kistep

R&D focus

2009-5호(통권 제16호)

R&D 투자 동태모형을 통한 국가연구개발사업의 심층분석

- 유전체연구 사업군을 중심으로 -

KISTEP

R&D focus는 국가 R&D사업과 관련된 주요 현안과 이슈를 심층적으로 분석하여
국가 R&D 정책결정자 및 연구수행자 등에게 정책적 시사점을 제공함으로써
국가 R&D 정책 수립 및 정부 R&D 투자의 효율성을 제고에 기여하고자 발간되고 있습니다.

R&D focus

R&D 투자 동태모형을 통한 국가연구개발사업의 심층분석

– 유전체연구 사업군을 중심으로 –

● ● ● ● 김성진 ●

C O N T E N T S

발간사	01
요 약	02
Ⅰ. 서 론	03
Ⅱ. 유전체 R&D 동태 모형 분석	10
Ⅲ. 유전체 R&D 동태 모형 Simulation 및 분석	17
Ⅳ. 결론 및 시사점	23

발 간 사

유전체 연구는 1990년 미국 국립보건원(NIH)과 에너지부(DOE)가 공동으로 3단계에 걸친 인간 유전체 염기서열 해독을 위한 프로젝트(인간 유전체 프로젝트, Human Genomic Project)를 진행하면서 발전해 온 학문입니다. 이 인간 유전체 프로젝트는 약 13년 동안 27억 달러를 투자해서 인간 유전체 지도를 완성하였고, 이를 계기로 전 세계적으로 유전체 연구가 활성화되기 시작했습니다.

이러한 유전체 연구는 생명과학, 보건의료, 식품 등 바이오 분야 전반에 걸쳐 새로운 패러다임을 제시하고 있으며, 궁극적으로 인류의 풍요로운 삶을 가능하게 해줄 대안으로 우리나라 뿐 만 아니라 주요 선진국에서 앞 다투어 투자를 하고 있습니다.

그러나, 많은 투자에도 불구하고 유전체 연구에 대한 투자성과를 정량적으로 분석하고 평가하는 데 많은 어려움이 있습니다. 기존 경제학적 방법론을 이용해서 분석하려면 충분한 자료 수집이 필요하나, 유전체 연구 시장이 아직 완전하게 창출되지 않았기 때문에 충분한 자료 수집이 어렵습니다.

이러한 한계를 극복하기 위해서 System Dynamics 기법을 사용하여 기존의 한계를 극복하고자 연구를 진행하였습니다. 여기에서 소개하고 있는 System Dynamics는 1960년대에 미국 MIT 산업공학과 교수, Forest가 처음으로 창안한 방법론으로 현재 교육, 정책분석, 컨설팅, R&D 투자 분석 등으로 활용범위를 넓혀가고 있는 방법론입니다. 이 방법론을 통해 보다 체계적인 분석을 진행할 수 있는 토대를 만들고 이를 보완하여 보다 나은 평가체계를 구축하고자 합니다. 그리고 미래의 평가모형의 방향을 제시하고자 합니다.

아울러 본 kistep R&D Focus의 내용은 필자의 개인적 견해이며, kistep의 공식적인 의견이 아님을 밝힙니다.

2009년 5월

한국과학기술기획평가원 원장 이 준 승

【 요 약 】

❑ 연구의 목적 및 필요성

- 선형모형의 한계를 극복하고 동태적이고 장기적인 분석을 위해 시스템 다이나믹스 기법을 이용한 R&D 투자모형 수립 필요

❑ 연구방법

- 유전체 R&D 투자 모형의 문제를 정의하고, 구성변수를 선정하여 인과지도를 작성한 후, 이를 바탕으로 정량적 모형을 구성하여 시뮬레이션 결과를 얻음
- 시뮬레이션 결과를 바탕으로 모형타당성 검증 후 수정사항을 반영한 모형 활용

❑ 유전체 R&D 투자 시스템 정의 및 변수 설정

- 유전체 연구 프로세스를 기준으로 시스템을 정의하고 관련 구성변수를 정리

❑ 유전체 R&D 투자 인과지도 및 정량적 모형

- 유전체 연구 사업군 평가의 인과지도 중 주요 뼈대가 되는 정부 R&D 투자, 유전체 서열분석, 유전체 기능분석, 논문 등으로 인과지도 및 정량적 모형 작성

❑ 유전체 R&D 동태 모형 Simulation 결과 및 분석

- 시뮬레이션 결과의 적합성 검토 결과 분석의 전체적인 추이파악에는 문제가 없음
- 현재의 유전체 서열분석 예산비중을 줄이고 유전체 기능분석의 예산비중을 늘리는 것이 SCI논문수를 최적화할 수 있는 투자방향이라는 결과 도출

❑ 결론 및 시사점

- 시스템 다이나믹스 기법을 활용한 유전체 R&D 투자 모형을 정책판단의 도구로 활용할 수 있고 모형을 보완하여 많은 정책변수들을 검토할 수 있음
- 예산과 SCI논문 간의 피드백 관계를 모형에 반영하지 못한 한계가 있지만, 논문 성과를 최적화하기 위한 투자 방향을 도출

Ⅰ. 서론

연구의 목적 및 필요성

기존 모형의 한계

- 기존의 R&D 투자에 대한 연구들은 R&D 투자에 대한 국제간 비교나 GDP, 노동, 자본 등의 시계열 분석을 통해 얻어진 총요소생산성(TFP) 분석 등 투입요소들이 생산성에 어떤 영향을 미치는지 실증적 분석을 통해 연구함(신태영(2004);이원기・김봉기(2003); 하준경(2005))
  - 이러한 연구들은 단기적인 투자 방향을 설정하는데 있어서 유의한 결과를 얻을 수 있음
  - 연구 결과 얻어진 탄력성 값들은 시간에 영향을 받지 않고, 분석기간의 평균값이기 때문에 정태적인 성격을 가짐
  - 이러한 접근방법은 정태적이고 부분적이며 단기적인 사고로 문제를 접근하는 방법으로써, 전체적인 관점에서 R&D 투자 시스템 각 부분의 연관성과 의존성을 이해하는데 한계
- R&D 투자에 대한 국제간 비교의 경우는 현재 추세를 반영한 결과이므로 장기적인 변화를 반영한 투자 계획 수립에는 부적합
- 시계열 분석은 단기 예측의 경우는 정확도가 높지만, 장기 예측의 경우에는 정확도가 현저히 떨어지므로 장기적인 투자 방향 설정을 위한 판단의 근거로 사용하기 어려움
  - 또한 국가 R&D 투자는 다양한 요소들이 개입되어 있고 기업 매출 증가에 따른 R&D 증가 효과, 다른 분야 R&D 창출 등 R&D 투자에 따른 많은 피드백 관계가 존재하고 있어 시계열 분석을 통한 분석에는 한계가 존재함

R&D투자 동태 모형의 필요성

- Fiddaman(2005)에서는 시스템 다이나믹스를 이용한 동태모형의 시뮬레이션을 통해 인적 자본, 설비, 연구에 대한 장기적인 영향을 평가하여 투자 방향을 설정할 수 있음을 보임

- 우리나라의 경우, '국가 R&D 혁신성과측정을 위한 동태모형 구축'(2004, KISTI)에서 R&D 투자, 지식축적도, 국가 R&D 종합조정능력, 기술혁신도, 국가 R&D 성과, 국가 경쟁력 등을 수준변수로 모형을 구축하여 국가경쟁력이 좋은 평가를 얻기 위해 걸리는 시간을 도출한 바 있음
- 우리나라는 동태모형을 이용한 혁신성과지표와 관련된 모형을 개발하였지만, 미국 연구 사례처럼 R&D 투자 프로세스를 분석하여 R&D 투자방향을 설정하는 모형은 없음
  - 한국정책 상황에 적합하도록 정책적 목적에 부합하는 동태모형을 개발하여 장기적인 투자 방향 설정을 위한 의사결정에 반영 필요
- 국가 전체 R&D를 대상으로 모형을 구축하기에 앞서 규모가 작은 유전체사업 분야에 대해 Pilot 모형을 구축하여 장기 투자 방향 설정이 가능한 동태모형 개발

▶ 〈표 Ⅰ-1〉 R&D투자 분석에 대한 기존 연구 방법과 시스템 다이나믹스 연구 방법 비교

구분	기존 연구 방법	System Dynamics적 연구 방법
사고체계	■ 단선적인 사고 체계 ■ 정태적, 부분적, 단기적 분석	■ 전체론적 사고 체계 ■ 동태적, 전체적, 장기적 분석
연구방법론	■ 회귀방정식 (Regression Analysis) ■ 계량경제분석 (Econometric Analysis)	■ 인과지도 (Causal Loop Diagram) ■ 저량/유량 다이어그램 (Stock Flow diagram)
Research Question	■ 유전체 연구 성과에 미치는 투입 변수는 무엇인가? ■ R&D투자 증가는 투입요소의 생산성이나 전체 국가 GDP에 어떤 영향을 미치나?	■ 국가 GDP 극대화를 위한 최적의 자원 배분 의사결정은 무엇인가? ■ 정책 변수 변화에 따른 의사결정은 시간의 변화에 따라 어떻게 달라지는가?

출처 : 최강화 외(2006) 수정인용

연구내용 및 방법

선행연구

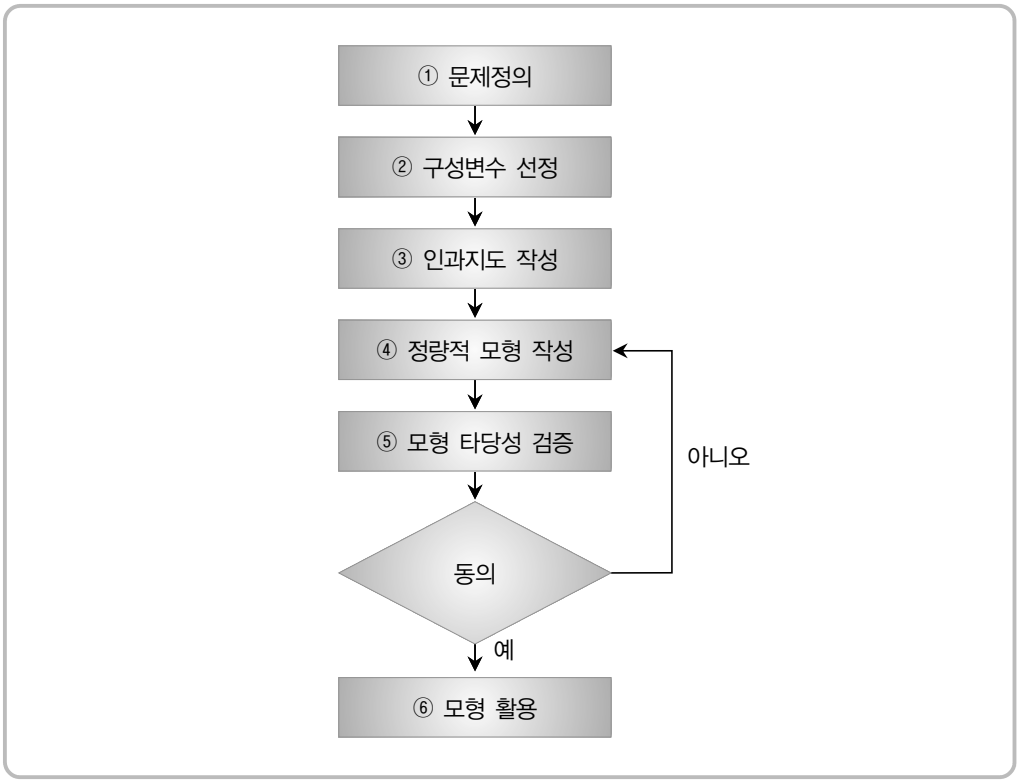
- 김순선・김동환(2007)은 공공 R&D 기관의 기술 상용화 과정을 시스템 사고를 통해 인과지도로 표현함
  - 기술상용화를 둘러싼 정부기관, 공공R&D기관, 중소기업들의 예산과 기술의 흐름과 관련된 상호관련성을 분석
  - 인과지도를 통해 작동 메카니즘을 구현하기는 했지만 저량/유량 다이어그램으로 발전시켜 시뮬레이션 결과를 제시하지는 못함
- 최강화・곽수일・김수욱(2006)은 기술혁신에서 발생하는 과정혁신(Process Innovation)과 생산품혁신(Product Innovation)을 중심으로 연구개발 투자, 신제품 개발, 제품생산의 상호작용을 파악하여 기술혁신의 효율성을 분석・평가
  - 기존의 기술혁신과 관련된 다양한 정태적 관계들을 분석하여 동태적으로 모형화하고 정량화하여 기술혁신의 동태적 프로세스를 제시함
  - 기업의 연구개발 투자와 기술혁신, 기업의 이익창출과 재투자의 순환적인 프로세스를 제시함
  - 이 연구에서 제시하는 모형은 다른 산업이나 프로세스가 다른 기업의 경우 다른 결론이 나올 수 있음

시스템 다이나믹스 모형

- 시스템 다이나믹스는 시스템과 다이내믹의 결합어(김기찬 외, 2007 p.2)
  - 시스템(system)은 관찰하고자 하는 어떤 대상이나 공간상의 영역 혹은 물질의 양이며, 경계에 의해 다른 사물과 구분
  - 다이나믹스(dynamics)란 시간의 변화에 따라서 대상이 변화하는 것을 의미
  - 상식적으로 시스템은 구성 요소들의 결합이므로 시스템 다이나믹스는 연결된 구성 요소들이 시간의 흐름에 따라서 변화하는 행태를 다룸

- 시스템 다이나믹스는 문제의 근원이 되는 원인 구조를 밝힘으로써 구조에서 문제에 대한 해결을 찾으려는 시도이므로 시스템에서 나타나고 있는 현재의 상황은 반드시 이전 시스템의 결과가 원인으로 작용(김기찬 외, 2007)
  - 이러한 메커니즘을 이해하고 모형을 효율적으로 구축하기 위해서는 시스템 사고가 필요
    ※ 시스템 사고는 지속적인 변화를 인정하는 파동의 사고, 음양의 인과관계를 바라보는 인과적 사고, 인과관계의 사슬이 순환되는 구조를 강조하는 피드백사고로 구성됨(김동환, 2004)
- 이러한 시스템사고를 통해서 시스템 다이나믹스 기법을 활용한 시뮬레이션 모형을 개발하는 과정은 다음과 같음

▶ 〈그림 Ⅰ-1〉 시스템 다이나믹스 모형 개발과정



출처 : 김기찬 외(2007) p.3

❶ 문제의 정의 개념

- 문제 정의의 과정은 문제에 대한 이해와 이를 통한 시스템의 문제를 해결하기 위한 단순화 과정, 시스템의 경계를 확정하는 단계(김기찬 외, 2007)
  - 정책이슈에 대한 이해는 시스템 사고의 기반에서 이루어져야 하며 시스템의 경계는 문제의 범위와 분석 수준을 결정

❷ 구성변수의 선정

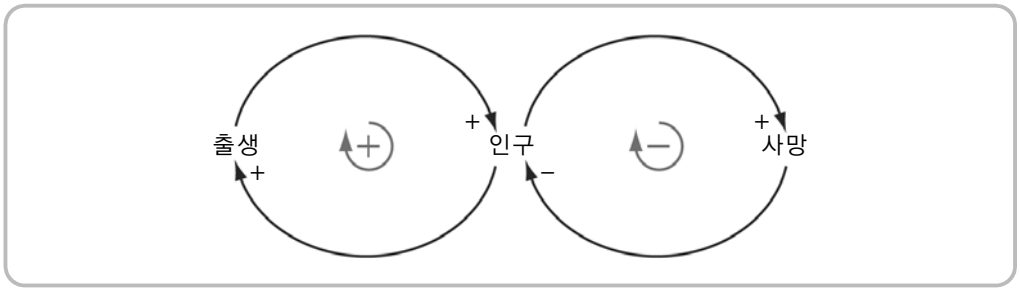
- 구성변수 선정 과정은 시스템 다이나믹스 모형을 구성하는 변수를 선정하는 단계
  - 외생(환경)변수 : 외부의 경제 상황이나 경쟁사의 정책
  - 내생변수 : 시뮬레이션 과정에서 모형수식에 의해 발생하는 변수
  - 정책변수 : 시뮬레이션 모형의 연구자 또는 기업 내부에서 변수의 크기를 통제
  - 목적변수 : 시뮬레이션을 하는 목적이 되는 변수
- 문제 정의 단계에서 모형에 영향을 주는 구성변수들을 고려함
  - 변수가 너무 많으면 시스템 구조가 복잡해져서 이해하기 어렵고, 변수가 너무 적으면 문제의 원인을 파악할 수 없음
  - 또한 시스템의 내부 혹은 외부에 존재하는가의 여부에 따라 변수를 선정해야 함 (김기찬 외, 2007)

❸ 인과지도의 작성

- 선정된 구성 변수들을 이용하여 상호관계에 대한 인과지도 작성
  - 시스템을 종합적으로 분석하고자 할 때, 먼저 그 시스템 내 각 변수들의 인과지도를 작성해야 정량적 모형 작성이 편리함
- 일반적으로 인과지도는 세 가지 요소로 구성(Weick, 1979; Hall, 1994; 김도훈 외, 1999; 김기찬 외, 2007)
  - 화살표를 사용하여 변수와 변수 간의 인과관계의 방향을 표시
    - 선정된 변수들의 상호관계를 화살표(→)를 이용하여 표시
    - 화살표의 출발점이 원인이 되고 도착점이 결과 또는 영향을 받는다는 표현
    - 여기에서는 인과관계는 직접적인 인과관계를 의미

- 화살표와 함께 플러스(+)나 마이너스(–) 부호를 사용하여 인과관계의 방향을 표시
  - 화살표 방향 표시 부분의 부호는 그 영향의 결과가 긍정일 경우는 플러스(+)부호로 부정의 경우는 마이너스(–)의 부호로 표시
- 여러 개의 인과관계들이 하나의 폐쇄된 원을 형성할 때 피드백 루프
  - 사실상 인과지도를 구축하는 근본적인 목적은 피드백 루프의 존재 확인
  - 피드백 루프가 존재할 때 시스템은 역동적인 변화를 보이기 시작
  - 이러한 역동적인 변화는 시스템의 외부에서 투입되는 강제적 변화가 아니라, 시스템에 내재되어 있는 추진력에 의해 움직이는 자발적인 변화
  - 피드백 루프의 존재는 외부의 변화에 저항적
  - 특정 시스템을 바람직한 방향으로 변화시키고자 한다면, 그 시스템에 내재되어 있는 피드백 루프들을 확인하고 피드백 루프의 원동력을 활용하거나 아니면 피드백 루프의 구조를 변화시켜야만 함

▶ 〈그림 Ⅰ-2〉 인구모형의 인과지도(예시)

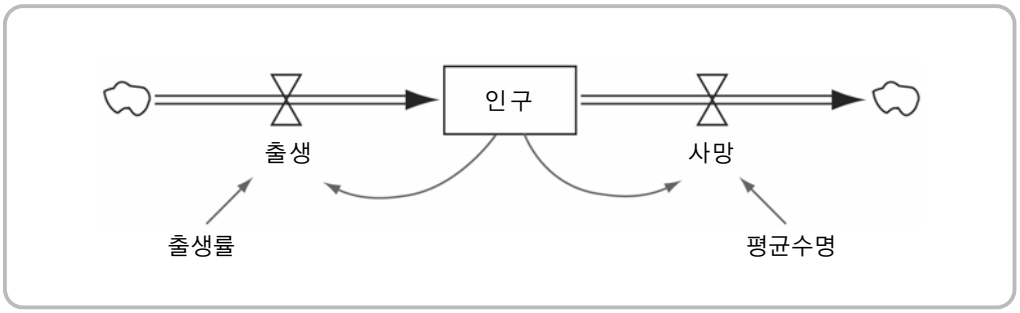


❹ 인과지도를 바탕으로 정량적 모형 작성

- 정량적 모형 작성은 인과지도를 바탕으로 변수들 간의 영향관계를 컴퓨터상에서 시뮬레이션 할 수 있도록 흐름도(Stock and Flow Diagram)를 작성
  - 이 흐름도에 변수의 계량적인 정보를 담아내는 단계
  - 인과지도의 작성이 모형의 밑그림을 그리는 과정이었다면 흐름도는 밑그림을 바탕으로 진정한 의미의 시뮬레이션 모형을 작성하는 과정
- 변수들의 특성에 따라서 저량변수(level 또는 Stock)와 유량변수(Rate 또는 Flow) 그리고 보조변수, 상수 등을 구분해 사용(김기찬외, 2007; 김영표, 2008)

- 저량변수는 Level이나 Stock이라고 하며 시간에 따라 누적된 값을 가짐
  - 저량변수는 시간의 흐름의 형태를 띤 유량변수에 의해서 유입(inflows)과 유출(outflows)의 증감이 발생
  - 저량변수는 Rate의 값을 누계 처리하거나 적분함으로써 자신의 값을 변화시킴
- 유량변수(Rate)는 저량변수의 누적적 증가 또는 감소에 직접적으로 영향을 주는 변수
  - 일정기간 동안에 달라지는 관련 저량변수의 변화량을 뜻하므로, 유량변수의 단위는 일정기간당 변화량으로 표현
  - 수학적으로 유량변수는 미분방정식으로 표현
- 보조변수는 저량변수와 유량변수를 제외한 나머지 요소들 가운데 저량변수에 직접 또는 간접적으로 영향을 미치는 모든 변수
  - 보조변수들은 자기들끼리 인과관계와 함수관계에 따라 자유로운 형식으로 서로 영향을 주고 받음
  - 보조변수는 변수들 간의 인과관계에 따라 적절한 수학적 함수형태로 표현
- 상수는 변수와 달리 시간이 흐르더라도 변하지 않는 값을 가지는 요소

▶ 〈그림 Ⅰ-3〉 인구모형의 정량적 모형(예시)



❺ 모형의 타당성 검증

▮ 시스템 다이나믹스 모형화 초기에 최종 모형을 어떻게 검증할 것인가를 판단해야 함

- 다른 예측법과는 달리 시스템 다이나믹스 모형에서는 자료가 없는 변수도 포함해서 모형을 만들기 때문에 완성된 모형은 타당성을 검증하는 절차가 필요함

- 모형의 타당성 검증은 일반적으로 모형의 시뮬레이션 예측 값과 과거 실적자료를 비교하여 검증
  - 시뮬레이션 결과가 과거 실적자료와 유사한 행태를 보이면 타당성이 있다고 판단
  - 과거의 실적자료가 부족한 경우에는 전문가 집단의 의견이나 사용자 그룹의 의견을 참고하여 결정
- 모형 타당성 검증에는 모형 건전성과 객관성 검증이 있음
  - 모형 건전성 검증은 모형의 식과 관계들이 연구자의 의도대로 완성되었는지 확인하는 과정에서 모형 단위(Units) 체크, 민감도 분석(sensitivity test) 등이 있음
  - 모형의 객관성 검증은 모형이 문제의 본질에 적합하게 표현하였는지에 대한 과정으로 객관성을 부여하고 사용자에게 신뢰를 주는 과정
    - 모형이 실제 있었던 과거의 자료에 얼마나 근접하게 구현하는지 살펴보는 방법과 시나리오 분석 결과에 대한 전문가의 동의는 구하는 방법이 있음

❻ 모형의 활용

- 모형 타당성이 검증된 후에는 시스템에 적용하여 정책의 분석, 예측, 평가 등에 활용

Ⅱ. 유전체 R&D 동태 모형 분석

유전체 R&D 투자 시스템 정의 및 변수 설정[1)]

유전체 R&D 투자 시스템 정의

- 유전체 R&D 투자 정책 이슈에 대한 이해와 이를 통한 정책이슈를 해결하기 위한 단순화 과정 및 시스템 경계(유전체 R&D투자 모형)를 확정하는 단계

1) 제1장 시스템 다이나믹스 모형 개발과정에서 제시한 ① 문제정의, ② 구성변수 선정과정을 제시

- 유전체 연구[2)]의 범위가 넓고 또한 유전체 연구가 이루어지기 위해서는 장기간의 시간이 소요되기 때문에 유전체 연구가 이루어지는 프로세스를 분석하여 시스템의 경계를 확정하는 것이 필요
  - 유승준 외(2008)에서는 유전체 연구의 시스템을 프로세스별로 나누어 정의함
  - 또한, 성과를 프로세스별로 나누어 프로세스에 해당하는 성과를 점검함
- 유승준 외(2008)는 유전체 연구를 유전체 연구의 진행과 밀접하게 관계가 있는 부분 5가지와 유전체 연구 전반적인 것과 관련되어 있는 2가지로 크게 나누어서 유전체 연구를 구분
  - 유전체 연구의 진행과 밀접하게 관계가 있는 부분은 기초연구부터 제품화까지 어떠한 단계를 거쳐서 연구되는지 점검하여 분류
  - 유전체 연구의 일반적인 과정을 5가지로 분류
    - 유전체 연구를 진행하기 위해서는 기초기반 연구가 수행
    - 이를 바탕으로 유전체 서열분석을 일반적으로 수행
    - 유전체 서열분석 이후에는 유전체 구조 및 변형 분석 실시
    - 분석된 유전체에 대한 기능을 분석
    - 유전체 기능분석 결과를 토대로 제품화 연구를 일반적으로 실시
  - 유전체 연구 전반적인 것과 관련되어 있는 2가지로 분류
    - 유전체 연구 전체에 영향을 미치는 정책과 인프라
    - 사업이 원활히 운영되기 위해 필요한 운영비와 정책연구

▶ **〈표 Ⅱ-1〉 유전체 연구 프로세스별 분류와 범위**

분 류	범 위
1. 기초기반 연구(방법론 등)	유전체 연구 관련 기반, 원천기술개발 등
2. 유전체 서열분석	종, 질환 등 관련 유전체의 염기서열 해독, 분석 등
3. 유전체 구조 및 변형분석	염색질(Chromatin) 구성 및 변형 연구 등

2) 한 개체 내에 존재하는 유전자(Gene)들의 총합체인 유전체(Genome) 및 관련 정보를 종합적·체계적으로 분석(-omics)하는 연구 분야 및 이와 관련된 인프라를 총칭하며, 유전체 연구와 마찬가지로 유전체 기능연구를 목표로 하는 단백체연구(Proteome Research)도 유전체 연구의 범위에 포함시킬 수 있다.(유승준 외, 2008)

분 류	범 위
4. 유전체 기능분석	종, 질환 등 관련 유전체의 기능분석(발현체 및 단백체) 등
5. 제품화 연구	바이오칩, 진단 키트, 유전자 변형 생물체(GMO) 생산개발 등
6. 인프라	유전체 연구 관련 시설장비, 정보/DB구축 및 서비스, 교육 등
7. 기타	운영비, 정책연구 등

- 유승준 외(2008)의 연구에서 유전체 연구의 성과로 논문, 특허 등을 제시하고 있지만, 프로세스별로 다른 사업과 차별되는 성과 유형도 많으므로 이를 고려하여 시스템 경계를 구분
  - 예를 들어, 유전체 서열분석 및 기능분석 실적 등은 논문 및 특허화가 되지 않더라도 기반 및 정보를 구축하는데 기여
  - 또한 이들 정보를 한 곳에 체계적으로 모으고 서비스하는 일도 중요한 성과
  - 유전체 정보를 얻기 위해 필요한 임상자원 또는 종자 등도 생명자원의 확보 차원에서 간과하지 말아야 할 부분임
  - 따라서 사업의 특성을 고려하여 투입과 이들 성과의 관계를 파악하여 시스템을 구성할 때 시스템의 문제를 파악하고 개선방안을 효율적으로 도출할 수 있음
- 이 연구에서는 문제를 다음과 같이 정의함
  - 유전체 연구의 범위를 7가지 프로세스 중에서 유전체 서열분석과 유전체 기능분석으로 한정함
    - 이는 모든 프로세스와 성과를 점검하려면 상당히 복잡한 모형 개발이 필요하므로 선행연구 차원에서 투입과 결과가 명확한 프로세스를 타겟으로 삼음
  - 유전체 서열분석 이후에 유전체 기능분석을 할 수 있으므로 가장 기초적인 시스템이 어떻게 구성되는지 고찰하고 이를 통해 유전체 연구 투자에 대한 정책적인 의사결정
  - 여기서는 관심이 있는 성과를 논문게재 건수로 설정하여 유전체 연구 투자를 통해 논문 성과를 극대화할 수 있는지를 점검

유전체 연구 구성변수

- 유승준 외(2008)는 유전체 연구 사업군의 성과가 어떻게 나타나는지 프로세스를 정리하고 각 프로세스에 영향을 주는 구성변수들을 찾아내서 도식화함

▶ 〈그림 Ⅱ-1〉 유전체 연구 사업군 성과에 영향을 주는 구성변수

▪ 본 연구에서는 〈그림 Ⅱ-1〉을 바탕으로 유전체 서열분석과 유전체 기능분석을 하나의 시스템으로 했을 때, 구성변수를 정리하면 다음과 같이 정리할 수 있음

▶ 〈표 Ⅱ-1〉 유전체 연구 모형의 구성변수

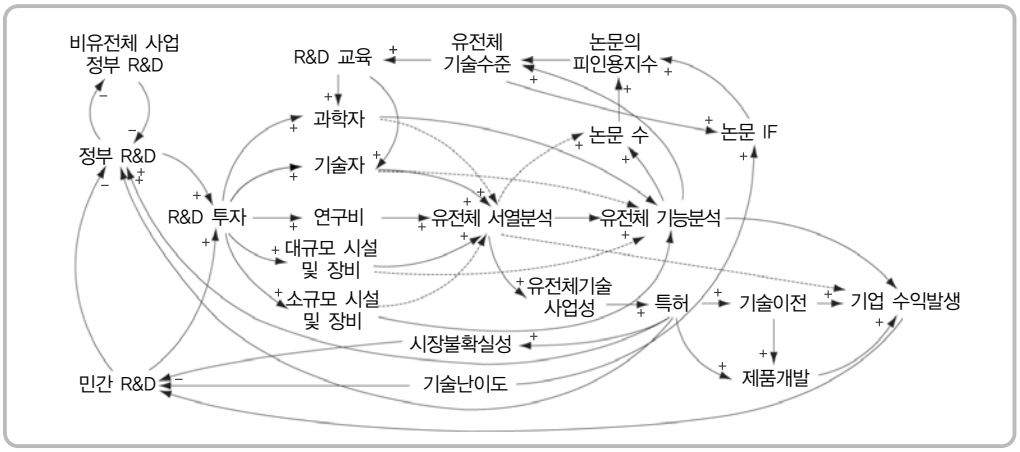
외생변수	내생변수	정책변수	목적변수
연구자 수 연구 인프라 유전체 서열분석 소요기간 유전체 기능분석 소요기간 유전체 기능분석 논문 성공 확률 유전체 서열분석 논문 성공 확률 유전체 서열분석 사업당 비용 유전체 기능분석 사업당 비용 …	유전체 서열분석 사업수 유전체 기능분석 사업수 유전체 기능분석 논문 성공 Rate 유전체 서열분석 논문 성공 Rate …	예산	논문성과

유전체 R&D 투자 인과지도 및 정량적 모형[3)]

유전체 R&D 투자 인과지도 작성

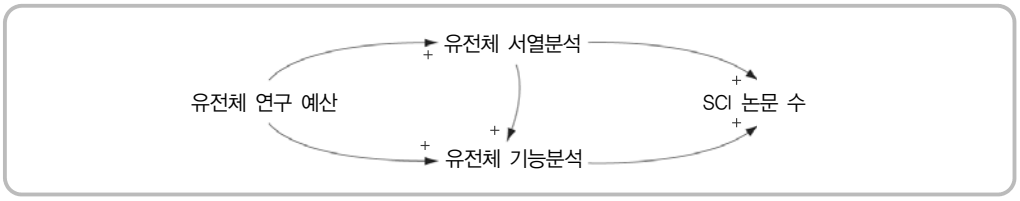
- 유승준 외(2008)는 〈그림 Ⅱ-1〉에 제시한 구성요소를 이용하여 유전체 연구 사업군에 대해 인과지도를 다음과 같이 작성함

▶ **〈그림 Ⅱ-2〉 유전체 연구 사업군 평가를 위한 인과지도**



- 그러나, 모형이 매우 복잡하여 시뮬레이션을 하기 위한 데이터들을 얻는 것이 쉽지 않았기 때문에 정량적 모형까지 구성하지는 못했음
- 본 연구에서는 〈그림 Ⅱ-2〉에 나타난 인과지도에서 정부 R&D 투자, 유전체 서열분석, 유전체 기능분석, 논문 등의 주요 변수를 사용하여 간략한 인과지도를 작성함

▶ **〈그림 Ⅱ-3〉 유전체 연구 사업군 평가를 위한 인과지도**



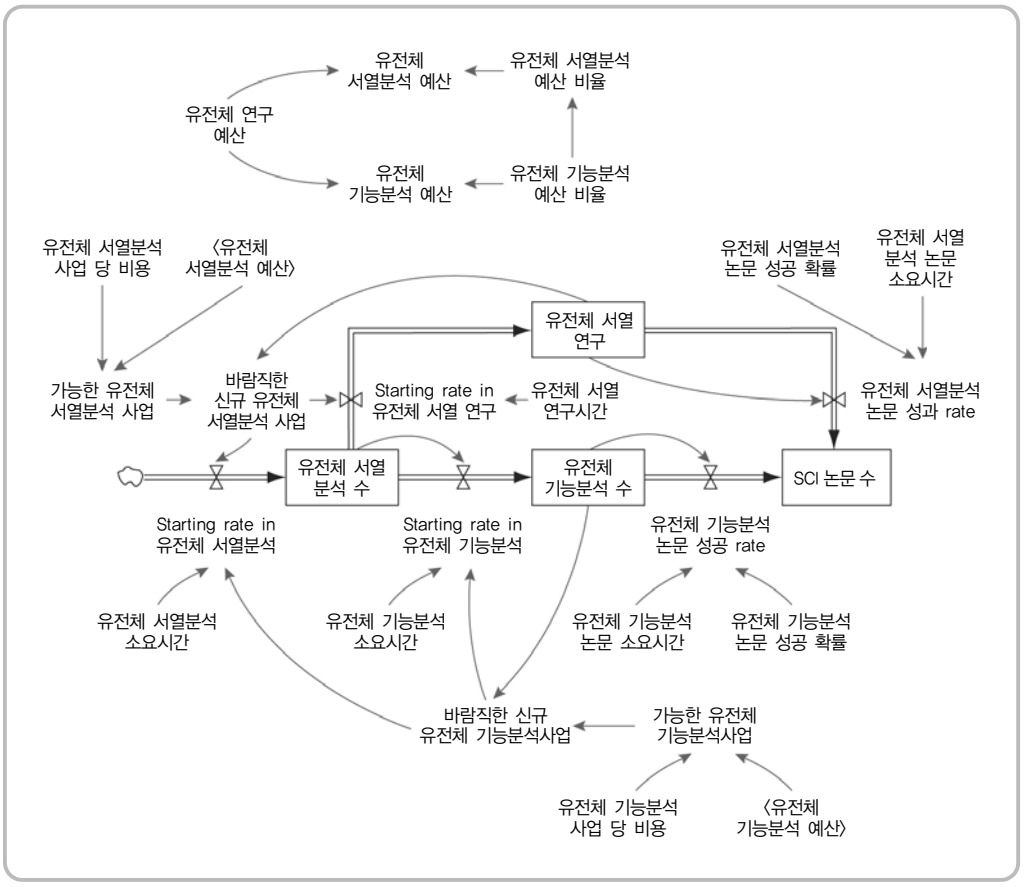
3) 제1장 시스템 다이나믹스 모형 개발과정에서 제시한 ③인과지도 작성, ④정량적 모형 작성을 제시

– 현재의 인과지도를 바탕으로 정량적 모형을 구성하고 이후에 이 모형을 확장하여 〈그림 Ⅱ-2〉의 복잡한 인과관계를 반영한 정교한 모형의 설계가 가능함

유전체 R&D 투자 정량적 모형 작성

- 〈그림 Ⅱ-3〉의 인과지도를 바탕으로 유전체사업군의 R&D투자 모형을 다음과 같이 구체적으로 표현함

▶ **〈그림 Ⅱ-4〉 유전체 R&D 투자 모형의 흐름도**



- 유전체 R&D 투자 모형을 완성하기 위해 시뮬레이션 모형에 사용하는 상수값을 다음과 같이 설정함

▶ 〈표 Ⅱ-2〉 유전체 R&D 투자 모형 상수값

상수	값(단위)
유전체 기능분석 예산 비율	0.833
유전체 연구 예산	48,000(백만원)
유전체 서열분석 소요시간	0.25(Year)
유전체 기능분석 소요시간	0.75(Year)
유전체 서열 연구시간	1(Year)
유전체 서열분석 논문 소요시간	0.5(Year)
유전체 기능분석 논문 소요시간	0.5(Year)
유전체 기능분석 논문 성공 확률	0.9
유전체 서열분석 논문 성공 확률	0.3
유전체 서열분석 사업 당 비용	523백만원/건
유전체 기능분석 사업 당 비용	328백만원/건

- 유전체 연구 예산과 유전체 기능분석 예산 비율은 2005년도 국가연구개발조사·분석에서 유전체 서열분석과 유전체 서열분석의 예산을 파악하여 구함
- 유전체 서열분석 소요시간과 유전체 기능분석 소요시간은 전문가 면담을 통해 추정되는 시간을 활용
- 유전체 서열분석 논문 소요시간, 유전체 기능분석 논문 소요시간은 일반적으로 SCI급 논문을 작성하는 데 필요하다고 예상하는 시간(6개월)을 기준값으로 활용
- 유전체 서열연구 시간은 추정치로 과제가 1년 단위이므로 이를 기준으로 설정

■ 모형에서 활용한 수식을 정리하면 다음과 같음

- 유전체 서열분석 논문성과 rate = 유전체 서열연구 * 유전체 서열분석 논문 성공 확률/유전체 서열분석 논문 소요시간
- Starting rate in 유전체 서열 연구 = 바람직한 신규 유전체 서열분석 사업/유전체 서열연구 시간
- Starting rate in 유전체 서열분석 = (바람직한 신규 유전체 서열분석 사업+바람직한 신규 유전체 기능분석 사업)/유전체 서열분석 소요시간
- 유전체 서열연구 = INTEG(Starting rate in 유전체 서열연구 – 유전체 서열분석 논문 성과 rate, 0)

- 바람직한 신규 유전체 서열분석 사업 = Max(가능한 유전체 서열분석 사업–유전체 서열연구, 0)
- 유전체 서열분석 수 = INTEG(Starting rate in 유전체 서열분석 – Starting rate in 유전체 서열 연구 – Starting rate in 유전체 기능분석, 0)
- SCI 논문 수 = INTEG(유전체 기능분석 논문 성공 rate + 유전체 서열분석 논문성과 rate, 0)
- Starting rate in 유전체 기능분석 = Min(유전체 서열분석 수, 바람직한 신규 유전체 기능분석 사업)/유전체 기능분석 소요시간
- 가능한 유전체 기능분석 사업 = 유전체 기능분석 예산/유전체 기능분석 사업 당 비용
- 가능한 유전체 서열분석 사업 = 유전체 서열분석 예산/유전체 서열분석 사업 당 비용
- 바람직한 신규 유전체 기능분석 사업 = Max(가능한 유전체 기능분석 사업 – 유전체 기능분석 수, 0)
- 유전체 기능분석 논문 성공 rate = 유전체 기능분석 수*유전체 기능분석 논문 성공 확률/유전체 기능분석 논문 소요시간
- 유전체 서열분석 예산 비율 = 1 – 유전체 기능분석 예산 비율
- 유전체 서열분석 예산 = 유전체 연구 예산 * 유전체 서열분석 예산 비율
- 유전체 기능분석 수 = INTEG(Starting rate in 유전체 기능분석 – 유전체 기능분석 논문 성공 rate, 0)

Ⅲ. 유전체 R&D 동태 모형 Simulation 및 분석

모형의 적합성 검토[4)]

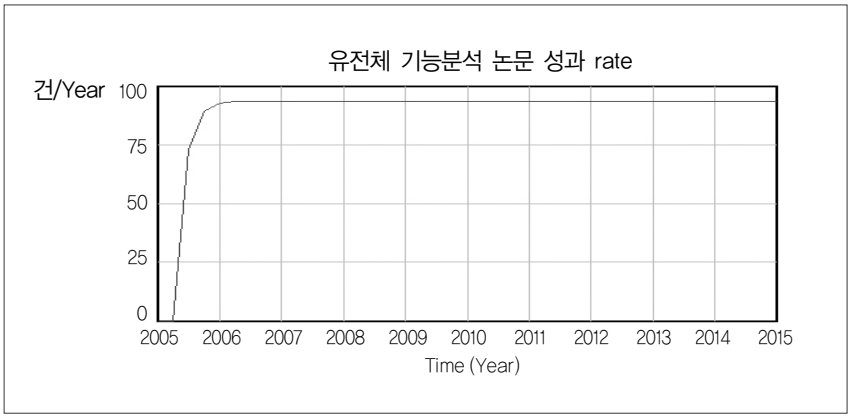
모형의 적합성 검토

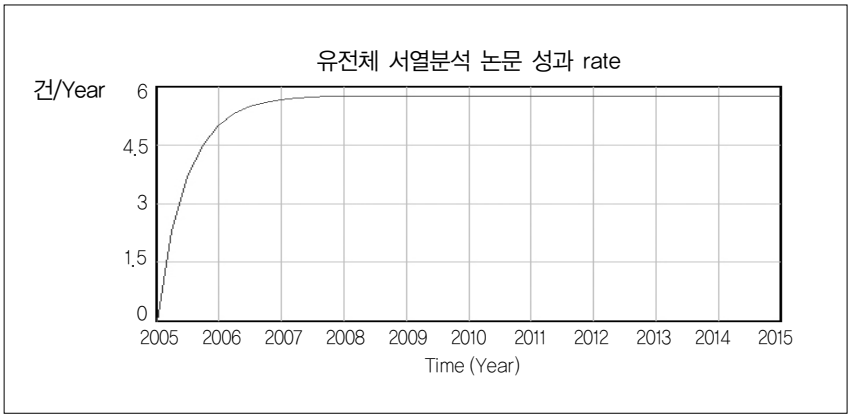
- 2007년도 국가연구개발사업 조사·분석 자료를 검토하면 '06년 유전체 서열분석 분야는 SCI논문 9편, 유전체 기능분석 분야는 SCI논문 315편의 성과가 발생한 것으로 분석됨

4) 제1장 시스템 다이나믹스 모형 개발과정에서 제시한 ⑤ 모형 타당성 검증 제시

- 시뮬레이션 결과 현재와 같이 투자를 할 경우 유전체 기능분석 분야에서 논문이 93.2편, 유전체 서열분석 분야에서 5.7편이 나오는 것으로 나타남
  - 유전체 서열분석은 성과가 유사하게 나타났고, 유전체 기능분석은 성과가 약 3배 정도가 차이가 나는 것으로 나타남

▶ 〈그림 Ⅲ-1〉 유전체 기능분석 및 서열분석 SCI 논문 성과 rate



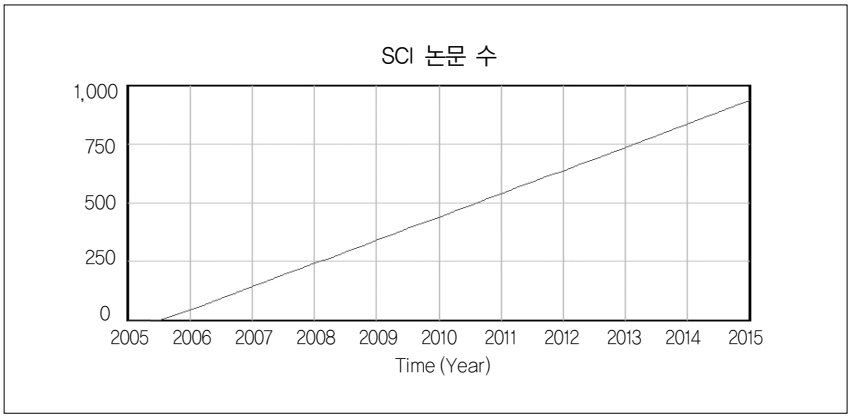


- 이는 실제로 국가연구개발사업의 유전체 연구 중 유전체 기능분석 분야는 한 과제당 논문을 3편 이상 작성하기 때문에 나타는 것으로 보임
  - 보다 엄밀한 분석을 위해서는 과제당 몇 개의 유전체 기능분석을 하는지 파악하여 분석하는 것이 필요하지만, 분석의 전체적인 추이파악에는 문제가 없는 것으로 판단됨

Simulation 결과

SCI 논문 성과

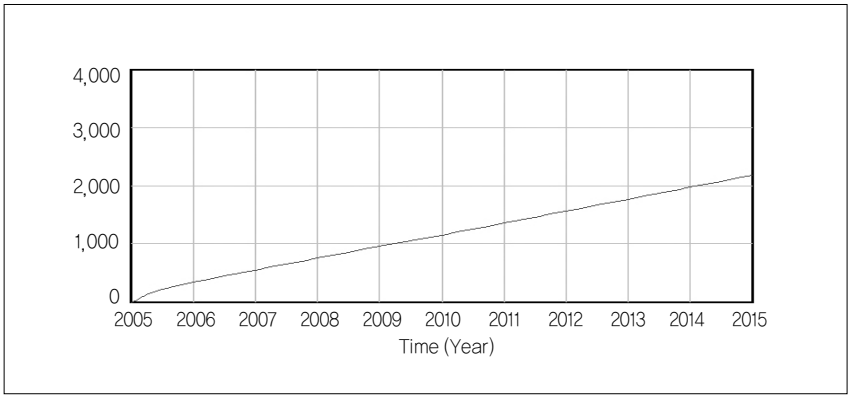
▶ 〈그림 Ⅲ-2〉 SCI 논문 성과 추이



- 현재와 같은 구조로 유전체 연구 부문의 투자가 계속 진행된다면 시뮬레이션에서는 연간 100편의 SCI논문이 발생하는 성과를 얻을 수 있는 것으로 나타남

유전체 서열분석 수

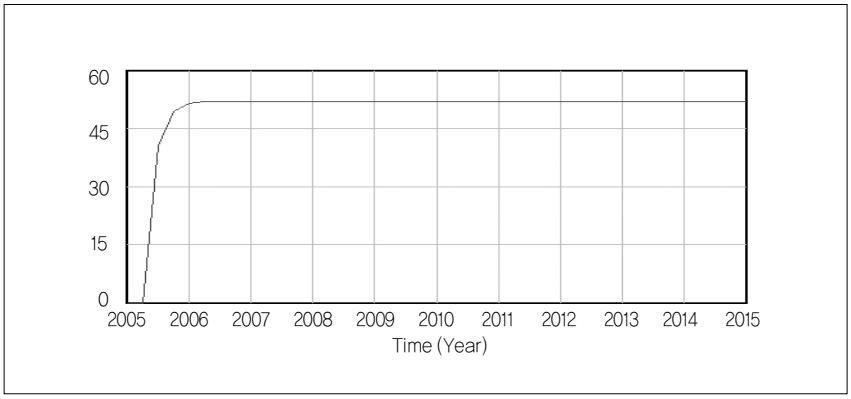
▶ 〈그림 Ⅲ-3〉 유전체 서열분석 수



- 현재와 같은 구조로 유전체 서열분석에 투자가 된다면 유전체 서열분석 수가 증가하는 것으로 나타남
  - 이는 유전체 서열분석 결과가 유전체 기능분석이나 유전체 서열을 통해 논문성과로 이어지지 못하기 때문에 유전체 서열분석 자료가 누적되는 것으로 나타나는 것임

유전체 기능분석 수

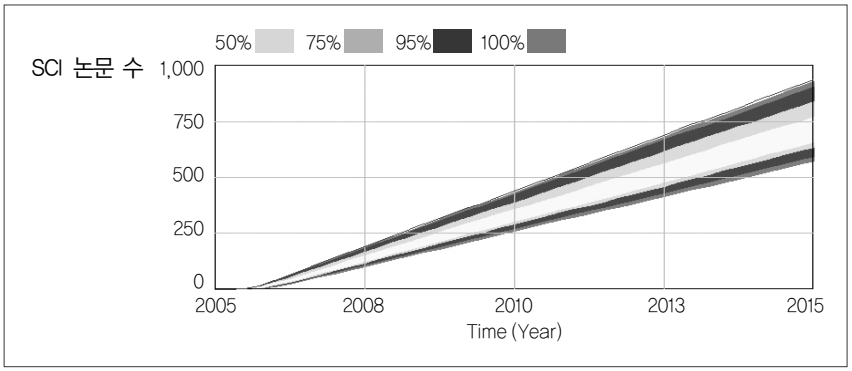
▶ 〈그림 Ⅲ-4〉 유전체 기능분석 수

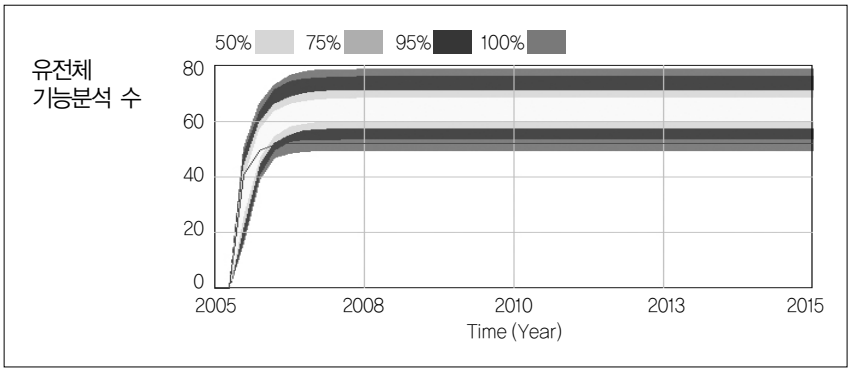


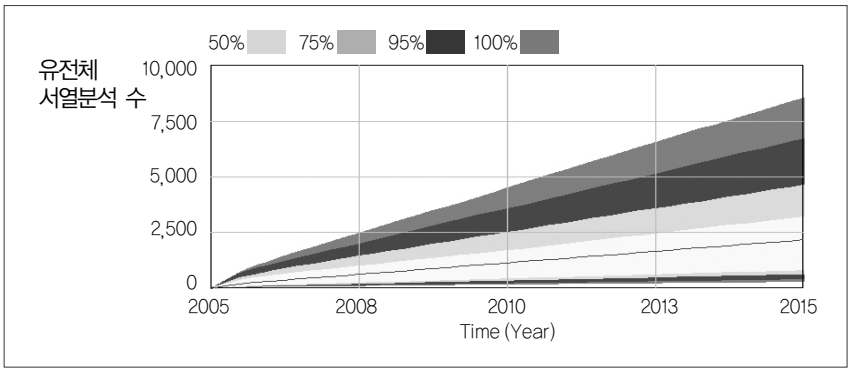
- 현재와 같은 구조로 유전체 서열분석에 투자가 된다면 매년 일정한 수준의 유전체 기능분석이 발생할 것으로 예상됨

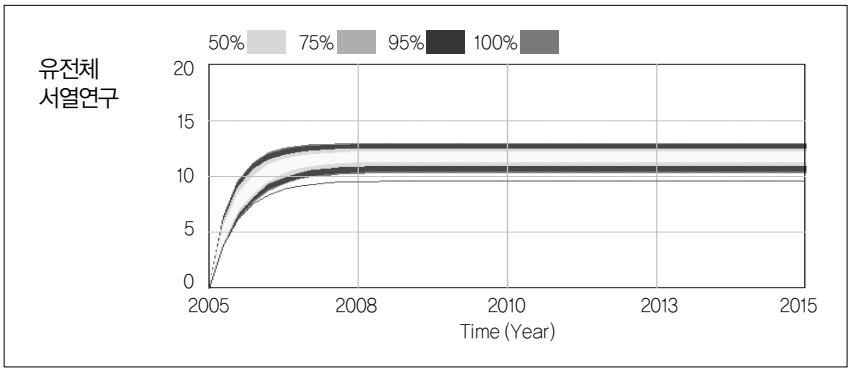
민감도 분석

- 상수값의 변화에 따른 저량변수들의 민감도 분석 결과
  - 여기서는 유전체 기능분석 논문 소요시간, 유전체 기능분석 소요시간, 유전체 서열분석 논문 소요시간, 유전체 서열분석 소요시간, 유전체 서열연구 시간 등의 상수값을 대상으로 분석
  - SCI 논문 수는 상수값의 변화에 따라 2배를 넘지 않는 범위에서 변동을 보이므로 상당히 안정적인 결과임
  - 유전체 서열분석 수가 상수값의 변화에 가장 민감하게 변하는 것으로 나타남
  - 유전체 기능분석 수, 유전체 서열연구는 상수값의 변화에 크게 민감하게 나타나지 않음









모형의 활용[5)]

모형의 활용

- 조절가능한 정책변수를 유전체 기능분석 예산비율로 놓고 최종적으로 얻고자 하는 목적변수를 SCI논문수로 놓았을 때, 최적 예산비율은 유전체 기능분석 예산비율이 1일 때인 것으로 나타남

5) 제1장 시스템 다이나믹스 모형 개발과정에서 제시한 ⑥ 모형 활용 제시

- 유전체 기능분석 예산비율이 현재처럼 0.833인 경우 2015년 논문성과가 934편으로 나타나지만, 예산비율을 1로 변화시키면 2015년 논문성과가 1,057편으로 증가하는 것으로 나타남

▪ 유승준 외(2008)에서 유전체 서열분석 사업인 '동북아민족기능성게놈연구' 등에 대해 우선순위에 맞지 않는 사업으로 조정이 필요하다고 언급하고 있음

- 이러한 조정의 필요성은 시뮬레이션 결과 논문의 성과를 최적으로 하는 투자 비율이 유전체 기능분석 예산비율이 1인 것과 일치하는 것을 확인할 수 있음
- 유전체 서열분석 사업에 대한 투자를 줄이고 유전체 기능분석 사업에 대한 투자를 늘리면 논문성과가 향상되는 것으로 나타남

▪ 즉, 유전체 기능 예산비율을 0.833에서 1로 조정하게 되면 13.2% 논문 성과향상이 일어나는 것이라는 것을 예측할 수 있음

- 이러한 시뮬레이션 결과는 정책적인 판단을 내릴 때 도움자료로 충분히 활용할 수 있음

Ⅳ. 결론 및 시사점

유전체 R&D 투자 동태모형 연구 결과

▪ 유전체 서열분석에 대한 투자 비중을 줄이고 유전체 기능분석에 대한 투자를 늘리는 것이 논문성과의 측면에서는 바람직한 것으로 판단됨

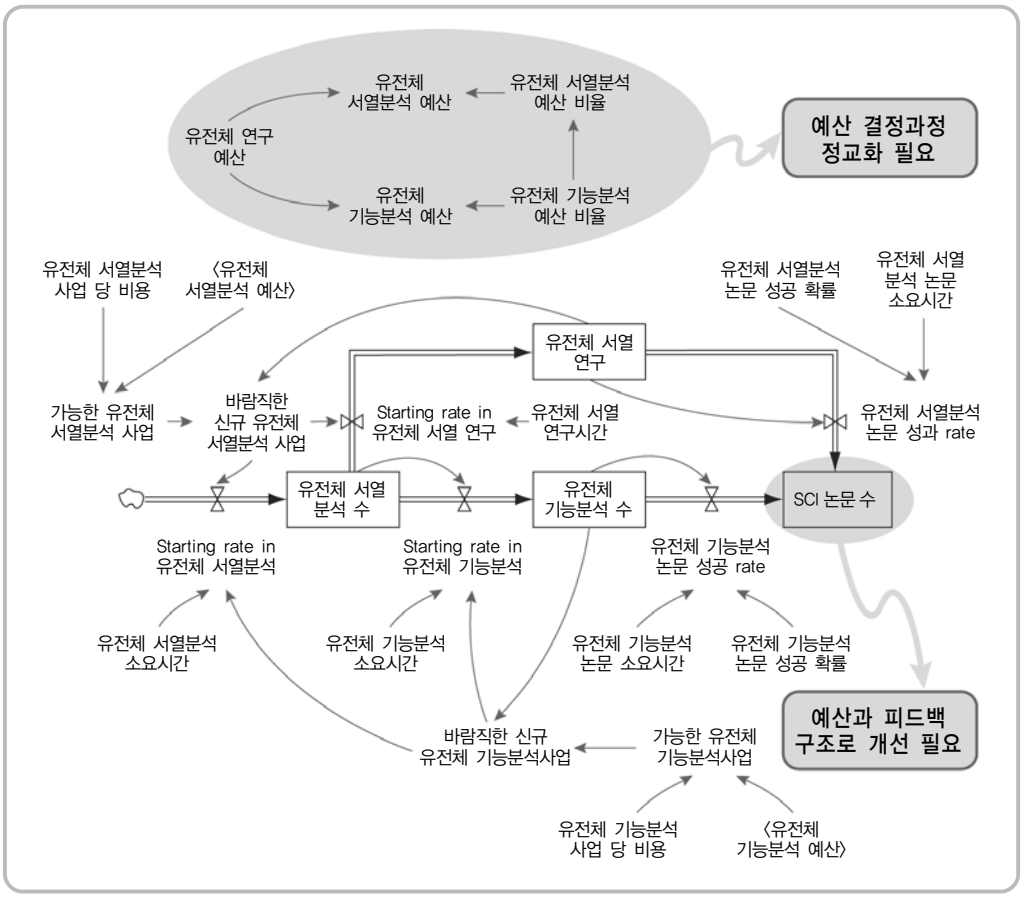
- 실제로 유전체 서열분석은 유전체 서열분석 장비가 빠르게 발전함에 따라 서열분석을 쉽게 할 수 있게 됨에 따라 단순히 서열분석 결과만으로는 인정받는 성과를 만들기가 쉽지 않음
- 유전체 기능분석을 통해 논문 뿐만 아니라 관련 특허 및 DNA 칩 등의 개발로 쉽게 이어질 수 있기 때문에 유전체 서열분석에 비해 활용가치가 높은 것으로 판단됨

▪ 시스템 다이나믹스 모형을 통해 정성적인 판단을 정량적으로 표현하는 것이 가능해지므로 유전체 R&D 동태모형은 정책판단의 도구로 충분히 활용될 수 있음

유전체 R&D 투자 동태모형의 한계

- 현재 유전체 R&D 투자 모형은 현실을 정확하게 반영하지 못함
  - 예산 결정 과정을 살펴보면 유전체 기능분석 예산비율만을 통해 결정되고 있지만, 실제로 더 복잡한 방식으로 예산이 결정됨
  - 유전체 연구 예산은 매년 일정한 액수만큼 투자되는 것이 아니라 매년 사업의 평가 결과에 따라 투자 액수가 변동 가능
  - SCI 논문 수는 R&D사업의 중요한 평가지표로 평가결과에 반영되어 예산에 영향을 미칠 수도 있음

▶ 〈그림 Ⅳ-1〉 유전체 R&D 투자 모형의 한계



유전체 R&D 투자 동태모형의 한계 극복 방안

- 유전체 R&D 투자 모형을 모듈화하여 분석
  - 현재 모형은 〈그림 Ⅱ-2〉에서 논문 성과를 중심으로 간단한 인과지도 〈그림 Ⅱ-3〉을 추출하여 모형 수립
  - 〈그림 Ⅱ-2〉의 복잡한 인과관계를 모두 정량적인 모형으로 구현하는 것은 쉽지 않지만, 관련된 인과지도를 분해하여 모형을 구축한 후 모형을 다시 결합할 수 있음
  - 예를 들어 특허성과와 관련된 모형, 논문 인용지수와 관련된 모형으로 각각 만든 후에 각 모형을 결합하는 방식으로 모형을 확장할 수 있음
  - 이러한 방식을 통해 복잡한 인과지도에 대해 정량적인 모형을 구축할 수 있음

참고문헌

1. 김기찬 외(2007), 「Vensim을 활용한 SYSTEM DYNAMICS」, 서울경제경영
2. 김도훈 · 문태훈 · 김동환(1999), 「시스템 다이내믹스」, 대영문화사
3. 김동환(2004), 「시스템사고 – 시스템으로 생각하기」, 선학사
4. 김영표(2008), "시스템 다이내믹스 기법 : 미래예측에서 정책효과 측정까지", 국토연구원
5. 김순선 · 김동환(2007), "공공 R&D 기관의 기술 상용화 과정에 관한 시스템 사고 분석", 2007년 추계 시스템 다이내믹스 학술대회
6. 신태영(2004), "연구개발투자의 경제성장에 관한 기여도", 과학기술정책연구원
7. 유승준 외(2008), 「2008년도 국가연구개발사업 심층평가 보고서 – 유전체연구 사업군」, 한국과학기술기획평가원
8. 원동규 외(2004), "국가 R&D 혁신성과측정을 위한 동태모형구축", 한국과학기술정보연구원
9. 이원기 · 김봉기(2003), "연구개발투자의 생산성 파급효과 분석", 한국은행
10. 최강화 · 곽수일 · 김수욱(2006), "시스템 다이나믹스를 이용한 기술혁신의 동태성 분석", 경영과학 제23권 제1호
11. 하준경(2005), "연구개발의 경제성장 효과 분석", 한국은행 금융경제연구원 「경제분석」 제11권 제2호
12. Fiddman(2005), "Dynamic Simulation Models for Science Decisioin Support", International R&D Evaluation Symposium
13. Namsung Ahn, "A system dynamics model of a large R&D program", MIT

kistep R&D focus

저 자 프 로 필

| 김 성 진 |

- (現)한국과학기술기획평가원(KISTEP) 연구원
- 서울대학교 기술정책전공 박사과정
- 연락처 : 02-589-2978, shaqey@kistep.re.kr

KISTEP 한국과학기술기획평가원
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning
137-130 서울시 서초구 양재동 마방길 68 동원산업빌딩 8~12F
TEL 02-589-2200 **FAX** 02-589-2222