

R&D 투자정책의 국가생산성증대 효과분석: System Dynamics를 활용한 시뮬레이션 분석*

서인석**
이동규***

R&D 투자정책 효과의 근원적인 탐구를 위해 R&D 투자정책의 관계성에 대한 순환적 인과구조를 설정하고 분석한 후, 이를 토대로 순환적 인과구조에 포함된 각 R&D 투자와 국가생산성 내에 존재하는 각 요소 간에 관계를 설명하고자 하였다. 분석결과 첫째, 정책결정자의 의지가 낮아 R&D투자정책이 단기간 활성화되지 못할 경우 단·중기적 효과를 기대하기 어려우며 둘째, 정책결정자의 의지가 보통이상으로 R&D투자정책이 상당부분 활성화될 경우 중장기적으로 높은 효과가 발생할 수 있음을 보여주고 있다. 셋째, 강한수준의 R&D투자정책은 높은 기술축적과 기술혁신을 단시간에 급격히 상승시킬 수 있는 효과를 발생시키고, 넷째, 기술혁신 및 총요소 생산성의 경우 R&D투자정책의 효과가 단기간에 나타날 수 있는 것으로 분석되어 미래의 장단기 투자정책으로 매우 효과성이 높을 수 분야인 것으로 나타났다.

주제어: R&D 투자정책, 국가생산성, System Dynamics

* 'R&D 투자정책의 국가생산성증대 효과분석: System Dynamics를 활용한 시뮬레이션 분석'으로 한국행정학회 2010년 춘계학술대회에서 발표한 내용을 발전시킨 내용임을 밝힙니다. 논문의 완성도를 위해 심도 있는 제언과 세심한 부분까지 조언을 해주신 익명의 심사자분들께 깊은 감사를 드립니다.

** 제1저자, 성균관대학교에서 행정학 석사학위를 받고, 동 대학원 박사과정에 재학 중이다. 주요 관심분야는 사회 및 복지 분야의 정책분석, 정책평가, 방법론 등이다(inseok800414@naver.com).

*** 교신저자, 성균관대학교에서 행정학 석사학위(미래예측의 조직학습 전개과정에 관한 분석: 과학기술예측조사 추진사례를 중심으로, 2008)를 취득하고, 현재 동 대학원 박사과정을 수료하였다. 주요 관심분야로는 정책변동(policy change), 위기관리(crisis management), 미래예측(foresight) 등이다(schema209@naver.com).

I. 문제의 제기

R&D(Research and Development)기반의 강화는 장기적으로 기업의 기술 자립도를 증진시키고 국제경쟁력 및 성장잠재력을 제고하여 장기적인 국가의 기술향상 및 생산성 증진하는 필수조건이다(박선영·송주미, 2009: 142; 최종서, 2009: 70). 그러나, 이러한 R&D의 투자는 미래에 다기간에 걸쳐 발현되고 효과가 불안정하기 때문에 이러한 정책을 지속적으로 유지하는 데는 어려움이 따른다. 특히, R&D에 대한 투자는 기술개발 측면에서 많은 예산을 분배함에 따라 사회개발비와 같은 예산을 상대적으로 감축해야하는 상황이 발생하기도 한다. 즉, 국가라는 개체의 성장과 발전에는 장기적으로 도움이 될 수 있으나, 국가내의 사회 저소득층은 단·중기적으로 큰 혜택을 부여받지 못한다는 측면으로 인해 정책결정이 쉬이 이루어지기 어려운 것이다. 이는 국가가 직면한 보다 본질적이고 총체적인 탐구를 요하는 정책문제임을(Lasswell, 1951; 서인석 외, 2009: 332) 의미하며, 근본적인 연구가 수행될 필요가 있다.

이러한 정책효과의 불안정성과 불확정성으로 인해 다수의 연구가 진행되어왔다. 이 연구들 중 대부분은 횡단면적 자료를 이용한 회귀분석을 통해 상관관계 및 효과를 논의한 것이었으며(신태영·박명무, 1998; 김의제, 1999; 오세홍 외, 2002; 이대락 외, 2002; 이연희·이혜진, 2009; 박선영·송주미, 2009)²⁾, 소수의 연구는 단선적이나 장기적인 효과분석(조운애, 2004) 및 시계열 분석을(최종서, 2009) 통해 이를 보완코자 하였다. 그렇지만, R&D 투자는 장기적인 효과가 순환적 인과성에 의해 지속되기 때문에 단선적이고 단편적 실증분석으로는(횡단적 분석 및 시계열 분석 모두) 내재된 관련변수와 성과가 지속적인 투자로 이어지게 되는 순환관계를 논의하는 데 한계가 있다. 즉, R&D 투자와 국가생산성간에는 전체적인 구조 및 시스템이 존재하며 이를 순환적인 인과구조(feedback loop)³⁾로 이해할 필요가 있는 것

2) R&D 지출의 투자효과를 분석함에 있어서는 R&D 지출의 성과에는 고도의 불확실성이 수반되며, 그 효과는 미래의 다기간에 걸쳐 발현된다는 의미를 지닌다는 점이다. 그런데 이러한 특성에도 불구하고 기존 선행연구에서는 대부분 횡단면적 관련성을(최종서, 2009: 70) 회귀분석하여 장기간에 걸친 R&D의 투자효과에 대해서 정밀한 진단을 내리기 어려웠다.

3) 순환되는 인과구조(feedback loop)를 분석하기 위한 방법론이 System Dynamics로 순환적 인과구조에 포함된 변수들을 프로그래밍으로 구현하고, 이후 시뮬레이션 분석을 통해 시간에 따른 각

이다. 아울러, 최근 선진국에서 제기되는 전통적 R&D 기술개발 이외에 서비스 R&D 기술개발⁴⁾과 같은 인문사회과학의 연구가 필요하다는 주장은 비기술적 사업관계 파트너의 관계구축에 대한 투자를 통해 활용성과 응용성을 증대하여야 한다는 것이며⁵⁾, 이는 장기적으로 국가 효과성에 기여한다는 것이다(이연희·이혜진, 2009). 따라서, 서비스 R&D 측면을 고려하여 분석을 설계하여 이에 대한 효과 역시 검증해 볼 필요가 있다.

이러한 맥락에서 R&D 투자정책의 효과성에 대한 장기적인 순화효과 및 그 연구를 통한 정책설계의 체계적 접근을 위해 System Dynamics를 통한 연구는 유용하다고 판단된다. 특히, 관련된 변수들의 연쇄적 인과관계와 이들을 통해 나타나는 결과들의 연쇄반응을 통해 전체적인 시스템을 고려할 수 있기 때문이다. 과거 정책실패의 궁극적인 원인이 정책적 시스템의 숙고가 배제되었다는 점을 고려할 때(김창욱·김동환, 2006: 2), 향후 R&D 투자정책 뿐만 아니라 장기적인 안목을 가진 투자정책을 추진하는 데 있어 방향성을 제시할 수 있을 것이다. 즉, R&D 투자정책에서 설명변수와 국가생산성의 증대를 선형관계(linear relation)로 가정하였기에 장기적인 효과를 보다 적실하게 분석하는데 어려움이 있었으며, R&D 투자정책은 국가생산성을 증대시키고, 이후 국가생산성 증대는 R&D에 대한 재투자 정책으로 이어져 지속적인 순환(loop)으로 나타날 수 있다는 것이다.

좀 더 구체적으로 본 연구에서 수행하는 연구내용을 적시하면 다음과 같다. 첫째, R&D 투자정책 효과의 근원적인 탐구를 위해 R&D 투자정책의 관계성에 대한 순환적 인과구조를 설정한다. 이러한 시도는 부동산 버블현상의 기존연구가 선형(linear)을 가정한데서 측정할 수 없었던 보다 큰 잠재효과를 분석할 수 있으며, R&D 투자정책에 대한 보다 깊이 있는 이해를 가능하게 해준다.

둘째, R&D 투자정책의 장기적인 효과분석을 위해 System Dynamics의 시뮬레이

변수들의 변동량을 측정함으로써 정책효과를 시나리오로 구성할 수 있다.

- 4) 서비스 R&D 개발은 경제주체인 소비자와 기업, 조직의 행동에 관한 연구와 같은 비기술적 연구 개발을 통해 새로운 서비스를 준비하고 비즈니스 파트너와의 관계구축이 원활히 하는 것으로써 융복합연구개발 등은 단순히 기술개발 뿐만 아니라 서비스 산업의 특성상 다양한 경제주체를 아울러야 성공할 수 있음에 초점을 두고 있다(이연희·이혜진, 2009: 3). 이는 곧 기술을 적용하거나 사용할 때의 방법을 고안하고 활용할 수 있는 대안을 마련하는 것을 포함하여 정책결정자나 사회과학자들에게 이해시킬 수 있는 틀을 고안하는 것까지 포함할 수 있는 것이다.
- 5) 자연과학과 인문사회과학의 융합프로젝트는 이러한 부분을 잘 부각하고 있다.

션을 설정한다. System Dynamics의 시뮬레이션 설정은 R&D 투자정책의 순환적인 인과구조를 토대로 기초관계 균등화 모델링(Normalized Unit Modelling By Elementary Relationship)을(김동환: 8) 적용한다. 이는 객관적이고 타당한 연구결과를 얻기 위해 연구자의 사고를 가능한 한 배제하면서 인과지도를 System Dynamics 모델로 변환시키는 방법이다.

마지막으로, System Dynamics 분석을 통해 얻어진 시뮬레이션 결과를 토대로 순환적인 인과구조에 포함된 각 R&D 투자와 국가생산성 내에 존재하는 각 요소 간에 관계를 설명한다. 선형관계에 의한 분석결과에서는 각 변수들은 종속변수로 선정된 하나의 변수에 대해서만 그 영향력을 살펴볼 수 있지만, System Dynamics 연구에서는 시간에 흐름에서의 각 변수들의 변동수준을 나타내기 때문에 측정된 변수 상호간의 변화를 토대로 변수간의 상호관련성을 추렵해 볼 수 있다(서인석 외, 2009: 333).

본 연구의 논의순서는 다음과 같다. 문제의 제기에 이어지는 제2장에서는 R&D와 국가생산성에 관한 이론적 검토를 통해 R&D 투자정책과 국가생산성 증대에 대한 순환적인 인과구조를 설정한다. 제3장에서는 설정된 인과구조의 변수를 각각 설명한 후 System Dynamics 프로그램의 변수로 설정하고 분석 수준을 논의한다. 제4장에서는 시뮬레이션 분석결과에 따른 변수의 변동량을 설명하고 이 결과의 해석을 통해 시사점을 도출한다. 마지막으로 제5장에서는 연구결과를 요약 및 정리하고, 이를 통해 정책적 함의 및 시사점을 도출한다.

II. 이론적 검토

1. R&D와 국가생산성

우리나라 IT산업은 1997년 IMF 외환위기 이후부터 우리나라 경제성장엔진 역할을 수행하고 있다. IT산업의 성장과정을 통계적 수치로 보면, 2000년도에 연평균 10.5%, 2006년도에는 13.3%가 성장했다. IT산업의 국민경제기여도 부분에서도 GDP 비중이 1999년 12%에서 2006년도에 16%로 지속적으로 증대됐으며, 2006년

도 IT산업의 우리나라 경제성장 기여도는 약 50%를 차지하는 정도에 접근했다(조상섭, 2009: 132-133). 이는 IT 산업성장과 경제성장이 관련이 상관성이 높음을 나타내며, R&D 투자정책이 중요한 한국의 경제성장에 중요한 밑거름으로 작용할 수 있음을 의미한다. 즉, R&D에 대한 투자가 계속 감소한다면 우리 경제의 하부구조가 취약해지면서 지난 30년 동안 성장시켜온 국가경쟁력 및 국가생산성이 무너질 수도 있다(이대락·김명환, 2002: 6)는 주장을 간과할 수 없는 이유이기도 하다.

<표 1> 주요국가의 R&D 지출비교

(단위: 10억달러, PPP⁶⁾)

국가 (% GDP)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	미국 2005	연증가 (%)
미국	268 (2.7)	278 (2.8)	276 (2.7)	292 (2.7)	313 (2.7)	332 (2.7)	100	4
영국	26 (0.9)	29 (1.8)	31 (1.8)	32 (1.8)	32 (1.7)	33 (1.7)	9.9	3
프랑스	34 (2.2)	37 (2.2)	38 (2.2)	38 (2.2)	39 (2.1)	40 (2.1)	12.1	4
캐나다	17 (1.9)	19 (2.1)	19 (2.0)	20 (2.0)	21 (2.0)	22 (2.0)	6.5	5
핀란드	5 (3.3)	5 (3.3)	5 (3.4)	5 (3.4)	5 (3.5)	6 (3.5)	1.7	5
스페인	8 (0.9)	8 (0.9)	10 (1.0)	11 (1.1)	12 (1.1)	13 (1.1)	3.9	11
한국	18 (2.4)	21 (2.6)	22 (2.5)	24 (2.6)	28 (2.9)	32 (3.0)	9.5	11
중국	45 (0.9)	52 (1.0)	65 (1.1)	77 (1.1)	94 (1.2)	115 (1.3)	34.6	19

자료: OECD(2006), MSTI

한편, 최근 선진국을 중심으로 전통적 R&D 기술개발 이외에 인문사회과학의 연구가 필요하다는 주장이 제기되고 있다(이연희·이혜진, 2009: 3). 이는 기술의 적용을 위한 비기술적 사업관계 파트너의 관계구축에 대한 투자가 필요함을 의미하

6) PPP는 구매력평가(Purchasing-Power Parities)를 일컫는 말로 환율은 양국통화의 구매력에 의하여 결정된다는 이론으로 일물일가의 법칙이 성립함을 가정하고 있으며, 스웨덴의 경제학자인 구스타프 카셀(Karl Gustav Cassel, 1866.10.20-1945.1.14)에 의해 제시되었다(위키백과: <http://ko.wikipedia.org>).

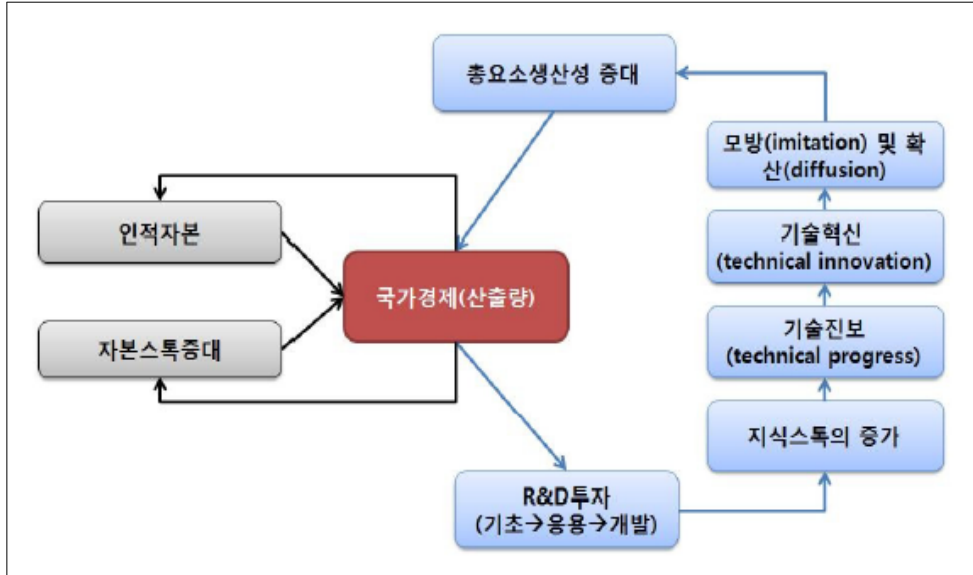
며, 곧 기술적·비기술적 요인을 융합한 복합적인 R&D 프로젝트를 진행해야 함을 나타낸다. 이러한 비기술적 요소에 대한 투자는 투자를 결정하는 공무원과 정부 관련인사들이 사회과학을 주로 전공으로 해왔다는 측면에서 기술에 대해 이해할 수 있는 토대가 마련됨과 동시에 장기적인 투자를 결정하는데 촉진 및 촉매 역할을 할 수 있다.

요컨대, R&D 투자정책은 전통적 R&D 기술개발에 대한 투자와 서비스 R&D 비 기술개발에 대한 투자를 병행한 것으로 이루어져야 한다. 전통적 R&D 기술개발은 국가의 기술적 지식을 배양하여 국가간 경쟁에서 선도할 수 있는 역량을 갖추 수 있으며, 서비스 R&D 비기술개발은 사회내에 존재하는 다양한 계층 및 이를 활용할 수 있는 인적자원을 개발하여 기술을 적용할 수 있는 분야 및 영역을 보다 확대시킬 수 있을 것이다. 즉, 이들을 조화롭게 추진할 때 그 타당성과 효과성을 보다 증대시킬 수 있을 것이라 생각해 볼 수 있다.

2. R&D와 측정요소

R&D는 새로운 지식을 탐구하고, 그 결과나 지식을 새로운 제품이나 공정으로 전환시키는 활동을 총칭하며, 진행단계에 따라 기초연구(basic research), 응용연구(applied research), 개발연구(development)로 구분된다(하정욱·이동욱, 2009: 3-4). 먼저, 기초연구는 특정한 용도를 목적으로 하지 않고 주제에 대하여 근본 원리나 새로운 지식을 획득하기 위해 수행하는 상업성이 적은 연구이며, 단지 지식의 진보만을 추구하는 순수기초연구와 현재 또는 미래에 광범위한 기반지식을 제공할 것이라는 기대 하에 수행되는 목적기초연구로 구분할 수 있다. 둘째, 응용연구는 구체적이고 실용적인 목적이나 특정한 제품, 공정, 시스템 등 구체적인 목표를 지향하는 활동으로써 일반적으로 기초연구의 성과를 바탕으로 수행된다. 셋째, 개발연구는 기초·응용연구에서 획득한 지식을 활용하여 새로운 재료, 제품 및 장치를 생산하거나, 신규 공정, 시스템 및 서비스를 제공하거나, 이미 생산된 것의 성능을 개선시키는 최종단계의 연구로 언급된다.

<그림 1> R&D투자와 경제성장의 관계도



자료: 하정훈·이동욱(2009: 3)

이러한 R&D에 대한 투자는 비특유성, 시차, 불확실성, 고비용의 특성을 지니고 있다. 비특유성(non-specificity)이란 R&D투자의 결과가 R&D가 수행된 특정주체나 특정제품에 국한되지 않고 경제 전반에 공유된다는 특성으로서 전유성(appropriability)과 반대되는 개념이다 일반적으로는 기초연구에 가까울수록 전유성은 낮아지게 된다. 시차(time lag)는 R&D 투자의 결과가 생산시스템의 산출물인 제품이나 서비스에 반영되기 위해서는 시간이 소요된다는 것이다. 불확실성(uncertainty)이란 R&D 투자가 연구의 실패, 목적과 상이한 결과, 특허 획득의 실패, 부적절한 상품화 시기 등 다양한 원인에 의하여 R&D 투자에 대한 보상이 없거나 적을 수 있다는 것을 의미한다.

이렇게 불확실한 R&D 투자효과 및 기술진보를 측정하기 위해서는 신기술과 같은 과학적 지식만이 아니라, 생산기술·공정 및 경영·마케팅 노하우와 같은 실제적 지식들도 포함되어야 하는데 이를 측정하기는 매우 어렵다. 이에 연구들은 기술진보를 나타내는 변수로 개발투자(R&D flow), R&D집약도, R&D 스톡(R&D stock) 등을 사용하여 회귀분석하고 있는 것이 일반적이다. 그렇지만, 이렇게 R&D 투자가 단순 측정이 가능하다 하여 단순측정에 국한되는 것이 대부분이기에 시장

의 규모에 따른 변화와 기술의 누적성을 측정하거나 반영하지 못하고 있는 실정이다. 또한, R&D 집약도는 GDP 대비 R&D 투자, 총 인구대비 연구원 수 등과 같이 시장의 규모를 반영한 변수이나 이것이 기술의 누적성을 반영하는 데는 어려움이 있다. 마지막으로 R&D의 축적량은 자본과 같은 개념을 도입하여 측정할 경우 기술의 누적성을 반영할 수 있다는 강점이 있으나 이를 위해 기술 반영지차, 진부화율과 같은 불확실한 변수를 추정해야 하는 어려움이 있다.

한편, 지식기반사회에서의 서비스산업은 경험 및 기술노하우에만 의존하기 보다는 새로이 등장하는 지식과 기술을 계속적으로 사회 및 생활에 접목시키려는 노력이 필요한데(Kandampully, 2002: 18-19) 이는 유관기술을 홍보하거나 쉽게 사용할 수 있는 활용성에 대한 인식을 부각시키는 활동을 포함한다. 이러한 맥락에서 최근 선진국에서 논의되고 있는 서비스 R&D는 시기적 적절성이 높은 것이라 판단된다. 즉, 전통적 R&D개념이외에 기술과 사회를 연결하여 개발해야하는 내용 및 활동⁷⁾을 중시하는 것이다(Djellal 외, 2003). 구체적으로, 이러한 서비스 R&D는 다음과 같은 특징을 지닌다. 서비스 R&D에 대한 투자는 기술관계자가 아닌 이들을 지원함으로써 R&D 기술에 대한 관심도 제고와 활용성에 대한 문제의식을 부각하게 된다. 이는 특히 기술지식이 취약할 수 있는 정부관련자 및 공무원 등의 의식을 전환시키는 매개역할을 담당하게 되어 향후 R&D 정책의 필요성에 대한 정부내 의식을 강화하는 결과를 야기한다. 이러한 정부내 의지는 R&D 기술투자를 지속적이고 의지있는 정책으로 활성화시키게 된다.

요컨대, 이러한 R&D가 국가생산성에 영향을 미친다는 연구를 수행하였던 연구들은 전반적으로 회귀분석을 통해 실증적 측정을 시도하였으나, 이를 실증하는 것은 근본적으로 문제가 있다. 아울러 R&D 투자정책⁸⁾이 국가생산성에 영향을 미치게 된다면 증대된 국가생산성의 부분이 다시 R&D 투자로 이어질 수 있다는 점에서 이들의 관계는 순환적 인과관계를 형성하고 있음으로 판단해 볼 수 있다⁹⁾.

7) 전통적 기술 R&D에서 중시되던 기술개발(Design and Development) 이외에 인문사회과학의 연구가 필요하며, 특히 경제주체인 소비자와 기업, 조직의 행동에 관한 연구와 같은 비기술적 연구개발이 필요하다. 이러한 관점에서 서비스 R&D는 새로운 서비스 산업을 구축할 때 파트너와의 관계구축을 위한 서비스 이노베이션을 의미한다(이연희·이혜진, 2009: 3). 즉, 기술 융복합 사업을 추진할 시 매우 중요하다 할 수 있다.

8) 여기서 R&D 투자정책은 ‘서비스 R&D투자’와 ‘R&D투자’를 합쳐서 이뤄지는 정책으로 간주한다.

따라서 이러한 부분을 고려하여 가상적으로 포함할 수 있는 변수들과의 인과함수를 통해 시간의 변화에 따른 시뮬레이션 분석을 시도할 때 보다 적실한 분석 및 예측이 가능해 질 수 있다.

3. R&D 및 서비스 R&D 투자정책과 국가생산성의 인과구조¹⁰⁾

1) 서비스 R&D 투자와 국가생산성

서비스 R&D는 무형자산에 투자함으로써 유관지식을 대중화 및 실용적 인식을 확산하는 역할을 담당하여 국가 R&D 산업을 주관하는 정부관계자의 인식을 전환함으로써 R&D 투자정책을 강화하는 효과를 발생시킨다. 이에 대한 연구는 많지 않으나¹¹⁾, Canibano(2000)의 연구는 이를 뒷받침한다. 그는 서비스 R&D와 같이 혁신을 위해 인력, 광고 등과 같은 무형 자산에 투자하는 것이 기업의 미래 재무적 성과와 명확한 상관관계가 있음을 보여주었다. 또한, 지자체별로 특화된 기술융합 정책을 추진하고 있지만, 이에 대한 공무원의 인식 및 지식수준은 충분히 고양시키지 못하는 상황이다. 이는 장기적 사업으로 추진될 경우 이를 결정하는 결정자의 역량이 부족함을 의미한다. 이러한 맥락에서 서비스 R&D의 투자를 통한 사업프로그래밍은 기술사업에 대한 지식제고와 함께 서비스 적용 및 활용에의 교량 역할을 담당하게 될 수 있을 것이다.

이러한 서비스 R&D 투자가 국가생산성에 관련되는 인과구조는 <그림 2>과 같다. 즉, 정책결정자의 의지는 서비스 R&D 투자로 이어져 R&D 투자에 대한 필요성이 공무원 및 인문사회과학도에게 공유됨으로써 국가 R&D사업을 담당하는 정부관계자의 인식을 변화시키게 된다. 이것이 R&D 투자정책의 의식을 강화함으

9) R&D 투자는 장기적으로 효과가 나타날 수 있기 때문에 이에 대한 고려도 필요하다.

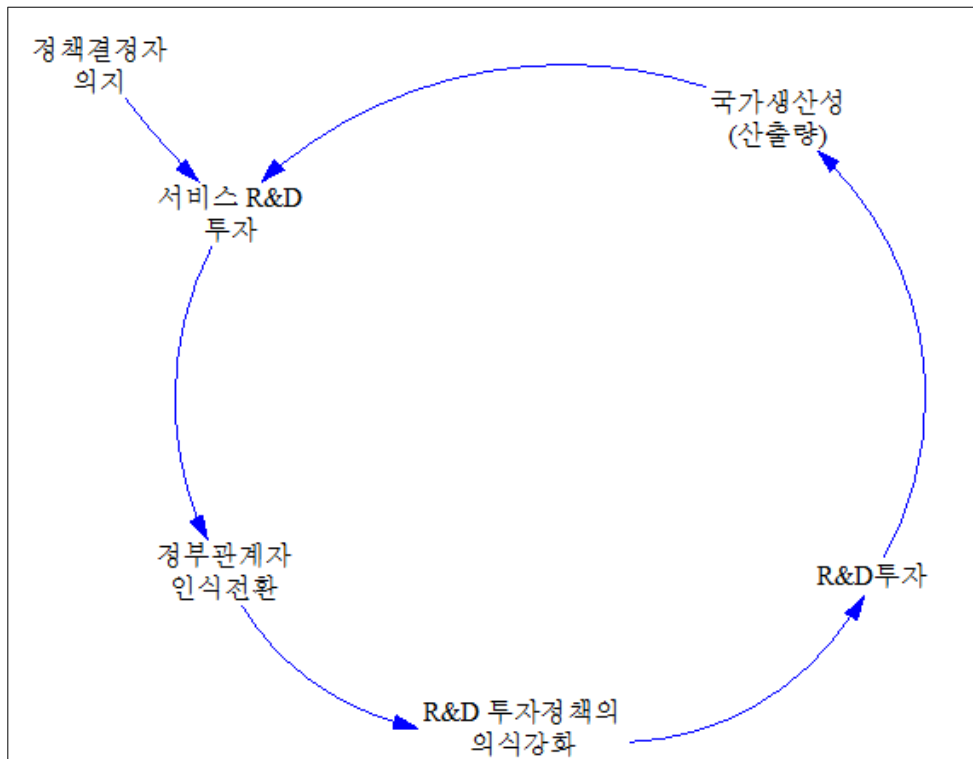
10) 본 연구의 인과변수들은 하정훈·이동욱(2009)이 제시한 R&D투자와 경제성장 모형에 기초하여 설정되었다. 특히, 관련된 변수들이 상당히 거시변수이지만 선행연구들의 관점에서 가장 많이 언급되고 다루어진 변수들이기에 가능한 주관적인 변수들을 제외할 수 있다는 측면에서 이 거시변수들을 차용하여 사용하였다.

11) 이연희·이혜진(2009: 3-4)은 서비스 R&D에 관한 활발한 연구동향은 있지만, 여전히 서비스 R&D에 대한 연구는 거의 없음을 지적하면서, 지속적이고 체계적인 연구가 필요함을 강조하였다.

로써 R&D 투자를 강화하는 토대가 된다. 이러한 R&D는 장기적으로 국가생산성을 증대시키는 순환인과구조가 발생된다. 이렇게 높아진 국가생산성은 서비스 R&D의 재투자의 효과를 발생하게 된다.

제1순환 루프(loop): 정책결정자의 의지→서비스 R&D 투자→정부관계자 인식전환→정부내 R&D 투자정책의 의식강화→R&D 투자→국가생산성→서비스 R&D 재투자

<그림 2> 서비스 R&D 투자와 국가생산성 인과지도



2) R&D 투자와 국가생산성

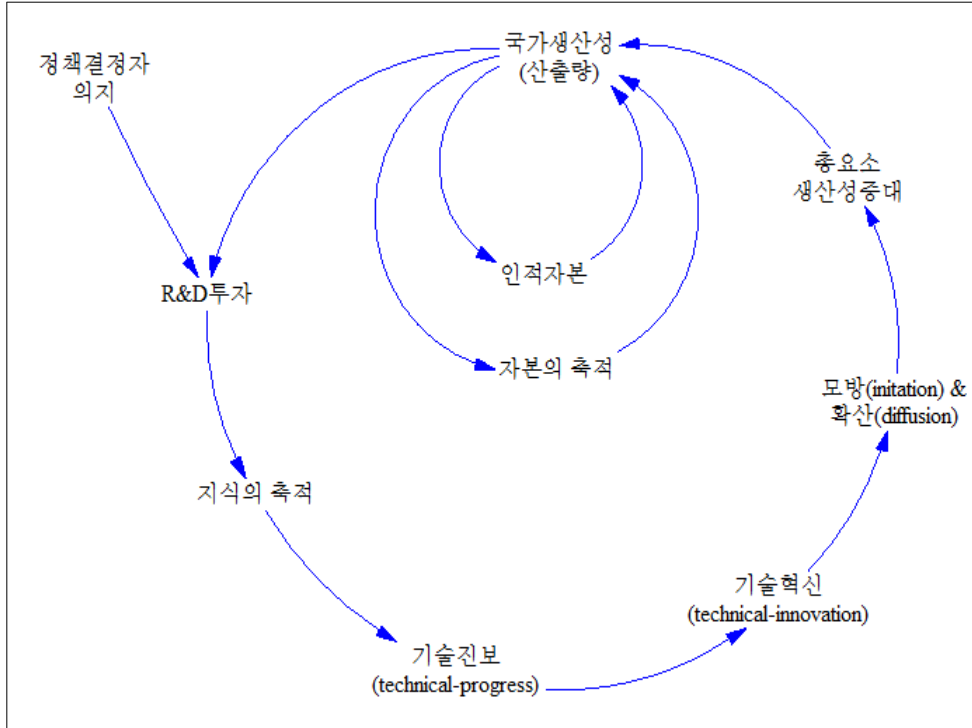
다수의 연구들은 R&D 투자는 국가생산성에 영향을 주고 있다는 결과를 강조하고 있다(조상섭, 2009; 이연희 외, 2009; 이대락 외, 2002; 최종서, 2009; 하정훈 외,

2009). 또한, 상기에서 언급했던 바와 같이 서비스 R&D 투자 역시 장기적으로 R&D 투자에 긍정적으로 기여함을 살펴보았다. 그렇다면 거시적인 R&D 투자와 국가생산성의 구체적인 요소를 살펴볼 필요가 있다. 이러한 구체적인 인과구조가 고려되어야 R&D 투자정책과 국가경쟁력의 인과관계분석에 대한 타당성의 확보가 가능해지기 때문이다.

이러한 인과구조는 다음과 같은 논리를 적용해 볼 수 있다. 정책결정자가 R&D 투자에 대해 긍정적으로 평가하고 판단할 때와 그렇지 않을 때를 고려해 볼 수 있다. 투자정책을 결정하는 상황에서 R&D 정책에 긍정적으로 평가하는 경우 이는 R&D 투자로 나타나게 된다. 장기적인 투자는 R&D 지식을 지속적으로 축적하게 되고, 이는 기술진보의 밑거름이 된다. 이렇게 진보된 기술은 사회영역 및 산업분야에 접목됨으로써 기술혁신을 발생시키고, 이는 지속적인 모방과 이를 통한 확산으로 이어지게 된다. 결국 사회내에 존재하는 다양한 학문 및 산업영역에서 R&D 유관산업의 질이 제고되어 총요소 생산성이 증가하게 되고 이는 국가생산성 증대로 나타나게되는 양(+)¹의 증폭과정을 거치게 된다. 또한, 국가생산성은 인적자본과 자본의 축적을 불러오고 이들은 다시 국가생산성의 증대에 영향을 미치는 지속적 양의 순환관계로 나타난다.

제2순환 루프(loop): 정책결정자의 의지→R&D 투자→지식의 축적→기술진보→기술혁신→모방 및 확산→총요소 생산성증대→국가생산성제고→R&D 재투자
 제3순환 루프(loop): 국가생산성증대→인적자본→국가생산성증대
 제4순환 루프(loop): 국가생산성증대→자본축적→국가생산성증대

<그림 3> R&D 투자와 국가생산성 각 요소의 인과구조

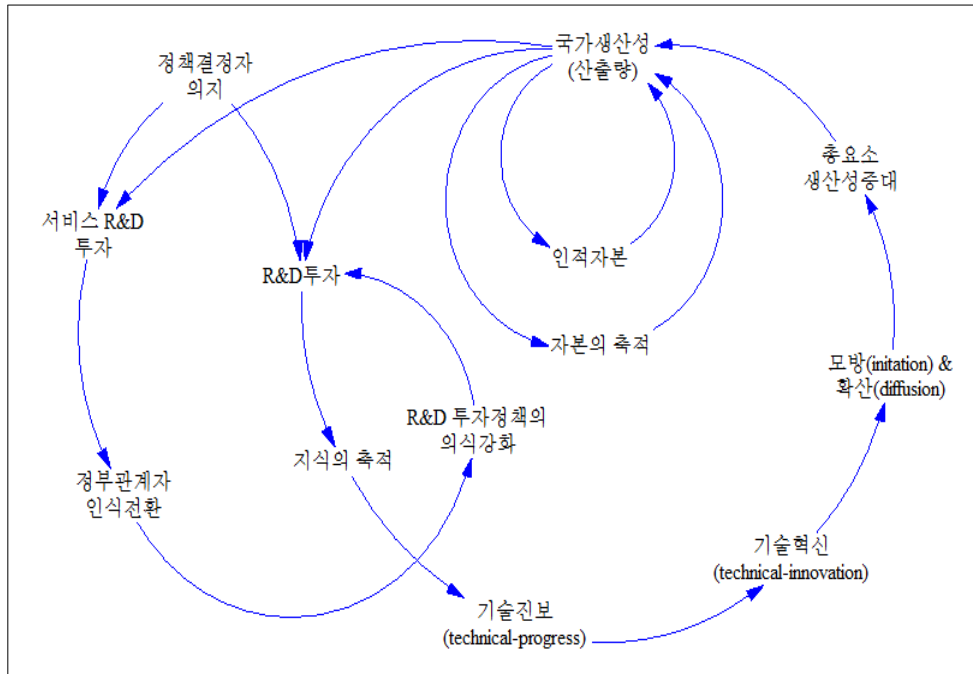


3) R&D 투자정책과 국가생산성의 인과지도

다음 <그림 4> ‘서비스 R&D 투자’ 및 ‘R&D 투자’의 인과구조를 연계하여 총체적으로 국가생산성과 연관시킨 순환인과구조이다. 정책결정자의 의지는 서비스 R&D 및 R&D 투자 모두에 영향을 주고, 이중 서비스 R&D 투자는 정부관계자의 인식전환에 따라 R&D 투자정책의 의식강화를 가져와 이것이 R&D 투자를 증가시킨다. 즉, R&D 투자는 R&D투자정책의 의식강화와 정책결정자의 의지의 영향을 받고 이러한 R&D는 지식의 축적을 야기한다. 이후 축적된 지식을 통해 기술진보가 나타나게 되고 이것이 기술혁신으로 이어지게 된다. 이러한 기술혁신은 다양한 영역에서 모방이 일어나게 되고 이는 잠재적인 중요소생산성을 증대시켜 중국에 국가생산성을 제고하게 되는 것이다. 이렇게 증대된 국가생산성은 R&D에 대한 재투자로 이어짐은 물론 인적자본 및 자본(capita)의 축적을 가져오는 지속적

인 순환고리(loop)를 형성하게 된다.

<그림 4> R&D 투자정책과 국가생산성의 인과지도



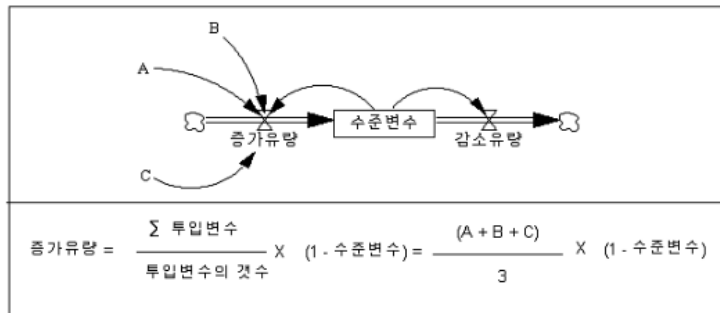
Ⅲ. 연구의 설계

1. 연구방법: System Dynamics

System Dynamics는 컴퓨팅 기술의 발전에 의한 시뮬레이션 및 환류적사고 (feedback)에서 기초한다(김동환, 2001: 6). 즉 복잡한 현상을 동태적이고 순환적인 인과관계의 시각(dynamic feedback perspective)으로 이해하고 설명하거나, 이러한 이해에 기초한 컴퓨터 모델을 구축하여 복잡한 인과관계로 구성된 현상이 어떻게 동태적으로 변해 나가는지를 실험해보는 방법론이자 준거틀/framework이다(정석환 외, 2005: 220). 즉, 이 접근법의 기본적인 관심은 연구하고자 하는 특정변수가

시간의 변화에 따라 어떻게 동태적으로 변화해 가는가에 있다. 따라서, 이 방법론은 설정한 변수들이 연구하고자 하는 변수들이 시간의 흐름에 따라 안정, 불안정, 상하주기적 변동, 성장, 쇠퇴, 평형상태 등의 동태적인 변화의 경향을 보이는지 (Meadow, 1980: 31-36)에 초점을 두는 것이다. 이러한 System Dynamics 방법론은 인과지도의 설정과 시뮬레이션 분석의 두가지로 구분된다. 인과지도는 야기되는 변수들 간의 인과성을 논리에 기초하여 구성하는 것으로써 순환적인 루프(loop)를 형성하게 된다. 발생한 결과와 이에 영향을 미친 변수들을 논리적으로 연결하여 루프를 형성함으로써 기존의 단선적이고 선형관계로 파악된 분석의 문제를 해소하고 보다 적절한 분석을 시도한다. 시뮬레이션 모형은 인과지도로써 구성된 변수들간의 관계를 수학적 관계로 구성함으로써 시간의 변화에 따라 변화하는 변수들의 변동량을 통해 시사점을 얻는다¹²⁾.

<그림 5> 투입변수가 여러개일 경우 유량의 수식 설정 방식



자료: 김동환(2000: 8)

12) 구체적으로, 시뮬레이션은 다음과 같은 특성을 지닌다. 시스템 다이내믹스 모델에 포함되는 수준변수들의 값은 동시에 변화된다. 비록 시뮬레이션을 수행하는 컴퓨터는 순차적으로 작동할지라도, 시스템 다이내믹스의 시뮬레이션 알고리즘은 모델내의 변수들을 동시에 변화시키도록 구성되어 있다. 시스템 다이내믹스 시뮬레이션에서는 시스템을 변화시키기 위하여 극소의 시간단위(시간간격, time interval)라는 개념을 사용하며, 한번의 시간단위를 진행시키면서 모델내의 모든 비율변수를 변화시킨 다음, 모델내의 모든 수준변수를 변화시킨다. 둘째, 시스템 다이내믹스 모델은 근본적으로 연속형 변수의 값을 취한다. 비록 모델의 특성에 따라서는 이산형 변수를 모델내에 포함시킬 수도 있지만, 이러한 경우 시뮬레이션의 오차가 발생할 여지가 있다. 셋째, 시뮬레이션은 추상적인 변수보다는 구체적인 변수들로 구성된다. 수준변수와 비율변수는 시스템 내 구성요소들의 행위를 표상하기 때문이다. 시스템 구성요소들의 행위가 논리적으로 유의미하기 위해서는 구체적인 행동대안과 행동방식이 모델내에 표현되어야 한다(김도훈·김동환, 1997: 26-27).

한편, 객관적이고 타당한 연구결과를 얻기 위해 본 연구에서는 연구자의 사고를 가능한 한 배제하면서 인과지도를 System Dynamics 모델로 변환시키는 “기초관계의 균등화단위 모델링(Normalized Unit Modelling By Elementary Relationship, NUMBER)”을 사용한다. “기초관계의 균등화단위 모델링”이란 저장(stock-수준변수)과 유량(flow-변화율 변수)간의 관계를 모두 기초적인 관계로 설정하고, 이들 변수들의 측정단위를 0에서 1까지의 값으로 균등화시키는 것이다(김동환, 1999: 6-15; 서인석 외, 2009: 336). 본 연구는 System Dynamics 프로그램인 Vensim PLE를 사용하여 “기초관계의 균등화단위 모델링”을 토대로 설정하였다. 또한, 정책결정자가 R&D 투자수준을 결정할 수 있는 의지를 초기 독립요소로 간주하여 이를 기준변수로 상정하고 매우낮은 수준(0.01), 보통(0.1), 높은 수준(1.0)을 설정하여 시간(year)에 따른 변동량을 분석하였다. 특히, 기간변수를 최종 10년으로 상정하여 투자시점부터 10년간의 변화추이를 분석하고자 하였다.

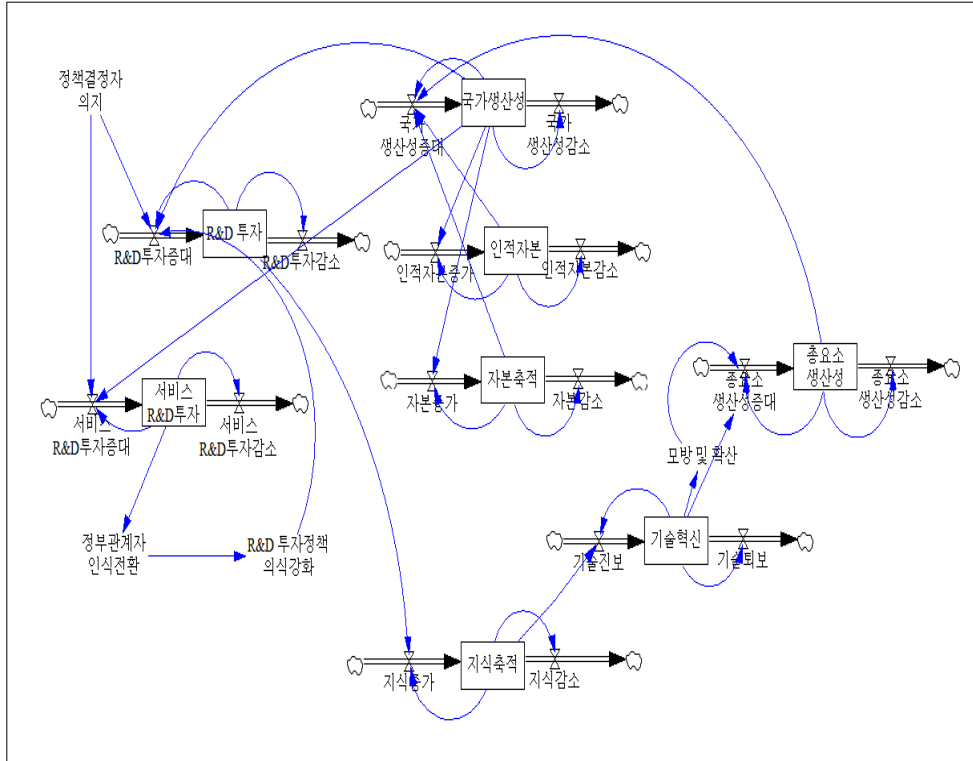
2. 시뮬레이션 모델링

<그림 6>은 R&D 투자정책과 국가생산성의 인과지도를 통해 각 변수와 그들의 관계를 시뮬레이션 모델로 나타낸 것이다. 시뮬레이션 모델에서는 국가생산성, R&D투자, 서비스 R&D투자, 지식축적, 기술혁신, 총요소생산성, 인적자본, 자본축적을 저장변수(Stock)로 설정하였고, 정책결정자의 의지, 정부관계자 인식전환, R&D투자정책강화, 모방 및 확산을 유량변수(Flow)로 설정¹³⁾하였다. R&D 투자정책이 국가생산성을 증대하게 된다는 순환인과관계에 대한 분석모델의 논거를 제시하면 다음과 같다¹⁴⁾.

13) 저장 및 수준(Stock or Level)변수는 특정시점에서 축적 및 누적되어 응축된 ‘양’을 나타내는 개념이고, 유량 및 비율(Flow or Rate)변수는 특정시점이 아니라 일정기간동안의 지속적인 ‘양’을 나타내는 개념이다. 예를 들어, 통장의 잔고가 처음 20만원 3개월간 매달 10만원씩 벌어들인다면 이 때 20만원은 저장의 초기값이고, 30만원은 유량에 해당한다.

14) 이러한 순환인과관계는 제2장에서 인과지도 설정시에도 언급한 바 있지만, 시뮬레이션에 대한 논리를 보다 구체화하기 위해 재언급하였다.

<그림 6> R&D 투자정책과 국가생산성 시뮬레이션 모델



첫째, 정책결정자의 의지는 서비스 R&D투자 및 R&D 투자 모두를 증대시키게 된다. 이때 서비스 R&D 투자증대는 기술 및 인문사회학의 융합사업에 대한 중요성을 부각시킴으로써 정부관계자의 인식을 긍정적인 방향으로 전환시키며, 이것이 R&D 투자정책의 의식을 강화하는 방향으로 나타나 R&D 투자가 보다 증대하는 결과를 가져올 수 있다.

둘째, 서비스 R&D 투자 및 R&D 투자에 의한 유관기술 지식이 증대하게 되면 이는 지식축적으로 이어져 기술진보로 나타나게 된다. 이때 기술이 진보하게 되면서 기술 및 산업에서의 혁신이 발생하게 되고 이는 다양한 모방을 불러와 사회내에 확산되게 된다.

셋째, 이렇게 발생한 기술혁신과 모방 및 확산은 기술 및 관련분야의 활용성을 증대키는 결과를 가져와 중요소 생산성을 증대시키게 된다. 이는 국가내의 산출

량을 직·간접적으로 증대시켜 최종적으로 국가생산성을 증대시키는 효과를 야기하게 된다.

마지막으로, 국가생산성이 증대하게 되면 내재된 인적자본역시 증대하고 이것이 다시 국가생산성을 증대시키고, 자본역시 축적되어 이것이 국가생산성의 증대로 발전된다. 또한, R&D투자정책으로 인해 발생된 긍정적인 효과는 순환적으로 R&D 재투자 상황을 발생시켜 지속적인 상승작용을 발생시키게 된다.

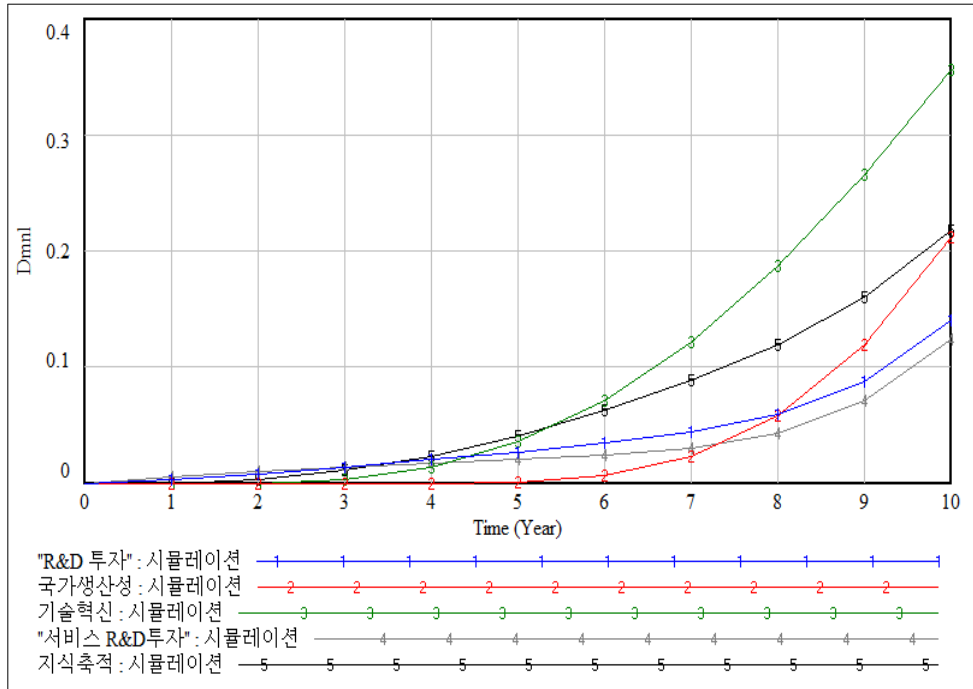
IV. 시뮬레이션 분석¹⁵⁾

1. 정책결정자의 의지(수준)가 매우 낮은(0.01) 경우의 시뮬레이션 결과

정책결정자의 R&D 투자 및 지원에 대한 의지가 매우 미약할 경우 <그림 7>과 같은 시뮬레이션 결과가 나타났다. 시간은 1년부터 10년까지이고, 최고변화 정도는 0에서 1.0까지 변화하게 된다. 먼저, 가장 높은 변화율을 가진 것은 기술혁신이었다. 기술혁신은 최종 6년차까지 서서히 증가하다가 7차년차부터 상승하기 시작하여 최종 10년차에서 0.35수준에 수렴하는 것으로 나타났다. 둘째, 지식축적은 5년차까지는 기술혁신에 비해 근소하게 높았으나, 6년차 이후부터 비교적 완만한 상승세를 나타내 10년차에는 0.2를 조금 넘는 효과를 보였다. 셋째로, 국가생산성은 5년차까지는 그 상승세가 나타나지 않았으나, 7년차이후 상승하여 10년차에는 지식축적과 거의 유사한 수준에 이르렀다. 넷째로, R&D 투자와 서비스 R&D투자 모두 약한 수준의 투자가 이루어져 근소하게 상승하여 10년차에는 0.1 수준을 조금 넘고 있다. 전체적으로, 정책결정자의 미약한 의지수준은 R&D 투자정책(R&D와 서비스 R&D 모두)에 대한 투자를 활성화하지 못하였고, 각 변수들이 상승할 때 가장 높은 수치를 기록할 수 있는 1.0 수준과는 상당한 격차를 나타내었다.

15) ‘기초관계 균등화 모델링(김동환, 1999)’에 기초하여 국가생산성, R&D투자, 기술혁신 등 모든 저장변수(Stock)의 초기값(Initial value)은 ‘0’으로 설정되었고 모든 유량변수들의 변동량 역시 0-1사이에 존재하게 된다. 특히, 변화율의 경우 0.1로 균등화 처리하였는데, 이는 영향을 받고 이에 대한 변화가 나타나는 수치가 가장 약한 수준인 0.01과 가장 강한 수준인 1의 중간에 위치하기 때문에 이를 공통적으로 적용되는 수치로 적용하였다.

<그림 7> 정책결정자의 미약한 의지수준(0.01)에서의 변동량



이러한 시뮬레이션 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다. R&D투자를 기준으로 살펴보면 미약한 수준으로 R&D투자가 이루어질 경우 장기적으로는 3년차부터 기술혁신이 발생하기 시작하며, 4년차가 지나면서는 지속된 R&D투자보다 기술혁신이 높아진다는 것을 알 수 있으며, 기술혁신이 최종 10년차에는 0.35에 머물러 0.15정도 수준에 머무른 R&D투자에 비해 2배 이상의 효과를 나타냄을 알 수 있다. 즉, 10년의 장기적인 효과를 바라볼 때 미약한 수준이나 R&D투자가 이루어진다면 약 2배가 넘는 기술혁신의 효과를 기대해볼 수 있다. 아울러, R&D투자가 지속된다면 국가생산성은 약 6년차부터 상승하기 시작하여 10년차에 이르러서는 0.2 수준에 다다름을 확인하였다. 이는 0.15에 이른 R&D투자에 비해 1/4배 높은 것임을 확인할 수 있다.

그렇지만, 총 발전 수준이 100%(1.0)라고 생각할 때 10년차에 발전하게 되는 수준은 20%(0.2) 밖에는 이를 수 없는 것으로 판단할 수 있다. 즉, 미약한 R&D투자정책(R&D투자 및 서비스 R&D투자)은 국가생산성 증대에 큰 기여를 담당하지 못하

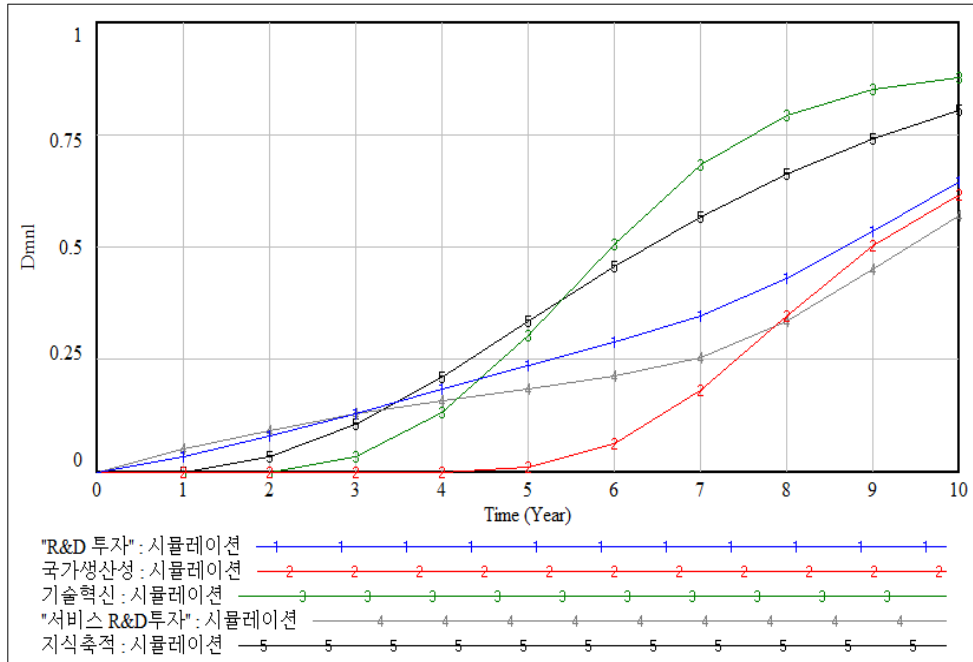
는 것을 알 수 있는 것이다. 또한, 증가하는 시점도 7년차 이후라는 점에서 미약한 장기적인 효과만이 발생할 뿐 강하고 단·중기적인 효과는 기대하기 어렵다.

2. 정책결정자의 의지(수준)가 보통(0.1)인 경우의 시뮬레이션 결과

정책결정자의 R&D 투자 및 지원에 대한 의지가 보통인 경우 <그림 8>과 같은 시뮬레이션 결과가 나타났다. 먼저, 가장 높은 변화정도를 보인 것은 의지가 약할 때와 동일한 기술혁신이었다. 기술혁신은 2년 후부터 증가하기 시작하여 4년차부터 8년차까지 급격히 상승한 후 10년차에는 0.9수준에 수렴하였다. 둘째, 지식축적은 1년차부터 증가하기 시작하여 2년차부터는 지속적인 상승정도를 나타내어 10년차에는 약 0.8수준에 이르렀다. 셋째로, 국가생산성은 4년차까지는 그 상승세가 나타나지 않았으나, 5년차이후 상승하여 10년차에는 0.6수준에 이르는 결과를 나타내었다. 넷째로, 투자는 첫해부터 지속적인 상승정도를 나타내면서 서비스 R&D투자가 R&D 투자 보다 2년차까지는 높은 수준을 나타내었으나, 3년차에는 동일한 수준을 나타낸 후 R&D투자가 서비스 R&D투자에 비해 높은 수준으로 10년차에 이르고 있으며, R&D는 약 0.6수준, 서비스 R&D는 약 5.5수준에 수렴하였다. 전체적으로, 정책결정자가 보통수준의 의지를 가지고 초기 R&D 투자정책을 시작한다면 기술혁신, 지식축적, 국가생산성 등이 모두 0.5수준 보다 높은 수치를 나타내어 긍정적인 효과를 보이는 것으로 나타났다.

이러한 시뮬레이션 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다. 보통 이상의 서비스 R&D 및 R&D투자가 이루어지는 경우 1년차 후부터 기술혁신이 발생하기 시작하며, 5년차가 지나면서는 지속된 R&D투자나 서비스 R&D투자보다 기술혁신의 효과가 높아진다는 것을 알 수 있으며, 기술혁신이 최종 10년차에는 0.9에 머물러 0.65정도 수준에 머무른 R&D투자에 비해 1.5배의 효과가 있음을 알 수 있다. 총 발전정도가 100%라고 보았을 때, 10년차에는 무려 90%까지의 기술혁신이 가능하는 분석결과이다. 이는 수렴정도가 거의 극에 다다른 결과로 시뮬레이션에서도 9년차에서 10년차에는 상승이 낮아져가는 것을 알 수 있다. 보통의 R&D투자정책이 초기에 이루어진다면 높은 기술혁신정도를 9년차에 얻을 수 있음을 의미하는 것이다.

<그림 8> 정책결정자의 보통 의지수준(0.1)에서의 변동량



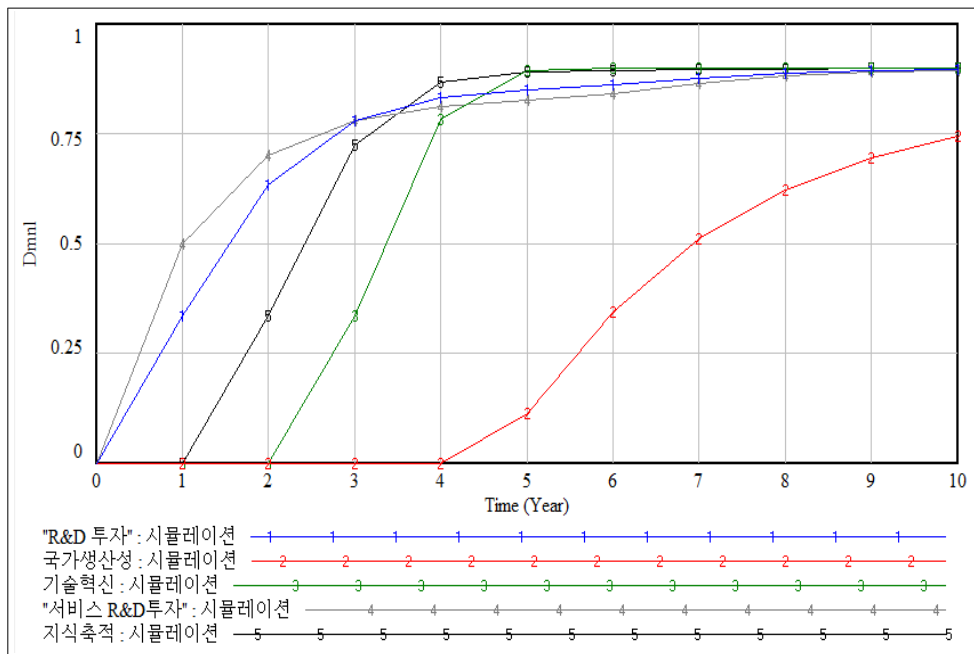
다음으로, 국가생산성의 경우 5년차에 상승하기 시작하여 최종 10년차에는 0.6에 이르렀는데, 국가생산성을 최고수준으로 높일 수 있는 정도가 100%(1.0)일 때 R&D투자정책이 보통수준으로 이루어진다면 9년차에는 50%(0.5), 10년차에는 60%(0.6)의 국가생산성을 올릴 수 있음이다. 보통수준의 R&D투자정책은 장기적으로 높은 효과가 발생할 수 있음을 보여주는 것이다. 총체적으로, 보통수준의 R&D투자정책은 높은 기술축적과 기술혁신을 빠른시간에 높임으로써 장기적으로 국가생산성을 높이는 데 기여할 수 있는 것으로 생각해볼 수 있을 것이다.

3. 정책결정자의 의지(수준)가 높은(1.0) 경우의 시뮬레이션 결과

정책결정자의 R&D 투자 및 지원에 대한 의지가 매우 미약할 경우 <그림 9>과 같은 시뮬레이션 결과가 나타났다. 먼저, R&D투자, 서비스 R&D투자, 기술혁신, 지식축적이 모두 동일한 수준인 약 0.9에 수렴하는 것으로 나타났다. 가장 높은 수

준에 먼저 수렴된 요인은 지식축적으로 4년차였으며, 기술혁신이 5년차에 수렴되었고 R&D투자와 서비스 R&D투자는 약 8년차 이후 최고수준에 수렴하였다. 그렇지만, 3년차 이전까지는 서비스 R&D투자, R&D투자, 지식축적, 기술혁신의 순서였으나 3년차 이후로 변동하였다. 둘째, 이들 변수들은 모두 4년차까지는 급속한 변동상태를 나타낸 후 5년차 이후로는 변동이 약해짐을 알 수 있었다. 셋째로, 국가생산성은 4년차를 기점으로 상승하여 9년차까지 가파른 상승세를 나타내다가 10년차에 0.75수준에 수렴하였다. 전체적으로, 정책결정자의 의지가 강할 때는 R&D 투자정책의 탄력성이 매우 높게 나타났으며, 각 변수들이 4년 이내에 급격한 변화를 나타내어 단기적인 효과가 큼을 알 수 있었고 국가생산성의 변화도 높았음을 확인하였다.

<그림 9> 정책결정자의 강한 의지수준(1.0)에서의 변동량



이러한 시뮬레이션 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다. 강한 서비스 R&D 및 R&D투자가 이루어지는 경우 첫째부터 지식축적 및 기술혁신이 급격하게 발생하

기 시작하며, 3년차에는 거의 최고 수준에(0.75) 이르게 된다. 즉, R&D투자정책이 대규모 효과를 창출한다는 것을 판단할 수 있으며 또한, 4년차 이후에는 이들의 최고발전정도의 약 80%(0.8)를 달성할 수 있다는 것이다. 보통 수준의 R&D투자정책이 0.75수준을 이룬 것이 9년차였을 때를 감안하면 6년의 발전정도를 앞당길 수 있는 것으로 엄청난 기대효과가 발생할 수 있음을 기대할 수 있다.

다음으로, 국가생산성의 경우 4년차에 상승하기 시작하여 최종 10년차에는 0.75에 이르렀는데, 국가생산성을 최고수준으로 높일 수 있는 정도가 100%(1.0)일 때 R&D투자정책이 보통수준으로 이루어진다면 7년차에는 50%(0.5), 10년차에는 75%(0.75)의 국가생산성을 올릴 수 있음이다. 또한, 강한 수준은 보통수준의 R&D투자정책과 비교할 때 50%는 2년을 앞당긴 결과이며, 60%(0.6) 역시 2년을 앞당기는 효과를 나타내었다. 총체적으로, 강한수준의 R&D투자정책은 높은 기술축적과 기술혁신을 단시간에 급격히 상승시킬 수 있는 효과를 발생하며, 중장기적으로 국가생산성을 크게 높일 수 있는 밑거름이 될 수 있는 결과를 보여주었다¹⁶⁾.

4. R&D 투자정책의 각 수준별 효과 민감도분석

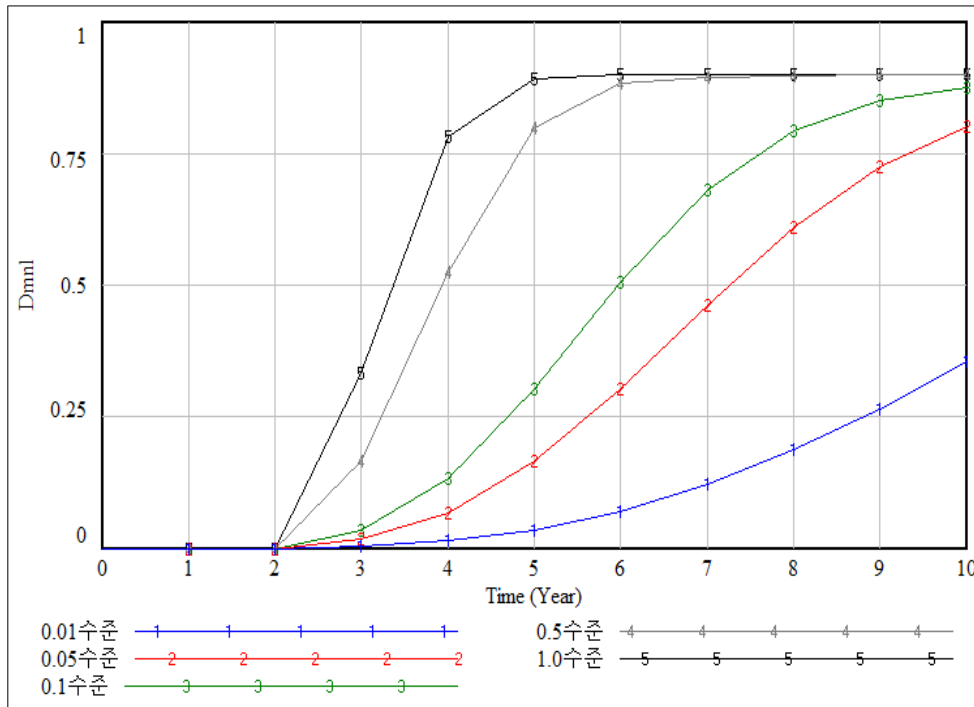
정책결정자의 의지 수준을 보다 구체적으로 세분하여 즉, 0.01수준, 0.05수준, 0.1수준, 0.5수준, 1.0수준의 5단계로 나누어 시간의 흐름에 따른 변동량을 살펴보고자 하였다. 이는 각 수준에 따른 변동량을 하나의 시뮬레이션을 통해 구체화함으로써 보다 심도있는 정책적 함의를 얻어내기 위함이다. 본 고에서는 R&D투자정책의 수준이 미치게 될 영향을 국가생산성, 기술혁신, 총요소 생산성의 각 변수별로 살펴보았다.

16) 본 연구에서 실시된 모든 시뮬레이션에서 R&D 및 서비스 R&D투자를 제외한 모든 관련 주요 변수는 변동하는 데 있어 일정정도의 시차가 존재하는데, 고상원 외(2004: 36)의 R&D투자가 기업의 성장성 및 수익성에 영향을 주기까지는 일정시간이 요청됨으로 이를 고려할 필요가 있다는 주장처럼 관련 변수들이 영향을 주고 이것이 내재화되어 탄력적으로 다른 변수에 순차적으로 영향을 주는 데는 일정한 소요시간이 존재하는 것으로 판단해 볼 수 있다.

1) 기술혁신

<그림 10>은 종합적으로 정책결정자의 의지수준에 따른 기술혁신증대 효과를 비교분석한 것이다. 모든 수준이 2년차까지는 상승하지 않았으며, 이후 변화량을 보이기 시작하였다. 우선, 초기에 가장 민감하게 상승하는 곡선은 1.0 수준이었는데 3년차에 30%(0.3)를 나타내었다. 이는 0.5수준이 약 20%(0.2)를 나타내었기에 1.0 수준이 0.5수준의 1.5배 효과를 단기적으로 향상시킬 수 있음을 보여주는 부분이다. 반면 0.01수준은 3년차까지 변화량을 보이고 있지 않았으며, 최종 수렴정도도 30%(0.3)로 낮았다. 전체적으로 볼 때 초기수준에서는 수준이 높아질수록 급격한 탄력성으로 큰 상승량을 보였고, 마지막 10년차에는 0.01수준을 제외한다면 변동하는 시간이 차이가 있을 뿐 전체적으로 높은 수준으로 수렴하는 것으로 나타났다. 즉, R&D투자정책은 기술혁신에는 매우 긍정적인 효과를 발생시킬 수 있음을 보여준다.

<그림 10> R&D 투자정책에 따른 수준별 기술혁신 효과분석



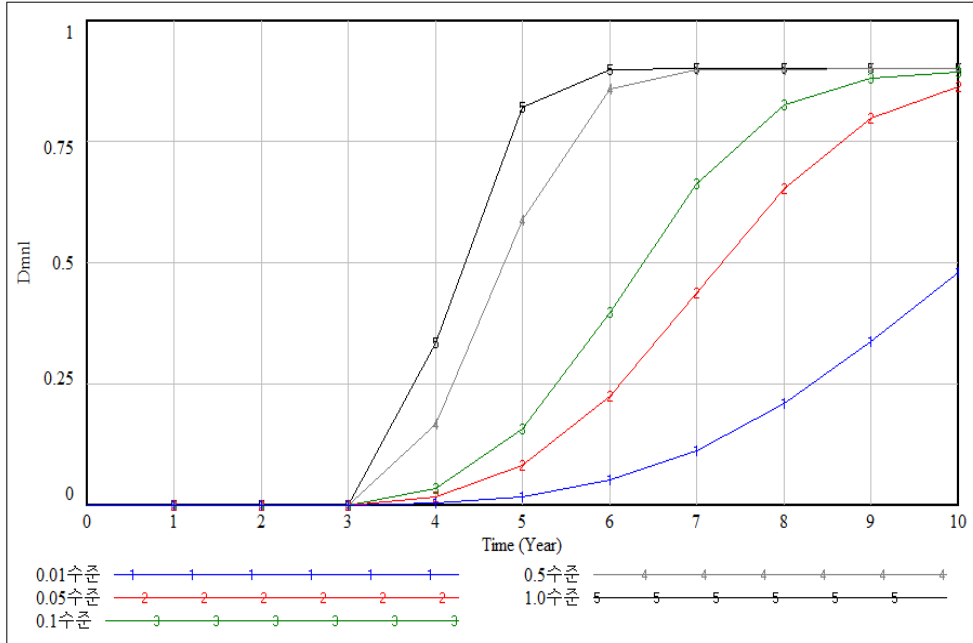
특히, 정책결정자의 의지수준이 매우 미약한 0.01수준과 1.0수준은 매우 큰 폭의 기술혁신에 있어 격차를 보이고 있었다. 0.01수준이 기술혁신이 발생하기 시작하는 4년차 단계에 투자정책이 매우 높은 0.1수준은 거의 최고조에 이르러 있으며 (약 10배 이상의 효과), 이는 투자정책이 활성화될수록 단기간에 급격한 기술혁신을 얻어낼 수 있는 가능성이 있음을 의미하는 부분이다. 또한, 기술혁신은 투자정도에 의해서 투자효과를 단시간내에 얻을 수 있는 변수인 것으로 확인해 볼 수 있었다는 점에서 기술혁신의 증대는 전략적 차원에서 단기간 투자를 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다¹⁷⁾.

2) 총요소 생산성

<그림 11>은 종합적으로 정책결정자의 의지수준에 따른 총요소 생산성증대 효과를 비교분석한 것이다. 모든 수준이 3년차까지는 상승하지 않았으며, 이후 변화량을 보이기 시작하였다. 우선, 초기에 가장 민감하게 상승하는 곡선은 역시 1.0수준이었는데 4년차에 35%(0.35)를 나타내었다. 이는 0.5수준이 약 20%(0.2)를 나타내었기에 1.0수준이 0.5수준의 1.5배 이상의 효과가 단기적으로 발생할 수 있음을 보여주는 부분이다. 반면 0.01수준은 4년차까지 변화량을 보이고 있지 않았으며, 최종 수렴정도도 50%(0.5) 미만으로 낮았다. 기술혁신의 경우와 마찬가지로 초기수준에서는 수준이 높아질수록 급격한 탄력성의 상승량을 보였고, 마지막 10년차에는 0.01수준을 제외한다면 변동하는 시간이 차이가 있을 뿐 전체적으로 높은 수준으로 수렴하는 것으로 나타났다. 즉, 정책결정자의 의지가 높아져 R&D투자정책이 증가할수록 총요소 생산성의 급속한 성장을 기대해 볼 수 있는 분석결과이다.

17) 각주 15를 통해서도 언급하였듯이 R&D 2년정도의 시차가 소요되는 것은 R&D 투자가 이루어진 이후 지식이 축적되는 동안의 시간이 필요하며, 또한 이것이 기술진보와 기술혁신으로 나타나는 데 역시 일정시간이 요청되기 때문으로 판단된다.

<그림 11> R&D 투자정책에 따른 수준별 중요소 생산성 효과분석



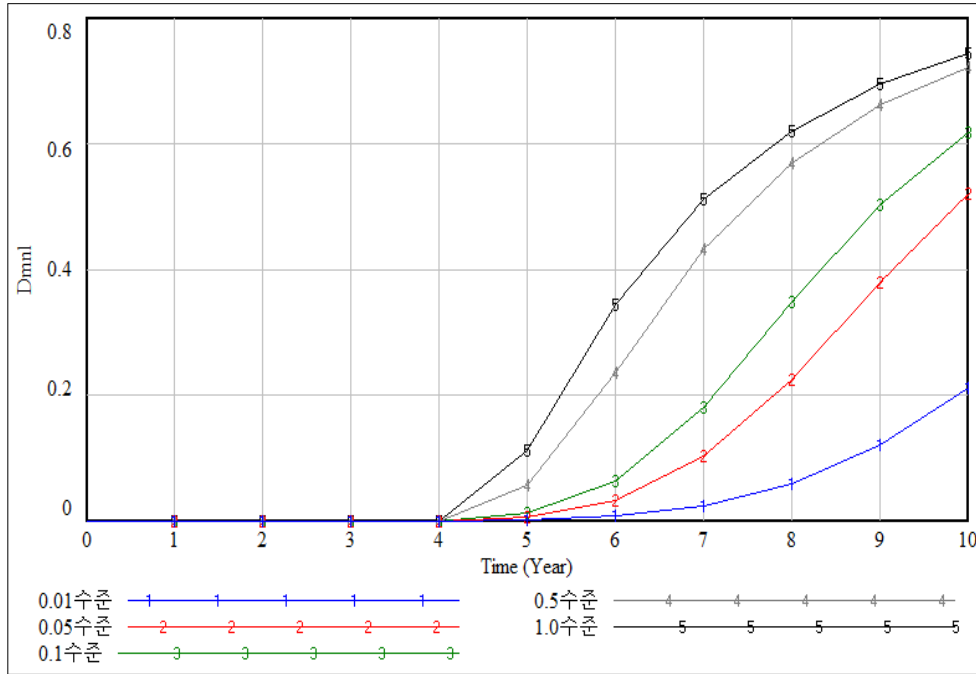
특히, 정책결정자의 의지수준이 매우 미약한 0.01수준은 최종 국가생산성 활성화 정도가 50%(0.2) 미만에서 그쳐 1.0수준은 0.01수준에 비해 2배 정도의 효과를 가질 수 있는 것으로 예상해 볼 수 있으며, 0.01수준은 다른 수준과도 효과에 있어 최종 상승정도가 상당한 보였다. 이는 정책결정자의 의지수준에 따른 R&D투자정책의 수준이 높아질수록 투입된 초기년도 보다 약 3년 후부터 중요소 생산성은 큰 탄력성을 가지고 상승할 수 있음을 보여준다.

3) 국가생산성

<그림 12>은 종합적으로 정책결정자의 의지수준에 따른 생산성증대 효과를 비교분석한 것이다. 모든 수준이 4년차까지는 상승하지 않았으며, 이후 변화량을 보이기 시작하였다. 우선, 초기에 가장 민감하게 상승하는 곡선은 1.0 수준이었는데 5년차에 10%(0.1)을 나타내었다. 이는 0.5수준이 약 5%(0.05)를 나타내었다는 측면에서 1.0수준이 0.5수준의 2배효과를 초기에 볼 수 있음을 나타내는 부분이다. 반

면 0.01수준은 5년차까지 변화량을 보이고 있지 않았고, 전체적으로 초기수준에서는 수준이 높아질수록 큰 탄력성을 보이면서 상승하고 있음을 확인할 수 있다. 마지막 10년차에는 이러한 수준별 변동량이 반영되어 수렴수준이 크게 차이가 나고 있음을 알 수 있는데, 0.5수준은 1.0수준에 비해 크게 차이가 나지 않는 변동량을 나타내고 있지만, 60%(0.6)정도를 나타내는 0.1수준에 비해서 1.0수준은 약 75%(0.75)를 나타내고 있어 보다 높은 효과가 나타나고 있었고, 0.05수준은 50%(0.5)를 나타내었다.

<그림 12> R&D 투자정책에 따른 수준별 국가생산성 효과분석



특히, 정책결정자의 의지수준이 매우 미약한 0.01수준은 최종 국가생산성 활성화 정도가 20%(0.2)에 그쳐 1.0수준은 0.01수준에 비해 3배 이상의 효과를 보였으며, 다른 수준과도 효과에 있어 상당한 차이가 있음을 나타내고 있다. 이는 정책결정자의 의지수준에 따른 R&D투자정책의 수준이 높아질수록 투입된 초기년도 보다 약 4년 후부터 국가생산성은 큰 탄력성을 가지고 상승할 수 있음을 보여주는 분석

결과이다.

V. 결론 및 정책적 함의

본 논문에서는 지금까지 System Dynamic 분석방법을 통해서 국가생산성에 대한 R&D 투자정책의 효과에 대해 고찰해 보았다. 본 연구는 R&D투자정책은 OECD 국가를 포함하여 모든 국가에서 관심을 가지는 부분이기 때문에 지속적인 투자가 이루어지고 있으나 그 속성장 단기적인 효과가 잘 발생할 수 없다는 측면에서 장기적 효과를 살펴보아야 한다는 문제의식에서 출발하였다. 문헌검토를 통해서 R&D투자정책과 국가생산성의 중요한 변수들을 도출하였고, 지속적인 순환과정을 거치는 R&D투자정책과 국가생산성의 인과성에 착안하여 주요 변수들 전체를 시스템적으로 고려하였다.

본 논문에서 확인할 수 있었던 몇 가지 중요한 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 정책결정자의 의지가 낮아 R&D투자정책이 단기간 활성화되지 못할 경우 미비한 효과만이 발생하며, 발전속도도 정체되어 단·중기적 효과를 기대하기 어렵다. 즉, 미약한 R&D투자정책(R&D투자 및 서비스 R&D투자)은 국가생산성 증대에 큰 기여를 담당하지 못하게 되는 것이다. 둘째, 정책결정자의 의지가 보통이상으로 R&D투자정책이 상당부분 활성화될 경우 R&D투자정책은 높은 기술축적과 기술혁신을 단시간에 높임으로써 중장기적으로 높은 효과가 발생할 수 있음을 보여주었다. 이는 R&D투자정책에 대한 강화는 장기적으로 국가생산성을 높이는 데 기여할 수 있는 것으로 판단해볼 수 있을 것이다. 셋째, 강한수준의 R&D투자정책은 높은 기술축적과 기술혁신을 단시간에 급격히 상승시킬 수 있는 효과를 발생시킨다. 이는 중장기적으로 국가생산성을 크게 높일 수 있는 밑거름이 될 수 있는 결과이며, R&D투자정책의 효과성을 특히 강조될 수 있는 시뮬레이션 분석결과이다. 넷째, 기술혁신 및 총요소 생산성의 경우 R&D투자정책의 효과가 단기간에 나타날 수 있는 것으로 분석되어 미래의 장단기 투자정책으로 매우 효과성이 높을 수 분야인 것으로 나타났다. 마지막으로, 국가생산성의 민감도 분석을 통해서 국가생산성이란 거시변수는 R&D투자정책의 수준이 높아질지라도 잠복기간이 존재

함을 확인할 수 있었다. 비록 투자수준에 따라 그 변동시점을 앞당길수는 있었을 지라도 분명 단기간에 효과가 발생하지 않을 가능성이 내재한 것이다. 따라서, 단기적 효과부재로 인해 장기투자의 선택이 어려울 수 있으나, 거시 국가생산성의 속성¹⁸⁾을 인지하여 투자를 지속화할 필요가 있다.

이러한 몇 가지 연구의 함의에도 불구하고 다음과 같은 아쉬움을 내포하고 있다. 첫째, 초점화된 R&D투자정책 국가생산성의 관련성에 집중하여 국가생산성에 관련된 포괄적인 타 변수를 제외하였다. 물론, 초점화된 변수와 연관변수를 살펴봄으로써 정책적 함의 및 시사점을 도출하는 것이 보다 명료하지만, 거시적인 국가생산성을 살펴보는 데 있어 다양한 변수를 포함시킬 때 구체적인 시사점을 얻을 수 있을 수 있다는 측면에서 향후 이에 대한 연구가 수반될 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서는 연구자의 주관성을 배제하고자 시뮬레이션 모델링을 기초관계 균등화 모델링을 사용하였다. 이를 통해 보다 객관적으로 정책시뮬레이션을 제시할 수는 있으나, 이는 변수간의 우위성과 강도를 표현하기 어려운 시뮬레이션 방법이다. 또한, 기초관계 균등화 모델링은 실질적인 경제 변수들을 0과 1사이의 값으로 표현함으로써 실제 경제변수를 지나치게 단순화 시켜 실증적 연구로서의 한계를 내포한다. 물론 경제변수들의 실측값을 부여함에 따라 또 다시 주관성의 배제가 상당히 어려워질 수 있으나, 변수간 우위와 강도는 실제의 변화정도 및 시사점을 구체화하는데 도움을 줄 수 있다는 측면에서 후속연구에서는 이를 두 관점을 포괄하여 비교연구를 진행해 볼 필요가 있다.

셋째, 본 연구가 기본적으로 사용하고 있는 R&D투자와 경제성장의 관계모형은(하정훈·이동욱, 2009: 3) 관련된 모든 변수들이 총요소생산성에 긍정적인 양의 효과를 가져다준다는 가정을 하고 있다. 그렇지만, R&D투자가 언제나 ‘증대’의 효과만을 줄 수 있는지에 대해서는 연구를 통한 검증이 요구된다. 물론 다수의 연구들을 통해서 이러한 변수들이 양의관계에 있음을 보여준 바 있으나(이대탁 외, 2002; 오세홍 외, 2002; 고상원 외, 2004; 박선영 외, 2009), 그렇다고 항상 그러한 결과를 가져올 수 있음은 가정에 불과할 수 있다. 따라서 향후 이 모형에 대한 본 연구 결과의 타당성 확보를 위해 추가적인 검증이 다루어질 필요가 있다.

18) 국가생산성은 단순히 하나의 변수만이 연결된 것이 아니기에 변화의 속도와 영향력의 효과는 단기적으로 얻어내기 힘들다.

마지막으로, 본 연구에서 제시한 모형에 대한 타당성 검증이 이루어지지 않았다. 다만, R&D투자와 서비스R&D투자가 동시에 고려된 시점이 최근이기에 총합적으로 고려하기 어려웠을 뿐만 아니라 인지적 변수(의지, 인식)들의 존재로 인해 그러한 직간접적 비교가 어려운 부분이 있기 때문이었다. 따라서 향후의 연구에서는 이를 보완하고 과거실제수치와의 차이를 비교논의할 수 있는 모형타당성의 검증에 대해 심도있게 고민할 필요가 있다.

▣ 참고문헌

- 김도훈·김동환. 1997. “혼합게임을 위한 시스템 다이내믹스 모델: 경찰과 운전자간의 혼합게임.” 《한국행정학보》 31(2): 21-38.
- 김동환. 2000. “인과지도의 시뮬레이션 방법론: NUMBER.” 《한국시스템다이내믹스학회》 1(2): 91-112.
- 고상원·조명현·이경남·권지인. 2004. 《IT 기업의 R&D가 시장가치에 미치는 영향》. 정보통신정책연구원 연구보고 04-02.
- 김의제. 1999. 《우리나라 제조업의 성장요인 분석: 연구개발 투자의 생산성 분석을 중심으로》. 과학기술정책연구원 정책연구 99-18.
- 김창욱·김동환. 2006. “정책 부작용의 원인과 유형: 시스템 사고에 입각한 분석”, 《제1회 복잡계 컨퍼런스》.
- 박선영·송주미. 2009. “연구개발프로젝트 계획 공시에 대한 자본시장 반응.” 《경영연구》 24(2): 141-165.
- 서인석·권기현·김태진·이종구. 2009. “부동산버블 인과구조에 관한 연구: System Dynamics 분석을 중심으로.” 《한국정책분석평가학회보》 19(3): 331-360.
- 신태영·박병무. 1998. 《거시계량경제모형을 이용한 연구개발 투자의 정책효과 분석》. 과학기술정책연구원 정책자료 98-15.
- 오세홍·임수진·손소영. 2002. “국내 연구개발투자와 경제성장간의 인과관계.” 《기술혁신》 10(1): 65-82.
- 이대락·김명환. 2002. “연구개발비의 증가율이 기업의 성장성에 미치는 영향.” 《세무와 회계저널》 3(1): 5-31.
- 이동규·서인석·박형준. 2009. “주택정책 규제수단으로서 DTI 규제정책의 효과 분석.” 《

- 한국정책학회보》 18(4): 207-235.
- 이연희·이혜진. 2009. “IT서비스 기업의 연구개발 투자규모와 재무성과와의 관계분석.”
《한국IT서비스학회지》 8(3): 1-14.
- 정석환·주영중. 2005. “시스템다이내믹스 방법론을 이용한 정책과급효과분석: 성매매특별법을 중심으로”, 《한국행정학보》 제39권 1호, 219-236.
- 조상섭. 2009. “IT R&D와 경제성장.” 《월간유비쿼터스》 5월호, 132-141.
- 조윤애. 2004. “기업의 연구개발 과급효과 분석.” 《응용경제》 6(1).
- 최중서. 2009. “연구개발투자의 경제적 시차효과에 대한 시계열분석.” 《회계학연구》 34(1): 67-105.
- 하정훈·이동욱. 2009. “우리나라 연구개발투자와 경제성장의 관계 분석.” 《Kistep R&D focus》 2009-13호, 24: 1-31.
- Canibano, L., M. Garcia-Ayuso, and P. Sanchez. 2000. “Accounting for intangibles: a literature review”. 《Journal of Accounting literature》 19: 102-130
- Kandampully, J. 2002. “Innovation as the core competency of a service organization: the role of technology, knowledge and networks.” 《European Journal of Innovation management》 5(1): 18-26
- Lasswell, Harold D. 1951. “The Policy Orientation”. 《The Policy Sciences: Recent Developments in Scope and Method》. Stanford University Press.
- Meadows, Donella H. 1980. 《The Unavoidable A Priori Elements of the System Dynamics Method》. Massachusetts. The MIT Press

<모델 방정식>

<p>(수준(level) 및 저장(stock) 변수) R&D투자="R&D투자증대"-R&D투자감소 R&D투자증대=(1-"R&D투자")*(“R&D투자정책 의식강화”+국가생산성+정책결정자 의지)/3 R&D투자감소="R&D 투자"*0.1 서비스 R&D투자="서비스 R&D투자증대"-“서비스 R&D투자감소” 서비스 R&D투자증대=(1-"서비스 R&D투자")*(국가생산성+정책결정자 의지)/2 서비스 R&D투자감소="서비스 R&D투자"*0.1 지식축적=지식증가-지식감소 지식증가=(1-지식축적)*"R&D 투자" 지식감소=지식축적*0.1 기술혁신=기술진보-기술퇴보 기술진보=(1-기술혁신)*지식축적 기술퇴보=기술혁신*0.1 총요소생산성=총요소 생산성증대-총요소 생산성감소 총요소생산성증대=(1-총요소 생산성)*(모방 및 확산+기술혁신)/2 총요소생산성감소=총요소 생산성*0.1 국가생산성=국가 생산성증대-국가 생산성감소 국가생산성증대=(1-국가생산성)*(인적자본+자본축적+총요소 생산성)/3 국가생산성감소=국가생산성*0.1 인적자본=인적자본증가-인적자본감소 인적자본증대=(1-인적자본)*국가생산성*0.1 인적자본감소=인적자본*0.1 자본축적=자본증가-자본감소 자본증가=(1-자본축적)*국가생산성*0.1 자본감소=자본축적*0.1</p>
<p>(비율(rate) 및 유량(flow) 변수) 정책결정자 의지=(0.01 or 0.1 or 1.0) 정부관계자 인식전환="서비스 R&D투자" R&D 투자정책 의식강화=정부관계자 인식전환</p>