

경주시에 대한 중저준위 방사성폐기물처분장 건설 프로그램의 장기적 효과

A Long Term Effect Prediction of Radioactive Waste Repository Facility in Gyeongju

오영민* · 정창훈**

Oh, Young-Min* · Jung, Chang-Hoon**

Abstract

City of Gyeongju's referendum finally offered the long-awaited low-level radioactive waste disposal site in November 2005. Gyeongju's positive decision was due to the various economic rewards and incentives the national government promised to the city. 300 billion won for an accepting bonus, the location of the headquarter building of the Korean Hydro and Nuclear Power Co., and the accelerator research center and 3.25 trillion won for supporting regional development program implementation.

All of the above will affect the city's infrastructure and the citizens' economic and social lives. Population, land use, economic structure, SOC and quality of life will be affected. Some will be very positive, and some will be negative. This research project will see the future of the city and forecast the demographic, economic, physical and environmental changes of the city via computer simulation's system dynamics technique. This kind of simulation will help City of Gyeongju's what to prepare for the future.

The population forecasting of the year 2046 will be 662,424 with the waste disposal site, and 327,274 without the waste disposal site in Gyeongju. The waste disposal site and regional supporting program will increase 184,246 Jobs more with 1,605 agriculture and fishery, 5,369 manufacturing shops and 27,577 shops.

The population increase will bring 96,726 more houses constructed in the city. Land use will also be affected. More land will be developed. And road, water plant

* 서울대학교 행정대학원 박사수료 (제1저자, unaion@hanmail.net)

** 경인여자대학 환경보건과 조교수 (공동저자, jch9999@empal.com)

and waste water plant will be expanded as much. The city's financial structure will be expanded, due to the increased revenues from the waste disposal site, and property tax revenues from the middle-class employees of the company, and the high-powered scientists and technologists from the accelerator research center. All in all, the future of the city will be brighter after operating the nuclear waste disposal site inside the city.

Keywords: 중저준위 방사성 폐기물 처분장, 지역발전 프로그램, 시스템다이나믹스, 경주시(low-level radioactive waste disposal facility, regional development program, system dynamics, Gyeongju)

I. 서론

경주시는 우리나라가 지난 20년간 해결하지 못한 방사성폐기물처분장 입지 문제를 경제적 인센티브와 투표를 통해 해결한 매우 상징적인 도시이다. 국가적 난제의 해결의 반대급부는 방사성 폐기물 처분장뿐만 아니라, 한수원 본사와 양성자 가속기 시설 그리고 3,000억 원에 달하는 특별지원금과 55개 사업, 3조 2,595억 원에 이르는 유치지역지원 프로그램이 동시에 시행되는 것이다. 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, 지역 간 문제였으나 처분장이 경주시로 입지한 후의 문제 양상은 경주시민 간의 이해관계에 따른 갈등으로 진행되었다. 이러한 경주 내 주민간의 갈등을 해결하기 위해서는 처분장의 입지에 따른 균등한 지역발전이 수반되어야 가능할 것이라고 판단된다. 이를 위해서는 국가적 차원의 지원과 지방 정부의 현명한 정책 선택이 필수적이며, 사전에 그러한 정책의 효과를 예측해보는 것이 동반되어야 한다. 중앙 정부와 경주시가 바람직한 정책을 효과적으로 추진하면 낙후된 지역에서 변모된 지역으로의 도약을 이끌어낼 것이고, 지역 주민 모두를 만족시키는 결과를 도출해 낼 수 있을 것이다. 그 결과는 원자력 정책과 처분장 운영에 대한 지지를 지속적으로 확보하는 기반이라고

할 수 있다.

본 연구는 현재 정부가 추진하는 지원정책 프로그램을 지역사회 발전과 연계해서 분석해보는 것은 매우 중요하고 시의적절하다. 또한 기존에 발표되었던 최연홍·정창훈·오영민(2006)의 연구에서 포괄하지 못했던 지역발전 프로그램을 중심으로 중저준위 처분장 입지정책의 지역발전 결과라는 점에서 의의가 있다. 3조 2천억 원에 달하는 유치지원 프로그램의 효과가 어떻게 발생하는지를 장기적인 관점에서 분석을 시도하는 것이다.

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 규명하고자 한다.

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 등이 구성된 하나의 체계로 규정하고, 도시의 외형적 형상은 이들 구성부문간의 상호작용에 의해 나타나는 결과라고 생각하였다. 또한 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. 본 연구 역시 J. Forrester(1969)의 Urban Dynamics에서 도출된 연구내용을 기반으로 모델을 구성하고자 한다.

Urban Dynamics 모델은 Mass 등(1974)이 J. Forrester이 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. 이러한 초기의 Urban Dynamics 모델링은 그 이후 많은 개선과 변종을 만들어 내면서 최근까지 발전해 오고 있다.

Gerrit(2001)은 도시성장 관리방안을 마련하기 위해서 기반시설의 효율적인 활용에 초점을 둔 동태적인 도시성장모델을 제시하였다. 그는 학교, 교통망, 공공재활 시스템, 폐기물 처리공장과 같은 사회기반시설의 활용을 극대화함으로써 도시성장을 기할 수 있으며, 도시 기반시설에 대한 투자가 지속적으로 확장될 때 도시성장이 가능하다는 주장을 하였다. 결국, Gerrit(2001)의 연구에서 볼 때, 중저준위 처분장 지역발전 프로그램의 효과는 경주의 지속적인 발전을 예상할 수 있게 한다.

국내에서 이만형·최남희(2004)는 대안적 도시 동태모델을 통해서 도시정책이 도시시스템에 미치는 영향을 인과순환적 피드백 구조를 통해 분석한 주요한 연구업적이다. 이들은 실증적으로 서울시를 연구 대상으로 하여 그린벨트의 대폭적인 해제·조정 정책 및 개발 행위 제한의 완화가 장기적으로 서울시 인구를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라, 교통체증도 유발될 수 있음을 보여주고 있다. 이들의 연구는 도시동태 모델에서 도시성장의 제약요인으로서 토지의 활용이나 환경의 중요성을 역설한다고 할 수 있다.

전유신(2003)의 경우 지속가능한 개발(sustainable development)을 위하여 필요한 도시의 적정개발밀도 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. 이들의 논의가 중요한 것은 특정 지역에 영향을 미치는 특정시설의 효과를 예측했다는 데 있으며 본 연구에서는 그것이 중저중위 폐기물 처분장이라는 것이다.

유사하게 김미경(2004)의 논문은 공항과 도시의 관계를 살펴보고 있는데 공항과 공항 배후 도시를 하나의 시스템으로 보아 공항 도시의 지속가능성(sustainability)을 평가한다. 분석한 결과, 연구의 대상이 된 인천국제공항과 그 배후지역인 인천광역시시는 공항의 활동으로 인해 경제적으로는 지속성이 있지만 사회, 환경적으로는 지속가능하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 사회적, 환경적 차원에서도 지속가능하도록 공항개발이 이루어져야 한다고 주

장한다.

최연홍·정창훈·오영민(2006)는 처분장이 입지하는 경주시를 대상으로 UD 모델을 적용하여 분석하였다. 이 연구에서는 처분장 시설이 입지하는 것만을 포함하고 3조 2천억 원에 달하는 유치지원 프로그램을 고려하지 않았다. 연구 결과로서 2004년부터 향후 20년간의 지역사회는 긍정적인 방향으로 변화하는 것으로 예측되었다. 그러나 처분장 시설 등의 입지만을 고려하여 유치지원 프로그램은 빠져있었기 때문에 연구결과는 완전하지 않았다. 그러므로 본 연구는 최연홍·정창훈·오영민(2006)의 연구에서 포함되지 않았던 “지역발전 프로그램”을 적용하여 지역변화를 야기하는 요인들을 모두 포함하는 종합적인 연구라는 점에서 의의를 발견할 수 있다.

2. 방사성폐기물처분장 지원사업

간략히 방사성폐기물처분장 지역발전 지원 계획의 주요 내용을 아래 [표 1]에서 정리하였다. 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.

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, 토지이용의 증감, 지방정부 재정의 증감 등이 될 것이다. 이러한 효과를 추정하는 과정은 다음 인과지도 작성과 유량-저량 그래프의 작성 과정에서 구체화 될 것이다.

[표 1] 지역 지원 사업

구 분	사 업 내 용	투자 규모
① 지자체 지원금	- 3,000억원의 지역개발지원사업(지자체장이 사용용도 결정) - 연간 평균 약 85억원의 수거물 반입수수료를 시설운영기간 중 지원	3,000억 원 이상
② 유치지역 지원 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

③ 범정부적 지원 체계	<ul style="list-style-type: none"> - 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

구 분	사 업 내 용	투 자 규 모
① 원전수거물 관리시설 사업	<ul style="list-style-type: none"> - 준공목표: 2008년말 (1단계) - 처분방식 : 부지여건에 따라 천층처분 또는 동굴처분 방식 선택 - 시설규모 : 1단계는 10만드럼 규모로 건설하며, 단계적 증설 (총 80만 드럼규모) 	<ul style="list-style-type: none"> - 중·저준위원전수거물 처분시설(구조물) : 약 56,000평(천층처 분시) / 부대시설(건축물) : 약 13,700평 - 건설공사비 : 약 9,600억원 (동굴처분 기준, 80만 드럼 규모) ● 1단계(10만드럼) : 약 4,700억원 중·저준위원전수거물 처분시설 및 관련공용시설 : 약 4,000억원 부대시설 : 약 700억원 ● 2단계(70만드럼) : 약 4,900억원 중·저준위원전수거물 처분시설 : 약 4,900억원
② 양성자 가속기 사업	<ul style="list-style-type: none"> - 양성자가속기 시설 및 연구개발 - 사업기간 : 2012년 	<ul style="list-style-type: none"> - 1,600억원(정부·지자체·민간 총투자)
③ 한수원(주) 본사이전	<ul style="list-style-type: none"> - 본사 신규사옥 건설 - 이전시기 : 지자체와 별도협의 	<ul style="list-style-type: none"> - 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)/ 소요예산-약 870억원 - 지방재정수입 : 연 42억원 - 고용창출 : <ul style="list-style-type: none"> · 건설기간 및 운영 중 지역주민 우선고용 · 건설시공 계약시 지역건설업체 활용 및 현지주민 고용 · 한수원(주)직원 채용시 주변지역 주민의 가산점 부여로 채용 기회 확대

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 그려 보는 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.

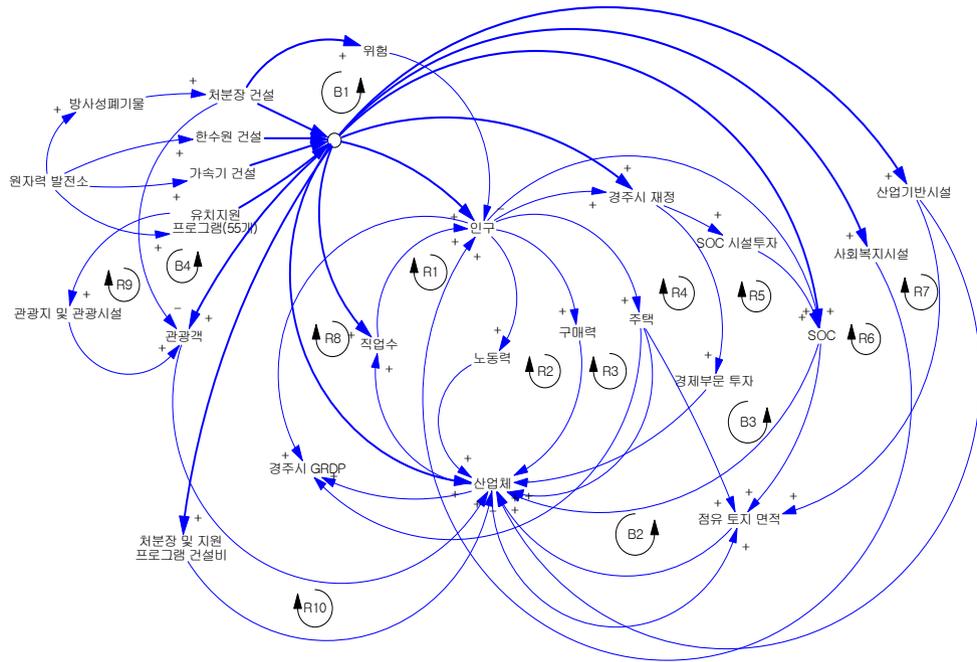
아래의 [그림 1]에서 보듯이 경주시 처분장 모델은 구성요인간의 상호관계가 복잡하게 나타나는 사회시스템(complex social system)이다. 크게 보면 10개의 강화루프(reinforcing loop)와 4개의 균형루프(balancing loop)로 구성되어 있음을 알 수 있다.¹⁾

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

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 증가시키고 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 산출

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.



[그림 8] 경주시 처분장과 유치지원 프로그램의 CLD

물에 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 선순환 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 재원은 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 위험도가 높아지는 것을 의미한다. 위험이 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 위험요소로 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

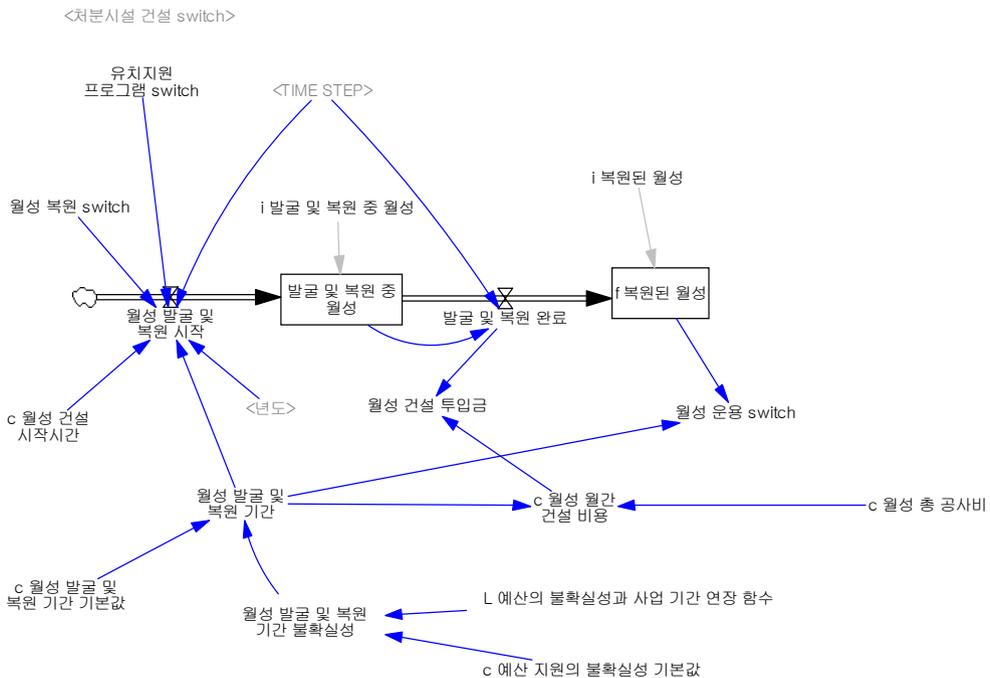
장기적인 관점에서 처분장 시설이 입지했을 때 경주시의 미래를 예상해보는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위해서 경주시 모델에 대한 개념적인 구성을 실시하고 변수를 선정할 다음 인과지도를 작성하였다. 그러나 실제로 인과지도는 그 다음 단계인 저장-유량 그래프(Stock-flow diagram)를 염두해두고 작성하는 경우가 많다.

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(2046년까지) 동안의 경주시 모습을 분석할 수 있었다. 본 연구에서는 이를 위해 처분장 시설과 유치지원 사업에 관련된 90개의 SFD를 작성하였다.²⁾ 그 중 대표적인 모델링으로서 기존의

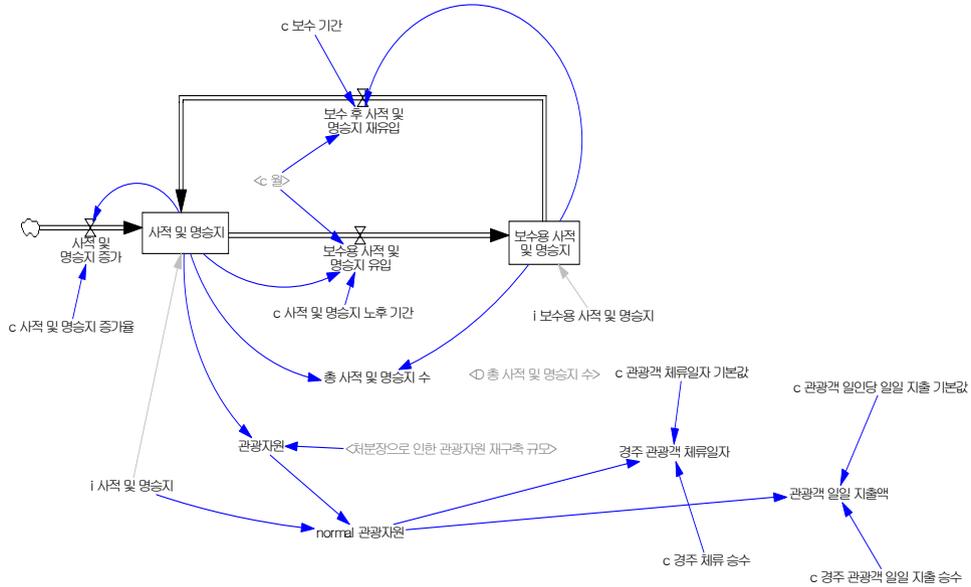
2) 구체적인 SFD 모델링에 대한 내용은 최연홍·정창훈·오영민(2006)을 참고하시오.

연구를 보완한 것이 월성유적지 발굴 등에 관한 지역발전 프로그램이다. 월성 유적지 발굴을 예로 들면, 월성유적이 발굴을 모델링하기 위해서 아래의 [그림 2]에서 보는바와 같이 29년 동안 사업이 추진되며 2970억원의 사업비가 투입되는 것을 모델링해야한다. 이 모델에서는 피드백이 거의 없이 기계적으로 사업이 추진되는 것을 가정하였다. 물론, 후술하겠지만 예산지원의 불확실성을 가정하여 월성유적 발굴사업이 어려워지는 것은 모든 지역발전 프로그램에 동일하게 적용하였다.

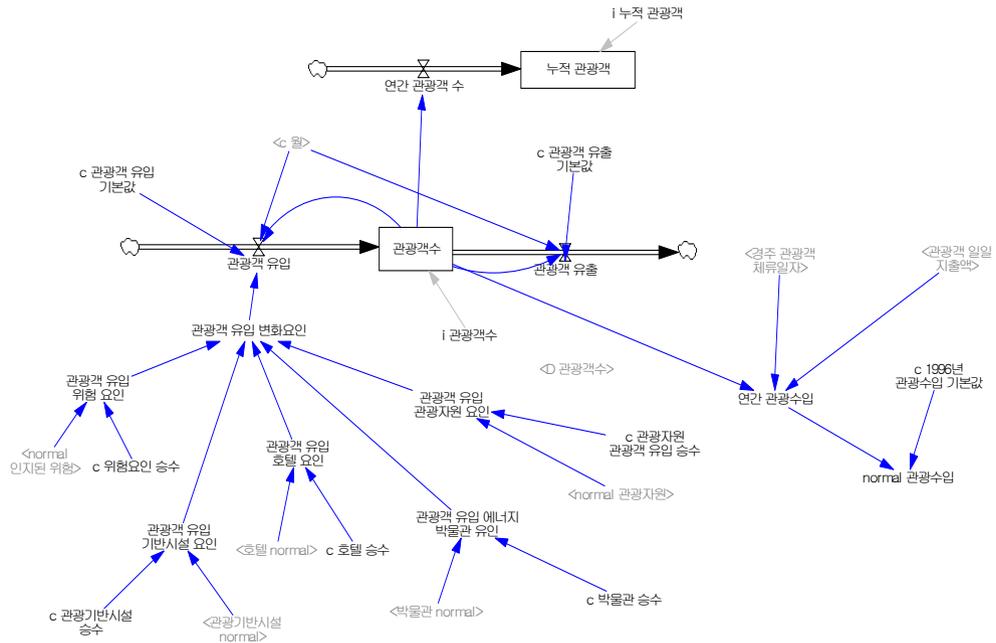
한편, 월성유적지의 개발, 황룡사지 복원, 일정교·월정교의 복원 등의 지역 문화재 복원 사업은 경주시의 관광산업에 기여할 것이다. 경주에 관광을 하러간 이유는 이들 문화재를 감상하기 위함이다. 따라서 [그림 3]은 경주시의 사적 및 명승지 저장(stock)을 모델링하여 관광객 체류일자와 관광객지출에 영향을 미치는 것으로 모델링하였다. 결국, 중저준위 폐기물 처분장 입지로 인한 영향이 경주에 오는 관광객의 체류일자와 지출에 영향을 주는 것이며, 근본적으로는 [그림 4]에서 보듯이 경주시의 관광객에도 영향을 미칠 것이다. 물론, 관광을 좌우하는 요인은 여러 가지 일 것이므로 본 연구에서는 문화재 뿐만 아니라, 호텔과 기반시설, 처분장으로 인한 위험요인 등을 고려하였다.



[그림 9] 월성유적 발굴복원 모델



[그림 10] 사적 및 명승지 모델



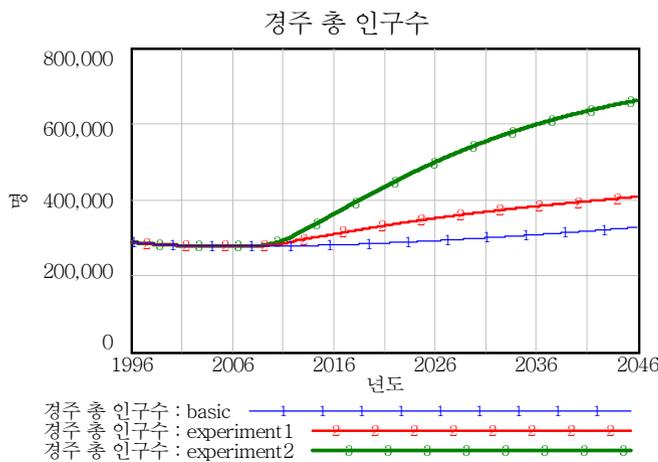
[그림 11] 관광객 모델

3. 시뮬레이션(simulation) 결과

과연 경주시는 처분장 시설을 유치하면서 어떤 변화를 가지게 될까? 먼저 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 살펴보았다. 또한 처분장 시설과 유치지원 프로그램의 시행 자체가 정책적 충격이므로 처분장의 유치여부와 유치지원 프로그램이 지역사회를 변화시키는 정책으로 보고 시뮬레이션을 실시하였다.

1) 경주시 인구의 변화(population)

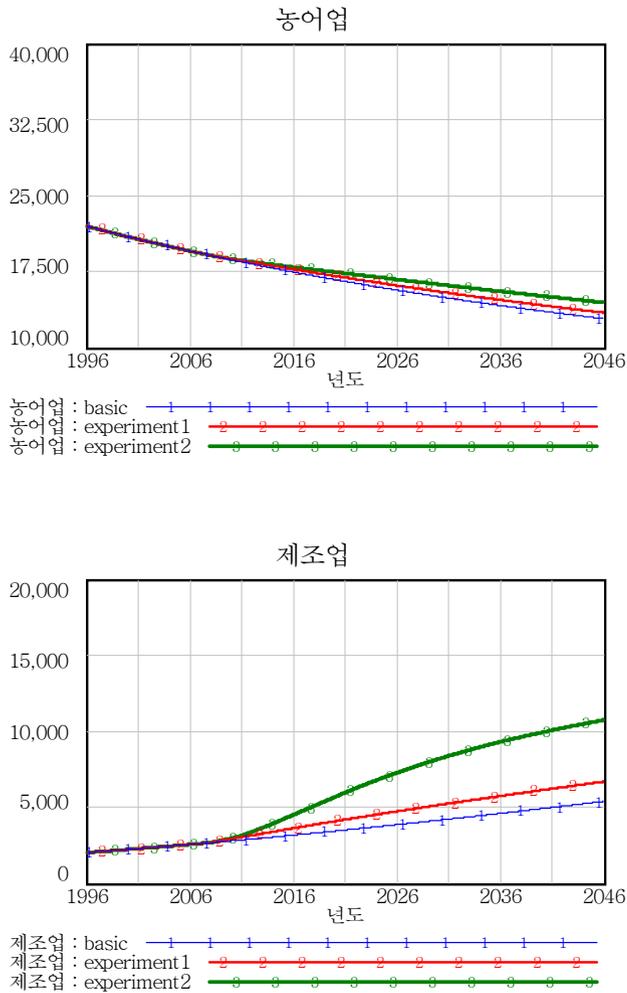
아래의 [그림 5]은 처분시설과 지원 프로그램의 실시에 따라서 변화하는 인구의 행태를 보여주고 있다. 그림에서 1번 선은 처분장이 지역에 미입지 하는 경우의 경주 인구의 변화를 보여주고 있는데, 비교적 변화폭이 적은 것을 알 수 있으며, 2046년에는 32만 7,274명이 될 것으로 예측되었다. 2번 선은 처분장 시설(방사성폐기물처분장, 양성자 가속기, 한수원)만 입지할 경우를 가정한 결과로서 2008년을 기준으로 증가하고 있으며 2046년에 40만, 7,916명이 되었다. 3번 선은 처분장 시설과 지역지원 프로그램이 정부의 계획대로 집행되었을 때의 인구 변동을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 인구는 1번 선과 2번 선에 비해 급격히 증가하고 있었으며, 2046년에는 66만 2,424명이 될 것으로 예측되었다.



[그림 12] 경주 총 인구수의 변화(정책실험)

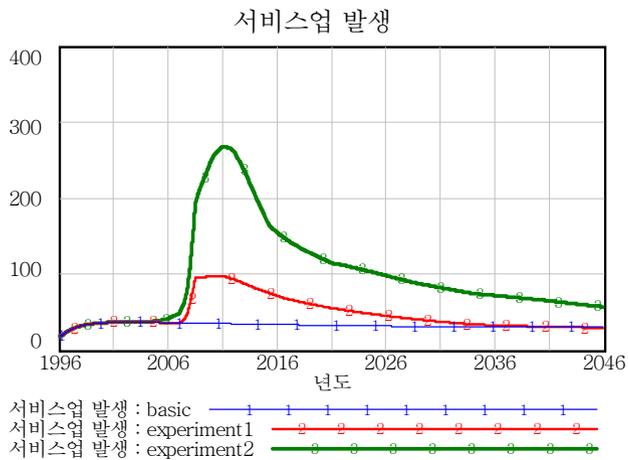
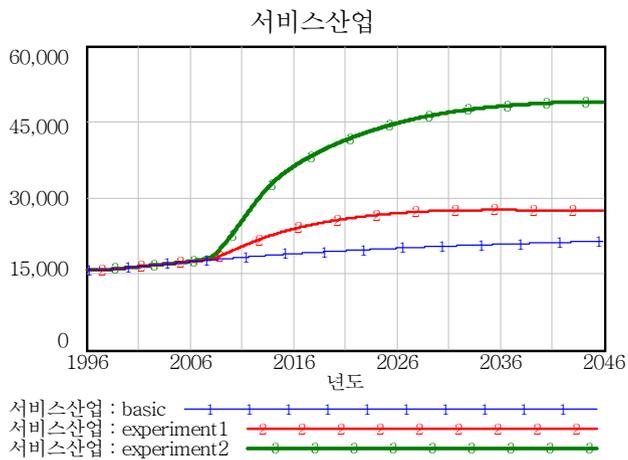
2) 산업, 산업인력 그리고 지역총생산(GRDP)

처분장 시설과 지역지원 프로그램이 시행되면 경주의 경제시스템은 어떻게 반응할까? 자못 흥미로운 예상이라고 할 수 있다. 우선 농어업부터 살펴보자. 아래 [그림 6]에서 말해주는 것처럼, 경주의 농어업의 수는 지속적으로 감소하고 있으며 이러한 추세는 처분장이 입지하거나 지역지원 프로그램이 도입되더라도 큰 변동을 보이고 있지는 않다. 다만, 감소 추세가 약간 둔화될 것으로 보인다. 1996에 21,971개이었던 농어업 수는 2046년에 1번 선이 12,807개, 2번 선이 13,402개, 3번 선이 14,412개가 될 것으로 예상되었다.



[그림 6] 농어업, 제조업의 변화(정책실험)

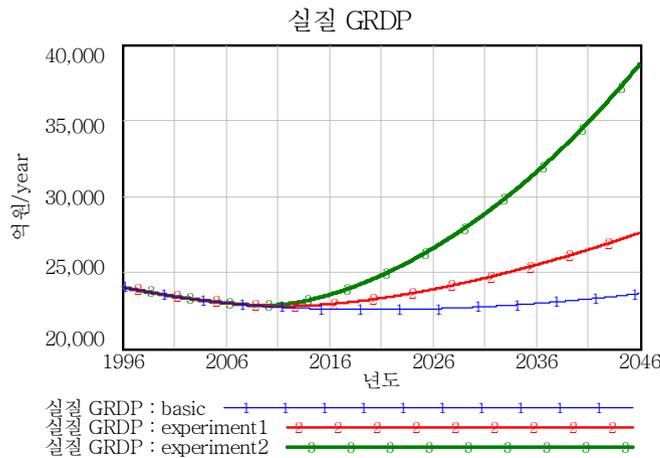
농어업과는 다르게 제조업은 증가추세를 이어가고 있다. 물론, 경주의 제조업은 대부분 소규모의 영세 사업장이지만, 지속적으로 증가하고 있다는 것은 경주의 산업구조가 견고하다는 것을 의미한다. 물론 처분장과 지역지원 사업이 진행되면 제조업의 증가속도는 커지게 되는 이점을 가지게 된다. 1996에 1,988개이었던 제조업 수는 2046년에 1번 선이 5,368개로 증가하였고, 2번 선이 6,674개 그리고, 3번 선이 10,737개로 1996년에 비해 약 5배 정도 증가한 것으로 예측되었다.



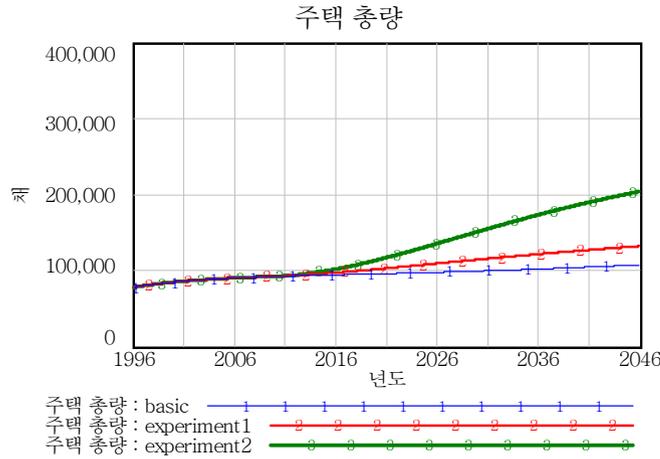
[그림 7] 서비스산업의 변화(정책실험)

서비스업은 제조업보다도 더 처분장 시설의 입지에 영향을 많이 받고 있다. 관광산업을 위시하여 서비스산업이 지역경제의 중추적 역할을 하고 있는 경주에 처분장과 지역지원 사업은 서비스산업의 확대를 통해 지역경제의 발전을 촉진할 수 있을 것이라고 사료된다. 1996에 15,613개이었던 서비스업 수는 2046년에 1번 선이 21,400개로 증가하였나 2번 선이 27,565개 그리고 3번 선이 48,977개로 예측되었다.

지금까지 살펴본 지역산업의 변화는 지역총생산(GRDP)으로 연결된다. 아래의 [그림 8]의 오른쪽 그림은 경주시의 실질 지역총생산의 변화를 보여주고 있는데, 처분장 시설과 지역지원 프로그램이 도입되면서 지역총생산도 증가하고 있다. 1996년 2조 4,000억 원이었던 경주시의 실질 지역총생산은 2007년까지 지속적으로 감소하여 2조 2,522억 원까지 줄어들어 2046년에 2조 3,587억 원이 될 것으로 예상되었다. 반면에 처분장 시설만 들어오는 것을 가정한 2번 선은 2046년에 2조 7,584억 원으로 증가하며, 처분장과 지역지원 프로그램이 동시에 시행되는 3번 선은 2046년에 3조 8,698억 원이 될 것으로 예상되었다. 이처럼 지역총생산이 처분장과 지역지원 프로그램이 시행되면서 높아지게 되는 이유는 GRDP 성장요인들이 처분장 관련 사업들로 인해서 상승되었기 때문이다.



[그림 8] 실질 GRDP의 변화(정책실험)

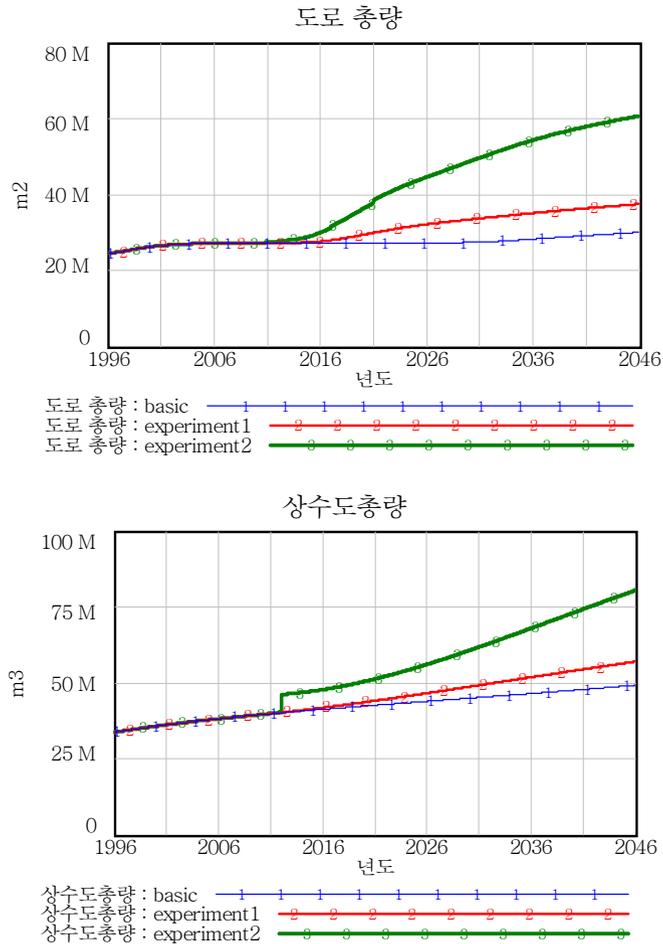


[그림 9] 이용가능 면적과 주택 총량의 변화(정책실험)

SOC에 대한 시뮬레이션은 도로, 상수도, 공원, 사회복지시설 총량의 변화를 보여주는데 초점을 맞추고 있다. 지역지원 사업에서 도로는 5개 사업에서 총 1조 2,944억 원이 3년에서 15년 동안 투자된다. 이처럼 막대한 자금이 도로건설에 투입되면서 도로의 총량은 급격히 확대된다. 아래의 [그림 10]은 도로 부문의 변화를 보여주고 있다.

시뮬레이션 결과, 처분장이 입지하지 않을 경우를 가정한 1번 선은 2046년에는 3,002만 m²가 된다. 한편 처분장 시설만 들어오는 것을 가정한 2번 선은 2046년에 3,748만 m²가 되었다. 그리고 처분장과 지역지원 프로그램이 동시에 시행되는 3번 선은 2046년에 6,070만 m²가 될 것으로 예상되었다. 특히, 지역지원 프로그램에서 도로부문의 사업은 연차적으로 완공되면서 전체 도로량에 포함되는데 이용가능한 도로를 건설하기 위해서는 설계와 같은 준비작업과 건설 그리고 완공의 단계를 거쳐야 한다. 여기에는 건설재원 뿐만 아니라 시간이 소요되기 때문에 계단형의 변동을 보이게 된다.

상수도는 도시의 건전한 유지를 위해서 필수적인 요소로서, 지역지원 사업에서도 상수도 확충에 상당한 투자를 하고 있다. 그 결과, 상수도의 경우에 위의 [그림 10]이 보여주는 것과 같이, 처분장이 입지하지 않을 경우를 가정한 1번 선은 2046년에는 4,920만 m²로 나타났다. 한편 처분장 시설만 들어오는 것을 가정한 2번 선은 2046년에 5,699만 m²가 되었으며, 처분장과 지역지원 프로그램이 동시에 시행되는 3번 선은 2046년에 8,048만 m²로 증가될 것으로 예상되었다.



[그림 10] 도로 총량과 상수도 총량의 변화(정책실험)

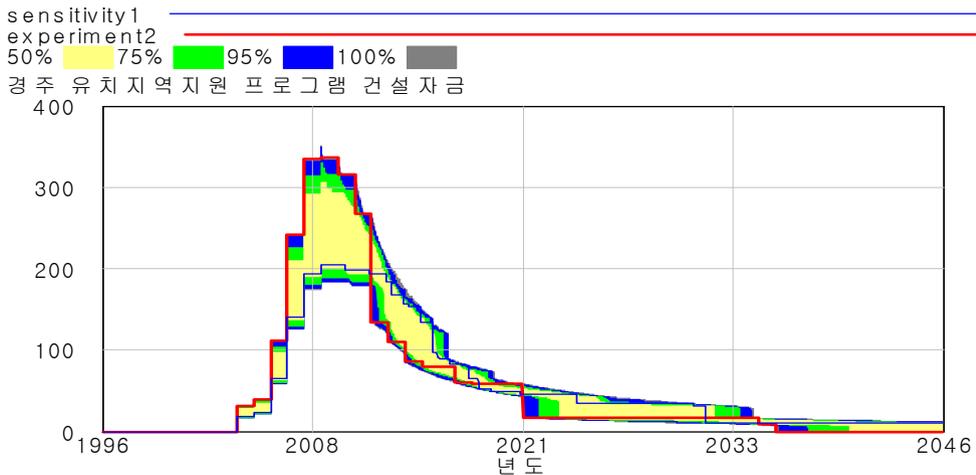
5. 민감도 분석(sensitivity analysis)

지역지원 프로그램들은 막대한 사업비를 포함하고 있으며, 중장기적인 사업들이 대부분이다. 그러므로 국가차원의 재원조달의 영향을 받을 수밖에 없다. 만일, 재원이 마련되지 못함으로써 지원사업이 연기되거나 중간에 포기하게 된다면 경주지역의 인구, 경제, 사회적 측면에 영향을 미칠 것으로 예견할 수 있다. 따라서 민감도 분석을 통해서 지역지원 사업의 불확실성에 따른 영향을 살펴보는 것은 중요한 과업이라고 할 수 있다.

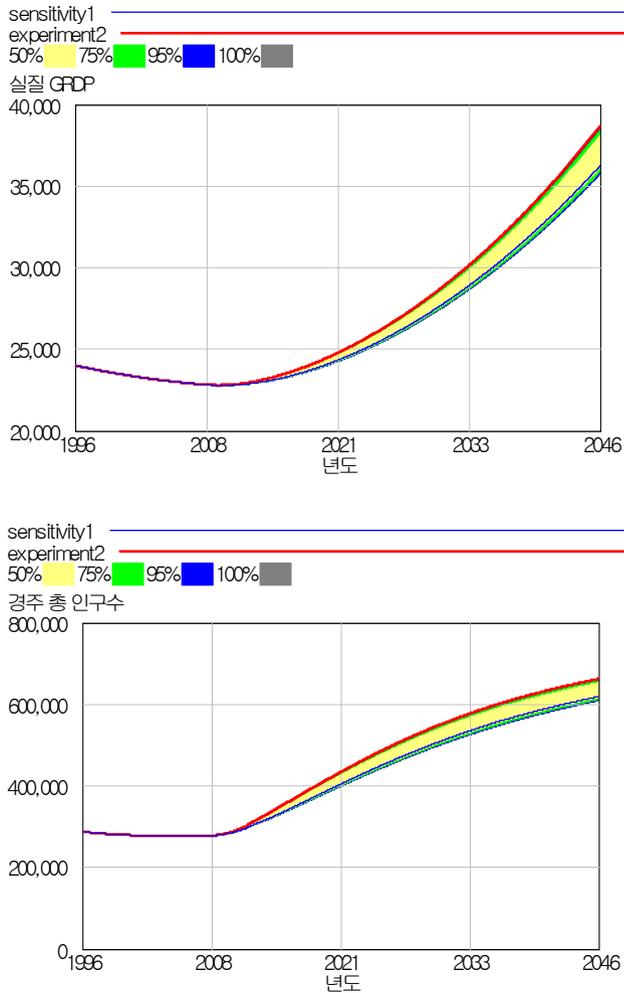
한편, 국가와 경주시의 합의에 의해서 구체적인 지원 프로그램과 재원 규모가 선정되었

으므로 사업이 포기될 것이라고는 생각할 수 없다. 물론, 시뮬레이션 모델링에서는 특정 개별 사업들의 시행여부를 결정하는 장치를 해두었기 때문에, 차후에 발생할 수 있는 사업 중단을 감안할 수는 있다. 그러나 본 민감도 분석에서는 지원 사업 전체가 추진된다는 가정하에서 사업의 불확실성을 ‘사업지연(project delaying)’으로 생각하기로 한다. 즉, 사업의 불확실성이 커지면 커질수록 사업기간이 연장되는 것을 가정하였고, 최대 2배까지 사업기간이 늘어나는 것으로 모델링하였다. 사업 기간이 늘어나면 늘어날수록 월별 소요재원은 감소할 것이다. 예를 들어, 5년간 월평균 10억 원이 투입되는 사업의 경우, 사업기간이 두 배가 되면 10년 동안 월평균 5억 원이 투입되는 것이다. 이와 같은 가정을 두고 민감도 분석을 시행하였다.

아래의 [그림 11]은 지역지원 사업의 불확실성(0에서 100까지)에 따라 나타나는 지역지원 프로그램의 재원이 변화하는 것을 보여주고 있다. 위의 그래프에서 가장 특징적인 것은 두 가지인데, 앞서 설명하였듯이 재원의 사용기간이 2배까지 늘어나는 경우 예정된 시뮬레이션의 기간을 넘어설 것이라는 점과, 재원투입이 몰려있는 2007년부터 2012년까지의 사용재원 규모가 최대 1/2로 줄어든다는 사실이다. 그 결과 2010년에 월 최대금액이 336억 4,500만에서 168억 2,225만원으로 감소하는 것을 알 수 있다.



[그림 11] 지역지원 프로그램 건설자금의 민감도 분석



[그림 12] 경주 GRDP와 인구 민감도 분석

재원투입의 불확실성에 따라 경주시의 GRDP, 인구, 산업체, 인력, 주택, SOC, 관광수입 등은 영향을 받게 된다. 위의 [그림 12]에서 GRDP는 사업기간이 늘어날수록 줄어드는 모습을 보이고 있었다. 또한 사업의 지연은 경주 총 인구에 미치는 영향에 부정적이다. 결국, 불확실성이 커지면서 사업의 기간이 늘어나면 경주인구가 사업의 불확실성이 존재하지 않았을 때보다 감소하게 될 것으로 예측됨을 알 수 있다.

IV. 결론

본 연구는 방사성폐기물처분장의 입지와 더불어 막대한 정책적, 재정적 지원이 가져올 경주 지역의 경제, 사회 구조의 변화 모습을 예측하려는 목적으로 수행되었다. 도시의 생애 주기(life-cycle)로 쇠퇴기에 접어든 경주시에 처분장 건설사업과 더불어 3조 2천억원에 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 인구나 산업을 증가시키고 토지이용을 가속화하며, 주택의 건설을 촉진한다. 또한 막대한 재정적 지원은 사업재원을 확충하고 다시금 지역산업 발전을 촉진시키는 승수효과를 발생시켜 다시금 인구나 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 존재한다. 또한 모델에서는 인구증가와 산업발전에 따른 환경오염과 범죄 같은 부작용에 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.

또한 그럼에도 불구하고, 시스템다이내믹스 모델에서 다수의 '계수(Constant)'들이 존재하고 있어 모델의 불확실성이 근본적으로 존재한다. 물론 이들의 계수에 대해서 과거 10년간의 자료를 토대로 수치적 타당성을 검증하지만, 이들 역시 시스템에서 변동하는 특성을 가질 수 있기 때문에 이에 대한 보완이 지속적으로 필요하다.

【참고문헌】

- 강제상 · 김종래. (1996). 수질규제정책에 대한 정책대상집단의 순응에 관한 연구. 『한국정책학회보』 제5권 2호.
- 과학기술부. (2001). 제2차 원자력진흥종합계획(2002-2006). 서울 : 과학기술부.
- 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.
- 김길수. (1997). 핵폐기물 처분장의 입지선정에 있어서 주민저항의 원인. 『한국정책학회보』 제6권 제1호.
- 김도훈 · 문태훈 · 김동환. (1999). 시스템 다이내믹스. 서울: 대영문화사.
- 김병준. (1985). 정책집행에 있어서 대상집단의 정책관여. 『한국정치학회보』, 제19집.
- 문태훈. (2002). 도시동태모형을 이용한 도시성장관리정책의 평가. 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제3권 2호: 5-27.
- 브루베이커, R. (1989). 합리성의 한계-막스베버의 사회도덕관. 서울: 법문사.
- 산업자원부 · 한국수력원자력(주). (2004). 원자력 발전백서. 서울: 산업자원부. 한국수력원자력(주).
- 오세용 · 여기태 · 이철영. (2001). 항만과 지역 경제간의 동태적 모델에 관한 연구. 『한국 시스템다이내믹스 연구』, 제2권 1호: 29-50.
- 오영민. (2003). 정책수용에 관한 경험적 연구. 서울대학교 석사학위 논문.
- 오영민, 유재국. (2006). 방사성 폐기물 처분장 입지 후 지역 변화 모델 구축. 『한국 시스템다이내믹스 연구』, 제7권 1호: 119-146.
- 이만형 · 최남희. (2004). 그린벨트 해제와 도시 동태성: 대안적 UD 모형을 이용한 그린벨트 정책 분석. 『한국 시스템다이내믹스학회 춘계학술대회 발표 논문』.
- 이종렬. (1995). 핵폐기물처리장 입지선정과 주민갈등-울진사례를 중심으로. 『한국행정학회보』, 제29권 2호.
- 이준범. (2002). 『정책대상집단의 정책불응요인 분석 - 금융소득종합과세 사례를 중심으로』. 서울대학교 석사학위 논문.
- 전주상. (2000). 비선호시설의 입지갈등요인에 관한 연구. 『한국사회와 행정연구』, 제11권 2호.

- 최미옥. (1997). 『핵폐기물처분장 입지선정과정상의 주민반응과 정책수용방안에 관한 경험적 연구』, 국민대학교 박사학위 논문.
- 최연홍. (1998). 핵폐기물 처리시설 입지선정과정의 갈등과 해결: 미국의 경우와 한국에의 시사점. 『한국정책학회보』, 제7권 3호.
- 최연홍. (2006). 미국의 중·저준위 방사성 폐기물 처분장 소재. 『지방정부와 도시』, 276호.
- 최연홍·정경상. (2003). 신행정수도의 도시계획. 『한국자치행정연구집』, 제3호: 83-115.
- 최연홍·오영민. (2005). 지방 오피니언 리더의 정책 수용성 연구. 『한국정책학회보』, 제 14권 4호.
- 최연홍·오영민. (2004). 정책수용성의 시간적 변화. 『한국정책학회보』, 제13권 1호.
- Anderson, J. E. (1984). Public Policy Making, 3rd ed. Holt Rinehart and Winston.
- Anderson, Virginia., Johnson Lauren. (1997). Systems Thinking Basic, MA: Pegasus Communication, Inc.
- Cobb, Roger and Ross, Jennie-Keith and Ross, Marc. (1976). “Agenda Building as a Comparative Political Process.”. APSR. March.
- Coombs, F. S. (1981). “The Base of Noncompliance with a Policy” in John G. Grumm and Stephen L. Wasby(eds). The Analysis of Policy Impact. Lexington: Health.
- Coyle, R. G. (1996), System Dynamics Modelling, Florida: Chapman & Hall/CRC.
- Estering, Douglas. (1992). “Fair Rule for Siting High-Level Nuclear Waste Repository.” Journal of Policy Analysis and Management. 11(3) : 442-475.
- 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.
- Gervers, John H. (1987). “The NYMBY Syndrome: Is It Inevitable?”. Environment. 29: 18-29.
- Gharajedaghi, Jamshid. (1999). System Thinking : Managing Chaos and Complexity, MA: Butterworth Heinemann.
- James P. Lester. Ann O’M Bowman, Malcolm L. Goggin, and Laurence J. O’Toole Jr. (1987). “Public Policy Implementation : Evolution of the Field and Agenda for Future Research.” Policy Studies Review. Vol. 7. No 11.
- Lindblom, Charles. (1959). “The Science of Muddling Through.”, Public Administrative Review. Vol. 19. Spring.

- Mass, Nathaniel J. (1974). Readings in Urban Dynamics : Volume 1, MA: Wright-Allen Press, Inc.
- Mazmanian, Diniel and Morell. (1990). "The NYMBY's Syndrome: Facility Siting and the Failure of Democratic Discourse." in Norman J. Vig and Michael eds. Environmental policy in the 1990s. Washington D. C. : C. Q. Press, 1997.
- O. R. Young. (1979). Compliance and Public Authority, Baltimore : The Johns Hopkins University Press. pp.4-5.
- 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.

산업자원부 원자력산업국 데이터 베이스. <http://www.nuclearplaza.go.kr>

산업자원부 에너지산업국. http://energyi.mocie.go.kr/policy/policy_main.shtml

서울대학교 원자핵공학과. <http://plaza.snu.ac.kr/~nucleng>

전력연구원. <http://www.kepri.re.kr>

한국수력원자력(주), 원자력환경기술원. <http://www.knetec.com>

한국원자력 문화재단 데이터 베이스. http://www.okaea.or.kr/nucle_pds2

한국원자력 안전기술원. <http://www.kins.re.kr>

한국원자력 연구소. <http://kis21.kaeri.re.kr>