지역별 R&D 효율성의 시계열적 특징을 확인해 볼 수 있다. 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시는 이미 <그림 6>에서 확인하였듯이 분석 대상 전 기간에 걸쳐 R&D



<그림 6> 지역별 R&D 효율성 평균 비교



<그림 7> 지역별 R&D 효율성 추이



<그림 8> 지역별 R&D 스투크의 요소효율성 추이

효율성이 1의 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이에 비해 경기도, 경상북도, 부산광역시, 인천광역시, 전

라북도, 충청남도, 충청북도는 분석기간에 걸쳐 상대적으로 R&D 효율성이 지속적으로 하락하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 그리고 이상의 지역을 제외한 강원도 등의 지역은 분석 기간 동안 R&D 효율성이 등락을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

한편 <그림 8>은 지역별 R&D 스톡의 요소효율성 추이를 보여주고 있다. 준고정투입 요소의 요소효율성 지수값이 0보다 큰 경우 과다투입(excess input), 0보다 작은 경우 과소투입(input shortfall)을 나타낸다. <그림 8>에서 경상남도, 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시의 경우 요소효율성이 0의 값을 지속적으로 나타나 R&D 스톡의 활용이 매우 효율적이라고 할 수 있다. 이에 비해 전라북도를 제외한 나머지 지역은 다기간에 걸쳐 요소효율성 지수값이 0 미만으로 나타나 R&D 스톡이 과소투입(input shortfall) 상태로 볼 수 있다. 특히 경기도, 전라남도, 제주특별자치도, 충청북도의 경우 R&D 스톡의 과소투입이 상대적으로 심각하다고 판단된다. 반면 전라북도의 경우 2013년부터 요소효율성 지수값이 1보다 크게 나타나 R&D 스톡의 과다투입이 나타나고 있다고 판단된다.

5. 결론 및 시사점

본 연구는 정부 R&D 관련 투입이 산출로 이어지는 R&D 프로세스에 R&D 투자지출의 시차를 반영함과 아울러 기간간 연계성을 가지는 준고정투입(quasi-fixed input) 요소로서 R&D 스톡을 반영하여 지역별 정부 R&D 효율성 측정을 시도하였다.

정부 R&D 투자 및 준고정투입 요소로서 추계된 정부 R&D 스톡의 규모 및 추이를 살펴본 결과 정부 R&D 투자 및 정부 R&D 스톡 모두 분

석 기간 동안 그 규모가 꾸준히 증가해왔으나, 정부 R&D 투자 및 스톡 모두 규모와 증가속도 면에서 지역별로 큰 편차를 보였다. 이와 함께 R&D 스톡의 기간간 연계성을 반영하여 dynamic DEA 모형을 통해 지역별 R&D 효율성을 측정된 결과 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시 등 3개 지역은 R&D 효율성이 1의 값을 가짐으로써 가장 효율적인 지역인 것으로 나타났는데 반해 경기도, 서울특별시, 인천광역시, 충청남도의 경우 상대적으로 R&D 효율성이 낮은 것으로 나타났다. 또한 상대적으로 R&D 비효율성을 나타낸 지역 중에서 경기도, 경상북도, 부산광역시, 인천광역시, 전라북도, 충청남도, 충청북도는 분석기간에 걸쳐 상대적으로 R&D 효율성이 지속적으로 하락하는 시계열적 특징을 보인 반면, 강원도 등의 지역은 분석 기간 동안 R&D 효율성이 등락을 보이는 시계열적 특징이 나타났다. 마지막으로 지역별 R&D 스톡의 요소효율성 분석에서는 경상남도, 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시의 경우 요소효율성 지수값이 지속적으로 0으로 나타나 R&D 스톡의 활용이 매우 효율적인 반면 전라북도를 제외한 나머지 지역은 다기간에 걸쳐 요소효율성 지수값이 0 미만으로 나타나 R&D 스톡이 과소투입(input shortfall) 상태로 볼 수 있다. 특히 경기도, 전라남도, 제주특별자치도, 충청북도의 경우 R&D 스톡의 과소투입이 상대적으로 심각한 것으로 나타났다.

본 연구는 R&D 프로세스에서 R&D 스톡이 가지는 특성들을 반영하여 정부 R&D 효율성을 측정하였다. R&D 효율성 측정을 위해 영구재고법에 따라 R&D 지출의 시차를 반영한 R&D 스톡을 계산하였고, 이러한 R&D 스톡을 기간간 연계성을 가지는 준고정투입요소(quasi-fixed input)로 R&D 효율성 측정에 명시적으로 고려하였다는 점은 본 연구의 기존 연구와의 차별성이자 기

여점이라고 할 것이다.

그러함에도 불구하고 본 연구에는 크고 작은 여러 가지 한계가 존재한다. 우선 R&D 효율성 및 R&D 스투크의 요소효율성의 지역간 편차가 크게 나타나고 있는 바, 어떠한 요인이 이러한 지역간 차이를 가져오는지에 대한 검토까지는 다루지 못하였다. 이로 인해 R&D 효율성 및 R&D 스투크의 요소효율성을 높이기 위한 정책적 함의를 도출하는데 있어서 본 연구의 기여점은 매우 제한적이라고 할 것이다.

다음으로 각 지역에 투자되고 구축되는 R&D 스투크에 대한 민간 부문의 기여도 적지 않다고 할 것이나 본 연구에서는 정부 R&D 투자 및 스투크

로 연구범위를 한정함으로써 민간 부분 R&D에 대한 고려가 사실 미흡하다. 이 밖에도 크고 작은 한계가 존재한다는 점을 인정하면서, 후속 연구에서는 민간 R&D를 포함한 명실상부한 ‘국가 R&D’로 연구범위를 확장함과 아울러 R&D 효율성에 영향을 미치는 결정요인에 대한 검토까지도 포함하는 연구로의 확장을 모색해보고자 한다. 지역간 효율성 차이는 다양한 요인으로 인해 발생할 것인 바, 이러한 효율성 결정요인(determinants)을 검토하기 위해서는 추가적인 이론적 논의를 거쳐 요인들이 효율성에 대한 설명변수로 설정되고 해당 결정요인들의 통계적 유의성 확인을 위한 통계적 방법론이 활용될 것이다.

참 고 문 헌

- 김영훈·김선근 (2011). 우리나라의 R&D 생산성 및 효율성 분석: OECD 국가와의 비교를 중심으로. <기술혁신연구>, 19(1), 1-27.
- 김태희·김인호·안성봉·이계석 (2009). 자료포락분석법을 활용한 국가연구개발사업의 효율성 분석. <기술혁신학회지>, 12(1), 70-87.
- 문광민 (2011). 지방공기업의 투자자본과 효율성. <정책분석평가학회보>, 21(2), 219-246.
- 문광민 (2015). 사회복지지출의 효율성은 중요한가?: 동태적 패널문턱모형을 이용한 사회복지지출과 경제성장의 관계 재검토. <한국사회와 행정연구>, 26(1), 27-52.
- 문춘걸 (1998). 자료포락분석법 및 그 변형기법을 통한 공공부문의 생산성 측정: 한국 중소도시의 생산성분석.<정책보고서>, 1998(3), 1-120.
- 민수진·김주성 (2017). 지역 R&D 의 지식창출 및 가치창출 효율성 분석. <한국기술혁신학회 학술대회>, 339-1354.
- 박석종·김경화·정상기 (2011). 과학기술적 성과 관점에서 정부 R&D 사업 효율성 분석에 관한 연구. <기술철학회지>, 14(2), 205-222.
- 박성민 (2010). R&D 프로젝트 효율성 상관분석 및 사업포지셔닝 조사를 위한 2 단계 DEA/AR-I 성과평가모형. <대한경영학회지>, 23(6), 3285-3303.
- 박정희·문중범 (2010). DEA를 이용한 지역산업기술개발사업의 효율성 분석. <산업경제연구>, 23(4), 207-2068.
- 박창일·서호준 (2018). 6T 분야별 국가 R&D 사업의 효율성과 생산성변화. <산업경제연구>, 31(1), 293-325.
- 방민석·정혜진 (2011). 자료포락분석을 활용한 지방 R&D 사업의 효율성 분석. <지방행정연구>, 25(4), 287-310.
- 배세영 (2009). 우리나라 시·도별 정부 R&D 투자의 효율성 분석-DEA 와 SFA 측정결과 비교분석. <한국지역경

- 제연구>, 14, 105-129.
- 서형준 · 이형석 (2018). 국내 지역 연구개발투자 효율성 분석: 지역혁신산출지수를 중심으로. <도시연구>, 13, 209-245.
- 송광석 · 유한주 · 김경원 · 장현덕 (2015). 국내 R&D 전문관리기관의 R&D 기획 · 평가 · 관리비의 효율성 분석에 관한 연구. <J Korean Soc Qual Manag>, 43(1), 85-101.
- 신태영 (2005). 정부연구개발투자자와 민간연구개발투자자의 상호보완성에 대한 실증분석. <과학기술정책>, (151) 57-75.
- 신태영 · 박병무 (1998). 거시계량경제모형을 이용한 연구개발투자의 정책효과 분석. 정책자료, 1-103.
- 이상인 · 권성훈, 송성환 · 배영임 (2009). DEA를 이용한 R&D 효율성의 국제비교분석. <대한산업공학회 춘계공학술대회 논문집>, 1356-1363.
- 염명배 · 성을현 · 황경연 (2011). DEA 모형을 이용한 지역별 R&D 투자의 효율성 비교분석. <생산성논집>25(2), 259-287.
- 유금록 (2004). <공공부문의 효율성 측정과 평가: 프런티어 분석의 이론과 적용>. 대영출판사.
- 윤경준 (1995). 지방정부 서비스의 상대적 효율성 측정에 관한 연구: 대도시 보건소에 대한 자료포락분석을 중심으로. 연세대학교 박사학위청구논문.
- 이광배 · 모수원 (2013). 우리나라 지역연구개발투자의 생산성과 동태적 효율성. <산업경제연구>, 26(1), 33-345.
- 이민희 · 이광배 · 박홍균 (2012). 지역 연구개발투자의 효율성 분석. <산업경제연구>, 25(5), 3365-3382.
- 이병철 (2008). 우리나라 광역시도별 특허성과를 통한 연구개발 효율성과 생산성 분석. <지식재산연구>, 3(2) 99-121.
- 이재성 (1987). 지방행정의 생산성과 측정방법에 관한 고찰. <지방행정연구>, 2(2), 2039-2054.
- 임응순 · 이종하 (2017). 연구개발투자자와 지역 경제성장 간의 관계 분석. <산업경제연구>, 30(2), 793817.
- 한국과학기술기획평가원 (2019). 2018년 지역 과학기술혁신 역량평가. 연구보고 2019-002.
- 한하늘 (2013). 인천광역시 연구개발 생산성 추세변화 비교분석. <도시연구>, 7, 141-175.
- 홍순기 · 홍사균 · 안두현 (1991). 연구개발투자의 산업부문간 흐름과 직 · 간접 생산성 증대효과 분석에 관한 연구. <정책연구>, 1-285.
- 홍진원 · 박승욱 · 배상근 (2011). DEA 결과와 과제관리자 평가의 비교에 근거한 국가 R&D 프로젝트의 효율성 평가의 문제점 및 방안 탐색. <산업혁신연구>, 27(4), 33-52.
- Arrow, K. (1962). Economic welfare and the allocation of resources for invention in National Bureau of Economic Research. The rate and direction of inventive activity. Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of political Economy*, 98(5, Part 2), S71-S102.
- Chen, C. M., & van Dalen, J. (2010). Measuring dynamic efficiency: Theories and an integrated methodology. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 749-760.
- Färe, R., & Grosskopf, S. (1997). Intertemporal production frontiers: with dynamic DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 48(6), 656-656.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*:

- Series A (General)*, 120(3), 253-281.
- Hsu, F. M., & Hsueh, C. C. (2009). Measuring relative efficiency of government-sponsored R&D projects: A three-stage approach. *Evaluation and program planning*, 32(2), 178-186.
- Kocher, M. G., Luptacik, M., & Sutter, M. (2006). Measuring productivity of research in economics: A cross-country study using DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 40(4), 314-332.
- Lee, H. Y., & Park, Y. T. (2005). An international comparison of R&D efficiency: DEA approach. *Asian Journal of Technology Innovation*, 13(2), 207-222.
- Lee, H., Park, Y., & Choi, H. (2009). Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives: A DEA approach. *European journal of operational research*, 196(3), 847-855.
- Nemoto, J., & Goto, M. (1999). Dynamic data envelopment analysis: modeling intertemporal behavior of a firm in the presence of productive inefficiencies. *Economics Letters*, 64(1), 51-56.
- Sharma, S., & Thomas, V. (2008). Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis. *Scientometrics*, 76(3), 483-501.
- Thanassoulis, E., Boussofiane, A., & Dyson, R. G. (1996). A comparison of data envelopment analysis and ratio analysis as tools for performance assessment. *Omega*, 24(3), 229-244.
- Tone, K., & Tsutsui, M. (2010). Dynamic DEA: A slacks-based measure approach. *Omega*, 38(3-4), 145-156.
- Wang, E. C. (2007). R&D efficiency and economic performance: A cross-country analysis using the stochastic frontier approach. *Journal of Policy Modeling*, 29(2), 345-360.
- Wang, E. C., & Huang, W. (2007). Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach. *Research Policy*, 36(2), 260-273.

Measurement of Government R&D Efficiency Considering Time Difference and Inter-Period Continuity of R&D Stock: Application of Dynamic DEA Model

Kwangmin Moon

Department of Public Administration,
Chungnam National University

This study attempted to measure government R&D efficiency by reflecting R&D stock as a quasi-fixed input element with an inter-period linkage, reflecting the time difference of R&D investment in the R&D process leading to the output of government R&D-related inputs. Reflecting the inter-period linkage of R&D stocks, a dynamic DEA model was used to measure the efficiency of R&D in each region and found that three areas were the most efficient with R&D efficiency with values of 1 in Gwangju, Daegu, and Daejeon, whereas the efficiencies of R&D in Gyeonggi Province, Seoul, Incheon, and South Chungcheong Province were relatively low. In addition, Gyeonggi Province, Gyeongsangbuk-do, Busan Metropolitan City, Incheon Metropolitan City, Jeollabuk-do, Chungcheongnam-do, and Chungcheongbuk-do showed time-series characteristics with relatively low R&D efficiencies over the analysis period, whereas Gangwon-do and others showed reductions in R&D efficiency during the analysis period. At the same time, element efficiency analysis of R&D stocks by region showed that the component efficiency index values in Gyeongsangnam-do, Gwangju-gu, Daegu-gu, and Daejeon-wide cities were consistently zero, making the utilization of R&D stocks very efficient, whereas the component efficiency index values in many areas other than North Jeolla Province appeared to be below zero, thereby showing the under-input status of R&D stocks. In particular, over-investment of R&D stocks is relatively serious in Gyeonggi Province, South Jeolla Province, Jeju Special Self-governing Province, and North Chungcheong Province.

Keywords: R&D Stock, R&D Efficiency, Quasi-fixed Input, Dynamic DEA Model, Factor Efficiency Index