

시스템다이내믹스를 이용한 건설정책 분석

- 싱가포르의 생산성 정책을 대상으로

A System Dynamics Approach to Construction Policymaking

- Evaluating the Singaporean Government's Productivity Policies

박문서* 손보식** 안선주*** 이현수****
Park, Moon-Seo Son, Bo-Sik An, Sun-Ju Lee, Hyun-Soo

Abstract

Policymakers' isolated and myopic view on the policy application process often makes public policies ineffective. The conventional policymaking practice also lacks considerations on the various needs of industry participants and their response to public policies. To address this issue, a model-based approach, which can examine the effectiveness of public policies in a systematic manner, is presented with an application example of the Singapore governments policies to enhance construction productivity. Using a system dynamics model, the governmental policies are tested in a qualitative and quantitative manner. Having obtained policy implications from the model structure and simulation results, suggestions and guidelines are provided to make the governmental policies more effective. Finally, based on the research findings, it is highlighted how public policymaking can benefit from a model-based approach.

키워드 : 정책수립, 건설, 시스템다이내믹스, 시뮬레이션, 생산성

Keywords : Policymaking, Construction, System Dynamics, Simulation, Productivity

1. 서론

정책수립자들은 정책들의 총체적인 영향과 효과를 제대로 고려하지 않고 개개의 정책목표만을 달성하려는 경향이 있다. 정책 적용 프로세스상에서 이러한 고립되고 근시안적인 고찰은 공공정책을 효과적이지 못하게 하며 (Royston, 1998), 종종 조직내에서 일관성 없는 정책을 만든다(Cyert and March, 1963; Eisenhardt and Zbaracki, 1992; Ritchie-Dunham and Galvan, 1999). 게다가, 틀에 박힌 정책결정의 관행은 공공정책에 대한 민간부문의 요구와 반응을 충분히 고려하지 못하게 하고 있으며 (Stenman, 2000), 이러한 관행은 민간부문의 적극적인 참여를 이끌어 내지 못하고 있다. Tsebelis(1989)는 운전자들은 확률에 기초하여 대안행동을 취하기 때문에 교통법규위반자의 처벌을 강화하는 것이 운전자의 위반 경향을

줄이는 데는 효과적이지 않다는 것을 실험을 통해 보여 주었다. 따라서 공공정책을 성공적 수행하기 위해서는 정책 적용 프로세스에 대한 통일된 관점 및 여러가지 대안 정책들의 효과성을 체계적으로 평가해 볼 수 있는 도구가 필요하다. 체계적 평가는 민간부문의 반응과 지속적으로 변화하는 산업환경을 정확히 예측할 때 가능하다.

본 연구에서는 싱가포르 정부의 건설 생산성 강화 정책을 예로 하여 공공 정책수립의 시스템다이내믹스 모델 접근법을 제시하였다. 연구의 절차는 다음과 같다.

먼저, 시스템다이내믹스 모델의 개념에 대해 간략히 살펴보고, 건설 산업 맥락 속에서 싱가포르 정부정책의 배경을 설명하였다. 그 다음, 시스템다이내믹스 모델을 활용하여 싱가포르 정부정책을 정성적인 방법과 정량적인 방법으로 분석하였다. 또한 모델 구조와 시뮬레이션 결과로부터 얻은 정책 시사점을 토대로 정부 정책을 보다 효과적으로 제정하기 위한 제안과 지침을 제공하였다. 마지막으로 연구결과를 토대로, 모델베이스 접근법이 공공정책 결정에 어떻게 이익을 줄 수 있는지를 제시하였다.

* 정회원, 서울대학교 건축학과 조교수, 공학박사

** 정회원, 서울대학교 건축학과, 공학박사

*** 정회원, 서울대학교 건축학과 대학원 박사과정

**** 정회원, 서울대학교 건축학과 부교수, 공학박사

3.1 외국 노동력에 대한 의존도 축소

현지도급자(local contractor)들은 입찰에서 경쟁우위를 차지하기 위해 썩 외국 노동력에 크게 의존해왔다. 그 결과 표 2에서 보듯이 외국 노동자들이 산업인력의 대부분을 차지하게 되었으며, 대다수의 외국노동자들이 1998년 현재 비숙련 상태로 남게 되었다.

싱가폴 정부는 이러한 불균형한 노동 구조를 개선하기 위해 이미 몇 가지 조치를 취해 왔었다. 정부의 취한 두드러진 두 가지 조치는 다음과 같다. 첫째, 비숙련 외국인 노동자들의 수요를 차등과세제도(two-tier levy system) 도입함으로써 완화하려 하였다(외국인을 숙련공과 비숙련공으로 구분하여 다른 과세비용 적용). 둘째, 일정 규모의 프로젝트에는 외국 노동력 수입 할당제를 도입하여 가용도를 통제하려 하였다. 이러한 정부 조치들의 강화필요성을 인식한 특별전담조직은 아래와 같은 선도정책들(initiative)을 제안하였다.

- 정책 1 : 외국인 비숙련공에 대한 과세를 인상함으로써 현재의 과세 격차를 더욱 크게 한다.
- 정책 2 : 2010까지 현재 수준의 50%까지 외국노동력 할당량을 감소시킨다.

3.2 빌더빌리티 향상

특별전담조직은 또한 산업 생산성을 증가시키기 위한 방법으로 빌더빌리티(buildability)²⁾의 축진이 필요함을 인식하였다. 빌더빌리티의 정의에서 알 수 있듯이, “빌더블 디자인(Buildable Design)” 이라 함은 시공 프로세스를 쉽고 더 효율적이게 하는 것이다.

“빌더블 디자인”은 공장에서 제조하기 때문에 표준화가 쉬운 PCC(Prefabricated Construction Components)의 사용과 밀접하게 관련되어 있다. 따라서 싱가포르 정부는 조립시공³⁾(Prefabrication)의 사용을 장려하고 있다. HDB⁴⁾는 1981년부터 정부가 발주하는 공공 프로젝트에서 조립시공을 성공적으로 사용하여 왔다(1998년 현재 28%). 이러한 노력은 공공 프로젝트의 건설 생산성을 강화하는데 기여하였다. 그러나 민간부분의 조립시공 사용이 저조하여 국가 평균 조립시공 사용수준은 1998년 현재 단지 8% 수준에 불과하다. 이에 특별전담조직은 생산성 획득을 위한 돌파구로써 다음과 같은 선도정책을 고려하게 되었다.

- 정책 3: 조립시공 기술증강 프로그램을 제공하여 민간 프로젝트의 조립시공 사용을 증가시켜, 2010년까지

지 조립시공 사용율 20%를 달성할 수 있도록 한다. 또한 교육프로그램 공급과 더불어, 빌더빌리티 향상을 위한 직접적인 규제를 제안하였다.

- 정책 4: 필수 확보 빌더빌리티 점수를 공공 프로젝트 입찰기준으로 명시하고, 요구 점수를 점차 높인다.

특별전담조직은 빌더빌리티 점수가 공공건설 프로젝트의 입찰 기준 중 하나가 되면, 도급자들이 더 높은 빌더빌리티 점수를 받기 위해 조립시공을 더 많이 사용할 것으로 예측하였다. 빌더빌리티 정책과 관련된 특별전담조직의 전략은 그림 2와 같은 인과관계 다이어그램으로 도식화된다.

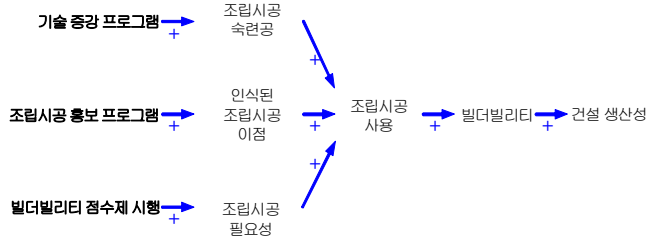


그림 2. 빌더빌리티 정책논리

3.3 건설 액티비티의 통합

특별전담조직에 의해 제시한 또 다른 선도정책은 건설 액티비티(activity)의 통합에 초점을 두고 있다. 건설 액티비티의 분리는 프로젝트 조달방법과 밀접하게 관련되어 있다. 전통적인 순차적 프로젝트 조달방법에서는, 시공과 설계는 프로젝트의 여러기능들에 의해 분리되어 수행되었다. 반면 디자인빌드(design-build) 조달 기반 프로젝트는 도급자가 설계와 시공을 함께 수행하게 되므로, 참여주체들간의 협력을 원활하게 하여 생산성을 높일 수 있다. 따라서 싱가포르 정부는 공공 프로젝트에서 디자인빌드 조달방법을 많이 사용해 왔다(1998년 현재 20%). 그러나 민간 개발자들은 디자인빌드 사용을 꺼리고 있다(1998년 현재 8%). 이러한 문제점을 해결하기 위해 특별전담조직은 다음과 같은 선도정책을 제시하였다.

- 정책 5 : 교육과 장려를 통해 민간부분 개발자들의 디자인빌드 조달방식 사용을 확대한다.

싱가폴 정부는 위에서 제시한 특별전담조직의 선도정책을 기반으로, 지속적인 규칙/규제 시행을 시도하였다. 그러나 표 2와 같이 산업성과 개선은 아직 주목할만 하지는 못하다. 이러한 미약한 산업 성과는 불충분한 정부 지원과 최근의 경제하락이 원인일 수 있다. 동시에, 특별전담조직의 선도정책 자체의 문제점 때문인지도 모른다. 특히, 특별전담조직의 제안사항들은 폭넓은 심의와 조사에 기초를 두었지만, 제시한 선도정책과 산업주체들 사이의 상호작용에 의해 발생하는 효력을 효과적으로 설명하지는 못한다. 따라서 본 연구에서는 시스템다이내믹스 모델링을 통한 시스템적 정책 평가를 시도하고자 한다.

2) 빌더빌리티(buildability) : 디자인이 시공 용이성을 향상시키는 정도(Gray, 1990)로서, 국내에서는 ‘Constructability’ 라는 용어로 소개되고 있고 설계에 반영된 시공성을 지수화한 것이라 볼 수 있음.
 3) 조립시공(prefabrication) : 국내에서는 ‘프리캐브화’ 라는 용어도 사용되고 있음.
 4) HDB(Housing Development Board, a Singapore governments statutory board for public housing) : 싱가포르 주택공사

4. 정성적인 분석

본 장에서는 인과관계루프 다이어그램을 사용하여 특별전담조직이 제시한 선도정책 분석한다. 분석의 주안점은 다음과 같다. 첫째, 선도정책과 이에 수반한 환경변화에 대한 민간부분의 반응. 둘째, 생산성과 입찰경쟁력 관점에서의 산업에 대한 전략 추진력. 셋째, 적용과정에서의 정책간 상호작용을 싱가포르 건설산업의 맥락 안에서 논의한 다음, 각 선도정책들의 분석을 시도하였다.

4.1 산업 생산성 저하의 원인

선도정책을 분석하기 위한 전제조건으로, 건설 산업시스템의 맥락에서 생산성 문제의 원인을 이해할 필요가 있다. 필요한 데이터를 얻기 위해, 산업 참여주체들(민간부분의 개발자, 도급자, 설계자와 HDB와 BCA⁵⁾ 직원)과의 일련의 인터뷰를 수행하였다. 인터뷰 결과, 산업 생산성 문제에는 그림 3의 R1에서 R5, B1로 표시된 피드백 루프가 주요한 영향을 미친다는 것을 발견하였다.

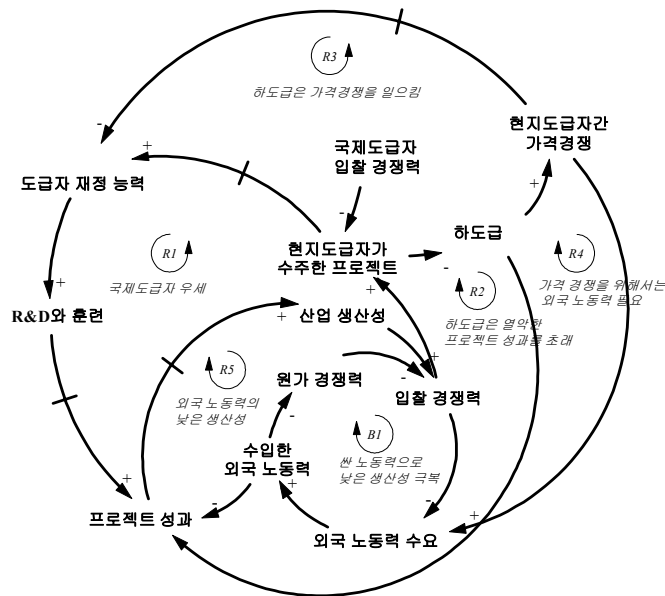


그림 3. 건설 산업 생산성과 관련된 피드백

그림 3의 R1은 현지도급자의 낮은 입찰 경쟁력과 관련된 피드백 영향을 나타낸다. 싱가포르 건설 시장은 현지도급자보다 높은 기술력과 재정능력을 가진 상위 국제도급자(foreign contractor)에 의해 지배되고 있다. 이러한 시장 상황에서, 현지도급자들은 재정적 어려움으로 겪으면서 R&D(research and development)와 훈련프로그램에 대한 투자를 꺼려왔다. 이에 반해, 국제도급자들은 지속적으로 이익의 일정 비율을 R&D와 훈련프로그램에 투자

해왔다. R&D와 훈련프로그램의 부족은 낮은 프로젝트 성과와 낮은 산업 생산성을 초래한다. 그 결과, 현지도급자들의 입찰 경쟁력과 재정 능력은 계속적으로 악화되었다.

낮은 입찰 경쟁력은 그림 3의 R2와 R3과 같이 여러 악영향을 주는 피드백 효과를 만든다. 일반적으로 프로젝트를 수주한 국제도급자들은 현지도급자에게 공사를 하도급하며, 하도급을 받은 현지도급자들은 종종 더 작은 업체에 재하도급 한다. 이러한 다층 하도급의 실행은 프로젝트에 대한 낮은 책임감과 열악한 성과, 낮은 산업 생산성을 초래한다(R2). 동시에, 현지도급자들은 가격경쟁으로 서로 경쟁하고 있기 때문에 적은 이윤으로 재정 불능 상태에 빠지게 된다. 이것은 R&D와 훈련의 부족, 열악한 프로젝트 성과, 낮은 산업 생산성을 야기한다(R3). 두 가지 경우를 통해 낮아진 산업 생산성은 현지도급자들의 입찰 경쟁력을 악화시키며, 하도급을 증가시킨다.

상대적으로 낮은 산업 생산성을 가진 현지도급자들은 국제도급자들을 상대로 입찰 경쟁력 확보를 위한 돌파구를 모색하기 시작하였다. 현지도급자들은 낮은 입찰 경쟁력을 극복을 위해 그림 3의 B1과 같이 싼 외국 노동력에 의지하였다. 외국 노동력 활용을 통해 얻어지는 가격 경쟁력으로 국제도급자들과 경쟁을 하고자 한 것이다. 그러나 수입된 외국 노동력은 그림 3의 R5처럼 프로젝트 성과와 산업 평균 생산성에 부정적인 영향을 미쳤다. 그 결과 현지도급자의 입찰경쟁력은 국제경쟁자들보다 오히려 더 낮게 되었다. 게다가, 그림 3의 R4에서 보듯이 현지도급자들이 가격으로 서로 경쟁하는 것은 싼 외국 노동력에 기반을 둔 가격 경쟁을 요구한다. 마찬가지로 현지도급자들 사이의 가격 경쟁은 열악한 프로젝트 성과, 낮은 산업 생산성, 낮은 입찰경쟁력을 초래하며, 하도급의 증가와 현지도급자들 사이의 가격 경쟁을 다시 악화시킨다.

위의 피드백 루프의 영향을 조합하여, 왜 싱가포르 건설 산업이 최근 낮은 생산성 문제를 겪고 있는지, 어떻게 이러한 낮은 생산성을 극복할 수 있는지를 알 수 있다. 특별전담조직의 정책이 산업구조의 맥락속에서 어떻게 효과적으로 시행될 수 있는지를 살펴보기 위해 그림 3의 인과관계 다이어그램을 다음 절에서 세분화하여 분석한다.

4.2 정책 1 과 정책 2 분석

그림 4에서와 같이 차등과세제도의 시행은(정책 1) 외국 노동력 비용을 증가시킬 것이며, 이것은 외국 노동력 사용의 비용 이점을 줄일 것이다. 결과적으로, 하도급자들의 외국 노동력 아웃소싱에 대한 수요와 아웃소싱된 외국 노동력의 전체 규모는 줄어들 것이다. 그런 가운데, 정부는 외국 노동력 할당제를 실시함으로써 건설현장의 외국 노동력 과잉사용을 막을 수 있을 것이다(정책 2). 이것 역시 외국 노동력의 가용도를 통제하여 외국 노동자

5) BCA(Building and Construction Authority, a Singapore government statutory board for the building and construction industry) : 국가개발부(Ministry of National Development) 산하 건축과

에 대한 의존도는 줄일 것이다. 외국 노동자에 대한 의존도가 감소되면, 도급자들은 숙련공을 더 사용하게 될 것이다. 이것은 프로젝트의 성과를 향상시키며 동시에 건설 산업 생산성 및 입찰경쟁력을 향상시킨다. 그 결과, 외국 노동자에 대한 의존도를 더욱 감소할 수 있다(R5). 그런데, 이러한 루프 효과에도 불구하고, 국제도급자를 상대로 한 경쟁력은 R5의 피드백 루프 효과가 B1의 피드백 루프 효과보다 우월해질 때까지 단위노동비용(B1)이 증가함으로 낮아질 것이다.

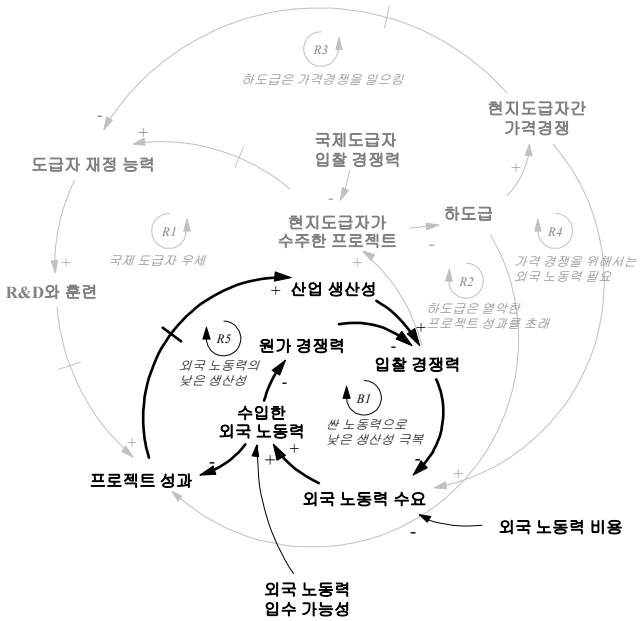


그림 4. 외국 노동력 정책 분석 (정책 1과 정책 2)

이러한 정책들은 프로젝트 기간, 기존 노동자들과의 계약, 회사 노동정책의 변화에 필요한 시간 등과 같은 시스템상의 시간지연 때문에 즉시 효과를 보여주지는 못할 것이다. 장기적인 관점에서는, 다른 피드백 영향요인들 (R1 to R4)에 의해 상승효과도 예측된다.

4.3 정책 3 분석

싱가폴 정부는 민간부면에서의 저조한 조립시공 사용의 주요원인을 도급자들과 개발업자의 인식 부족과 숙련공의 부족으로 판단하고, 기술 교육 프로그램 및 홍보에 노력을 집중해 왔다. 그러나 조립시공에 대한 홍보효과는 다른 요인들과 비교할 때 크게 중요하지 않음이 연구결과 드러났다. 표 3과 같이, 민간부면의 사람들은 일반적으로 조립시공 사용에 따른 공기와 품질 이점을 이미 높이 평가하고 있다. 오히려 조립시공의 저조한 사용은 노동구조와 깊은 관련이 있다. 본 연구 결과에 따르면 외국 노동력에 대한 의존은 생산성 저하뿐만이 아니라, 민간부면에서의 조립시공 사용에 영향을 미쳐 왔다. 도급자들은 시공방법과 노동정책을 결정할 때 일반적으로 비용 효과를 우선 고려한다. 그러므로 도급자들은 외국 노동력을 사용하는 전통적인 방법이 조립시공보다 관련 비용이

이 더 크기 때문에 선호하여 왔다.

표 3. 조립시공에 대한 찬성과 반대 의견

	찬성	반대
설계자	· 설계와 시공의 용이성	· 단조로운 외관 · 변화에 대한 방해 · 비이용성(Unavailability)과 인적자원
개발자/도급자	· 시간과 노동력 절감 · 우수한 품질	· 단조로운 외관 · 높은 자본 투자 · 특수 운반 필요
정부	· 우수한 품질 · 원가, 노동력, 재료의 절감	· 비이용성(Unavailability)과 인적자원 · 인식의 부족 · 다단계 하도급

이러한 이유 때문에, 본 연구에서는 외국 노동력과 조립시공 사이의 상충된 이해관계(trade-off)에 초점을 두고 조립시공 정책을 분석한다. 그림 5와 같이, 만약 수입되는 외국 노동자들이 어떤 이유(예를 들어 정책 1과 정책 2)때문에 감소하게 되면, 전통적인 방법의 비용은 숙련공 사용의 결과로 상승할 것이다. 차등과제제도의 시행(정책 1)으로 증가된 외국 노동력 비용 또한 전통적인 방법의 비용에 직접적인 영향을 줄 것이다. 그런 까닭에, 도급자들은 비용을 낮추고, 그들의 가격경쟁력을 유지할 수 있는 대안을 찾을 것이다. 이 상황에서 중요한 돌파구는 바로 조립시공의 사용일 것이다. 도급자가 조립시공의 비용 이점을 인식하게 되면, 조립시공의 사용은 증가할 것이다. 그때, 조립시공 사용 증가는 프로젝트 성과와 건설 산업 생산성을 강화시킨다. R6의 루프 효과는 입찰경쟁력을 증가시키며, 외국 노동자의 수요를 감소시킨다. 이러한 피드백 분석을 통해, 외국 노동력에 대한 의존도를 낮춤으로써 민간부면의 조립시공 사용을 증가시킬 수 있는 것이 예측되었다.

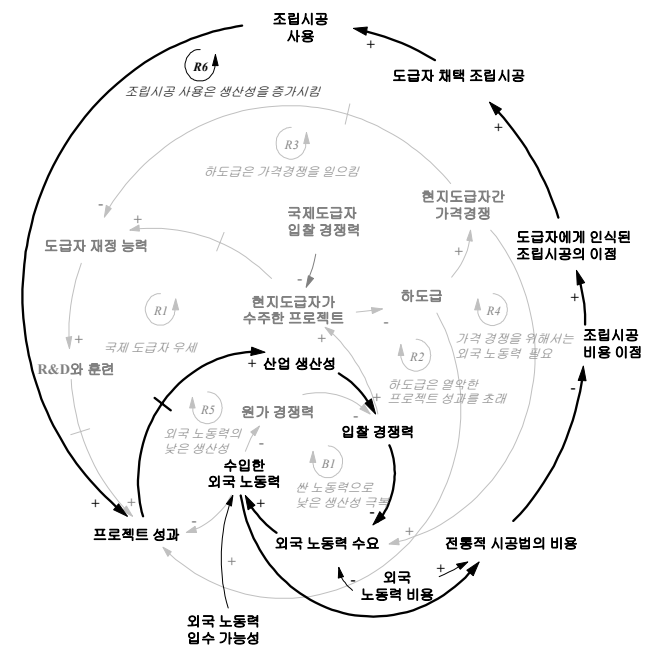


그림 5. 조립시공 정책 분석 (정책 3)

4.5 정책 4 분석

그림 6에서와 같이, 확보되어야 하는 최소 빌더빌리티

점수의 증가는 도급자들에게 더 높은 빌더빌리티 점수를 달성할 수 있는 방법을 찾도록 하며, 이는 도급자에 인식되는 조립시공의 이점을 증가시킨다. 결과적으로, 도급자는 조립시공을 더 많이 사용할 것이다. 이것은 다른 나라의 건설 산업에서 증명되었다. 예를 들어, 덴마크 건설 산업은 1960년대에 모듈통일입법(modular coordination legislation)이 제정된 이래, 외국 노동력을 활용하지 않고 40%의 조립시공 수준을 달성하고 있다(CMC, 1999). 이러한 선도정책은 앞에서 논의된 다른 피드백들과 함께 그림 6의 R7과 같은 새로운 피드백 루프를 발생시킴으로써 탄력을 얻는다.

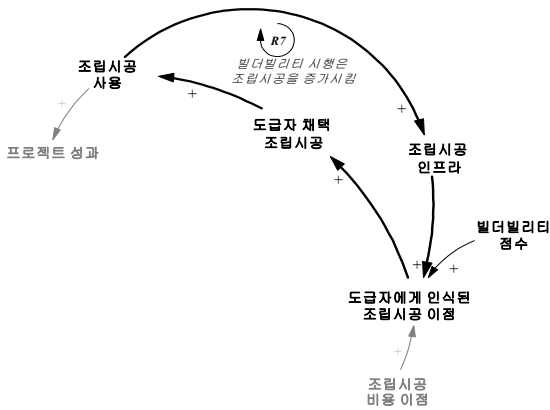


그림 6. 빌더빌리티 정책 분석 (정책 4)

그러나 이러한 정책의 실행에는 위험 요소가 내재되어 있다. 상대적으로 짧은 기간 동안 증가된 조립시공 사용은 도입 초기에 품질 문제를 야기할 수 있다(예를 들어, R6 영향에 의한 증가). 조립시공 공장과 현장에서의 PC(Prefabricated Components) 설치 숙련공과 같은 조립시공을 위한 전반적인 기반시설을 확립하기 위해서는 충분한 시간이 필요하기 때문이다. 그러므로 조립시공은 처음 일정기간 동안 미성숙한 기반시설 아래 사용될 것이며, 이것은 조립시공 시공 품질을 떨어뜨릴 수 있다.

4.5 정책 5 분석

몇 가지 알려진 부작용에도 불구하고(예를 들어, 설계 변경은 발주자에게 종종 추가비용과 기타 어려움을 겪게 한다), 디자인빌드는 잠재적인 이익이 큰 조달방식임이 이미 널리 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 민간부문의 조립시공 확산 경로로서 디자인빌드 정책을 평가하며, 인식된 조립시공 이점 변화에 대한 디자인빌드의 역할에 초점을 둔다.

민간 프로젝트에서의 디자인빌드 계약의 시행이 조립시공 사용을 증가시킬 수 있는지를 평가하기 위해서는 우선 건설 프로젝트의 유형별 분류가 필요하다. 건설 프로젝트는 모델 안에서 소유권에 따라 공공프로젝트와 민간프로젝트로 분류되며, 조달 계약 유형에 따라 디자인빌드 프로젝트와 비디자인빌드 프로젝트로 분류된다. 이러

한 프로젝트 분류에 기초하여, 산업 주체들인 정부, 개발자, 도급자에 의한 조립시공 사용을 모델화하였다. 또한, 프로젝트의 소유권에 관계없이, 모든 유형의 프로젝트들은 도급자에 의해 시공되고 있다는 것과 시공방법 선정(예를 들어, 조립시공)에서의 도급자의 자율권은 조달계약 유형에 의해 결정된다는 것을 고려하였다.

그림 7과 같이, 조립시공의 총 사용량은 정부, 개발자, 도급자들이 채택한 조립시공의 합이다. 먼저, 정부에 의해 채택되는 조립시공의 규모는 공공 프로젝트 규모, 디자인빌드 프로젝트 비율, 정부의 목표 조립시공 비율에 의해 결정된다. 더 많은 공공 프로젝트와 높은 정부 책정 조립시공 비율은 공공프로젝트의 조립시공 사용을 증가시킨다. 개발자에 의해 채택되는 조립시공에도 비슷한 유추를 적용할 수 있다. 조립시공의 채택에 대한 개발자의 의사결정은 방법의 이점에 대한 인식에 기초를 두며, 이것은 비용효과성과 마찬가지로 조달방식에 의해 영향을 받는다. 한편, 개발자의 조립시공 채택이 일단 증가하면, 두 가지 관련된 피드백 루프 효과(설계자의 노하우(R8)와 다양성(R9)의 증가)로 인해 민간부분 조립시공 보급은 더욱 증가할 것이다.

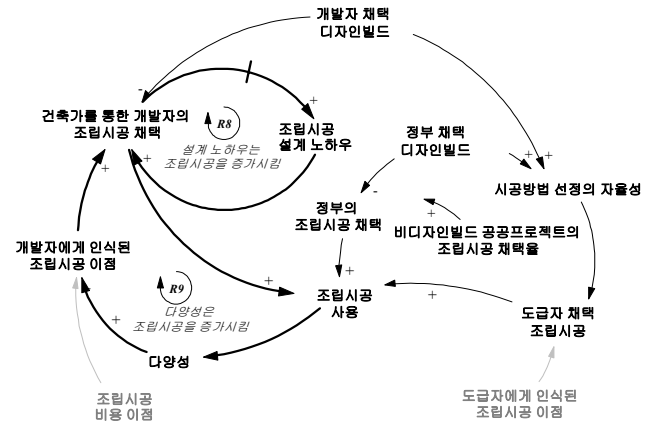


그림 7. 디자인빌드 정책 분석 (정책 5)

더욱이, 도급자에 의해 채택되는 조립시공의 총량은 도급자에게 인식된 조립시공의 이점과 도급자의 시공방법 선정 자율 수준에 따라 결정된다. 어느 누가(정부 또는 개발자) 도급자에게 프로젝트를 수여하는지와는 상관없이, 높은 디자인빌드 비율은 도급자의 자율 수준을 증가시키며, 이것은 차례로 도급자의 조립시공 사용을 증가시키고, 조립시공의 유리한 조건을 제공한다. 반면에, 더 높은 디자인빌드 비율은 정부나 개발자에게는 시공방법 선택에 있어서 낮은 자율권을 의미한다. 이것은 정책 사이의 관계를 의미한다. 다시 말해, 민간부문의 디자인빌드 계약은 도급자의 조립시공 사용으로 증가된다. 단, 도급자의 조립시공에 대한 인식이 프로젝트 발주자(개발자 또는 정부)의 인식보다 더 호의적일 때 그러하다. 따라서 정부는 민간부문의 디자인빌드 계약 장려와 함께, 인식된 조립시공의 이점을 증가시키기 위한 지속적인 노력을 필

요로 한다.

요약하면, 산업시스템이 특별전담조직의 선도정책에 어떻게 반응하는지를 관찰함으로써, 선도정책들을 정성적인 방법으로 분석하였다. 본 연구에서는 분석하는 과정에서 정책 적용에 관한 다이내믹한 가설을 수립하였으며, 이를 통해 정책과 관련된 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 외국 노동력에 대한 높은 의존도는 낮은 입찰경쟁력 으로부터 초래하며, 이것은 경쟁 환경에서 살아남기 위한 불가피한 선택이었다.
- 외국 노동 정책은 외국 노동자 사용의 비용이점을 줄이고, 그들의 가용도를 통제함으로써, 건설 산업 생산성을 증가시키는데 공헌한다.
- 국제도급자를 상대로 한 입찰 경쟁력은 정책 적용 초기동안에는 증가된 단위노동비용 때문에 낮게 될 것이다.
- 조립시공에 대한 홍보 효과는 다른 요인들과 비교했을 때 그다지 크지 않다.
- 외국 노동력에 대한 의존도 감소는 민간부문에서의 조립시공 사용을 증가시킬 것이다.
- 확보해야하는 최소 빌더빌리티 점수의 상향 조정은 민간 부문에서의 조립시공 사용 증가를 상대적으로 짧은 기간 동안에 가능케 할 것이다.
- 빌더빌리티 점수 정책은 처음 도입 시기에는 미성숙한 기반시설 아래 품질문제를 야기할 수 있다.
- 민간부문의 디자인빌드 계약의 활성화는 도급자의 조립시공 사용 증가로 이어 질 수 있다. 단, 도급자의 조립시공에 대한 인식이 프로젝트 발주자의 인식 보다 더 호의적일 때 그러하다.

5. 정량적인 분석

본 장에서는 정책 테스트 시나리오를 정량적 시스템다이내믹스 모델을 활용하여 시뮬레이션을 하며, 시뮬레이션 분석결과를 통해 수립했던 연구 가설들의 타당성을 검증한다. 4장의 정성적 분석에 기초하여 수립된 정책 테스트 시나리오는 표 4와 같다.

표 4. 정책 테스트 시나리오

정책 테스트 시나리오	모델 설정	관련된 특별전담조직의 정책들
1	비숙련 외국인 노동자의 과세를 숙련공 비용이 숙련공 비용의 75% 수준에 도달할 때까지 점진적으로 증가시킴	정책 1, 정책 3
2	외국인 노동자 할당을 현재수준의 50%까지 점진적으로 줄임	정책 2, 정책 3
3	요구 최소 빌더빌리티 점수를 90%까지 점진적으로 올림	정책 3, 정책 4
4	민간부문에서의 디자인빌드 계약방식의 사용을 현재수준의 200%까지 점진적으로 증가시킴	정책 5
5	정책 테스트 시나리오의 조합	정책 1에서 정책 5까지

측정 : 외국인 노동자 비율, 외국 노동자의 비숙련공 비용, 조립시공의 사용율, 산업 생산성

5.1 정량적 시스템다이내믹스 모델

정책 테스트 시나리오를 시뮬레이션 할 수 있는 정량적 시스템다이내믹스 모델은 그림 4의 피드백 루프 B1과 R5, 그림 5의 R6과 관련된 건설 산업의 역동성을 잡아내는데 초점을 맞춘다. 건설 산업 시스템의 파악된 다른 특징들(예를 들어, 국제도급자와 현지도급자의 경쟁, 프로젝트 성과 악화와 하도급에 의해 발생하는 가격 경쟁)은 건설 산업성과에 상대적으로 장기적인 영향을 주며 필요 데이터의 확보가 어렵기 때문에 모델 범위 안에는 포함시키지 않았다.

모델 구조는 그림 8과 같으며, 몇몇 중요한 변수들의 모델링 논리를 표 5에 요약하였다. 외국 노동력 제어 메커니즘상에서 보면, 본 모델은 이전 다이내믹 모델들(Ford and Sterman, 1997; Lyneis 외, 2001)에 개념적인 기반을 두고 있다. 모델 방정식의 전체 목록은 부록에 설명하였다.

표 5. 모델링 논리

변수	모델링 논리	적용된 가정
인식된 외국 노동력 이점의 변화	=f(외국인 비숙련공/외국인 비숙련공 비용/입찰 경쟁력)	노동 효율성과 입찰경쟁력에 의해 결정
외국인 노동자 고용율	=f(Min(인식된 외국 노동력 사용 이점*(1-조립시공 사용)할당 규제에 의한 외국 노동력 통제))	외국인 노동자의 할당 감소와 인식된 외국 노동력 사용 이점에 의해 결정, 전통적 시공방법의 비율은 (1-조립시공 사용)
외국인 비숙련공	=INTEG(외국인 노동자 고용율-기술습득율, 초기 값)	
기술습득율	=외국인 비숙련공/기술습득 평균 기간	
외국인 숙련공	=INTEG(기술습득율-감손율, 초기 값)	
감손율	=외국인 숙련공/(평균 제작기간-평균 기술습득 기간)	
전통적 시공방법의 생산성	=숙련공 생산성*(1-외국인 노동자 비율*외국인 노동자의 비숙련공 비율)+외국인 비숙련공 생산성*외국인 노동자 비율*외국인 노동자의 비숙련공 비율	숙련공=현지 숙련공+외국인 숙련공
전통적 시공방법의 비용	=외국인 비숙련공 비용*외국인 노동자 비율*외국인 노동자의 비숙련공 비율*(1-외국인 노동자 비율*외국인 노동자의 비숙련공 비율)	노동 비용만 고려
조립시공 비용 이점	=전통적 시공방법의 비용/조립시공 비용	
원가 경쟁력	=1/(조립시공 비용*조립시공 사용+(1-조립시공 사용)*전통적 시공방법의 비용)	
입찰 경쟁력	=산업 생산성*원가 경쟁력	
프로젝트 성과	=조립시공 사용*조립시공 생산성+(1-조립시공 사용)*전통적 시공방법의 생산성	외국인 비숙련공은 조립시공에 적용할 수 없음, 오직 생산성에 의해 결정됨
산업 생산성 변화	=(프로젝트 성과-산업 생산성)/평균 프로젝트 기간	시간지연에 따른 민간 프로젝트 성과에 따라 변화.
인식된 조립시공 이점의 변화	=f(조립시공 생산성*조립시공 비용 이점, 인식된 조립시공 이점의 조정요인, 평균 프로젝트 기간)	
도급자 채택 조립시공	=민간부문에서 이점*시공방법 선정 자율성*조립시공 채택에 대한 빌더빌리티 점수 영향	인식된 조립시공의 이점, 프로젝트 총액, 도급자의 시공방법 선정 자율성, 빌더빌리티 점수 규제
개발자 채택 조립시공	=(1-개발자 채택 디자인빌드)*민간부문에 인식된 조립시공 이점	개발자가 인식한 조립시공의 이점은 도급자와 같은 것으로 가정, 따라서 설계 다양성과 같은 다른 요인은 고려하지 않음.

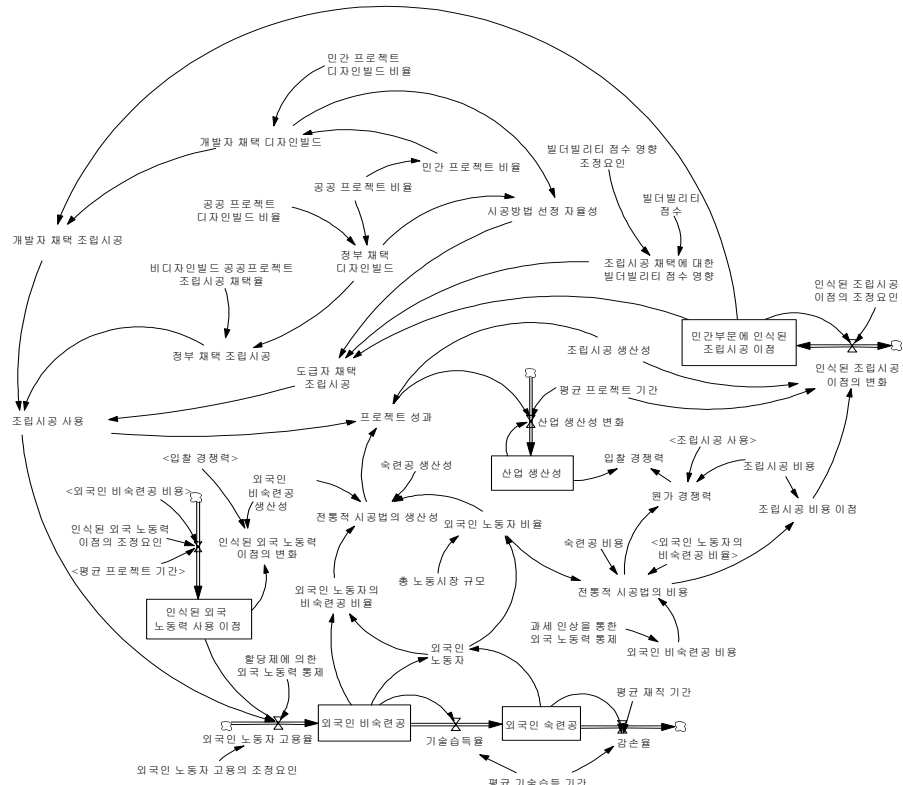


그림 8. 정량적 모델 구조

5.2 건설산업의 성과

본 모델은 표 2와 같은 최근에 적용된 건설정책과 함께, 1998년부터 2001까지의 건설 산업 성과를 재현(reproducing)하기 위하여 수립되었다. 특별전담조직의 여러 제안들에도 불구하고, 실제로 실험기간동안 외국 노동력 비율과 외국인 비숙련공에 대한 과세는 변화가 없었다. 오직, 빌더빌리티 점수 규제만 2001년부터 시행되었다.

표 6에 요약된 모델 매개변수 값은 과거실적데이터와 연구 조사 결과를 통해 얻었다. 분석목적 때문에, 몇몇 산업 성과 인덱스에 대한 가정들을 설정하였다. 예를 들어, 총 노동시장 규모, 공공/민간 프로젝트 비율, 공공/민간 프로젝트의 디자인빌드 비율 등은 일정한 것으로 간주하였다. 또한 모델이 실제 산업 성과 데이터를 조정하는 행동 곡선을 생성할 수 있도록 하기 위해, 몇몇 매개변수들을 모델 구조에 맞춰 조정하였다. 표 6의 매개변수 값과 정책 입력을 통해, 산업성 성과를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 산출물은 그림 9-a, 그림 9-b, 그림 9-c, 그림 9-d에서 볼 수 있듯이 실제 산업 성과와 거의 비슷하게 나타났다.

표 6. 모델 설정

변수	값	단위	참조	데이터 원천
산업 생산성	0.917 (초기)	-	국제 경쟁자의 생산성을 1로 가정	과거의 실적 데이터
총 노동시장 규모	150,000	인	현지 노동자+외국인 노동자, 시뮬레이션 기간 동안 어떤 변화도 없는 것으로 가정	과거의 실적 데이터

표 6. 모델 설정 (계속)

변수	값	단위	참조	데이터 원천
외국인 비숙련공	108,240 (초기)	인		과거의 실적 데이터
외국인 숙련공	14,760 (초기)	인		
공공 프로젝트 비율	55	-	민간 프로젝트 비율=1-공공 프로젝트 비율, 시뮬레이션 기간 동안 어떤 변화도 없는 것으로 가정	
민간 프로젝트 디자인빌드 비율	0.08	-	시뮬레이션 기간 동안 어떤 변화도 없는 것으로 가정	
공공 프로젝트 디자인빌드 비율	0.20	-	시뮬레이션 기간 동안 어떤 변화도 없는 것으로 가정	연구 조사
빌더빌리티 점수	0.4	-	빌더빌리티 점수 규제가 도입된 2001년부터	
할당제에 의한 외국 노동력 통제	0.83	-	5명의 외국인 노동자 당 1명의 현지 노동자	
평균 프로젝트 기간	2	년		
평균 제작 기간	4	년		모델 검증
평균 기술습득 기간	3	년		
조립시공 비용	1.05	-	숙련공을 활용한 전통적 시공법의 비용을 1로 가정	
조립시공 생산성	1.2	-	숙련공을 활용한 전통적 시공법의 생산성을 1로 가정	
외국인 비숙련공 비용	0.4	-	숙련공 비용을 1로 가정	모델 검증
외국인 비숙련공 생산성	0.75	-	숙련공 생산성을 1로 가정	
외국인 노동자 고용의 조정요인	40,000	인/년		
인식된 조립시공 이점의 조정요인	0.0559	-		
빌더빌리티 점수 영향 조정요인	6.401	-		모델 검증
인식된 외국 노동력 이점의 조정요인	0.7387	-		
비디자인빌드 공공프로젝트 조립시공 채택율	0.078	-		

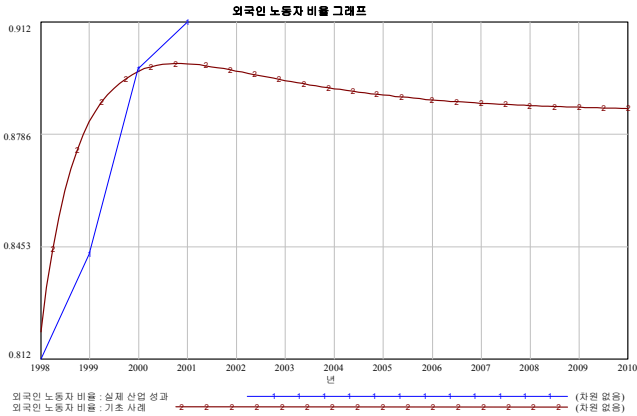


그림 9-a. 외국인 노동자 비율 (시뮬레이션, 실제)

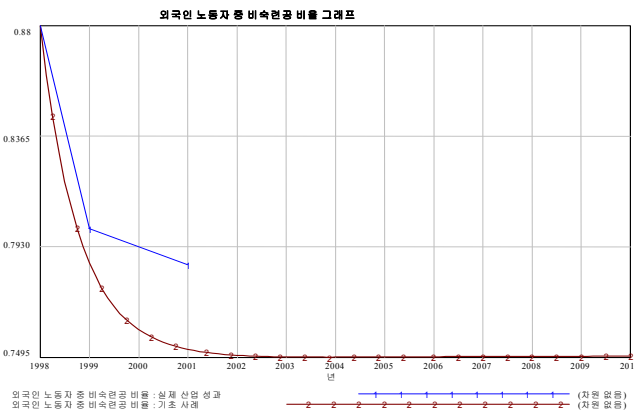


그림 9-b. 외국인 노동자의 비숙련공 비율 (시뮬레이션, 실제)

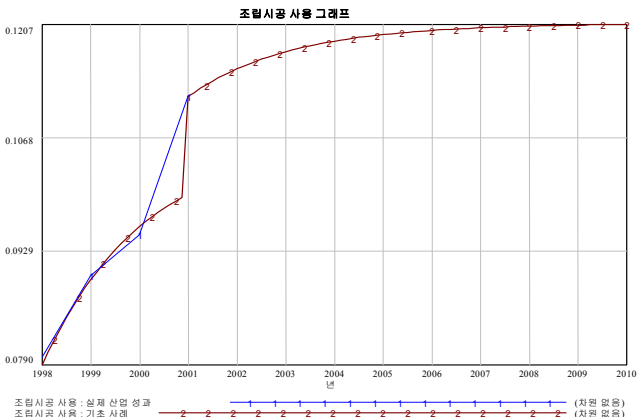


그림 9-c. 조립시공 사용 (시뮬레이션, 실제)

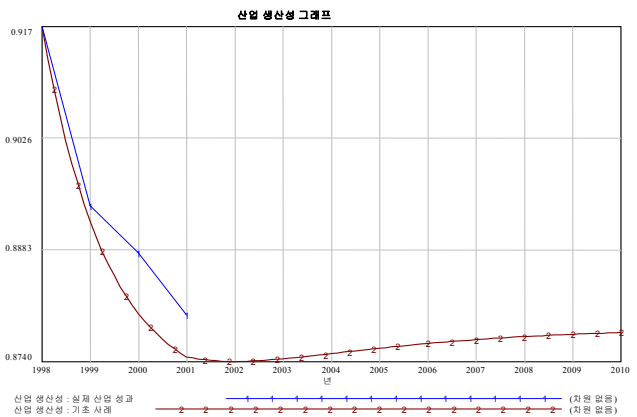


그림 9-d. 산업 생산성 (시뮬레이션, 실제)

모델의 실제 데이터 재현 능력은 모델의 타당성을 의미한다. 그러나 더 중요한 것은 모델 구조가 모델의 작용에 대한 논리적인 설명을 제공할 수 있다는 것이다. 시물레이션 산출물을 분석한 결과, 2001년까지의 외국인 노동자 비율(그림 9-a)의 꾸준한 증가는 그들에 대한 수요의 여세와 남아있는 외국인 노동자들의 상대적으로 긴 재직기간(평균 4년) 때문이었다. 외국인 비숙련공 사용의 이 점은 그들에 대한 지속적인 수요를 만들었다. 그러나 노동 할당 규제의 시행은 2001년의 빌더빌리티 규제의 도입과 함께 외국인 노동자에 대한 의존을 증가를 억제하는 역할을 하고 있다. 게다가, 꾸준하게 회복한 산업 생산성(그림 9-d)과 입찰 경쟁력 역시 그림 3의 피드백 루프 B1처럼 증가율을 줄였다. 그 결과, 외국인 노동자들의 비율은 2001년도에 최고치를 기록했다가 안정되었다.

노동자들이 경험을 축적하기 때문에, 감손율보다는 외국인 노동력고용비율이 더 높을 때, 비숙련 외국인 노동자들의 비율이 낮게 된다(그림 9-b). 그런 가운데, 정부의 목표 수준에 도달하지 않음에도 불구하고, 2001년부터 시행된 빌더빌리티 점수 규제로 인해 시물레이션 기간 동안의 조립시공 사용(그림 9-c)은 증가하였다. 낮아진 비숙련 외국인 노동력 비율과 더불어 증가한 조립시공의 사용은 2001년도에 최저치를 보였던 산업 생산성(그림 9-d)을 경미하게 증가시켰다. 지금까지 논의한 시물레이션 산출물에 대한 모델 설정(setting)은 다음 장의 다른 시물레이션 시나리오와 비교하는 기초사례가 될 것이다.

5.3 정책 효과성 분석

정부 정책의 효과성을 평가하기 위하여, 정책 테스트 시나리오를 시물레이션 하였고 이를 기초사례와 비교하였다. 시물레이션 결과들은 파악된 피드백 루프와 함께 제시된 가정들을 유효하게 한다. 또한 각각의 선도정책의 효과성과 시너지 효과를 정량적인 방법으로 보여준다.

표 7. 정책 테스트 시나리오의 시물레이션 결과

정책 테스트 시나리오	시물레이션된 산업 성과(% , 2010년)			
	외국 노동자 비율	외국 노동자 중 비숙련공 비율	조립시공의 사용	산업 생산성
기초 사례	88.62	74.99	12.07	87.77
1 비숙련공에 대한 과세 증가	78.62	74.43	13.77	89.24
2 외국인 노동자에 대한 할당 감소	60.31	73.59	12.87	91.38
3 확보해야하는 최소 빌더빌리티 점수의 증가	88.62	74.99	13.84	88.27
4 민간부문의 디자인빌드 증가	88.62	74.99	12.28	87.83
5 1부터 4까지의 조합	60.31	73.59	17.43	92.48

표 7에서 볼 수 있듯이, 테스트된 모든 정책들은 건설 산업시스템에 비슷한 영향을 주며, 건설 산업 생산성 향상에 기여한다는 것이 입증되었다. 외국 노동력 통제 정책의 시행은 외국인 노동력에 대한 의존도를 줄이고 조

립시공 사용을 증가시킴으로써 건설 산업 생산성을 강화시킨다(그림 3의 피드백 루프 B1, 그림 5의 피드백 루프 R6). 특히, 외국 노동력 할당을 감소시키는 것은 과세 통제 정책보다 효과적임을 알 수 있었다. 이는 과세통제의 경우에는 외국 노동력 사용의 비용 이점과 도급자의 인식을 위해 상대적으로 장기간이 필요하기 때문이다.

한편, 빌더빌리티 점수를 올리는 것(정책 테스트 시나리오 3)은 좀더 직접적인 영향 경로를 통해 조립시공의 사용에 더 큰 영향력을 가진다는 것이 입증되었다. 그 결과로, 산업 생산성이 가장 현저하게 향상되었다. 그리고, 산업 성과에 대한 민간부문 디자인빌드 증가의(정책 테스트 시나리오 4) 영향력은 가장 적었다. 그림 7에서 논의된 것과 같이, 조립시공에 대한 도급자의 인식이 개발자의 인식보다 더 우호적일 경우에 한하여, 이러한 정책은 효과적일 수 있다.

또한, 그림 10에서 볼 수 있듯이, 시뮬레이션 결과는 포괄적인 방법으로 모든 정책들을 적용하는 것은 현저한 생산성 향상을 가능하게 하며, 개별 정책들에 시너지 효과를 준다는 것을 알 수 있다(정책 테스트 시나리오 5).

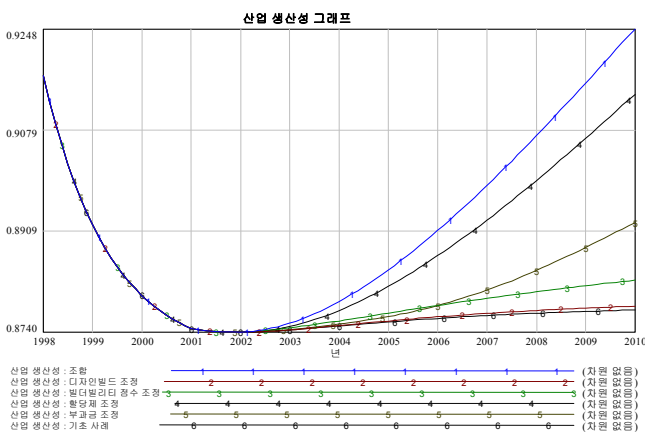


그림 10. 정책 테스트 시나리오와 산업 생산성 시뮬레이션

6. 논의점 및 제안들

지금까지 정성적, 정량적 방법으로 특별전담조직의 선도정책을 평가하였고, 이번 장에서는 산업 생산성을 향상시키기 위한 제안들과 함께 포괄적인 방법으로 정책 테스트 결과를 논의하고자 한다.

1) 민간부문의 요구와 반응을 고려

예로, 앞에서 논의 하였듯이 조립시공 정책의 수용과 이에 대한 견해는 산업 참여주체에 따라 다양하고 복잡하다. 따라서 공공정책에 대한 민간부문의 반응을 예측하기 위해서는 사전에 정책결정 프로세스로 통합하는 것이 필요하다. 조립시공 문제와 관련하여, 싱가포르 정부는 단순한 기술 향상 프로그램 및 홍보대신에 민간부문의 조립시공 도입을 망설이게 하는 더 실제적인 이유를 찾을 필요가 있다.

2) 통제만으로는 불충분

민간부문에서 참여주체들의 적극적인 참여를 끌어내기 위해서는 규제와 통제만으로는 불충분하다. 특히, 그들이 재정적 어려움을 겪고 있을 경우에는 더욱 그러하다. 만약 싱가포르 정부가 외국 노동력 통제 정책과 연계하여, 계속적으로 외국인 노동력의 가용도를 규제하고, 외국인 노동력에 대한 수요를 적절히 조절하면, 제시된 것과 같이 산업 생산성은 증가할 것이다. 그러나 정책 도입 기간 동안에는, 열악한 노동 구조에 의해 유지되고 있는 건설산업은 가격경쟁력을 잃을지도 모른다. 하지만, 정부는 노동 통제 정책 수행에 있어서 일관성을 보여야 한다. 대신, 변화된 노동 구조에서 유래하는 민간부문의 재정적 곤란을 보상하는 정부의 지원은 목표 산업 생산성과 장기적인 비용 경쟁력 달성의 핵심요소이다.

유사하게, 혁신적으로 확보해야하는 최소 빌더빌리티 점수를 올리는 것은 외국 노동력 통제정책보다 더 적은 시간지연을 통해 조립시공의 사용과 산업 생산성을 증가시킬 수 있다. 그러나 상대적으로 짧은 기간 동안의 조립시공 사용 증가는 초기 품질문제를 겪게 할 수 있다. 따라서 정부는 민간 부문의 재정지원과 함께 조립시공 제조에 필요한 기반시설을 설치하도록 지속적으로 장려해야 한다.

3) 정책의 상관성의 이해

공공 정책의 성공은 정책 도입 과정에서의 통합된 전망을 필요로 한다. 정책 테스트 부분에서 살펴본 것과 같이, 공공 정책들은 정책적용과정에서 상호 밀접하게 관계되어 있다. 예를 들어, 외국인 노동자 가용 규제와 이들의 수요를 완화는 것은 외국 노동력에 대한 의존도를 줄여 산업 생산성 증가시키며, 동시에 민간 부문에서의 조립시공 사용을 증가시키는데 기여한다. 조립시공 정책은 빌더빌리티 규제 도입을 통해 이익을 얻을 수 있다. 게다가, 디자인빌드 정책의 성공은 인식된 조립시공의 이점과 밀접하게 관련되어 있다. 결과적으로, 효과적인 정책결정을 위해서는 공공 정책들이 적용과정에서 서로 어떻게 상호작용 하는지에 대한 충분한 이해를 바탕으로, 철저하게 전략을 준비하며, 정책들끼리 상승효과를 낼 수 있도록 해야 한다.

7. 결 론

정부정책 적용과정에서의 정책결정자들의 고립되고 근시안적인 시각은 종종 공공 정책들을 효과적이지 못하게 한다. 기존의 정책수립과정은 산업 참여주체들의 다양한 요구와 정책에 따른 반응에 대한 고려가 결여되어 있다. 이 문제점을 해결하기 위한 노력의 일환으로, 본 연구에서는 공공 정책결정의 모델 중심적 접근법을 제안하였으며, 싱가포르 정부의 건설 생산성 강화 정책들을 예로 살펴 보았다. 시스템다이내믹스 모델을 사용하여, 정책들의 효

과성을 정량적인 방법과 정성적인 방법으로 평가하였다. 모델구조와 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 정책 영향들을 통해, 싱가포르 건설 산업의 생산성 향상을 돕는 선도정책에 대해 논의하였다.

본 연구는 제안한 시스템다이내믹스 모델링을 통한 건설정책의 시스템적 평가방법은 복잡하고 불확실성을 가지는 건설산업 시스템에서 수립되는 건설정책을 정성적이고 정량적인 방법으로 분석 가능하게 함으로써 효과적인 해결책 제시를 가능하게 한다. 이러한 분석방법론의 활용은 건설정책수립 및 정책평가 과정에서 각 정책의 영향력 및 효과성 향상에 기여할 것이다. 제시한 방법론은, 최근 우리나라 정부가 처한 건설자재파동 완화라든지, 주택시장 안정화 등 복잡성과 불확실성이 매우 커서 일반적인 방법으로는 그 원인분석이 힘든 일련의 정책들에 대한 체계적인 분석방법으로 응용될 수 있다. 본 연구에서는 같이 시스템적인 방법을 적용하여 정책을 세분화하고 각 정책간의 상호관계를 규명하며, 관계정도를 정성적, 정량적인 방법으로 분석하는 연구가 추가적으로 필요하다.

본 연구의 모델링 접근법은 미래의 산업 인덱스를 예측하는 것보다는 반직관적이고 중요한 정책 영향들을 찾는 데 초점을 두고 있다. 따라서 연구과정에서 나타난 것처럼, 정량화한 모델 시뮬레이션뿐만 아니라 정성적 모델 구조로부터도 많은 정책 시사점을 도출하였다. 본 연구 결과는 더 많은 사례연구를 통해 검증될 필요가 있다. 하지만, 본 연구에서 토의된 시스템다이내믹스 모델링 방법은 건설정책 적용과정에 대한 통합된 시야를 제공하며, 대안 정책들의 효과성을 시스템적으로 평가할 수 있음을 보여준다.

참고문헌

1. Abdel-Hamid, T. (1984), "The Dynamics of Software Development Project Management," Doctoral Thesis, Sloan School of Management, MIT, Cambridge, MA.
2. Ahuja, H. and Nandakumar, V. (1985), "Simulation Model to Forecast Project Completion Time", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Reston, VA, Vol. 111(4), pp. 325-342.
3. Building and Construction Authority (BCA), "Construction Economic Report", 1994-2002, Government of Singapore, Singapore.
4. Construction Manpower Committee (CMC), "Construction 21," Ministry of Manpower and Ministry of National Development, 1999, Government of Singapore, Singapore.
5. Coyle, G. (2000), "Qualitative and Quantitative Modeling in System Dynamics: Some Research Questions", System Dynamics Review, John Wiley & Sons, Vol.16 (3), pp. 225-244.
6. Cyert, R. and March, J. (1963), "A Behavioral Theory of

the Firm", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

7. Economic Survey of Singapore (2003), available at http://www.mti.gov.sg/public/PDF/CMT/EDA_2003Q1_SA.pdf?sid=44&cid=1598, Aug., 2003.
8. Eisenhardt, K. and Zbaracki, M. (1992), "Strategic Decision Making", Strategic Management Journal, Vol. 13, pp 17-37.
9. Ford, D and Sterman, J. (1997), "Dynamic Modeling of Product Development Processes", Working Paper 3943-97, MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA.
10. Forrester, J. (1961), "Industrial Dynamics", Pegasus Communication, Waltham, MA.
11. Gordon, C. (1994), "Choosing appropriate construction contracting method", Journal of Construction Engineering & Management, ASCE, Reston, VA, Vol. 120 (1), 1994
12. Gray, C. (1990), "Buildability", The Construction Contribution Occasional Paper, No. 29, The Chartered Institute of Building, Englemere, Kings Ride, Ascot, UK.
13. Ho, S. (2000), "Impact of Legislation of Buildable Designs and Foreign Labor Policies on Construction Productivity", MS Thesis, Department of Building, National University of Singapore, Singapore.
14. Kim, D. (1997), "A System Dynamics Model for a Mixed-Strategy Game between Police and Driver", System Dynamics Review, Wiley, Hoboken, NJ, Vol.13 (1), pp. 33-52.
15. Kwak, S. (1995), "Policy Analysis of Hanford Tank Farm Operations with System Dynamics Approach", Doctoral Thesis, Department of Nuclear Engineering, MIT, Cambridge, MA, pp. 34-36.
16. Lim, K. (1993), "Prefabrication: Viability and Future Trends in Singapore", MS Thesis, Department of Building, National University of Singapore, Singapore.
17. Lyneis, J., Cooper, K., and Els, S. (2001), "Strategic Management of Complex Projects: a Case Study Using System Dynamics", System Dynamics Review, John Wiley & Sons, Vol. 17 (3).
18. Ritchie-Dunham, J. and Galvan, J. (1999), "Evaluating Epidemic Intervention Policies with Systems Thinking: a Case Study of Dengue Fever in Mexico", System Dynamics Review, John Wiley & Sons, Vol.15 (2), pp. 119-135.
19. Royston, G. (1998), "Shifting the Balance of Health Care into the 21st Century", European Journal of Operational Research, Vol. 105, pp 267-276.
20. SPRING, (2003), "Statistics on Productivity," Government of Singapore, available at <http://www.spring.gov.sg/portal/stats/productivity/productivity.html>, Aug., 2003.
21. Sterman, J. (1992), "System Dynamics Modeling for Project Management", Sloan School of Management, MIT, available at <http://web.mit.edu/jsterman/www/>, Aug., 2003.

22. Sterman, J. (2000), "Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World", McGraw-Hill Companies, New York, NY, pp. 191-232.

23. Tan, S. (2000), "Architects: The Key to Incorporating 조립 시공 into the Construction Process", MS Thesis, Department of Building, National University of Singapore, Singapore.

24. Tan, W. (1982), "Prefabrication in Housing: a Study of Fully Industrialized Building Systems for Housing and the Singapore Housing and Development Board's Attempt in this Field", MS Thesis, School of Architecture, University of Singapore, Singapore.

25. Tsebelis, G. (1989), "The Abuse of Probability in Political Analysis: The Robinson Crusoe Fallacy", American Political Science Review, Vol. 83(1), pp 77-91.

26. Turek, M. (1995), "System Dynamics Analysis of Financial Factors in Nuclear Power Plant Operations", MS Thesis, Department of Nuclear Engineering, MIT, Cambridge, MA.

부록 : 모델 방정식 목록

1. 민간부분에 인식된 조립시공 이점=INTEG(인식된 이점의 변화, 0.01) : 차원 없음

2. 감손율=외국인 숙련공/(평균 재직 기간-평균 기술습득 기간) : 인/년

3. 시공방법 선정 자율성=(개발자 채택 디자인빌드+정부 채택 디자인빌드) : 차원 없음

4. 평균 프로젝트 기간=2 : 년

5. 평균 재직 기간=4 : 년

6. 평균 기술습득 기간=3 : 년

7. 입찰 경쟁력=산업 생산성*원가 경쟁력 : 차원 없음

8. 빌더빌리티 점수=STEP (0.4, 2001) : 차원 없음

9. 산업 생산성 변화=(프로젝트 성과-산업 생산성)/평균 프로젝트 기간 : 차원 없음/년

10. 인식된 조립시공 이점의 변화=(조립시공 생산성*조립시공 비용 이점-인식된 조립시공 이점의 조정요인)/평균 프로젝트 기간 : 차원 없음/년

11. 인식된 외국 노동력 이점의 변화=(외국인 비숙련공 생산성/외국인 비숙련공 비용/입찰 경쟁력*인식된 외국 노동력 이점의 조정요인-인식된 외국 노동력 사용 이점)/평균 프로젝트 기간 : 차원 없음/년

12. 조립시공 비용 이점=전통적 시공법의 비용/조립시공 비용 : 차원 없음

13. 원가 경쟁력=1/(조립시공 비용*조립시공 사용+(1-조립시공 사용)*전통적 시공법의 비용) : 차원 없음

14. 조립시공 비용=1.05 : 차원 없음

15. 전통적 시공법의 비용=외국인 비숙련공 비용*외국인 노동자 비율*외국인 노동자의 비숙련공 비율+숙련공 비용*(1-외국인 노동자 비율*외국인 노동자의 비숙련공 비율) : 차원 없음

16. 개발자가 채택한 비자인빌드=민간 프로젝트 비율*민간 프로젝트 디자인빌드 비율 : 차원 없음

17. 정부 채택 디자인빌드=공공 프로젝트 비율*공공 프로젝트 디자인빌드 비율 : 차원 없음

18. 외국인 노동자 고용율=MIN(인식된 외국 노동력 사용 이점*(1-조립시공 사용),할당제에 의한 외국 노동력 통제)*외국인 노동자 고용의 조정요인 : 인/년

19. 외국인 비숙련공=INTEG(외국 노동자 고용율=기술습득 비율,108240) : 인

20. 외국인 비숙련공 비용=0.4+과세 인상을 통한 외국 노동력 통제 : 차원 없음

21. 할당제에 의한 외국 노동력 통제=0.83 : 차원 없음

22. 외국인 숙련공=INTEG(기술습득율-감손율,14760) : 인

23. 외국 노동자=외국인 숙련공+외국인 비숙련공 : 인

24. 기술습득율=외국인 비숙련공/평균 기술습득 기간 : 인/년

25. 조립시공 채택에 대한 빌더빌리티 점수 영향=(빌더빌리티 점수)*빌더빌리티 점수 영향 조정요인 : 차원 없음

26. 산업 생산성=INTEG(산업 생산성 변화, 0.917) : 차원 없음

27. 인식된 외국 노동력 사용 이점=INTEG(인식된 외국 노동력 이점의 변화, 0.8353) : 차원 없음

28. 프로젝트 성과=조립시공 사용*조립시공 생산성+(1-조립시공 사용)*전통적 시공법의 생산성 : 차원 없음

29. 조립시공 생산성=1.2 : 차원 없음

30. 전통적 시공법의 생산성=숙련공 생산성*(1-외국인 노동자 비율*외국인 노동자의 비숙련공 비율)+외국인 비숙련공 생산성*외국인 노동자 비율*외국인 노동자의 비숙련공 비율 : 차원 없음

31. 정부 채택 조립시공=(1-정부 채택 디자인빌드)*비디자인빌드 프로젝트 조립시공 채택율 : 차원 없음

32. 도급자 채택 조립시공=민간부분에 인식된 조립시공 이점*시공방법 선정 자율성*조립시공 채택에 대한 빌더빌리티 점수 영향 : 차원 없음

33. 개발자 채택 조립시공=(1-개발자 채택 디자인빌드)*민간부분에 인식된 조립시공 이점 : 차원 없음

34. 외국인 비숙련공 생산성=0.75 : 차원 없음

35. 숙련공 생산성=1 : 차원 없음

36. 민간 프로젝트 디자인빌드 비율=0.08 : 차원 없음

37. 공공 프로젝트 디자인빌드 비율=0.2 : 차원 없음

38. 민간 프로젝트 비율=1-공공 프로젝트 비율 : 차원 없음

39. 공공 프로젝트 비율=0.55 : 차원 없음

40. 외국인 노동자 비율=외국인 노동자/총 노동시장 규모 : 차원 없음

41. 비디자인빌드 공공프로젝트 조립시공 채택율=0.078 : 차원 없음

42. 외국인 노동자의 비숙련공 비율=외국인 비숙련공/외국인 노동자 : 차원 없음

43. 숙련공 비용=1 : 차원 없음

44. 총 노동시장 규모=150000 : 인

45. 외국인 노동자 고용의 조정요인=40000 : 인/년

46. 빌더빌리티 점수 영향 조정요인=6.401 : 차원 없음

47. 인식된 외국 노동력 이점의 조정요인=0.7387 : 차원 없음

48. 인식된 조립시공 이점의 조정요인=0.0559 : 차원 없음

49. 조립시공 사용=도급자 채택 조립시공+개발자 채택 조립시공+정부 채택 조립시공 : 차원 없음

50. 과세 인상을 통한 외국 노동력 통제=IF THEN ELSE (Time>=2002, (Time-2001)*0.1+1, 1)

(接受: 2004. 11. 3)