

# 건설 분야 정부 R&D 투자의 사업별 경제적 파급효과 분석 - 정성적 자료 기반의 시스템다이내믹스 예측모형 개발 -

## Forecasting Economic Impacts of Construction R&D Investment: A Quantitative System Dynamics Forecast Model Using Qualitative Data

황 성 주*	박 문 서**	이 현 수***	장 유 진****	문 명 기*****	문 예 지*****
Hwang, Sungjoo	Park, Moonseo	Lee, Hyun-Soo	Jang, Youjin	Moon, Myung-Gi	Moon, Yeji

### Abstract

Econometric forecast models based on past time-series data have been applied to a wide variety of applications due to their advantages in short-term point estimating. These models are particularly used in predicting the impact of governmental research and development (R&D) programs because program managers should assert their feasibility due to R&D program's huge amount of budget. The construction governmental R&D programs, however, separately make an investment by dividing total budget into five sub-business area. It make R&D program managers difficult to understand how R&D programs affect the whole system including economy because they are restricted with regard to many dependent and dynamic variables. In this regard, system dynamics (SD) model provides an analytic solution for complex, nonlinear, and dynamic systems such as the impacts of R&D programs by focusing on interactions among variables and understanding their structures. This research, therefore, developed SD model to capture the different impacts of five construction R&D sub-business by considering different characteristics of sub-business area. To overcome the SD's disadvantages in point estimating, this research also proposed the method for constructing quantitative forecasting model using qualitative data. Understanding the different characteristics of each construction R&D sub-business can support R&D program managers to demonstrate their feasibility of capital investment.

**Keywords :** *R&D programs, System Dynamics, Qualitative Data, Forecast Model*

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

경제협력개발기구 (OECD)에 따르면, 연구개발 (Research and Development 이하 R&D)이란 “인류, 문화, 사회의 지식을

포함하는 모든 지식을 새롭게 축적하거나 또는 축적된 지식을 이용하여 새로운 응용을 고안하기 위해 체계적 방법으로 수행하는 창조적 활동”을 말한다.

가속화되는 국제경쟁 속에서 연구개발을 통한 원천 지식 및 기술 확보에 대한 수요가 점점 확산되고 있는 추세이다. 건설 분야도 R&D 사업에 대한 중요성을 인식하고 투자규모를 확대하

\* 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원, 박사과정, nkkt14@snu.ac.kr  
\*\* 종신회원, 서울대학교 건축학과 정교수, 공학박사, mspark@snu.ac.kr  
\*\*\* 종신회원, 서울대학교 건축학과 정교수, 공학박사, hyunslee@snu.ac.kr  
\*\*\*\* 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원, 박사과정, uzjang@gmail.com  
\*\*\*\*\* 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원, 공학석사, mun11111@snu.ac.kr  
\*\*\*\*\* 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원, 석사과정, yeji.luna@gmail.com

여 1994년에 12억 원의 예산으로 시작된 건설 R&D는 2011년에는 그 규모가 4,300억 원에 이르고 있다 (국토해양부 2011). 장기적으로 볼 때 R&D 투자는 한 경제의 기술수준 및 지식수준을 결정하는 핵심요소이며, 기술과 지식수준의 향상은 한 국가의 생산성과 경제성장을 결정하는 주요한 요소라 볼 수 있다. 이에 따라 건설 분야에서도 R&D 사업에 따른 연구 결과 및 성과창출 뿐 아니라 사회 및 경제 전반에 대한 파급효과의 기대감이 급증하고 있다.

이처럼, 대규모 금액의 투자가 이루어지는 R&D 사업의 경우, 그 파급효과를 예측 및 분석함으로써 적절한 투자규모를 산정할 필요성이 있다. R&D 사업에 과지출 시에는 단기적인 재정 안정성에 위협이 될 수 있고, 과소 지출 시에는 장기적인 산업 경쟁력을 저하시킬 수 있기 때문이다 (Heidenberger 외 2003). 이에 따라 R&D 투자효과 분석을 위해 산업연관분석, 시계열분석, 생산함수, 비용함수, 회귀분석 등 다양한 방법론이 활용되고 있다. 이러한 연구들은 투자금액, 관련 지표 값 등 과거부터 축적된 시계열 데이터 및 변수들의 선형적인 상관관계를 통해 정량적 예측 모형을 구축함으로써, 수치적 예측 정확성을 추구한다.

그러나 R&D 투자의 파급효과는 어떤 활동이나 원인에 의해 나타나는 직접적인 결과의 범위를 넘어서, 발생한 시점의 외부환경 (경제, 사회상황, 정부정책, 인식수준 등)에 영향을 받아 매우 광범위하게 발생하며, 시간의 흐름에 따라 차차 공간적으로 확산되거나 또는 현상적으로 다른 존재로 전파되는 간접적인 효과를 포함한다 (Bilbao-Osorio 2008). 즉, R&D 투자는 연구개발 투입물, 산출물, 결과, 파급효과를 걸쳐 단계적으로 발생하며, 타 분야로 확산된다. 확산된 파급효과는 각 분야별로 상호작용하며, 각 단계별 파급효과 또한 순환적 인과성이 존재한다 (박헌준 외 2004). 이러한 단계별 파급과정에서 관련 영향요인 간 인과관계가 불분명하며, 투자가 미래 다기간에 걸쳐 발생되기 때문에 정책효과의 불안정성과 불확정성이 존재한다 (서인석, 이동규 2010). 이에 따라 데이터 기반의 정량적 투자 예측모형에서의 R&D 투자와 파급효과 간 관계를 분석하는 단선적·정태적 접근으로는 종합적인 파급효과 측정에서 간과하는 부분을 발생시킬 수 있다. 또한 투자의 파급과정에 대한 설명력이 부족하여 파급효과 극대화를 위한 정책 수립에 어려움을 가중시킨다.

특히, 건설 분야 정부 R&D 사업의 경우, 각 사업별로 예산 편성이 이루어지는데, 세부 사업 관련 축적된 데이터가 부족하고, 각 세부 사업별로 투자의 파급과정이 상이하기 때문에 데이터 기반의 계량적 예측모형 개발에 제약이 있다. 이에 따라 R&D 투자 시스템의 전반에 작용하는 여러 구성 변수들의 관계성을 파악하고, 타 변수에 대한 영향도의 동태적 변화를 포괄적으로

분석할 필요가 있다. 이는 정부 R&D 사업의 투자 우선순위 설정과정에서 주제적·구조적 우선순위를 파악함으로써, 파급효과 극대화를 위한 정책 수립을 가능하게 한다 (박헌준 외 2004).

이러한 문제를 해결하기 위해 적용되는 시스템다이내믹스 (System Dynamics) 시뮬레이션 방법론은 변수 간 인과관계를 기반으로 변수의 순환적·동태적 상호작용을 설명함으로써 건설 R&D 사업들의 다양한 투자 파급과정을 이해하는 데 장점이 있다. 따라서 본 연구는, 각 사업별 특성에 대한 분석 및 정성적 자료를 활용하여 건설 R&D 투자의 파급과정을 설명하는 인과관계 기반의 시스템다이내믹스 예측 모형을 개발한다. 또한, 시스템다이내믹스 모형의 수치적 예측 정확성을 보완하기 위해, 기 개발된 데이터 기반의 계량적 예측 모형과의 상호 연동체계를 제안하고, 이를 건설 R&D 세부 사업별 경제적 파급효과 분석에 활용한다.

## 1.2 연구의 범위 및 절차

본 연구는 R&D 투자 파급효과 분석에 있어 정량변수 설정이 용이하고, 분석 필요성이 가장 높은 경제 분야에 대한 파급효과 지표에 초점을 맞춰 진행된다. 특히, 2012년 4월 한국건설교통기술평가원의 R&D 사업 담당자 30인에 대한 설문을 통해 경제적 파급효과 분석의 중요성을 확인하였으며, 이 중 분석 우선순위로 선정된 GDP, 수출액, 고정자본형성, 고용유발을 중심으로 모형개발 및 분석을 실시한다.

이를 위해, 1) 선행 연구 및 건설 분야 정부 R&D 사업의 특성을 분석함으로써 변수 간 인과관계 기반의 구조적 모형을 개발하고, 2) 기 개발된 시계열 데이터 기반의 정량적 예측 모형의 결과 값을 참조 데이터로 하여 인과관계 기반의 구조적 모형의 정량적 변수 추정을 실시한 후, 3) 모형 시뮬레이션을 통해 결과 값에 대한 검증과정을 거쳐, 4) 각 세부사업별 경제적 파급효과 분석을 실시한다.

## 2. 선행연구 분석

### 2.1 기존 문헌 분석

R&D 사업은 사회·경제 시스템에 미치는 중요성, 투자규모 산정을 위한 예측 필요성, 그리고 그 파급과정에 대한 불확실성 및 불안정성으로 인해 파급효과 분석 및 예측과 관련하여 다수의 연구가 수행되어 왔다. 각 연구들은 분석대상, 방법론, 투입 및 산출요소 등이 매우 다양하나, 주로 산업연관분석 (권오상 2010), 시계열분석 (최종서 2009), 확률변경분석 (신범철과 이

의영 2010), 자본스톡모형 (신범철 2010), 자료포락분석 (Liu 2011), 확률손실함수 (Volinskiy 외 2011) 등 계량적 예측모형을 중심으로 R&D 투자의 생산 효율성, 비용 효율성, 수출액, 경제적 시차효과 등 다양한 분야에 대한 분석이 이루어졌다. 건설 분야에 대해서도 AHP, 성과데이터 간 상관관계 분석, 분산분석 등을 활용하여 R&D 투자의 경제적 파급효과 예측을 시도하고 있다 (박환표 외 2008; 박상혁 외 2009; 박환표 2010).

이러한 연구는 R&D 투자 시스템의 입력 값 (주로 투자금액 및 시기)과 출력 값 (R&D 성과 데이터 및 GDP 등 경제관련 지표)에 대한 실 데이터를 기반으로 모형을 구축하기 때문에 단기적 예측에는 높은 정확성을 보이지만, 제한된 변수만을 고려하기 때문에 수많은 영향변수에 대한 이해 부족으로 투자효과가 발생한 근원적 원인을 탐색하는 데 어려움이 있다. 이에 따라 장기적으로 효과가 발현되는 R&D 사업에 대한 분석 및 투자 극대화를 위한 전략 수립에 어려움을 발생 시킨다 (Bilbao-Osorio 2008).

즉, R&D 투자의 파급과정을 이해하고, 장기적이고 직·간접적인 투자효과 분석을 위해서는 모형 개발 과정에서 다음과 같은 R&D 특성을 이해해야한다 (서인석·이동규 2010).

1) 확산성 (Diffusibility): R&D 투자가 1차적인 개발 기술 등 직접 성과물을 거쳐 기업 (1차), 산업계 (2차), 국가 (3차) 단위로 순차적으로 발생한다.

2) 순환성 (Feedback Process): 각 단계에서 발생한 파급효과는 다음단계의 파급효과 뿐 아니라 그 이전단계의 파급효과 발생에 영향을 준다. 즉, R&D 투자의 파급효과가 직접성과물 및 수혜자 활용 단계 (1차)를 거쳐 산업계 (2차)에 파급되었을 때, 산업계의 변화된 특성은 직접성과물 발생 단계 및 수혜자 활용 단계 (1차)에서 발생하는 파급효과를 변화시킬 수 있다.

3) 비특유성 (Non-Specificity): R&D 투자의 결과가 특정분야, 목표분야에만 국한되지 않고 과학·기술, 경제, 사회 등 시스템 전반에 공유되는 특성이다.

4) 시차 (Time-Lag): 투자의 결과가 확산 과정의 다음 단계 및 타 분야로 반영되기 위해 시간이 소요된다는 것이다. 이러한 시차는 시스템 내부의 다양한 변수의 영향에 의해 결정된다. 예를 들어, 건설 산업에서 생산성 개선을 위한 새로운 공사관리시스템을 개발했을 때, 그 효과가 검증된다 하더라도 건설 산업의 경직성 등으로 인해 운영시스템의 확산에 상당한 시간이 소요될 수 있다.

5) 불확실성 (Uncertainty): R&D 투자가 연구 및 사업화의 실패, 목적과 상이한 결과 등 다양한 원인에 의해 그 파급효과가 없거나 작을 수 있음을 의미한다. 이러한 불확실성은 실제로 예상치 못한 외부변수에 의해 발생할 수도 있으나, 위에 설명한 특

성에 대한 잘못된 이해로 그 파급효과를 올바르게 측정하지 못함으로써 발생하기도 한다.

위와 같은 특성에 따라 R&D 투자의 파급효과를 올바르게 측정·분석하기 위해서는 영향을 미치는 사회·경제 시스템의 구성 변수 간의 상호작용을 파악할 수 있어야 한다.

## 2.2 시스템다이나믹스

시스템다이나믹스는 Forrester (1961)에 의해 처음 개발된 이후, 산업, 경제, 사회, 환경 시스템을 분석하는데 널리 사용되어 왔다 (Sterman 2000).

시스템다이나믹스 연구 방법론은 복잡한 비선형 시스템에 분석적 해결책을 제공하는 모델링 방법으로, 시스템 변화의 원인을 시스템 구성 변수의 피드백 구조에서 찾는다. 즉, 단선적 인과관계가 아닌 순환적인 인과관계에 기초하고 있으며, 정태적 분석이 아닌 동태적 분석을 통해 산업 및 정책 등의 동태적 적응 과정에 있어 의사결정을 지원 한다 (김도훈 외 1999). 다음 표 1은 수리경제모형과 비교한 시스템다이나믹스 모형의 특징을 나타낸다.

표 1. 시스템다이나믹스 주요 도식 (김도훈 외 1999)

특성	수리경제모형	시스템다이나믹스 모형
추론 방식	기존 경험적 자료	변수 간 인과관계
분석 대상	정태적 행태 (점추정)	동태적 행태 유형
분석 초점	두 변수 간 상관관계	다 변수들 간의 순환관계
분석 목표	수치적 정확성 추구	구조적 정확성 추구
정책 예측	단기적 예측	장기적 예측
지식의 대상	관찰 가능한 객관적 현상	보이지 않는 피드백 구조

시스템다이나믹스는 과거의 행동에 영향을 받고 미래의 행동을 조정하는 피드백 프로세스를 기본원리로 한다. 따라서 정성적인 인과관계와 파급과정을 도식화하여 명시하는 데 용이하지만, 정량적 측정 과정에서 투입변수의 출처와 인과관계의 사용자 주관적 판단의 도입 등의 부분에서 비판의 여지가 있다. 또한, 미래예측에서는 양 또는 음의 발산 및 수렴 등의 추세 탐색에 용이하나 정략적인 값을 예측하는 것에는 한계가 있다. 이와 같은 한계에도 불구하고, R&D 투자정책 등의 효과성에 대한 장기적인 순환효과 및 그 연구를 통한 정책설계의 체계적 접근을 위해 활용되었으며 (박현준 외 2004; 김영표와 조운숙 2006; 서인석과 이동규 2010), 투자 파급과정에 대한 포괄적인 이해를 제공하였다. 특히, 조운숙 (2012)의 연구에서는 산업별 R&D 투자의 파급효과 분석을 위해 산업연관분석 등 계량적 모형을 SD 모델링 방법을 통해 구현함으로써, 기존 계량적 방법의 수치적 정확성을 확보할 뿐 만 아니라 변수의 동태적 변화를 반영할 수

있도록 하였다.

한편, 국가 R&D 투자 우선순위에 있어서 장기적 일관성을 확보하고 과학적 근거에 기반한 추진력을 확보하는 점이 중요한데 (김세훈 2011), 현재의 R&D 투자는 근거에 따른 투자가 아닌, 사업별 추진 규모를 따르지만 급급한 상황이다. 기존 대부분의 R&D 투자 파급효과 관련 문헌들에서는 R&D 투자와 파급효과를 선형관계로 가정함에 따라 장기적 파급효과를 종합적으로 분석하는데 어려움이 있다는 점을 고려해 볼 때, 시스템다이내믹스를 활용한 R&D 투자 파급효과 분석은 관련 변수들의 연쇄적 인과관계와 결과들의 연쇄반응을 통해 R&D 시스템 전체를 분석할 수 있다는 점에서 유용하다.

이러한 장점을 활용하여 개발되는 본 연구의 정성적 자료 기반의 SD 구조적 모형은 수치적 예측 정확성을 보완하기 위한 정량변수 설정 방법을 통해 개발된다. 이는 정성적 자료 기반의 구조적 예측모형과 계량적 예측모형과의 상호 연동을 통해 구현되는데, 계량적 예측모형의 예측 결과 값을 참조 데이터로 활용하여 정성적 자료를 기반으로 구성된 시스템의 불확실한 변수 값을 조정하고, 출력된 결과 값을 계량적 예측모형 결과 값 및 실험 데이터와 비교·분석함으로써 이루어진다.

### 2.3 건설 R&D 사업특성 분석

건설 R&D 사업은 국토해양부 산하 한국건설교통기술평가원(KICTEP)이 연구개발 추진실태를 종합적으로 파악하여 사업관리 및 예산 조정·배분을 수행하며, 교통부문을 포함하여 총 9개 사업으로 관리된다. 이 중 건설분야는 총 5개 세부사업인 R&D정책인프라사업, 건설기술혁신사업, 지역기술혁신사업, 첨단도시개발사업, 플랜트기술고도화사업으로 구성되며, 사회기간시설 및 건설기술제고, 해외건설시장 점유율 제고, 건설생산성 향상, 재해 복구비용절감, 녹색기술 역량 강화 등을 목표로 한다 (한국건설교통기술평가원 2009; 국토해양부 2010).

이 각각의 세부 사업들은 그 특성 및 목표가 상이하며, 이에 따른 투자 유형 및 구성되는 과제 또한 차이가 있다. 예를 들면, 건설기술혁신사업은 사회기간시설 및 건설시공기술수준 향상 등을 주로 목표로 하며, 플랜트기술고도화사업은 플랜트 등 수출주력산업의 수주역량 증대를 목표로 한다. 또한 첨단도시개발사업은 국민 주거생활의 편의성 증진 및 도시개발 등을 목표로 관련 연구에 투자하고 있다.

이처럼 각 사업별로 목표가 명확히 설정되어 있음에도 불구하고, 각 사업의 특성을 명확하게 정의하기에는 쉽지 않다. 이는 각 사업에서 발주되는 연구과제 성격 및 주제를 분석하면 더욱 명확해진다 (한국건설교통기술평가원 2009).

따라서 본 연구는, 2009년 발주된 건설 R&D 과제의 성격 및 주제, 투자유형에 대한 전수조사를 실시하였으며, 이에 따라 각 과제들을 표 2와 같이 6개의 기술분야 (건설생산성향상기술, 건설생산유발기술, 수입수출증대기술, 물류비절감기술, 에너지효율개선기술, 인프라품질개선기술)로 재분류하였다.

즉, 각 사업의 성격을 세부 기술들에 대한 비율이 어떻게 구성되어 있는 것인가로 판단하고 분류하였으며, 이러한 비율은 각 사업의 목표와 부합하는 것을 확인하였다. 예를 들면, 건설기술수준향상을 목표로 하는 건설기술혁신사업은 건설생산성향상을 위한 기술개발과제에 대한 투자비율이 높으며, 플랜트기술고도화사업은 해외플랜트 수주를 위한 수입수출증대기술에 대한 투자비율은 특성을 가지고 있다.

본 연구는 이와 같이 6개 기술 분야로 정의된 사업특성에 대해 한국건설교통기술평가원 R&D 사업 담당자 설문을 통해 그 타당성을 확인하였으며, 이를 바탕으로 각 사업별 투자 파급과정의 차이를 모델링한다.

표 2. 건설교통 사업별 투자금 비율 (한국건설교통기술평가원 2009)

특성	건설 생산성 향상	건설 생산 유발	수입 수출 증대	물류비 절감	에너지 효율 개선	인프라 품질 개선	합계
R&D정책 인프라사업	3.7%	0.1%	0.3%	0.0%	0.1%	1.0%	5.2%
건설기술 혁신사업	18.5%	3.1%	1.4%	0.6%	2.8%	8.9%	35.3%
지역기술 혁신사업	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.6%	1.8%	3.4%
첨단도시 개발사업	5.7%	21.5%	0.5%	0.0%	6.1%	1.5%	35.4%
플랜트기술 고도화사업	0.0%	0.0%	20.7%	0.0%	0.0%	0.0%	20.7%
전체	27.9%	25.7%	22.9%	0.6%	9.6%	13.2%	100%

## 3. 건설R&D 투자 파급효과 분석모형 개발

### 3.1 모형 개발 프레임워크

본 연구는 앞서 설명한 R&D 투자 파급과정의 특성 및 건설 R&D 사업 특성 분석 자료를 바탕으로 건설 R&D 세부 사업별 투자의 파급효과 분석을 위한 예측 모형을 개발한다. 투자금액과 연관 지표의 과거 데이터를 바탕으로 구축되는 계량적 예측 모형과 달리, 본 연구에서 구축하는 SD 기반의 구조적 모형은 R&D 투자 파급과정의 공통적 특성 및 건설 R&D 세부 사업별 상이한 파급과정의 차이를 반영한다. 이를 위해 정량적 과거 데이터 (예: 사업별 투자금액, 성과물 발생, GDP 등 파급효과 지표



변화추세 등) 뿐만 아니라 정성적 자료를 활용한다. 활용된 정성적 자료는 R&D의 파급단계 및 파급분야 뿐 아니라 각 단계 및 분야별 투자효과 파급에 영향을 주는 요인에 대한 기존 문헌 및 설문문을 포함한다. 이에 따라 본 연구는 1) 각 R&D 투자 파급과정 및 건설 R&D 세부 사업 특성을 바탕으로 각 세부 사업별 상이한 투자 파급과정에 대한 인과지도를 작성하고, 2) 정량변수 정의의 첫 단계로 모형 구성 변수 중 과거부터 누적된 값이 충분하여 실제 데이터를 활용할 수 있는 변수에 대해 데이터를 입력한다. 3) 모형 계수 중 정확한 값을 알 수 없는 변수에 대하여, 먼저 정성 및 정량적 자료와 설문조사 결과 등을 활용하여 개략적인 계수 범위를 결정한다. 그리고 나서, 실제 데이터 기반으로 구축된 계량적 예측모형에서 건설 R&D 전체에 대한 예측 값을 본 모형의 계수 값 추정을 위해 활용한다. 즉, 계량적 예측모형에서 예측한 건설 분야 전체의 파급효과와 예측 값과 본 연구 모형에서 각 세부사업 파급효과의 합으로 도출되는 건설 분야 전체의 파급효과 예측 값의 오차를 최소화하는 계수 값을 추정한다. 4) 이후, 본 연구모형에서 설계한 각 사업별 파급과정 구조에 대해, 설문조사, 문헌 및 이론을 바탕으로 구조적 타당성을 검증한다. 5) 또한, 본 모형에서 도출한 파급효과에 대한 지표 값 변화를 계량적 예측모형에서 도출한 결과 값과 실제 데이터를 비교하여 모형의 행태적 타당성을 검증한다. 이와 같은 본 연구의 모형 개발 및 분석 절차는 그림 1과 같다.

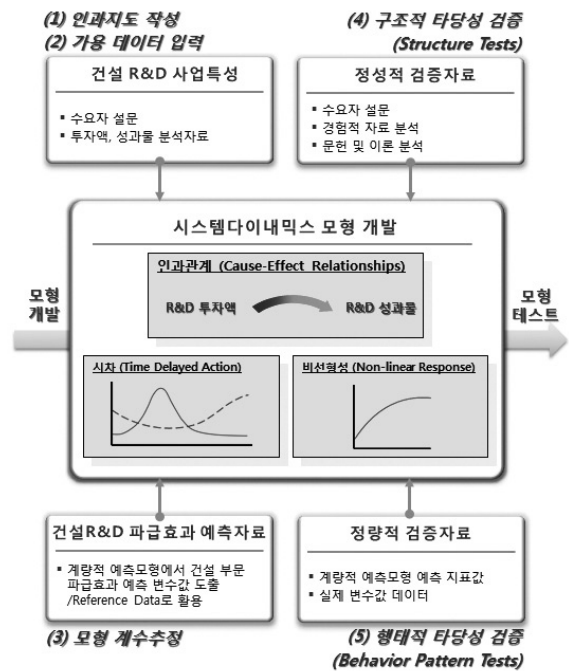


그림 1. 모형 개발 및 분석 절차

한편, 건설 산업 전체에 대한 파급효과 측정에 있어, 활용 가능한 과거 데이터가 충분하고, 관련한 방법론이 이미 정립된 바, 산업연관분석, 회귀분석 및 시계열분석 등을 통한 계량적 예측 모형 구축이 가능하다. 다만 건설 R&D 세부사업에 대한 파급효과 예측의 경우 각 사업 투자금액 및 성과에 대한 과거 데이터가 부족하여 계량적 예측모형 구축이 불가능하다.



그림 2. 모형 프레임워크

이에 따라 본 연구는 위에 설명한 바와 같이, 부족한 과거데이터 기반 하에서도 구축이 가능하고 파급과정에 대해 설명할 수 있는 정성적 자료 기반의 구조적 모형을 개발하고, 조운숙(2012)에 의해 개발된 건설 R&D 전체의 파급효과 측정모형을 본 연구모형의 계수 값 조정에 활용함으로써, SD기반 구조적 모형이 갖는 수치적 정확성의 약점을 보완한다.

그림 2는 본 연구에서 SD 기반으로 구축되는 정성적 자료 기반의 건설 R&D 파급효과 측정모형의 프레임워크이다. 그림에서 보는 바와 같이 계량적 모형은 주로 R&D 투자금액과 파급효과 지표와의 관계에 대한 관계정의 후 구현되는데, 구조적 모형에서는 건설부문 R&D 투자액이 세부 사업별로 나뉘고, 다시 각각 경제적 파급효과와 관련된 기술 분야로 분류된다. 이후 기술 분야 및 세부 사업별 성과물, 파급효과 지표 변화 값이 도출된다.

### 3.2 사업별 파급과정에 대한 구조적 모형 정의

앞서 설명한 모형 개발절차의 첫 단계로 본 연구는 각 세부사업별 경제적 파급과정에 대한 구조적 모형을 정의한다. 본 모형은 1) 건설 분야 R&D 투자금액은 세부 사업별 및 각 기술 분야별로 분류하기 위한 투자금액 모형, 2) 6개 기술 분야별 파급과정 모형, 3) 파급효과 지표 모형으로 구성된다. 본 연구에서는 건설 R&D투자의 사업별 경제적 파급효과 분석을 목표로 한다. 따라서 6개 기술 분야 중 경제적 파급효과 분석에 활용되는 4개 기술 분야(건설생산성향상, 건설생산유발, 수입수출증대, 물류비절감)에 대한 모형을 활용하며, Powersim Studio 9을 기반으로 개발한다.

그림 3은 본 연구모형 중 건설 생산성 향상기술에 대한 부분 모형이다. 본 모형에서 건설 생산성 향상 기술 분야 대한 사업별 투자금액이 입력되면, 이는 각 사업별 건설기술 및 관리역량 강화에 기여하는 정도가 결정된다. 즉, 건설기술에 대한 투자금액(건설생산성 사업별 3년 누적 투자액)에 따라 건설생산성 향상이라는 간접적 효과(건설생산성 향상 기술수준) 도출되는데, 이는 관련 분야의 지식스톡, 연구인력 및 장비에 의해 결정되는 연구수행능력(연구수행능력계수)에 의해 결정된다.

한편, R&D 투자로 인해 건설생산성 향상 기술 역량이 강화되더라도, 이것이 실제로 산업에 적용되어 건설생산성 향상효과가 발현되기 위해서는 제도 및 정책 등에 의해 어느 정도 산업에 적용되는가(연구적용성 계수), 또는 산업 전반에 널리 활용되는데 얼마나 시간이 소요되는가에 대한 변수(건설기술 적용시간)가 영향을 준다. 이와 같이 발현된 개발 기술의 효과인 건설생산성 향상에 의해 건설업 전반에 부가가치 창출(생산성 향상에 의한 부가가치 창출액)에 기여하게 된다. 본 모형에서 각 변수들은 각

5개 사업에 대한 하위 속성 값을 가지고 있으며, 이에 따라 사업별 투자금액이 다를 때, 성과물 및 파급효과 지표와 관련된 변수의 변화에 대해 사업별로 기여하는 정도가 다르게 산정된다.

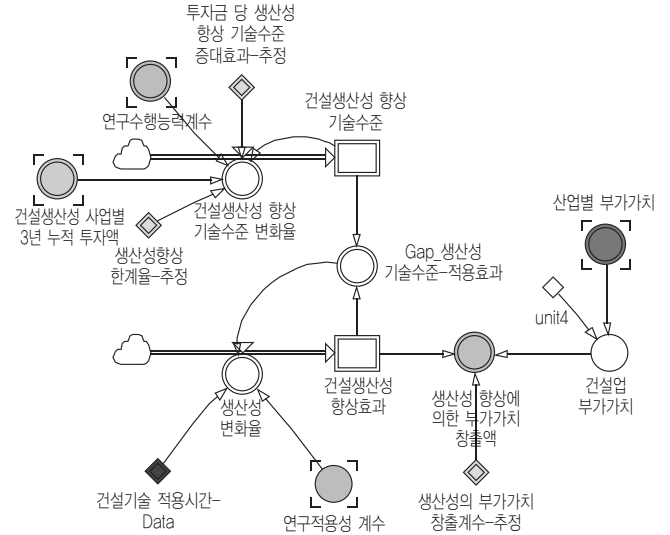


그림 3. 모형개발 예시 (생산성향상 기술 개발에 의한 파급효과)

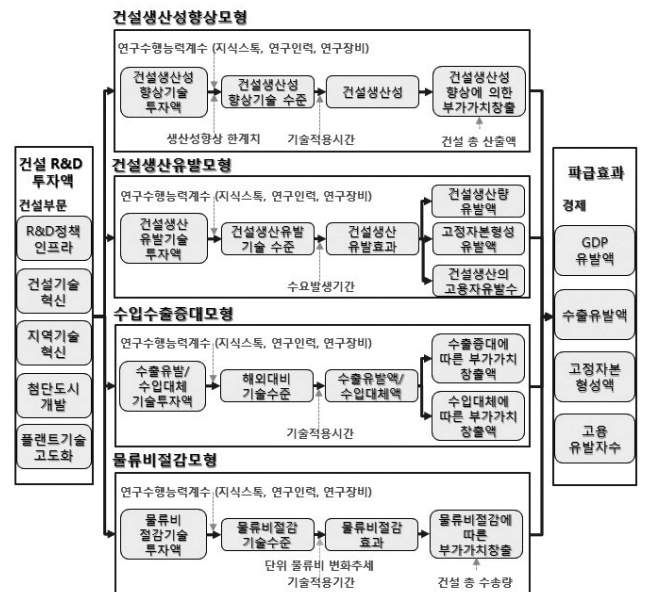


그림 4. 건설 R&D 세부사업별 경제적 파급과정

본 연구모형은 위 그림 3의 예시와 같은 각 기술 분야에 대한 네 가지 하위모형으로 구성 된다(그림 4). 위에 상세히 설명한 1) 건설생산성향상모형 뿐 아니라, 2) 건설생산유발모형은 도시 개발이나 지역 인프라 구축과 같은 건설생산 유발효과를 통해 건설생산증대 및 고정자본형성에 기여하는 효과와, 생산역량 증대에 따른 고용유발효과를 포함한다. 3) 수입수출증대모형은 해

외 플랜트 수주역량, 건설기술수출 및 수입대체와 관련되며, 이는 해외대비 기술수준에 따른 해외 경쟁력 강화로 수출액 증대 및 부가가치(GDP) 창출에 기여하는 효과를 설명한다. 마지막으로 4) 물류비절감모형은 건설 분야에서 발생하는 총 수송량 대비 물류비용을 절감함으로써 부가가치 창출에 기여하는 물류비절감기술을 설명한다. 위의 네 가지 모형에서 설명한 바와 같이, R&D 투자로 인해 발생한 기술들은 GDP, 수출액, 고정자본형성, 고용자수 파급효과 지표에 영향을 준다. 이와 같은 파급과정에 대한 모든 구조적 모형 및 관련 수식은 웹사이트<sup>1)</sup>에서 확인할 수 있다.

### 3.3 계수 값 범위 설정 및 조정

위의 구조적 모형을 바탕으로 본 연구에서는 과거 데이터를 통해 정확히 설정할 수 없는 변수들에 대해 계수 값 추정을 수행한다.

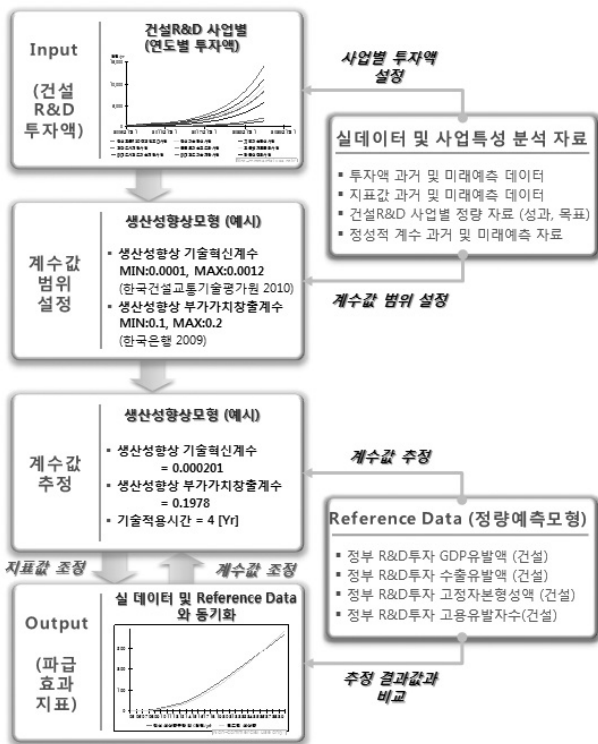


그림 5. 정량변수 설정 절차

그림 5는 본 연구 모형의 정량변수 설정 절차이다. 먼저, 실데이터 및 사업특성 분석 자료를 바탕으로 건설 R&D 전체 및 세부사업별 투자금액을 입력한다. 이후 건설 R&D 사업별 성과 및 목표에 대한 정량·정성 자료, 지표 값에 대한 과거 및 미래

예측 데이터를 통해 계수 범위를 설정한다.

예를 들면, 과거 데이터에서 건설 생산성과 건설 부가가치총액의 관계에 대한 실 데이터를 바탕으로 생산성 향상의 부가가치 창출계수에 대한 가능 범위를 설정하는 것이다. 이처럼 설정된 범위 안에서 본 연구는 R&D 파급효과 예측을 위한 계수 값 추정을 실시한다. 이는 앞서 설명한 바와 같이, 조운숙 (2012)이 구축한 산업별 R&D 투자 파급효과 분석 모형 (계량적 예측 모형) 중 건설 분야의 경제적 파급효과에 대한 예측 값을 참조 데이터로 활용함으로써 가능하다. 참조 데이터는 건설 분야 정부 R&D투자 GDP유발액, 수출유발액, 고정자본형성액, 고용유발자수 총 4가지를 활용한다.

본 연구에서 추정할 모형 계수 및 기존 문헌 및 분석 자료를 통해 설정한 계수 값 범위 설정에 대한 내용은위의 표 3과 같다.

표 3. 실 데이터를 기반으로 한 모형 계수 범위 설정

추정 변수	계수 범위		근거
	최소	초대	
투자금 당 생산성향상 기술수준 향상계수 [억원/년]	0.0001	0.0012	한국건설교통기술평가원 (2010)
생산성향상 한계율	0.1	0.2	설문조사 결과
생산성의 부가가치 창출계수[억원/억원]	1	10	한국은행 (2009) 통계청 (2009)
투자금 당 생산량 유발계수 [억원/억원]	1	10	한국건설교통기술평가원 (2010)
고용유발계수 [명/억원]	0.5	1.5	한국은행 (2009)
단위생산당 고정자본형성 기여계수 [억원/억원]	0.33	1	한국은행 (2009) 통계청 (2009)
단위투자금 당 기술진보 계수 [년/억원]	0.01	0.05	한국건설교통기술평가원 (2010)
기술수준에 의한 연간 수출유발계수 [년/억원]	0.5	2	한국건설교통기술평가원 (2010)
수출증대의 부가가치 창출 계수 [억원/억원]	0.5	1	한국은행 (2009)
수입대체의 부가가치 창출 계수 [억원/억원]	0.5	1	한국은행 (2009)
투자금 당 물류비절감 기술수준 향상계수 [억원/년]	0.001	0.01	한국건설교통기술평가원 (2010)

### 4. 모형 테스트

본 연구는 위와 같이 개발된 건설 분야 세부 사업별 정부 R&D 투자 파급효과 예측모형을 통해 도출된 결과를, 실제 데이터 및 계량적 예측모형을 통해 도출된 분석 값과 비교·분석함으로써 본 연구모형의 행태적 타당성을 검증한다. 본 연구모형에서 활용하는 참조 데이터를 도출하는 계량적 예측 모형은 2005년 이전 데이터 기반으로 구축되었으며, 2009년의 실제 데이터와 사후 검증을 실시한 결과 네 가지 지표에 대한 오차를 0.2~1.3%로 상당히 높은 신뢰도를 보였다.

그림 6은 이와 같은 계량적 예측모형 (그래프 1)의 예측 값과, 본 연구 모형 (그래프 2)의 예측 값을 비교·분석한 결과이다. 본 연구모형의 예측 값은 각 사업별 R&D 투자로 인한 사업별 파급효과 지표 변화 기여분의 합으로, 건설 산업 전체의 파급효과로 볼 수 있다. 그림에서의 모형 테스트 결과를 통해 4가지 파

1) <http://blog.naver.com/nkk14/>

급효과 지표에 대해 예측 값에 대한 행태적 유사성을 비교할 수 있었다. 비록 오차율은 5% 이상으로 다소 크게 나타났으나, 20년 이상에 대한 장기적 예측임을 감안할 때는 예측 값의 정확성 보다는 아래와 같은 추세의 유사성을 확인하는 게 더욱 큰 의미가 있다. 이를 통해, 본 연구에서 제시한 정량변수 설정 방법의 타당성을 확인하였으며, 이는 인과관계 및 정성적 자료 기반으로 구축되는 구조적 예측 모형의 수치적 예측 정확성 부족이란 약점을 극복하고, 장기적인 미래 추세 예측에 활용될 수 있음을 보여준다.

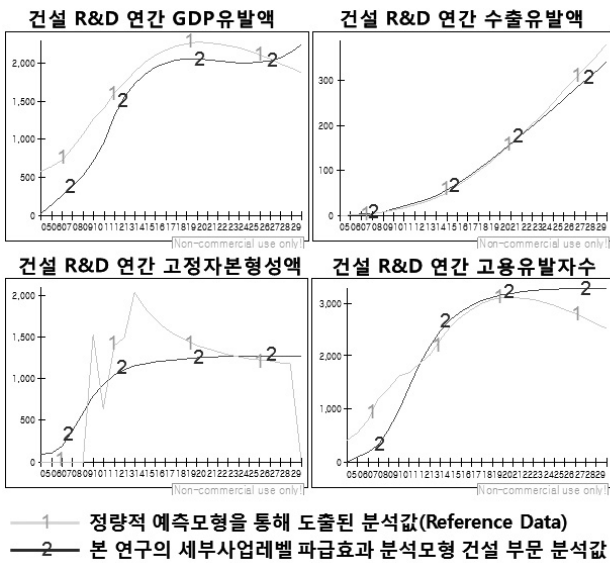


그림 6. 모형의 행태적 타당성 검토

### 5. 건설 R&D 세부사업별 파급효과 분석

본 장에서는 개발한 건설 R&D 세부 사업별 파급효과 예측모형을 통해, 각 세부 사업의 경제지표에 관한 영향을 분석한다. 본 연구는 GDP유발액, 수출유발액, 고정자본형성액, 고용유발자수 등의 파급효과 지표를 분석하는데, 이 중 한국건설교통기술평가원 각 세부사업 담당자들을 대상으로 2012년 4월 실시한 설문조사 결과 가장 중요하다고 선정된 GDP유발액 및 수출유발액 두 가지 파급효과 지표에 대한 분석결과를 제시한다.

그림 7은 각 건설 R&D 세부 사업별 건설 분야 GDP 창출(부가가치 창출)에 기여하는 정도를 분석한 것이다. 분석 결과, 건설 시공 및 엔지니어링 기술 등에 많은 투자가 이루어지는 건설 기술혁신사업 및 대규모 도시 공간 창출 시 필요한 실제 기술개발에 투자비용이 큰 첨단도시개발사업의 부가가치 창출 비중이 큰 것으로 나타났다. 이는 실제 건설 시공 및 엔지니어링 기술이

건설비용절감, 공기단축, 생산성 향상 등의 효과로 발현되어 부가가치 창출에 큰 기여하기 때문인 것으로 분석된다. 이는 건설 기술혁신사업의 목표인 SOC 기술수준 증대, 공기단축 10% 달성, 첨단도시개발사업의 첨단도시공간 창출 등 세부 내용에 부합하는 결과이다. 한편, 건설기술혁신사업의 GDP유발액은 초반에 크게 증가하다 상승세가 둔화되는 모습을 보이며, 첨단도시개발사업은 시간이 지남에 따라 그 효과가 큰 것으로 나타났다. 이는 건설시공 기술 개발에 따라 생산성이 향상되는 정도에 한계가 있기 때문이며, 첨단도시개발의 경우, 실제 대규모 시설 및 도시 공간 창출 등의 효과로 발현되는 데에 물리적인 시간이 소요되기 때문이다.

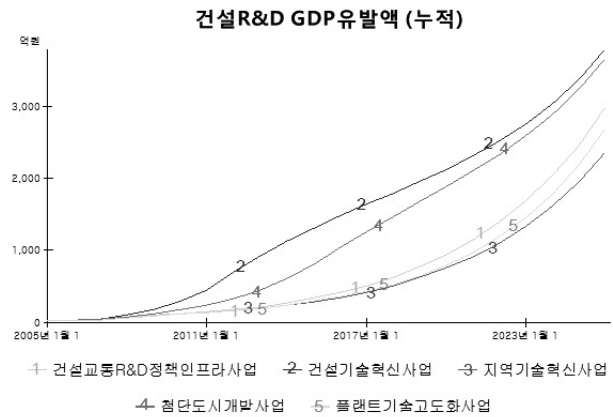


그림 7. 세부사업별 경제적 파급효과 : GDP유발액 (누적)

한편, 건설 생산성 향상과 관련된 투자비용이 높은 R&D정책인프라사업의 경우, 투자금액 대비 부가가치 창출에 기여하는 정도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 R&D정책인프라사업은 실제로 적용되는 기술을 개발하는 과제보다, 건설정책 및 제도를 구현하거나 기술 표준화 등을 통해 타 사업에서 수행된 연구과제의 성과 향상 및 개발 기술의 산업 적용역량 강화에 더 초점을 맞추고 있기 때문이다.

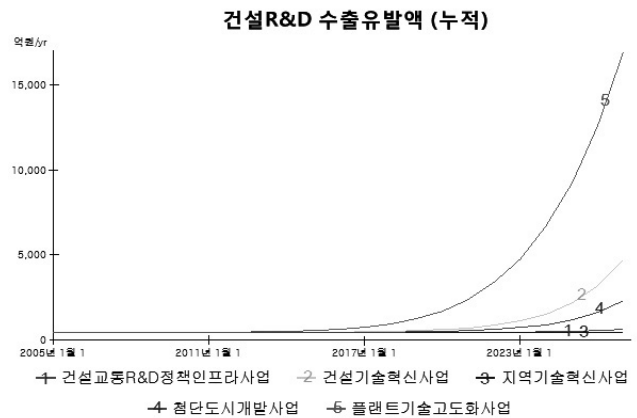


그림 8. 세부사업별 경제적 파급효과 : 수출유발액 (누적)



## 감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 '건설교통 R&D정책인프라사업' (과제번호: 11TRPI-C061225-01) 연구과제의 일부임.

본 연구는 서울대학교와 (주) 스파이아테크놀로지 SD연구본부 (본부장: 조운숙)와의 공동연구를 통해 수행되었음.

본 연구는 서울대학교 공학연구소의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표 합니다.

## 참고문헌

- 국토해양부 (2010). 국토해양 R&D 발전전략.
- 권오상 (2010). "산업연관표를 이용한 R&D투자의 파급효과분석: 농림수산부문을 중심으로" 농업경제연구, 제51권 제3호, pp.27~45.
- 김도훈·문태훈·김동환 (1999). 시스템 다이내믹스, 대영문화사. pp.13-59.
- 김영표·조운숙 (2006). 시스템 다이내믹스 기법을 이용한 균형발전평가 시범모형 개발, 국토연구원 연구보고서.
- 김동환 (2007). "부동산 정책에 관한 시스템 사고의 교훈", 한국 시스템다이내믹스 연구, 8(1), pp.187~209.
- 박상혁·정호영·한승헌 (2009). "연구개발 사업의 특성을 고려한 건설 R&D의 정량적 성과측정" 한국건설관리학회 논문집, 제10권 제4호, 한국건설관리학회, pp.119~128.
- 박현준·오세홍·김상준 (2004). "국가 연구개발 투자시스템의 레버리지 전략: 시스템 다이내믹스 접근", 한국 시스템다이내믹스 연구, 제5권 제2호, pp.33~66.
- 박환표 (2010). "건설 R&D 성과의 경제적 파급효과 분석" 한국 건축시공학회논문집, 제10권 제3호, pp.71~81.
- 서인석·이동규 (2010). "R&D 투자정책의 국가생산성증대 효과분석: System Dynamics를 활용한 시뮬레이션 분석" 정부학연구, 제16권 제2호, pp.91~121.
- 박환표·홍태훈·진경호 (2008). "BSC를 이용한 건설R&D 스타기술의 성과분석 방법론 개발" 한국건설관리학회 논문집, 제9권 제5호, 한국건설관리학회, pp.194~203.
- 신병철 (2010). "DPD모형을 활용한 R&D투자의 생산성 효과분석: 하이텍산업과 저기술산업의 비교" 생산성논문집, 제24권 제1호, pp.183~204.
- 신병철·이의영 (2010). "R&D투자과 수출의 생산효율성 제고 효과: SFA기법을 활용한 실증 분석" 한국기업경영학회, 제17권 제1호, pp.1~21.

그림 8은 각 건설 R&D 세부사업별 건설 분야 수출유발액을 분석한 결과이다. 주로 플랜트 등 해외시장 진출을 목표로 하는 플랜트기술고도화사업 및 건설 엔지니어링 기술 수출이 가능한 건설기술혁신사업의 수출유발액이 높은 것으로 분석되었으며, 국내 지역특화기술 등과 관련된 사업의 경우 수출 유발액이 미비한 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 국내 기업의 해외건설시장 점유율 제고 (2012년 까지 4~5%) 및 수출 1조원 달성 (2012년 까지)을 목표로 하는 건설기술혁신사업 및 플랜트기술고도화사업의 세부 목표와 부합하는 결과로 나타났다.

## 6. 결론

본 연구는 각 사업별 특성에 대한 분석 등 정성적 자료의 활용을 극대화하여 건설 R&D 투자의 파급과정을 설명하고, 건설 R&D 세부 사업별 파급효과를 분석하는 시스템다이내믹스 예측모형을 개발하였다. 또한 정성적 자료를 기반으로 변수 간 인과관계를 통해 구축되는 시스템다이내믹스 모형의 수치적 예측력 부족이란 약점을 보완할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기 개발된 데이터 기반의 계량적 예측 모형과의 상호연동 및 계량적 예측 모형의 분석 값을 참조 데이터로 하여 데이터 입력이 어려운 변수 값을 추정하는 방법이다. 이와 같은 모델링 방법은 정성적 자료와 정량적 데이터를 복합적으로 활용함으로써, R&D 투자의 파급과정 등 시스템 구조에 대한 이해를 가능하게 하고 장기적 예측의 수치적 정확성을 보완할 수 있다. 특히, 계량적 모형에서 도출된 경제 분야의 4가지 파급효과 지표 예측 값과의 행태적 유사성을 통해 본 연구 모형의 예측력을 확인하였다. 또한, 제안한 모델링 방법을 가용 데이터가 부족한 정부의 건설 R&D 세부 사업들의 경제적 투자효과 분석에 활용한 결과, 각 세부 사업별 투자 파급효과는 각 사업별 목표 및 성과발생 추세와 부합하였다. 즉, 상이한 사업별 투자 파급과정에 대한 이해를 통해 투자효과 극대화를 위한 전략 도출 및 수치적 예측력이 보완된 장기적 투자효과 분석에 활용될 수 있음을 확인할 수 있다.

한편, 건설 R&D 사업은 타 산업 대비 환경 및 사회 인프라 개선에 대한 기대효과가 큰 바, 향후 경제 분야 뿐 아니라 정량적 데이터 활용이 어려운 사회·환경 분야에 대한 파급효과 분석 또한 실시할 예정이다. 이 경우, 타 산업 대비 R&D 투자효과가 크지 않다고 인식되는 건설 분야 R&D 사업의 투자효과를 제고하고, 투자 당위성을 확보함으로써 지속적인 투자 여건을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

조윤숙 (2012). “건설교통 R&D투자의 에너지절감 및 CO2 배출 감소 효과분석” 시스템다이내믹학회 2012 하계 정기학술 발표대회 발표자료.

최중서 (2009). “연구개발투자의 경제적 시차효과에 대한 시계열분석” 회계학연구, 제34권 제1호, pp.67~105.

통계청 (2009). “e-나라지표 국가자산통계”  
 <<http://www.index.go.kr/egams/index.jsp>> (2012.07.30).

한국건설교통기술평가원 (2009). 건설교통R&D성과 조사·분석·평가 및 개선방안 수립.

한국건설교통기술평가원 (2010). 건설교통기술연구개발사업 성과관리매뉴얼.

한국건설교통기술평가원 (2011). 2011년도 국토해양기술 연구개발사업 시행계획.

한국은행 (2009). “한국은행 경제통계시스템”  
 <<http://ecos.bok.or.kr/>> (2012.07.30).

Bilbao-Osorio, B. (2008). Assessing the socio-economic impacts of public R&D, Workshop on Assessing the

Socio-economic Impacts of Public R&D Investment, OECD.

Liu, C. C. (2011). “A Study for Allocating Resources to Research and Development Programs by Integrated Fuzzy DEA and Fuzzy AHP”, Scientific Research and Essays, 6(19), pp.3973~3978.

Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics, Boston: Irwin Mcgraw-Hill, pp.191~232.

Volinskiy, D., Veeman, M., and Adamowicz, W. (2011). “Allocation of Public Funds to R&D: A Portfolio Choice-Styled Decision Model and a Biotechnology Case Study” Decision in Economics and Finance, 34(2), pp.121~139.

논문제출일: 2012.11.16  
 논문심사일: 2012.11.23  
 심사완료일: 2013.01.11

---

## 요 약

과거부터 축적된 시계열 데이터 기반의 정량적 예측 모형은 수치적인 정확성을 추구함으로써 다양한 분야의 투자 효과 예측에 활용되고 있다. 특히, R&D 사업의 경우 그 투자효과에 대해 역설할 필요가 있고, 이에 따라 건설 산업을 포함한 각 산업 정부 R&D 투자효과 예측을 위해 이러한 모형이 활용되고 있다. 그러나 5개의 세부 사업으로 분리 발주되는 건설 분야 정부 R&D 사업의 경우, 세부 사업 관련 축적된 데이터가 부족하고, 각 세부 사업별로 투자의 파급과정이 상이하다. 이에 따라 데이터 기반의 계량적 예측모형 개발에 제약이 있고, 개발된다 하더라도 투자 파급과정에 대한 설명력이 부족하여 투자 당위성을 설명해야 하는 각 세부 사업 담당자의 요구를 만족시키기에 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 적용되는 시스템다이내믹스(System Dynamics) 시뮬레이션 방법론은 변수 간 인과관계를 기반으로 시스템 내 순환적·동태적 상호작용을 설명함으로써 건설 R&D 세부 사업들의 다양한 투자 파급과정을 이해하는 데 장점이 있다. 따라서 본 연구는, 각 사업별 특성에 대한 분석 및 관련된 정성적 자료를 기반으로 건설 R&D 투자의 파급과정을 설명하는 시스템다이내믹스 예측 모형을 개발하였다. 또한, 시스템다이내믹스 모형의 수치적 예측 정확성을 보완하기 위해 기 개발된 데이터 기반의 계량적 예측 모형과의 상호 연동체계를 제안하고, 이를 활용하였다. 본 모델링 방법은 정성적 자료와 정량적 데이터를 복합적으로 활용함으로써, R&D 투자의 파급과정 등 시스템 구조에 대한 이해를 가능하게 할 뿐 아니라 예측의 수치적 정확성을 보완할 수 있다. 제안한 모델링 방법을 가용데이터가 부족한 정부의 건설 R&D 세부 사업들의 경제적 투자효과 분석에 적용함으로써, 상이한 각 사업별 투자 파급과정에 대한 이해를 바탕으로 투자효과 극대화를 위한 전략 도출 및 수치적 예측력이 보완된 투자효과 분석에의 활용 가능성을 확인하였다.

**키워드** : 키워드: R&D 투자, 파급효과, 시스템다이내믹스, 정성적 자료, 예측 모형