CGE모형 추정결과를 이용한 국가 R&D 투자 우선순위 설정

임병인* · 안승구**

<목 차>

Ⅰ. 연구배경 및 필요성
Ⅱ. 우선순위 개념과 기존 연구
Ⅲ. CGE모형을 이용한 R&D투자의 우선순위 결정
Ⅳ. 요약 및 결론

국문초록 : 본 연구에서는 CGE(Computable General Equilibrium)모형을 이용하여 28개 산업별 R&D투자액의 GDP 파급효과를 추정한 뒤, 그 결과로써 GDP의 R&D투자탄력성을 계산하여 산업별 R&D 투자 우선순위를 제시하였다. 우선순위는 28개 대분류 산업 중 전체 연구개발투자에서 차지하는 비중이 1% 미만인 16개 산업을 제외한 12개 산업에 대해서만 적용해 보았다. 먼저 GDP의 R&D투자 탄력성에 근거한 우선순위는 제1차 금속제품, 화학제품, 음식료품, 전기 및 전자기기, 수송장비, 금속제품, 정밀기기, 전력・가스 및 수도, 일반기계, 통신 및 방송, 건설, 사회 및 기타 서비스, 부동산 및 사업 서비스 순이었다. GDP의 R&D투자탄력성에 근거한 순위설정은 비교적 우리나라 산업들의 현황을 잘 보여주고 있는 것으로 판단된다. 보조지표인 2030년 기준 균형 대비 GDP 증가율에 근거한 우선순위 역시 판정기준으로 유사한 결과를 보여주었다. 결국 두 개의 우선순위 기준은 국가과학기술위원회의 R&D예산투자방향 및 기준 설정과 주요 사업별 예산배분 방향에 좋은 판정기준으로 활용될 수 있음을 보여주었다.

주제어: CGE모형, GDP의 R&D투자탄력성, 우선순위

* 충북대학교, 제1저자 (billforest@chungbuk.ac.kr)
** 한국과학기술기획평가원, 교신저자 (ask@kistep.re.kr)

Prioritization of National R&D Investment Using Estimation Results by CGE Model

Byung-In Lim · Seung-Ku Ahn

Abstract : We suggested industry-specific priorities of R&D investment with R&D investment elasticity to GDP calculated from the ripple effect of 28 large-sized industry R&D investment, using a Computable General Equilibrium(CGE) Model. Priority orders apply to only 12 industries, because 16 industries with less than 1% of total investment have been excluded. First, R&D investment elasticity to GDP says that priorities are ordered as Basic metal products, Chemicals, drugs and medicines, Food, beverages and tobacco products, Electronic and electrical equipment, Transportation equipment, Precision instruments, Electrictity, gas, steam and water supply, General machinery and equipment, Communications and broadcasting, Construction, Other services, and Real estate and business services. These priorities show the status quo of Korean industry structures well. The GDP growth rate to 2030 year reference equilibrium, which is an auxiliary index, says a similar priority to results from R&D investment elasticity to GDP. In the end, two criteria of priority order can be functioned as a good index for National Science and Technology Commission deciding what industry to invest and what budget to allocate.

Key Words : CGE Model, R&D Investment Elasticity to GDP, Priorities

Ⅰ. 연구배경 및 필요성

다양한 환경변화로 인해 성장동력 탐색이 그 어느 때보다 중요한 과제로 등장하였다. 여기에는 기술력의 우위가 국가 경쟁력의 원천으로 작용하고 있다는 점과 우리나라가 지식기반사회에 위치하고 있지만 선진경제로 재도약하기 위한 끝없는 고민이 내포되어 있다. 이 과정에서 이윤극대화와 함께 영속성을 추구하는 산업계의 적극적인 기술혁신 노력과 함께 민간부문에서 참여하기 힘든 위험부담이 크고 대규모 투자가 필요한 첨단 핵심기술에 대한 정부의 적극적인 역할이 요구되고 있다. 이런 상황에서 우리나라는 정부차원의 연구개발 예산을 대폭 확대하고 있다.

우리나라의 연구개발 투자규모를 살펴보면, 최근 10년(2000~2009) 동안 약 3배 정도로 증가하였고, 이는 미국, 일본, 독일, 중국, 프랑스, 영국에 이어 세계 7번째의 R&D 투자규모를 가지고 있으며, GDP 대비 연구개발비 비중은 3.57%로 세계 4위권을 차지하고 있다(교육과학기술부・한국과학기술기획평가원, 2010). 특히, 현 정부는 과학기술기본계획(577전략)에 따라 정부 R&D예산을 오는 2012년까지 2008년 대비 1.5배 확대할 계획을 수립하였다. 이와 같은 R&D예산 확대 기조 아래서 R&D투자 우선순위 설정 등을 통한 투자 효율화에 대한 요구 또한 지속적으로 증가해 왔다.

미국, 일본 등 주요 국가 사례에서 보듯이 투자를 위한 우선순위 설정이 정책당국자들의 고민거리였다. 우리나라도 매년 R&D예산의 투자우선순위 설정을 위해 노력해 왔으며 2008년 정부 조직 개편 이후에는 국가과학기술위원회를 중심으로 매년 4월에 '정부 R&D예산 투자방향'을 설정하고, 7월에는 주요 '사업별 예산 배분방향'을 수립하여 추진하는 과정에서 늘 우선순위문제가 주요 관심사가 되어왔다. 이와 관련하여 투자우선순위와 관련된 연구방향을 살펴보면, 첫째, 국내외 여건 등을 분석하여 투자우선순위 설정 과정에 필요한 기초 자료 등 정보를 제공하는 연구가 있고, 둘째 우선순위 설정을 위한 의사결정 방법론 개발에 대한 연구가 주류를 이룬다고 알려져 있다.

본 연구는 이 중 후자에 초점을 두어 R&D 투자방향 및 배분방향 수립에 필요한 우선순위 설정방법론을 제시해보는 것에 연구목적이 있다. 본 연구의 궁극적인 목적은 우선순위방법론 중에서 CGE방법에 초점을 맞추어 우선순위의 시안을 제시하는 것에 있다. 실제로 우리나라 정부 R&D예산의 투자 우선순위 설정 작업이라고 볼 수 있는'정부 R&D 투자방향' 또는 '정부 R&D 예산 배분방향'에서 직접적으로 순위를 설정하는 절차는 거의 없거나, 사업별 등급 형태로 제한되어 있다. 이런 현상이 본 연구의 필요성을 더

욱 부각시킨다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 우선순위의 개념을 제시한 뒤 우선순위 설정 모델, 우선순위 설정에 관한 선행연구를 검토한다. 제3장에서는 새로운 우선순위결정방법으로 사용이 가능한 CGE모형의 개요와 그것을 이용한 경제적 성과 분석방법을 개괄해본다. 4장에서는 CGE모형에 의한 투자우선순위 선정결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 전술한 논의내용들을 정리하고 결론을 맺는다.

Ⅱ. 우선순위 개념과 기존 연구[1)]

1. 우선순위의 개념

일반적으로 우선순위라 함은'어떤 것을 먼저 차지하거나 사용할 수 있는 차례나 위치[2)]'또는'한 시스템이 처리해야할 작업이 여러 개 있을 때 그 작업들 간에 순서를 매기는 어떤 기준'[3)]을 의미한다. 따라서 엄밀한 의미에서 투자의 우선순위라 함은'투자해야 하는 대상에 대하여 순위를 부여하는 작업'이라 할 수 있을 것이다(길부종 외, 2008). 이 정의를 본 연구의 주안점인 정부 R&D 예산의 우선순위에 적용하면, '투자방향', '투자우선순위', '투자 포트폴리오', '배분방향' 등 자원배분을 위한 다양한 시도와 노력들이 투자우선순위라고 정의할 수 있다.

한편, 실무적인 관점에서 정부 예산에 대한 투자 우선순위는 '무엇이 중요한가?' 또는 '어디에 집중하여 자원을 배분할 것인가?'에 대한 전략적 고려에 가까우며, 반드시 순위(ranking) 개념을 반영하는 것은 아니다. 따라서 정부 예산에 대한 우선순위는 정책적 의사결정 및 정책 기획과 밀접한 관계가 있어 개념 정의가 쉽지 않다는 점에 유의할 필요가 있다(이재억, 1998). 이는 R&D 부문의 우선순위 설정 또는 자원배분 문제는 과학기술자, 관료, 이익 집단, 국회 등 이해관계자들이 상호작용하는 복잡한 정치적 과정을 거쳐서 이루어지기 때문이다(OECD, 1991). 이와 같이 우선순위 설정이 중요한 이유는 전술하였듯이 정치적 과정이 불가피한 예산배정을 체계적이고 합리적으로 하는데 기준을 마련할 필요가 있기 때문이다. 문제는 우선순위를 바로 예산배분과 연계하는 것에 많

1) 이하 내용은 안승구 외(2010), 제2장을 인용, 발췌하여 정리한 것이다.
2) 국립국어원의 표준국어대사전 참조.
3) 한국정보통신기술협회의 정보통신용어사전 참조.

은 어려움이 따른다는 것에 있다. 우선순위가 높다고 해서 반드시 예산이 가장 많이 소요되는 것이 아니다. 설령 우선순위가 높은 부문에 더 많은 예산을 투입하는 원칙이 있다 해도, '얼마나 더 많이 투입할 것인가?'는 여전히 숙제로 남는다. 뿐만 아니라, 우선순위에 따른 투자 규모를 확정한다 하여도, 예산 편성 과정에서 어떻게 반영할 것인가라는 문제도 여전히 존재한다. 따라서 우선순위를 설정하는 과정에서 많은 논란을 야기하는 부분은 정책적 선택에 의한 우선순위가 적절히 예산에 반영되었는지를 판단할 수 있는가에 있다.

2. 기존 연구

우선순위 설정 기준으로 널리 활용되고 있는 방법론에는 델파이 분석(Delphi Analysis), 자료포락분석(Data Envelopment Analysis), 연산가능 일반균형모형(Computable General Equilibrium), 시스템 다이내믹스(System Dynamics), 계층분석법(Analytic Hierarchy Process) 등이 있다.

먼저 미래예측의 한 방법으로서 예측하려는 문제에 관하여 전문가들의 견해를 유도하고 종합하여 집단적 판단으로 정리하는 일련의 절차로 정의되는 델파이 분석 기법을 이용하여 우선순위를 설정하는 연구에는 일본 과학기술정책연구소・미래공학연구소(2002)와 정경수 외(2004) 등이 있다. 정경수 외(2004)는 델파이 분석 기법을 이용하여 소프트웨어의 개발시의 위험요인을 순위로 제시하였다,

자료포락분석을 이용한 우선순위 설정에 관한 연구가 있다. 자료포락분석이란 기능적으로 유사한 활동을 하는 조직[4]이 사용하는 다수의 투입물에 대한 다수의 산출물의 비율 즉, 효율성을 측정하는 수학적 프로그래밍 기법으로 비영리조직 및 공공부문의 성과측정에 많이 활용된다. 이 기법은 의사결정단위 중에서 효율성이 가장 높은 최상 실행단위를 지정하고 이들과 비교하여 다른 의사결정단위의 상대적 효율성을 측정하여 우선순위를 설정할 수 있다. 안상인 외(2009)는 산업 수준이 아니라 국가적인 수준에서 R&D 인력과 R&D 투자액을 투입요인으로 하고 특허건수와 논문수를 산출요인으로 해서 국가별 효율성을 측정하고 비교했다. 박석종 외(2010)도 비슷하게 R&D 투자를 투입요인으로 하고 논문 수와 특허 건수를 산출요인으로 하는 연구를 수행했다. 황석원 외(2008)는 다른 연구와 달리 국가 수준에서가 아니라 특정 산업 내에서 R&D 투자의 효율성을

4) DEA에서는 이를 의사결정단위(Decision Making Units: DMU)라고 한다.

측정하였다.

다음은 연산가능 일반균형모형(Computable General Equilibrium Model, “계산가능 일반균형모형 또는 연산가능 일반균형모형”, 이하 CGE모형)에 의한 우선순위 설정방법이다. CGE모형을 이용한 R&D 투자분석 관련 연구에는 Ghosh(2007), Verbic et al. (2009), Bor et al.(2010) 등과 같은 해외 연구와 김성태・임병인・조경엽(2007)이 있다. 이 중 김성태・임병인・조경엽(2007)은 우리나라 9개 산업에 대한 R&D 투자의 파급효과를 분석하고 그것의 우선순위를 제시하였다.5) 김성태・임병인・조경엽(2007)은 CGE모형에 의한 전체 경제의 GDP 증가액과 증가율로 우선순위를 설정하였는데, 본 연구는 산업별 연구개발투자의 우선순위 설정을 위해 단위중립적인 지표로서 GDP의 R&D투자 탄력성을 사용한다는 점에서 차이가 있다.

마지막 방법으로 시스템 다이내믹스기법이 있다. 이는 산업시스템들의 행태를 연구하는 방식으로서 정책과 의사결정과 구조 그리고 시간지연 등이 어떻게 상호 연결되어 시스템의 성장과 안정성에 영향을 주는지를 밝히는 기법이다. R&D투자배분에 관한 기존의 시스템 다이내믹스 적용 연구 중 박헌준・오세홍・김상준(2004)은 국가 연구개발 투자시스템에 관한 시스템 다이내믹스 모형을 설정하였는데, 그것은 R&D 투자배분에 관한 의사결정 모형을 설정한 것이 아니라, R&D 투자를 관리하면서 발생하는 심리적 효과에 초점을 두고 있다. 또 다른 연구로 김순선・김동환(2007)을 들 수 있다. 이들은 R&D 기관에서 개발한 기술의 상용화 과정을 분석하고 있는데, 역시 R&D 투자가 초점이 아니라, 이미 개발된 기술을 상용화하는 데 있어서 어떠한 메커니즘이 존재하는지에 관하여 논의하고 있는 연구이다.

마지막으로 계층분석법(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP)이 있다. 이 방법은 의사결정의 목표, 또는 평가기준이 다수이며 복합적인 경우 상호 배반적인 대안들의 체계적인 평가를 지원하는 의사결정지원기법의 하나로서 정성적(qualitative) 요소를 포함하는 다기준(multi-criteria) 의사결정에 널리 사용된 것이다. AHP의 가장 큰 특징은 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부 요인들로 분해하고, 이러한 요인들에 대한 쌍대비교(雙對比較: pair-wise comparison)를 통해 중요도를 도출하는 데 있다. 국가연구개발투자 우선순위 도출과 관련하여 AHP방법론으로 접근한 연구로는 황용수 외(2001), 이동엽 외(2002) 등이 대표적이다. 황용수 외(2001)는 국가 과학기술 목표와 역할, 역할을 수행할 수 있는 전략 및 투자대안들의 평가 기준들 간에 연계성을 고려하고 서로 상

5) 여기서 9개 산업이란 국가 R&D 사업의 Total Road map을 일정한 기준에 의해 구분한 것이다.

충되는 기준들 간에 정량적 판단 및 정성적 판단이 포함될 수 있도록 의사결정을 도울 수 있는 기법을 선택하는 것이 중요하다고 강조하고 있다. 이동엽 외(2002)는 국가연구개발 투자 우선순위 도출과 관련된 의사결정문제에서는 국가 과학기술 목표와 역할, 역할을 수행할 수 있는 전략 및 투자대안들의 평가기준들 간에 연계성을 고려하고 서로 상충되는 기준들 간에 정량적 판단 및 정성적 판단이 반드시 포함되어야 하기 때문에 AHP 방법론을 적용하는 것이 적합하다고 지적하였다. 이동엽 외(2002)는 AHP 의사결정의 계층구조를 구성하고, 각 계층의 평가기준들의 중요도 평가한 다음, 최종적으로 과학기술 부문별 중요도를 산출하는 방식으로 연구를 진행하였다.

Ⅲ. CGE모형을 이용한 R&D투자의 우선순위 결정

본 연구는 전술하였듯이 전술한 다섯 가지 방법론 중에서 CGE모형을 이용한 우선순위결정방법을 중심으로 논의하는 것이다. 최근 대부분의 선진국이 직면하고 있는 저성장의 함정을 탈출하고 성장잠재력을 제고시키기 위한 방안으로 R&D투자를 강조하고 있음에도 경제적 파급효과를 파악하는 것이 쉽지 않기 때문이다. 이는 R&D 투자성과가 장기에 걸쳐 나타날 뿐만 아니라 특정 산업의 연구개발투자에 의한 생산기술 진보가 전체 산업으로 확산되는 기술적 외부성(technical externalities)을 가지는 것을 반영해야 하기 때문이다. 문제는 정책당국자들이 R&D투자를 어느 분야에 배정해야 장기간에 걸쳐 기술적 외부성을 극대화할 수 있는가를 판단하기가 쉽지 않다는 것이다. 다시 말하면, 어느 산업 또는 어떤 분야에 R&D 투자를 더 많이 하는 것이 R&D 투자의 특성을 극대화할 수 있는가를 판단하는 것이 어렵다는 것이다.

여기서는 위에서 지적한 문제점을 어느 정도 해결해줄 수 있는 방법론으로 평가받고 있는 CGE모형에 대하여 개괄한 뒤, CGE모형에 의한 우선순위 설정방법을 논의해본다.

1. CGE모형 개요[6)]

CGE모형은 다수의 구조방정식(structural equations)으로 구성된 경제모형으로 현실경제를 재현하여 주요 정책의 변화가 다양한 경제 부문에 미치는 파급효과를 분석할 수 있다. CGE모형에서는 기업, 아밍톤시장, 가계 등으로 구성된 모형을 이용하여 성과분석

6) 이하 내용은 안승구 외(2010) 제4장 2절을 발췌, 인용한 것이다.

을 한다. 기업은 자본과 노동 그리고 중간재(intermediate good)를 투입하여 최종재(Y_i)를 생산하여 국내와 해외로 판매하는 주체이고, 가계는 주어진 예산제약 하에 시점 간(intertemporal) 효용을 극대화하는 경제주체로서 모든 자본을 소유하고 있다. 가계는 이 자본을 기업과 다른 가계에 대출함으로써 소득을 얻고 이에 비례해서 근로소득세와 법인세를 납부한다. 아밍톤(Armington) 시장에서는 국내에 공급되는 최종 소비재화가 수입재화와 경쟁을 통해 최종 소비자들에게 판매된다. 국내재화는 간접세를 납부한 후 아밍톤시장으로 공급되는 반면, 수입재화는 관세와 수입상품세를 납부 후에 아밍톤시장에 유입된다. 이와 같이 아밍톤시장에 유입된 재화는 최종소비자인 가계, 투자자, 정부, 그리고 기업으로 판매된다. 비록 국내재화와 수입재화가 품질 면에서 동일하다 할지라도 생산비용과 각 재화에 부과되는 세금이 상이하기 때문에 판매가격 차이가 발생하고, 이것이 국내재화와 수입재화가 불완전하게 대체되는 원인이 된다.[7)]

전술하였듯이 CGE모형이 연구개발투자로 인한 경제적 파급효과를 분석하는데 최적인 모형이라고 평가받는 이유는 연구개발투자가 가지는 정태적(static) 파급효과뿐만 아니라 연구개발투자 이후 다년간 발생할 수 있는 각종 동태적(dynamic) 파급효과를 제대로 반영할 수 있기 때문이다. 연구개발 투자는 가시적인 연구 성과가 달성되는 시기를 특정할 수 없는 불확실성을 가지며, 또한 그 불확실성으로 인해 연구개발투자의 성공이 확률적으로 결정될 것이므로 분석기간을 장기로 설정하는 것이 필요하다. 만약에 연구개발 투자가 성공할 경우, 그 파급효과는 장기에 걸쳐 당해 분야뿐만 아니라 그와 밀접하게 연관된 분야에 파급효과가 미치는 외부성(externality)을 가진다. 위와 같은 특성을 모형에 반영하려면 1년 단위로 하여 일정기간, 예를 들어 2003년부터 2030년까지를 분석대상으로 하는 완전 동태적 일반균형모형을 구축하는 것이 필요할 것이다.

R&D투자의 경제적 성과 분석에서 가장 중요한 것은 R&D투자의 특성이 과연 경제 전반에 미치는 어떤 경로를 통해서 파급되는가를 살펴보는 것이다. 이미 언급하였듯이 R&D투자는 기술진보를 통해 지적자본을 축적시키므로 기술에 대한 가정이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 다음과 같이 가정하였다. 첫째, 기술을 경합적인 기술진보와 비경합적인 기술진보로 나누고(Goulder and Schneider, 1999; 조경엽・나인강, 2002), 비경합적인 기술진보는 공공재와 같이 외부성을 유발한다. 둘째, R&D투자로 인해 유발되는 기술진보는 지적자본 스톡을 증가시키고 이는 물적 자본과 대체될 수 있다. 셋째, 지적자본에 대한 소유권은 모두 정부가 가지고 있으며 정부는 이를 산업에 임대함으로써

7) 불완전대체관계를 통해 형성된 복합재화(composite good)를 아밍톤(Armington) 복합재화로 부르는데, 이 때 복합재화는 둘 이상의 재화를 혼합하여 생산되는 재화를 말한다.

수익을 얻는다. 넷째, 초기의 R&D투자액은 무상으로 정부가 산업에 제공한다.[8] 참고로 본 연구에서는 기술적 외부성 또는 이전효과(spillover effect)를 감안하기 위해 아무런 보상 없이 누구나 사용할 수 있는 사회 전체의 기술을 모형에 감안한다. 그러나 비배제성 기술은 사회전체의 R&D투자에 의해 축적이 되기 때문에 내생적 기술진보라 할 수 있다. 이를 반영하기 위해서는 생산함수를 다음과 같이 설정하여 모형에 적용하였다.

$$Y_{i,t} = \overline{A_{i,t}} \left[\alpha \widetilde{KL}_{i,t}^{\rho} + (1-\alpha) XA_{i,t}^{\rho} \right]^{\frac{1}{\rho}}$$

단, $\overline{A_{i,t}}$: 외부성을 가지는 기술진보, $\widetilde{KL_{i,t}}$: t기에 i생산부문에 투입된 노동・자본 복합재화, $XA_{i,t}$: t기에 i생산부문에 투입된 아밍톤 복합재화, $\widetilde{K}$: 물적자본($K_{i,t}$)과 지적자본($A_{i,t}$)의 복합재화,[9] α: 복합소비재화 중 소비재화가 차지하는 비중을 나타내는 모수, ρ: 대체탄력성 모수

상기 식에서 외부성을 가지는 기술 진보 $\overline{A_{i,t}}$ 을 제외하면 규모에 대한 수확불변의 원칙이 성립하지만, 외부성을 가지는 기술진보가 추가되면 생산함수는 규모에 대한 수확체증의 함수로 바뀌게 된다. 이와 같은 수확체증으로 인한 총요소생산성은 아래 식에서와 같이 CGE모형 내에서 추정되는데, 이는 사회전체의 기술수준에 대한 증가함수로 생산에 미치는 기여정도를 나타낸다. 아래 식에서 보듯이 기술진보로 인한 산업별 총 요소생산성은 기술진보의 확산계수(β)와 산출량과 비례하게 된다. 따라서 기술의 확산계수가 클수록 그리고 생산량이 클수록 산업별 총요소생산성은 커지게 된다.

$$\overline{A}_{i,t} = (Y_{i,t})^{1/1-\beta} - Y_{i,t} \quad (\text{단, } \beta < 1)$$

이상에서 본 R&D투자의 파급효과를 정리하면 다음과 같이 요약할 수 있다. 초기의 R&D 투자를 정부가 무상으로 민간부문에 지원하여 기술이 진보하고 지적자본이 축적

8) 이 가정은 정부수입이 곧 경제주체들이 납부한 세금이기 때문에 지적자본 축적이 무상으로 이루어지는 것이 아니라 실질적으로 그 대가를 지불하는 것이라고 해석될 수 있다.
9) 이 복합재화는 아래 식으로 구성된다고 가정한다.

$$\widetilde{KL}_{i,t} = \left[\gamma \widetilde{K}_{i,t}^{\rho} + (1-\gamma) L_{i,t}^{\rho} \right]^{\frac{1}{\rho}}, \quad \widetilde{K}_{i,t} = A_{i,t} + K_{i,t}$$

된다. 이렇게 축적된 지적 자본은 두 가지 경로를 통해 생산성 향상에 기여하게 되는데, 하나는 물적 자본을 대체하는 생산요소로서 생산에 기여하며, 다른 하나는 이전효과를 가지는 기술진보로 사회 전체의 생산성 향상에 기여하게 된다. 후자의 이전효과는 무상으로 전 산업이 이용할 수 있기 때문에 투입요소 이상의 잉여가 발생하게 된다. 다시 추가적인 잉여는 R&D를 지원한 정부에 귀속되고, 이는 다시 R&D 투자 재원으로 활용하게 된다.

2. CGE모형 구축

CGE 모형은 일반적으로 다음과 같은 과정을 거쳐 구축된다. 첫째, 모형의 규모를 설정해야 한다. 재화의 수, 생산요소의 수, 소비자의 수, 시장의 수, 분석 기간 등 분석 대상을 설정하는 단계이다. 둘째, 수학적 함수형태를 설정한다. 생산요소 및 중간재화의 다단계 복합단계를 통해 최종 생산함수와 효용 함수를 결정하는 과정이다. 셋째, 사회회계행렬(social account matrix, 이하 SAM)을 구축한다. SAM은 한 경제의 주어진 기간 동안(예, 1년)의 모든 경제 주체들의 모든 경제적 거래를 보여주는데, 정상이윤 조건과 시장청산 조건, 소득균형 조건을 만족해야하며, 또한 각 부분별 미시자료는 거시변수와 일치해야 한다. 넷째, 1차 보정(calibration) 과정이다. 이는 선택한 함수형태가 SAM과 일치하도록 모수를 조정하는 것을 의미한다. 다섯째, 2차 보정(calibration) 단계이다. 이는 모형이 SAM 자료를 재생산하는지를 확인하는 것이다. 여섯째, 정책 모의실험 단계로서 정책변화에 따른 파급효과를 분석하는 과정이다.

<표 1> 사회회계행렬(SAM) 구성도

	국내재화	수입재화	소비재화	최종소비			부가가치	세금	수출	수입	합계
				가계	정부	투자					
국내재화	(1) 28 ×28		(7) 28 ×10 × 10		(12) 28 ×1	(15) 28 ×1			(20) 28 ×1		
수입재화	(2) 28 ×28		(8) 28 ×10 × 10		(13) 28 ×1	(16) 28 ×1					
소비재화				(9) 10 ×10							
최종소비 가계					(14) 10 ×1		(18) 10 ×2				
최종소비 정부						(17) 1 ×1		(19) 1 ×6			
최종소비 투자				(10) 1 ×10						(21) 1 ×1	
부가가치	(3) 2 ×28			(11) 2 ×10							
세금	(4) 4 ×28	(5) 2 ×28									
수출										(22) 1 ×1	
수입		(6) 1 ×28									
합계											

이제 CGE모형 구축과정에서 가장 중요한 역할을 수행하는 SAM에 대해서 상세하게 논의해본다. 본 연구에서는 사회회계행렬(SAM)을 2008년도를 기준년도로 하여 「산업연관표」, 「가계동향조사」, 「국세통계연보」, 「기업경영분석」 등을 비롯한 다양한 자료로부터 수집하여 구축하였다(<표 1> 참조). 국내재화는 총 28개 산업의 제품으로 구성하였는데, 이들은 각 산업의 중간재화로 투입되거나 가계의 소비재화로 쓰이고 또는 정부의 소비재화와 투자재화로 판매되거나 수출된다고 가정한다. 따라서 국내 산업의 중간재화로 판매된 재화는 총 (28×28) 행렬로 구성된다. 이상의 28개 재화는 10개의 소비재화를 구성하는데 사용되고, 이는 다시 10개의 소득계층으로 판매되기 때문에 소비재화로 표시된 세부 행렬의 규모는 (28×10×10)행렬이 될 것이다. 총민간소비지출은 소득계층별 재화별 아밍톤 복합재화로 (28×10×10) 행렬로 구성된다. 산업연관표에 제시된 가계의 국내재

화와 수입재화 소비에 소비전환행렬을 곱하면 총가계의 소비재화별 지출을 구할 수 있는데, 여기에 도시가계연보의 소득계층별 소비비중을 적용하면 소비복합재화에 대한 계층별 소비지출을 도출할 수 있다.

전술한 네 번째 및 다섯 번째 단계의 보정단계(calibration)는 함수형태로 표현된 모형경제와 현실 경제가 일치하도록 필요한 모수(parameter) 값을 조정하는 작업이다. 이때 중요한 것은 모수를 어떤 연구결과에서 제시한 것을 사용하느냐에 달려있다. 왜냐하면 모수값에 의하여 모형추정결과가 바뀌기 때문이다. 본 모형에서는 Fullerton and Rogers (1993), 손양훈・신동천(1997), 조경엽(2000), 이인실 외(2002), Bernstein, et al.(1999), Goulder and Schneider(1999) 등 기존의 국내외 문헌에서 사용된 모수 값을 인용하여 사용한다. 생산의 대체탄력성은 김성태 외 2(2010)의 <표 Ⅳ-19>을 인용하여 사용한다.[10]

한편, 전술한 연구개발투자의 특성에 비추어 연구개발 이후 인적자본을 비롯한 각종 지식의 확산을 반영하는 것이 필요하다. 이를 위해서 지식확산계수라는 개념을 도입하였다. 지식확산계수란 R&D투자의 성과가 전 산업에 확산되는 정도를 측정하는 모수로 전술한 R&D의 양(+)의 외부성을 수치로 표현한 것이다. 지식확산계수 추정 단계를 설명하면 다음과 같다. 추정에 앞서 지식확산계수가 산업에 따라 다르며, 시간이 지남에 따라 증가하고, 모든 산업의 지식확산계수의 연평균 증가율은 일정하다는 몇 가지 가정들을 설정할 필요가 있다. 이 가정 하에서 추정단계를 논의해보면 다음과 같다. 1단계에서는 기준년도(2008년), 기준산업(산업 28)의 지식확산계수 0.0001로 설정한다. 2단계는 기준년도의 특정산업의 기준산업에 대한 지식확산계수의 상대비율을 구한다. 3단계에서는 모든 산업에 대한 지식확산계수의 연평균 성장률을 구한다(<표 2> 참조).

기타 추정에 필요한 파라미터 값들을 간략하게 제시하면 다음과 같다. 수출재화와 국내소비재화간의 고정전환탄력성(constant elasticity of trans- formation)은 3.0이라고 가정하였다. 이는 손양훈・신동천(1997)이 사용한 부문별 불변전환탄력성 값(2~4)의 평균값이다.

10) 추정방법은 김성태 외 2(2010), p. 208의 <표 B-3>에 제시된 Hausman Test 결과를 참고. <표 B-3>에 따르면, prob.<0.1이면 고정효과모형(fixed effect model), prob.>0.1이면 확률효과모형(random effect model)을 사용한 것임을 알 수 있다.

<표 2> 산업별 지식확산계수 값

구분	2008	2010	2015	2020	2025	2030
농림수산품	0.0000619	0.0000662	0.0000786	0.0000932	0.0001106	0.0001312
광산품	0.0000720	0.0000771	0.0000915	0.0001085	0.0001287	0.0001527
음식료품	0.0001410	0.0001510	0.0001791	0.0002125	0.0002520	0.0002989
섬유 및 가죽제품	0.0001070	0.0001145	0.0001359	0.0001612	0.0001912	0.0002268
목재 및 종이제품	0.0001236	0.0001324	0.0001570	0.0001863	0.0002210	0.0002621
인쇄 및 복제	0.0000969	0.0001038	0.0001231	0.0001461	0.0001732	0.0002055
석유 및 석탄제품	0.0002095	0.0002243	0.0002661	0.0003156	0.0003744	0.0004441
화학제품	0.0001302	0.0001394	0.0001654	0.0001962	0.0002328	0.0002761
비금속광물제품	0.0001079	0.0001155	0.0001370	0.0001626	0.0001928	0.0002288
제1차 금속제품	0.0001464	0.0001567	0.0001859	0.0002205	0.0002616	0.0003103
금속제품	0.0001067	0.0001143	0.0001356	0.0001608	0.0001908	0.0002263
일반기계	0.0001062	0.0001137	0.0001348	0.0001599	0.0001897	0.0002250
전기및전자기기	0.0001154	0.0001235	0.0001465	0.0001738	0.0002062	0.0002446
정밀기기	0.0001177	0.0001260	0.0001495	0.0001773	0.0002103	0.0002495
수송장비	0.0001178	0.0001262	0.0001497	0.0001775	0.0002106	0.0002498
기타제조업제품	0.0001129	0.0001209	0.0001434	0.0001702	0.0002018	0.0002394
전력,가스 및 수도	0.0001227	0.0001314	0.0001558	0.0001849	0.0002193	0.0002601
건설	0.0000857	0.0000918	0.0001089	0.0001291	0.0001532	0.0001817
도소매	0.0000550	0.0000589	0.0000699	0.0000829	0.0000983	0.0001166
음식점 및 숙박	0.0000901	0.0000965	0.0001145	0.0001358	0.0001611	0.0001911
운수 및 보관	0.0000950	0.0001017	0.0001207	0.0001431	0.0001698	0.0002014
통신 및 방송	0.0000992	0.0001063	0.0001260	0.0001495	0.0001774	0.0002104
금융 및 보험	0.0000603	0.0000646	0.0000766	0.0000909	0.0001078	0.0001278
부동산·사업서비스	0.0000559	0.0000598	0.0000710	0.0000842	0.0000999	0.0001185
공공행정 및 국방	0.0000372	0.0000399	0.0000473	0.0000561	0.0000666	0.0000790
교육 및 보건	0.0000514	0.0000550	0.0000653	0.0000775	0.0000919	0.0001090
사회 및 기타서비스	0.0000742	0.0000794	0.0000942	0.0001117	0.0001325	0.0001572
기타	0.0001000	0.0001071	0.0001270	0.0001507	0.0001787	0.0002120

주: 김성태 외 2(2010), p. 85의 <표 Ⅳ-8>에서 인용

토지·건물의 복합재화와 자동차 그리고 기타 자본과의 대체탄력성은 Fullerton and Rogers (1993)의 1.5를 사용하였으며, 토지와 건물은 1.25를 적용하였다. 자본·노동 복합재화와 중간재와의 대체탄력성은 0으로 가정하였는데, 이는 Fullerton and Rogers (1993)와 이인실 외 (2002)의 연구에서 설정한 값과 같다. 수입재화와 국내재화의 불완전 대체를 나타내는 아밍톤 대체탄력성은 3으로 가정하였다. 가계부문의 시제 간 대체탄력

성은 Goulder and Schneider(1999), Bernstein et al.(1999)과 같이 0.5로 가정하였다. 복합소비재와 여가의 대체탄력성은 Rasmessen and Rutherford(2001)에서 제시한 0.8을 사용하였고, 소비의 복합재화간의 대체탄력성은 생산부문과 동일하다고 가정하였다. 외생적으로 결정되는 균형이자율은 잠재성장률과 물가상승률을 감안한 0.06으로 가정하여 기술진보의 확산계수는 0.943로 산출하였다. 자본에 대한 연간 감가상각율은 토지 0.01, 건물 0.03, 자동차 0.1, 기타 자본 0.04로 가정하였다.[11]

3. CGE 모형 추정결과를 이용한 우선순위 결정

3.1 2010-2030년까지의 연구개발투자액 예측

본 연구의 목적은 CGE모형을 통해 산출된 연구개발투자의 경제적 성과를 이용하여 산업별 연구개발 투자의 우선순위를 선정하는 것이다. 이와 같이 R&D투자의 경제적 성과를 추정하기 위해서는 현재의 연구개발투자액에 근거하여 미래를 예측하는 것이 불가피하다. 이는 미래의 연구개발투자 성과 예측에 미래시점의 연구개발투자액이 필요하기 때문이다. 연구개발투자의 예측은 산업별 R&D 투자 시계열 자료에 근거하여 최근 12년간(1998~2009년) 28개 산업별 실제 R&D 투자 추세가 지속된다는 전제가 필요하다(<표 3> 참조). 이 전제하에서 2009년까지의 추세 자료를 이용하여 2010년부터 2030년까지의 산업별 연구개발투자를 ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average)모형을 적용하여 추정하였다.[12]

한편, 2010년부터 2030년까지 산업별 연구개발투자액을 비교적 정확하게 예측하기 위해서는 2009년까지의 28개 산업별 R&D 투자의 시계열이 안정적인가를 검정할 필요가 있다. 이를 위해서 1998년부터 2009년까지의 투자액 자료에 대해서 단위근 검정(unit root test)도 수행하였다. 단위근 검정결과, 광산품, 인쇄 및 복제, 금융 및 보험산업을 제외한 대부분 산업에서 단위근이 있는 것으로 검정되었다. 단위근이 있다고 판정된 경우 ARIMA(p, 1, q)형태로 1차 차분한 모형을 설정하여 2030년까지의 산업별 R&D 투자 추

11) 일반적으로 CGE모형에 의한 추정결과는 모수에 의하여 분석결과가 민감하게 변할 수 있다. 따라서 이를 확인하기 위해 민감도분석을 한 결과, 추정결과가 상당히 안정적임을 실증하였다(김성태 외 2, 2010, pp. 130-131 참조).

12) <표 5>에 제시된 예측결과에 따르면, R&D 투자액의 GDP 대비 비중이 비교적 높게 추정되었다는 주장도 있을 수 있음에 유의해야 한다. 이는 다른 변수를 감안하지 않고 1998년부터 2008년까지의 R&D투자액 변수만으로 ARIMA모형을 적용하여 추정하였기 때문이다.

세를 추정하였는데, 그 결과가 <표 4>에 제시되어 있다.

<표 3> 1998-2009년 산업별 R&D 투자액 추이

(단위: 백만원)

산업	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
농림수산품	28,355	26,498	29,446	48,644	15,326	2,983	14,759	11,147	15,520	15,612	28,812	27,458
광산품	94,921	7,812	8,820	8,800	3,640	7,348	4,662	0	0	8,617	8,027	19,382
음식료품	120,143	163,785	188,360	234,448	268,602	274,693	278,495	332,960	386,349	435,076	456,998	499,765
섬유 및 가죽제품	64,776	84,951	117,835	110,328	152,422	119,956	110,424	117,570	99,073	192,543	200,243	220,473
목재 및 종이제품	26,280	16,868	17,328	37,747	24,983	30,839	16,784	23,592	21,394	25,927	30,903	83,047
인쇄 및 복제	28,033	23,725	35,701	18,798	70,740	26,505	21,234	17,509	20,282	26,905	27,048	45,162
석유 및 석탄제품	123,533	143,951	274,779	175,737	191,294	189,727	171,741	212,669	205,009	198,038	151,660	184,804
화학제품	855,004	956,916	1,030,764	1,334,618	1,372,423	1,504,538	1,812,601	2,121,409	2,501,841	2,953,687	3,112,572	3,370,486
비금속광물 제품	113,365	140,752	75,648	81,041	129,324	132,156	157,158	163,840	177,893	184,824	188,584	319,268
제1차 금속제품	167,860	158,285	176,356	208,181	104,792	362,133	448,386	429,474	419,496	546,589	671,165	742,850
금속제품	89,641	76,497	84,252	89,491	94,855	99,521	116,916	132,304	174,023	224,791	304,483	391,682
일반기계	621,401	347,048	383,454	658,988	870,976	962,696	1,020,671	1,065,138	1,359,165	2,120,544	2,051,541	2,157,078
전기 및 전자기기	4,396,480	5,689,490	6,308,799	7,349,981	8,395,444	9,161,301	11,056,538	12,367,623	14,111,474	14,867,509	16,707,132	18,301,517
정밀기기	105,831	86,014	144,057	225,219	221,734	268,758	365,774	244,829	368,237	484,565	885,181	934,384
수송장비	2,394,318	1,784,517	2,647,459	2,720,118	2,862,324	3,099,214	3,890,048	4,111,004	4,713,376	5,676,754	5,223,167	5,453,939
기타 제조업제품	49,170	54,341	112,081	94,021	68,632	63,267	54,838	66,841	67,062	73,075	88,273	94,892
전력, 가스 및 수도	300,524	158,418	252,733	177,939	188,338	209,586	239,451	288,281	280,289	317,483	339,569	367,320
건설	401,744	412,646	515,974	501,647	735,324	833,437	883,018	802,788	495,518	715,367	846,368	1,143,147
도소매	10,876	17,735	46,678	71,965	22,833	24,059	30,991	52,767	52,848	106,991	178,381	164,597
음식점 및 숙박	0	0	0	0	0	0	0	0	0	908	3,109	1,955
운수 및 보관	7,064	41,912	62,713	469	604	490	0	68,399	94,485	54,334	72,284	107,601
통신 및 방송	675,946	873,268	492,518	492,310	351,169	582,508	308,665	230,001	278,343	408,833	518,122	586,566
금융 및 보험	11,541	4,781	613	0	0	0	0	0	887	492	151	744
부동산 및 사업서비스	590,064	593,335	813,374	1,429,325	1,140,205	1,078,164	1,133,468	1,267,645	1,464,209	1,594,109	716,274	1,836,928
공공행정및 국방	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
교육및보건	0	20,575	4,496	15,225	6,529	4,069	2,197	177	1,105	17,345	10,253	13,969
사회 및 기타서비스	59,732	37,678	24,261	25,459	32,588	30,753	46,483	27,432	37,822	50,482	1,677,799	859,485
기타	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
합계	11,336,600	11,921,800	13,848,500	16,110,500	17,325,100	19,068,700	22,185,300	24,155,400	27,345,700	31,301,400	34,498,100	37,928,500

<표 4> 산업별 2010-2030년까지의 R&D 투자액 예측치 추이

(단위: 백만 원)

산업구분	2008	2010	2015	2020	2025	2030
농림수산품	28,812	31,808	46,131	58,388	70,645	82,902
광산품	8,027	15,942	9,549	9,549	9,549	9,549
음식료품	456,998	615,894	956,653	1,210,566	1,461,256	1,711,872
섬유 및 가죽제품	200,243	271,369	397,651	495,445	593,207	690,970
목재 및 종이제품	30,903	61,896	95,773	124,742	153,709	182,676
인쇄 및 복제	27,048	43,859	34,754	34,710	34,710	34,710
석유 및 석탄제품	151,660	236,519	251,072	270,592	290,129	309,667
화학제품	3,112,572	4,175,792	6,943,932	9,655,896	12,285,855	14,852,640
비금속광물제품	188,584	306,512	483,229	633,095	782,668	932,239
제1차 금속제품	671,165	867,574	1,383,102	1,800,379	2,192,020	2,577,193
금속제품	304,483	407,526	689,523	1,004,122	1,331,751	1,664,683
일반기계	2,051,541	2,800,677	4,394,396	5,896,389	7,412,736	8,930,696
전기및전자기기	16,707,132	22,070,373	35,251,934	48,125,322	61,341,497	74,717,986
정밀기기	885,181	1,019,586	1,693,265	2,340,136	2,978,494	3,615,576
수송장비	5,223,167	7,236,640	11,073,107	13,832,272	16,606,501	19,380,607
기타제조업제품	88,273	113,387	163,366	186,036	208,711	231,386
전력, 가스 및 수도	339,569	453,288	666,509	805,405	944,790	1,084,172
건설	846,368	1,196,919	1,769,068	2,194,104	2,619,139	3,044,175
도소매	178,381	199,113	304,882	394,580	484,278	573,976
음식점 및 숙박	3,109	2,643	4,447	6,296	8,145	9,995
운수 및 보관	72,284	103,643	170,819	235,608	300,276	364,942
통신 및 방송	518,122	669,738	822,567	820,447	817,920	815,393
금융 및 보험	151	614	1,032	1,433	1,833	2,234
부동산 및 사업서비스	716,274	1,835,199	2,282,432	2,742,782	3,203,015	3,663,249
공공행정 및 국방	0	0	0	0	0	0
교육 및 보건	10,253	18,393	9,335	11,950	11,221	11,424
사회 및 기타서비스	1,677,799	1,145,095	1,884,062	2,611,895	3,339,719	4,067,542
기타	0	0	0	0	0	0
합계	34,498,099	45,899,999	71,782,590	95,502,139	119,483,774	143,562,454

3.2 R&D 투자의 경제적 성과 지표

CGE모형을 이용하여 연구개발투자의 경제적 성과를 판정하기 위해서는 기본적으로 지표가 필요하다. 이에는 효율성 지표와 형평성 지표가 있다. 먼저 효율성 지표에는 GDP와 같은 소득지표나 국민경제의 후생수준의 변화지표 등이 있다. 본래 GDP는 소비, 투자, 정부지출과 무역수지의 합으로 측정할 수 있으며, 후생수준의 변화지표인 동등변

화(Equivalent Variation)는 R&D 투자 이전의 효용수준과 동일한 효용수준을 유지하기 위해 필요한 보상액을 의미하는데, 이는 일반적으로 소득의 크기로 환산하여 제시되고 있다. 본 연구에서는 효율성 지표 중 GDP를 경제적 성과의 평가지표로 사용한다.

형평성지표에는 소득분배의 형평성에 미치는 효과를 지니계수, 십분위분배율(deciles distribution ratio), 로렌츠곡선, 동등변화의 분포 등이 있다. 본 연구에서는 투자 우선순위를 선정하는 것에 초점을 맞추고 있으므로 형평성 지표보다는 효율성 지표만을 사용한다.[13]

<표 3>과 <표 4>의 자료를 포함하여 전술한 각종 모수값들을 반영하여 CGE모형으로 모의실험을 실행한 결과, 다양한 경제적 파급효과를 도출할 수 있었다. 그 중에서 효율성지표로 사용하기로 한 GDP 추정결과를 제시해본다.

<표 5> R&D투자에 의한 중장기 GDP 증가효과

(단위: 조원, %)

연도	기준균형	비교균형	증가분	증가율
2008	1,113	1,111	-2.09	-0.19
2009	1,157	1,155	-1.95	-0.17
2010	1,203	1,202	-1.77	-0.15
2011	1,252	1,250	-1.55	-0.12
2012	1,302	1,300	-1.27	-0.10
2013	1,354	1,353	-0.93	-0.07
2014	1,408	1,407	-0.54	-0.04
2015	1,464	1,464	-0.08	-0.01
2016	1,523	1,524	0.92	0.06
2017	1,584	1,586	2.48	0.16
2018	1,647	1,651	4.27	0.26
2019	1,713	1,719	6.31	0.37
2020	1,781	1,790	8.65	0.49
2021	1,853	1,864	11.29	0.61
2022	1,927	1,941	14.30	0.74
2023	2,004	2,021	17.70	0.88
2024	2,084	2,105	21.53	1.03
2025	2,167	2,193	25.85	1.19
2026	2,254	2,285	30.71	1.36

13) 효율성 지표와 형평성 지표를 동시에 사용하기 위해서는 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 적용하는 것이 필요하다.

2027	2,344	2,380	36.17	1.54
2028	2,438	2,480	42.29	1.73
2029	2,535	2,585	49.15	1.94
2030	2,637	2,694	56.82	2.15

R&D투자는 2014년까지 GDP를 감소시키다가 2016년 증가세로 반전된 이후, 점차 증가시키는 것으로 추정되었다(<표 5> 참조). 초기에 GDP가 미미하게 감소한 것으로 나타난 이유는 R&D투자가 물적 자본투자를 대체하는 요소대체효과(factor substitution effect) 때문인 것으로 보인다. 즉, 2008~2015년까지는 R&D 투자로 인한 요소대체효과가 생산증가효과를 압도하지만, 2016년 이후에는 생산증가효과가 요소대체효과를 압도했기 때문이라고 해석할 수 있다. 이상의 두 효과가 누적되어 R&D투자로 인한 GDP 증가액은 2008~2020년 기간 동안 총 318조원인 것으로 추정되었다.

또한 2016년부터 R&D투자가 GDP를 증가시킨 후 점차 GDP 증가율이 증가되는 것으로 나타났다. R&D투자로 인해 2008~2030년 기간 동안 기준 균형에 대비해 GDP는 연평균 0.60% 증가하는 것으로 추정되었다. 한편, 2016년 이후 기준 균형 대비 GDP 증가율을 살펴보면, 2016년은 0.06%에 불과했으나 2024년에 1.03%로 처음으로 1%수준을 넘어섰고 2030년에는 GDP 증가율이 2.15%에 이를 정도도 상당히 크게 증가하였다. 이는 전술한 연구개발투자의 두 가지 특성을 잘 반영해주는 결과이다. 즉, 생산기술 진보에 따른 파급효과가 전 산업에 영향을 주고, 거기에 더해 시간이 지나면서 파급효과가 지속적으로 누적되었기 때문이다.

3.3 R&D투자의 우선순위 결정

문제는 연구개발투자를 통해 유발되는 전체 경제의 GDP 증가액과 증가율 등으로는 본 연구의 목적인 산업별 연구개발투자의 우선순위를 정하기 어렵다는 것에 있다. 따라서 산업별 연구개발투자액이 GDP에 얼마나 기여하고 있는지를 살펴보는 것이 필요하다. 예를 들어, 연구개발투자는 2008~2030년 기간 동안 GDP를 총 318조원 증가시킨다고 하였다. 그러나 이 수치는 우리나라 경제 전체에 대한 유발금액이기 때문에 우선순위 선정에 사용하기에는 적절하지 않다. 따라서 단위 중립적인 관련 지표를 사용할 필요가 있다. 이를 위해 먼저 2008년부터 2030년까지 매년 연구개발 실적치 및 추정치를 전부 한개 산업에만 투입하는 것으로 전제하여 동일한 모의실험을 수행한다. 모의실험 결과를

이용하면 GDP의 R&D투자탄력성을 산업별로 계산할 수 있다.

이에 본 연구에서는 GDP의 R&D투자탄력성으로 우선순위 선정지표로 활용한다. 추가로 보조지표로 추정 마지막 연도인 2030년 기준균형 대비 GDP 증가율을 이용하여 우선순위를 설정해본다. 추정 마지막 연도인 2030년을 기준으로 한 것은 누적효과를 반영하기 위함에 유의해야 한다. 참고로 GDP의 R&D투자탄력성과 2030년 기준 균형대비 GDP 증가율에 근거한 우선순위가 다르게 나타날 수 있음에 유의해야 한다.

이제 GDP의 R&D투자탄력성 공식을 제시해본다. GDP의 R&D투자에 대한 탄력성은 아래 식과 같이 계산될 수 있다.

$$\epsilon_t = \frac{\Delta GDP / GDP_t}{\Delta R\&D / R\&D_t}$$

단, $\Delta GDP = GDP_t - GDP_{t-1}$, $\Delta R\&D = R\&D_t - R\&D_{t-1}$

<표 6> GDP의 R&D 투자에 대한 탄력성

(단위 : 십억 원, %)

연도	GDP	ΔGDP	R&D 투자	ΔR&D 투자	탄력성
2008	1,110,545.2	-	34,498.1	-	-
2009	1,155,188.1	44,642.9	37,928.5	3,430.4	0.404
2010	1,201,653.7	46,465.6	45,900.0	7,971.5	0.191
2011	1,250,017.3	48,363.6	51,400.0	5,500.0	0.336
2012	1,300,357.5	50,340.2	57,900.0	6,500.0	0.318
2013	1,352,756.4	52,398.9	62,487.9	4,587.9	0.509
2014	1,407,299.4	54,543.0	67,042.4	4,554.5	0.553
2015	1,464,075.8	56,776.4	71,782.6	4,740.2	0.571
2016	1,523,633.1	59,557.4	76,480.2	4,697.6	0.622
2017	1,586,103.0	62,469.8	81,218.2	4,738.0	0.662
2018	1,651,237.9	65,135.0	85,966.1	4,747.9	0.702
2019	1,719,162.9	67,925.0	90,727.7	4,761.7	0.743
2020	1,790,008.7	70,845.7	95,502.1	4,774.4	0.783
2021	1,863,913.0	73,904.3	100,284.4	4,782.2	0.825
2022	1,941,021.5	77,108.5	105,076.1	4,791.7	0.866
2023	2,021,487.7	80,466.3	109,873.2	4,797.0	0.908
2024	2,105,474.1	83,986.4	114,676.7	4,803.5	0.950
2025	2,193,152.5	87,678.4	119,483.8	4,807.1	0.993
2026	2,284,704.4	91,551.9	124,295.1	4,811.4	1.037

2027	2,380,322.4	95,618.0	129,108.9	4,813.7	1.081
2028	2,480,210.0	99,887.7	133,925.2	4,816.4	1.125
2029	2,584,583.5	104,373.5	138,743.1	4,817.8	1.170
2030	2,693,672.1	109,088.6	143,562.5	4,819.4	1.215

GDP의 R&D투자탄력성은 R&D투자가 1% 증가하는 경우 GDP의 %증가율을 의미한다. 이와 같은 GDP의 R&D투자탄력성은 R&D투자가 효과가 단기에 걸쳐 발생하기보다는 일정한 기간이 지나고 나서 나타나는 것[14]과 그 효과가 수년 또는 수십 년에 걸쳐 지속되는 것[15]을 동시에 판정할 수 있다. 즉, R&D투자의 누적・지연효과는 앞서 정의한 GDP의 R&D투자 탄력성 값이 시간이 지남에 따라 점차 커지는 것으로 확인할 수 있다. 이는 <표 6>에서 확인된다.

<표 6>에 의하면, 2026년부터 비로소 연구개발투자액의 1% 증가에 대하여 GDP증가액의 증가율이 1%가 넘어선다. 2026년 GDP의 R&D투자에 대한 탄력성 값이 1.037이라는 것은 R&D투자를 1% 증가시키는 경우 GDP는 1.037% 증가하는 것을 의미하므로 R&D투자가 규모에 대한 수확체증(Increasing Returns To Scale)을 보여주는 것이라고 해석할 수 있다. 결국 이는 R&D투자가 누적효과를 점차 확산시키는 특성과 연계되는 것이라고 말할 수 있다.

<표 7> 두 지표에 의한 산업별 우선순위 선정결과

순위	산업	탄력성	GDP 증가율[1)]	순위	산업	탄력성	GDP 증가율[1)]
1	제1차 금속제품	1.242800	2.9923(1)	7	전력, 가스 및 수도	1.214230	2.1207(7)
2	화학제품	1.227522	2.5249(3)	8	일반기계	1.211339	2.0012(8)
3	음식료품	1.225423	2.5557(2)	9	통신 및 방송	1.200049	1.6510(9)
4	전기 및 전자기기	1.222045	2.3461(5)	10	건설	1.197851	1.5557(10)
5	수송장비	1.219577	2.2766(6)	11	사회 및 기타서비스	1.193533	1.4366(11)
6	정밀기기	1.217195	2.4029(4)	12	부동산 및 사업서비스	1.190642	1.3134(12)

주: 1) 2030년 기준균형 대비 증가율

14) 이를 지연효과(lagged effect)라고 부른다.
15) 이를 누적효과(cumulative effect)라고 부른다.

<표 7>에 제시된 산업을 보면, 모두 12개 산업이다. 이는 전체 연구개발투자에서 차지하는 비중이 1%에도 미치지 못하는 산업들(28개 산업 중 공공행정, 기타, 음식점 및 숙박업, 금융 및 보험, 교육 및 보건, 광산품, 농림수산품, 목재 및 종이제품, 인쇄 및 복제, 운수 및 보관, 도소매, 기타 제조업제품, 섬유 및 가죽제품, 비금속광물제품, 금속제품, 석유 및 석탄제품 등의 16개 산업)의 추정결과에는 별다른 의미를 부여하기 어렵다고 판단했기 때문이다(<표 3> 참조). 특히, 농림수산업, 광산업, 교육 및 보건, 금융 및 보험, 도소매, 공공행정 및 국방 등 7개 산업은 2009년 기준 전체 연구개발투자금액 대비 비중은 0.1%에도 미치지 못하였다.

이제 12개 산업만으로 우선순위를 설정하고 그 결과를 논의해본다. 먼저 GDP의 R&D 투자 탄력성에 근거한 우선순위는 제1차 금속제품, 화학제품, 음식료품, 전기 및 전자기기, 수송장비, 금속제품, 정밀기기, 전력・가스 및 수도, 일반기계, 통신 및 방송, 건설, 사회 및 기타 서비스, 부동산 및 사업 서비스 순이었다. 이 결과들을 우리나라의 현재 산업구조와 연계시켜 설명해본다. 1차 금속산업은 철강 및 비철금속 등과 관련된 산업으로 우리나라의 철강산업의 경쟁력과 국내산업에서 차지하는 비중에 비추어 상당히 의미있는 결과이다. 화학제품산업 역시 석유화학, 화학섬유, 비료 및 농약, 의약품 및 화장품, 플라스틱 제품, 타이어 등의 고무 관련 산업으로 우리나라에서 국제경쟁력을 가진 산업들이 상당히 많이 포함되어 있다. 특히, 석유화학, 타이어 등과 같은 비교적 국제경쟁력이 있는 산업이 우선순위가 높다는 것은 시사하는 바가 크다. 또한 전기 및 전자기기 산업은 4위의 우선순위를 보여주었다. 이는 통신 및 방송기기, 영상 및 음향기기, 컴퓨터 및 사무기기, 가정용 사무기기, 전자기기부분품(반도체 포함), 전기기계 및 장치 등이 속한 산업이다. 이에 속하는 산업 역시 국제경쟁력이 낮지 않은데, 주로 컴퓨터 및 사무기기, 반도체, 전기기계 등이 그에 해당될 것이다. 이들 산업에 대한 R&D투자의 높은 우선순위는 추정결과가 상당히 현실적이고, 또한 장기적으로 수출경쟁력을 제고할 수 있는 산업임을 시사해준다. 수송장비는 자동차 및 선박 등을 의미하는 산업으로 지금까지 우리나라 경제성장에 기여하는 정도가 상당하다는 점에 비추어 의미있는 결과이다. 특히, 친환경자동차와 첨단선박기술을 보유하고 있는 우리나라 해당산업의 현황에 비추어 R&D투자의 효과가 국내경제 및 세계경제에 미치는 파급효과가 상당히 클 수 있음을 시사해준다. 정밀기기 역시 의료 및 측정기기, 광학기기, 시계 등이 포함된 산업인데, 투자 우선순위가 6위여서 최근의 우리나라 관련 산업의 성장정도에 비교적 잘 부합되는 결과라고 판단된다. 한편, 9위의 우선순위를 차지하는 통신 및 방송산업은 우편, 부가통신 및 정보서비스 등이 포함된 산업으로 우리나라의 정보산업 현실에 비추어 크게 높지는 않

지만 적절한 수준의 영향력을 보여주고 있음을 알 수 있다. 이는 아직까지 우리나라에서 해당 산업의 상대적인 경쟁력이 그다지 높지 않다는 점을 잘 나타내주는 결과라고 판단된다. 또한 내연기관, 산업용 운반기계, 특수목적용 기계 및 장비 등이 속한 일반기계산업의 우선순위가 높지 않게 나타난 것은 중간재로 사용되는 부품들이 주로 일본에서 수입하고 있다는 점을 비교적 잘 반영하는 결과이다. 다만, 출판 및 문화, 오락 및 수리서비스산업이 속하는 사회 및 기타 서비스와 광고, 건축, 컴퓨터 관련 서비스, 임대 등을 포함하는 부동산 및 사업서비스 등은 예상대로 우선순위가 상당히 낮았는데, 이는 건설업도 유사하다. 이상과 같이 CGE모형을 이용하여 추정한 GDP의 R&D투자 탄력성에 근거한 R&D 투자의 우선순위 설정 결과는 해당 산업들이 우리나라 경제에서 차지하는 현실들을 어느 정도 반영하고 있는 것으로 사료된다.

추가로 보조지표인 2030년 기준 균형 대비 GDP 증가율에 근거한 우선순위를 보더라도 약간의 차이만 있었지 거의 순위가 바뀌지 않고 있다.

Ⅳ. 요약 및 결론

지금까지 다수의 구조방정식으로 구성된 경제모형으로 현실경제를 재현할 수 있는 CGE모형을 이용하여 28개 산업별 R&D투자액의 GDP 파급효과를 추정한 뒤, 그 결과로써 GDP의 R&D투자탄력성이라는 지표를 계산하여 산업별 R&D 투자 우선순위를 제시하였다.

GDP의 R&D투자탄력성의 누적수치를 우선순위의 주요 지표로써 삼은 이유는 R&D 투자효과가 장기에 걸쳐 나타나고, 특정산업의 R&D투자의 효과가 다른 산업에게까지 영향을 미치는 기술적 외부성 등의 특성을 반영하기 위함이다. 또한 보조지표로는 추정 마지막 연도인 2030년 기준균형 대비 GDP 증가율을 사용하였다.

상기 지표에 의한 우선순위는 28개 대분류 산업 중 전체 연구개발투자에서 차지하는 비중이 1% 미만인 16개 산업을 제외한 12개 산업에 대해서만 설정하였다. 선정결과를 요약하면, 첫째 GDP의 R&D투자 탄력성에 근거한 우선순위는 제1차 금속제품, 화학제품, 음식료품, 전기 및 전자기기, 수송장비, 금속제품, 정밀기기, 전력·가스 및 수도, 일반기계, 통신 및 방송, 건설, 사회 및 기타 서비스, 부동산 및 사업 서비스 등의 순위였다. 이 같은 GDP의 R&D투자탄력성에 근거한 순위설정이 해당 산업들이 우리나라 경제에

서 차지하는 현실들을 어느 정도 반영하고 있다는 점에서 국가과학기술위원회의 R&D 예산투자방향 및 기준 설정과 주요 사업별 예산배분 방향에 좋은 판정기준으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 같은 이유로 2030년 기준 균형 대비 GDP 증가율에 근거한 보조지표 기준 우선순위 역시 판정기준으로 충분히 기능할 수 있을 것으로 예상된다.

한편, 본 연구에 의한 R&D 투자의 파급효과에 근거하여 우선순위를 설정하는 것이 일부 파라미터 값이 국내의 연구 부재로 외국자료를 활용할 수밖에 없었다는 한계가 있으므로 결과 해석에 주의해야 한다. 또한 본 연구에서 사용한 CGE모형의 모의실험 적용 기준연도가 자료 구득문제로 불가피하게 2008년으로 되어 있는데, 이는 현재 시점보다 과거이므로 우선순위 설정이 약 3년간의 경제상황변화를 반영하지 못할 수도 있음에 유의해야 한다.

<부표 1> 28개 산업별 R&D투자에 대한 단위근 검정 결과

산업	T-value	prob.	단위근 유무	산업	T-value	prob.	단위근 유무
농림수산품	-1.84	0.348	있음	수송장비	1.40	0.998	있음
광산품	-12.14	0.000	없음	기타제조업제품	-0.77	0.796	있음
음식료품	2.69	1.000	있음	전력,가스및수도	3.14	1.000	있음
섬유 및 가죽제품	0.46	0.978	있음	건설	0.06	0.950	있음
목재 및 종이제품	-0.92	0.751	있음	도소매	0.40	0.975	있음
인쇄 및 복제	-2.83	0.079	없음	음식점및숙박	-0.31	0.901	있음
석유 및 석탄제품	-2.26	0.197	있음	운수및보관	-1.01	0.718	있음
화학제품	3.18	1.000	있음	통신및방송	-1.37	0.566	있음
비금속광물 제품	0.36	0.973	있음	금융및보험	-14.21	0.000	없음
제1차 금속제품	0.97	0.993	있음	부동산및사업서비스	-1.41	0.548	있음
금속제품	2.56	1.000	있음	공공행정및국방	해당 없음		
일반기계	2.36	1.000	있음	교육및보건	-2.51	0.135	있음
전기및전자 기기	4.21	1.000	있음	사회및기타서비스	-1.14	0.666	있음
정밀기기	0.90	0.992	있음	기타	해당 없음		

주 : 단위근 검정 모형은 다음과 같음. $\Delta Y_t = a + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \delta_i \Delta Y_{t-i} + \epsilon_t$

참고문헌

길부종 외 (2008), 국가연구개발사업 투자우선순위 도출모델 조사 및 개선방안 연구, 교육과학기술부. 한국과학기술기획평가원 2008-06.

김명규・김성태 (2010), "동태 CGE 모형을 이용한 법인세인하의 파급효과 분석", 「경제학연구」 58집 4호, 한국경제학회, pp. 75-119.

김성태・이인실・안종범・이상돈 (2003), "KOCGE 모형을 이용한 법인세 개편의 효과 분석", 「경제학연구」, 51집, 1호, 한국경제학회, pp. 5-34.

김성태・임병인・김명규 (2010), 「R&D투자의 경제적 파급효과 추정모형 연구」, 한국과학기술기획평가원 연구보고서.

김성태・임병인・조경엽 (2007), 「국가 R&D 사업의 경제적 성과 분석: Total Road Map 9대 분야를 중심으로」, 한국과학기술부 용역보고서.

김성태・조경엽 (2007), "한국 부품소재산업 정책모의실험 분석 - CGE모형을 중심으로", 「응용경제」, 제9권, 제1호, pp. 5-36.

김순선・김동환 (2007), "공공 R&D 기관의 기술 상용화 과정에 관한 시스템 사고 분석", 「한국시스템다이내믹스연구」, 제8권, 2호, pp. 191-207.

김영덕・조경엽 (2005), "대기오염물질 배출규제의 경제적 파급효과: 경유자동차의 NOx 배출규제를 중심으로", 「규제연구」, 제14권, 제1호, 서울, 한국규제학회, 한국경제연구원, pp. 135-178.

문영석・조경엽 (2005), "독점적 경쟁시장 하에서 온실가스 배출규제가 장기 에너지 전환에 미치는 효과", 「경제학연구」, 제53집, 제1호, 서울, 한국경제학회, pp. 121-153.

박석종・김경화・정상기 (2010), "과학기술적 성과 관점에서 정부 R&D사업 효율성 분석에 관한 연구", 기술혁신학회 춘계발표 논문

박헌준・오세홍・김상준 (2004), "국가연구개발 투자시스템의 레버리지 전략: 시스템 다이내믹스 접근", 「한국시스템다이내믹스연구」, 제5권 2호, pp. 33-66.

손양훈・신동천 (1997), "환율변동이 에너지 산업에 미치는 영향", 「경제학연구」, 제45집, 제1호, 한국경제학회, pp. 123-139.

안상인・권성훈・송성환・배영임 (2009), "DEA를 이용한 R&D 효율성의 국제비교분석", 2009년 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회 발표논문.

안승구 외 (2010), 「국가 R&D 투자 우선순위 설정방법론 연구」, 연구보고서 2011-017, 한국과학기술기획평가원.

이동엽・안태호・황용수 (2002), "AHP를 이용한 과학기술 부문별 국가연구개발 투자우선순위 선정", 「기술혁신연구」, 제10권, 제1호.

이인실・김성태・안종범・이상돈 (2002), 「법인세제 개편방향에 관한 연구」, 연구보고서 2-12, 서

울, 한국경제연구원.
이재억 (1998), 연구개발 자원배분 분석모형, 과학기술정책관리연구소 연구보고 98-01.
일본 과학기술정책연구소・미래공학연구소 (2002), 2030년의 과학기술, 제7회 일본 문부 과학성 기술예측조사 보고서, 한국과학기술정보연구원 편역.
전영준 (2003), “CGE모형을 이용한 법인세의 성장 및 분배효과 분석”,「경제분석」, 한국은행.
정경수 외 (2004), “소프트웨어 개발 프로젝트의 위험요인 도출에 대한 델파이 연구”,「정보시스템 연구」, 13권, 1호.
「정보통신용어사전」, 한국정보통신기술협회, 2010.
조경엽・나인강 (2003), “온실가스 저감정책과 기술진보”,「경제학연구」, 51집, 제3호, 한국경제학회, pp. 263-294.
「표준국어대사전」, 국립국어원.
황석원 외 (2008), “국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안”, 과학기술 정책연구원 정책연구 2009-24.
황용수 외 (2001), “정부연구개발프로그램 평가체계의 비교 분석을 통한 사업유형별 평가방안 모색을 위한 연구보고서”, 과학기술정책연구원.
Bernstein, P. M., W. O. Montgomery and T. F. Rutherford (1999), “Global Impacts of the Kyoto Agreement: Results from MS-MRT Model”, *Resource and Energy Economics*, 21, pp. 375-413.
Bor et al. (2010), “A dynamic general equilibrium model for public R&D investment in Taiwan”, *Economic Modelling* 27, pp. 171-183.
Fullerton, Don and Diane L. Rogers (1993), *Who Bears the Lifetime Tax Burden?*, Washington D. C., The Brooking Institution.
Ghosh (2007), “R&D Policies and Endogenous Growth: A Dynamic General Equilibrium Analysis of the Case for Canada”, *Review of Development Economics*, 11 (1), pp. 187-203.
Goulder, L. H. and Schneider, S. H. (1999), “Induced Technological Change and the Attractiveness of CO_2 Abatement Policies”, *Resource and Energy Economics*, 21, pp. 211-253.
Harberger, A. C. (1962), “The Incidence of the Corporation Income Tax”, *Journal of Political Economy* ,70, pp. 215-40.
Harberger, A. C. (1966), “Efficiency Effects of Taxes on Income from Capital”, in Krzyzaniak, Marian, ed. *Effects of Corporation Income Tax*, Wayne State University Press, pp. 107～117.
Johansen, L. (1960), *A Multi-Sectoral Study of Economic Growth*, Amsterdam: North-Holland.

OECD (1991), *Choosing Priorites in Science and Technology*, Paris.

Rasmussen, T. N. and T. F. Rutherford (2001), *Modeling Overlapping Generations in a Complementarity Format*, Department of Economics, University of Aarhus and University of Colorado.

Scarf, H. (1967), "On the Computation of Equilibrium Prices", in Fellner, W. J. ed. *Ten Economic Studies in the Tradition from Irving Fisher*, New York, Wiley Press.

Scarf, H. (1973), *The Computation of Economic Equilibria*, New Haven and London, Yale University Press.

Shoven, J. B. and Whalley J. (1972), "A General Equilibrium Calculation of the Effects of Differential Taxation of Income from Capital In the U. S.", *Journal of Public Economics*, 1, pp. 281-321.

Verbic et al. (2009), "R&D and Economic Growth in Slovenia: A Dynamic Equilibrium Approach with Endogenous Growth", *Institute for Economic Research (IER) Working Paper*, No. 46.

□ 투고일: 2011. 08. 30 / 수정일: 2011. 11. 16 / 게재확정일: 2011. 12. 7