

창조경제혁신의 동태적 구조분석

원동규* · 유선희**

I. 서론

1. 연구내용 및 방법

미래창조과학부의 창조경제정책의 리더쉽 확립과 새로운 변화를 선도하기 위해서는, 과거와 같이 물자관리중심의 물리적 혹은 양적인 변화모색에서 벗어나 혁신관리중심의 새로운 틀로 질적 변화가 요구되고 있으며, 그 핵심에는 창조기반의 새로운 국가연구개발체제를 통한 국가혁신체제 구축에 있다고 하겠다. 따라서 본 연구에서는 새로운 국가과학기술행정체계의 변화된 모습인 국가 R&D창조경제체제 개념 하에서의 변화를 시스템 동학(system dynamics)의 방법론 관점에서 동태적으로 예측해보고자 한다. 시스템 동학 방법론은 기업의 경영전략, 연구개발 혹은 국가간 무기경쟁 이슈 등 동태적 시스템 연구에 적용되면서 발전하여 왔다. 정부의 연구개발 검증 및 평가기관의 기술적 효과성에 관한 조사연구(Wachold, 1963), 연구개발조직의 동태적 행태 분석(Welles, 1963), 연구개발시스템 분석(Nay, 1965) 등에 사용되었다. 이후 연구개발과 관련한 적용사례인 프로젝트 관리의 동태성에 관한 연구(Ford, 1995), R&D 커뮤니티의 성장과 확산(Rose, 1990), R&D 네트워크의 진화(Zirulia, 2004), R&D 자원할당과 관련한 관리적 통찰력을 제공하기 위해 시스템 다이내믹스 방법론을 적용한 연구(Hansen et al., 1999) 등에 관한 연구가 동 방법론을 활용하여 진행된 바 있다. 동 연구에서는 우선, 새로운 과학기술행정체계의 구체적인 내용을 확인하고, 다음으로 새로운 과학기술행정체계의 핵심인 국가연구개발 창조경제체제와 다양한 국가연구개발투자로 촉진되는 성과확산의 구조를 분석하고자 한다. 이러한 연구를 위해서 시스템다이내믹스(System Dynamics) 분석방법을 사용한다.

2. 우리나라 R&D 지배구조의 변화

우리나라 과학기술정책은 1, 2공화국에 과학교육국이 설립되면서 정부주도의 기술발전전략을 구축하기 위한 기반이 마련되었으며, 원자력 연구소 및 KIST 설립 등 정부의 적극적인 개입이 시작되었다. 3, 4공화국의 경우, 과학기술전담 행정부서 설치(과기처)로 행정조직의 일원화 등 과학기술진흥법 및 기술개발촉진법 제정, 기술금융 등 다양한 정책 수단이 활용되었다. 5공화국의 경우, 정부출연연구소가 통폐합되는 등 과학기술행정체제의 변화가 이루어 졌으나, 국가연구개발사업 추진 등을 통해 중앙집권적이고 일원화된 행정체제가 구축되었다. 6공화국 이후 참여정부까지 정보화 사회의 진전 및 전 세계 시장개방 등 대내외적인 환경 변화로 과학기술 행정체제의 조정기능이 강화되었고, 과학기술자문회의 신설, 과기처가 과학기술부로 승격, 국가과학기술위원회 신설 등 국가연구개발사업에 대한 조사/분석/평가 사업의 시행으로 국가차원의 연구개발 사업의 종합조정이라는 틀이 갖추어 졌다. 그리고 이명박 정부에서는 교육기능과 과학기술기능이 연계되면서 인재양성과 기초역량확보에 중점을 두었다. 한편, 박근혜정부는 조정기능보다는 창조기능이 강화되었고, ICT기술을 통한 기술의 융합화와 부가가치제고에 역점을 두고 있다. 반면에 국가과학기술 위원회

* 원동규, 한국과학기술정보연구원, 책임연구원, 02-3299-6053, dkwon@kisti.re.kr

** 유선희, 한국과학기술정보연구원, 책임연구원, 02-3299-6054, sunny@kisti.re.kr

가 폐지되고 내부화됨으로써 결과적으로 행정체계상으로는 종합적인 하향식 조정보다는 상향식 창조적인 기술개발에 역점을 두고 있는 체계를 구축하고 있으며, 미래전략기능을 강화함으로써 과학기술을 국가미래전략의 선제적이고 경제추동적인 핵심 플랫폼화 하고 있는 특징을 가지고 있다.

<표 1> 각 정권별 R&D지배구조의 내용

구성요소		국민정부('98-'02) 김대중	참여정부('03-'07) 노무현	이명박정부('08-'12) 이명박	박근혜정부('13-'17) 박근혜
행정조직	변화요소	-과학기술처에서 과학기술부로 승격	-과학기술부 부총리부처로 승격 -과학기술혁신본부 신설 과학기술장관회의 신설	- 교육과학기술부로 통합부처 - 2차관 - 과학기술혁신본부 폐지	-미래창조과학부로 통합부처 -2차관(과학기술,정보통신)
	지속요소	-과학기술행정체제 강화	-과학기술행정 체제의 통합화/일원화	-고등교육기능과 연계한 기초역량 확보	-ICT와 연계한 과학기술 주도
연구개발체제	변화요소	-국가과학기술위원회 신설	-과학기술의 기획조정평가 기능 강화	-국가과학기술위원회 효율화(간사 : 교육과학수석) -교육과학기술자문위원회	-국가과학기술위원회폐지(미래부로 내부화)
	지속요소	-중앙집권적 혁신체제 -부처별 분산적 연구개발체제 구축	-중앙집권적 혁신체제 -부처별 분산적 연구개발체제 구축	-중앙집권적 혁신체제 -부처별 분산적 연구개발체제 구축	-중앙집권적 혁신체제 -부처별 분산적 연구개발체제 구축
정책 및 행정수단	변화요소	-정부출연연구소 연합이사회 체제 -국과위(예산사전조정), 예 산처(예산편성) -21세기 프론티어, 창의연구 사업 -벤처기업 육성, 기술이전 촉진	-이공계 정부 출연연구소와 연합이사회 국가과학기술 위원회로 이관 -국가연구개발예산 편성체제개편(국과위: 예산배분) -연구개발성과평가 및 성과 관리강화 -차세대성장동력사업 추진	-기초기술연구회(교과부) -산업기술연구회(지경부) -국가연구개발예산 편성체제 개편(국과위 : 배분방향, 기재부: 예산편성) -연구개발성과평가 및 성과 관리강화 -차세대성장동력사업 추진	-미래부 산하로 출연연 및 연구회 이전 -정보통신기술(ICT)과 과학기술의 융합·혁신으로 일자리와 신성장동력을 발굴 -국민행복기술개발
	지속요소	-국가연구개발사업 지속	-국가연구개발사업지속 및 대형화	-국가연구개발사업지속 및 창조와 실용화 강조	-국가연구개발사업지속 및 창조경제강조

II. 국가창조경제체제

1. 창조경제의 개념과 적용

일반적으로 창조경제(Creative Economy)는 산업화시대, 정보화시대, 지식기반경제를 잇는 새로운 경제 패러다임으로 1990년대 후반 영국 및 UN을 중심으로 문화산업, 도시 및 지역정책 분야에서 활발하게 논의되고 있는 개념으로서, UN은 2008, 2010년 'Creative Economy Report'를 발간하고 UNESCO는 2002년 창조 도시 네트워크를 구축하는 등 국제기구도 창조경제 관련 논의와 정책을 지속적으로 수행하고 있다¹⁾.

이러한 창조경제라는 개념의 등장배경에는 세계적 장기 경제침체 극복을 위한 신성장동력 창출과 일자리문제 해소를 위한 새로운 경제체제의 본격적 모색에 기반 할 뿐 만 아니라 그러한 산업적인 근간에는 창의적 아이디어 기반의 소프트웨어가 세계적인 경제발전의 새로운 동인으로 등장

1) 2005년 8월 Businessweek는 창조경제 시대의 도래를 언급하고, 앞으로 경제 패러다임은 지식(knowledge)에서 창조성(creativity)으로 중심이 이동하는 창조경제 시대 도래를 언급하였다.

하고, 대표적 창조기업인 애플(Apple), 페이스북(Facebook) 등은 기술, 사용자 생태계 기반의 혁신적 시장을 구축한 것도 크게 작용하였다.

호킨스(Howkins)는 창조생태계란 새로운 아이디어를 시스템적이며 수용적인 방법으로 이해할 수 있는 틈새분야이며, 새로운 아이디어를 인정해 주는 것이 주요 특징이라고 정의하였다. 또한 창의성과 관련된 생태계적 사고의 네 가지 요소로 다양성, 변화, 학습, 적응을 제안하고, 아이디어의 진화는 사회구조와 연관됨을 주장하였다. 특히 이러한 창조생태계 역량은 기술, 비즈니스, 마케팅 등에서 혁신을 이끄는 역동적 과정으로 경쟁우위를 획득하기 위한 다양한 활동을 포괄하여 창조기업, 창조계층, 창조도시 등 창조 경제 패러다임에서 새로운 가치를 창출할 수 있는 생태계를 구축하게 해준다. 과거 산업구조는 각 역할 별로 고정되어 경계가 분명하고, 하나의 산업분야에만 집중 했지만 최근 기업은 해당산업 전반에 참여하여 여러 산업사이에서 비즈니스 생태계가 발생한다. 예를 들면, 애플(Apple)과 페이스북(Facebook)은 앱 스토어 등을 통한 서드 파티(third party)소프트웨어 가치사슬을 통해 수익을 창출하고 있다. 한편, 본 글에서는 창조경제란 ‘경제성장과 발전 잠재성이 있는 창조적 자산에 기반한 진화론적 개념으로 창조적 자산을 생산하는 모든 경제 활동’으로 정의하고자 한다.

2. 박근혜정부의 창조경제론

박근혜정부는 2012년 8월 창조경제론, 2012년 12월 공약집, 2013년 2월 국정과제 등을 통해 미래 우리나라 경제를 이끌어갈 새로운 경제발전 패러다임으로 ‘창조경제’ 개념을 구체화하였다. 이를 요약하면 첫 번째, 핵심가치를 과학기술과 인적자원으로 제시하고 우리나라 미래 경제를 이끌고 세계 시장을 선도하기 위한 추격형 경제에서 선도형 경제로의 패러다임 전환하자는 것이다²⁾. 둘째, 과학기술 등 모든 분야에 상상력과 창의성을 접목하여 산업 융합 촉진을 통해 새로운 성장동력과 시장, 특히 일자리를 창출하기 위한 정책을 발현하자는 것이다. 셋째, 과학기술정책 패러다임을 생태계 창조형 R&D로 전환하고, 과학기술과 아이디어·상상력을 융합한 신성장동력³⁾, 실용기술활용⁴⁾, 사회이슈해결⁵⁾, 과학기술서비스⁶⁾ 및 거대전략기술 기반산업⁷⁾ 등 과학기술을 통한 창조산업을 육성하자는 것이다.

한편 박근혜 정부 창조생태계는 연구개발 주체, 기반 등 하위 생태계로 구성 되어 있으며, 새로운 생태계와 가치사슬 창출을 통한 R&D 지원을 강조하는 등 국가 차원의 과학기술과 산업 중심의 생태계 모델을 제시하고 있다. 먼저, 창업·창조산업 생태계는 산·학·연과 지역 연계를 통해 지역 대학, 산업, 연구소, 지자체를 과학기술을 매개로 하는 융합 공동체로 육성하고 창업과 신산업 창출 생태계 조성을 의미한다. 두 번째, 창조형 R&D생태계는 기술·지식 확보가 목표인 현재 분절형 R&D를 신산업 창출을 위한 일련의 과정을 통섭하는 ‘생태계 창조형 R&D’로 전환하자는 것이다. 세 번째, 협력적 기업 생태계는 대기업·협력 중소기업간 상생협력을 통해 중소기업생산성·기술력 제고, 성과공유제 도입 확대, 기업의 공유가치창출(CSV) 활동 활성화 등 경제 민주화의 내용을 근간으로 하고 있다. 네 번째, ICT 생태계는 개인권리 침해 정보에 대한 통신심의 축소, 산업 위축 규제 개선과 인터넷 신산업 육성, 콘텐츠(C)·플랫폼(P)·네트워크(N)·디바이스(D)를 아우

2) 창조경제 개념과 주요국 정책 분석 (차두원 · 유지연, 2013, kistep)

3) 과학기술에 기반한 미래예측으로 유망 성장동력을 발굴하고, 문화콘텐츠·SW·인문·예술과 융합

4) 사업화·창업 아이디어와 기술 보유자, 투자자를 매칭하고, 제품화를 위한 후속 R&D와 공공구매 연계 등 지원

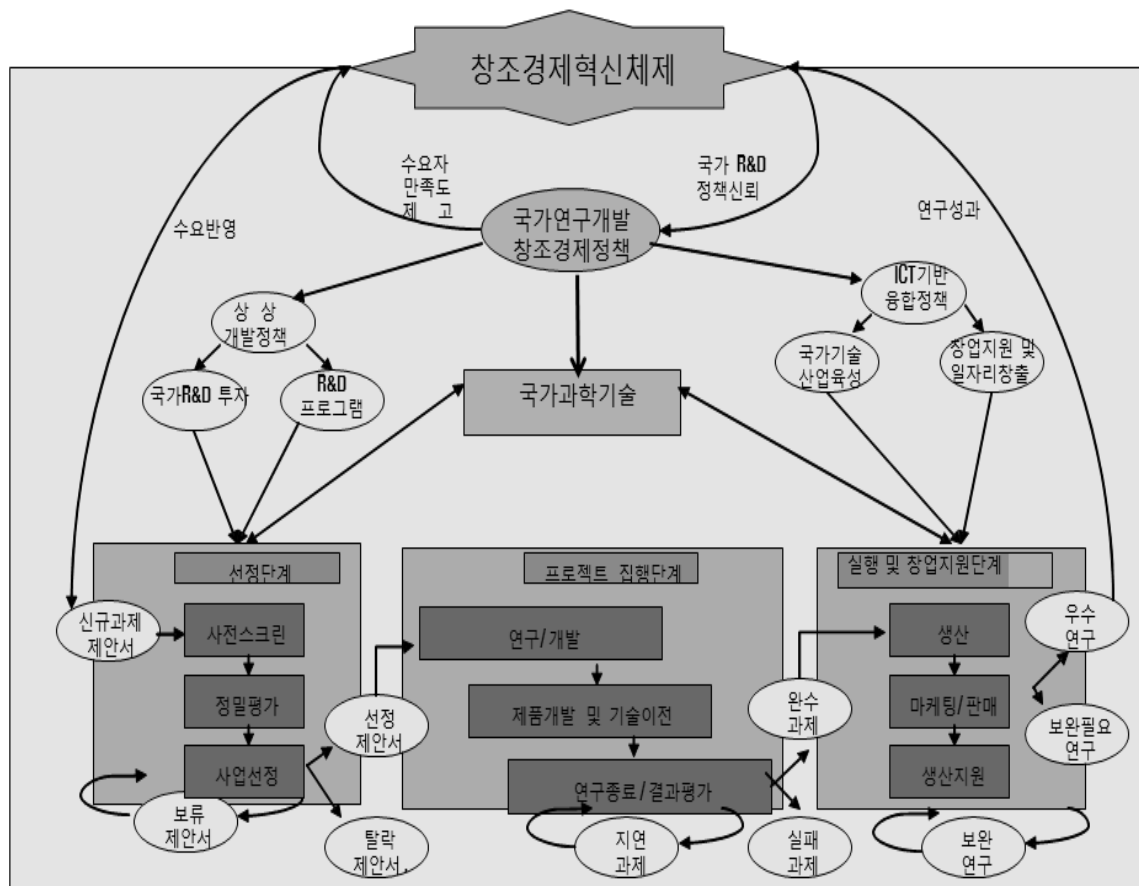
5) 고령화·에너지 등의 국가당면 이슈를 해결하고, 사회복지·안전 등 공공 시스템과 연계한 신시장 창출 지원

6) 빅데이터·초고성능컴퓨팅 등을 활용한 공공·민간 서비스 확대와 이를 통한 서비스산업 육성 등

7) 우주발사체·인공위성, 대형 가속기, 원자력 등 대형 국가 프로젝트 민간 개방으로 산업생태계 구축

르는 혁신적 정보통신 생태계조성을 의미한다. 다섯 번째 지식 생태계는 과학벨트를 과학·문화·산업이 융합되는 지식생태계로 조성하고 기초 과학연구원은 인근 대학·연구소, 기업체와의 소통과 융합 중심기관이 될 수 있도록 열린 공간으로 추진하자는 내용을 담고 있다. 여섯 번째, 지식재산 생태계는 지식재산이 효율적으로 창출→보호→활용 등이 가능한 지식재산 시장 생태계 조기 구축을 의미한다.

한편 이러한 목표를 근간으로 새로운 체제개편의 내용으로는 다음과 같다. 첫째, 향후 5년 간 창조경제 기반 조성 및 성과창출을 위해 (1) 단기적으로 일자리 창출과 경제 성장을 위한 융합중심 신산업 창출, (2) 장기적으로 신산업을 뒷받침하고 미래성장동력 창출 등을 위한 two-track 전략 추진한다는 것이다. 둘째, 이를 위해서 창조기반의 상상개발의 활성화와 모든 기존 산업의 성과와 부가가치 창출을 위한 ICT기반 융합체제구축이다. 이러한 체제개편의 내용에 따라 새롭게 구성된 국가과학기술 창조경제혁신체제를 가시화하면 다음 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 국가과학기술 창조경제혁신체제

3. 국가혁신체제의 지식창조기반

우리나라의 지속적인 연구개발 지출규모의 증가는 크게 두 가지 의미를 갖는다고 할 수 있다. 첫째는 무형자산인 연구개발 기술과 지식기반의 증강을 의미하고 둘째는 그것이 유형이든 무형이든 간에 네트워크를 통하여 이러한 무형자산들이 국가혁신시스템에 연동되어 경제적인 부를 창출하는 기능을 발휘한다는 것이다. 예컨대, 사회의 지식창출기능과 생산기능 및 서비스기능이 상호

연동되어 연계체계(linkage mechanism)를 형성하여 1, 2, 3차 산업 전반에 걸친 ‘지식기반 창조경제화(knowledge based creative economy)’가 실현됨을 의미한다고 할 수 있다. 즉 우리나라의 연구개발 부문이 투입에 비해 성과가 미흡하다거나 국가연구개발사업의 산업화 실적이 저조한 근본적 이유는 이러한 ‘지식기반 창조경제’ 관점에서 재해석되어야 할 것이다.

그동안 각 부처는 정부출연(연) 및 국공립 연구소를 통해 기술개발에 장기간을 요하거나 실패위험이 높은 연구과제를 중심으로 국가연구개발을 수행함으로써 민간기업의 ‘시장실패(market failure)’를 보완하는 기능을 담당하였다. 하지만 ‘지식기반 창조경제’하에서는 혁신체제론적인 정부의 역할과 기능이 필요하다고 할 수 있다. 이러한 관점에서는 시장에 대응하는 시스템적인 시각이 필요하며, 이때의 시스템은 혁신능력(innovating capability), 동학(dynamic), 보편성(ubiquity) 등을 특징으로 하고 있다.

즉 기존 고전적 경제학에서 논의되고 있는 균형이란 애초부터 없다고 전제하고 있으며, 경제활동에 있어서 재생산되는 것은 항상 새로운 요소를 내포하면서 진화한 것으로 파악하고 있는 것이다. 따라서 직접적으로 지식창출을 하는 R&D 활동 뿐 아니라 일상적인 생산, 마케팅 활동을 통해 새로운 지식이 창출되는 혁신이 이루어진다고 보는 것이다.

하지만 현재 우리나라의 국가연구개발사업은 그동안 부처별로 기획 수행 추진되고, 개별사업 단위로 관리되는 실정이어서 지식기반 관련기술과 같이 이종 기술 간의 시너지 효과를 유발하는 기술을 개발하는 데는 매우 부적합한 체제였다. 따라서 창조경제혁신을 주창하고 있는 현행 미래창조과학부체제에서는 국가혁신체제상의 지식의 흐름도 지식창출 주체들에 의한 스피노프형(spino off: 특정 주체간에 정보유통)기술확산보다는 지식을 효율적으로 생산, 이용, 배분할 수 있는 효율적인 사회인프라를 창출하는 스피노버형(spill over: 불특정 다수에 대한 정보유통) 기술혁신을 추구해야 하며, 이러한 기술적 성과를 경제적 생산과 연계하는 적극적인 노력이 요구된다.

III. 국가혁신체제의 동태론적 분석들

1. 국가혁신체제의 동태성(System Dynamics)

혁신이론에서 시스템적 접근의 확장은 조직과 제도라는 단순히 혁신체제의 구성요소로의 확장뿐만 아니라 구성요소간의 관계로의 확장에 대한 분석이 이루어졌다. 학습과정에서의 핵심은 구성요소간의 상호작용이기 때문에 혁신체제에서 관계는 주로 경제학에서 다룬 시장뿐만 아니라 비시장관계, 조직과 제도, 제도와 제도간의 관계까지 확장되고 있다. 특히 혁신의 성과는 단순히 투입자원의 양으로는 설명이 안되는 오히려 혁신과정에 참여한 다양한 행위자의 네트워크의 특성이 혁신의 성과를 더 잘 설명할 수 있다는 연구결과가 잇따라 나오고 있다.

따라서 국가혁신체제를 시스템적인 시각에서 접근한다고 할 때, 혁신능력(innovating capability), 동학(dynamic), 보편성(ubiquity)의 요소를 중심으로 접근해야 한다. 여기서 혁신능력이란 비선형적인(파괴적인) 변화능력을 의미하며, 이에 따른 행태변화를 동태적인 변화(dynamics)라고 할 수 있다. 한편 이러한 변화는 (정책적) 조정가능한 인과적 연계성을 갖는다는 차원에서 보편적 존재(ubiquity)양상을 갖아야 한다. 그리고 이를 방법론적인 측면에서 분석한 것이 시스템 동학(system dynamics)으로 이는 시스템의 동태성(dynamics) 즉, 변화하는 행태를 설명하고자 하는 것을 목적으로 한다. 그리고 이러한 방법론은 시스템의 동태성을 가져오는 원천으로써 시스템의 피드백 구조(feedback loop)를 상정한다⁸⁾.

8) 시스템 다이내믹스는 1960년대에 MIT의 Jay Forrester 교수에 의해 거의 독자적으로 개발되었다. 그는

일반적으로 시스템 다이내믹스는 무엇보다도 동태적으로 변화하는 시스템의 행태(behavior)를 시스템의 구조(structure)에 의해 설명해야 한다는 관점을 견지한다. 여기에서 시스템의 행태란 시스템을 구성하는 변수의 값이 시간이 지남에 따라서 혹은 다른 변수의 변화에 따라서 어떻게 변화하는가를 의미하며, 궁극적으로 시스템의 구조는 시스템 다이내믹스의 시뮬레이션 모델에 있어서 피드백 구조로 표현되며, 시스템의 행태는 시뮬레이션이 진행됨에 따라 모델을 구성하는 변수들이 지니는 값의 변화로 표현된다.

따라서 시스템 다이내믹스 학자들은 수치적인 정확성을 추구하는 대신 상식적인 피드백 구조가 산출해 내는 시스템의 구조적인 변화에 초점을 둔다. 즉 시스템 다이내믹스는 비록 계량적인 시뮬레이션을 수행하지만, 수치의 정확성을 추구하지 않는다⁹⁾. 이러한 점에서 시스템 다이내믹스는 계량적인 접근이라기보다는 질적인 접근에 더 가깝다고도 할 수 있다(Coyle 1998). 시스템 다이내믹스는 거시적차원에서는 도시 및 산업문제들을 포함한 다양한 사회 및 경제문제에 대한 이해나 해결책을 모색하기 위하여, 그리고 미시적인 차원에서는 인간의 의사결정행위에 대한 이해를 증진시키기 위한 방법으로 광범위하게 응용되어 왔다.

시스템 다이내믹스 접근방식의 특징은 첫째, 기본적인 관심의 대상을 연구하고자 하는 특정 변수가 시간의 변화에 따라 어떻게 변화해 가는가에 두기 때문에 모델 파라미터의 정확한 측정이나 변수의 추정값을 구하기 보다는 관심의 대상이 되는 변수의 시간의 흐름에 따른 역동적인 변화의 경향(안정적, 불안정적 경향, 상하 주기적인 파동을 보이는지 또는 성장과 쇠퇴를 보이는지 그렇지 않다면 평형상태를 유지하는 지 등)에 보다 큰 관심을 둔다는 점이다(Meadows, 1980).

두 번째 특징은 시스템 다이내믹스 개념의 기본적인 시각이 사회의 모든 현상을 피드백 시스템의 관점에서 이해한다는 것으로 어떤 변수의 동태적인 변화를 다른 변수와의 복잡한 인과관계의 연결고리 속에서 야기되는 역동적인 양방향의 상호작용(two-way causation or feedback)에 의하여 일어나는 것으로 파악한다는 점이다. 즉, 시스템 다이내믹스의 핵심은 어떤 사업의 복잡한 구조에 감추어져 있는 시종일관성이 있는 유형들을 인식하는데 있으며 시스템이론은 시간에 따른 전체적인 관계성을 모델링하고, 연구하고 통합하는 하나의 방법과 기법을 우리들에게 제공한다. 그런 까닭에 시스템 이론은 상이한 현상들을 서로 분리시켜서 보는 것이 아니라 어떻게 상이한 현상들이 상호 연결되어 있는가를 인지하고 이해하게끔, 그리고 움직이지 않는 화면들 대신 변화와 유형의 과정들을 보게끔 도와준다(Senge, 1990). 이때 컴퓨터의 도움을 받음으로써 훨씬 정확하게 현상을 파악하는 것이 가능해진다.

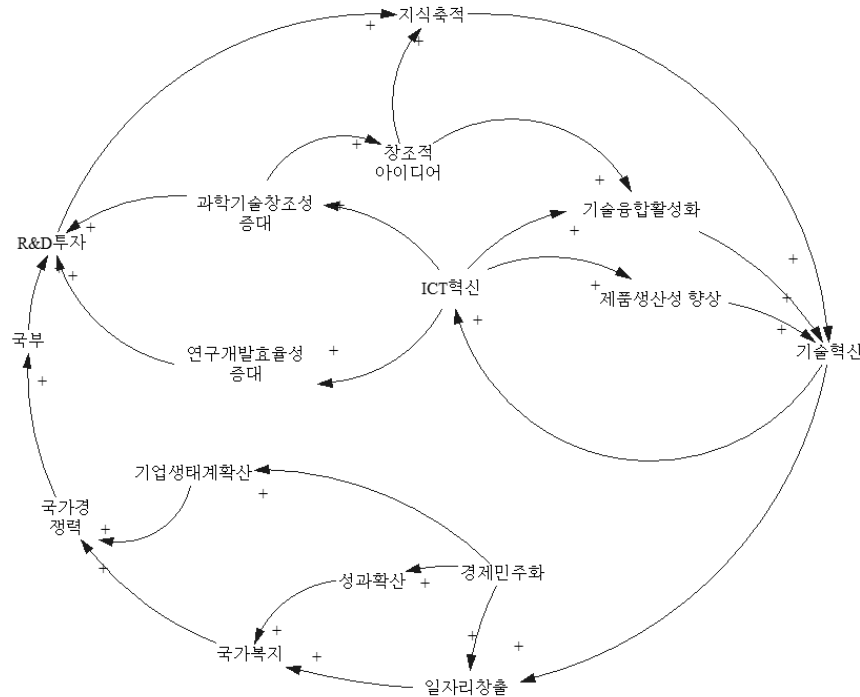
2. R&D투자와 창조경제성장에 관한 인과지도 작성

일반적으로 혁신은 교육과 R&D를 꼽는다. 그러나 대부분의 경우 혁신은 일상적인 경제활동내에 배태된 다양한 학습과정의 결과이다. 그러므로 생산자의 효율성을 증가시키는 수행by using), 사용자와 생산자의 상호작용 효율성을 증진시키는 상호작용을 통한 학습(learning by interaction)이 혁신의 핵심을 이룬다. 전통적인 혁신연구에서는 R&D시스템 내로 투입되는 자원에 관심을 갖는 반면, 혁신 시스템은 전체적인 접근방식을 취한다. 혁신시스템에는 혁신에 영향을 미치는 경제

Industrial Dynamics(1961), Urban Dynamics(1969), World Dynamics(1971)를 연속하여 출판하면서, 시스템 다이내믹스의 기본 논리와 방법론을 구축하였다.

9) 따라서 시스템 다이내믹스 학자들은 경험적 데이터에 대해서 그다지 중요하게 생각하지 않는다. 숫자로 표현되어 있는 경험적 데이터들에 못지 않게, 숫자로 표현되기는 어렵지만 상식이나 직관 또는 전문적 지식에 근거하여 짐작할 수 있는 변수들간의 인과관계와 피드백 구조가 더 중요하다고 생각한다. 비록 경험적인 데이터에 의한 증거가 없다고 하더라도, 시스템 다이내믹스 학자들은 자신의 상식이나 직관에 근거하여 두 변수간의 인과관계를 수식으로 설정하곤 한다(김동환, 2000).

적 요소와 더불어 제도적, 조직적, 사회적, 정책적 요소가 포함된다. 이러한 측면에서 혁신시스템의 접근방식은 요소들을 밝힘과 동시에 요소들 간의 관계가 먼저 분석되어야 하며, 이러한 분석방법이 시스템 다이내믹스에서의 인과지도의 구성이다.



(그림 2) 국가혁신체제의 인과지도

즉, 인과지도(causal map)는 여러 변수들 간의 인과관계들을 피드백 구조에 초점을 두어 종합화하는 도식으로, 시스템 다이내믹스 모델링을 수행하기 전 단계의 분석 도구로 활용되어 왔으며, 피드백 루프를 발견하는데 효과적인 도구로 활용되었다.

먼저 국가혁신시스템에 있어서의 이러한 피드백 구성을 위한 기본 전제를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 국가 R&D투자를 포함하는 연구개발 활동은 국가 R&D사업을 통해 지식축적에 영향을 주게 된다는 것이다. 그리고 이는 지식축적을 통해 기술혁신을 초래하거나 혹은 점진적인 생산성 향상을 가져오게 된다고 할 수 있다. 둘째, 일반적으로 지식축적은 기술진보를 가져와 노동, 자본과 함께 성장에 직접적인 효과를 가져다주는데, 이 과정에서 기술진보는 노동과 자본의 투입에 따른 수확체감 현상을 상쇄시키는 역할을 하게 된다. 그리고 지식축적과 기술진보는 인적·물적 자본의 투자 수익률 증가를 가져오므로, 노동이나 자본 등 다른 생산요소의 효율성 증대를 통해 성장에 간접적인 효과를 줄 수 있다. 셋째, 지식축적에 의한 성장확대는 R&D투자 확대의 인센티브로 작용하는 한편, GDP 일정 부분만큼 기업과 정부의 R&D투자 자금을 확보할 수 있도록 하여, 또 다른 기술혁신을 이룰 수 있는 원동력으로 작용한다 즉 R&D 투자에 의해 이룩된 높은 경제성장은 기업들의 이윤증가, 정부의 예산 증가 등을 통해 다시 민간 및 공공부문의 R&D투자를 증가 시킨다(김정홍,2003:206-207). 이러한 현상을 룬드벌(Lundvall)은 기술과 성장간의 ‘누적적 인과관계’(cumulative causation)라 하였다¹⁰⁾.

10) 그는 R&D와 기술혁신이 일국의 기술능력을 제고시켜 자본축적을 통해 경제성장을 가져오며, 성장은 다시 선진기술에 대한 투자 자원이 되는 동시에 인센티브가 된다고 하였다 (Pianta,1995:177).

한편, 기술진보는 제도적인 요인, 특히 규제개혁의 피드백과정을 통해 더욱 촉진될 수도 있다. 기술진보를 이룬 기업은 기존의 독점기업의 시장 점유율을 잠식할 것이고, 이것은 독과점규제의 완화를 가져올 것이다. 또한 규제완화는 기술혁신을 자극, 생산성의 급속한 향상을 통해 제품가격 인하와 핵심기술의 확산을 가져올 것이다.

이처럼 정부도 기술과 관련된 각종 제도와 정책변경을 통해 지식축적에 영향을 줄 수 있다. 과학기술행정체제 개편을 통해 새롭게 구축된 국가혁신시스템에서는 R&D투자-> 지식축적-> ICT 기반 혁신->기술혁신 및 융합활성화-> 총 요소생산성 향상을 통한 일자리창출-> 경제성장-> 새로운 R&D투자 등으로 이어지는 선순환 메커니즘을 더욱 빠르게 가동시킬 수 있게 하고 있다. 특히 ICT기반 혁신과 일자리 창출은 최종 성과인 국부창출로 이어지는 중간체인역할을 수행할 수 있다.

3. 동태분석을 위한 시뮬레이션 모델 설정

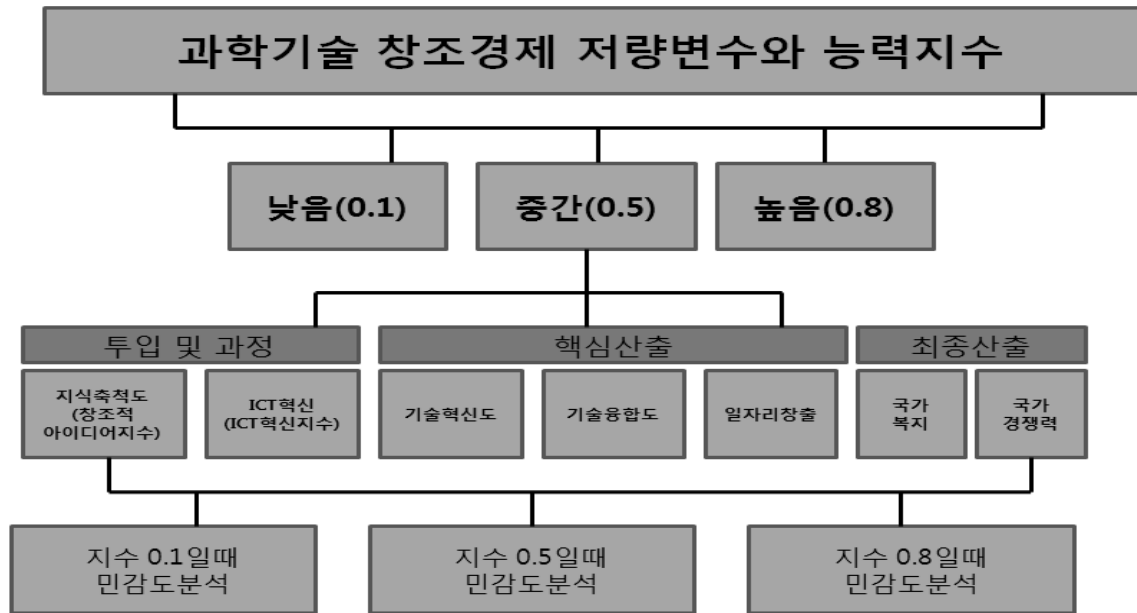
본 연구에서는 연구자의 사고를 가능한 한 배제하면서 정책결정자의 인과지도(인지지도)를 시스템 다이내믹스 모델로 전환시킬 수 있는 방법 중의 하나인 "기초관계 균등단위 모델링(Normalized Unit Modelling By Elementary Relationship, NUMBER)"을 이용하여 인과지도의 내용을 시스템 다이내믹스 모델로 전환하고자 한다. 여기서 "기초관계 균등단위 모델링"이란 저장(수준변수)과 유량(변화율 변수)간의 관계를 모두 기초적인 관계로 설정하고, 이들 변수들의 측정 단위를 0에서 1까지의 값으로 균등화시키는 것이다¹¹⁾(김동환,1999). 즉, 주관적인 개념으로서의 낮은 값(예를 들면 국가경쟁력 저조)을 0에 가깝게 설정하고 높은 값(국가경쟁력 최고)을 1에 가깝게 설정한다. 0과 1은 변수의 최소값과 최대값으로서 그 이하나 그 이상의 값은 존재하지 않는 것으로 간주한다. 하지만 함수에 의한 계산 시 1을 넘어갈 수 있기 때문에, 계산항의 수 (+, - 로 구분)로 나누어 주어 이를 보정하여야 한다.

한편, 기초관계 균등단위 모델링에서는 저장(수준변수)과 유량(변화율 변수)간의 모든 관계(구조)들을 기술적으로 동일하게 설정해 준다. 즉 일반적인 관계구조를 균등단위를 유지하도록 특화시킨다. 일반적으로 시스템 다이내믹스 모델에서는 수준변수가 증감율을 통하여 곧장 증가유량이나 감소유량에 영향을 주기 보다는 다른 수준변수들에 영향을 주고 그 결과가 다시 증가유량이나 감소유량에 투입되는 방식으로 피드백 구조가 형성된다. 이 밖에 기초관계 균등단위 모델링에서는 시스템 다이내믹스 모델링에서 사용되는 다양한 함수들을 사용할 수 있다¹²⁾. 특히 물질적 시간지연을 표현하는 Delay함수나 정보의 시간지연을 표현하는 Smooth 함수들을 자유롭게 사용할 수 있다. 또한 그래프 함수 또는 참조함수(Look-Up Function)로 불리는 사용자 정의 함수도 사용할 수 있다. 단 사용자 정의함수를 설정할 때, 변수의 값을 0에서 1사이로 정하여야 한다.

(그림 3)에서와 같이 본 연구에서는 국가연구개발 창조경제 수준 저량의 초기값과 능력지수 상수 값이 낮은 경우, 중간인 경우 그리고 높은 경우를 상정한다. 그리고 이와 같은 국가혁신체제상의 투입, 과정 및 산출에 해당 하는 8대 저량 변수값 변화의 민감도를 분석한다. 국가연구개발 창조경제 수준 초기값 및 지수 상수값이 0.1, 0.5, 0.8 일 때에 대한 8대 저량 변수값의 변화 방향과 내용의 민감도를 분석하여, 동 과학기술행정체제 개편의 미래의 영향을 예측하고 정책적 함의를 도출한다.

11) 이 방법론은 역으로 0에서 -1까지로 변환하여 활용가능하다.

12) 본 연구방법론은 김동환(1999)의 연구결과에 많은 도움을 받았다.



(그림 3) 동태모형의 시뮬레이션 적용 설계

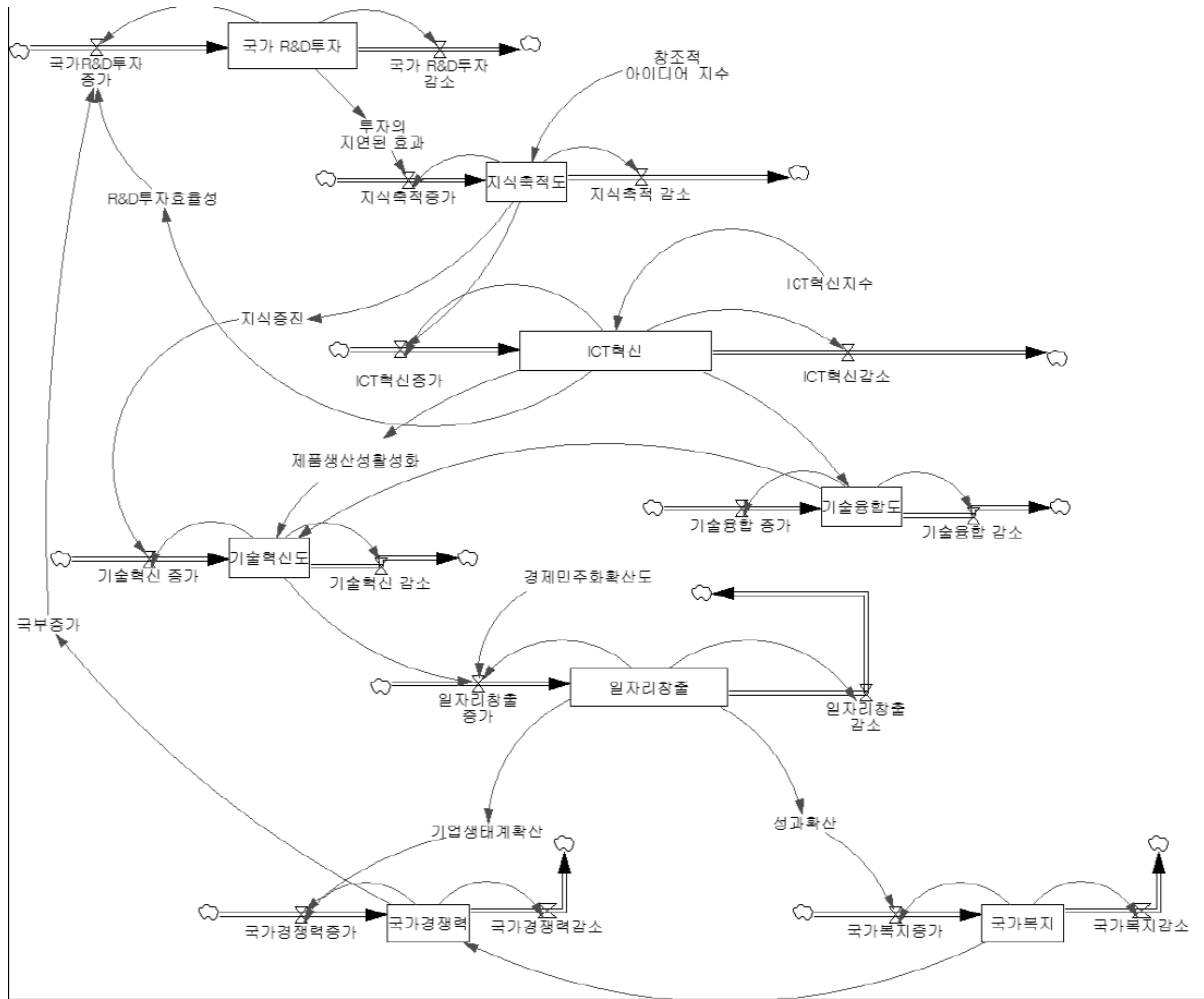
IV. 동태모형구성 및 시뮬레이션

1. 동태모형의 구성

시뮬레이션 모델에서는 국가 R&D투자, 지식축적도, ICT혁신, 기술혁신도, 기술융합도, 일자리창출, 국가복지, 국가경쟁력 등 8개 변수를 저량(stock)으로 간주하고, 나머지 변수들을 유량 혹은 보조변수로 간주하였다.

(그림 3)의 국가창조혁신체제의 저량/유량 모델에 관하여 간략하게 개관해 보면, 먼저 R&D수행이라는 변수는 유량으로 표현되어 있다. 이러한 국가 R&D수행에 영향을 미치는 변수는 R&D투자 와 창조적 아이디어 지수라는 보정계수에 영향을 받는다고 가정하였다. 여기서 이러한 창조적 아이디어 지수는 국가기술혁신의 지식학습과정에 중요한 요인이라고 가정하였다. 그리고 R&D수행 을 통해 이루어진 지식축적(연구결과물 등 성과포함) 변수는 ICT혁신지수로 표현되는 ICT혁신능 력과 저량의 영향을 받아 기술혁신도와 기술융합도를 증진시키는 것으로 가정하였다. 이는 결국 벤처 및 중소기업등을 통한 일자리 창출을 통해 국가복지 및 국가경쟁력으로 이어지고 국부증가 를 통한 국가 R&D 투자로 피드백 된다고 가정한 것이다. 그리고 여기서 국가 R&D투자 및 국부 증가 등의 영향은 곧 바로 이루어지기 보다는 그 효과가 서서히 나타난다고 보아 지연된 효과를 나타내는 함수들을 삽입하였다¹³⁾. 여기서 시뮬레이션은 창조경제를 위해 새롭게 구성되어야 할 제도적 혁신인프라의 역량수준을 상중하로 구분하여 민감도 분석을 실시하였다. 여기서 창조적 아이 디어 지수, ICT혁신지수, 경제민주화 확산도를 창조역량지수라고 칭하고 이에 대한 모델의 민감도 분석을 수행하고자 한다.

13) 물질적인 시간지연과 정보적인 시간지연을 나타내는 함수(Delay함수와 Smooth함수)를 사용하였으며, 이는 특정 변수값이 갑자기 변화하더라도 이를 서서히 인식하도록 하는 것으로 흔히 말하는 이동평균과 같은 개념이다.

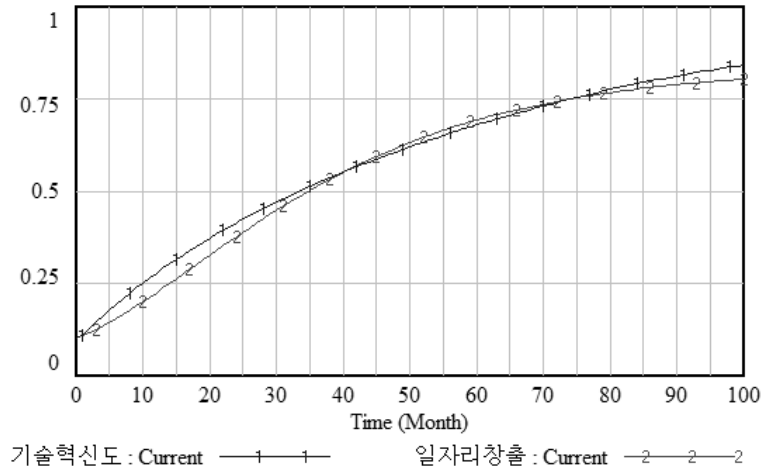


(그림 4) 국가창조경제혁신체제의 시뮬레이션 모델

2. 창조역량지수가 0.1 일 때

<표 2>는 (그림 4)의 모델에서 모든 저량수준 초기값 및 지수 값을 0.1 일 때 컴퓨터상에서 시뮬레이션 한 결과이다. 시뮬레이션 결과에는 저량(수준변수)인 기술혁신도와 일자리창출의 시간상 추이가 표현되어 있다. 이는 기술혁신도와 일자리창출지표가 나머지 저량수준을 가름해주는 대표적 지수이기 때문이다. <표 2> 상의 각 저량변수의 값들은 현실세계에서의 값을 의미하지는 않는다. 단지 균등화된 단위의 세계에서 각각의 변수들이 일반적인 관점에서의 0에서 1사이의 질적 척도로 기초관계 균등단위 모델링 방식으로 전환하였을 때, 컴퓨터상에서 시뮬레이션 하여 산출된 값을 의미한다. 동 시뮬레이션 결과는 기술혁신도와 일자리창출이 모두 양호한 수준이라고 하는 0.8에 도달하기까지는 약 85개월 이상이 소요되는 것으로 나타났다.

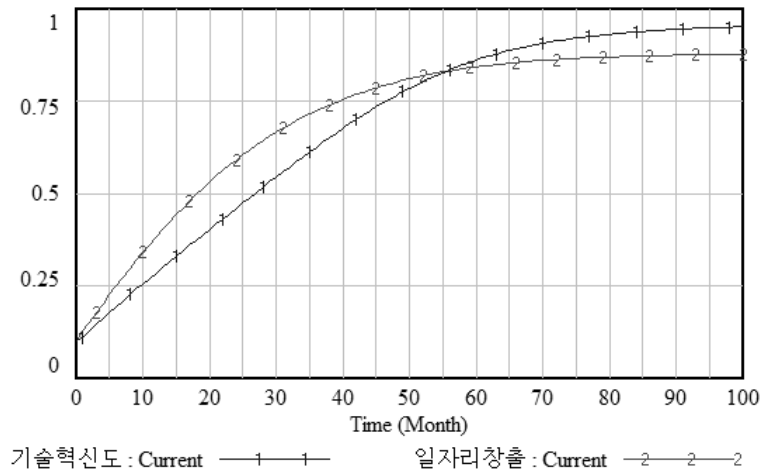
<표 2> 창조역량지수들이 0.1일 때의 시물레이션 결과
창조경제_0.1



3. 창조역량지수가 0.5 일 때

<표 3>는 (그림 3)의 모델에서 창조경제 수준 초기값은 0.1로 둔 상태에서 창조역량지수 값이 0.5 일 때 컴퓨터상에서 시물레이션 한 결과이다. 동 시물레이션 결과에서는 각 저장변수값이 <표 3>의 결과보다는 훨씬 빠른 속도로 증가하여 약 60개월이 경과했을 때 이미 0.8의 높은 수준에 도달하는 것으로 나타나고 있다. 특히 일자리창출이 기술혁신을 견인하는 것으로 나타났다.

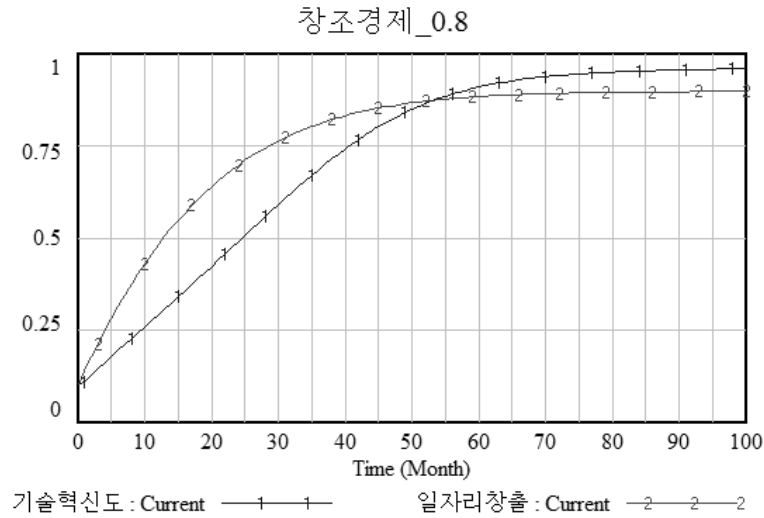
<표 3> 창조역량지수들이 0.5일 때의 시물레이션 결과
창조경제_0.5



4. 창조역량지수가 0.8 일 때

<표 4>은 (그림 3)의 모델에서 창조경제 수준 초기값은 0.1로 나둔 상태에서 창조역량지수 값이 0.8 일 때 컴퓨터상에서 시물레이션 한 결과이다. 시물레이션 결과에서는 각 저장변수의 변수 값이 매우 빠른 속도로 증가하고 있는데 특히 일자리 창출의 경우 35개월 기술혁신의 경우는 40개월만 지나면 양호한 수준에 이르는 것으로 나타났다. 국가R&D성과도와 국가연구개발투자 변수 값이 15개월에 0.5 수준에 이르는 등 빠른 증가추세가 뚜렷하게 나타나고 있다.

<표 4> 창조역량지수들이 0.8일 때의 시뮬레이션 결과



V. 결론 및 정책적 함의

지금까지 많은 혁신모형이 개발되었고, 관련된 국가혁신체제 개념의 세련화에도 불구하고 아직까지 국가혁신체제상의 주요 변수들이 어떤 것이 있고 각 변수들간의 네트워크 관계와 피드백 구조가 무엇인지에 대한 국내의 체계적인 연구가 매우 부족한 것이 동 분야 연구의 현실이다. 이와 같은 국가혁신체제의 시스템 설계와 그 동학에 대한 연구가 어려운 이유는 비록 확인된 시장실패를 완화하기 위해 시스템을 설계해도 시스템 실패가 여전히 남아 있을 가능성이 있으며, 오히려 시장실패의 치유가 시스템실패¹⁴⁾의 발생을 촉발 할 수도 있기 때문이다. 혁신은 다양한 정책의 결합을 통해 영향을 받으나 국가혁신시스템 자체에 기반하지 않은 개별정책은 개별 목적에 의해 추진되기 때문에, 실제 정책의 효과가 어떻게 나는지는 아직 그 과정이 명쾌하게 설명되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구는 우선, 그동안 추상적인 개념 수준에서 논의되어왔던 우리나라 창조경제혁신체제에 대한 시뮬레이션이 가능한 모델화의 가능성을 제시하였다고 생각된다. 이러한 노력은 무엇보다도 국가의 정책시스템설계에 직접적인 도움이 될 것이며, 변화의 노력이 성과 없이 몇 개의 구호와 조직 몇 개 생기는 것으로 끝나왔던 그동안의 실수를 사전에 예방할 수 있는 계기를 만들어 줄 것으로 기대한다. 둘째, 본 연구에서 제시하였던 저량 변수들은 정책적인 투입이 요구되는 결절지점이 될 것으로 판단된다. 각 저량변수가 국가혁신체제에서 차지하는 위치와 역할 및 다른 저량 변수값에 대한 민감도 등의 파악을 통해서, 다양한 신규 정책 대안을 설정하고 이미 실행중인 정책의 미래의 영향에 대한 설명을 시도할 수 있을 것이다. 셋째, 창조개발 및 창조역량지수의 강과 약에 따른 주요 저량변수의 민감도가 매우 높은 것을 나타나고 있다. 이는 동 국가연구개발 창조개발전략이 국가혁신체제 전반의 활성화와 역량 강화를 최소한의 노력으로 달성할 수 있는 정책 지렛대의 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨을 의미한다. 넷째, 동 연구에서 기술혁신도가 일정 궤도에 오를 때까지 일자리 창출이 이를 선도적으로 지지해주는 것으로 나타났다. 따라서 국가혁신

14) Edquist(1997)는 최소한 4개의 시스템 실패영역이 존재한다고 주장하였다. 첫 번째는 혁신체제의 기능이 부적절하거나, 부재한 경우, 두 번째는 조직, 세 번째는 제도가 부적절하거나 상실된 경우, 네 번째는 이러한 요소간의 연계 혹은 상호작용이 부적절하거나 부재한 경우 시스템 실패가 발생할 수 있다고 한다.

체제구축에 성과 및 목표지표로서 일자리 창출이 의미가 있음을 알 수 있다.

국가창조경제개발 수준 초기값과 지수가 낮은 경우뿐만 아니라 중간 수준이 경우에도 국가혁신 시스템 활동 저량 변수값들이 상당한 기간(최소 55개월)이 경과한 이후에야 높은 수준으로 진입하는 것을 나타내는 바, 이번 국가행정체제 개편의 창조경제혁신의 효과를 기대하기 위해서는 상당 기간의 안정적이고 지속적이 정책유지가 필요할 것으로 기대된다. 환언하면, 새로운 국가연구개발 체제 및 연구개발 창조경제체제구축이 조직 및 구조의 변화의 변화를 통해서 새로운 일하는 방식으로 정착되도록 3년에서 5년 동안의 지속적인 변화관리가 요구된다고 할 수 있다.

참고문헌

- 원동규, 윤진효, 2005, 새로운 과학기술혁신체제의 시스템다이나믹스, 한국시스템다이나믹스 춘계학술대회
강광남, 이달환 외, 1994, 「국가연구개발사업 종합조정 및 우선순위에 관한 연구」, 과학기술처.
김동환 외, 1999, 『시스템 다이내믹스』, 서울: 대영문화사, pp.105-106.
김동환, 2000(a), 『김대중 대통령의 시스템 사고』, 서울: 집문당.
김동환, 2000(b), "인과지도의 시물레이션 방법론: NUMBER," 한국 시스템 다이내믹스 연구 제 1권 2호.
김동환, 2004, 『시스템 사고: 시스템으로 생각하기』, 서울: 선학사.
김정홍, 2003, 『기술혁신의 경제학(2판)』, 서울: 시그마 프레스, pp.206-207.
신태균 (역)(Kotter, J. P. 지), 2003, 『변화의 리더쉽』, 서울: 21세기 북스.
차두원, 유지연, 2013, 창조경제 개념과 주요국 정책 분석, kistep.
Ahn, N., 1999. *A System Dynamics Model of Large R&D Program*, Ph. D., MIT, pp. 21-22.
Coyle, R.G., 1998, "The Practice of system dynamics: milestones, lessons and ideas from 30 years experience",
System Dynamics Review, Vol. 14, No. 4, pp.343-365.
Dong-Hwan Kim, 2000, "A Method for Direct Conversion of Causal Maps into SD Models: Abstract
Simulation with NUMBER", International conference of System Dynamics Society.
Dosi, G., Orgensio, L. and Labini, M. S., 2002, "Technology and the Economy", LEM Working Paper Series,
prepared for the 2nd Edition of the Handbook of Economic Sociology, Neil J. Smelser and Richard
Swedberg.
Edquist, C., 1997, "Systems of Innovation Approach: Their Emergence and Characteristics", in Charles Edquist
(ed.), *Systems of Innovation- Technologies, Institutions and Organizations*, London: Cassell Academic.
Edquist, C.(ed.), 1997, *System of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, Cassel
Ford, D. N., 1995. *The Dynamics of Project Management: An Investigation of the Impact of Project Process
and Coordination on Performance*, Ph. D., MIT.
Forrester, Joy, 1969, *Urban Dynamics*, Boston: MIT Press.
Forrester, Joy, 1971, *World Dynamics*, Boston: MIT Press.
Forrester, Joy. 1961, *Industrial Dynamics*. Boston: MIT Press.
Freeman, C.(a), 1987, *Technology and Economic Performance: Lessons from Japan*, Pinter Publishers.
Hansen, K. F. Wess, M. A., Kwak, S., 1999. "Allocating R&D Resources: A Quantitative Aid to Management
Insight", *Research and Technology Management*(July-August), pp. 44-50.
Lundvall, B.,(ed), 1992, *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive
Learning*, Pinter Pbllishers.
Metcalfé. S., 2001, "Technology and Economic Development in Comparative Perspective." /CRIC Working
Paper No. 10.
Nay, J. N., 1965, *Choice and Allocation in Multiple Markets: A Research and Development System Analysis*,

- Ph D., MIT.
- Nelson, R. and Rosenberg, N., 1993, "Technical Innovation and National System" in Nelson, R.(ed.), 1993, *National Innovation System: A Comparative Analysis*, Oxford University Press.
- OECD, 1999, *Managing National Innovation System*.
- Piata, M., 1995, "Technology and growth in OECD countries, 1970-1990", *Cambridge Journal of Economics*, Vol.19, p.177.
- Ross, B. N., 1990, *A System Dynamics Model of the Growth and Diffusion of R&D Communities*, Ph. D., MIT.
- wachold, G. R., 1963, *An Investigation of The Technical Effectiveness of A Government Research, Development, Test and Evaluation Organization*, Ph. D., MIT
- Welles III, G.k 1963. *An Analysis of The Dynamic Behavior of A Research and Development Organization*, Ph. D., MIT.
- <http://www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn/SDRes.htm> Arizona State University. System Dynamics Resource Page.
- <http://web.mit.edu/sdg/www/> MIT Solan Management. System Dynamics Group.

<별첨 1> 모델방정식

저량 변수

국가 R&D투자= INTEG (“국가R&D투자 증가”-“국가 R&D투자 감소”,0.1)
 국가경쟁력= INTEG ((국가경쟁력증가-국가경쟁력감소)*국가복지,0.1)
 국가복지= INTEG (+국가복지증가-국가복지감소,0.1)
 국가경쟁력= INTEG ((국가경쟁력증가-국가경쟁력감소)*국가복지,0.1)
 기술융합도= INTEG (기술융합 증가*(1+ICT혁신)-기술융합 감소,0.1)
 기술혁신도= INTEG (기술혁신 증가*(1+제품생산성활성화+기술융합도)-기술혁신 감소,0.1)
 일자리창출= INTEG (+일자리창출 증가-일자리창출 감소, 0.1)
 지식축적도= INTEG ((지식축적증가-지식축적 감소)*창조적 아이디어 지수,0.1)

유량 및 보조 변수

ICT혁신= INTEG ((+ICT혁신증가-ICT혁신감소)*ICT혁신지수,0.1)
 ICT혁신감소=ICT혁신*0.01
 ICT혁신증가=지식축적도*0.1*(1-ICT혁신)
 “R&D투자효율성”=SMOOTH(ICT혁신, 12)
 “국가 R&D투자 감소”= “국가 R&D투자”*0.01
 “국가R&D투자 증가”= (국부증가+“R&D투자효율성”)*0.1*(1-“국가 R&D투자”)/2
 국가경쟁력감소= 국가경쟁력*0.01
 국가경쟁력증가= 기업생태계확산*0.1*(1-국가경쟁력)
 국가복지감소= 국가복지*0.01
 국가복지증가= 성과확산*0.1*(1-국가복지)
 국부증가=SMOOTH(국가경쟁력, 12)
 기술융합 감소= 기술융합도*0.01
 기술융합 증가= (1-기술융합도)
 기술혁신 감소= 기술혁신도*0.01
 기술혁신 증가= 지식증진*0.1*(1-기술혁신도)
 기업생태계확산= DELAY1(일자리창출, 12)
 성과확산=DELAY1(일자리창출, 12)
 일자리창출 감소=일자리창출*0.01
 일자리창출 증가=(기술혁신도+경제민주화확산도)*0.1*(1-일자리창출)/2
 제품생산성활성화=SMOOTH(ICT혁신, 12)
 제품생산성활성화=SMOOTH(ICT혁신, 12)
 지식증진=SMOOTH(지식축적도 , 12)
 지식축적 감소=지식축적도*0.01
 지식축적증가=투자의 지연된 효과*0.1*(1-지식축적도)
 투자의 지연된 효과= DELAY1(“국가 R&D투자”, 12)

창조역량지수

ICT혁신지수=0.1, 0.5, 0.8
 창조적 아이디어 지수= 0.1, 0.5, 0.8
 경제민주화확산도= 0.1, 0.5, 0.8