

국가 R&D 투자 배분에 관한 시스템 다이내믹스 모델링

System Dynamics Modeling for the Allocation of National R&D Investment

김동환* · 안승구**

Kim, Dong-Hwan* · An, Seung-Gu**

Abstract

This paper is a summary of how we constructed a national R&D investment model. Although a national R&D investment is an important decision making for the government as well as industries, currently there were little efforts on making a model reflecting governmental decision making on the individual size of national R&D. We constructed a simple national R&D model through discussion with 3 researchers who have rich experience of governmental investment of national R&D. In this paper, we tried to show how our simple R&D model can reflect the perception on the R&D efficiency that changes as the industry reach to its saturation level.

Keywords: R&D, Decision Making, Investment, SD model

* 중앙대 공공인재학부 교수 (sddhkim@cau.ac.kr)

** 한국과학기술기획평가원 (ask@kistep.re.kr)

I. R&D 투자배분에 관한 모델링의 필요성

우리나라의 R&D 규모는 2008년에 이미 매년 34조 원을 넘는 규모로 이루어지고 있으며, 이는 GDP의 3.3%를 넘는 막대한 수준이다(한국과학기술평가원, 2010). 이중에서도 공공연구기관과 대학의 R&D 투자 규모는 8조원이 넘는 막대한 비중을 차지하고 있으며, 이러한 점에서 우리나라의 R&D는 아직까지 정부의 영향력이 상당히 크다고 말할 수 있다(국가과학기술위원회, 2008).

그렇다면 정부의 R&D 투자 결정은 어떠한 방식에 의해서 이루어지고 있는가? 정부의 R&D 투자는 과학기술정책위원회에 의해 이루어지고 있다는 점, 그리고 각각의 분과에 의해 이루어지고 있으며, 또한 대항목과 소항목에 의해 투자배분 계획이 이루어지고 있으며 그에 따라 집행되고 있다는 점은 익히 알려져 있다. 이는 R&D 투자 절차에 관한 제도적인 측면이라고 할 수 있다. 하지만 R&D 투자가 어떠한 방식에 의해 이루어지고 있는지, 실제로 어떠한 의사결정 메커니즘에 따라 이루어지고 있는지, 어떠한 변수들에 근거하여 R&D 투자를 늘리고 감소시키는지 등은 아직까지 명확하게 밝혀지지 않고 있다.

R&D 투자는 본질적으로 투자(invest) 행위이다. 투자란 미래의 이익을 기대하고 현재의 비용을 감당하는 행위이다. 이러한 점에서 R&D 투자는 본질적으로 “미래의 기대에 근거를 둔 의사결정 행위”라고 할 수 있다. 하지만 지금까지의 R&D 투자배분 모형은 미래의 기대에 관련된 변수를 포함하지 않고 있으며, 또한 의사결정의 과정을 포함하고 있지도 못하다.

모형은 현실에 대한 단순화일 뿐이다. 그러한 점에서 모형이 현실과 일치할 수는 없다. 하지만 모형은 현실의 핵심적인 메커니즘을 반영해야 한다. 현실의 핵심적인 메커니즘을 반영하지 못하는 모형은 현실에 대한 그림을 될지언정, 현실을 설명하지는 못할 뿐만 아니라 현실이 앞으로 어떻게 전개될 것인지를 예견하지도 못한다. 이러한 점에서 R&D 투자의 핵심적 메커니즘이라고 할 수 있는 미래에 대한 기대와 의사결정 메커니즘을 반영하지 못하는 모형은 R&D 투자 배분을 설명하기도 어려우며 그 트렌드를 예견하기도 어렵다.

현실의 핵심을 반영하지 못하는 모형은 더 큰 부작용을 가져온다. R&D 투자배분을 위한 의사결정에 필요한 데이터를 마련하지 못하는 것이다. 현실의 R&D 투자배분 메커니즘을 반영하는 모델이 존재할 때, 현실의 의사결정을 지원(support)할 수 있는 데이터들을 생산할 수 있고, 이에 근거한 의사결정은 차후의 데이터 생산을 보다 정교하게 다듬을 수 있는 가이드라인을 제공할 수 있다. 하지만 그러한 모형이 존재하지 않는 경우, R&D 투자와 관련된 데이터의 생산과 R&D 투자 계획은 따로 움직일 수밖에 없다. R&D 투자와 관련된 데이터와 R&D 투자 배분 계획이 공장의 톱니바퀴처럼 물려나갈 때에 현실과 계획 그리고 그로 인한 미래의 발전이 맞물리면서 의사결정의 개선이 이루어질 수 있다.

이러한 점에서 본 연구에서는 R&D 투자 배분 의사결정에 어떠한 메커니즘이 존재하는지를 살펴보고, 이러한 메커니즘을 최소한도로 반영할 수 있는 시스템 다이내믹스 모델을 구축하고자 한다. 본 연구에서 구축하고자 하는 모형은 최소한도의 모형일 뿐이며, 이러한 점에서 본 연구는 탐색적인 수준으로 만족할 것이다. 다만, 본 연구의 모델을 통하여 향후 어떠한 데이터들이 생산될 필요가 있는지 그리고 보다 본격적인 R&D 투자배분 모형을 어떠한 방향으로 구축해야 할지에 대한 시사점을 도출할 수 있을 것이다.

II. R&D 투자에 관한 기존의 모델링

국가 과학기술 투자 배분에 관한 연구는 다양한 방법에 의해 수행되어 왔다(한국과학기술기획평가원, 2010). 어떠한 R&D 분야에 집중하여 투자할 것인가를 탐색하는데 있어서 일반적인 방법으로 델파이(Delphi) 분석 방법을 들 수 있다. 일본의 과학기술정책연구소는 델파이 방법을 활용하여 2030년까지의 연구투자 방향을 제시한 바 있다(일본 과학기술정책연구소, 2002). 델파이 분석에 비해 보다 체계화된 분석방법으로 계층분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 들 수 있다. AHP는 과학기술 투자배분을 구성하는 요인들에 대한 쌍대비교를 통하여 각각의 우선순위를 도출하고, 이를 통하여 과학기술 투자배분의 우선순위를 도출한다. 국가연구개발투자 우선순위 도출과 관련하여 AHP 방법론으로 접근한 연구로는 이동엽 외(2002)의 연구가 대표적이다.

델파이 분석이나 AHP 분석은 근본적으로 전문가들의 의견을 수렴하는 도구라고 수 있다. 이러한 분석은 과학기술 R&D 투자 배분의 객관적인 요인들에 대한 분석이라기보다는 주관적인 판단의 취합이라고 할 수 있다. R&D 투자 배분에 관한 보다 객관적인 분석으로 연산가능 일반균형모형(CGE: Computable General Equilibrium)을 들 수 있다. CGE 모형은 일반균형모형으로서 현실경제의 가계부문과 생산부문 및 정부부문을 모형화하여 모든 재화시장이 동시에 균형을 이루는 가격 벡터를 구하는 절차를 토대로 하여 과학기술 투자의 효율성을 측정하는 분석모형이다. CGE 모형을 이용하여 국가 R&D 투자를 연구한 사례로는 Ghosh(2007), Bor(2010) 등과 같은 해외 연구와 김성태·임병인·조경엽(2007)의 연구가 있다. CGE 모형은 객관적인 파라미터에 근거하여 R&D 투자 효과를 전망한다는 점에서 보다 객관적인 접근이라고 할 수 있다. 하지만, CGE 모형은 지나치게 추상화된 균형경제 모델에서 도출된 파라미터를 사용함으로써, 다양한 과학기술 분야의 고유한 특성을 반영할 수 없다는 한계점을 지닌다.

결국 국가과학기술 투자에 관한 기존의 연구는 주관적인 평가에 치우치거나 지나치게

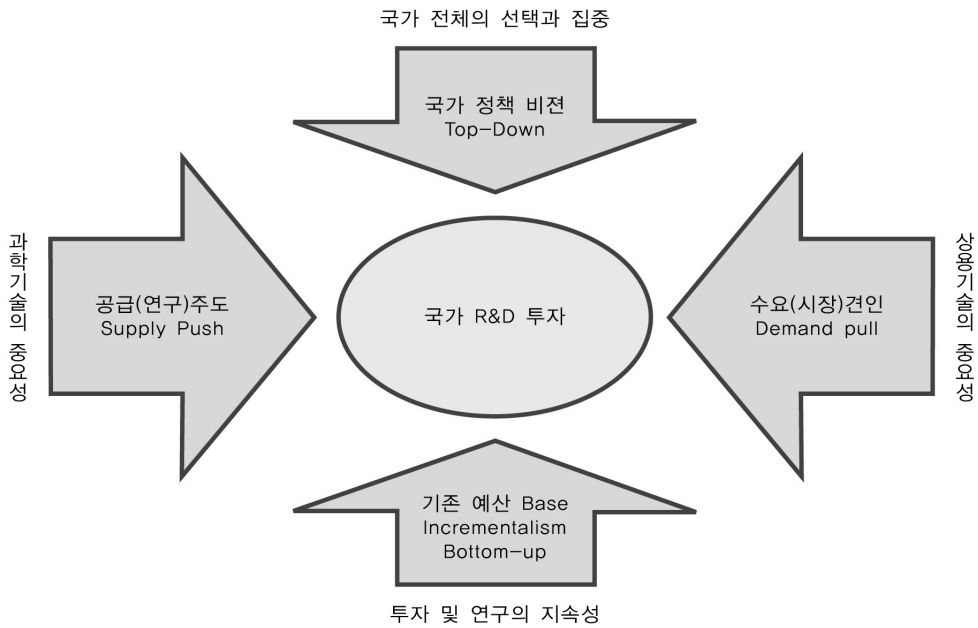
추상화된 파라미터에 의한 일반적인 평가에 그쳤다고 할 수 있다. 현실에서 실제로 이루어지는 과학기술 투자의 메커니즘을 모형화하는 연구는 이루어지지 못하였다. 그렇다면, 국가과학기술 투자에 관한 시스템 다이내믹스 접근은 어떻게 이루어졌는가? R&D 투자배분에 관한 기존의 시스템 다이내믹스 연구를 찾아보기는 쉽지 않다. 다만 박현준·오세홍·김상준(2004)은 국가 연구개발 투자시스템에 관한 SD 모델링을 수행한 바 있다. 이들은 R&D 예산을 관리하는 행위자들이 예산 과정을 거치면서 연구개발투자에 효능감을 느끼게 되는 과정을 모델링하고 있으며, 효능감의 증폭으로 인하여 효율적이지 못한 R&D 프로그램에 투자를 하는 투자의 패러독스가 발생할 수 있다는 점을 지적하고 있다. 하지만 이들의 모델에 있어서 R&D 기술개발 및 그로 인한 국가경제의 성장은 모두 외부 섹터로 설정되어 있다. 즉, R&D 투자로 인한 기술개발 효과 및 이로 인한 산업의 성장과 그 효과를 축으로 하는 기본적인 R&D 투자결정 과정이 이들의 모델링에는 포함되어 있지 않다. 결국 이들의 모델링은 R&D 투자배분에 관한 의사결정을 모델링하는 것이 아니라, R&D 투자를 관리하면서 발생하는 심리적 효과에 초점을 두고 있는 셈이다.

R&D 투자에 관한 두 번째 기존의 연구는 김순선·김동환(2007)의 연구를 들 수 있다. 이들은 R&D 기관에서 개발한 기술의 상용화 과정에 관하여 분석하고 있다. 이들의 논의 역시 R&D 투자에 초점을 두는 것이 아니라, 이미 개발된 기술을 상용화하는데 있어서 어떠한 메커니즘이 존재하는지에 관하여 논의하고 있다.

기존의 R&D 투자에 관한 시스템 다이내믹스 모델링은 R&D 투자에 관한 메커니즘을 모델링하였다기보다는 R&D 투자에 관련된 심리적인 측면 또는 상용화의 측면을 모델링하였다. 국가 R&D 투자에 관한 의사결정 메커니즘을 분석하기 위하여 더 이상 주변적인 프로세스에 초점을 둘 것이 아니라, R&D 투자와 그로 인한 기술개발과 시장 확대라는 핵심적인 과정에 초점을 둔 모델이 요구된다. 이러한 점에서 본 연구에서는 R&D 투자 의사결정의 메커니즘에 초점을 두고자 한다.

Ⅲ. 국가과학기술 투자에 영향을 주는 요인들 및 순환 구도

R&D 투자배분에 관한 모델링을 수행하기 전에 먼저 국가 R&D 투자배분에는 어떠한 요인들이 영향을 주는가에 관하여 살펴볼 필요가 있다. 현실에서 이루어지는 의사결정의 규칙 또는 메커니즘에 근거하여 모델링이 진행되어야 하기 때문이다. 현실의 R&D 의사결정에는 네 가지 근원적 투자배분 요인이 있는 것으로 생각된다.



[그림 1] 국가 R&D 투자에 영향을 주는 요인들

먼저 R&D 투자 배분에 있어서 가장 많은 논의가 되는 요인은 시장적 요인에 관한 부분이다. 시장적 요인은 수요견인(demand pull)과 공급주도(supply push)로 구성된다. 수요 부분의 요인은 시장 규모의 증가를 예상하는 기업에서 높은 기술수준을 요구하고 이에 따라 R&D 투자가 이루어진다는 것이다. 이는 기업체의 투자를 설명하는 방식이기도 하지만, 여전히 공공분야의 R&D 투자를 설명하는데 있어서도 중요한 요인이다. 다른 한편으로 공급주도의 요인은 R&D의 공급자라고 할 수 있는 과학기술 전문가들이 스스로 중요한 기술개발이라고 판단하여 연구하는 R&D 이다. R&D 투자를 시장의 수요에만 의존할 수 없는 것은 어떠한 분야의 기술개발이 중요한지에 관한 판단의 상당 부분은 기술을 개발하는 과학기술자들에게 의존할 수밖에 없기 때문이다.

그렇다고 해서 수요부문의 요구와 공급부문의 주도가 상이한 논리에 의해서 전개되는 것은 아니다. 양자의 논리는 R&D 투자의 효율성이라는 공통분모를 지닌다. 즉, R&D 투자로 인하여 해당 산업의 규모가 어느 정도 증가하는지, 그리고 더 나아가 GDP 가 어느 정도 증가하는지에 관한 효율성 내지 기여도의 순위에 의해 R&D 투자 규모를 조절할 수 있다는 점이다. 결국 위의 시장의 논리는 R&D 투자의 효율성으로 집약된다고 할 수 있을 것이다(OECD, 1991).

R&D 투자에 영향을 주는 또 다른 요인은 기존의 투자 규모이다. 즉, 금년도 R&D 투자 규모는 전년도 R&D 투자 규모에 의존한다는 것이다. 이는 점증주의적 예산이론(incremental budget theory)에 근거를 둔다. 지난해의 예산이 올해에 대폭 감소하거나 대폭 증가하기는 어렵다는 현실을 반영하는 논리이다. 이러한 논리는 특히 정부예산에 근거하는 공공분야의 R&D 투자에 적용된다고 할 수 있다.

마지막으로 국가 R&D 투자배분에 적지 않은 영향을 미치는 것은 국가적인 정책 비전이다. 예를 들어 지식경제를 국가차원의 정책비전으로 강조하던 김대중 정부에 있어서 국가 R&D는 정보통신 분야의 투자를 증가시키곤 하였다. 또한 녹색성장의 정책 비전이 강조되는 현 정부에서는 환경 분야에 대한 R&D 투자가 증가할 수밖에 없다.

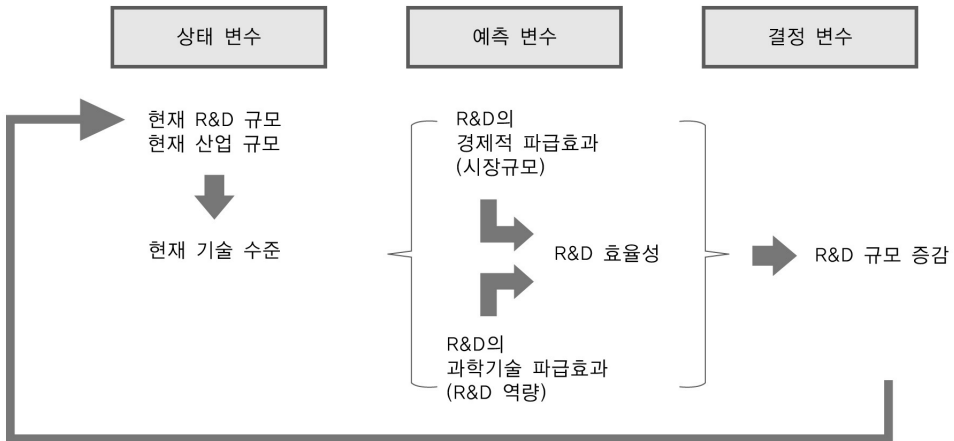
위의 요인들 중에서 기존 예산 규모가 베이스로 기능하는 피드백이 가장 기본적인 순환이라고 할 수 있을 것이다. 공공분야의 R&D 투자는 어디까지 예산 행위의 일부이기 때문이다. 즉, 작년도의 R&D 투자가 올해에 영향을 주고, 올해의 투자 결정이 내년도에도 영향을 주는 방식이다. 이러한 순환은 시스템 다이내믹스 모델링에 있어서 저량(stock)이라는 변수의 성격에 반영된다. 이렇게 R&D 예산이 1년 단위로 변화하면서 전년도 예산 베이스가 차년도 예산 규모를 판단하는 토대로 기능하는 예산 제도 하에서 과학기술 R&D 예산은 급격하게 그 값이 변하지 않는다.

이에 비하여 top-down 방식으로 영향을 주는 국가정책 비전의 영향은 피드백 순환을 지닌다고 하기는 어렵다. 국가정책 비전은 시대의 흐름에 따라서 변화하기는 하지만 주기적으로 반복된다기보다는 늘 새로운 비전이 제시되기 때문이다. 정보화 정책의 사례에서 본다면 이는 시스템의 내부적인 요인이라기보다는 외부적 요인인 기술발전에 더 큰 영향을 받는 것으로 보인다. 이러한 점에서 과학기술 정책에 대한 비전 및 이로 인한 영향은 정책적 투입을 의미하는 외부 변수(external variable)로 모델에 반영하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

R&D 투자 효과로 집약되는 시장적 요인은 크게 두 가지 순환을 창출하는 것으로 볼 수 있다. 첫째는 양의 피드백 루프로서 R&D 투자가 강화되는 순환이다. 특정 분야의 R&D 투자가 성공하는 경우, 산업의 규모가 증가하고, 이에 따라 R&D 투자 규모는 더욱 증가하는 경우 이에 해당된다. 이는 앞에서 지적한 ‘공급(연구)주도’의 요인과 ‘예산 지속성’의 요인이 결합되어 발생하는 것이라 할 수 있다. 예산이 전년도 베이스에 기초하여 점진적으로 증가하는 경향이 있는 것과 마찬가지로, 연구자들 역시 자신들이 진행하는 연구를 중요한 것으로 인식하는 경향이 있기 때문이다. 우리나라의 과학기술 R&D 투자의 프로세스에 있어서 예산을 사용하는 연구자들이 차년도 연구 예산을 신청하게 되어 있기 때문에, 이러한 두 가지 요인은 같은 순환으로 집약된다고 할 수 있다.

둘째는 음의 피드백 루프로서 R&D 투자의 성장을 멈추게 하는 순환이다. 이는 R&D 투자의 증가에 따라 시장이 포화수준(saturation point)에 근접하게 되고, 이에 따라서 더 이상의 R&D 투자는 높은 효율성을 가져 오지 못하는 상황을 의미한다. 일반적으로 초기에는 양의 피드백 루프가 시스템을 지배하면서 R&D 투자의 급격한 증가와 함께 산업 규모가 성장하다가 후기에는 음의 피드백 루프가 강화되면서 R&D 투자와 산업 규모의 성장이 서서히 정체 상태에 이르게 된다. 이러한 S-커브 또는 시그모이드 커브는 전형적인 산업의 성장곡선이다. 여기에서 발견할 수 있는 음의 피드백 루프는 앞서 논의한 공급주도 요인이나 예산 배이스 요인에서는 발견하기 어려운 순환 구조이다. 이는 시장의 수요를 견인하는 요인을 반영하는 것이라고 할 수 있다. 즉, 기존의 R&D가 아무리 성공적이었다고 할지라도, 시장의 성숙도가 포화상태에 진입하여 추가적인 R&D 투자가 큰 효과를 가져오기 어렵다고 판단하는 경우, 오히려 R&D 규모를 줄이는 방향으로 투자를 변경시키는 순환 구조이다.

이러한 논의에 근거하여 R&D 투자 배분에 관한 의사결정 과정을 다음과 같이 단순화된 순환 구조로 요약할 수 있다. [그림 2]의 순환구조는 앞서 논의한 요인들을 바탕으로 하여 R&D 투자 배분 구조를 의사결정 메커니즘으로 요약한 것이다.



[그림 2] R&D 투자에 관한 의사결정의 순환구조

먼저 왼쪽의 상태변수로는 현재의 R&D 규모와 현재의 기술수준 및 현재의 산업규모 등이 포함된다. 이는 모든 의사결정이 현실에 근거하여 이루어진다는 점을 의미하기도 하지만, 현재의 예산에 근거하여 미래의 예산 규모가 조절되는 점증주의적 예산 방식을 반영하는 것이기도 하다.

가운데의 인식변수는 현재의 상태 변수에 의해 형성되는 인식을 의미하는 것으로서 여

기에서 초점이 되는 변수는 R&D 투자의 효율성이다. 앞서 논의하였듯이 이는 수요견인이거나 공급주도의 요구의 공통분모라고 할 수 있다. 다만 수요견인은 시장규모의 증가에 더 큰 관심을 지닌다면, 공급주도는 과학기술의 역량 증가에 더 큰 관심을 갖는다고 할 수 있다. R&D투자의 효율성은 미래에 대한 전망을 포함하는 인식(perception)이다. 하지만 여기에서의 전망은 엄격한 미래예측을 의미한다기보다는 효율성에 관한 인식의 변화를 의미한다. 예를 들어 정보통신 시장이 성숙단계에 접어들면서 정보통신 R&D 투자의 효율성이 감소할 것으로 인식이 변화되는 것처럼, 시장의 성숙도에 따른 R&D투자 효율성에 관한 인식의 변화를 의미한다.

오른쪽의 결정변수는 R&D 규모를 어느 정도 증가시킬 것인가에 대한 의사결정을 의미한다. 이는 미래의 R&D 투자에 대한 결정이다. 하지만 R&D 효율성에 대한 인식이 갑작스럽게 높아진다고 하더라도, R&D 투자 규모가 갑자기 높아지는 것은 아니다. R&D 투자를 과거의 예산 규모에 비해서 어느 정도 증가시킬 것인가라는 점증적인 방식을 취한다.

[그림 2]의 순환구도에는 양의 피드백 루프와 음의 피드백 루프가 공존한다. 산업의 초기에는 양의 피드백 루프가 시스템을 지배하고, R&D 효율성이 높은 것으로 인식하여 R&D 투자 규모를 증가시키는 선순환이 작동한다. 이에 비해 산업의 후기에는 시장이 포화 상태에 도달하고 이에 따라 R&D 효율성이 낮은 것으로 인식되어, R&D 투자 규모가 감소하게 된다. 이와 같이 R&D 투자의 효율성에 관한 인식과 투자 규모의 결정, 그리고 이에 따른 시장의 성장 등이 R&D 투자의 의사결정을 둘러싸고 지속적으로 순환된다.

IV. 국가과학기술 투자 결정의 SD 모델

시스템 다이내믹스 모델링은 무엇보다도 의사결정(decision-making)에 관한 모델링에 있어서 탁월한 강점을 갖는다. 시스템 다이내믹스에 있어서 의사결정은 저장과 유량의 관계에 의해 표현된다. 그만큼 모델링에 있어서 저장과 유량의 구분이 중요하기 때문이다. 시스템 다이내믹스에서는 시스템의 모든 변수들을 근본적으로 저장과 유량으로 구분한다(김도훈·문태훈·김동환, 1999). 저장(stock)은 그 값이 시간을 두고 계속 축적되는 변수이며, 유량(flow)은 그 값이 시간에 따라서 변하는 변수이다. 저장과 유량은 연결되어 있다. 저장의 값을 증가시키는 유량을 증가유량(inflow)이라고 하고, 저장의 값을 감소시키는 유량을 감소유량(outflow)라고 한다.

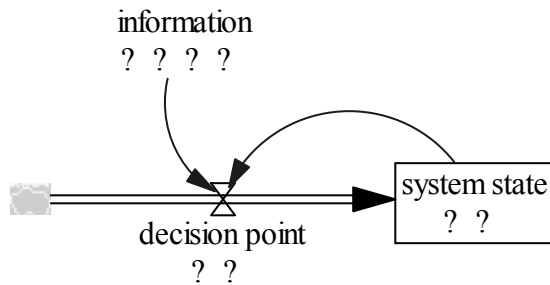
이는 보통 욕실의 욕조와 수도꼭지로 비유되곤 한다. 욕조가 저장이라면 수도꼭지는 유량이다. 유량인 수도꼭지에서 흘러들어오는 물의 양이 증가하면 욕조에 쌓이는 물의 양이

증가한다. 여기에서 “수도꼭지에서 흘러들어오는 물의 양(water in valve)”을 유량이라고 한다면, “욕조에 고여 있는 물의 양(water in bath)”는 저장이라고 할 수 있다. 전자의 값은 시간에 따라서 변화될 뿐 그 값이 축적되지 않는다. 하지만 후자의 값은 시간에 따라서 계속 축적된다. 배수구를 열었을 때(이것은 감소유량이다), 욕조에서 물이 빠져나가더라도 그 효과는 시간에 따라서 축적되면서 욕조의 물을 감소시킨다. 이와 같이 시스템 다이내믹스에 있어서 저장과 유량은 시스템의 변화를 표현하는 개념적 프레임이다.

이러한 저장-유량의 프레임은 의사결정을 모델링하는데 적합하다. 이러한 점을 Morecroft 교수는 1985년 명확하게 논의한 바 있다(Morecroft, 1985). Morecroft 교수에 의하면 시스템 다이내믹스 모델링에 있어서 의사결정자는 유량에 해당된다. 욕조에 물을 얼마나 많이 받을 것인가를 의사결정자가 결정하고 나서는 수도꼭지의 밸브를 조절하기 때문이다. 이때에 전형적인 의사결정은 다음과 같다.

- 유입되는 물의 양 = 목표로 하는 물의 양 - 현재 욕조에 있는 물의 양

위의 공식은 목표지향적인 의사결정에 해당된다. 여기에서 “현재 욕조에 있는 물의 양”은 저장이며, “유입되는 물의 양”은 유량이다. 그리고 “목표로 하는 물의 양”은 시스템 다이내믹스 모델링에 있어서 “보조변수(auxiliary variable)”이라고 부른다. 결국 이러한 일련의 과정을 의사결정의 관점에서 본다면, 유량은 의사결정의 행위에 해당되며, 저장은 의사결정 행위의 결과에 해당된다. 의사결정자는 저장의 변화를 보고서 지속적으로 의사결정을 수행한다. 이러한 점에서 저장(현재 욕조에 있는 물의 양)과 보조변수(목표로 하는 물의 양)은 의사결정을 수행하기 위해 투입(input)되는 변수라고 할 수 있으며, 결국 의사결정에서 요구되는 정보(information)이라고 할 수 있다.



[그림 3] 의사결정 지점에 관한 SD 모델링

결국 의사결정 지점(decision point)과 의사결정으로 인해 영향을 받는 현실의 상태(state)는 각각 시스템 다이나믹스 모델링에 있어서 유량과 저량으로 반영되는 셈이다. 그리고 의사결정을 수행하기 위하여 필요한 정보(information)은 다시금 저량과 보조변수로 표현되어 유량으로 투입된다. 그리고 여기에서 의사결정의 피드백 루프가 형성된다. 이러한 점에서 시스템 다이나믹스는 모든 의사결정은 피드백 루프를 형성하는 것으로 이해하며, 피드백 루프의 관점에서 모델링을 수행한다.

이제 앞의 [그림 1]과 [그림 2]에서 논의한 국가과학기술 투자 의사결정 구도에 따라 저장-유량(stock-flow) 프레임에 입각한 시스템 다이나믹스 모델링을 구축할 수 있다. [그림 4]는 위의 구도를 바탕으로 하여 구축한 시뮬레이션 모델이다. 이 모델을 구축하기 위하여 KISTEP 국가과학기술 R&D 센터에서 근무하는 3명의 연구원들과 2010년 9월부터 2010년 11월까지 지속적인 협동 작업을 수행하였다. R&D 배분을 직접 담당하였던 연구원들의 경험을 모델에 반영하기 위하여 시뮬레이션 모델은 가능한 한 단순화시키기로 하였다. SD 모델링을 처음 접하는 연구원들에게 모델의 구조를 설명하고 시뮬레이션을 수행한 다음에 시뮬레이션 결과를 평가받는 과정을 수행하기 위하여 단순한 모델을 고수하는 것은 불가피한 선택이었다. 이러한 점에서 본 논문의 모델은 객관적 정확성을 확보하기 보다는 국가과학기술 R&D 배분 과정에 참가하였던 연구원들의 경험적 주관성을 가장 단순화된 모델로 반영하는데 초점을 두었다. 이를 통하여 향후 보다 객관적인 모델로 발전시켜 나갈 수 있을 것이기 때문이다.

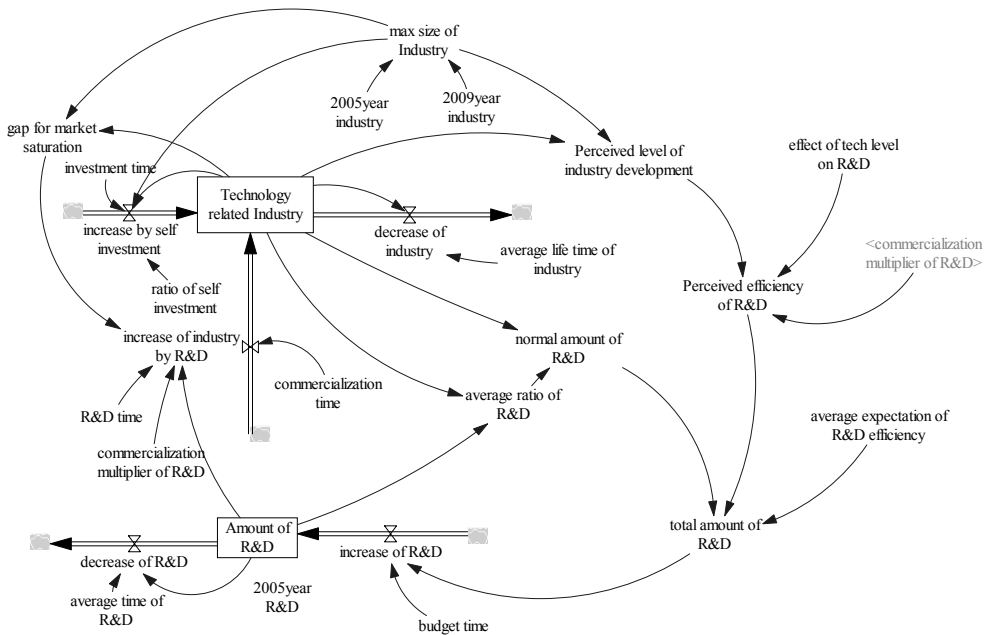
이러한 점에서 본 논문의 모델은 국가 과학기술 R&D 투자에 관한 의사결정을 가장 단순화시킨 모델이라고 할 수 있다. 이 모델은 오직 두 개의 저장(stock)으로만 구성되어 있다. 저량은 모델에서 사각형 변수로 표시된다. 첫 번째 저량은 “연구개발 투자의 규모(Amount of R&D)”로서 모델의 아래부분에 위치하고 있다. 여기에는 R&D 예산이 1년(12개월)을 단위로 하여 증가하고 감소하는 과정이 모형화되어 있다.

두 번째 저량은 “관련 산업규모(Technology related Industry)”로서 왼쪽 위에 위치하고 있다. 산업규모는 두 가지 요인에 의해서 증가된다. 첫째는 연구개발 투자에 따른 상용화에 의한 성장이다. 상용화가 어느 정도로 이루어지는가는 “상용화 배수(commercialization multiplier of R&D)”라는 파라미터에 의해 결정되는데, 그 값은 R&D 분야에 따라 다르게 설정된다. 보통 5에서 10 정도의 값을 취한다. 이 파라미터는 R&D 규모에 곱한 값이 산업규모의 성장으로 투입된다. 하지만 상용화가 즉시 이루어지는 것은 아니다. R&D가 수행되는 기간과 상용화에 소요되는 시간(commercialization time)에 의해 지연된다.

“산업규모”를 성장시키는 두 번째 요인은 과학기술 투자가 아닌 상업적인 투자이다. 이는 “increase by self investment”라는 변수로 표현되어 있다. 즉, 기업체들이 스스로 공장을

확충하거나 판매 인력을 늘리는 등의 투자를 수행함으로써 산업이 성장하는 메커니즘을 의미한다. 이러한 “자체 투자의 비율(ratio of self investment)” 역시 산업에 따라 상이한 값을 지닌다. R&D 비중이 낮은 산업일수록 그 값이 높아질 것이다. 예를 들어 음식 산업의 경우에는 R&D 에 의해 성장하는 비중보다는 상업적인 투자에 의해 성장하는 비중이 클 것이다.

모델의 오른쪽은 산업의 성숙도(포화수준)에 대한 인식 및 이에 따라 R&D 투자의 효과에 대한 인식이 변화하는 과정을 모델링하고 있다. 현재의 산업규모는 “최대 산업규모(max size of Industry)”와 비교되면서 “산업발전 수준의 인식(Perceived level of industry development)”로 연결되며, 이는 “R&D 효율성 인식(Perceived efficiency of R&D)”에 영향을 준다. 이때에 최대 산업규모는 2005년도 산업규모와 2009년도 산업규모를 반영하여 설정하였으며, 여기에 투입되는 기본 값은 앞서 소개한 “상용화 배수”로써, 그 배수에 대한 인식의 변화는 산업의 성숙도에 따라서 결정된다. 여기에서는 다음과 같은 그래프 함수가 사용되었다.



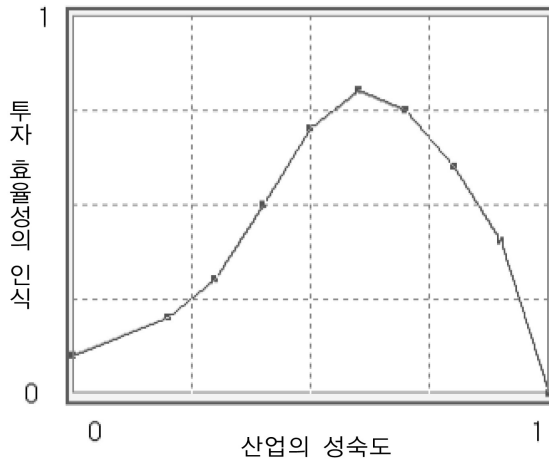
[그림 4] 국가과학기술투자 과정에 관한 SD 모델

〈표 1〉 R&D 투자에 관한 SD 모델과 주요 변수의 설명

모델의 좌하단에서부터 시계방향으로 돌아가는 순서로 변수들을 서술하였음.	
Amount of R&D	R&D 투자 금액
increase of R&D	R&D 투자 예산의 증가
decrease of R&D	R&D 투자 예산의 소비
commercialization multiplier of R&D	R&D 투자 효과로써 상용화 배수
commercialization time	상용화에 소요되는 시간
increase of industry by R&D	R&D 투자 효과에 의한 시장의 성장
ratio of self investment	자체 투자 비율 (이 비율이 높을수록 R&D 비중이 낮음)
increase by self investment	상업적 투자에 의한 시장의 성장
Technology related Industry	산업의 시장 규모
gap for market saturation	시장 포화 수준과 현재 시장 규모의 격차
max size of Industry	포화수준의 시장 규모
decrease of industry	시장의 감소
average life time of industry	평균 시장 수명 (진부화율)
Perceived level of industry development	시장의 성숙도에 대한 인식
Perceived efficiency of R&D	R&D 기술의 효율성에 대한 인식
effect of tech level on R&D	시장의 성숙도가 R&D 기술 효율성에 미치는 영향 (그래프 함수로 설정됨)
average expectation of R&D efficiency	(산업 전체) 평균 R&D 투자 효율성 기대
average ratio of R&D	시장규모와 R&D 규모의 비율
normal amount of R&D	시장규모 대 R&D 비율에 따라 산출되는 통상적인 R&D 규모
total amount of R&D	전체 R&D 규모

[그림 5]는 시장성숙도에 따른 R&D 효과에 대한 인식의 변화에 대한 가정을 그래프화한 것이다. 가로축은 시장성숙도를 의미하며, 그래프의 투입 변수를 의미한다. 세로축은 R&D 효율성에 대한 인식으로서 0에서부터 1까지의 값을 지닌다. 이 값이 0.5라는 것은 기본적인 R&D 효율성의 50% 만을 인식한다는 것이다. 아래의 그림은 산업이 발전함에 따라 초기에는 R&D 효율성에 대한 인식이 높아지다가 어느 정도의 산업발전이 이루어지고 나서는 감소하는 인식의 변화를 보여주고 있다. 산업의 성숙도가 포화수준을 넘어서게 되면

(1), R&D 투자효율성에 대한 인식도는 0으로 떨어진다고 가정하였다. [그림 5]의 그래프 함수는 시장의 성숙도에 따라 R&D 효율성이 감소된다는 인식을 반영하기 위한 것이다. 즉, 전자산업과 같이 시장이 포화상태에 접어들어 따라 추가적인 R&D를 위한 자금 투자는 그 효율성이 떨어질 것으로 인식하며, 이에 따라 R&D 자금이 감소한다는 것이다. [그림 5]의 그래프 함수는 이러한 과정을 반영하여 모델에 음의 피드백 루프를 구축한다.



[그림 5] 산업의 성숙도에 따른 R&D 투자 효율성에 대한 인식의 변화

R&D 투자 효율성에 관한 인식은 평균적인 R&D 효율성과 다시금 비교된다. “산업의 평균적인 효율성에 대한 기대값(average expectation of R&D effectiveness)”보다 높으면 “정상적인 R&D 규모(normal amount of R&D)”에 비해 더 많은 예산이 투입될 것이며, 평균적 효율성에 대한 기대값보다 낮으면 그만큼 적은 예산이 투입될 것이다. 여기에서는 R&D 효율성에 대한 인식을 평균 기대값으로 나눈 값에 비례하여 최종적인 R&D 규모가 결정되는 것으로 가정하였다. 이때에 “최종적인 R&D 규모(total amount of R&D)”에 영향을 주는 정상적인 R&D 규모는 산업 규모에서 차지하는 R&D 규모의 비율에 기초하여 산출하였다. 산업별로 R&D 투자 비율의 값은 어느 정도 안정적으로 유지될 것이라고 판단되었기 때문이다. 여기에서는 2005년도 R&D 규모가 2005년도 산업규모에서 차지하는 비율이 초기값으로 투입되며, 이후에는 시물레이션이 진행됨에 따라 그 비율이 지속적으로 변화한다.

V. 산업 부문별 시뮬레이션과 분석

앞서 제시한 R&D 투자에 관한 시스템 다이내믹스 모델은 현실의 의사결정 과정의 핵심적인 메커니즘을 반영하면서 최대한 단순화시킨 모델이다. 따라서 많은 가정적인 파라미터들로 구성되어 있다. 이렇게 단순화된 모델을 현실에 적용할 수 있을지를 검토하기 위하여 실제의 산업부문에 적용하여 보았다. 본 연구에서는 R&D 투자에 있어서 상이한 속성을 지니는 산업부문들 중에서 산업규모와 R&D 규모에 관한 일관된 데이터가 있는 산업부문들을 선정하였다. 이렇게 선정된 여섯 개의 산업부문은 전자, 철강, 조선, 석유, 음식, 자동차이다(본 연구에서 사용한 6가지 산업부문에 관한 분류 내역은 부록에 설명하였다).

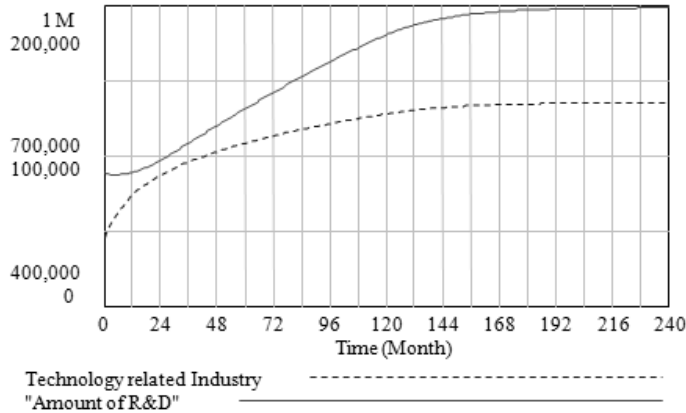
각 산업 부문에 대해서 투입한 데이터는 시장규모(산업규모)와 R&D 규모는 산업통계 및 과학기술통계에서 추출한 데이터이며(한국과학기술평가원 2010의 데이터를 기초로 하여 통계청 데이터 참고하였음. 부록 참조), 진부화 기간은 산업 종사자에 대한 설문 결과를 반영한 것이다(과학기술정책연구원, 2004. 통계명: 혁신지식진부화기간). 각 산업의 시장규모에 관한 데이터는 2009년도의 값을 기준으로 하였다. 다만, 최대 시장 규모는 2009년도의 시장규모와 2005년도의 시장규모간의 격차를 2009년도의 시장규모에 더한 값으로 산정하였다. 즉, 앞으로 지난 5년간의 성장만큼 각 산업이 성장할 것이라는 가정이다. 이는 대단히 무리한 가정이었지만, 현재 각 산업에 대하여 공통적으로 얻을 수 있는 데이터를 기초로 할 때 무난하다는 KISTEP 연구원들의 평가에 근거한 것이었다. 그리고 각 산업의 R&D 규모는 2005년도의 데이터를 초기값으로 설정하였다. 즉, 본 모델의 시뮬레이션에서 초기 값은 2005년도의 데이터로 세팅되어 있는 셈이다. 또한 본 모델에서 240개월을 시뮬레이션 한 것은 2005년도로 시작하여 2025년도 까지 시뮬레이션 한 것이다. 하지만, 본 모델은 극히 단순화된 모델로서, 미래의 산업규모나 R&D 규모에 관한 예측을 시도한 것은 아니며, 단지 R&D 투자결정을 의사결정의 관점에서 보아 모델링한 SD 모델이 어느 정도 작동하는가를 살펴 본 것에 지나지 않는다.

‘상용화 배수’와 ‘상용화기간’은 산업의 특성을 고려하여 연구자와 KISTEP 연구원들과의 논의를 통하여 가정된 값이다. ‘상용화 배수’는 R&D의 투자 효율성을 의미한다. 평균적인 R&D 투자효율성을 의미하는 ‘평균 R&D 기대’의 값은 5의 값을 가정하였다. 그리고 ‘자채투자의 비율’은 앞서 논의하였듯이, R&D 투자가 아닌 상업적 투자에 의해 성장하는 비율을 의미하는 것으로써, 이 역시 산업의 특성에 따라 결정된다. 모델에 투입된 파라미터 값은 산업 부문에 따라 아래와 같다.

〈표 2〉 산업 부문별로 투입된 파라미터의 값

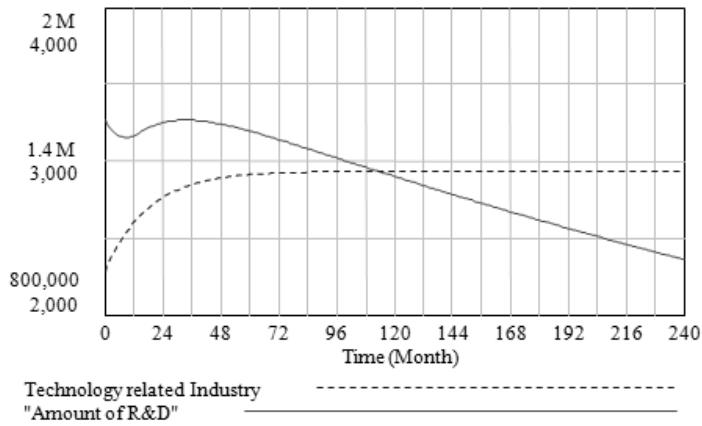
파라미터	전 자	철 강	조 선	석 유	음 식	자동차
상용화기간(개월)	12	48	36	36	36	24
R&D기간(개월)	12	12	12	12	12	12
진부화기간(개월)	36	60	60	48	48	36
상용화배수(승수)	7	6.5	7	6.5	6.5	7
자체투자 비율(비율)	0.25	0.45	0.5	0.5	0.5	0.45

전자부문 시뮬레이션의 결과는 R&D 규모와 산업규모가 120개월이 지나면서 포화수준에 도달하는 것으로 나타났다. R&D 투자 규모는 시장의 성숙과 함께 서서히 균형 상태로 진입하고 있다. 하지만 시뮬레이션 초기의 4년(48개월) 간은 급속한 R&D 투자 규모의 증가를 볼 수 있다.



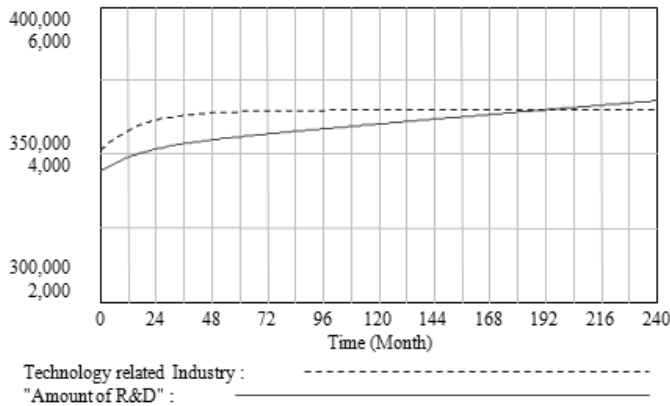
[그림 6] 전자부문의 R&D 투자 시뮬레이션

철강 부문의 시뮬레이션은 R&D 규모가 2년간 증가하다가 지속적으로 감소하는 것으로 나타나고 있다. 하지만 R&D 투자의 감소에도 불구하고 산업규모는 2년 후에 포화 수준에 도달하여 균형 상태를 유지한다. 이러한 시뮬레이션 결과가 산출되는 이유는 철강 산업의 경우 시장 포화상태에 근접해 있기 때문인 것으로 보인다.



[그림 7] 철강부문의 R&D 시뮬레이션

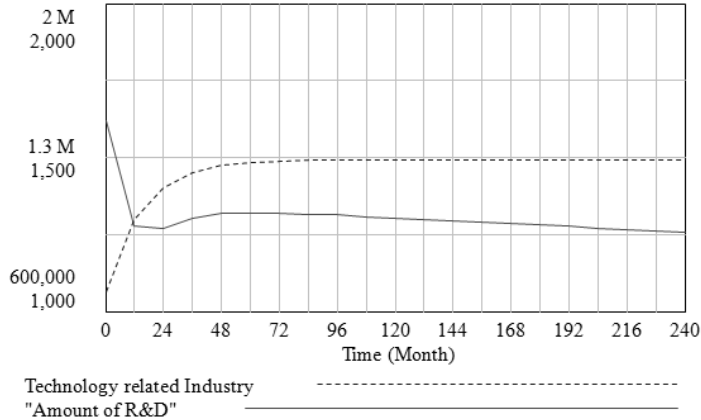
조선부문의 경우는 R&D 규모가 지속적으로 증가하지만, 시장의 규모는 그다지 증가하지 못하는 것으로 나타나고 있다. 이는 이미 조선 부문의 산업규모가 포화상태에 근접해 있다는 점을 의미하며, 아울러 현재까지 R&D 규모가 지나치게 낮은 수준에 머무르고 있다는 점을 보여준다. 결국 조선 부문에서는 산업 규모가 균형 상태에 진입함에 따라서 R&D의 효율성에 대한 인식이 저하될 가능성이 있다.



[그림 8] 조선 부문의 R&D 시뮬레이션

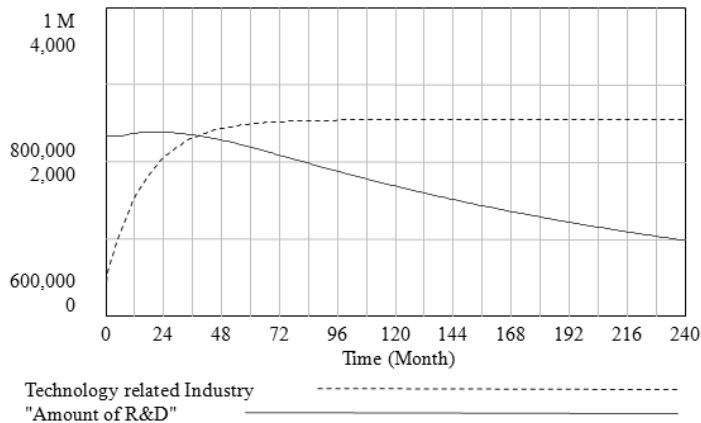
석유부문의 시뮬레이션은 산업규모의 증가는 48개월 정도 후에 포화수준에 들어가며, 석유 시장이 포화상태로 진입하는 과정에서 R&D 규모는 일시적으로 감소된다. 시장 규모

가 포화수준의 균형을 유지하면서, R&D 투자 규모 역시 균형 상태를 유지하는 것으로 나타난다.



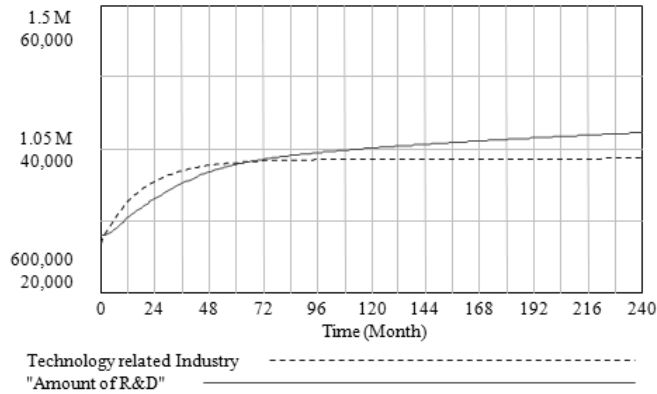
[그림 9] 석유 부문의 R&D 시뮬레이션

음식 부문의 경우, R&D 투자는 초기에 약간 증가한 이후 지속적으로 하락하지만 산업규모는 36개월 후에 포화수준에 근접하여 균형 상태에 들어가는 것으로 나타났다. 이러한 행태는 앞서의 석유산업의 시뮬레이션 결과와 상당히 유사하다. 즉, 시장 포화수준이 가까우면서 R&D 비중이 높지 않은 산업의 경우, 시장 규모가 포화상태에 도달하고 나서부터는 R&D 투자 규모가 점차 낮아질 가능성이 있다는 점을 보여준다.



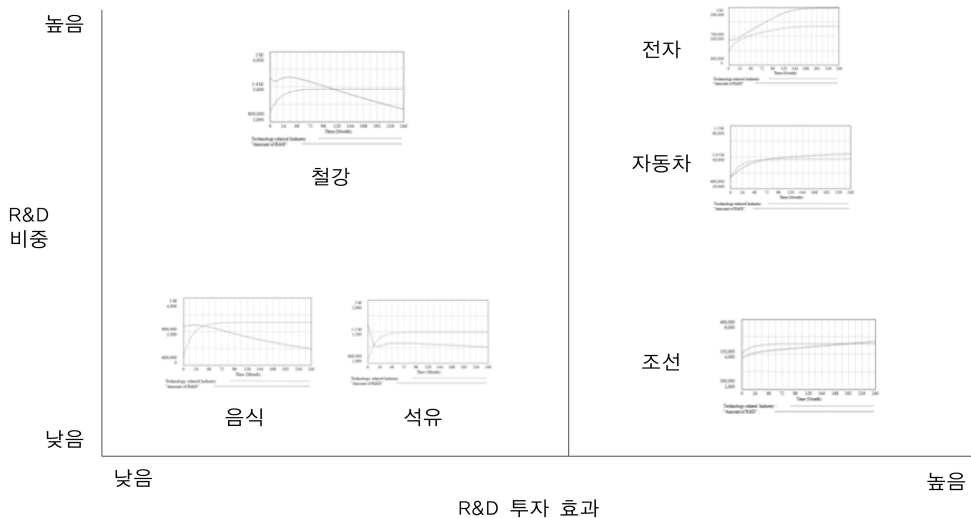
[그림 10] 음식 부문의 R&D 시뮬레이션

자동차 부문의 경우, R&D 규모는 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 산업규모는 초기에는 증가하지만, 48개월을 넘어서면서 시장 규모는 정체기에 진입한다. 그 이후로도 R&D 규모는 지속적으로 증가하고 있지만, 시장 규모는 균형 상태를 유지한다.



[그림 11] 자동차 부문의 R&D 시뮬레이션

[그림 12]는 앞의 시뮬레이션 결과를 종합적으로 비교하고 있다. 가로축은 R&D 투자효과를 의미하며 (상용화배수), 세로축은 R&D 비중을 보여 준다(자체투자비율에 반비례). 산업의 발전에 있어서 R&D 비중이 낮은 산업 부문으로는 음식, 석유, 조선을 들 수 있으며,



[그림 12] R&D 비중 및 투자효과에 따른 산업의 분류와 시뮬레이션 비교

나머지 산업인 철강, 전자, 자동차는 R&D 비중이 비교적 높은 것으로 가정되었다. 또한 R&D 투자효과에 있어서는 철강, 음식, 석유산업이 상대적으로 낮은 값(6.5)을 지니는 것으로 가정되었으며, 전자, 자동차, 조선이 높은 값(7)을 지니는 것으로 가정되었다. 아래의 그림은 이러한 두 가지 조합에 따라서 각 산업에 있어서 R&D 투자 규모가 미래에 어떻게 변화될 것인가를 비교하고 있다. 모든 산업에 있어서 속도의 차이는 있으나 시장 규모가 포화 수준을 향해서 증가하고 있지만, R&D 투자 규모는 상이한 행태를 보인다. R&D 투자 효과가 높은 산업들은 R&D 규모가 지속적으로 증가하지만, R&D 투자 효과가 상대적으로 낮은 산업의 경우에는 R&D 규모가 서서히 감소하는 것으로 나타나고 있다.

VI. 연구의 시사점 및 결론

본 연구에서 구축한 R&D 투자에 관한 시스템 다이내믹스 모델은 완결된 것이 아니라 탐색적인 차원의 모델이다. 복잡하게 이루어지는 과학기술 R&D 투자에 관한 의사결정을 어떻게 단순한 모델로 시뮬레이션 할 수 있는가를 탐색하여 보았다. 본 연구를 통하여 구축된 시스템 다이내믹스 모델을 활용하여 R&D 투자에 관한 의사결정을 어느 정도 재현할 수 있다는 점을 확인할 수 있었다. 하지만 본 모델은 현실을 충분히 재현하고 있지는 못하다. 가장 중요한 원인은 복잡한 현실의 의사결정 메커니즘을 단순화하였기 때문이다. 본 논문에서 제시된 모델은 현실의 과학기술 R&D 예산 배정을 다루었던 연구원들의 경험을 취합하여 모델화하였다는 점에서 의미가 있는 것으로 생각된다. 따라서 본 논문의 모델은 객관적이라고 할 수는 없다. 다만 본 논문의 모델은 ‘과학기술 투자에 관한 현실의 메커니즘을 반영한 주관적 모델’이라고 할 수 있을 것이다. 이러한 모델을 통하여 앞으로 보다 객관적인 사실이 반영될 수 있을 것으로 전망된다.

또한 본 모델의 가장 큰 한계는 정확한 데이터를 투입할 수 없었다는 점에서 비롯되었다. 가장 대표적인 예로 “상용화배수(R&D 효과)”, “상용화기간”, “진부화기간”, “투자의 비율(상업적 투자의 비율)”, “평균적 R&D 효율성에 대한 기대” 등에 관한 데이터를 들 수 있다. 이러한 데이터의 결핍은 본 모델의 한계이기도 하지만, 본 모델의 중요한 시사점이기도 하다. 한 국가의 R&D 투자를 결정하는데 있어서 이러한 변수들을 당연히 고려해야 함에도 불구하고, 이러한 변수에 해당되는 데이터를 구할 수 없다면, 이는 과학기술 투자와 관련된 통계 지표의 허점을 보여주는 것이기 때문이다. 과학기술 R&D의 효율성을 결정하는데 있어서 반드시 필요한 데이터가 현실에 존재하지 않는다면, 이는 기존의 과학기술 투자에 관한 의사결정이 객관적인 데이터에 의존하기 보다는 의사결정자의 추론에 의존하였으리라

는 점을 시사하여 준다. 단순히 제도적인 차원의 점증적인 예산 메커니즘의 타성이나 국가적 과학기술 비전에 의한 top-down식 영향에 흔들리지 않는 합리적인 과학기술 투자가 이루어지기 위해서는 본 연구에서 구축한 SD 모델에 투입할 수 있는 데이터를 새로 구축해야 한다. 향후 이렇게 결핍된 데이터를 구축하면서 모델을 보다 정교하게 수정한다면, 국가 R&D 투자의 방향성을 제시할 수 있는 시스템 다이내믹스 모델을 구축할 수 있을 것이다.

【참고문헌】

- 국가과학기술위원회. (2008). 선진일류국가를 향한 이명박 정부의 과학기술기본계획. 본회의 28회 1호 안건.
- 김도훈 · 문태훈 · 김동환. (1999). 『시스템 다이내믹스』. 대영문화사.
- 김성태 · 임병인 · 김명규. (2010). “R&D 투자의 경제적 파급효과 추정모형 연구”. 한국과학기술기획평가원 연구보고서.
- 김순선 · 김동환. (2007). “공공 R&D 기관의 기술 상용화 과정에 관한 시스템 사고 분석”. 『한국 시스템다이내믹스연구』 제8권 2호: 191-207.
- 박현준 · 오세홍 · 김상준. (2004). “국가연구개발 투자시스템의 레버리지 전략: 시스템 다이내믹스 접근”. 『한국 시스템다이내믹스연구』 제5권 2호: 33-66.
- 이동엽 · 안태호 · 황용수. (2002). “AHP를 이용한 과학기술 부문별 국가연구개발 투자우선순위 선정”. 『기술혁신연구』 제10권 1호.
- 일본 과학기술정책연구소 · 미래공학연구소. (2002). 2030년의 과학기술. 제7회 일본 문부과학성 기술예측조사 보고서. 한국과학기술정보연구원 편역.
- 한국과학기술기획평가원. (2010). 2010 연구개발활동조사보고서. 교육과학기술부.
- 과학기술정책연구원. (2004). 기술혁신조사. 교육과학기술부.
- Bor. (2010). “A dynamic general equilibrium model for public R&D investment in Taiwan”. *Economic Modelling*, Vol. 27: 171-183.
- Ghosh. (2007). “R&D Policies and Endogenous Growth: A Dynamic General Equilibrium Analysis of the Case for Canada”. *Review of Development Economics*, Vol. 11, No. 1: 187-203.
- Morecroft, J. D. W. (1985). “Rationality in the Analysis of Behavioral Simulation Models”. *Management Science*, Vol. 31, No. 7.
- OECD. (1991). *Choosing Priorities in Science and Technology*. Paris.

【부록 1】 모델링에 포함된 산업부문별 분류 내역

항 목	산업분류 상의 위상	포함 항목 상세 설명 내용
음식료품	제조업> 음식료품 및 담배> 음식료품(담배 제외)	<ul style="list-style-type: none"> • 식료품제조업(도축, 수산물, 과일, 낙농제품, 곡물, 전분, 기타, 설탕, 면류, 조미료 등), • 음료제조업(알콜, 증류주, 비알콜음료)
석유정제	제조업>코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	<ul style="list-style-type: none"> • 코크스 연탄제조, • 석유 정제품 제조업(원유 정제처리업, 석유정제물 재처리업)
철강	제조업> 제 1차 금속산업	<ul style="list-style-type: none"> • 제1차 철강제조업 (제철, 제강 및 합금철) (철강 압연, 압출 등) (철강관 제조업) (기타1차 철강제조업) (1차 비철금속제조)
가전-전자 장비	제조업> 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비	<ul style="list-style-type: none"> • 반도체, • 전자부품, • 컴퓨터 및 주변장치 • 통신 및 방송 장비 • 영상 및 음향기기
자동차	제조업> 자동차 및 트레일러	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차용 엔진 및 자동차제조업 • 자동차 차체 및 트레일러 제조업 • 자동차 부품 제조업
조선	제조업>기타운송장비 (포함)	<ul style="list-style-type: none"> • 선박 및 보트건조업(비중: 약 20%) • 철도장비 제조업 • 항공기 • 그 외 기타

【부록 2】 모델링 수식(석유부문의 예)

- (1) “2005year industry”= 692041
- (2) “2005year R&D”=1620
- (3) “2009year industry”=1.10643e+006
- (4) “Amount of R&D”= INTEG (“increase of R&D”-“decrease of R&D”, “2005year R&D”)
- (5) “average expectation of R&D efficiency”= 5
- (6) average life time of industry=48
- (7) “average ratio of R&D”=“Amount of R&D”/Technology related Industry
- (8) “average time of R&D”=12
- (9) budget time=12
- (10) “commercialization multiplier of R&D”=6
- (11) commercialization time=36
- (12) decrease of industry=Technology related Industry/average life time of industry
- (13) “decrease of R&D”= “Amount of R&D”/“average time of R&D”
- (14) “effect of tech level on R&D”([(0,0)-(1,1)],(0,0.1),(0.2,0.2),(0.3,0.3),(0.4,0.5),(0.5,0.7),
(0.6,0.8),(0.7,0.75),(0.8,0.6),(0.9,0.4),(1,0))
- (15) FINAL TIME=240
- (16) gap for market saturation=MAX(max size of Industry-Technology related Industry,
0)/max size of Industry
- (17) increase by self investment= ratio of self investment*(max size of industry -
Technology related Industry)/investment time
- (18) “increase of industry by R&D”=gap for market saturation * “Amount of R&D” *
“commercialization multiplier of R&D”/(commercialization time+“R&D time”)
- (19) “increase of R&D”=“total amount of R&D”/budget time
- (20) investment time=18
- (21) max size of Industry=“2009year industry”+(“2009year industry”-“2005year industry”)
- (22) “normal amount of R&D”=Technology related Industry*“average ratio of R&D”
- (23) “Perceived efficiency of R&D”= “commercialization multiplier of R&D” * “effect of
tech level on R&D”(Perceived level of industry development)
- (24) Perceived level of industry development=Technology related Industry/max size of

Industry

(25) “R&D time”=12

(26) ratio of self investment=0.5

(27) Technology related Industry= INTEG (increase by self investment+“increase of industry by R&D”-decrease of industry,“2005year industry”)

(28) “total amount of R&D”=“normal amount of R&D” * “Perceived efficiency of R&D”/“average expectation of R&D efficiency”