

## 인과지도의 시뮬레이션 방법론: NUMBER

김동환

(중앙대학교 공공정책학부 조교수: [sddhkim@cau.ac.kr](mailto:sddhkim@cau.ac.kr))



# 인과지도의 시뮬레이션 방법론: NUMBER

김동환 (중앙대학교 공공정책학부 조교수: [sddhkim@cau.ac.kr](mailto:sddhkim@cau.ac.kr))

## 요약문

시스템 다이내믹스 모델링은 시스템의 인과 구조를 파악하기 위한 인과지도 분석과 인과 구조를 시뮬레이션하기 위한 저장/유량 모델링으로 이분화된다고 할 수 있다. 일반적으로 시스템 다이내믹스 모델링에서 인과지도는 저장/유량 모델링의 기반이 되어 왔다. 그러나 인과지도가 지나치게 추상화되어 있는 경우, 인과지도로부터 저장/유량 모델을 구축하는 것은 상당히 어려운 작업이었다. 특히 정책결정자의 주관을 표현한 인지지도를 저장/유량 모델로 전환하는데에는 연구자의 주관이 첨가됨으로써 인지지도의 특성을 상실시킬 위험이 있었다. 본 논문에서는 인지지도 또는 추상적인 인과지도를 저장/유량 모델로 전환시키는 방법으로써 NUMBER(Normalized Unit Modelling By Elementary Relationships)에 관하여 논의하고자 한다. 본 논문에서 제안된 NUMBER 방법을 활용하여 김대중 대통령의 금융위기 극복 정책에 관한 인지지도를 저장/유량 모델로 전환하여 시뮬레이션하여 봄으로써, 연구자의 주관을 최소화하면서 정책결정자의 인지지도나 추상적인 인과지도를 간편하게 저장/유량 모델로 전환시켜 그 동태적 행태를 분석할 수 있다는 점을 제안하고자 한다.

## I. 인지지도 및 추상적 인과지도의 한계

시스템(system)에 대한 이해는 그 구조(structure)에 대한 이해와 행태(behavior)에 대한 이해로 구성된다. 그리고 시스템의 구조로부터 어떠한 행태가 발생하는가를 이해함으로써 그리고 시스템의 행태로 인해 시스템의 구조가 어떻게 변화되는지를 이해함으로써 시스템에 대한 이해는 완성된다. '시스템 다이내믹스(system dynamics)'라는 용어에서 전자의 시스템은 구조를 지칭하며, 후자의 다이내믹스는 동태적인 행태를 지칭한다. 시스템 다이내믹스는 시스템의 구조와 시스템의 행태간의 상호 관련성을 연구하는 학문 체계라고 할 수 있다.

시스템 다이내믹스에 있어서 시스템의 구조와 행태를 연결시키는 전통적인 분석도구는

시뮬레이션 모델이다. 이는 일반적으로 저장/유량(stock/flow) 모델로 불리운다. 복잡한 시스템에 있어서 구조로부터 행태를 추론하는 것은 인간의 직관이나 수리적 방법론으로는 불가능하며, 따라서 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 사용할 수 밖에 없기 때문이다 (Sterman 1991). 그러나 최근 시스템의 구조에 초점을 두는 연구방법으로써 인과지도와 인지지도에 의존한 분석이 주목을 얻고 있다.

인과지도(causal map)는 1950 년대에 발생한 시스템 다이내믹스(system dynamics)의 연구방법의 일부로 활용되어 왔다 (Forrester 1961, Richardson 1991; Wolstenholme 1990). 즉, 시스템 다이내믹스의 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 수행하기 전에 모델의 대상이 되는 시스템의 구조적 특성을 체계적으로 분석하는 방법론으로써 인과지도가 사용되어 왔다. 이후 Robert Axelrod 는 1970 년대에 인과지도와 유사한 '인지지도 분석(cognitive map analysis)' 방법을 개발하여 정책 분석에 활용하였다 (Axelrod 1976). 인과지도가 연구자의 관찰과 경험적 지식에 기초하여 시스템의 객관적인 인과관계를 포착하고자 하였다면, 인지지도는 정책 결정자의 어록을 분석함으로써 정책결정자가 인식하고 있는 인과관계를 포착하는데 초점을 기울였다. 따라서 인지지도는 정책 결정자의 정책에 대한 인식을 분석하는 방법론으로써 활용되어 왔다 (Bonham & Shapiro 1986, Eden 1988, Maoz 1990, Bonham, Sergeev & Parshin, 1997).

전통적으로 인지지도(cognitive map)와 인과지도(causal map)는 거의 동일한 기호체계를 지니고 있다. 양자 모두 시스템의 인과 관계라는 구조에 초점을 둔다는 점에서 동일하며, 이들을 화살표와 +, - 기호로 표현한다는 점에서도 동일하다. 다만, 인지지도는 시스템에 대한 정책결정자의 인식에 초점을 두는 반면, 인과지도는 시스템에 대한 연구자 자신의 인식을 중시한다는 점 그리고 인과지도는 피드백 루프라는 구조에 초점을 둔다는 점에서 상이하다. 그러나 이러한 구분이 엄격한 분리를 의미하지는 않는다. 정책결정자의 인지지도에서도 피드백 루프가 형성되는 경우가 있으며, 인과지도 역시 연구자의 주관적인 인지(인식)에서 자유로울 수 없기 때문이다. 결국 인지지도와 인과지도는 정도의 차이를 지닐 뿐이라고 할 수 있다. 더군다나 최근 인과지도를 시뮬레이션 모델링의 전단계로써 뿐만 아니라 그 자체로써 시스템에 대한 직관적 이해의 도구로 활용할 수 있다는 지적이 제기됨에 따라, 인과지도에 의한 분석은 점점 더 인지지도와 유사해 지고 있다.

그러나 인지지도의 분석은 정책결정자의 인식에 접근하는 대신 분석적 도구들의 적용이 어렵다는 한계를 안고 있다. 정책결정자의 어록에서 발견되는 인과관계들은 대부분 체계화되어 있지 않았으며 추상적인 변수들로 구성되어 있다. 따라서 분석적 도구들을 적용하기

어려웠으며, 인지지도를 컴퓨터상에서 시뮬레이션하려는 시도는 제한적으로만 이루어져 왔다. 결국 인지지도는 시스템의 구조에 대한 정책결정자의 인식만을 표현할 뿐, 그러한 구조로부터 정책결정자가 시스템의 행태를 어떻게 이해하는지를 말하기 어려웠다. 이러한 한계는 추상적인 인과지도에도 적용된다. 추상적인 인과지도를 저장/유량 모델로 전환하여 시뮬레이션 하는 데에도 적지 않은 의구심이 제기되곤 하였다. 오히려 인과지도를 무리하게 저장/유량 모델로 전환하여 시뮬레이션하기 보다는 그 자체로써 시스템의 작동 방식에 대한 직관적인 이해를 구하는 것이 보다 현명할 것이라는 지적이 제기되곤 하였다 (Coyle 1998, 1999). 이와같이 인지지도와 추상적인 인과지도는 시스템에 대한 직관을 제공해 주기는 하지만, 시스템의 동태적 행태에 대해서는 그다지 말해줄 수 없다는 근본적인 한계를 지니고 있다.

이와같은 인지지도 및 추상적인 인과지도의 한계를 극복하기 위하여 본 논문에서는 이들을 어떻게 저장/유량 모델로 전환시킬 수 있는가를 논의하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 인지지도를 시뮬레이션 모델로 전환시킬 수 있는 '기초관계 균등단위 모델링'이라는 방식을 고안하였다. 먼저 본 논문에서는 이 방식의 개요를 설명하고 나서, 김대중 대통령의 인지지도에 기초하여 어떻게 저장/유량 모델을 구성할 수 있는가를 설명하고, 이렇게 구축된 저장/유량 모델의 시뮬레이션 모델의 시뮬레이션을 통하여 김대중 대통령의 인지지도가 어떠한 동태적 특성을 보여주는지를 설명하고자 한다. 본 논문에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하기 위해 사용하는 소프트웨어는 Vensim PLE 이다.

## II. 인지지도의 시뮬레이션 모델링: 기초관계 균등단위 모델링(NUMBER)

인지지도가 어떠한 행태를 보일 것인가를 분석하기 위해서는 이를 컴퓨터 시뮬레이션 모델로 전환시켜야 한다. 그런데 인지지도를 저장/유량 모델로 전환하기 위해서는 몇가지 추가적인 작업이 요구된다 (Coyle 1983). 첫째, 인지지도에 포함된 변수들을 저장(stock)과 유량(flow)으로 구별해 주어야 한다. 저량은 축적되는 변수이며, 유량은 흐르는 변수이다. 예를 들어 댐은 저장이며, 댐으로 유입되는 물이나 방출되는 물은 유량이다. 댐은 시스템의 상태(state)를 기억하는 역할을 하며, 유량은 시스템을 변화(change)시키는 기능을 한다. 기억과 변화는 시스템이 자체적으로 움직이기 위한 가장 기본적인 조건이며, 시스템 다이내믹스에서는 이를 저장과 유량으로 구분하는 것이다. 종종 시스템 다이내믹스 학자들은 유량을 의사결정에 비유하곤 한다. 의사결정은 근본적으로 시스템의 변화와 관련되기 때문이다. 그리고

시스템 다이내믹스에서는 저량을 수준 변수(level variable)라고 부르며, 유량을 변화율 변수(rate variable)라고 부른다. 그리고 변화율 변수가 지나치게 복잡해지는 것을 방지하기 위하여 보조 변수(auxiliary variable)를 첨가한다.

둘째, 인지지도를 저량/유량 모델로 전환시키기 위해서는 구체적인 변수들과 관계성을 첨가시켜야 한다. 일반적으로 인지지도는 추상적인 변수들로 구성되어 있다. 예를 들어 김대중 대통령의 인과지도에서 구조조정, 경기, 투자, 국민불만 등과 같은 변수들은 상당히 추상적이다. 그러나 컴퓨터상에서 시뮬레이션할 수 있는 모델은 구체적일 수 밖에 없다. 따라서 추상적인 변수들을 구체화시킬 수 있도록 구체적인 변수들을 첨가해 주어야 저량/유량 모델을 구성할 수 있다.

셋째, 구체적인 변수들과 관계성들을 첨가하고 나서는 각 변수들의 관계를 수치적으로 정의해 주는 수식(equations)을 첨가해야 한다. 컴퓨터 시뮬레이션이란 어디까지나 수치연산에 기초하는 것이기 때문에 변수들의 인과관계를 수식으로 표현해 주어야 한다. 이는 질적(qualitative) 시뮬레이션이나 퍼지(fuzzy) 시뮬레이션의 경우도 예외가 될 수 없다.

이상과 같은 세가지 단계들중에서 인지지도를 저량/유량 모델로 전환시키는데 가장 큰 장애는 두번째와 세번째 단계이다. 두번째 단계에서 구체적인 변수들을 첨가해야 하는데, 인지지도의 분석 대상인 정책결정자의 어록에서 이들을 모두 발견하는 것은 불가능하다. 또한 세번째 단계에서 변수들간의 관계를 구체화시켜야 하지만, 이에 관한 정보 역시 정책결정자의 어록에서 발견할 수 없는 것이 일반적이다. 따라서 정책결정자의 인지지도를 저량/유량 모델로 전환시키는 과정에서 필연적으로 연구자의 주관적인 판단이 첨가될 수 밖에 없다. 따라서 이렇게 만들어진 저량/유량 모델은 정책결정자의 사고를 반영하였다기 보다는 연구자의 사고를 반영하였다고 평가될 소지가 많다.

이러한 점을 극복하기 위하여 본 연구에서는 연구자의 사고를 가능한 한 배제하면서 정책결정자의 인과지도(인지지도)를 시스템 다이내믹스 모델로 전환시킬 수 있는 방법을 개발하였다. 이는 "기초관계 균등단위 모델링(Normalized Unit Modelling By Elementary Relationship, NUMBER)"이라고 이름 붙일 수 있다. 이는 인지지도(인과지도)의 내용을 그대로 시스템 다이내믹스 모델로 전환시키기 위한 방법이다. 말 그대로 "기초관계 균등단위 모델링"이란 저량(수준변수)과 유량(변화율 변수)간의 관계를 모두 기초적인 관계로 설정짓고, 이들 변수들의 측정단위를 0에서 1까지의 값으로 균등화시키는 것이다.

기초관계 균등단위 모델링 방법은 인지지도를 컴퓨터 시뮬레이션 모델로 전환시키는 작업을 기계화시킨다. 앞서 설명하였듯이 인지지도를 저량/유량 모델로 전환시키는데는 저량/유량의 구분, 구체적 변수의 추가, 수식의 정의라는 세가지 단계가 요구된다. 기초관계 균등단위 모델링은 두번째와 세번째 단계를 기계화시켜 준다. 기초관계 균등단위 모델링 방식은 모델링 작업을 쉽게 하여줄 뿐만 아니라 연구자의 자의적인 주관을 배제시킴으로써 정책결정자의 고유한(original) 사고를 시뮬레이션할 수 있도록 한다. 이로써 연구자는 정책결정자의 동태적 사고가 어떻게 전개될 것인지를 비교적 객관적으로 이해할 수 있다.

기초관계 균등단위 모델링의 첫번째 특징은 모든 변수들의 단위를 0에서 1까지의 값으로 균등화시킨다는 점이다. 즉, 낮은 값을 0에 가깝게 설정하고 높은 값을 1에 가깝게 설정한다. 0과 1은 변수의 최소값과 최대값으로써 그 이하나 그 이상의 값은 존재하지 않는다. 다만, 필요에 따라서는 마이너스 값의 설정이 요구될 때가 있다. 이 때에는 0에서 -1까지의 값으로 한정시킨다.

변수들의 단위를 0에서 1 (혹은 -1에서 1)로 한정시킴으로써 많은 모델링 작업들을 단순화시킬 수 있다. 첫째, 추상적인 변수들을 계산가능한 변수로 전환시킬 수 있다. 예를 들어 '경기'라는 변수의 값을 구체적으로 설정하기는 어렵지만, 경기가 낮은 상태와 높은 상태를 인식할 수는 있다. 이때 많은 변수들의 수리적 조합으로 경기를 표현하지 않고, 단순히 경기의 최대값을 1 최소값을 0으로 설정하여 그 사이에서 (정책결정자가 인식한) 인과관계에 따라 변화하도록 허용한다. 둘째, 변수와 변수간의 관계성을 쉽게 설정할 수 있다. 구체적인 변수들간의 관계성은 비교적 쉽게 설정될 수 있다. 그러나 인지지도나 대부분 추상적인 변수들로 구성된다. 추상적인 변수들간의 관계 또는 추상적인 변수와 구체적인 변수들간의 관계를 설정하기란 상당히 어렵다. 예를 들어 금리가 1% 증가하였을 때 추상적인 개념인 경기가 어느 정도 증가할 것인가를 결정하기란 쉽지 않다. 이때 모든 변수들이 동일한 단위로 정의되어 있다면, 변수들의 관계를 설정하기 용이해 진다. 금리가 증가하면 경기가 감소한다는 인과관계를 그대로 수식으로 정의하되 필요에 따라서 보정계수를 연구자의 판단에 따라 설정해 줄 수 있다.

기초관계 균등단위 모델링의 두번째 특징은 저량(수준변수)과 유량(변화율 변수)간의 모든 관계(구조)들을 기술적으로 동일하게 설정해 준다는 것이다. 저량과 유량은 다양한 관계를 형성할 수 있다 (Richardson & Pugh 1980). 그러나 저량과 유량간에는 일반적인 관계구조

가 존재한다. 기초관계 균등단위 모델링에서는 이러한 일반적인 관계구조를 균등단위를 유지하도록 특화시킨다. 저량과 유량간의 일반적인 관계구조는 그림 1에 표현되어 있다. 그림 1은 기초관계 균등단위 모델링의 기본적인 구성단위(building-block)라고 할 수 있다.

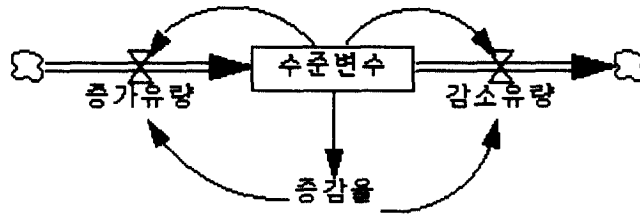


그림 1. 저량과 유량간의 일반적인 관계구조

먼저 그림 1에 표시된 저량/유량간의 관계는 저량과 유량간에 설정가능한 모든 인과관계들로 구성되어 있다. 먼저 증가유량과 감소유량이 있으며, 증가유량과 감소유량은 직접적으로 저량의 영향을 받는다. 또한 저량은 증감율이라는 보조변수를 통하여 다시금 증가유량과 감소유량에 영향을 준다. 여기에서 증감율은 수준변수가 시스템(인과지도)내에서 여타의 변수들에 영향을 주어 다시 증가유량이나 감소유량에 영향을 주는 피드백 관계를 단축시켜 놓은 것이라고 할 수 있다. 실제 인과지도나 시스템 다이내믹스 모델에서는 수준변수가 증감율을 통하여 곧장 증가유량이나 감소유량에 영향을 주기 보다는 다른 수준변수들에 영향을 주고 그 결과가 다시 증가유량이나 감소유량에 투입되는 방식으로 피드백 구조가 형성된다. 그림 1에서 특히 주목해야 할 점은 증가유량과 감소유량 그리고 수준변수간의 관계이다. 이들은 다음과 같은 일반식으로 설정된다.

$$\begin{aligned}
 \text{수준변수} &= \int (\text{증가유량} - \text{감소유량}) \\
 \text{증가유량} &= (1 - \text{수준변수}) \times \text{증감율} \\
 \text{감소유량} &= (\text{수준변수}) \times \text{증감율}
 \end{aligned}$$

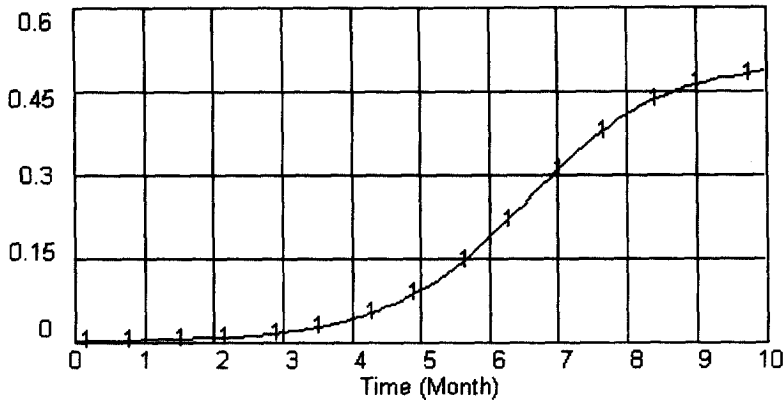
먼저 증가유량과 감소유량의 수식에서 수준변수와 증감율은 모두 0에서 1사이의 값을 갖는 것으로 전제된다. 이때 증가유량은 수준변수의 값이 1에 근접함에 따라서 0에 가까운 값을 갖는다. 반대로 감소유량의 값은 수준변수의 값이 0에 근접함에 따라서 0으로 수렴한다. 결국 수준변수의 값이 1에 근접함에 따라 증가유량은 0에 수렴하고 감소유량은 0과 1사이에서 증가한다. 반대로 수준변수의 값이 0에 근접함에 따라 감소유량은 0에 수렴하고



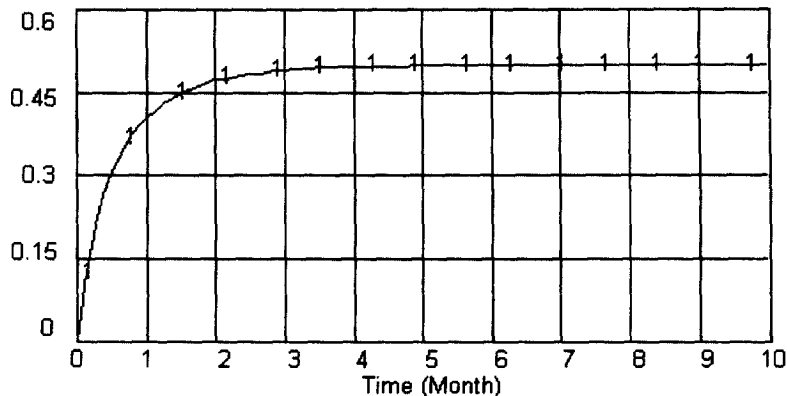
증가유량은 0 과 1 사이의 값에서 증가한다. 결과적으로 수준변수의 값은 증가유량과 감소유량이 어떻게 변화하던지 간에 항상 0 에서 1 사이의 값을 유지하게 된다.

그림 1 의 구조가 어떠한 행태를 보일 것인가는 증감율이 어떠한 값을 갖는가에 의해 결정된다. 다음의 그림 2 는 증감율의 값이 설정되는 방식에 따라 수준변수가 어떻게 변화되는가를 보여주고 있다. 그림 2 의 상단에 위치한 시뮬레이션 결과는 증감율이 수준변수의 값과 동일하게 설정된 경우이다. 이때에는 수준변수와 증감율 그리고 증가유량간에 양의 피드백 루프가 형성된다. 그리고 나머지 세개는 음의 피드백 루프를 형성한다. 이러한 양의 피드백 루프와 음의 피드백 루프간의 상호작용으로 인하여 수준변수의 행태는 S 자 커브를 그리는 Sigmoid 곡선의 모습을 보여 준다. 초기에는 음의 피드백 루프가 지배하다가 중간의 성장기에는 양의 피드백 루프가 지배하고 말기에는 다시 음의 피드백 루프가 지배하는 형국이다 (Richardson 1995). 그림 2 의 하단 결과는 증감율이 수준변수에 역비례하는 경우이다. 이때에는 수준변수와 증감율 그리고 감소유량간에 양의 피드백 루프가 형성된다. 이러한 경우에는 음의 피드백 루프가 지배하면서 수준변수의 값이 급격히 균형점을 향해 수렴하는 양상을 보여준다.

그림 2. 저장/유량간 기초적 관계의 행태  
수준변수 (증감율 = 수준변수)



수준변수 (증감율 = 1 - 수준변수)



그런데 그림 2의 결과는 모두 수준변수가 성장하는 행태를 보여주고 있다. 그러나 그림 1의 피드백 구조가 항상 성장하는 행태를 산출하는 것은 아니다. 그림 2의 시뮬레이션은 수준변수의 초기값을 0에 가까운 값으로 설정하여서 균형점을 향해 성장하는 것처럼 보일 뿐이다. 수준변수의 초기값을 높게 설정하였다면 감소하는 행태를 보여줄 것이다. 그림 3은 수준변수의 초기값을 0.9로 설정하였을 때 어떻게 변화하는지를 보여준다. 이때에는 반대로 균형점을 향하여 수준변수의 값이 감소하는 행태를 보여준다. 그리고 감소하는 행태에서는 위에서와는 반대로 증감율이 수준변수의 값으로 설정되었을 때는 급격한 감소를 보여주며, 증감율이 수준변수와 역비례로 설정되었을 때에는 S자형 커브를 그리면서 감소하는 행태를 보여준다. 이는 수준변수의 값이 작아질 수록 증가유량의 값이 감소유량의 값에 비해 상대적으로 급격히 증가하기 때문이다.

또한 그림 2와 3의 결과에서 주의하여야 할 점은 수준변수가 지향하는 균형점이 항상 고정되어 있는 것은 아니라는 점이다. 이는 증감율이 시스템 내의 다른 변수들과 어떠한 관계를 맺고 있는가에 의해 결정된다. 나아가 수준변수들이 반드시 균형점을 가질 것이라는 보장도 없다. 피드백 관계의 설정에 따라서 어떤 수준변수들은 균형점을 지나지 못하고 지속적인 파동현상을 보여줄 수도 있다. 다만 위에서 설명한 저장/유량간의 기초적인 모델에서만 균형점이 존재할 뿐이다.

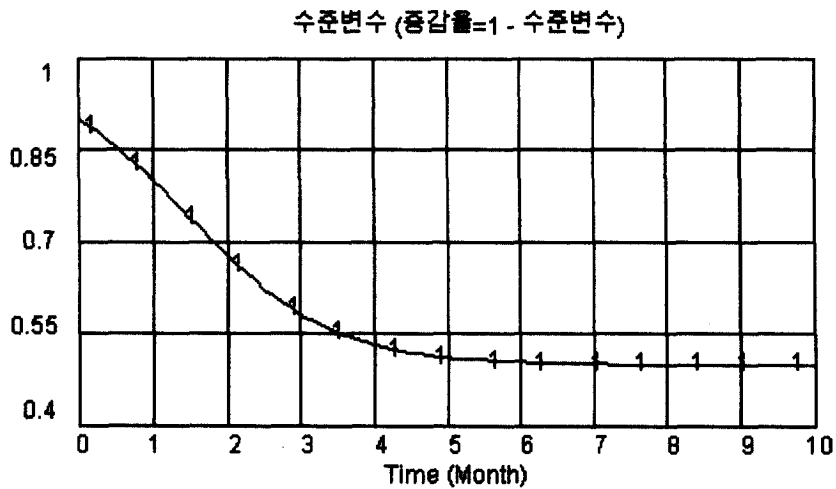
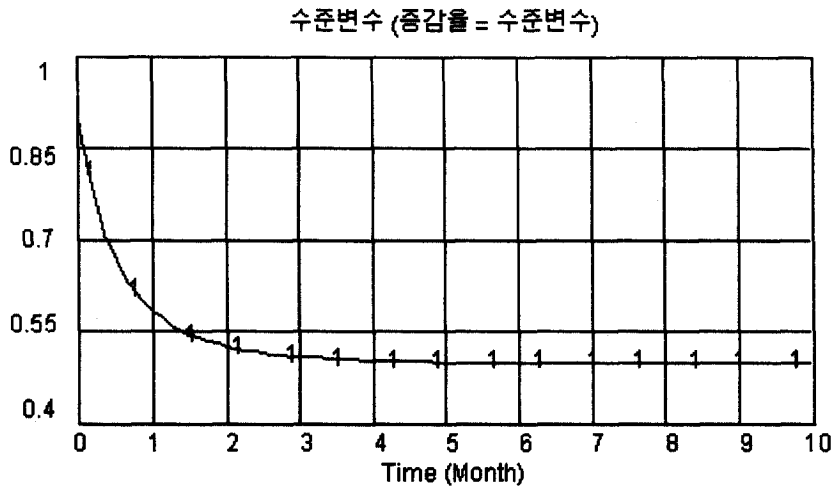


그림 3. 수준변수의 초기값을 높게 설정하였을 때의 행태

이제까지는 증가유량이나 감소유량에 하나의 변수만이 투입되는 경우에 대해서 생각해 보았다. 그런데 여러개의 투입 변수가 존재하는 경우에는 수식의 정의가 까다로워 진다. 여러개의 투입변수들간의 영향력을 어떻게 배분해 줄 것이냐의 문제가 등장하기 때문이다. 그림 4는 여러개의 투입변수가 증가유량에 영향을 미치는 경우에 어떻게 수식을 정의할 수 있는가를 보여주고 있다. 앞서와 마찬가지로 투입변수들은 모두 0에서 1사이의 값을 지니는 것으로 전제된다. 이때에 증가유량은 다음과 같은 방식으로 정의될 수 있다.

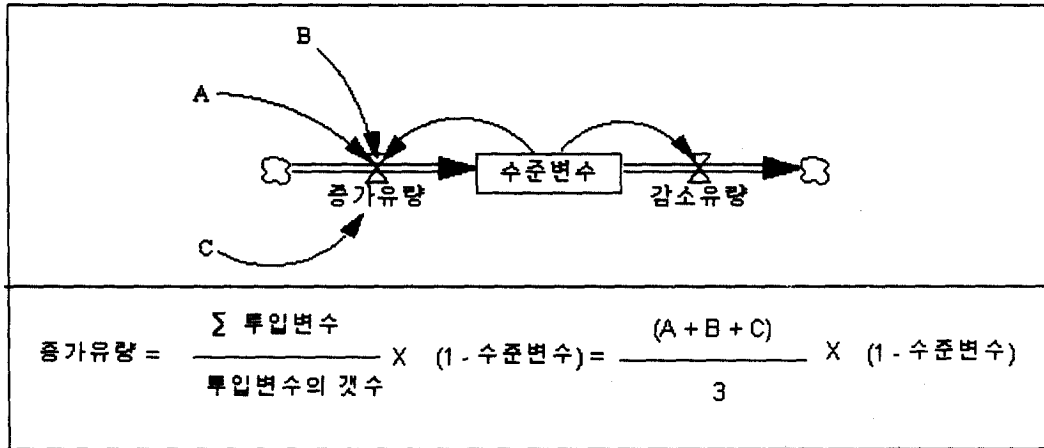


그림 4. 투입변수가 여러개일 경우 유량의 수식 설정 방식

이러한 수식은 모든 투입변수들이 균등하게 증가유량이나 감소유량에 영향을 미친다는 점을 전제로 한 것이다. 그리고 각 투입변수들의 영향력을 평균한 값이 증가유량이나 감소유량의 값을 결정한다는 점을 가정한 것이다. 그런데 투입변수들의 평균값이 중요한 것이 아니라, 각 투입변수의 값이 독립적으로 증가유량이나 감소유량의 값을 결정하는 경우가 있다. 만약 투입변수 각각이 독립적으로 영향을 미친다면 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$\text{증가유량} = \prod \text{투입변수} \times (1 - \text{수준변수}) = A \times B \times C \times (1 - \text{수준변수})$$

이때에는 투입변수중 어느 하나의 값에 의해 다른 투입변수들의 영향력이 결정된다. 즉, A 라는 값이 0 에 가까울 경우, B 나 C 가 1 에 근접하더라도, 전체적으로 증가유량은 0 에 가까운 값으로 결정된다. 이렇게 투입변수들을 곱하는 방식은 투입변수들의 최소값이 유량의 값을 결정할 때 사용하는 것이 바람직하다. 예를 들어 상품의 생산에 소요되는 원료들이 여러가지인 경우 생산되는 상품량은 가장 적게 투입된 원료에 의해 결정된다. 그렇지 않은 경우에는 투입변수들을 평균하는 방식이 바람직할 것으로 생각된다.

이 밖에 기초관계 균등단위 모델링에서는 시스템 다이내믹스 모델링에서 사용되는 다양한 함수들을 사용할 수 있다. 특히 물질적 시간지연을 표현하는 Delay 함수나 정보의 시간지연을 표현하는 Smooth 함수들을 자유롭게 사용할 수 있다. 또한 그래프 함수 또는 참조함수 (Look-Up Function)로 불리는 사용자 정의 함수도 사용할 수 있다. 단 사용자 정의함수를 설정할 때, 변수의 값을 0 에서 1 사이로 정하여야 한다.

### III. 김대중 대통령 인지지도의 시뮬레이션 모델

이상에서 '기초관계 균등단위 모델링(NUMBER)'의 방식에 대하여 간략하게 설명하였다. 기초관계 균등단위 모델링은 김대중 대통령의 인지지도를 컴퓨터 시뮬레이션으로 전환시키는데 필요한 방법론을 제공해 준다. 여기에서는 외환위기의 극복과 관련한 김대중 대통령의 인지지도를 컴퓨터 시뮬레이션으로 전환하여 분석해 봄으로써 김대중 대통령의 인지지도가 어떠한 동태적 행태를 보이는가를 살펴보기로 한다 (외환위기의 극복과 관련한 김대중 대통령의 인지지도에 관하여는 김동환 1999 참조).

그런데 시뮬레이션 분석에 김대중 대통령의 인지지도를 모두 포함시키지는 않았다. 김대중 대통령의 인지지도중에서 정책 딜레마를 유발하는 정책 변수들을 중심으로 하여 모델링을 수행하였다. 언제나 선택되는 민주주의나 언제나 배제되는 규제는 김대중 대통령의 동태적 사고를 이해하는데 그다지 중요하지 않을 것이라고 판단되기 때문이다. 그림 5는 김대중 대통령의 인지지도의 핵심적인 부분을 기초관계 균등단위 모델링의 방식에 근거하여 저장/유량 모델로 전환시킨 것이다.

그림 5의 저장/유량 모델은 김대중 대통령의 인지지도에 기반을 둔 것이다. 단, 김대중 대통령의 인지지도에서 경쟁력, 외환보유고, 외자투자, 국제신임, 실업, 경기 등을 저장(stock)으로 간주하고, 나머지 변수들을 유량 또는 보조변수로 간주하였다. 또한 그림 5에서는 금융권 구조조정과 기업구조조정을 구분하지 않고 구조조정이라는 변수로 통일하였는데, 이는 저장/유량 모델의 불필요한 복잡화를 방지하기 위함이다. 그리고 김대중 대통령의 인지지도에 기반을 두어 '기초관계 균등단위 모델링' 방식을 적용하여 저장/유량 모델을 구축하였다.

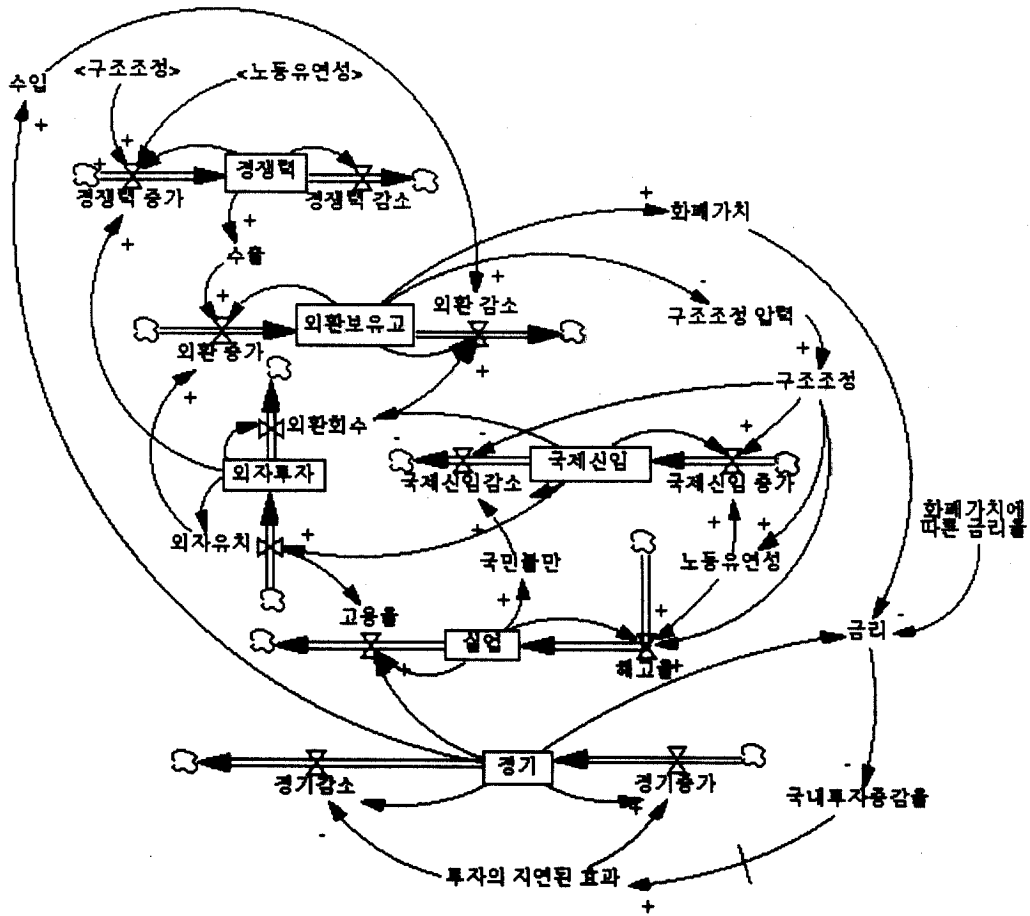


그림 5. 김대중 대통령 인지지도의 시뮬레이션 모델

그림 5의 저장/유량 모델에 관하여 간략하게 개관해 보기로 한다. 먼저 경쟁력이라는 변수는 저장으로 표현되어 있다. 경쟁력의 증가에 영향을 미치는 요인에는 구조조정과 노동유연성의 정도 그리고 외자투자이다. 이들은 앞서 설명한 바와 같이 평균값을 통해 경쟁력 증가에 영향을 미친다. 즉, 구조조정과 노동유연성이 제대로 이루어지지 않더라도 외자투자가 많이 이루어지면 경쟁력은 그만큼 강화된다는 것이다. 그러나 이들 요인들이 증가함에 따라 즉각적으로 경쟁력이 증가한다기 보다는 경쟁력은 서서히 증가한다고 보아야 옳을 것이다. 그렇기 때문에 경쟁력 증가의 수식에는 0.1이라는 보정계수를 삽입하여 곱하였다.

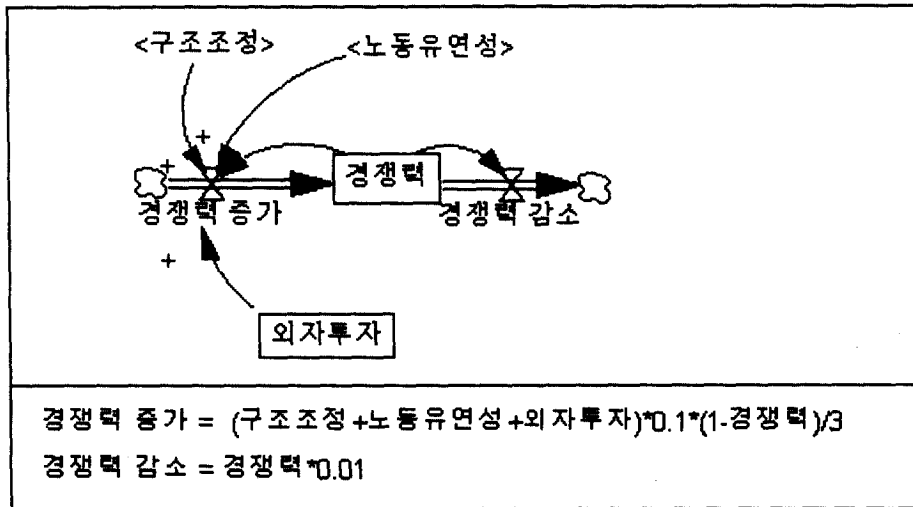


그림 6. 경쟁력의 모델링

그리고 앞서 논의하였듯이 경쟁력 증가는 현재의 경쟁력에 역비례하는 것으로 설정하였다. 이는 경쟁력이 없을 때에는 구조조정과 노동유연성 및 외자투자가 약간만 이루어져도 급속히 경쟁력이 증가하지만, 경쟁력이 높은 상태에서는 이들이 증가하더라도 약간의 상승만이 이루어진다는 점을 의미한다. 그림 6에서 경쟁력 감소는 고정적으로 이루어지는 것으로 가정하였다. 이는 시간의 흐름에 따라 경쟁력이 감소된다는 점을 의미한다. 즉, 경쟁력은 감가상각된다는 것이다. 그리고 경쟁력은 매월 1%씩 감소된다고 가정하였다. 나머지 수준변수들 역시 경쟁력과 같은 방식으로 정의된다. 이처럼 인과지도나 인지지도는 기초관계 균등단위 모델링에 의해 기계적으로 저량/유량 모델로 전환된다. 이렇게 산출된 저량/유량 모델은 정책결정자가 마음 속으로 생각하는 것과 다를 수가 있다. 따라서 기초관계 균등단위 모델링에 의한 저량/유량 모델은 신중하게 해석되어야 한다.

한편 그림 5의 저량/유량 모델중에서 그래프 함수가 사용된 부분은 화폐가치가 금리에 마이너스 영향을 준다는 인과관계이다. 즉, 화폐가치가 감소함에 따라 금리가 높아진다는 상식적인 관념을 그래프 함수로 정의한 것이다. 그림 7은 화폐가치와 금리간의 관계를 상식적인 수준에서 정의한 것이다.

#### 그림 7. 화폐가치에 따른 금리의 변화에 대한 그래프 함수

그림 7에서 가로축은 화폐가치를 의미하며 세로축은 금리를 의미한다. 그런데 여기에서 주의할 점은 금리의 값이 실제적인 금리를 의미하는 것이 아니라는 점이다. 여기에서의 금리의 값은 0과 1 사이에서 균등화된 값일 뿐이다. 즉, 최대한 높은 금리는 1이며, 최대한 낮은 금리는 0이다. 금리가 1이라고 해서 실제 금리가 100%라는 점을 의미하지는 않는다. 상황에 따라서 실제 금리가 70%일 수도 있고 300%일 수도 있는 것이다. 이렇듯 기초관계 균등단위 모델링을 통한 인과지도의 시뮬레이션 모델화는 현실 세계의 값이 아니라 균등화된 세계에서 값으로 설정된다.

그런데 금리는 투자에 영향을 주고 투자는 경기에 영향을 준다. 그런데 투자의 효과가 즉각적으로 나타나는 것은 아니다. 그림 5에서 국내투자증감율이라는 변수와 경기 사이에는 '투자의 지연된 효과'라는 변수가 삽입되어 있다. 투자의 지연된 효과라는 변수는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{투자의 지연된 효과} = \text{DELAY1}(\text{국내투자증감율}, 3)$$

여기에서 DELAY1이라는 함수는 Vensim PLE에서 제공되는 함수이다. 이는 투자의 효과가 3개월 정도의 시간지연을 두고서 나타나기 시작한다는 점을 의미한다. 이렇듯 기초관계



균등단위 모델링에서도 시간지연 함수를 자유롭게 사용할 수 있다. 그러나 이러한 시간지연을 김대중 대통령이 언급한 것은 아니다. 다만 투자가 효과를 발생하는데에는 어느 정도의 시간이 필요하다는 것은 이미 상식이기 때문에 시뮬레이션 모델을 작성할 때 추가한 것이다. 김대중 대통령 역시 시간지연을 충분히 인식하고 있다. 다음과 같은 김대중 대통령의 언급은 투자의 효과에 관한 시간지연을 언급한 것은 아니지만 시간지연에 대한 그의 관념을 충분히 표현해 주고 있다.

"지금 우리 현실은, 차디찬 냉방의 아궁이에 불을 지피고 있는데 아랫목에 앉아있는 사람은 훈기를 느끼고 있지만 윗목에 있는 사람은 여전히 차다는 것입니다. 불은 땀다고 그러는데 방이 왜 이렇게 차냐, 말하자면 경기가 좋다는데 왜 내게는 안오느냐, 이런 것입니다. 그러나 시간이 되면 자연스럽게 훈기가 윗목에도 가듯이 그렇게 될 것입니다. (1999년 2월 21일 국민과의 대화)"

이러한 점에서 투자의 지연된 효과라는 변수를 첨가하여 시간지연을 표현하는 것은 그다지 무리한 가정은 아니라고 생각된다. 그림 5에서 국내투자증감율과 투자의 지연된 효과를 연결하는 화살표 중간에 선이 그어져 있는데 이는 시간지연이 개입된다는 점을 의미한다. 이상에서 김대중 대통령의 인지지도를 NUMBER 방식에 의거하여 저량/유량 모델로 전환하는 방식에 관하여 설명하였다. 부록 1에는 그림 5의 저량/유량 모델에 포함된 수식들을 정리하였다.

#### IV. 김대중 대통령 인지지도의 시뮬레이션 분석

그림 8은 그림 5의 모델을 컴퓨터상에서 시뮬레이션한 결과이다. 그림 8의 시뮬레이션 결과에는 저량(수준변수)인 경기, 경쟁력, 국제신입, 실업, 외자투자, 외환보유고 등이 표현되어 있다. 이는 저량(수준변수)이 시스템의 상태를 나타내 주는 지표이기 때문이다. 그림 8은 앞서 강조하였듯이 현실세계에서의 값을 의미하지는 않는다. 단지 균등화된 단위의 세계에서 각각의 변수들이 김대중 대통령의 인과지도에서와 같이 연결되어 있을 때 그리고 이를 기초관계 균등단위 모델링 방식으로 전환하였을 때, 컴퓨터상에서 시뮬레이션하여 산출된 값을 의미한다. 그럼에도 불구하고 그림 8의 시뮬레이션 결과는 현실세계와 놀라울 정도로 일치한다는 점을 발견할 수 있다.

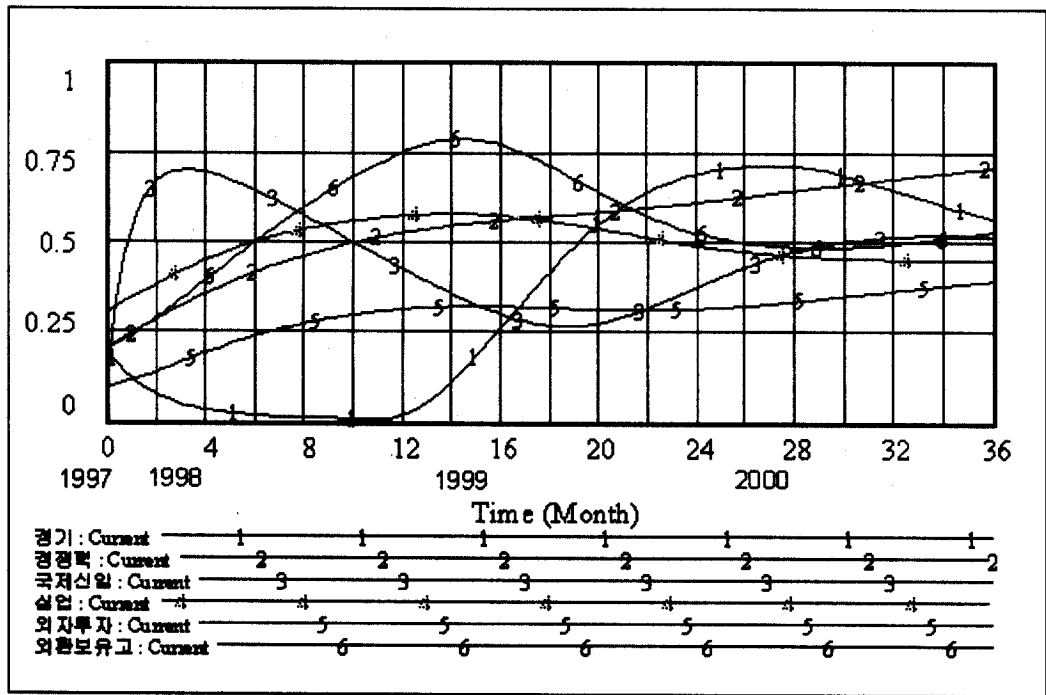


그림 8. 김대중 대통령 인지지도의 유량/저량 모델의 시뮬레이션 결과

먼저 경기에 관해서 살펴 보자. 그림 8의 시뮬레이션은 대략 1997년 11월을 기점으로 하여 시작되었다. 그런데 1999년을 기점을 하여 경기가 급속히 회복되고 있다는 점을 발견할 수 있다. 사실상 1998년 한해동안의 지속적인 경기침체를 딛고 1999년부터 경기가 회복되었고, 결국 김대중 대통령이 약속한 대로 1999년 6월을 (그림 8-8에서 20개월째) 전후하여 경기가 회복세에 접어들었다는 점을 상기한다면, 그림 8의 시뮬레이션 결과는 놀라울 정도로 현실과 일치하고 있다는 점을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 1년 반만에 경기를 회복시키겠다는 김대중 대통령의 대국민 약속이 즉흥적인 생각이거나 희망적인 생각이 아니라 고도로 계산된 확신이었을 수 있다는 점을 암시하여 준다. 즉, 김대중 대통령은 자신의 인과지도상에서 꼼꼼히 생각해 보고나서 (꼼꼼히 생각해 본다는 말은 컴퓨터상의 시뮬레이션을 머리 속에서 수행한다는 말과 유사하다) 1년 반이면 경기를 회복시킬 수 있을 것이라는 확신에 도달하였을 수 있다는 점을 시뮬레이션 결과는 말해 주는 것이다. 그리고 그러한 김대중 대통령의 머릿 속 시뮬레이션은 정확히 현실세계에서 되풀이 된 것이다.

그림 8에서 또 한가지 놀라운 점은 가장 먼저 회복되는 변수가 국제신임이며 이를 뒤따라서 외자투자와 외환보유고가 급속히 회복되고 있다는 점이다. 그리고 외환보유고가 급속히 증가하여 어느 정도 수준에 도달할 때 경기가 급작스럽게 회복되기 시작한다. 그리고 경

쟁력은 처음에는 다소간 급격히 회복하지만 1999 년을 넘어서는 완만하게 성장하고 있다. 외자투자 역시 서서히 그러나 지속적으로 성장한다. 그러나 이러한 성장과는 반대로 실업은 1998 년도에 급격히 증가하다가 1999 년도를 전후하여 완만하게 감소하지만 이전 수준으로까지 감소하지는 않는다.

또 한가지 특기할 만한 점은 국제신임이 급속히 증가하다가 1999 년을 전후하여 낮은 상태에 도달하였다가 다시 상승한다는 점을 시뮬레이션 결과는 보여주고 있다. 이러한 시뮬레이션 결과는 현실과 완전히 일치하지는 않다. 그러나 사실상 외환보유고가 증가하고 경기가 회복하면서 1998 년 후반부터 구조조정을 소홀히 하였고 그 결과 외국에서 지속적으로 경고 메시지를 보내왔다는 점을 상기한다면, 시뮬레이션 결과가 현실과 완전히 다르다고 하기는 어렵다. 그보다는 시뮬레이션 결과가 현실보다 다소 과장되었다고는 말할 수 있을 것이다.

시뮬레이션 결과 중에서 현실과 다소 상이한 결과를 보여주는 변수는 외환보유고이다. 1998 년 동안 외환보유고가 급격히 증가하였다는 점은 시뮬레이션 결과와 현실이 일치한다. 그러나 시뮬레이션 결과는 1999 년 이후 외환보유고가 다소간 감소될 것이라는 점을 보여준다. 이는 경기가 급속히 회복하면서 수입이 따라서 증가하기 때문에 발생하는 현상이다. 그러나 현실의 세계에서는 1999 년도 이후에도 외환보유고는 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 이러한 결과 역시 현실을 다소 과장한 결과일 뿐이라고 해석할 수 있다. 또한 이러한 차이는 현실세계에서는 외환보유고의 증가를 유지하기 위하여 다양한 정책이 동원되기 때문에 발생할 수도 있다. 위의 시뮬레이션 결과는 단순히 김대중 대통령의 인과지도를 그대로 시뮬레이션하였을 뿐 외환보유고의 지속적인 증가를 위한 인위적인 노력은 반영하지 않고 있다. 이러한 이유 때문에 시뮬레이션 결과에서는 외환보유고가 완만히 감소되는 현상을 보여주었을 수도 있다.

그러나 무엇보다도 그림 8 은 인지지도나 인과지도를 기초관계 균등단위 모델링에 의해 기계적으로 구축한 모델의 시뮬레이션 결과라는 점을 잊지 말아야 할 것이다. 여기에서는 변수의 변화유형이 중요한 것이지 특정 시점에서 변수의 값이 현실과 상이하다는 것은 그다지 중요하지 않다. 오히려 이러한 시뮬레이션 결과는 경기가 회복되면서 외환보유고를 감소시키려는 압력이 시스템에 존재하고 있다는 점을 지적하여 주는 것으로 해석되어야 할 것이다.

## V. 결 론

이상에서 본 논문에서는 인지지도와 추상적인 인과지도를 저량/유량 모델로 전환할 수 있는 방법론으로써 NUMBER의 방법을 제안하였으며, 이 방식에 따라서 김대중 대통령의 인지지도를 저량/유량 모델로 전환하여 시뮬레이션을 수행하여 보았다. 그 결과 기초관계 균등단위 모델링 방식에 의해 구성된 모델이 현실과 상당히 유사한 결과를 산출하고 있다는 점을 보여준다.

본 연구의 가장 중요한 시사점 중의 하나로써, 본 논문에서 제시한 '기초관계 균등단위 모델링(Normalized Unit Modelling By Elementary Relationship, NUMBER)' 방식이 인과지도나 인지지도를 컴퓨터 시뮬레이션 모델로 전환시키는데 상당히 유용하다는 점이다. 기초관계 균등단위 모델링은 연구자의 주관을 최소화시키는 동시에 정책결정자의 사고를 가능한 한 보존시키면서 정책결정자의 인지지도를 컴퓨터 시뮬레이션 모델로 전환시키도록 허용한다. 비록 컴퓨터 시뮬레이션 모델로의 전환이 기계적으로 이루어지기 때문에 현실을 충분히 반영하지 못할 가능성이 높지만, 기초관계 균등단위 모델링 방식은 정책결정자에 대한 풍부한 정보가 없을 때에도 정책결정자의 인지지도 및 추상적인 인과지도를 시뮬레이션 모델로 전환시키는 길을 제시해 준다.

기초관계 균등단위 모델링 방식은 정책결정자들의 어록에 관한 분석이 인지지도의 분석으로 제한되어 왔던 이제까지 방법론적 한계를 극복하는데 밑거름이 될 수 있을 것으로 생각된다. 기초관계 균등단위 모델링에 대한 보다 체계적인 연구는 향후 정책결정자들의 어록에 기초하여 정책결정자들의 시스템 사고와 동태적 사고를 이해할 수 있는 방법론을 제시할 수 있을 것이다. 또한 기초관계 균등단위 모델링은 경영 컨설팅을 통하여 도출된 복잡하고 추상화된 인과지도들을 컴퓨터 시뮬레이션 모델로 전환시키는데 기여할 수 있을 것이다.

### <참고문헌>

김동환, 1999, "김대중 대통령의 인과지도: 1997년도 금융위기의 원인과 극복에 관한 김대중 대통령의 시스템 사고," 한국시스템다이내믹스 학회 하계 학술대회.

Axelrod, R., 1976, *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*, Princeton University Press

- Bonham, G.M., Shapiro, M.J., 1986, "Mapping Structures of Thought," Gallhofer, I.N. et al (eds.), *Different Text Analysis Procedures for the Study of Decision Making*, pp.29-52, Amsterdam: Sociometric Research Foundation.
- Bonham, G.M., Shapiro, M.J., and Tremble, J., 1979, "The October War: Changes in Cognitive Orientations Toward the Middle East Conflict," *International Studies Quarterly*, 23 (1): pp.3-44.
- Coyle, R.G., 1983, The technical elements of the system dynamics, *European Journal of Operational Research*, 14:359-370.
- Coyle, R.G., 1998, "The Practice of system dynamics: milestones, lessons and ideas from 30 years experience', *System Dynamics Review*, Vol. 14, No. 4, pp.343-365.
- Coyle, R.G., 1999, "Qualitative Modelling in System Dynamics or What are the wise limits of quantification?" *Proceedings of 1999 Conference of System Dynamics Society, New Zealand.*
- Eden, C., 1988, "Cognitive Mapping," *European Journal of Operational Research*, Vol. 36, pp.1-13.
- Eden, C., 1994, "Cognitive mapping and problem structuring for system dynamics model building," *System Dynamics Review*, Vol. 10, No. 2-3, pp.257-276.
- Forrester, Jay W., 1961, *Industrial Dynamics*. Cambridge, The MIT Press.
- Richardson, George P. & A.L. Pugh, 1981, *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Richardson G.P., 1991, *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia.
- Richardson G.P. 1995, Loop polarity, loop dominance, and the concept of dominant polarity, *System Dynamics Review*, Vol. 11, No. 1. pp.67-88.
- Sterman, J.D. 1991, "A Skeptic's Guide to Computer Models," in Barney, G.O. et al. (eds.) *Managing a Nation: The Microcomputer Software Catalog*, Boulder, CO: Westview Press, pp.209-229, also published as *System Dynamics Roadmaps D4101*.
- Wolstenholme, E.F., 1990, *System Enquiry: A System Dynamics Approach*, John Wiley & Sons.

부록 1. 김대중 대통령 인과지도에 근거한 저량/유량 모델의 수식

경기= INTEG (경기증가-경기감소, 0.2)  
 경기감소=IF THEN ELSE(투자의 지연된 효과<=0, ABS(투자의 지연된 효과)\* 경기, 0)  
 경기증가=IF THEN ELSE(투자의 지연된 효과> 0, 투자의 지연된 효과\*(1-경기), 0)  
 경쟁력= INTEG (+경쟁력 증가-경쟁력 감소, 0.2)  
 경쟁력 감소=경쟁력\*0.01  
 경쟁력 증가=(구조조정+노동유연성+외자투자)\*0.1\*(1-경쟁력)/3  
 고용율=(경기+외자유치)\*0.1\*실업/2  
 금리=화폐가치에 따른 금리율(화폐가치)+((1-경기)\*0.1)  
 구조조정=SMOOTH3(구조조정 압력, 3)  
 구조조정 압력=MAX(1-외환보유고, 0)  
 국내투자증감율=(0.3-금리)  
 국민불만=실업  
 국제신입= INTEG (국제신입 증가-국제신입감소, 0.1)  
 국제신입 증가=(구조조정+노동유연성)\*(1-국제신입)/2  
 국제신입감소=(1-구조조정+국민불만)\*국제신입/2  
 노동유연성=SMOOTH(구조조정, 1)  
 수출=경쟁력  
 수입=경기  
 실업= INTEG (+해고율-고용율, 0.3)  
 외자유치=국제신입\*(1-외자투자)\*0.05  
 외자투자= INTEG (외자유치-외환회수, 0.1)  
 외환 감소=외환보유고\*0.5\*(수입+외환회수)/2  
 외환 증가=(1-외환보유고)\*0.5\*(수출+외자유치)/2  
 외환보유고= INTEG (외환 증가-외환 감소, 0.2)  
 외환회수=외자투자\*(1-국제신입)\*0.05  
 투자의 지연된 효과=DELAY1(국내투자증감율, 3)  
 해고율=구조조정\*노동유연성\*(1-실업)\*0.1  
 화폐가치=외환보유고  
 화폐가치에 따른 금리율([(0,0)-(1,1)],(0,1),(0.4,0.4),(0.5,0.3),(0.6,0.2),(0.7,0.1),(0.8,0.07),  
 (0.9,0.04),(0.95,0.02),(1,0.01))  
 FINAL TIME = 36  
 Units: Month  
 INITIAL TIME = 0  
 TIME STEP = 0.25