'2000 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

시스템 역학을 이용한 원자력정책 모델 개발

Application of System Dynamics on Nuclear Policy Model

안남성, 김재천, 김대웅, 강신철

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

원자력 정책의 합리적 예측과 정책결정에 영향을 받는 원자력 변수들의 정량적 분석을 위하여 시스템 역학을 이용한 원자력 정책 결정 모델(SIMNEP: Simulator for Nuclear Energy Policy)을 개발하였다. 분석한 여러 가지 사례중 두 가지 사례를 제시하고자 한다. 첫 번째 사례는 국제적 규모의 원자력 사건이 발생했을때 정부의 지지도 변화를 분석하였다. 지식계층의 지지도는 정부의 지지도 변화에 가장 중요하게 작용하는 인자였으며 이는 지식계층의 인지도의 지연시간(Delay) 때문임이 분석되었다. 두 번째 사례는 원자력 정책과 관련하여 국제적 협력, 여기서는 특히 ASIATOM과 관련하여 우리의 정책에 대해 효과적으로 미국정부의 지지도를 얻는 방법을 분석하였다. 우리나라의 원자력 정책을 위하여 미국을 포함한 외국 인자들에 기울인 설득 작업은 미국의 지지도에 단기적인 영향을 미치다가 사라지는 반면 국내 인자들에 기울인 설득 작업의 효과는 외국인자들보다 훨씬 장기적인 영향력을 가지고 있으며 그 절대량도 크다는 사실이 분석되었다. 한편, 미국과 심각한 외교적 분쟁을 피하면서 우리의 요구를 합리적으로 설득시키는 과정에서 발생하는 적당한 외교적 분쟁 및 마찰은 우리나라의 원자력 정책을 실현시키는데 더욱 효과적일 수 있음이 분석되었다.

Abstract

A system dynamics model for a nuclear energy policy in Korea (SIMNEP) was developed to analyze the Korea nuclear system and to predict the influence of the nuclear energy policy in the future. Two cases were analyzed using SIMNEP. The first case is to see the effect of the occurrence of severe nuclear accident in foreign country on the Korean government support. In the beginning, the Korean government support drops but jump up to the higher value than normal support due to the intelligentsia support influenced by the delay time of perception. Then, the national government support converges to the normal support. This turns out that the intelligentsia support plays a major role in increasing the government support. The second case is to see the effect of prior efforts on the foreign factors and/or on domestic factors on the U.S. government support. In the short term, effort on the U.S. government is more effective to increase U.S. government support but in the long term (about after 5 years),

efforts on the domestic factors influence on the U.S. government support more than efforts on the foreign factors. The Korean government counter reaction among the influencing factors on the U.S. government support plays a major role to explain this result.

서 론

원자력 정책은 일단 그 방향이 결정되면 그에 따라 막대한 자금이 소요되고, 진행과정에서 국내 경제와 산업계에 커다란 영향을 미치게 된다. 또한 원자력 정책은 정치적, 군사적으로 매우 민감한 사항이어서 심각한 외교적 분쟁을 일으킬 수 있으며 사회적으로는 지역 주민들과 국내 여론의 악화로 기본적인 정책 자체가 위협받기도 한다. 그러므로 정책을 결정하기 전에 충분한 사전 조사와 뚜렷한 국가적 목표를 설정하는 것은 매우 중요하다. 현재 우리나라는 정책을 결정할 때 주로 전문가들의 의견이나 최종 결정자의 직관에 의지하여 정책이 결정되는 예가 많았으며 미래에 대한 국가 전략이 잘못 설정되거나 예측이 잘못되어 커다란 국가적 손실을 입는 경우가 많았다. 본 연구에서는 국제적 역학관계 변수가 고려된 한국의 원자력 정책 시스템을 시스템 역학을 이용하여 모델링하고 이를 바탕으로 원자력 정책 시뮬레이터(SIMNEP)를 개발하였다. 이를 이용하면 결정된 원자력 정책이 향후 어떤 결과를 발생시킬지 정량적으로 분석할 수 있으며 각각 시나리오별로 다른 가정들을 사용함으로써 시행 가능성이 있는 원자력 정책이 향후 시간에 따라 어떻게 변하고 영향받을지에 대한 기본적 통찰력을 정책 결정자가 갖도록 도울 것이다. 이 모델은 원자력 시스템 내에 존재하는 각종 변수들에 대하여 시간에 따른 변화들을 정량적으로 분석할 수 있으므로 발생하리라 예상되는 위험 요소에 대한 사전 대비책을 세우는데 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 시스템 역학 이론을 기초로 모델링하였으며 사용된 언어는 VENSIM DSS이다.

시스템 역학 (System Dynamics) 모델의 개요

시스템 역학은 의사결정분석의 한 분야로 1950년대 말 미국 MIT의 Jay W. Forrester 교수에 의하여 창안되었다. J. W. Forrester 교수는 인간이 관련된 사회시스템에도 제어 공학에서 사용되는 공학적 접근 방법이 적용될 수 있다고 믿었다. 따라서 J. Forrester교수는 전체 사회적 시스템을 구성하는 여러 요소들간의 비선형관계와 이 요소들이 변할 때 나타나는 순환효과(feedback)를 고려하여 중요 요소의 다이나믹스를 정량적으로 표현함으로써 사회 시스템 내의 많은 문제점들에 대한 해결책을 제시하였다. [1]

일반 자연계가 각 요소들을 속도, 유량, 질량 등의 정량적 변수로 표현하여 그 관계를 수학적 관계로 분석하듯이 일반 사회시스템도 구성요소들을 변수로 표현할 수 있다. 만약 이러한 사회적 변수들을 수학적 척도로 나타내고 변수간의 관계를 정량적으로 표시할 수 있다면 해당 시스템을 모델링하여 정책대안에 대한 평가, 미래에 대한 예측 등의 목적으로 사용할 수 있을 것이다. 시스템 역학의 기본개념은 이러한 가정에서 출발하며 전체 시스템을 수많은 부분(Sector)들로 구성하고 각 부문내 세부요소들간의 관계를 과거 경험을 바탕으로 정성적인 모델(Causal Loop Diagram)로 표현하고 난 뒤 요소들을 정량화(Stock and Flow Diagram)하면 한 요소가 시스템 내에 미치는 영향을 시간에 따른 변화로서 살펴볼 수 있게된다. 그리고 이러한 모델작성 과정에는 모델 작성자, 정보보유자, 의사 결정자인 사용자가 함께 참여하게 된다. 시스템 역학은 복잡한 사회 시스템에 존재하는 여러 가지 순환효과(Feedback), 시간지연(Delay) 및 각 변수사이의 비선형 관계(Non-Linear relation)를 분석하고 예측하는데 이용되는 시스템 분석 이론이다.

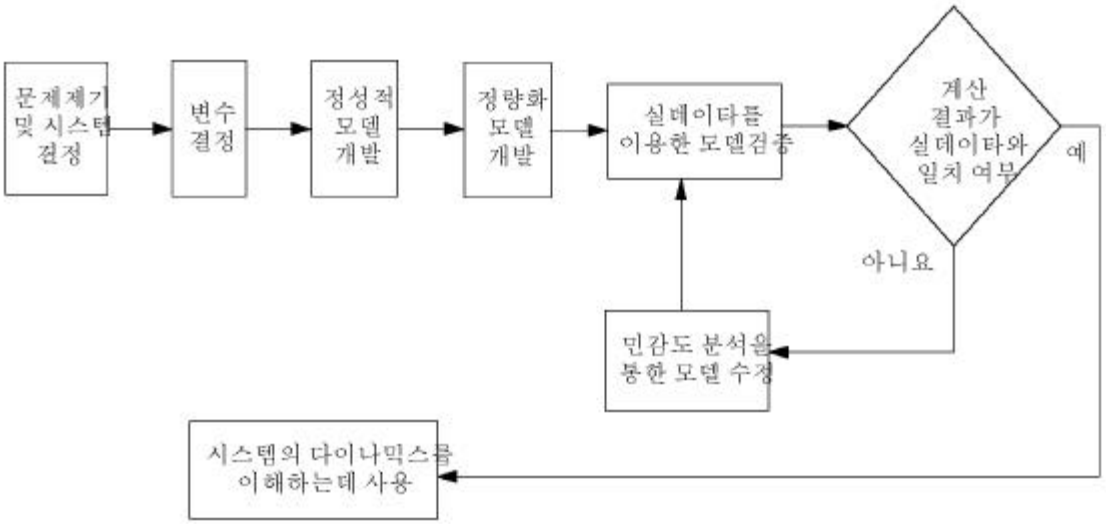

그림 1 시스템 역학 모델 개발 절차

그림 1 은 위에서 설명한 시스템 역학 모델이 작성되는 순서를 보여준다. 이런 모델을 만들기 위해서는 시스템을 이해하기 위한 문헌조사와 관련자들과의 면담이 필수적이다. 이 과정에서 모델 작성자는 시스템을 정의하고 거시적 인과관계 등을 파악할 수 있게된다. [2]

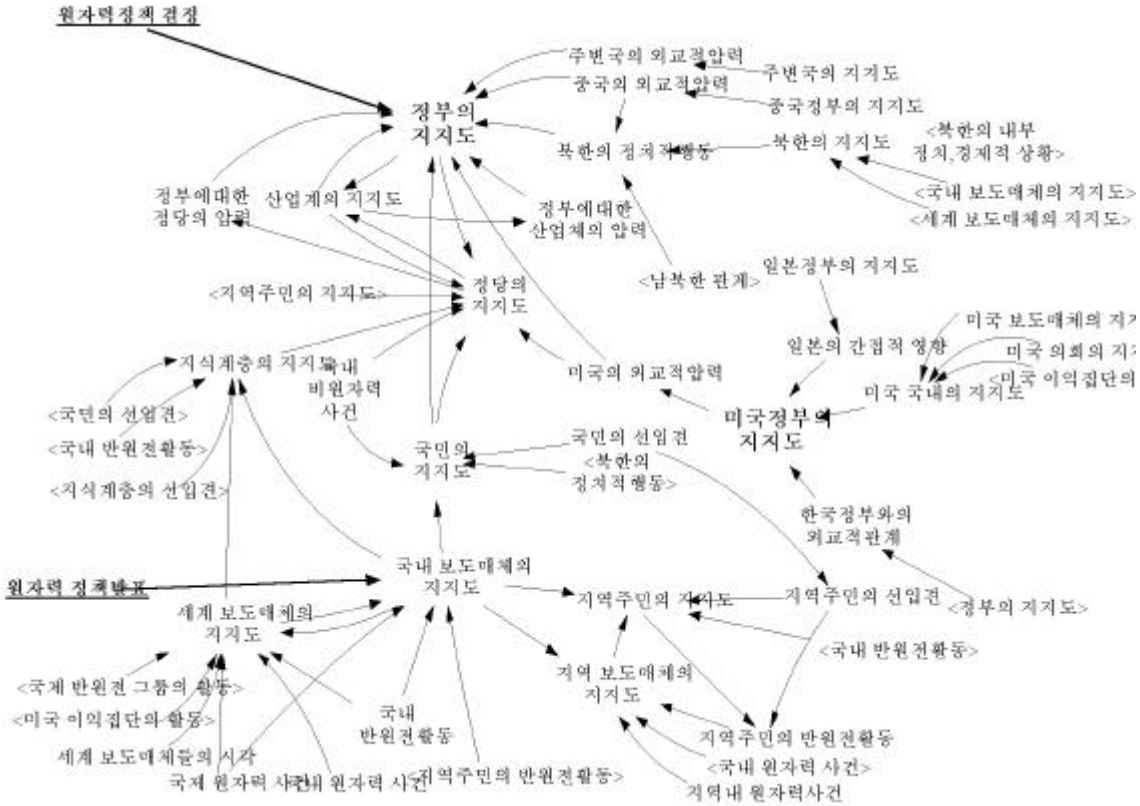

그림 2 원자력 정책 모델의 인과관계도표(Causal Loop Diagram)

그림 2 는 원자력 정책 모델을 각 부문별로 축약하여 전체 시스템의 흐름을 개괄적으로 파악할 수 있도록 나타내 준 그림이다. 그림 2의 좌측상단은 주로 국내적인 인자들을, 우측상단은 외국의 인자들을 그리고 하단은 대중매체나 반원전 그룹에 대하여 나타내고 있다.

원자력 관련 정책 사례연구

1. 해외 원자력 관련 사건이 국내 정부의 지지도에 미치는 영향 분석

원자력 관련 사건의 발생은 최근 인도와 파키스탄 지역의 핵실험 논란처럼 원자력 시스템에 부정적인 영향을 줄 수 있는 각종 사건이나 사고들을 의미한다. 사건의 강도는 매우 심각한 원자력 관련 사건(very strong event)이 발생했을 경우와 정도가 약한 원자력 사건(mild event)이 발생했을 경우 두 가지를 예로 들었다. NoPolicy는 정책발표도 없고 정책수립을 위한 노력도 없는 상태에서의 정부의 지지도를 의미한다. 현재 원자력 정책에 대한 정부의 지지도는 약간 긍정적이라고 가정하고 있다. 정부의 지지도는 가장 높을 때 10, 가장 낮을 때 -10을 갖는다. Strong International Event without Policy는 국제적으로 심각한 영향을 줄 수 있는 원자력 관련 사건이 1999년 6월15일에 발생했다고 가정한다. 정부의 지지도에 영향을 미치는 요소들은 외교적 압력, 정부가 생각하는 산업계 또는 대중의 지지도, 정치적 압력 그리고 지식인층의 지지도 등이 있다.

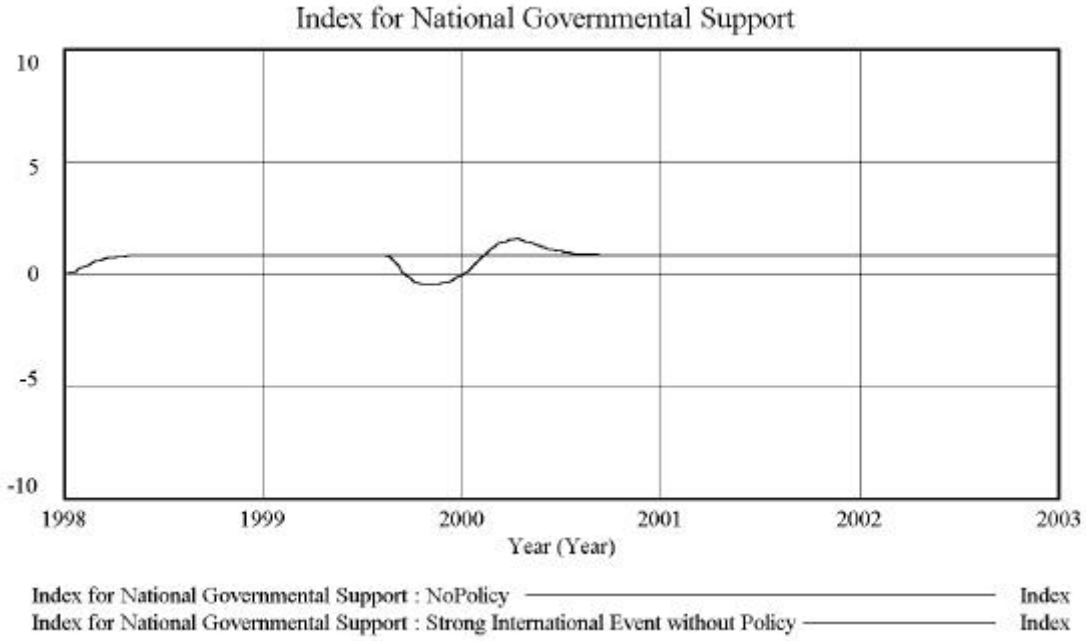

그림 3 큰 사건이 발생했을 경우 정부의 지지도의 변화

그림 3 은 국제적 규모의 원자력 사건이 발생하였을 때 정부 지지도의 변화를 나타내고 있다. 지식계층의 지지도를 제외한 다른 요소들은 대중의 여론에 민감하게 반응하므로 사건이 발생한 직후 급격히 부정적인 성향을 보이다가 시간이 지남에 따라 급격하게 반대의 강도가 약해지게 된다. 이는 대중이 사건에 대해 기억할 수 있는 시간(decay time)이 매우 짧기 때문인데 특히 원자력과 같이 전문용어나 기술적인 이해를 요구하는 분야일수록 대중의 망각속도는 다른 중요한 사건들에 의해 쉽게 잊혀지는 성질을 가지고 있다. 원자력 관련 사건은 시간이 진행될수록 사건자체에 대한 기억이 희미해지므로 그에 따라 정부의 지지도도 원래와 같은 수준으로 회복되게 된다.

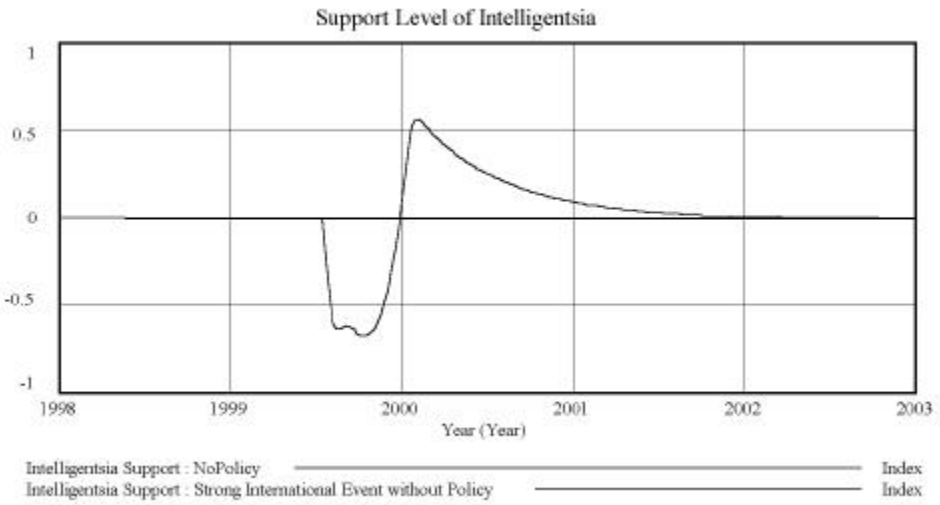

그림 4 지식계층의 지지도의 변화

지식계층의 지지도(Intelligentsia Support)는 그림 4 와같이 사건직후 지지도가 감소하다가 다시 빠른 속도로 원래의 지지도를 초과해 긍정적인 성향을 나타낸다. 그후 시간이 지남에 따라 지식계층의 지지도는 최초의 지지도로 안정화된다. 지식계층의 지지도를 제외한 나머지 다른 요소들은 짧은 시간에 정부의 지지도에 많은 영향을 미친 뒤 상대적으로 빨리 사라지는 반면 지식계층의 지지도는 그 변화의 속도가 상대적으로 느리고 일단 정해진 의견은 장기간 변하지 않으므로 정부의 지지도의 결과 추이에 가장 중요한 영향을 미치고 있다.

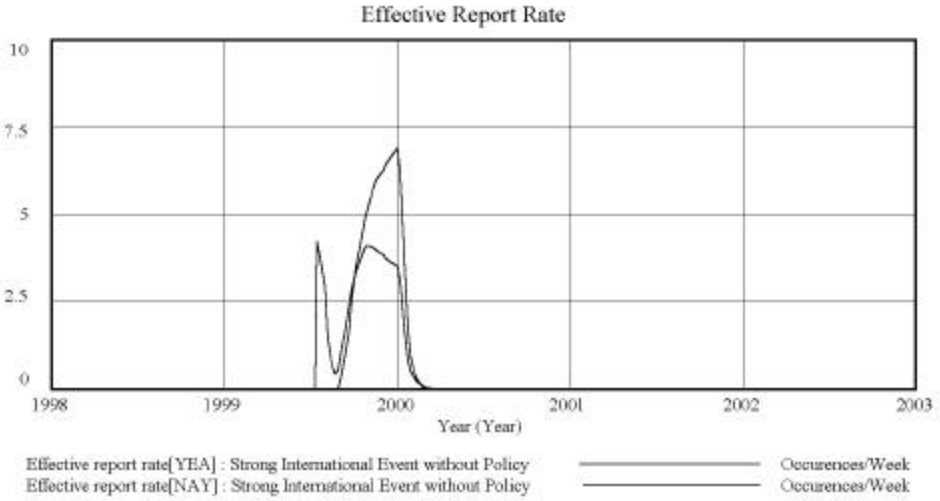

그림 5 큰 사건이 발생한 경우의 보도량(Effective Report Rate)의 변화

지식인층의 태도에 가장 큰 영향을 주는 인자는 각종 보도매체들의 보도량과 보도의 심층도로써 결정된다. 왜냐하면 지식계층은 자신의 의견을 형성하기 위해 주로 보도매체를 이용하기 때문이다. 부정적 사건의 발생후 어느 시점에서부터 정부의 지지도가 비정상적으로 긍정적인 성향을 나타내는 것처럼 보이는데 이는 반원전 그룹의 활동이 원자력 사건의 자극으로 강화되지만 이러한 활동이 오히려 반원전 그룹의 활동에 부정적인 시각을 갖고있는 대부분 우리나라의 대중매체로 하여금 긍정적인 보도를 하도록 자극하기 때문이다. 그림 5 는 이로 인한 긍정적 기사량과 부

정적 기사량의 차이를 나타내고 있으며 이러한 차이는 지식인층의 지지도에 직접적인 영향을 미치게 된다. 시간이 지나면 이러한 사건의 영향은 점차 사라지고 정상상태로 돌아가게 된다.

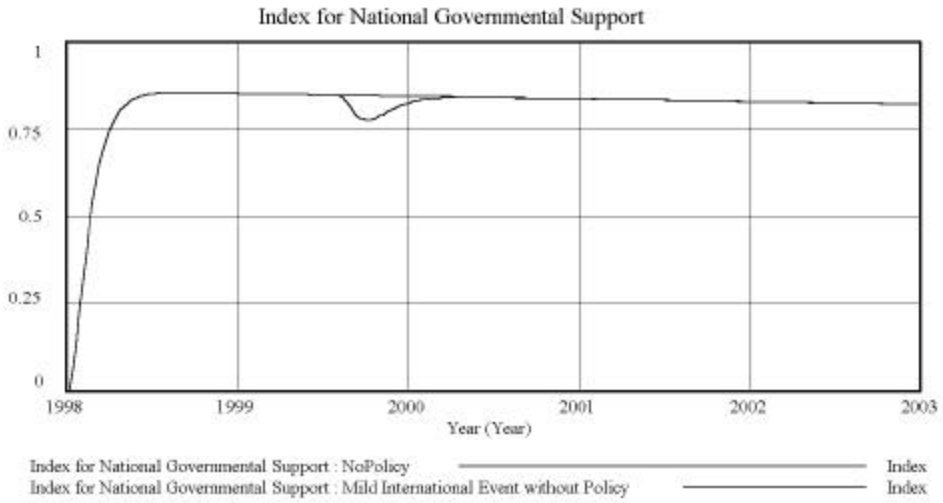

그림 6 적은 규모의 사건이 발생했을 때 정부의 지지도의 변화

그림 6 은 원자력과 관련하여 매우 약한 사건이 발생했다라고 가정하였을 때 정부의 지지도를 나타내고 있다. 만약 국제적으로 큰 화제거리가 될만한 사건이 아닌 경우(Mild event) 정부의 지지도나 지식계층의 지지도는 큰 영향을 받지 않으며 반원전 그룹의 활동도 무시할만하여 보도매체의 보도량에 큰 영향을 주지 못한다.

2. 지역협력체 설립을 위한 접근방법 분석

우리나라의 원자력 정책을 추진하기 위해서는 우리나라의 필요와 더불어 국제 사회의 협력이 반드시 따라야만 한다. 우리나라 원자력 정책의 최고의사결정 기관은 '정부'이지만 원자력 정책을 실현시키기 위해서는 미국의 협조가 상당부분 필요하므로 미국의 협조 및 지지를 얻어낼 수 있는 방법을 유도해 내는 것은 매우 중요하다. 최근 미국과 원자력을 사용하는 아시아 국가들은 사용후 핵연료 처분과 같은 국제적 협력이 필요한 사안을 해결하기 위해 동아시아 지역에 ASIATOM과 같은 지역협력체를 구성하자는 논의가 활발하게 진행되고 있으나 각국의 이해가 서로 복잡하게 얽혀있는 관계로 쉽게 해결책을 찾기 어려운 상태에 있다. 이와 관련하여 지역협력체 구성시 우리의 정책을 반영시키기 위하여 특별히 미국의 지지 및 협조를 얻기 위한 좋은 방안이 무엇인지 분석하였다. 미국의 지지도를 얻기 위한 방법으로 1) 국내 인자들에게 사전노력을 기울였을 경우 2) 외국에 있는 요소(미국측의 인자들 포함)들에 사전노력을 기울였을 경우 3) 양쪽 모두에 사전노력을 기울였을 경우를 가정하였다. 이 세 가지 경우중 미국의 지지도에 가장 긍정적인 영향을 끼치는 시나리오는 무엇이고 그 이유는 무엇인지에 대하여 분석하였다. 일단, 기본적으로 세 번째 경우가 단기간이든 장기간이든 모두 미국의 지지도에는 가장 긍정적인 영향을 미치는 경우가 될 것으로 예상하였다. 시뮬레이션을 위한 가정으로서는 1999년 1월 1일 한국정부는 미국정부의 구상과는 다른 ASIATOM 정책을 발표하였으며 정책 발표 1 년 전부터 한국정부는 미국정부의 원자력정책에 영향을 미치는 인자들에게 사전노력을 기울였다고 가정하였다.

effective US governmental concern은 공식적 혹은 비공식적 사전노력의 영향이 포함된 한국의 원자력 정책에 대한 미국정부의 실질적인 지지도를 의미한다. Best-For는 외국 인자들에게만 사전 노력을 기울였을 때이고 Best-Dom은 국내 인자들에게만 노력을 기울였을 때이고 Best-All은 국내외 모든 인자들에게 사전 노력을 기울였을 경우를 의미한다.

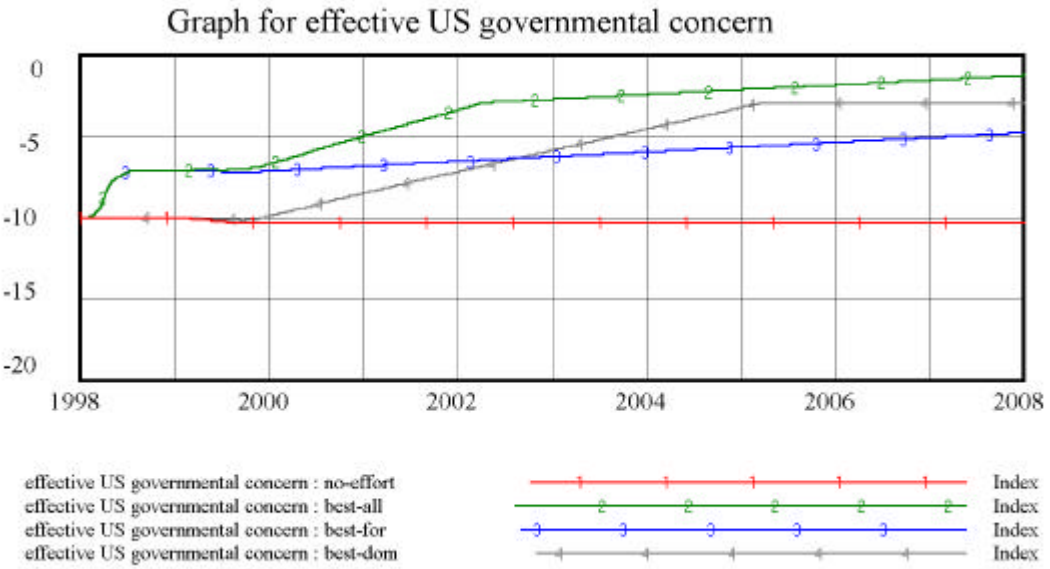

그림 7 사전노력 요소별 미국정부 지지도의 변화

그림 7 에서 미국정부의 지지도는 Best-All의 경우가 가장 높은 것으로 나타났다. 국내인자에 대한 사전노력의 경우 발표전 사전노력 단계부터는 미국정부의 지지도에 별 영향을 끼치지 못하다가 발표후 1 년쯤 지나면 미국정부의 지지도를 크게 상승시킨다. 한편, 외국 인자들은 발표전부터 미국정부의 지지도를 크게 끌어올리다가 발표후에는 영향력이 약화되어 상당 기간동안 매우 적은 영향만을 나타내고 있다. 이런 점에서 국내인자가 장기적으로는 미국정부의 지지도를 끌어올리는데 더욱 중요한 요소임을 발견해낼 수 있다. 한편 외국인자(미국 인자들을 포함해서)들은 주로 단기적으로는 미국정부의 지지도를 끌어내는데 매우 큰 변수로 작용하지만 일단 일정수준이 되면 그 이상 영향력을 발휘할 수 없다는 사실을 알 수 있다.

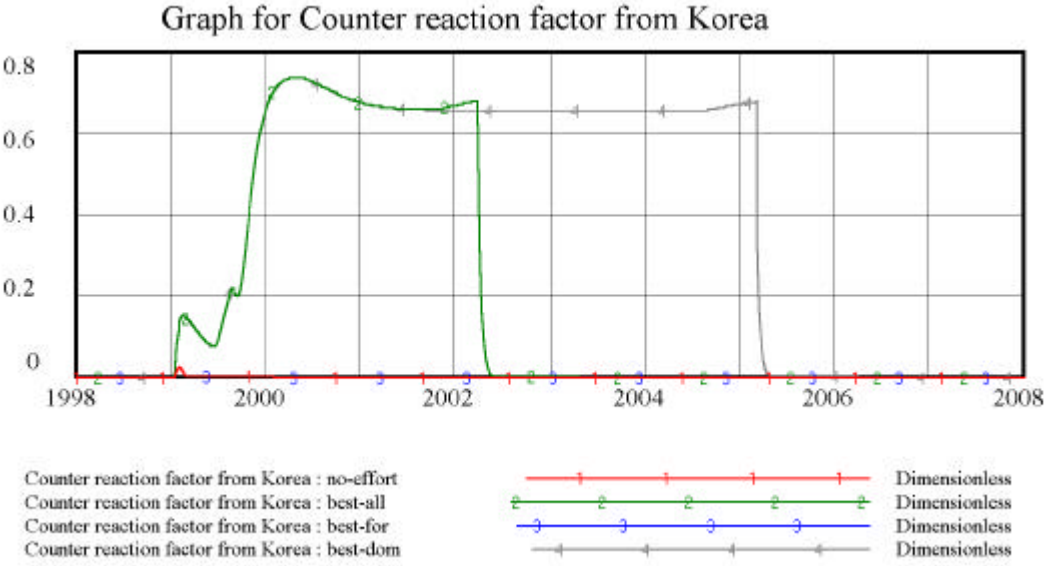

그림 8 미국정부의 외교적 압력에 대한 한국의 외교적 협상 노력

그림 8은 국내 인자들에 대한 노력이 외국 인자들에 비해 시간이 지날수록 미국정부의 지지도에 왜 더 긍정적인 영향을 미치는지 설명하고 있다. 미국정부의 우리 원자력 정책에 대한 지지도

는 미국 국내에서 발생하는 지지도, 한국의 외교적 노력, 일본의 간접적 영향력 그리고 미국정부에 대한 사전 설득작업의 효과를 함께 고려하고 있다. 이 중 한국의 외교적 노력의 양(그림 8에서 Counter reaction factor from Korea)은 어떤 원자력 정책에 대해 한·미 양국 정부간에 의견차이가 있을 때 한·미 양국사이에 외교적 협상이 시작되고 이로 인해 미국정부의 지지도는 긍정적인 영향을 받는다. 양국 정부의 지지도가 차이가 있을 때는 한국의 외교적 협상이 활발히 진행되지만 의견차이가 줄어들면 양국간에 외교적 마찰이 줄게되므로 한국의 외교적 노력은 급속히 감소한다.

미국정부의 지지도는 당연히 모든 부문에서 사전노력을 기울이는 Best-All의 경우가 가장 좋은 효과를 나타낸다. 하지만 우리가 취할 수 있는 자원이 한정되어 있다는 점을 감안하여 최소의 자원으로 미국정부의 지지도를 얻을 수 있는 방안은 미국정부를 직접 설득하는 단기적인 방법보다 우리정책에대한 논리를 개발하기 위해 국내 인자들에 대한 사전 노력을 기울여 이들의 효과가 한국정부의 외교적 협상노력에 반영되면 장기적으로 더 좋은 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

결 론

원자력 정책은 인자들간에 복잡한 비선형적 관계가 존재하고 인자들간에 무수한 상호작용(Feed Back)이 존재하므로 그 결과를 미리 예측하기가 쉽지 않다. 이상에서 살펴본 바와 같이 우리는 시스템 역학 모델을 이용하여 미처 예측치 못한 원자력 시스템에 대한 통찰력을 얻을 수 있었다. 원자력 정책은 결정에 따른 경제적 규모와 그 영향력이 막대하므로 초기부터 철저하고도 합리적인 정책결정이 이루어져야 하며 이런 의미에서 원자력 정책의 시스템 역학 모델 개발은 정량적 분석이 주는 의미보다는 정책 입안자가 정책을 수행할 때에 적절한 통찰력과 시스템에 대한 분석적 식견을 제공함으로써 올바르고 합리적인 판단을 내릴 수 있도록 돕는데 그 의의가 있다.

한국의 원자력 정책은 아직까지는 미국을 비롯한 선진국들의 국제적 협력 없이는 적절한 수행이 매우 어려운 상황이다. 하지만 미국의 정책 인자들을 포함한 외국 인자들에 비해 국내의 정당들, 우리 국민의 지지도, 지식계층의 지지도, 국내의 대중매체 등과 같은 국내 인자들의 비중이 적지 않은 것으로 평가되었으므로 장기적인 관점에서 국내 인자들에 대한 연구 및 사전노력이 필요하다. 또한 합리적이고 논리적인 수준에서 미국과의 적절한 외교적 협상을 통하여 우리의 원자력 정책을 실현하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다 .

Reference

1. Jay W. Forrester, "Industrial Dynamics," 1961
2. A. Wade Blackman, "The Use of Dynamic Modeling for Conditional Forecasts of Resource Allocation Policies : Managerial Applications of System Dynamics", 1978, p. 355
3. 이영일, 박상덕, “원전연료주기 사업추진을 위한 기반조성 연구”, KEPRI TM.96NJ16.97.248, 1997
4. 김재천, 이의종, 박상덕, “원전연료주기 사업추진의 정량적 모델”, KEPRI TM.96NJ16.P1988.237, 1998