

# 새로운 과학기술혁신체제의 시스템다이내믹스

## The New Korea Innovation Systems: An Application of System Dynamics Approach

원동규\* · 윤진효\*\*

Won, Dong-Kyu\* · Yun, Jin-Hyo\*\*

### Abstract

If Korea Research & Development reinforces integrated control function, indeed would Korea Research & Development's output be increased? Truly, could Korea's competition be ultimately improved with technology innovation and accumulation of knowledge. Can reinforcement of Integrated control that reinforced efficiency of Research & Development's investment effects make Korea Research & Development's investment ,itself, be decreased? I try to answer clearly that in a way to reorganize Korea technology Administration's system, introduced Korea Research & Development integrated control system's establishment is what to effect Korea innovation system's direction after answering clearly previous mentioned problems.

In this study, to answer these problems view theoretical discussion about Korea innovation system, integrated control system and system dynamics. Set up analytic tools of system dynamics which includes Korea innovation system and integrated control system. Then, draw a general casual loop diagram, which includes established Korea Research & Development's integrated control system, of Korea innovation system's activity. In based these, develop situation model to analyze trend of Korea innovation system and derive a political meaning by analyzing value of Korea innovation system's major inflow, outflow and stock variations according to extent of Korea Research & Development's integrated control in the same model.

**Keywords:** 혁신시스템, 시스템다이내믹스, 연구개발성과

(innovation system, system dynamics, research and development's output)

\* 한국과학기술정보연구원 (제1저자, dkwon@kisti.re.kr)

\*\* 한국과학기술정책평가원 (공동저자, jhyun@kistep.re.kr)

## I. 서론

### 1. 국가연구개발 종합조정체제의 확립

IMF 외환위기 극복이후 침체된 경제 활성화를 위한 새로운 성장엔진(산업, 기술)의 창출과 이공계 기피라는 현실적 문제의 해결을 위해 국가혁신체제<sup>1)</sup>의 개편이 필요하다는 요구가 점증함에 따라, 최근 정부가 과학기술행정체제의 개편을 단행한 바 있다. 동 과학기술행정체제 개편의 핵심은 국가연구개발체제에 대한 총괄기획·조정시스템의 강화로 요약된다. 그간, 우리나라는 민간영역에서의 R&D투자의 획기적인 증가로 연구개발투자에서 정부가 차지하는 역할과 위상이 점차 축소되고 있는 상황에서 과학기술부, 산업자원부, 교육인적자원부, 정보통신부 및 기타 관련 부처간 투자 부분 중복현상으로 정부의 연구개발투자 효율성을 떨어뜨리는 것으로 평가받아 왔다. 따라서 제한된 자원의 연구개발자원의 효율적 사용을 위해서는 무엇보다도 관련 정부 부처간, 정부와 민간기업간 과학기술 관련 연구개발투자 및 국가적 과학기술 마스터플랜에 대한 전략적 조정시스템 확립의 필요성이 급증하고 있는 상황이었다.

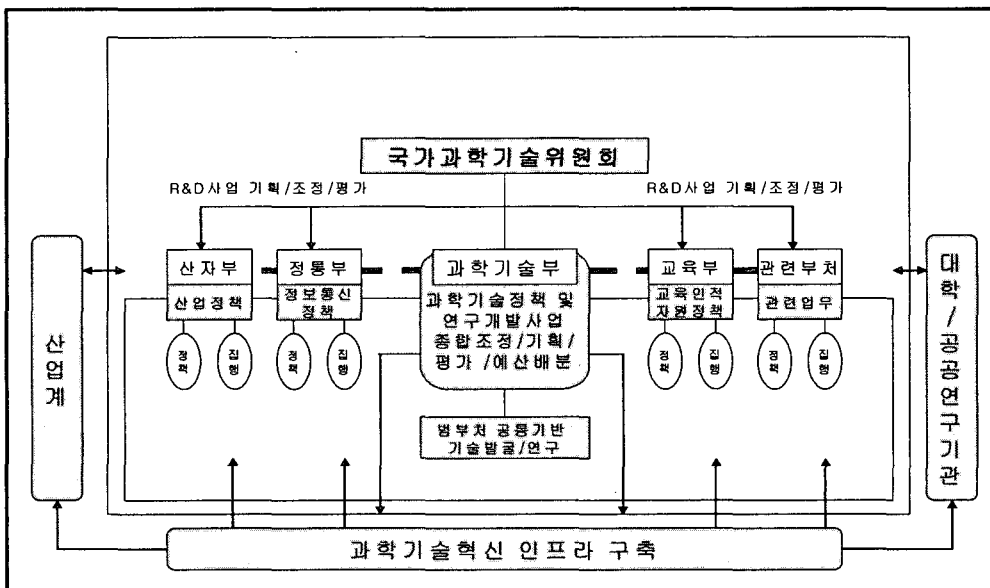
국가과학기술행정체제 개편의 핵심 내용을 살펴보면, 첫째, 국가 R&D 총괄 기획·조정·평가 체제를 새롭게 편성한점을 들 수 있다. 지금까지 과학기술부가 핵심기능으로 수행하고 있는 국가연구개발사업의 경우, 산업자원부와 관련부처가 유사한 사업을 수행하고 있고, 그리고 기초과학과 이공계인력 양성정책의 경우에도 교육인적자원부가 함께 수행하고 있는 실정이었다. 또한, 국가연구개발사업에 대한 조정 및 기획과 평가기능을 원만하게 수행하기 위한 예산배분 권한이 없었기 때문에 과기부의 기존의 국가연구개발사업에 대한 조정 역할이 유명무실했을 뿐 아니라, 국가차원의 범부처적 연구개발 프로그램 평가 및 실시간 모니터링체제 미비로 국가차원의 총체적 연구개발성과 확산과 국가기술혁신체제구축에 걸림돌로 작용하여 왔다. 따라서 이번 과학기술 행정체제 개편의 핵심은 과학기술부의 부총리 부처로의 승격과 국가연구개발사업 예산 배분권 확보로 동 부처의 국가연구개발사업에 대한 실질적인 총괄, 기획, 조정, 체제가 구축된 점이다.

둘째, 과학기술부가 국가과학기술위원회를 중심으로 국가연구개발사업 뿐 만 아니라 과학기술관련 인력·지역혁신·산업정책의 유기적 조정체제와 기능을 확보하였다는 점을

1) 국가혁신체제(National Innovation System) 개념은 '87년 Freeman 교수가 일본을 고도성장의 원인을 혁신체제로 돌리면서 학술적으로 사용되기에 이르렀다. 국가혁신체제 개념을 체계적으로 확립한 Lundvall 등의 종합하면, "국가 전체의 생산성 제고를 위해 지식의 창출, 확산, 활용을 촉진하는 민간 및 공공조직과 제도들의 네트워크" 로 동 개념을 규정하고 있다. 그리고 대학, 출연(연), 산업계 등의 혁신주체들이 제도적 맥락하에서 상호간의 네트워크를 통해 학습(learning)하는 과정이 국가혁신체제의 동태적 본질이다.

들 수 있다. 지금까지 과학기술부는 연구개발 집행부서의 하나로서의 틀 내에서 벗어나지 못하고 있어 왔다. 하지만 국가혁신체제구축의 중심기관으로서의 위상정립과 함께 부처별 인력양성사업의 중복성 방지 및 종합조정기능을 강화하여 수요 지향적 인력양성 및 신기술분야 인력양성의 효율성을 제고하는 기능을 가지게 되었다. 뿐 만 아니라, 기술을 핵심요소로 하는 차세대 성장동력 산업 및 부품소재, 공정혁신(제품의 IT화, 공정의 IT화) 산업 뿐 만 아니라 기술콘텐츠가 새롭게 핵심요소로 대두되고 있는 문화·관광산업의 종합조정 기능도 과학기술부가 추가적으로 확보하였다. 나아가 기술기반 지역혁신정책에 대한 방법론 개발과 조정 지원 기능 등을 과학기술부가 수행하게 되었다. 즉, 과학기술 관련 인력양성, 지역혁신, 산업정책 분야를 상호 유기적으로 연계한 종합조정체계 확충이 또 다른 과학기술행정체제 개편의 핵심내용이다. 이와 같은 과학기술행정체제 개편의 내용을 도식으로 표현하면 아래의 [그림 1]과 같다.

마지막으로 동 과학기술행정체제 개편의 목표를 “연구개발 생산성 극대화를 통해 국민소득 2만 불 시대 창출”로 상정함으로써 국가 연구개발 종합조정체제의 확립이 연구개발 성과와 국가 경제력 강화로 직결되고 있다.<sup>2)</sup>



[그림 1] 새로운 국가과학기술행정체제의 개념도

2) 정부혁신·지방분권위원회내의 과학기술행정체제 개편 TFT에서 최종안을 확정하기 전까지 목표로 주로 명시하던 내용으로 이 목표에 기초해서 전반적인 개편안이 작성되었다. 다만, 마지막 최종 보고(안) 단계에서 개편방향만 명시되고 동 목표는 명기하지 않았다(정부혁신·지방분권위원회, 2004a).

## 2. 문제제기

그런데 국가연구개발사업을 중심으로 종합조정 기능을 실질적으로 강화할 경우, 과연 국가 연구개발성고가 높아지는가? 과연 기술혁신, 지식축적 궁극적으로 국가경쟁력이 향상되는가? 그리고 종합조정 강화가 연구개발투자 효율성 강화의 영향으로 국가연구개발투자 자체를 감소시키지는 않는가? 이상과 같은 문제에 대한 답을 규명함으로써 이번 국가과학기술행정체제 개편의 일환으로 도입된 국가 연구개발 종합조정 체제의 확립이 향후 국가혁신체제의 방향에 어떠한 영향을 미치는 지를 규명해 보고자 한다.

본 연구에서는 이상의 문제에 대한 답을 구하기 위해서 우선 국가혁신체제, 종합조정제도 그리고 시스템 다이내믹스에 대한 이론적 논의를 조망한다. 그리고 국가혁신체제와 종합조정제도의 내용을 담은 시스템 다이내믹스의 분석틀을 설정하고, 확립된 국가연구개발 종합조정제도를 포함하는 국가혁신체제 활동의 일반 인과지도를 작성한다. 이를 토대로 국가혁신체제의 동학을 분석하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하고, 동 모델 상에서 국가 연구개발 종합조정 강도에 따른 국가혁신체제의 주요 투입 및 산출 저량 변수<sup>3)</sup> 값의 전개 과정을 분석하고 정책적 함의를 도출한다.

## II. 이론적 논의

### 1. 국가혁신체제 구조와 논리

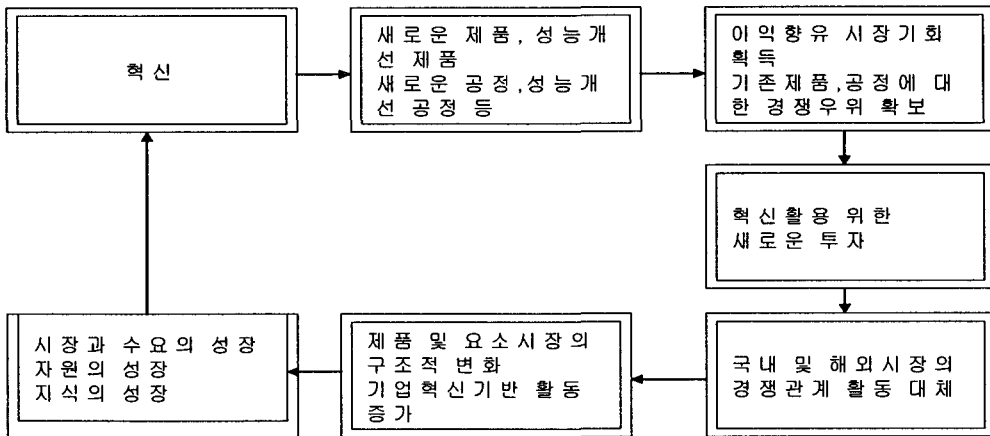
국가혁신체제는 신기술의 개발과 확산에 기여하는 구분되는 기업, 연구소, 대학 등 기관의 집합 혹은 지식이나 신기술의 창출, 축적, 이전 등에 기여하는 상호 연관된 기관의 총합(OECD, 1999)이나 기술의 창조, 획득, 개량, 확산과 관련한 기술개발 관련 활동을 수행하는 공공 및 민간부문 조직간의 상호작용 네트워크(Freeman, 1987) 또는 기술혁신의 성과에 영향을 미치면서 주된 역할을 수행하는 조직체의 집합(Nelson & Rosenberg, 1993) 등으로 정의된다. 결국 국가혁신체제는 국가내의 대학, 출연(연), 산업계 등의 주요 혁신 주체가 외

3) 시스템 다이내믹스에서 정의되는 모든 수식은 개념적으로 수준 변수(level variable)와 변화율 변수(rate variable)로 표현될 수 있다. 이들 간의 관계는 다음과 같이 정의된다.  $dL/dt = R$  동 식에서 L은 하나의 수준 변수를 의미하며, R은 변화율 변수를 의미하고, t는 시간을 의미한다. 시간에 따른 수준 변수의 변화율이 바로 변화율 변수의 값이 된다. 수준 변수는 저량 변수(stock variable)라고도 하며, 이는 행위의 결과로 저장되는 변수를 의미한다. 반면, 변화율 변수는 흐름(유량) 변수(flow variable)라고도 하며, 이는 수준 변수의 값을 변화시키는 역할을 한다.(김동환 외, 1999:105-106).

국에 개방된 상황에서 서로 상호작용 과정상의 학습을 통해 지식을 생산, 확산, 활용하는 조직 및 제도들의 시스템을 뜻한다.

국가혁신체제는 신고전학파의 기본 가정인 시장 균형을 부인하고 오히려 창조적 파괴(creative destruction)에 의한 끊임없는 진화와 발전을 상정하는 Schumpeter의 지적 전통을 따르고 있다. 따라서 동 시각에서는 시스템의 정태적 특징 보다는 끊임없이 변화, 발전하는 동태적 측면에 초점을 맞추고 있다. 따라서 경제시스템이 지속적으로 진화·발전하는 동력은 혁신체제로부터 주어지며 경제시스템을 혁신체제 그 자체라고 할 수 있는 바, 혁신을 통한 경쟁과 경제성장은 [그림 2와 같이 나타낼 수 있다(송위진, 2004a).

그리고 국가혁신체제상에서 발생하는 혁신활동은 연구개발 활동만이 아니라 보통의 경제활동 즉, 생산, 경영, 영업, 배분 활동 등에서도 끊임없이 새로운 지식이 만들어지는 언제 어디서나 발생할 수 있는 (Ubiquitous) 활동이다. 이러한 혁신은 일상적인 활동을 통해 생산되는 실행에 의한 학습(learning by doing)뿐만 아니라, 현재의 지식을 기초로 의식적인 목적을 가지고 기존의 제품과 공정을 개선하고자 하는 과정상의 혁신(learning by searching) 그리고 특정 목적의 성취를 위해서 새로운 지식을 창출해내는 혁신(learning by exploring) 등으로 구분할 수 있다.



[그림 2] 혁신과 경제성장

한편, 국가혁신체제상에서 발생하는 혁신은 특정 주체의 단독적인 활동의 결과가 아니라 각 행위주체의 연결 네트워크상의 상호 작용 학습의 결과로 발생하고 확산되는 것으로 인식된다. 따라서 동 이론에서는 기술의 추동에 의해 기술혁신이 발생하고 확산되고 활동된다는 기술추동모델(technology push model)이나 시장의 수용가 기술혁신을 발생 확산 시킨

다는 수요견인모델(dement pull model)을 모두 부인하고 기술과 수요의 상호작용적 학습에 의한 지식의 발생 및 확산을 주장한다.

그리고 국가혁신체제론에서는 정부를 연구개발투자 주체, 신제품 구매자, 신공정 도입 주체 또는 혁신체제상의 활동을 정의하고 조정하는 제도 확립 주체로서 혁신체제의 효율성을 높이는데 매우 중요한 주체임을 인정한다. 아울러 동 논의에서는 시장실패시 예외적으로 국가혁신체제 작동에 개입하는 것이 아니라 보다 적극적으로 국가혁신체제 자체의 작동 실패 즉, 시스템 실패<sup>4)</sup>시 국가가 개입하다고 제시한다. 즉, 국가혁신체제의 원활한 작동을 위한 국가의 개입을 인정한다.

## 2. 국가 연구개발사업 종합조정

“국가연구개발사업의 종합조정”이란 각 정부부처 등이 자율적으로 결정한 연구개발사업을 사후적으로 국가 전체의 관점에서 조정 또는 재구성하기 위한 총체적인 기능을 가리키며, 국가연구개발사업의 종합조정체계는 실질적으로 수행하기 위한 정부의 기능적 구조로서 관련부처의 상호작용을 포함하는 조정과정 그리고 인적, 물적 자원 등의 투입요소로 구성된다(양희승 외, 1999).

그리고 국가연구개발사업 종합조정의 과정을 보면, 조정의 기준이나 원칙 확정을 위한 우선순위 설정, 예산배분, 그리고 조정의 단계로 구성된다. 우선순위 설정단계는 기술별 산업별 자원배분 현황과 과학기술에 대한 국가적 수요 조사를 통해 연구개발 자원배분 의사결정의 지침을 제공할 뿐 아니라 최종적으로는 연구개발투자에 대한 의사결정을 할 수 있는 사전적인 지침 및 중점 투자 분야를 도출한다. 둘째, 예산배분 과정은 각 부처에서 일차적으로 선정한 연구개발사업을 국가 전체의 시각에서 종합 검토하여 실질적으로 분배하는 과정으로 실질적인 종합조정의 과정이다. 마지막으로 조정 과정은 결론적으로 부처간 연구개발사업을 조정하는 과정으로 예산배분 과정과 더불어 정치적 특성이 강하여 관련 이해당사자 및 예산부처간의 정치적 타협과정이 증시된다.

다음으로 국가연구개발사업의 종합조정의 수준은 기술부문별 수준, 국가적 수준, 부처적 수준, 국가적 수준으로 구분할 수 있다. 기술부문별 수준은 특정 기술분야의 전문가 집단의 사결정방식에 의해 중점 프로젝트의 투자전략을 수립한다. 반면, 부처적 수준은 부처적 차원에서 사업 및 기술 분야별로 횡적 분석을 통한 내각수준의 종합조정을 의미한다. 마지막

4) 시스템실패는 혁신체제가 가지고 있는 구조적 문제로 인해 혁신의 창출, 확산이 제약되는 것으로 시스템 실패를 극복하기 위해서는 혁신을 촉진시킬 수 있는 새로운 제도와 구조를 형성하는 것이 핵심이다. (송위진, 2004b)

으로 국가적 수준은 국가 과학기술 발전방향을 기본으로 거시적 관점에서 국정차원의 투자 가이드라인을 제시하는 것을 가리키는 것으로 국가 총 과학기술 투자규모의 결정, 국방, 교육, 연구개발 등 국가 차원의 각 부문별 투자 비중을 어떻게 할 것인가를 포함한다(양희승 외, 1999).

그리고 국가 연구개발사업 종합조정 합리적인 추진을 위해서는 효과적인 메카니즘과 실행절차와 더불어 무엇보다도 일관성, 전문성, 공정성, 효율성의 가진 민주적 합의를 거친 종합조정 기준의 확립이 필요하다(강광남, 이달환 외, 1994).

마지막으로 국가연구개발사업 종합조정 중요성이 지속적으로 증가하고 있는 바, 그 이유를 살펴보면, 장차 연구개발사업의 대형화 추세 가속, 연구개발사업의 위험도 증가, 연구개발사업 결과의 사업화 지체, 국가연구개발예산에 대한 사회적 책임성 요구 증가 등을 들 수 있다. 이러한 필요에 적극적으로 대응하는 종합조정 기능강화가 필요하다.

### 3. 국가혁신체제의 동태성(System Dynamics)

지식기반사회에서의 혁신연구는 혁신 과정상의 암흑상자(black box)내부의 역동성에 관심의 증대로 요약될 수 있다. 환언하면, 선형모형에서 피드백모형, 정태적 시스템 모형, 동태적 시스템 모형으로 혁신에 대한 강조점이 변화하고 있는 것이다. 물론 이는 사회과학 패러다임이 기계론적인 사고에서 시스템적인 패러다임으로의 변화양상과 무관하지 않다. 이러한 패러다임의 변화는 기본적으로 지식의 창출·이전·흡수라는 개념들을 사용하여 혁신과정의 복잡성과 불확실성을 축소하고자하는 국가혁신체제의 논의로 직결된다. 국가혁신체제는 기본적으로 국가라는 경계 안에서의 지식의 커뮤니케이션 과정이 이루어지는 시스템으로 볼 수 있으며, 따라서 커뮤니케이션 과정의 변화는 곧 국가혁신체제의 특성이 변화함을 의미한다고 할 수 있다.

혁신이론에서 시스템적 접근의 확장은 조직과 제도라는 단순히 혁신체제의 구성요소의 확장뿐만 아니라 구성요소간의 관계의 확장으로 분석대상이 확대되고 있다. 국가혁신체제상의 지식 창출의 원동력인 학습 발생의 핵심이 구성요소간의 상호작용이기 때문에 혁신체제에서 관계는 주로 경제학에서 다루는 시장뿐만 아니라 비시장 관계, 조직과 제도, 제도와 제도간의 관계까지 확장되고 있다. 이와 같은 맥락 하에서 혁신의 성과가 단순히 투입자원의 양으로는 설명될 수 없으며 오히려 혁신과정에 참여한 다양한 행위자의 네트워크 특성이 혁신 성과를 더 잘 설명할 수 있다는 연구결과가 잇따라 나오고 있다.

한편, 국가혁신체제를 시스템적인 시각에서 접근한다고 할 때, 혁신능력(innovating capability), 동학(dynamic), 편재성(ubiquity)의 요소를 중심으로 접근해야 한다. 여기서 혁신

능력이란 비선형적인(파괴적인) 변화능력을 의미하며, 이에 따른 행태변화를 동태적인 변화(dynamics)라고 할 수 있다. 한편 이러한 변화는 정책적으로 조정 가능한 인과적 연계성을 갖고 있는 점에서 언제 어디서나 존재하는 편재성(ubiquity)양상을 갖고 있다.

이과 같은 국가혁신체제를 방법론적인 측면에서 분석한 것이 시스템 다이내믹스(system dynamics)이다. 동 시스템 다이내믹스는 시스템의 동태성(dynamics) 즉, 변화하는 행태를 설명하고자 하는 것을 목적으로 한다. 그리고 이러한 방법론은 시스템의 동태성을 가져오는 원천으로써 시스템의 피드백 구조(feedback loop)를 상정한다<sup>5)</sup>. 이러한 피드백 구조의 강조는 시스템 변화의 원인을 외부 변수(exogenous variable) 보다는 내부 변수(endogenous variable)에서 찾기 때문에 시스템의 행태를 정책적으로 그리고 모델 내에서 변화시킬 수 있게 된다.

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 동 방법론에서는 정책의 성공 조건이나 실패 조건과 관련된 각종 변수들 간에 존재하는 피드백 구조를 발견함으로써, 정책성공이나 정책실패의 원인을 구조적인 측면에서 이해하고 정책처방을 내리게 된다. 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 않는다<sup>6)</sup>. 이러한 점에서 시스템 다이내믹스는 계량적인 접근이라기보다는 질적인 접근에 더 가깝다고도 할 수 있다(Coyle 1998). 시스템 다이내믹스는 시스템의 구조적인 특성과 함께 시스템을 통제, 관리하는 정책과 의사결정을 함께 연구한다. 아울러 시스템과 의사결정자를 연결시켜 주는 정보 네트워크의 중요성 자체뿐만 아니라 이들의 연결을 저해하는 가장 중요한

5) 시스템 다이내믹스는 1960년대에 MIT의 Jay Forrester 교수에 의해 거의 독자적으로 개발되었다. 그는 Industrial Dynamics(1961), Urban Dynamics(1969), World Dynamics(1971)를 연속하여 출판하면서, 시스템 다이내믹스의 기본 논리와 방법론을 구축하였다.

6) 따라서 시스템 다이내믹스 학자들은 경험적 데이터에 대해서 그다지 중요하게 생각하지 않는다. 숫자로 표현되어 있는 경험적 데이터들에 못지않게, 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, 2000b).



요인 중의 하나인 물질적, 정보적 지연(delay) 역시 중요한 요소로 취급한다(김동환 외, 1999).

결국 시스템 다이나믹스 방법론은 단선적인 인과관계 보다는 순환적인 인과관계를 정책적인 분석보다는 동태적인 분석을 지향한다는 점에서 기존의 통계적 방법론이나 계량경제학과 같은 단선적이고 정태적인 방법과 구별된다.

### Ⅲ. 연구 범위 및 분석틀 설정

#### 1. 연구 범위

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 다이나믹스 방법론을 적용한 연구(Hansen et al., 1999) 및 국가연구개발투자과 연구개발혁신활동의 정합(오세홍, 2004) 등에 관한 연구가 동 방법론을 활용하여 진행된 바 있다.

본 연구에서는 새로운 국가과학기술행정체계의 변화된 모습인 강화된 국가 R&D종합조정체계가 만들어내는 국가혁신체제의 변화를 시스템 다이나믹스 방법론을 사용하여 예측하고 국가연구개발종합조정 확충의 정책 지렛대로서의 가치와 정책적 함의를 도출하고자 한다. 구체적인 연구내용을 살펴보면, 첫째, 새로운 과학기술행정체계에서 대폭 확충된 연구개발 종합조정 기능을 포함한 국가혁신체제의 인과제도(7)를 가설적 수준에서 개괄적으로 작성한다. 동 인과지도는 본 연구에서 보고자하는 국가연구개발사업 종합조정기능이 작동하는 메카니즘의 특징적 흐름에 주목하여 비망라적으로 작성된다.

둘째, 인과지도를 토대로 국가연구개발 종합조정 수준을 포함한 국가혁신체제상의 주요

---

7) 시스템 다이나믹스의 피드백 구조를 파악하고 이를 2차원의 평면상에 그려 사고를 정리하는 것이 바로 인과지도(causal map) 혹은 인과순환 지도(causal loop diagram) 이라고 한다. 동 지도는 변수와 변수사이의 인과관계의 방향을 표시하는 화살표, 그리고 두 변수가 움직이는 방향이 같은 경우(+)와 다른 경우를 표시하는 화살표 앞 부분의 플러스(+), 마이너스(-) 표시, 마지막으로 여러 개의 인과관계들이 하나의 폐쇄된 원을 형성할 때 만들어지는 피드백 루프 등 3가지로 구성된다.

저량 및 유량변수들을 제시하고 이들 변수들간의 피드백 관계들을 설정하고 각 변수들의 모델방정식을 밝히는 시스템 다이내믹스 모델을 제시한다.

셋째, 상기의 시스템 다이내믹스 모델에서 국가연구개발 종합조정수준 저량 변수와 국가연구개발 종합조정지수 유량변수의 변화에 따른 국가혁신체제 다이내믹스 모델상의 투입 및 성과 관련 저량 변수값 변화의 민감도를 분석한다. 동 민감도 분석은 변수값의 절대적 가치의 변화 보다는 상대적 변화 폭, 방향, 변화정도가 유인한 분석의 가치를 지닌다.

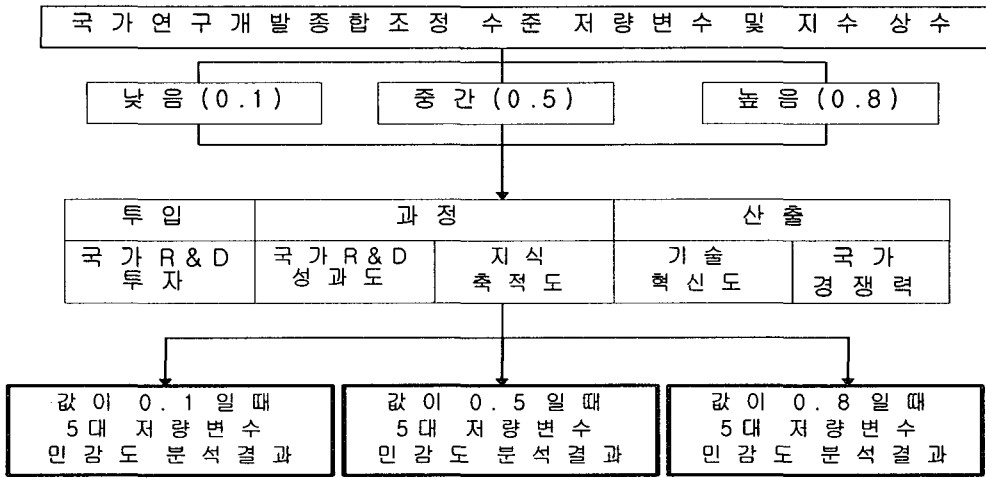
마지막으로 국가연구개발 관련 변수에 대한 다른 저량 변수의 변수값의 민감도 분석 결과의 해석을 통해 국가연구개발 종합조정체제 확충의 정책적 의미를 규명하고 동 제도 확충의 향후 영향을 이해하고 이에 대한 보다 구체적인 정책집행 관련 함의를 도출한다.

## 2. 분석틀 설정

[그림 3]에서와 같이 국가연구개발 종합조정 수준 저량의 초기값과 국가연구개발 종합조정 지수 상수 값이 낮은 경우, 중간인 경우 그리고 높은 경우를 상정한다.<sup>8)</sup> 그리고 이와 같은 국가연구개발 종합조정 대비 국가혁신체제상의 투입, 과정 및 산출에 해당 하는 5대 저량 변수값 변화의 민감도를 분석한다.

국가연구개발 종합조정 수준 초기값 및 지수 상수값이 0.1, 0.5, 0.8 일 때에 대한 5대 저량 변수값의 변화 방향과 내용의 민감도를 분석하여, 동 과학기술행정체제 개편의 미래의 영향을 예측하고 정책적 함의를 도출한다.

8) 국가연구개발사업 종합조정 수준 저량 변수와 지수 상수 값이 0과 1사이 분포하는 것으로 상정한다. 이 중 수준 저량 변수는 특정 시점에서의 국가연구개발사업 종합조정 제도의 확립의 강도의 수준을 상정한다. 예를 들어, 이번 행정체제 개편 전의 국가연구개발사업 조사·분석·평가 및 예산사전조정 등의 종합조정제도의 경우, 그 결과치를 차년도 예산 배분이나 사업 강제 조정과 직결시키지 못함으로 해서 그 수준이 낮은 것으로 상정할 수 있다. 반면, 이번 과학기술행정체제 개편은 과학기술부의 부총리 부처 승격과 국가연구개발 예산배분권 확보로 종합조정 수준이 상당히 강화되었다고 할 수 있을 것이다. 지수 상수값의 경우, 국가연구개발사업 종합조정제도의 실질적 운영 정도를 나타낸다.



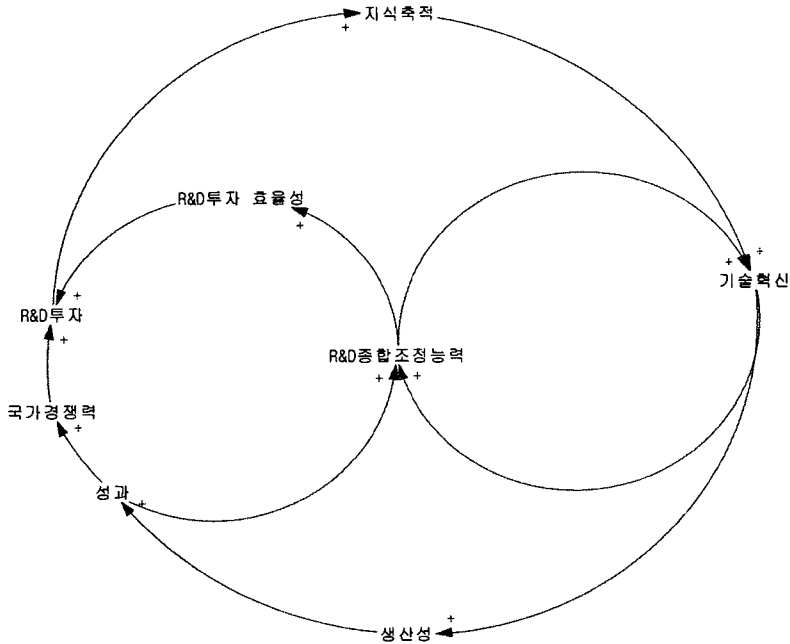
[그림 4] 연구의 분석틀

## IV. 시뮬레이션 모형 개발

### 1. 종합조정체제 확립형 국가혁신체제 인과지도 작성

일반적으로 혁신은 교육과 R&D를 꼽는다. 그러나 대부분의 경우 혁신은 일상적인 경제 활동 내에 배태된 다양한 학습과정의 결과이다. 그러므로 생산자의 효율성을 증가시키는 수행(learning by using), 사용자와 생산자의 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. 국가혁신시스템 접근법에서는 혁신에 영향을 미치는 경제적 요소와 더불어 제도적, 조직적, 사회적, 정책적 요소도 핵심적 내용으로 포함된다. 이러한 측면에서 혁신시스템의 접근방식은 요소들을 밝힘과 동시에 요소들간의 관계가 먼저 분석되어야 하며, 이러한 분석방법이 시스템 다이나믹스에서의 인과지도의 구성이다. 즉, 인과지도(causal map)는 여러 변수들간의 인과관계들을 피드백 구조에 초점을 두어 종합화 하는 도식으로, 시스템 다이나믹스 모델링을 수행하기 전 단계의 분석 도구로 활용되어 왔으며, 피드백 루프를 발견하는데 효과적인 도구로 활용된다.



[그림 4] 국가혁신체제의 인과지도

먼저 국가혁신시스템에 있어서의 이러한 피드백 구성을 위한 기본 전개를 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 부분 만큼 기업과 정부의 R&D투자 자금을 확보할 수 있도록 하여, 또 다른 기술혁신을 이룰 수 있는 원동력으로 작용한다. 즉 R&D 투자에 의해 이룩된 높은 경제 성장은 기업들의 이윤 증가, 정부의 예산 증가 등을 통해 다시 민간 및 공공부문의 R&D투자를 증가 시킨다(김정홍, 2003:206-207). 이러한 현상을 Lundvall은 기술과 성장간의 ‘누적적 인과관계’(cumulative

causation)라 하였다<sup>9)</sup>.

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 국가가 실질적인 R&D종합조정제도의 확립을 통해서 R&D투자-> 지식축적-> 기술혁신-> 총 요소생산성 향상-> 경제성장->새로운 R&D투자 등으로 이어지는 선순환 인과구조 메커니즘을 더욱 가속화 시킬 것임을 상정하고 있다.<sup>10)</sup> 즉, 'R&D종합조정제도'가 R&D투자의 효율성 제고와 기술혁신 촉진을 이라는 중간체인역할을 수행할 수 있다.

사실 과학기술부가 이미 2001년에 과학기술기본법 제정을 통해 국가연구개발사업에 대한 조사·분석·평가와 예산사전조정을 통한 국가연구개발사업에 대한 형식적인 종합조정 제도를 마련한 바 있다. 하지만, 과기부가 동 제도를 거의 모든 국가연구개발사업으로 확대 함에도 불구하고, 실효성 있는 정책수단의 미비로 국가 연구개발사업의 생산성 제고나 국가목표와의 정합성 등이 충분히 확보되지 못했다는 지적이 계속되어 왔다. 따라서, 과학기술행정체제 개편으로 과학기술부 장관이 부총리로 승격되고, 과학기술혁신본부에 모든 국가연구개발사업에 대한 예산배분권이 부여됨을 두고 국가연구개발사업에 대한 실질적인 종합조정제도의 확립으로 상정하는 것이 결코 무리가 아닌 것으로 판단된다.

## 2. 동태분석을 위한 시뮬레이션 모델 설정

본 연구에서는 연구자의 사고를 가능한 한 배제하면서 인과지도를 시스템 다이내믹스 모델로 변환시킬 수 있는 방법 중의 하나인 "기초관계 균등단위 모델링(Normalized Unit Modelling By Elementary Relationship, NUMBER)"을 이용하여 인과지도의 내용을 시스템

9) 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).

10) 새로운 국가과학기술행정체제의 목표로 "연구개발 생산성 극대화를 통한 국민소득 2만불 시대 창출"이 제시되었다. 따라서 즉, 이번 과학기술행정체제 개편의 이면에는 국가연구개발 종합조정 강화가 연구개발 성과 혹은 생산성 향상을 거쳐서 국민소득 증대로 이어지는 인과구조의 존재가 상정되어 있는 것이다. 아울러 R&D투자에서 지식축적과 기술혁신을 거쳐서 연구개발생산성, 연구개발성과 및 국가경쟁력을 거치면서 순환하는 구조는 이론적 논의상의 Metcalfe(2001)의 기술혁신과 경제성장 관계 모형과 시스템체론의 논리를 따른다.

다이내믹스 모델로 전환한다. 여기서 "기초관계 균등단위 모델링"이란 저량(수준변수)과 유량(변화율 변수)간의 관계를 모두 기초적인 관계로 설정하고, 이들 변수들의 측정단위를 0에서 1까지의 값으로 균등화시키는 것이다<sup>11)</sup>(김동환, 2000a). 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 최대값으로써 그 이하나 그 이상의 값은 존재하지 않는 것으로 간주한다. 하지만 함수에 의한 계산시 1을 넘어갈 수 있기 때문에, 계산항의 수 (+, - 로 구분)로 나누어 주어 이를 보정하여야 한다.

시뮬레이션 모델에서는 국가R&D투자(수준), 지식축적(정)도, 국가R&D종합조정능력(수준), 국가 R&D성과(인지)도, 기술혁신(정)도, 국가경쟁력(수준)을 저량 변수로 상정하고, 나머지 변수들을 유량 변수 혹은 보조 변수<sup>12)</sup>로 설정하였다. 특히 국가연구개발 종합조정 강화로 인해 발생하는 연구개발 기획 강화, 투자우선순위 설정의 정교화, 부처간 부문간 중복투자 축소 등을 "R&D투자 효율성"이라는 변수로 축약하였다. 이 밖에 국가연구개발 종합조정에 이은 일련의 R&D관리의 프로세스 즉, R&D선정, 수행, 관리, 평가 등에 발생하는 효율성을 "성과관리 효율성"이라는 변수로 축약하였다. 그 밖에 국가연구개발종합조정에서 기술혁신정도로 이어지는 인과지도상의 연결은 기술혁신 과정의 동태성과 네트워크적 성격을 고려하여 직접적 연결보다는 동 모델상의 피드백 루프를 거친 간접적 연결의 형태로 설정하였다. 기타 투자에서 기술혁신을 거쳐 국가경쟁력에 이르는 혁신 프로세스 과정에서 본 연구 목적과 직결되지 않는 상정 가능한 다양한 변수들은 본 모델의 본질을 해치지 않는 범위내에서 과감한 생략하고 모델상의 통일을 기하였다. 이는 저량과 유량(보조) 변수를 시스템구성의 근본가정을 하고 있는 시스템 동태론에 의한 모델구성의 불필요한 복잡화를 방지하기 위함이다.

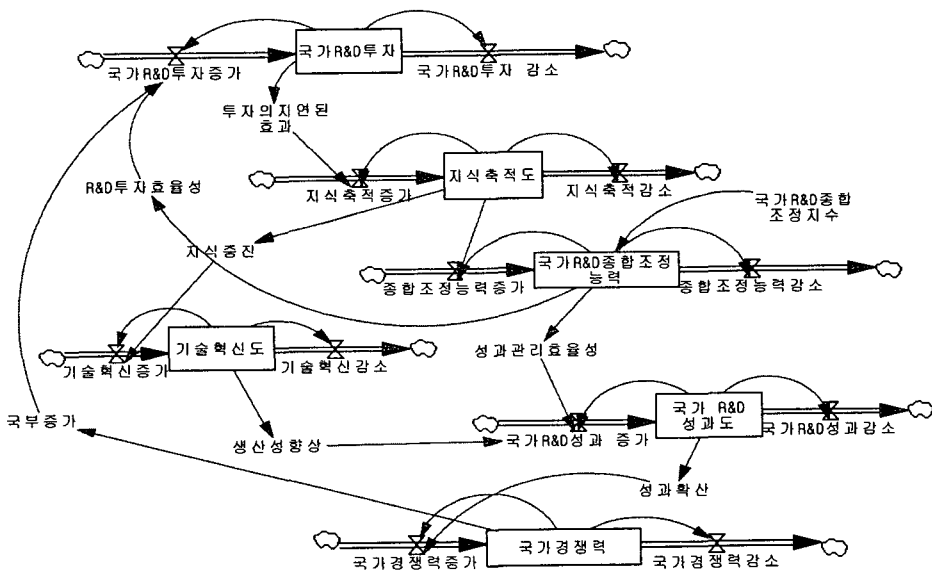
[그림 5]의 국가혁신체제의 저량/유량 모델에 관하여 간략하게 개관해 보면, '국가R&D투자'라는 변수를 저량으로 표현하고 있다. 이 국가R&D투자에 영향을 미치는 변수는 국가의 부의 증가율과 R&D투자의 효율성이라는 보조 변수이다. 이중 후자는 국가R&D종합조정 수준의 증가에 따라 바로 변수값이 변화하는 것이 아니라 관련 정보의 지연으로 인해 서서히 그 영향을 인식하는 Smooth 함수식<sup>13)</sup>을 가진다. 국가R&D투자는 '투자의 지연된 효과'

11) 이 방법론은 역으로 0에서 -1까지로 변환하여 활용하는 것 또한 가능하다.

12) 유량 변수의 계산식을 단순화시키기 위하여 사용되는 보조 변수가 사용된다. 보조 변수에서는 유량 변수와 더불어 다양한 함수식을 활용하여 변수와 변수들 간의 관계가 정의된다(김동환 외, 1999).

13) Smooth 함수는 흔히 말하는 이동평균의 개념이라고 할수 있는데 갑자기 변수값이 변했을 때 점증적으로 영향이 나타난다. 동 시뮬레이션 모델에서는 지식증진 및 국부증가 변수도 Smooth 함수로 정의한다. 왜냐하면, 국가경쟁력 향상에 의한 국부증가 및 지식축적정도의 증가에 의한 지식증진이 바로 나타나는 것이 아니라 점증적으로 발생하기 때문이다.

Delay함수<sup>14)</sup>를 가진 변수를 그려서 ‘지식축적증가’ 유량변수를 통해 지식축적도 라는 저장 변수에 영향을 미친다. 지식축적도는 지식증진 보조변수를 통한 기술혁신 증가 유량변수와 종합조정증가 라는 유량변수에 대한 2가지의 영향을 미친다. 연구개발성과확산 보조변수는 국가경쟁력증가 유량변수를 거쳐서 국가경쟁력 이라는 저장변수에 영향을 미친다. 이러한 국가경쟁력 저장변수는 국부증가 보조변수를 거쳐서 점증적으로 국가R&D투자증가 유량변수에 영향을 미치게 된다. 기초관계 균등단위 모델링 방법을 따르고 있는 동 모델상에서 각 변수에 대한 모델 방정식은 상기의 모델 구성의 논리를 따라 컴퓨터 프로그램(Vensim)을 활용하여 [별첨 1]과 같이 정의되었다.



[그림 5] 국가혁신체제의 시뮬레이션 모델

## V. 시뮬레이션 결과 분석

### 1. 종합조정 수준 및 지수가 0.1 일 때

[그림 6]은 [그림 5]의 모델에서 종합조정 수준 초기값 및 지수 값이 0.1 일 때 컴퓨터 상에서 시뮬레이션 한 결과이다. 시뮬레이션 결과에는 저장(수준변수)인 국가 R&D투자, 지

14) Delay 함수는 물질적인 시간지연의 존재를 표현한다. 본 연구에서는 ‘투자의 지연된 효과’ 외에 ‘성과 확산’ 변수가 국가R&D성과도의 영향을 서서히 받는 Delay 함수식을 가지는 것으로 정의된다.

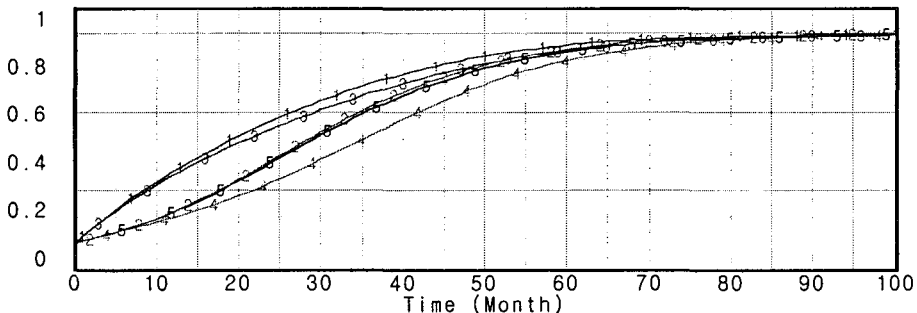




보다는 훨씬 빠른 속도로 증가하여 약 60개월이 경과했을 때 이미 0.8의 높은 수준에 도달하는 것으로 나타나고 있다. 이는 국가연구개발사업 종합조정 수준과 지수의 향상이 국가혁신체제의 주요 투입, 과정, 산출 변수값의 보다 빠른 향상을 가져올 것임을 보여 주는 것이다. 뿐만 아니라 [그림 7]의 시뮬레이션 결과는 저량변수별 변수값의 상승 속도가 내부에서도 약간의 차이를 포함하기는 하지만 3개 그룹으로 확연히 구분되어 발전하는 것으로 나타나고 있다. 가장 빨리 국가연구개발성과도가 그리고 그것이 조금 뒤를 이어 국가연구개발투자가 선두그룹으로 가장 빨리 변수값이 증가하고 있다. 즉 국가연구개발종합조정을 강화 했을때 연구개발투자와 성과 등 국가혁신체제의 투입 및 산출측면에서 동시에 가장 빨리 효과가 나타날 것으로 해석할 수 있다.

두 번째 그룹으로 지식축적도와 국가경쟁력 변수는 처음에는 아주 천천히 증가하다고 점차 체증하고, 마지막으로 0.9 에 접근하면서 체감하는 것으로 나타나고 있다. 국가연구개발종합조정이 짧은 시간에 바로 국가경쟁력 향상이나 지식축적으로도 연결되지 않지만 점차 체증하는 점을 고려하여 국가연구개발 종합조정 기능의 향상이 요구됨을 해석할 수 있다. 마지막으로 국가연구개발 혁신도가 상당히 천천히 상승하여 60개월 이후에 겨우 0.8의 수준에 도달하는 것으로 나타나고 있다. 사실 국가연구개발종합조정 강화가 기술혁신으로 직결되지 않으며 다양한 국가혁신체제의 구성변수의 건강한 개선의 결과가 나중에 기술혁신도의 제고로 연결되는 것으로 해석될 수 있다. 한편 이러한 기술혁신도의 향상은 다른 저량변수의 높은 수준 유지의 기초적인 토대가 되는 것으로도 해석할 수 있다.

종합 조정 (수준 및 지수 0.5) 일 때 시뮬레이션 결과



"국가 R&D 성과도" : 종합 조정 05  
 국가 경쟁력 : 종합 조정 05  
 "국가 R&D 투자" : 종합 조정 05  
 기술 혁신도 : 종합 조정 05  
 지식 축적도 : 종합 조정 05

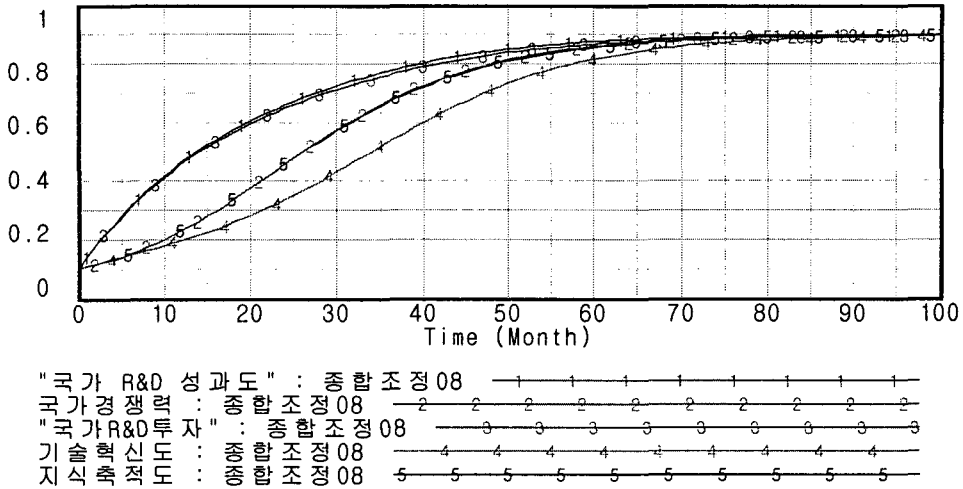
[그림 7] 종합조정수준 및 지수가 0.5일 때의 시뮬레이션 결과

### 3. 종합조정 수준 및 지수가 0.8 일 때

[그림 8]은 [그림 5]의 모델에서 종합조정 수준 초기값 및 지수 값이 0.8 일 때 컴퓨터 상에서 시뮬레이션 한 결과이다. 시뮬레이션 결과에서는 각 저량변수의 변수값이 매우 빠른 속도로 증가하고 있는데 특히 국가R&D성과도와 국가연구개발투자 변수값이 15개월에 0.5 수준에 이르는 등 빠른 증가추세가 뚜렷하게 나타나고 있다.

우선 국가연구개발성과도와 국가연구개발투자 변수값의 급격한 증가추세는 동 변수들의 국가연구개발종합조정외 강화와 가장 밀접하게 연결됨을 알 수 있다. 이미 40개월 시점에서 양 변수값이 0.8로 높은 수준에 진입하고 있다. 둘째, 국가경쟁력과 기술혁신도 변수는 거의 같은 속도로 빠르게 증가하여 약 45개월이 조금 지난 시점에서 변수값이 0.8의 높은 수준으로 진입하고 있다. 연구개발 성과도와 투자 변수값이 처음에 높은 성장세를 보이다가 점차 체감하는 것과 반대로 국가경쟁력과 지식축적도가 거의 똑 같이 처음에 높지는 않지만 체증적으로 증가하고 점차 체감하는 것으로 나타나고 있다. 셋째, 기술혁신도 변수값은 처음에는 연구개발성과도나 연구개발투자와의 격차를 점점 확대하면서 천천히 증가하다가 35개월이 지나서의 변수값이 0.5에 도달하고 결국 60개월이 지나서의 0.8이라는 높은 수준이 도착하였다. 동 모델링 분석결과, 국가연구개발 종합조정체제가 확립되더라도 다른 저량 분석값이 충분히 증가하고 난 뒤 상당한 시간 지체를 두고 기술혁신도가 높은 지점에 도달하는 점을 알 수 있다. 따라서, 지속적이고 장기적인 관점에서 기술혁신도 향상 정책을 추진해야 할 필요가 있다.

종합조정 (수준 및 지수 0.8) 일 때 시뮬레이션 결과



[그림 8] 종합조정수준 및 지수가 0.8일 때의 시뮬레이션 결과

#### 4. 소결: 국가연구개발 종합조정 수준 및 지수에 대한 저량변수별 민감도 분석

이상의 분석에서 국가연구개발종합조정 수준 초기값 및 지수 값의 변화에 대해 국가혁신체제의 투입, 과정, 산출을 나타내는 5개 변수 값들이 매우 민감하게 변화하는 것으로 나타나고 있다. 이는 국가연구개발종합조정이 정책지렛대<sup>15)</sup>로서 높은 가치를 가짐을 보여주는 것이다.

[부록 2]에 따르면, 국가연구개발투자의 민감도가 가장 높고, 그 다음으로 국가연구개발성과도와 지식축적이 비슷한 수준으로 높은 민감도를 보이고 있고, 그밖에 국가경쟁력, 기술혁신도의 순으로 국가연구개발종합조정에 대한 민감도가 높은 것으로 나타나고 있다. 따라서 민감도가 높은 저량 변수값의 향상을 목표로 하는 정책은 직접적으로 국가연구개발 종합조정 강화를 내용으로 할 수 있다. 다만, 기술혁신도 향상이나 국가경쟁력 제고 등의 목표를 위해서는 국가연구개발 종합조정 강화 외에 다른 보다 강력한 정책지렛대를 파악하여 보완적인 정책대안을 강구하는 것도 바람직하다.

15) 정책지렛대(policy leverage)란 시스템상에서 제한된 정책자원(예산, 시간, 규제, 인력 등)을 조금만 투입하면 커다란 정책효과를 생산할 수 있는 정책개입 지점(policy interruption point)을 의미한다(김동환 외, 1999).

## VI. 결론: 정책적 함의 및 연구의 한계

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 시스템실패<sup>16)</sup>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 국가혁신체제에 대한 시뮬레이션이 가능한 모델화의 가능성을 제시하였다고 생각한다. 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, 국가연구개발 종합조정 수준 및 지수의 강과 약에 따른 5대 저량변수의 민감도가 매우 높은 것을 나타나고 있다. 이는 동 국가연구개발 종합조정정책이 국가혁신체제 전반의 활성화와 역량 강화를 최소한의 노력으로 달성할 수 있는 정책 지렛대의 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨을 의미한다. 즉, 국가과학기술행정체제의 개편으로 강화되어 확립된 국가연구개발종합조정체제가 국가혁신체제 활성화의 핵심센터(Center of Excellence)의 역할을 할 수 있는 제도적 장치로 기대되는 바, 종합조정체제의 실행과정에서 종 체제의 기능의 내실 있는 수행이 요망된다. 넷째, 국가연구개발 종합조정 대비 국가혁신체제 활동 관련 변수별 민감도가 상당히 상이하게 나타나는 바, 특히, 낮은 민감도를 보이는 변수들의 변수값 향상을 위해 다양한 정책적 보완이 필요할 것으로 예측된다. 다섯째, 동 연구에서

16) 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.

국가연구개발 종합조정 수준 초기값과 지수가 낮은 경우뿐만 아니라 중간 수준이 경우에도 국가혁신시스템 활동 저량 변수값들이 상당한 기간(최소 60개월)이 경과한 이후에야 높은 수준으로 진입하는 것을 나타내는 바, 이번 국가행정체제 개편의 종합조정 기능 강화의 효과를 기대하기 위해서는 상당기간의 안정적이고 지속적인 정책유지가 필요할 것으로 기대된다. 환언하면, 새로운 국가연구개발체제 및 연구개발 종합조정체제구축이 조직 및 구조의 변화의 변화를 통해서 새로운 일하는 방식으로 정착되도록 2년에서 5년 동안의 지속적인 변화관리가 요구된다고 할 수 있다.

다음으로 본 연구의 한계를 제시하면, 우선 본 연구의 국가혁신체제에 대한 인과지도와 시뮬레이션 모델이 일반적인 수준에서 예시적으로 작성되었다는 점이다. 구체적이 상황에 대비한 보다 정확한 국가혁신체제 시스템 다이내믹스 모형의 개발은 다음 연구과제로 남겨둔다. 둘째, 일반국가혁신체제 시스템 다이내믹스 모형의 특징으로 인해 각 변수의 모델방정식을 극히 개념적인 수준에서 정의할 수밖에 없었던 점을 지적할 수 있다. 즉, 동 연구에서 개발한 국가혁신체제 다이내믹스 모델상의 변수들이 각 상황에 맞게 구체적인 정책적인 함의를 가지게 하기 위해서는 국가혁신체제 동학 모델의 구체화와 변수 모델 방정식의 정교화가 요망된다. 마지막으로 동 국가혁신체제 시스템 다이내믹스 모델이 단일 상황 즉, '국가연구개발 종합조정'의 정도가 시스템 전체의 연계 결절지점상의 저량 변수에 어떤 영향을 미치는가 만을 분석의 대상으로 하고 있는 점을 지적할 수 있다. 즉, 동 연구가 연구분야 개척의 원시성으로 인해 국가혁신시스템 일반 모델을 전제로 하면서도 단일 정책지렛대의 영향만을 분석하고 있는 바, 앞으로 동 분야의 보다 깊은 후속 연구가 요망된다.

[ 참고문헌 ]

- 강광남 · 이달환 외. (1994). 「국가연구개발사업 종합조정 및 우선순위에 관한 연구」 과학기술처.
- 김동환 외. (1999). 「시스템 다이내믹스」 서울 : 대영문화사 : 105-106.
- \_\_\_\_\_. (2000a). 「김대중 대통령의 시스템 사고」 서울 : 집문당.
- \_\_\_\_\_. 2000(b), "인과지도의 시뮬레이션 방법론: NUMBER," 한국 시스템 다이내믹스 연구 제 1권 2호.
- \_\_\_\_\_. (2004). 「시스템 사고: 시스템으로 생각하기」 서울 : 선학사.
- 김정홍. (2003). 「기술혁신의 경제학(2판)」 서울 : 시그마 프레스 : 206-207.
- 신태균 (역)(Kotter, J. P. 저). (2003). 「변화의 리더쉽」 서울 : 21세기 북스.
- 송위진. (2004a). 「국가혁신체제에서 정부의 역할과 기능: 혁신체제론적 접근」 서울 : 과학기술정책연구원.
- \_\_\_\_\_. (2004b). 「새로운 국가혁신체제 구축방안(안)」 정책기획위원회 발표 초안. 서울 : 과학기술정책연구원.
- 양희승 외. (1999). 「국가연구개발예산 사전조정 제도개선에 관한연구」 서울 : 한국과학기술평가원.
- 오세홍. (2004). 「국가연구개발투자시스템과 레버리지 전략: 연구개발투자자와 연구개발혁신활동의 정합」 연세대학교 기술경영학협동과정 박사학위논문.
- 윤진호. (2002). 「한국의 기술능력과 외국인 직접투자의 변화 연구」. 고려대학교 과학기술학협동과정 박사학위논문.
- 정부혁신·지방분권위원회. (2004). 「국가혁신체제 정립을 위한 과학기술부 개편 방안」 과학기술행정체제개편 TFT 내부자료.
- \_\_\_\_\_. (2004). 「국가혁신체제 정립을 위한 과학기술부 개편 방안」 제 43차 국정과제회의 제출본.
- \_\_\_\_\_. (2004a). 「국가혁신체제 정립을 위한 과학기술부 개편방안(안)」 과학기술행정체제 개편 TFT 내부자료.
- \_\_\_\_\_. (2004b). 「국가혁신체제 정립을 위한 과학기술부 개편방안」
- Ahn, N.. (1999). *A System Dynamics Model of Large R&D Program*. Ph. D., MIT : 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 : 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.
- \_\_\_\_\_. (1971). *World Dynamics*. Boston : MIT Press.
- \_\_\_\_\_. (1961). *Industrial Dynamics*. Boston : MIT Press.
- Freeman, C.. (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)* : 44-50.
- Lundvall, B.(ed). (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter Pbllishers.
- Metcalf. 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 : 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.



**[ 부록1 : 모델방정식 ]**

저량 변수

"국가R&D종합조정 능력"= INTEG ((+종합조정능력증가-종합조정능력감소)\*"국가R&D종합 조정지수", 0.1 or 0.5 or 0.8))

"국가 R&D투자"= INTEG (+ "국가R&D투자증가"- "국가R&D투자 감소", 0.1)

지식축적도 = INTEG (+ 지식축적증가-지식축적감소, 0.1)

기술혁신도 = INTEG (+ 기술혁신증가-기술혁신감소, 0.1)

"국가 R&D 성과도" = INTEG (+ "국가R&D성과 증가"- "국가R&D성과감소", 0.1)

국가경쟁력 = INTEG (+ 국가경쟁력증가-국가경쟁력감소, 0.1)

유량 및 보조 변수

"국가R&D투자증가"=(국부증가+"R&D투자효율성")\*0.1\*(1-"국가R&D투자")/2

"국가R&D투자 감소"="국가R&D투자"\*0.01

투자의 지연된 효과=DELAY1("국가R&D투자", 12 )

지식축적증가=투자의 지연된 효과\*0.1\*(1-지식축적도)

지식축적감소=지식축적도\*0.01

지식증진=SMOOTH(지식축적도 , 12)

"R&D투자효율성"=SMOOTH("국가R&D종합조정 능력", 12)

종합조정능력증가=지식축적도\*0.1\*(1-"국가R&D종합조정 능력")

종합조정능력감소="국가R&D종합조정 능력"\*0.01

성과관리효율성= "국가R&D종합조정 능력"

기술혁신증가=지식증진\*0.1\*(1-기술혁신도)

기술혁신감소=기술혁신도\*0.01

생산성향상=기술혁신도

"국가R&D성과 증가"=(생산성향상+성과관리효율)\*0.1\*(1-"국가 R&D 성과도")/2

"국가R&D성과감소"="국가 R&D 성과도"\*0.01

성과확산=DELAY1("국가 R&D 성과도", 12)

국가경쟁력증가=성과확산\*0.1\*(1-국가경쟁력)

국가경쟁력감소=국가경쟁력\*0.01

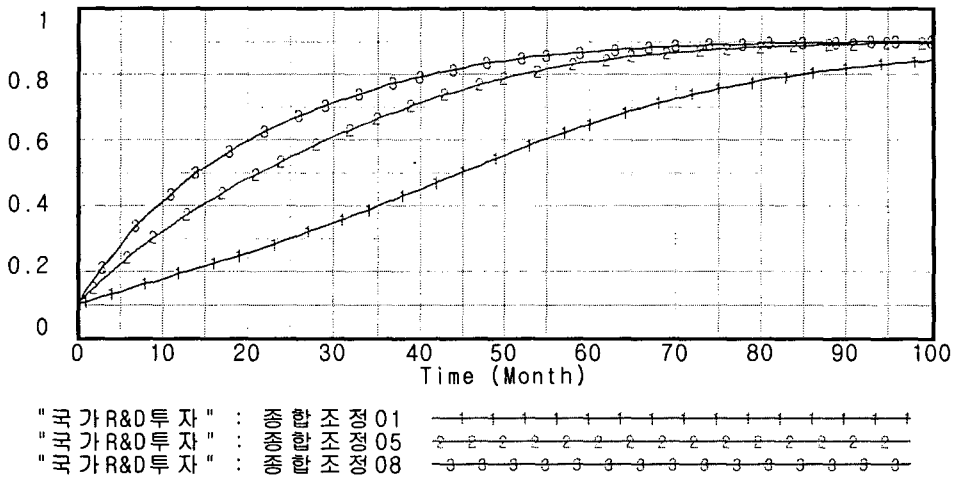
국부증가=SMOOTH(국가경쟁력, 12)

상수

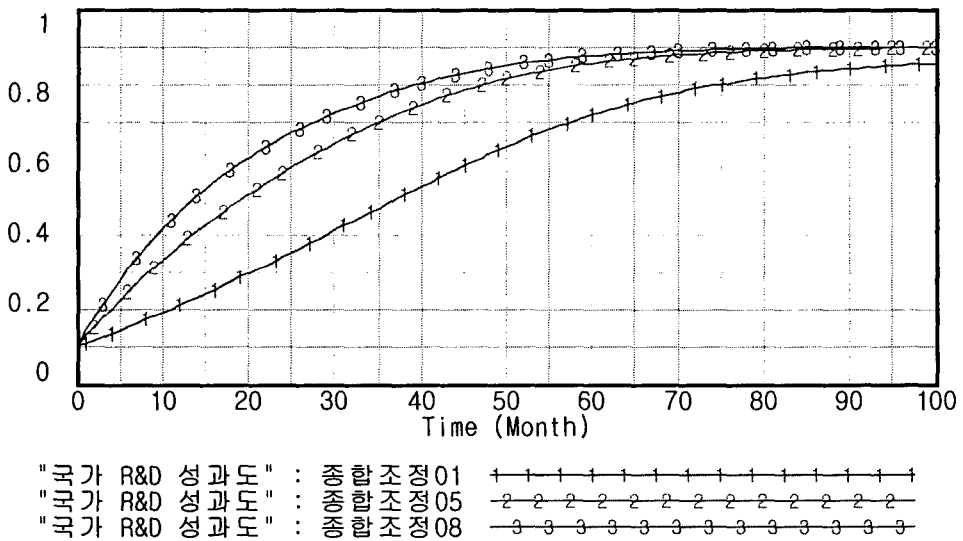
"국가R&D종합조정지수"=0.1 or 0.5 or 0.8

**[ 부록2 : 저량변수값의 국가연구개발종합조정 수준 초기값 및 지수 수준 대비 민감도 ]**

연구개발투자의 민감도 분석

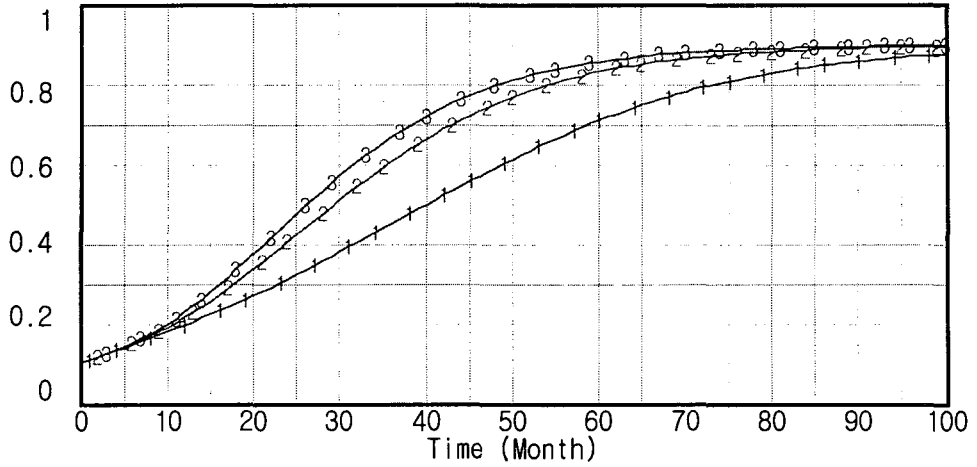


국가 R&D 성과도의 민감도 분석





### 지식축적도의 민감도 분석



지식축적도	:	종합조정01	1 1
지식축적도	:	종합조정05	2 2
지식축적도	:	종합조정08	3 3