

중저준위 방사성폐기물처분장 건설 프로그램의 효과 분석

오영민(서울대학교)
정창훈(경인여자대학)

I. 서론

경주시는 우리나라가 지난 20년간 해결하지 못한 방사성폐기물처분장 입지 문제를 경제적 인센티브와 투표를 통해 해결한 매우 상징적인 도시이다. 국가적 난제의 해결의 반대급부는 처분장 입지 뿐만 아니라, 한수원 본사와 양성자 가속기 시설의 입지 그리고 3,000억원에 달하는 특별지원금과 55개 사업, 3조 2,595억원에 이르는 유치지역지원 프로그램이 동시에 시행된다. 이러한 대규모의 경제적, 사회적 인센티브의 투입은 경주를 급속히 변화시킬 뿐만 아니라, 국가적 과제의 해결방법과 접근전략에 있어서 시금석이 될 매우 중요한 정책적, 사회적 의미를 지니고 있다.

한편, 처분장의 입지 문제는 국가적, 지역간 문제였으나 처분장이 경주시로 입지한 후의 문제 양상은 경주시민 간의 이해관계에 따른 갈등으로 진행되었다. 이러한 경주내 주민간의 갈등을 해결하기 위해서는 처분장의 입지에 따른 균등한 지역발전이 수반되어야 가능할 것이라고 판단된다. 이를 위해서는 국가적 차원의 지원과 지방 정부의 현명한 정책 선택이 필요하고, 정책 프로그램의 효과를 예측해보는 것이 동반되어야 한다. 중앙정부와 경주시가 바람직한 정책 프로그램을 효과적으로 추진하면 낙후된 지역에서 변모된 지역적 도약을 이끌어낼 것이고, 지역 주민 모두를 만족시키는 결과를 도출해 낼 수 있을 것이다. 그 결과 원자력 정책과 처분장 운영에 대한 지지를 지속적으로 확보할 수 있을 것이다.

그러므로 현재 정부가 추진하는 정책 프로그램을 지역사회 발전과 연계해서 분석해보는 것은 매우 중요하고 시의적절하다고 판단된다. 이를 위해서 경주시에 처분장 등의 시설과 3조 2천억원에 달하는 유치지원 프로그램의 효과가 어떻게 발생하는지를 장기적인 관점에서 분석한다.

본 연구에서 시행하는 분석방법은 시스템 다이내믹스(System Dynamics, 이하 SD) 기법으로서 도시동태모형(Urban System Dynamics)을 기반으로 하여, 경주시의 인구와 지역경제, 산업, 도시인프라(SOC), 행정, 환경 등의 변화를 분석, 예측하는데 활용할 수 있는 과학적 예측 방법이다. 본 기법을 통해 현재 추진되고 있는 처분장과 한수원 그리고 양성자 가속기 등의 처분장 시설과 유치지원 프로그램의 효과를 동태적으로 예측함으로써 장기적인 관점에서 바람직한 지역발전의 모습을 규명하는데 기여할 수 있을 것이다.

II. 선행연구 검토 및 처분장 건설 프로그램

1. 선행 연구의 검토 및 정리

시스템 다이내믹스의 창시자인 J. Forrester(1969)는 Urban Dynamics에서 도시 시스템의 상호관련성과 동태성을 분석하고자 시스템 이론을 적용하여 도시동태 모델(urban dynamics model)의 원형(archetype)을 만들었다. 그는 도시를 인구, 고용, 주택, 토지이용, 산업 등의 다양한 부분으로 구성된 하나의 체계로 규정하고, 도시의 외형적 형상은 이들 구성부분간의 상호 작용에 의해 나타나는 결과로서 인식하였다. 그는 UD 모델을 적용하여 다수의 도시 관리 프로그램들이 도시 기능의 개선이라는 본래의 의도와는 달리 오히려 도시의 사회·경제적인 조건들을 악화시켰다고 분석하였다. 즉, 도시정책에 대한 직관적이고 단편적인 예측이 도시 시스템의 문제를 악화시키는 주요인이라는 것이다. 그의 연구는 후세대 연구의 바탕이 되어 도시의 성장과 발전 그리고 쇠퇴를 연구하는 학자들의 귀중한 연구 자료로서 활용되었다.

Mass 등(1974)은 Forrester가 UD 모델에서 제시하고 있는 관점과 철학을 받아들이면서 Forrester의 모델은 도시시스템의 동태성을 이해하는 첫걸음이므로 많은 이론적 개선과 실증적인 적용이 필요함을 역설하였다. 그 결과, 개념적 이슈들(conceptual issues)에 대한 비평과 함께 논쟁이 되고 있는 도시 시스템의 하위 체제들에 대해서 분석함으로써 도시 시스템 모델링의 새로운 방식을 찾으려고 노력하였다. 또한 도시 동태모델을 Massachusetts 주의 Lowell 시를 대상으로 실증적으로 적용하여 UD 모델의 우수성을 증명하였다.

Gerrit(2001)은 도시성장 관리방안을 마련하기 위해서 기반시설의 효율적인 활용에 초점을 둔 동태적인 도시성장모델을 제시하였다. 그는 학교, 교통망, 공공재활 시스템, 폐기물처리공장과 같은 사회기반시설의 활용을 극대화함으로써 도시성장을 기할 수 있으며, 도시 기반시설에 대한 투자가 지속적으로 확장될 때 도시성장이 가능하다는 주장을 하였다.

이만형·최남희(2004)는 대안적 도시 동태모델을 통해서 도시정책이 도시시스템에 미치는 영향을 인과순환적 피드백 구조를 통해 분석하였다. 실증적으로 서울시를 연구 대상으로 하여 그린벨트의 대폭적인 해제·조정 정책 및 개발행위 제한의 완화가 장기적으로 서울시 인구를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라, 교통체증도 유발될 수 있음을 보여주고 있다. 결국 서울시의 도시 시스템 상태가 균형수준이 아니며, 그린벨트 해제 정책은 도시의 발전보다 문제를 야기할 수 있다고 지적하고 있다.

전유신(2003)은 지속가능한 개발(sustainable development)을 위하여 필요한 도시의 적정 개발밀도 산정하는데 있어서 UD 모델을 활용하였다. 그는 도시 동태 모델을 이용하여 실증적으로 특정 도시(안양)의 공간구조를 유형별로 구분하고 도시성장과정을 모니터링 함으로써 개발밀도를 조절함과 아울러 도시 내 지역별 여건과 특성에 따라 차별적으로 관리되어야

함을 정책적 의미로 지적하고 있다.

오세웅·여기태·이철형(2001)은 항만과 항만 배후 도시의 경제적 상호관계를 SD 모델을 통해 실증적으로 분석하였다. 장기적으로 항만을 움직이고 있는 원동력으로서 화물량의 증가는 항만관련사업의 발전을 시킴으로써 배후지역인 부산의 성장에 중요한 기여를 하고 있음을 역설하였다.

김미경(2004)은 공항과 공항 배후 도시를 하나의 시스템으로 보아 공항의 지속가능성(sustainability) 평가모형을 SD 기법을 사용하여 개발하였다. 분석 결과, 연구의 대상이 된 인천국제공항과 그 배후지역인 인천광역시는 공항의 활동으로 인해 경제적으로는 지속성이 있지만 사회, 환경적으로는 지속가능하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 사회적, 환경적 차원에서도 지속가능하도록 공항개발이 이루어져야 한다고 주장한다

최연홍·정창훈·오영민(2006)는 처분장이 입지하는 경주시를 대상으로 UD 모델을 적용하여 분석하였다. 이 연구에서는 처분장 시설이 입지하는 것만을 포함하고 3조 2천억원에 달하는 유치지원 프로그램을 고려하지 않았다. 연구 결과, 2004년부터 향후 20년간의 지역사회는 긍정적인 방향으로 변화하는 것으로 예측되었다. 즉, 인구는 289,069(시설 입지)명과 279,131(시설 미입지) 명으로 9,938명의 증가를 가져왔으며, 산업체수에 있어서는 농업은 거의 변화가 없는 반면에 제조업은 511개, 서비스업은 1944개 업체가 증가하였다. 산업인력은 제조업이 6,232명이 증가하였고 서비스업도 역시 6,781명 증가하였다. 인구 증가에 따라 주택은 3,550채가 필요하다고 나타났으며 토지의 경우 토지이용률이 높아졌고 개발면적도 확대된 것으로 나타나서 처분장 시설의 입지는 경주시를 처분장이 입지하지 않았을 때보다 발전될 것으로 예측하였다. 그러나 처분장 시설 등의 입지만을 고려하여 유치지원 프로그램이 빠져있었기 때문에 연구결과는 완전하지 않았다.

본 연구는 최연홍·정창훈·오영민(2005)의 연구에서 포함되지 않았던 지역발전 프로그램을 적용하여 지역변화를 야기하는 요인들을 모두 포함하는 종합적인 연구라는 점에서 의의가 있다.

2. 방사성폐기물처분장 지원사업

방사성폐기물처분장 지역발전 지원 계획의 주요 내용은 크게 ①3,000억원 이상의 지역 지원금 지급 및 사용용도의 지자체 결정, ②유치 지역에 한국 수력 원자력 본사의 이전 ③처분장 관리시설 사업과 양성자가속기 사업의 연계추진, 그리고 ④각 부처별 지역지원사업 발굴 및 지역숙원사업 적극 해결 등이다.

[중저준위 방사성폐기물처분장 건설 프로그램의 효과 분석]

[표 1] 지역 지원사업

구분	사업내용	투자 규모
①지자체 지원금	- 3,000억원의 지역개발지원사업(지자체장이 사용용도 결정) - 연간 평균 약 85억원의 수거물 반입수수료를 시설운영기간 중 지원	3,000억원 이상
② 유치지역지원 프로그램	- 문화복원사업(11개 7,517억원), 4년-30년 시행 - 관광기반시설사업(12개, 3,435억원), 2년-5년 시행 - 산업단지 등(5개, 4,483억원), 2년-5년 시행 - 도로건설사업(5개, 1조 2,944억원), 3년-15년 시행 - 농어업지원사업(7개, 811억원), 2년-12년 시행 - 상하수도사업(8개, 2,316억원), 2년-4년 시행 - 복지시설사업(8개, 1,089억원), 1년-2년 시행	총 3조 2,595억원
②법정부적 지원체계	- 지자체장과 협의하여 지원계획 수립·시행 - 국·공유재산의 대부 등 조건완화, 국고보조금의 인상, 지역의무 공동 입찰제 인정, 지역주민의 우선 고용 등 근거마련 - 특별지원금 및 수수료 귀속금액을 재원으로 조성 - 지자체장이 관리·운영하며 필요사항은 조례로 규정(지원사업의 투명성· 독립성·자율성 확보)	

[표 2] 처분장 등 건설사업

구분	사업내용	투자 규모
①원전수거물 관리시설 사업	-준공목표: 2008년말 (1단계) -처분방식: 부지여건에 따라 천 층처분 또는 동굴처분 방식 선택 -시설규모: 1단계는 10만드림 규 모로 건설하며, 단계적 증설(총 80만 드림규모)	-중·저준위원전수거물 처분시설(구조물): 약 56,000평(천층처 분시) -부대시설(건축물): 약 13,700평 -건설공사비: 약 9,600억원(동굴처분 기준, 80만 드림 규모) ● 1단계(10만드림): 약 4,700억원 중·저준위원전수거물 처분시설 및 관련공용시설: 약 4,000억원 부대시설: 약 700억원 ● 2단계(70만드림): 약 4,900억원 중·저준위원전수거물 처분시설: 약 4,900억원
②양성자 가속기 사업	-양성자가속기 시설 및 연구개발 -사업기간: 2012년	-1,600억원(정부·지자체·민간 총투자)
③한수원(주) 본사이전	-본사 신규사옥 건설 -이전시기: 지자체와 별도협의	-본사 이전 인원: 약 900명 -사업규모: 1200억원 -사옥규모: 연면적 약 9,000평(대지 20,000평)/약 330억원 -사택 및 부속 설비: 연면적: 약 21,000평(대지 110,000평)/소 요예산: 약 870억원 -지방재정수입: 연 42억원 · 주민세(법인세할): 약 35억원 · 주민세(소득세할): 약 5억원 · 사업소세(중업원할): 약 2억원 -고용창출: · 건설기간 및 운영 중 지역주민 우선고용 · 건설시공 계약시 지역건설업체 활용 및 현지주민 고용 · 한수원(주)직원 채용시 주변지역 주민의 가산점 부여로 채 용 기회 확대

특히, 중·저준위 방사성 폐기물 처분장설치 정부특별지원금 3,000억원은 2006년 상반기

중 도지사가 참여하는 유치지역지원위원회(위원장: 국무총리) 및 지역대표가 참여하는 유치지역지원실무위원회(위원장: 산자부 차관)구성과 특별지원금 운영방법 등을 경주시 조례로 제정하여 지원횟수, 지원시기 등을 정하여 산업자원부에 특별지원금 신청을 하게 된다.

그리고 특별지원금 신청을 받은 산업자원부장관은 경주시와 특별지원금 지급에 관한 제반 절차를 완료한 후 사업자인 한국수력원자력(주)에 특별지원금 지급 명령을 하게 되며, 한국수력원자력(주)은 지급명령을 받은 날로부터 30일 이내에 특별지원금을 지급하게 된다.

본 연구에서는 처분장 시설 등의 건설과 지역발전 프로그램의 도입으로 야기되는 효과를 중심으로 분석을 실시한다. 크게 보면, 위의 두 프로그램이 직접적으로 지역사회에 미치는 영향은 ①시설의 건설효과, ②소득효과, ③고용효과가 될 것이다. 2차적으로 파생되는 간접적인 효과는 인구의 유출입, 산업의 활성화, SOC 총량의 증감, 주택 수의 증감, 토지 이용의 증감, 지방정부 재정의 증감 등이 될 것이다. 이러한 효과를 추정하는 과정은 다음 인과지도 작성과 유량-저량 그래프의 작성 과정에서 구체화 될 것이다.

Ⅲ. 도시 동태 모델의 구성 및 시뮬레이션 결과

1. 인과지도(Causal Loop Diagram)의 작성

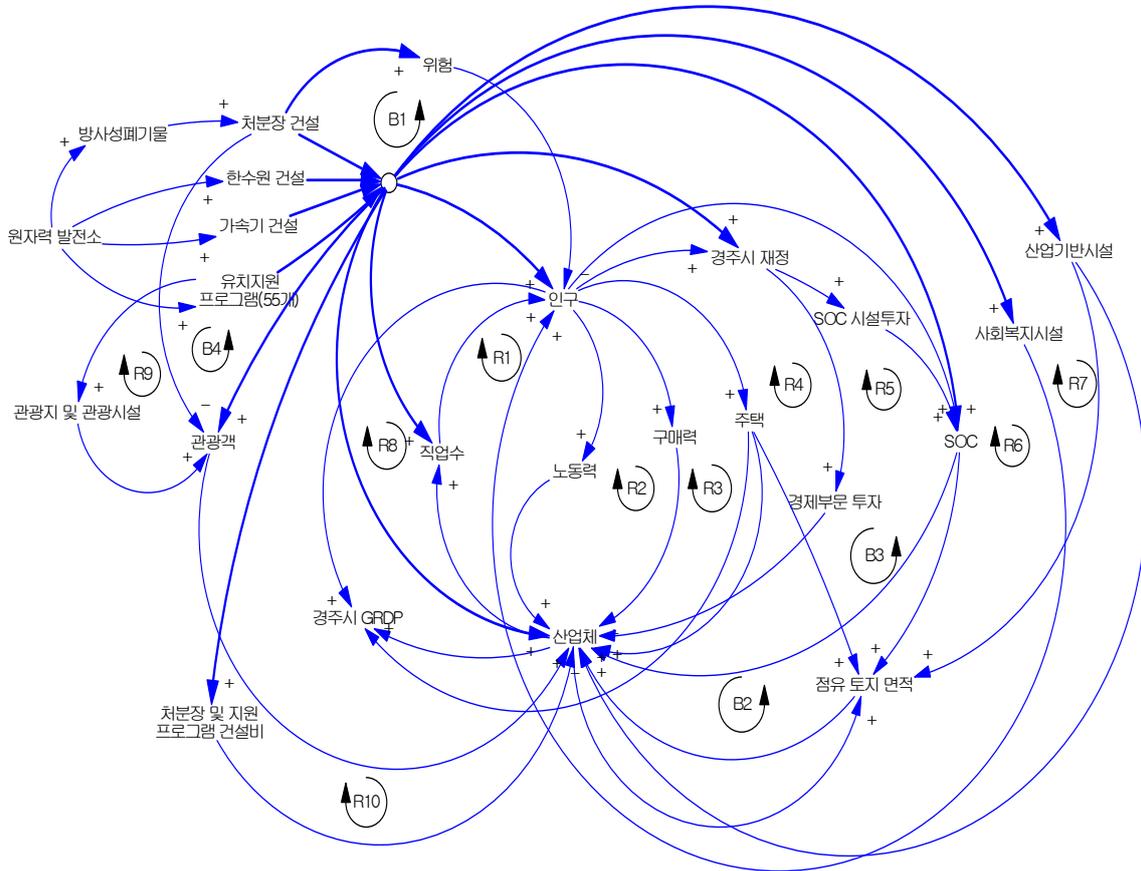
본 연구의 목적은 처분장 시설과 유치지원 프로그램이 경주시에 입지하면 도시에 어떠한 변화가 일어나는지를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 알아보려는 것이다. 이를 위한 초기 단계로서 도시를 구성하고 있는 요소들 사이의 인과관계를 살펴보고 그것을 그림으로 그려보는 것이 필요하다. 이 밑그림이 바로 아래의 인과지도(Causal Loop Diagram, 이하 CLD)이며, 이를 통해 연구의 초점과 범위 그리고 인과관계의 전반적인 흐름을 알 수 있다.

아래의 <그림 1>에서 보듯이 경주시 처분장 모델은 구성요인간의 상호관계가 복잡하게 나타나는 사회시스템(complex social system)이다. 크게 보면 10개의 강화루프(reinforcing loop)와 4개의 균형루프(balancing loop)로 구성되어 있음을 알 수 있다¹⁾.

우선 CLD의 좌측에는 방사성폐기물처분장, 한수원, 양성자가속기의 건설, 유치지역 프로그램(55개)이라고 되어 있다. 이 부분은 정부가 제시한 정책프로그램을 의미하며 외부변수(exogenous variables)로 나타내어 있다. 즉, 원래 하나의 완전한 시스템으로서 경주시를

1) 강화루프는 계속 증가하거나 계속 감소하는 관계를 형성하며 균형루프는 시스템의 균형점으로 수렴시키려는 성격을 갖는다. 양자의 구별은 루프에서 마이너스 기호(-)의 수로 구별하는데 마이너스 기호(-)가 홀수이면 균형루프이며 짝수이면 강화루프가 된다.

가정한 후 외부적 충격으로서 처분장 시설의 건설을 상정한 것이다. 물론 차후에 저장-유량 모델링(stock-flow diagram)의 과정에서 구체화되겠지만 정책 프로그램 자체도 상당히 복잡한 시스템을 내재하고 있다.



<그림 1> 경주시 처분장과 유지지원 프로그램의 CLD

각각의 루프를 구체적으로 설명하면, 우선 강화루프 R1은 인구-노동력-산업체-직업수로 연결된 루프이다. 즉, 인구를 증가시키면 노동력이 증가하고, 노동력이 증가함에 따라 산업체를 증가시키며, 증가된 산업체 수는 다시 직업수를 증가시킨다. 결국, 늘어난 직업으로 인해 외부에서 인구가 유입되게 됨으로써 인구는 증가하게 된다. 예를 들어, 처분장 시설들은 인구를 증가시킨다. 또한 처분장 시설들이 완공되면 그 시설들을 운영할 운영인력들이 경주시로 유입되게 된다. 이들은 장기적으로 머물면서 경주시에 거주하는 주민이 된다. 따라서 처분장 건설인력과 운영인력들의 증가는 노동력-산업체-직업수를 연쇄적으로 증가시키게 될 것이다.

둘째, 강화루프 R2는 인구-구매력-산업체-직업수-인구의 구조를 나타내고 있다. 일반적으로 인구가 늘어나면 산업이 발달한다. 그 이유는 인구가 많아질수록 소비가 증가하기 때문이다. 경주에 처분시설이 들어오면 인구가 증가하면서 동시에 지역사회에서 생산하는 산출물에 대한 소비가 증가할 것이며 그에 따라 산업체의 수도 증가할 것이다.

셋째, 강화루프 R3는 인구-주택-산업체-직업수-인구의 구조를 갖고 있다. 인구가 증가하면 그에 따라 필수적으로 거주할 주택이 증가해야 한다. 그렇지 않으면 지역사회로 유입되는 인구가 제대로 정착하지 못하고 다시 지역 외로 유출될 것이기 때문이다. 그러므로 인구 증가에 따른 주택수요를 뒷받침하기 위해 건설산업을 중심으로 산업체가 발달할 것이다.

넷째, 강화루프 R4는 인구-경주시 재정-경제부문 투자-산업체-직업수-인구의 인과고리를 나타내고 있다. 처분장의 유치로 인해 인구가 증가하면 경주시 재정이 증가하고 증가된 재정은 경제부문 즉, 산업체의 투자자금으로 유입된다. 자금이 유입되면 기업체의 수가 증가하게 됨으로써 인구가 재유입되는 구조를 가지게 되는 것이다.

다섯째, 강화루프 R5는 처분장 시설에서 직접적으로 경주시 재정으로 유입되는 인과고리를 나타내고 있는데, 처분장 시설 건설은 특별지원금과 반입수수료, 지방세 등 경주시 재정으로 유입되는 많은 금액은 복합적인 정책 패키지(policy package)이다. 그 결과 유입되는 재정은 산업 투자를 증가시켜 지역 산업체를 확대시킨다.

여섯째, 강화루프 R6는 처분장 시설과 유치지원 프로그램이 사회복지시설을 증가시키고 인구를 증가시키는 인과고리를 보여주고 있다. 일곱째, 강화루프 R7은 지원프로그램에서 산업기반시설을 증가시키면서 지역 산업체의 증가를 유도하는 효과를 나타낸다. 여덟째 강화루프 R8은 처분장 시설 등이 입지하면서 직접적으로 늘어나는 직업수를 나타내고 있다.

아홉째, 유치지원 프로그램에서 관광지 및 관광기반시설을 증가시키는 프로그램들은 관광객을 유인하므로써 그 결과, 지역 산업체를 활성화시킨다. 열 번째, 처분장과 지원프로그램에 포함되어 있는 3조 2천억원의 건설비는 지역의 산업체를 활성화시킴으로써 실질 GRDP를 높인다.

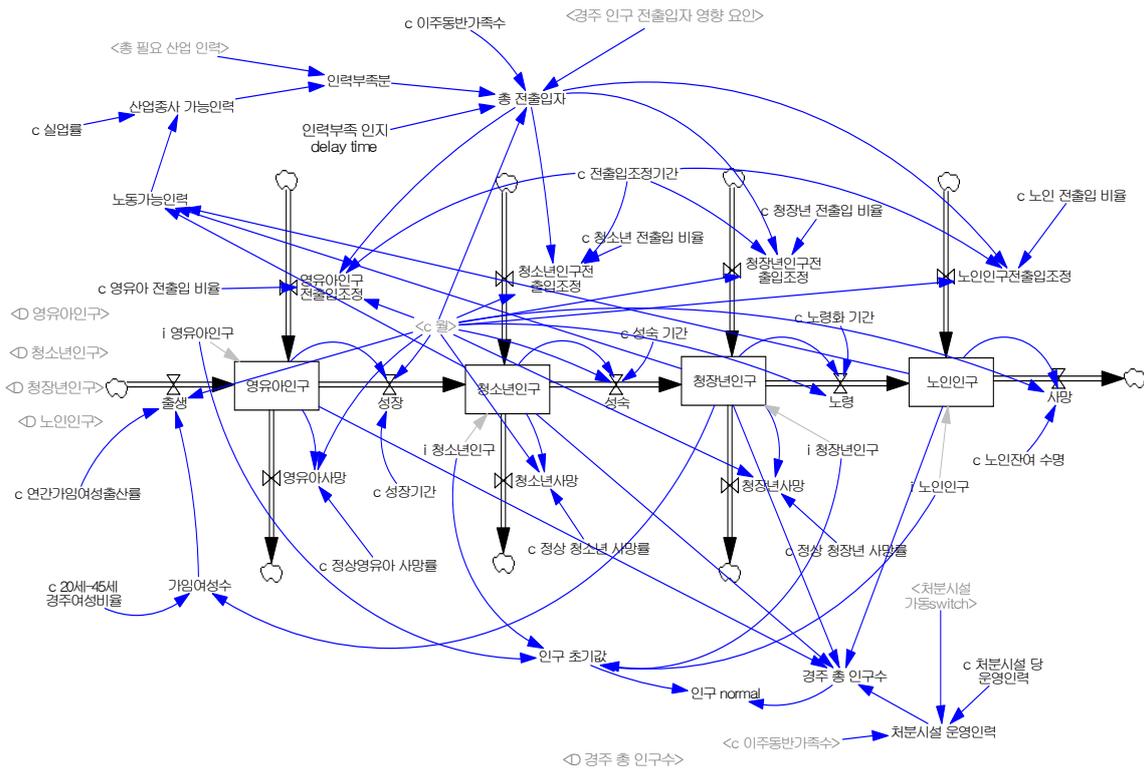
강화루프와는 반대 개념인 균형루프를 살펴보자. 첫째, 균형루프 B1은 처분장의 입지로 인해서 경주 지역주민의 위협도가 높아지는 것을 의미한다. 위협이 높아지면 인구유입에 저항요소로 작용한다. 둘째, 균형루프 B2은 산업체가 증가하면 점유 토지 면적을 증가시키나, 점유 토지 면적이 증가하면 타 부문과의 경합관계로 인해 산업체는 일정한 균형을 형성하게 된다. 셋째, B3는 인구-주택-점유 토지 면적-산업체-직업수-인구로 연결되는 루프를 나타내는데, 주택이 증가하면 경주시 점유 토지 면적이 증가할수록 산업체는 증가하지 않고 일정한 균형점에 도달하게 되는 것을 의미한다. 넷째, 균형루프 B4는 처분장 건설은 관광객에게 위협요소로 작동하는 것을 의미한다.

이처럼 경주시는 많은 수의 변수들이 인과고리를 형성함으로써 선형적인 사고방식으로는 생각하기 어려운 다중 피드백 루프(multiple feedback loop)의 전형적인 모습을 갖고 있다고 할 수 있다. 시스템 다이내믹스의 장점중의 하나는 이처럼 복잡한 구조의 모델을 비교적 객관적인 모델로 구성할 수 있다는 것이라고 하겠다.

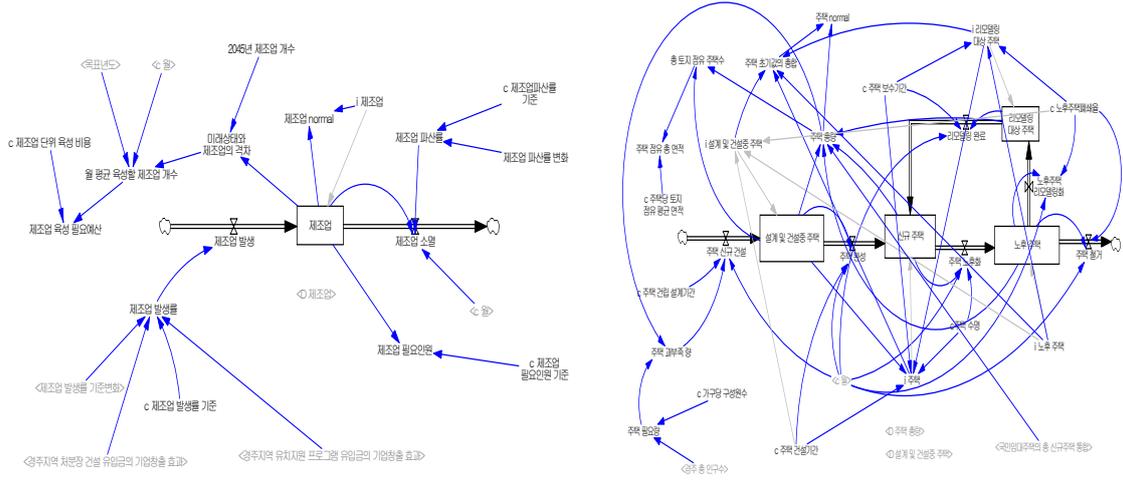
2. 저장-유량 그래프(Stock Flow Diagram)의 작성

장기적인 관점에서 처분장 시설이 입지했을 때 경주시의 미래를 예상해보는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위해서 경주시 모델에 대한 개념적인 구성을 실시하고 변수를 선정 한 다음 인과지도를 작성하였다. 그러나 실제로 인과지도는 그 다음 단계인 저장-유량 그래프(Stock-flow diagram)를 염두 해두고 작성하는 경우가 많다.

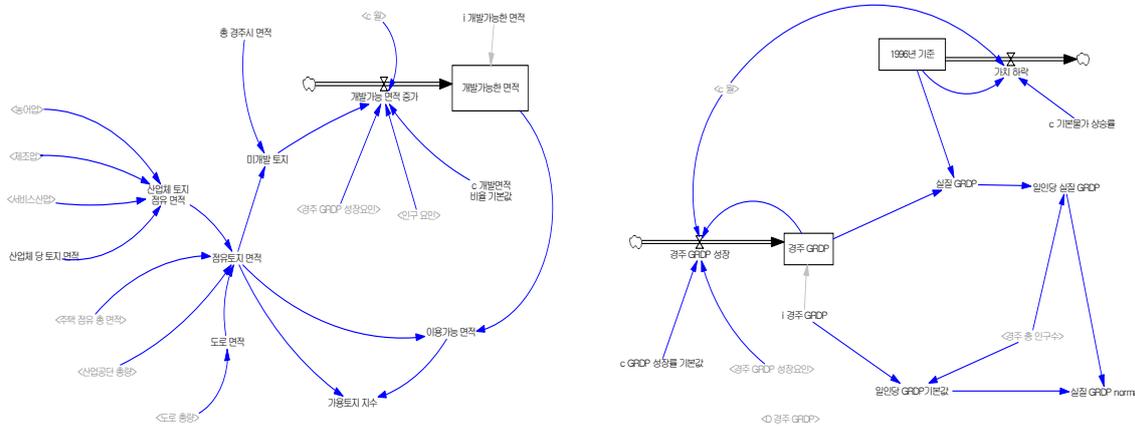
사실 인과지도는 시스템에 내재되어 있는 동태성(dynamics)을 파악하는데는 용이하지만 정량적인 자료를 입력하거나 분석을 하기에는 어려움이 크다. 따라서 CLD를 컴퓨터 시뮬레이터로 변환하는 과정이 필요하다. 그것이 바로 SFD이며 이를 통해서 장래 40년(2046년 까지) 동안의 경주시 모습을 분석할 수 있었다. 본 연구에서는 이를 위해 처분장 시설과 유치 지원 사업에 관련된 90개의 SFD를 작성하였다. 그 중 대표적인 모델링으로서 GRDP, 인구, 주택, 도로, 상하수도, 토지, 산업체, 처분장 건설, 산업인력, 관광객, 공원 등이며, 구체적인 모델은 아래 그림과 같다. 모델이 많고 복잡하므로 세부적인 설명은 생략한다.



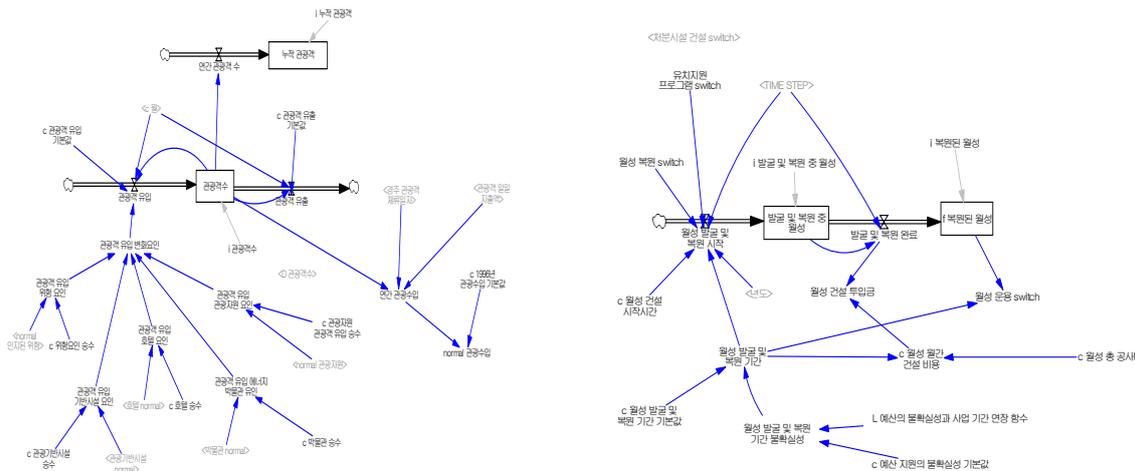
<그림 2> 인구 모델



<그림 3> 산업체와 주택 모델



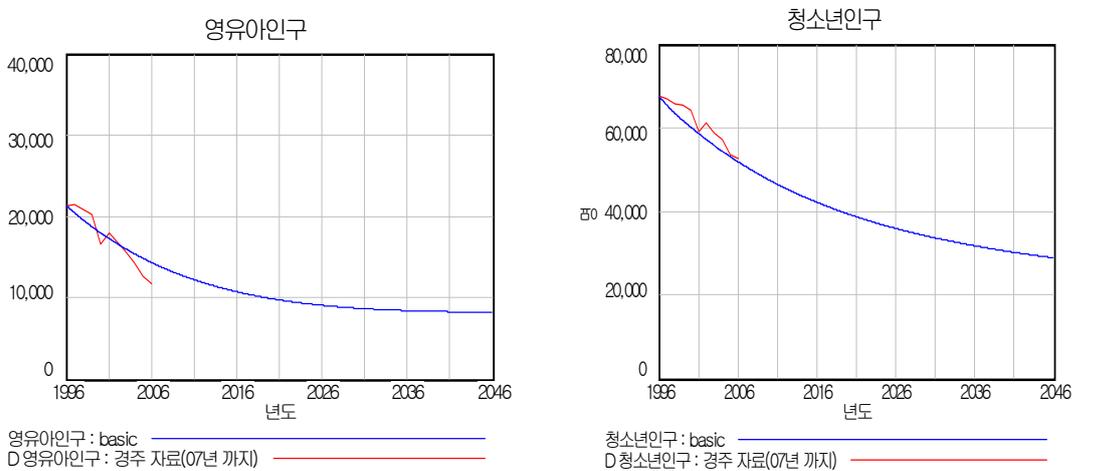
<그림 4> 경주시 토지와 GRDP 모델



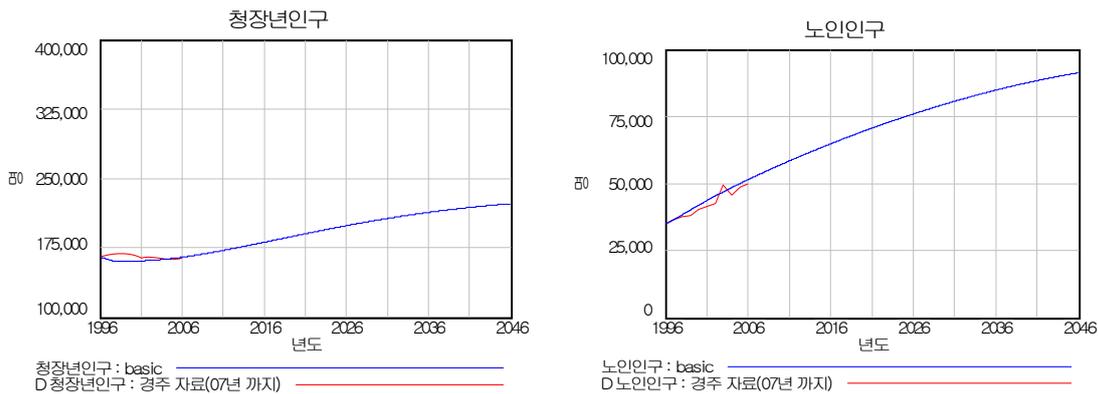
<그림 5> 관광객과 월성유적 발굴복원 모델

3. 모델의 검증

모델을 구축한 후 모델이 타당하게 작성되었는지 확인하는 과정이 반드시 필요하다. 모델의 타당성(validity)을 검토하는 과정인데, 이 과정은 다양한 방법으로 이루어질 수 있다. 본 연구에서는 상향식(bottom-up approach) 접근방법과 하향식(top-down approach) 접근방식을 사용하여 작성된 모델의 타당성을 검증하였다. 일단 아래의 그림에서와 보는 바와 같이 경주시의 10년간의 자료²⁾들과 시뮬레이션의 행태가 상당 부분 일치하고 있으므로 본 연구에서 작성된 모델이 타당함을 알 수 있었다.

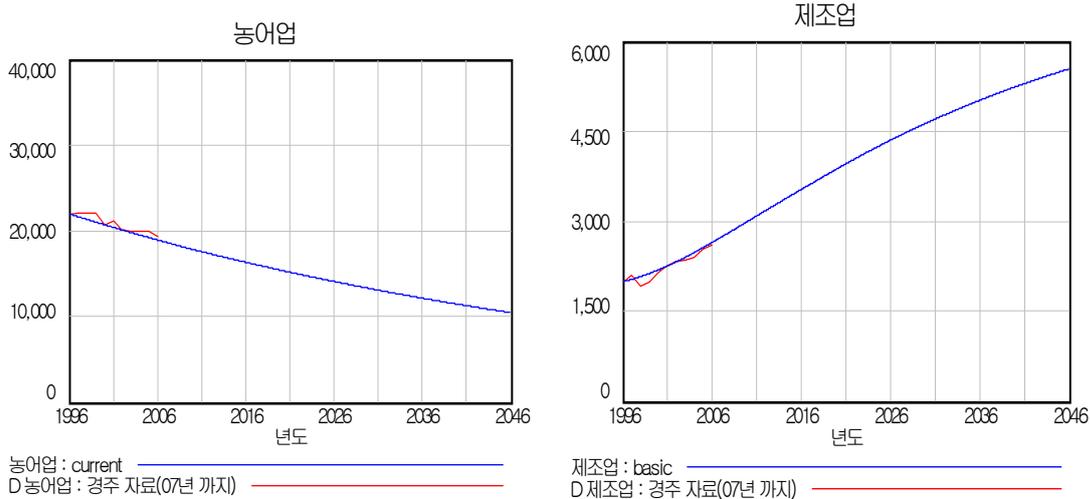


<그림 9> 경주 영유아 인구 및 청소년 인구(데이터와 모델)

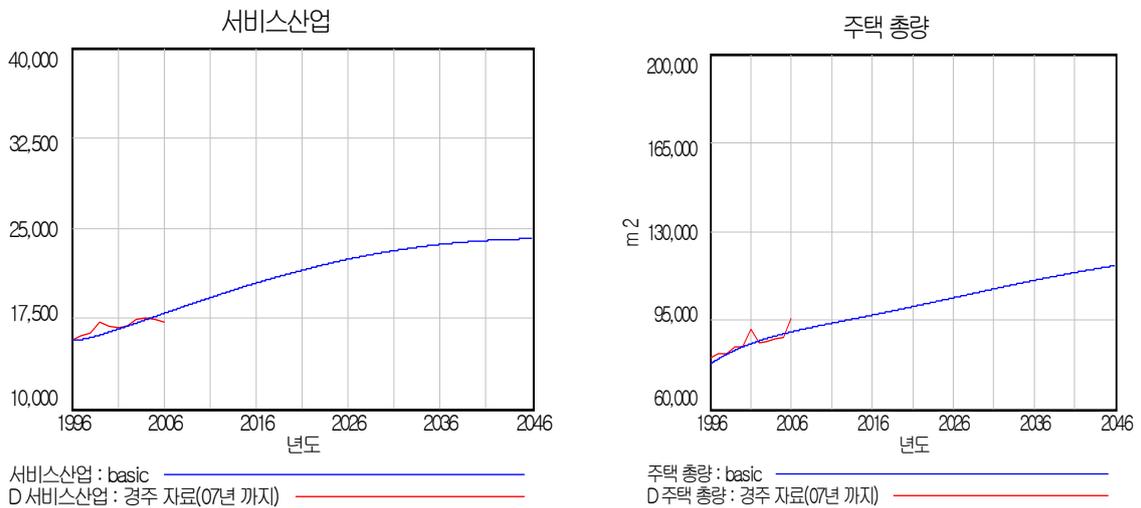


<그림 10> 경주 청장년인구와 노인인구 비교(데이터와 모델)

2) 1996-2006년 현재까지의 자료만 사용한 것은 경주시가 1996년에 경주군과 경주시가 통합되어 형성된 행정구역이기 때문이다. 그 결과 이전의 통계자료는 자료로서 활용하기가 어려웠음을 미리 밝혀둔다.



<그림 11> 농어업과 제조업 비교(데이터와 모델)



<그림 12> 서비스업과 주택 총량 비교(데이터와 모델)

4. 시뮬레이션(simulation) 결과

과연 경주시는 처분장 시설을 유치하면서 어떤 변화를 가지게 될까? 이러한 물음에 답을 하기 위해서 거쳐야 할 많은 단계들 즉, 문제의 이해→CLD의 작성→개념설계→SFD의 작성→자료수집→모델의 검증 과정과 수 많은 시행착오를 거친 이후에야 본격적인 시뮬레이션이 가능하다.

우선, 처분장 시설이 유치되지 않았을 때(시설 미유치)의 경주시의 모습이 어떻게 변화하고 있는지에 대해서 살펴보고 그 결과가 정상적으로 거동하고 있다고 판단되면, 그 이후에 처분장 시설이 유치를 가정하여 경주시가 어떻게 변화하는지에 대해서 살펴본다. 본 연구에서는 처분장 시설과 유치지원 프로그램의 시행 자체가 정책적 충격이므로 처분장의 유치여

부와 유치지원 프로그램이 지역사회를 변화시키는 정책으로 보고 시뮬레이션을 실시하였다.

1) 실질 GRDP의 변화(GRDP)

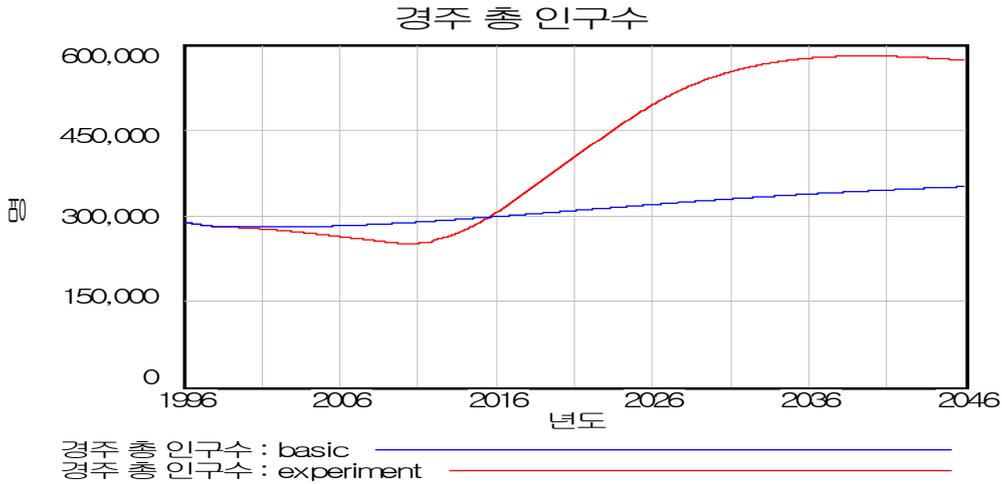
아래의 <그림 13>에서 보듯이, 2046년 경주의 실질 GRDP는 처분장 시설과 유치지원 프로그램이 시행되지 않았을 경우(basic)에는 8조 8,284억원으로 추정되었고, 처분장 시설 등이 입지하여 유치지원 프로그램이 시행되는 경우(experiment)에는 24조 3,873억원으로 예측되어 처분장이 입지함에 따라 약 2.76배의 실질소득의 증가를 보이는 것으로 나타났다.



<그림 13> 실질 GRDP의 변화 추이(정책실험)

2) 경주시 인구의 변화(population)

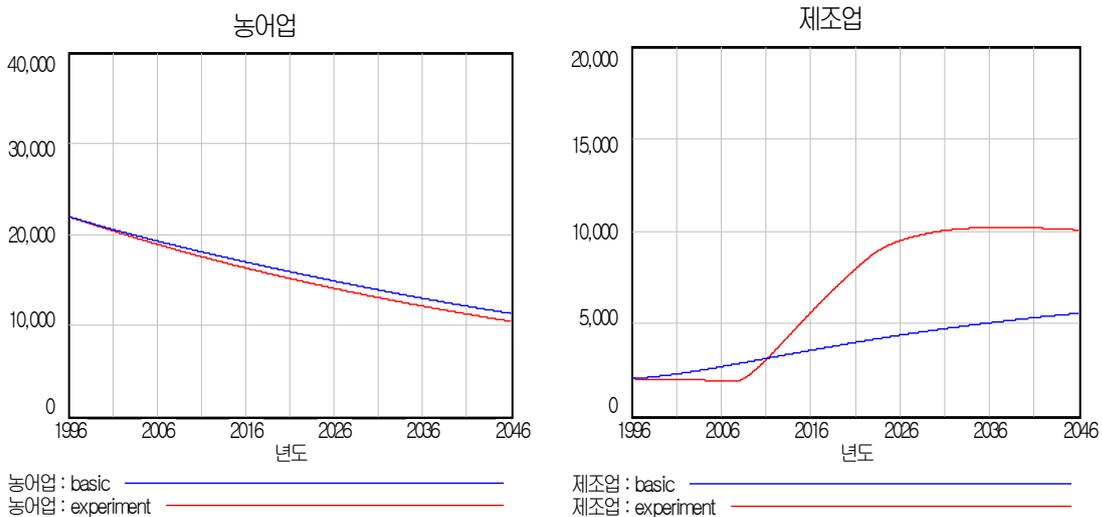
경주 인구는 처분장 등의 시설과 유치지원 프로그램이 시행되지 않는 경우(basic)에는 2046년에 35만 854명이 될 것으로 예상되었다. 반면에 처분장과 유치지원 프로그램이 시행되는 것을 가정하는 경우(experiment)에는 2046년에 57만 2,950명이 되는 것으로 나타나 기준값(basic)보다 약 1.63배 증가하고 있었다. 이것은 지방의 중소도시로서 매우 중요한 의미를 지니고 있는데, 낙후되는 대부분의 중소 지방도시들과는 달리 경주시는 처분장이 입지함으로써 경제적, 사회적, 문화적 활력의 원천으로서 인구가 지속적으로 증가하는 것을 말해 준다.



<그림 14> 경주 총 인구수의 변화 추이(정책실험)

3) 산업(industry)

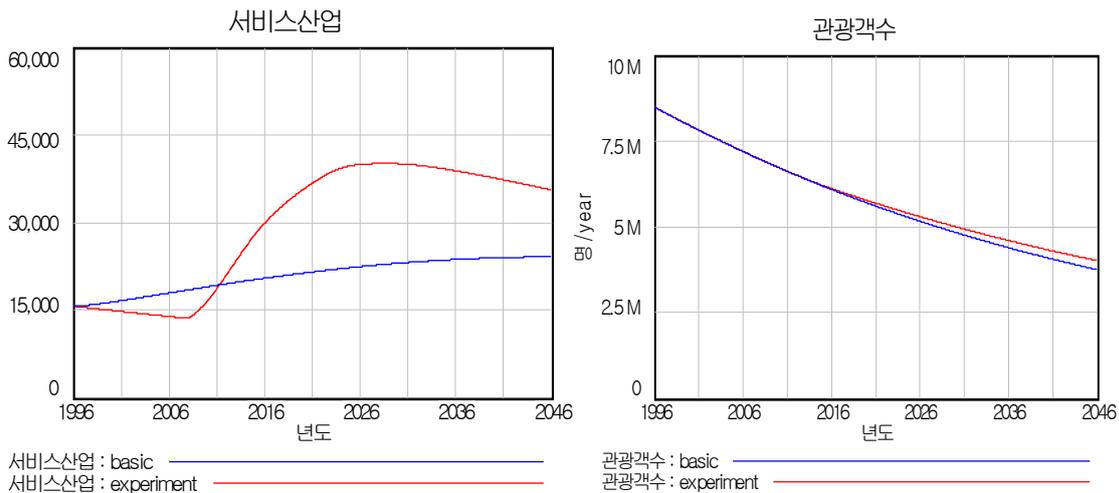
경주의 산업과 관련해서 농어업의 경우에는 처분장 등의 시설과 유치지원 프로그램이 시행되지 않는 경우(basic)에는 2046년에 11,279개로 예상되었다. 반면에 처분장과 유치지원 프로그램이 시행되는 것을 가정하는 경우(experiment)에는 2046년에 10,412개로 867개가 줄어드는 것으로 나타났다. 이것은 경주에 처분장이 입지하고 지원 프로그램이 도입되었으나 장기적인 관점에서는 농업분야의 축소에 유의미한 영향을 미치지 못하고 있다는 것으로 나타난다. 또한 현재의 유치지역지원시행계획에는 농어업 분야의 활성화에 대한 프로그램이 적고, 그 지원 규모와 사업의 구체화가 적기 때문에 이러한 추세를 거스를 수 없었다. 따라서 경주시는 특별지원금 3,000억원과 처분장 수입 등을 농어업의 경쟁력 강화에 투자할 필요가 있다.



<그림 15> 경주 농어업과 제조업의 변화 추이(정책실험)

경주의 산업과 관련해서 제조업의 경우에는 처분장 등의 시설과 유치지원 프로그램이 시행되지 않는 경우(basic)에는 2046년에 5,545개로 예상되었다. 반면에 처분장과 유치지원 프로그램이 시행되는 것을 가정하는 경우(experiment)에는 2046년에 10,057개로 4,512개가 증가하여 약 1.81배가 증가한 것으로 나타났다. 유치지역지원 프로그램의 대부분이 상당 부분 제조업의 활성화에 초점이 맞춰져 있기 때문에 나타나는 현상이라고 할 수 있다.

서비스업의 경우에는 제조업과 마찬가지로 증가하는 모습을 보이고 있다. 2046년에 처분장 등의 시설과 유치지원 프로그램이 시행되지 않는 경우(basic)는 24,110개로 예상되었다. 반면에 처분장과 유치지원 프로그램이 시행되는 것을 가정하는 경우(experiment)에는 2046년에 35,571개로 처분장이 입지하지 않았을 때보다 11,461개가 더 많았다. 그 이유는 크게 두 가지인데 첫째, 유치지원 프로그램에 따라 건설사업이 진행되면서 그 파생효과로 서비스업이 증가하는 경우를 생각해 볼 수 있다. 둘째, 유치지역지원 프로그램 55개 중에서 약 22개가 경주시의 관광기반인 사적과 유물 등을 복원하는 사업이기 때문에 관광산업이 활성화 되어 서비스업이 증가한다고 볼 수 있다.



<그림 16> 경주 서비스업의 변화와 관광객 추이(정책실험)

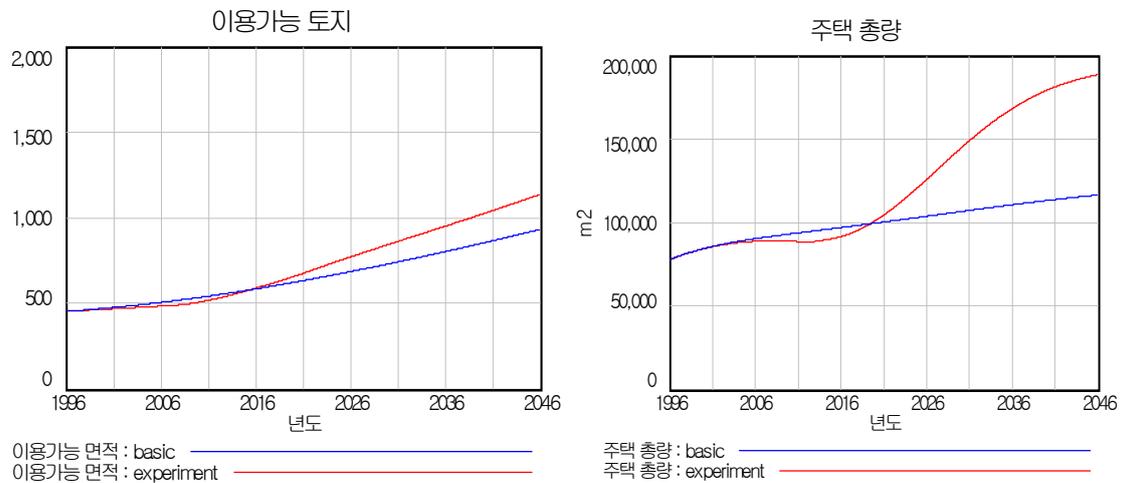
이와 관련해서 관광객의 수를 살펴보자. 위의 <그림 16>에서 알 수 있듯이, 불행히도 경주는 지속적으로 관광객이 감소하는 모습을 보이고 있다. 만일, 이러한 추세가 지속된다면 2046년에는 경주를 다녀가는 연간 관광객이 374만 2천명으로 예측되었다. 반면에 처분장과 유치지원 프로그램이 시행되는 것을 가정하는 경우(experiment)에는 감소 추세가 다소 완화되어 2046년에 401만 1천명으로 약 26만 9천명의 관광객이 증가한 것으로 분석되었다.

4) 토지(land)

아래의 <그림 17>은 경주시의 이용가능한 토지의 변화를 나타내고 있는데, 도시화가 진행

되면서 지속적으로 이용가능한 토지량이 증가하는 모습을 보이고 있다. 처분장 등의 시설과 유치지원 프로그램이 시행되지 않는 경우(basic)에 이용가능한 토지는 2046년에 931.03km²에 이를 것으로 예상되었다. 반면, 처분장과 유치지원 프로그램이 시행되는 것을 가정하는 경우(experiment)에는 2046년에 1,135km²으로 이용가능한 토지의 면적이 203.97km²가 늘어났다.

그러나 토지이용의 확대는 산업발전에 악영향을 미치는데, 특히 농업 분야에 제약을 가할 것으로 예상된다. 이것은 도시화가 가속되어 토지 이용이 효율화 될수록 농업 부문은 도심 밖으로 밀리는 현상을 전형적으로 나타낸다고 볼 수 있다.



<그림 17> 이용가능 토지의 변화 추이(정책실험)

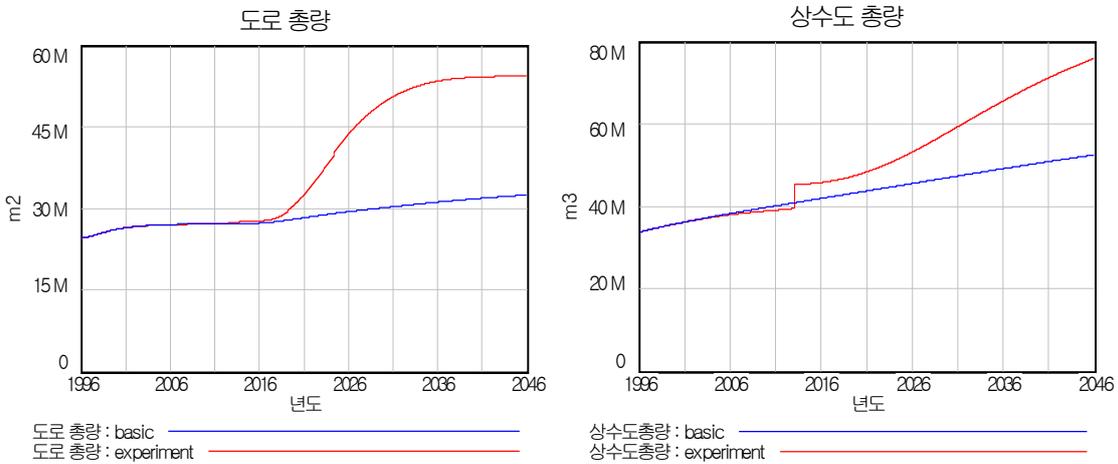
인구가 증가하고 외부에서 유입되는 인구가 늘어나면서 이들을 수용할 주택도 증가해야 한다. 그러나 주택은 인구가 증가함과 동시에 구축되는 것이 아니라 주택 수요와 계획 그리고 건설 등의 과정을 거쳐서 주택수요를 반영하게 된다. 위의 <그림 17>에서 보듯이 2046년에 처분장 등의 시설과 유치지원 프로그램이 시행되지 않는 경우(basic)에 경주시 주택수는 11만 6,428채로 예상되었다. 반면에 처분장과 유치지원 프로그램이 시행되는 것을 가정하는 경우(experiment)에는 18만 8,675채로 72,247채가 늘어난 것을 알 수 있다.

5) 사회간접자본 및 사회복지시설(SOC and welfare facility)

소득수준의 증가에 따라 경주시 주민들의 자동차 대수는 지속적으로 늘어나고 있었다³⁾. 이에 도로 확충은 지방정부로서 경주시의 중요한 과업이고 그 결과, 처분장이 입지하지 않는 경우라도 증가하는 모습을 보이고 있었다. 즉, 1996년에 2,449만m²였던 도로 총량이 2046년에 3,242만m²로 늘어난 것이다. 한편, 처분장과 유치지원 프로그램은 경주시 도로 사

3) 경주시 통계연보 각년도(1996-2007년)

정을 크게 나아지게 하고 있었는데, 2046년에 5,434만m²로 증가하게 되었다.

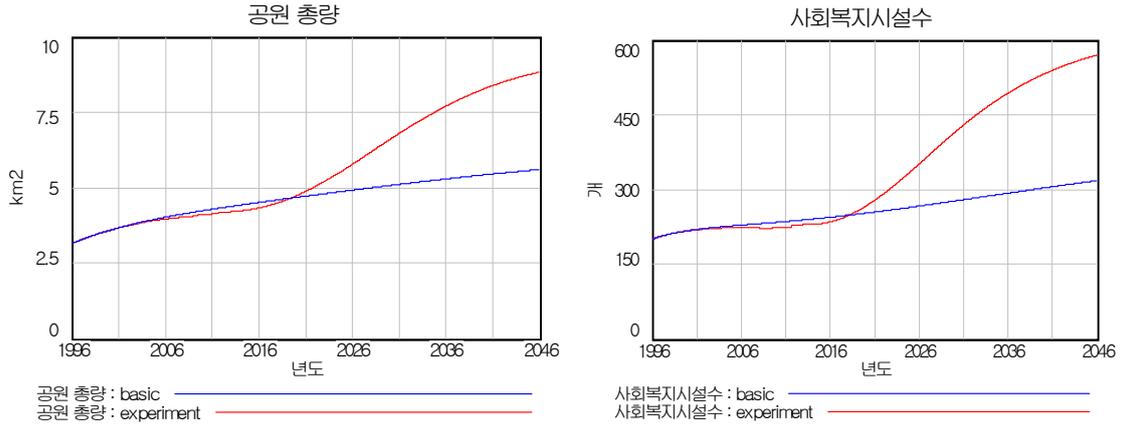


<그림 18> 도로 총량과 상수도 총량의 변화 추이(정책실험)

사회간접시설(SOC)로서 상수도 역시 지방정부가 지속적으로 관심을 기울이는 영역이다. 동일하게 경주시 역시 인구 증가와 일인당 물 소비량의 증가로 인해 상수도를 지속적으로 확충하고 있다. 이러한 결과는 위의 <그림 18>에서도 알 수 있었는데 처분장이 입지하지 않더라도 상수도 총량은 2046년에 연간 공급량이 5,258만m³로 늘어나게 된다. 한편 유치지원 프로그램이 시행되면서(2012년 완공) 연간 상수도 공급량이 2046년에 가서는 7,593m³로 증가하는 것으로 예측되었다.

한편, 공공재로서 공원은 도시의 중요한 기반요소이다. 경주시 역시 지속적으로 도심공원을 확충하고 있었다. 아래의 <그림 19>에서 보듯이, 처분장이 입지하지 않더라도 도심공원의 면적은 2046년에 5.6km²으로 늘어나게 된다. 한편 유치지원 프로그램이 시행되면서 2046년에 도심공원의 면적은 7.593km²로 증가하는 것으로 예측되었다.

도시는 물적인 기반(SOC, 학교, 공원 등) 뿐만 아니라, 인구가 증가함에 따라 사회적 약자를 보살피고 지원하는 기관들(병원, 보육시설, 복지관 등)을 지속적으로 확충해야 한다. 처분장 유치지원 프로그램에서도 이러한 복지시설들을 공급하는 프로그램이 몇 가지 구축되어 있다. 다음의 <그림 32>은 유치지원 프로그램이 반영된 결과, 처분장이 입지하는 않는 경우보다 252개소가 늘어난 570개의 사회복지시설이 2046년에 있을 것이라고 예측하고 있다.



<그림 19> 공원 총량과 사회복지시설 수의 변화 추이(정책실험)

6) 폐기물 처분 및 유지지원 프로그램(waste and construction fund)

처분장이 건설되면서 55개 유지지원 프로그램은 해당 사업의 건설비 및 지원금을 지역사회에 투입하게 된다. 본 연구에서는 이들 각각의 사업을 개별적으로 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 모델을 작성하여 해당 사업 기간에 사업비가 배분되는 것을 아래의 <그림 20>과 같이 구현해 내었다. 이 자금이 경주지역에 투입되어 사업체가 생겨나고 주민 소득이 발생하게 되어 경주 외부로부터 인구의 유입이 가능하게 되는 것이다.



<그림 20> 유지지원 프로그램 건설자금의 추이(정책실험)

5. 민감도 분석(sensitivity analysis)

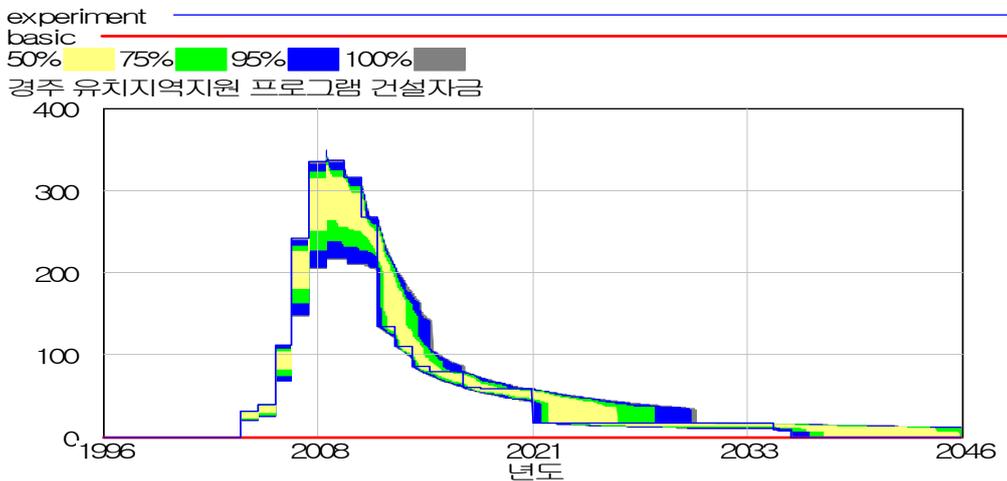
현재까지의 시뮬레이션이 특정 값(constant)에 대한 하나의 변화만을 나타내는 반면에 민감도 분석(sensitivity analysis)은 불확실성(uncertainty)을 감안한 시뮬레이션이다. 이러한 민감도 분석을 통해 도시 시스템에 내재하고 있는 불확실성이 목적변수에 어떻게 반영되는

지를 살펴보는 것은 경주시의 변화를 이해하는데 도움을 준다.

본 연구에서는 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 유치지원 프로그램의 불확실성을 토대로 시행하였다. 유치지원사업계획서를 보면, 지원 사업에 포함된 사업들은 사업의 타당성과 예산지원의 불확실성을 내포하고 있다. 특히 국가 재정에 따라서 사업의 규모나 시행시기가 조정될 여지가 많다고 보여 진다. 따라서 본 연구에서는 중앙정부 재정지원의 불확실성에 따라 유치지원 사업의 변동이 발생할 것이라는 가정하에 민감도 분석을 실시하였다. 즉, 재정지원의 불확실성은 0%부터 100%까지의 단위로 나타내었으며, 수치가 올라갈수록 사업의 불확실성은 커지게 되는 것이다. 주목할 것은 유치지원 사업이 예산지원의 불확실성으로 계획에서 제외되는 경우가 현실에서는 발생할 수 있으나, 본 연구에서는 불확실성이 커질수록 사업의 시행시기가 연장되는 것으로 가정하였다. 불확실성이 100%가 되면 사업의 시행기간이 2배까지 늘어나도록 모형을 구성하였다.

1) 유치지원 프로그램 민감도

유치지원 사업의 불확실성으로 인해 지원 프로그램에 소요되는 자금은 비교적 변동폭이 큰 것으로 나타났다. 2010년을 기점으로 한 지원사업액의 격차는 월당 130억원에 달하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 사업기간이 최대 2배까지 증가되는 경우에는 사업 기간이 본 연구의 범위를 벗어나는 경우도 있었다.

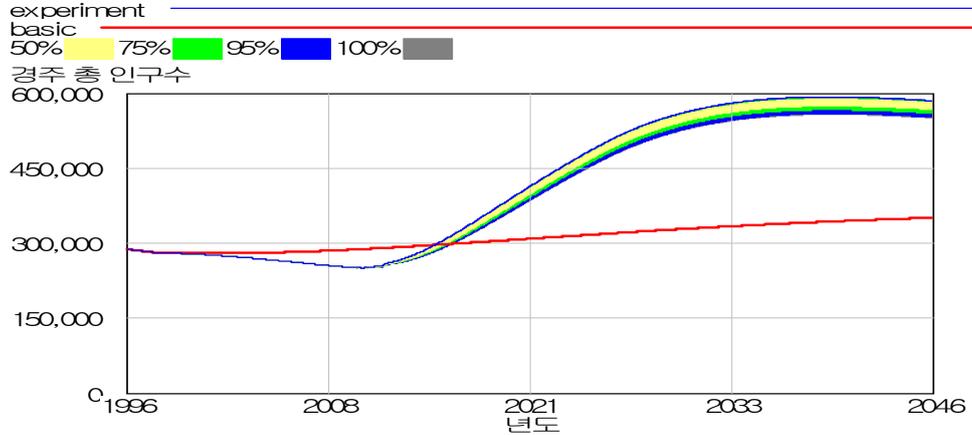


<그림 21>유치지역지원 프로그램 건설자금의 민감도

2) 경주 총 인구수의 민감도

경주의 총 인구 역시 비교적 안정적인 모습을 보이고 있었다. 아래의 <그림 21>에서 보듯이, 사업의 불확실성이 0%에서 100%에 이른다 하더라도 경주시 인구의 최대값과 최소값의 차이는 4만명 이내로 안정적이기 때문이다. 결론적으로 중앙정부 재정지원의 불확실성이

존재하고 있다고 하더라도, 경주시의 실질 GRDP와 경주시 총 인구수는 변동폭이 적은 것으로 나타나 비교적 견고한(robust) 모습을 보이고 있다.



<그림 21> 경주 총 인구수의 민감도 분석

IV. 결론

본 연구는 방사성폐기물처분장의 입지와 더불어 막대한 정책적, 재정적 지원이 가져올 경주 지역의 경제, 사회 구조의 변화 모습을 예측하려는 목적으로 수행되었다. 도시의 생애주기(life-cycle)로 쇠퇴기에 접어든 경주시에 처분장 건설사업과 더불어 3조 3천억원에 지원 사업이 동시에 추진되는 것은 분명 예상이 불가능한 변화를 야기할 것이다. 이러한 맥락에서 도시변화의 원천으로서 처분장 건설과 지원정책 프로그램의 효과를 컴퓨터 모델링화하여 예측해보는 것은 처분장 정책의 사후조치로서 중요한 의미를 가지고 있다고 할 수 있다.

이를 위해서 본 연구는 방법론으로써 컴퓨터 시뮬레이션 기법인 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 기법을 적용하여 처분장 입지에 따른 지역의 동태적인 변화과정과 경향을 지역사회의 인구, 산업, 토지, SOC, 관광 등의 변화 모습을 통해 분석하였다. 연구 결과, 작성된 시뮬레이션 모델의 결과는 기존에 시행했던 연구결과에서 나타난 것보다 더욱 바람직하게 도출되었다. 처분장의 유치는 경주시 인구와 산업을 증가시키고 토지이용을 가속화하며, 주택의 건설을 촉진한다. 또한 막대한 재정적 지원은 사업재원을 확충하고 다시금 지역산업 발전을 촉진시키는 승수효과를 발생시켜 다시금 인구와 산업을 유인하는 선순환 구조를 구성하였다.

그럼에도 불구하고, 본 연구의 한계는 정책변수가 되는 처분장시설 프로그램이 세부적으로 확정되지 않은 상태에서 연구가 진행되었기 때문에 모델링에서 덜 구체화된 부분들이 존재한다는 것이다. 또한 모델에서는 인구증가와 산업발전에 따른 환경오염과 범죄 같은 부작용

[2008년 춘계 학술대회]

용에 대한 모델링은 포함시키지 않았다. 차후 연구에서는 지원정책 계획이 확정되고 된 후 도시 시스템 구조의 새로운 진단과 더불어 환경오염과 범죄 등에 대한 부작용을 모델링화 하여 보다 진전된 도시동태 모델을 구축할 계획이다.

[참고 문헌]

- 경상북도 전략산업기획단. (2005). 신에너지 산업 육성과 동해안 발전 전략 워크숍 자료.
- 경주시. (2004). 세입세출결산서. 경주: 경주시.
- 경주시. (2004). 2020 경주 도시기본 계획. 경주 : 경주시.
- 경주시. (2005). 경주통계연보. 경주: 경주시.
- 과학기술부 · 한국원자력안전기술원. (2003). 원자력 안전백서. 서울: 신진기획.
- 김도훈·문태훈·김동환. (1999). 시스템 다이내믹스. 서울: 대영문화사.
- 문태훈. (2002). 도시동태모형을 이용한 도시성장관리정책의 평가. 「한국 시스템다이내믹스 연구」 제3권 제2호 : 5-27.
- 산업자원부·한국수력원자력(주). (2004). 원자력 발전백서. 서울: 산업자원부. 한국수력원자력(주).
- 오세웅·여기태·이철영. (2001). 항만과 지역 경제간의 동태적 모델에 관한 연구. 「한국 시스템다이내믹스 연구」 제2권 제1호 : 29-50.
- 이만형·최남희. (2004). 그린벨트 해제와 도시 동태성 : 대안적 UD 모형을 이용한 그린벨트 정책 분석. 「한국 시스템다이내믹스학회 춘계학술대회 발표 논문」 .
- 최연홍·정경상. (2003), 신행정수도의 도시계획, 「한국자치행정연구집」 제3호 : 83-115.
- 최연홍 (2006). 미국의 중·저준위 방사성 폐기물 처분장 소재, 「지방정부와 도시」 276호.
- 최연홍, 정창훈, 오영민(2006), 방사성 폐기물 처분장 입지 후 지역 변화 모델 구축, 「한국 시스템다이내믹스 연구」 , 제7권 제1호. p.119-146.
- Anderson, Virginia., Johnson Lauren. (1997). Systems Thinking Basic, MA: Pegasus Communication, Inc.
- Coyle, R. G. (1996), System Dynamics Modelling, Florida: Chapman & Hall/CRC.
- Ford, Andrew. (1999), Modeling the Environment, Washington D.C.: Island Press.
- Forrester, Jay W. (1990). Principles of System, MA: Pegasus Communication, Inc.
- Forrester, Jay W. (1969). Urban Dynamics, MA : The Colonial Press Inc.
- Forrester, Jay W. (1973). World Dynamics, MA : Wright-Allen Press, Inc.
- Gharajedaghi, Jamshid. (1999). System Thinking : Managing Chaos and Complexity, MA: Butterworth Heinemann.
- Mass, Nathaniel J. (1974). Readings in Urban Dynamics : Volume 1, MA: Wright-Allen Press, Inc.

[2008년 춘계 학술대회]

- Richardson, George P. (1999). Feedback Thought, MA: Pegasus Communication, Inc.
- Ruth, Matthias., Hannon Bruce. (1997). Modeling Dynamics Economic System, New York: Springer.
- Steiss, Alan W. (1974). Urban Systems Dynamics, MA: Lexington Books.
- Sterman, John D. (2004). Business Dynamics, Singapore: McGraw Hill.
- Wolstenholme, Eric F. (1990), System Enquiry, New York: John Wiley & Sons, LTD.
- Warren, Kim. (2002). Competitive Strategy Dynamics, New York: John Wiley & Sons, LTD.