

시스템다이나믹스 활용의 실제와 개선 방안에 관한 연구

정재운(동아대학교)

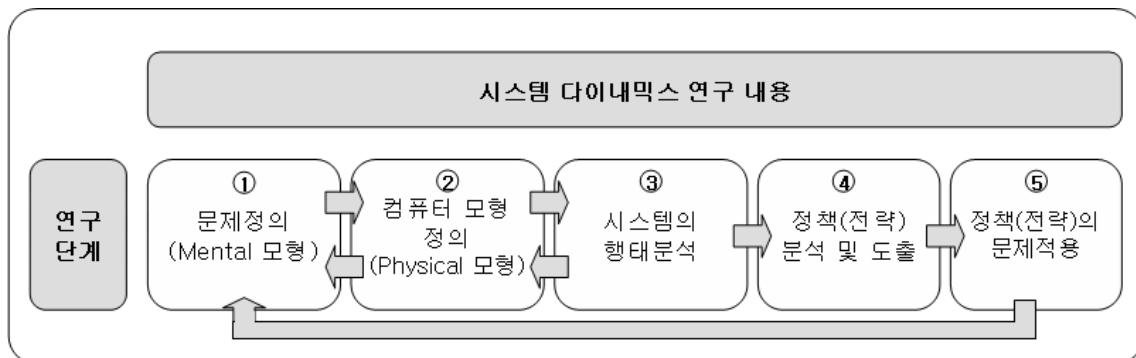
김현수(동아대학교)

최형림(동아대학교)

I. 서론

시스템 다이내믹스(System Dynamics)가 생겨난 지 50여 년이 흘렀다. 그리고 많은 연구자들에게 연구적 관심을 받아 왔다. 이는 기존의 단선적인 연구방법론으로는 접근하기 힘든, 동적이고 복잡한 현상을 야기하는 문제(구조와 이들의 관계)와 이를 해결하기 위한 새로운 연구적 관점을 제시함으로써 기존의 여러 연구방법론들이 가지고 있는 한계를 극복할 만한 대안으로 여겨져 왔기 때문이다. 하지만 오늘날의 시스템 다이내믹스는 기존 대표적인 연구방법론인 통계적 분석 방법론에 비등할 만한 학문적 입지조차 구축하지 못하고 있다. 여기에는 여러 가지의 이유가 있겠으나, 가장 본질적인 원인은 학문적 체계성 및 타당성에 있다. 시스템 다이내믹스가 학문적 구성 요소로 시스템 사고, 인과지도, 시뮬레이션, 전략적 지렛대 등 유용한 여러 도구들을 내포하고 있음에도 불구하고, 이들을 체계적이고 합리적으로 활용할 수 있는 이론적 근거들이 충분하지 못하여 시스템 다이내믹스를 활용한 이론적 전개와 타당성이 및 체계성에 오류를 범하고 있는 경우가 많다. 시스템 다이내믹스의 학문적 특성상 연구과정에 연구자의 주관성을 타 연구방법론보다 관대하게 허용(특히 인문, 사회과학 분야의 정성적인 내용을 다루는 연구 분야)하고 있으나, 해당 학문이 연구자의 연구 내용에 연구적 가치를 지원하기 위해서는 연구자의 주관성을 일정 범위 내에서 통제할 수 있는 장치를 제공해야 한다. 하지만 현재의 시스템 다이내믹스 활용 사례들을 살펴보면 연구자의 주관성을 통제할 수 있는 장치들의 이론적 근거가 미흡한 것으로 보인다. 이에 타 분야의 연구자로부터 학문적 타당성에 지적을 받는 경우가 흔하다.

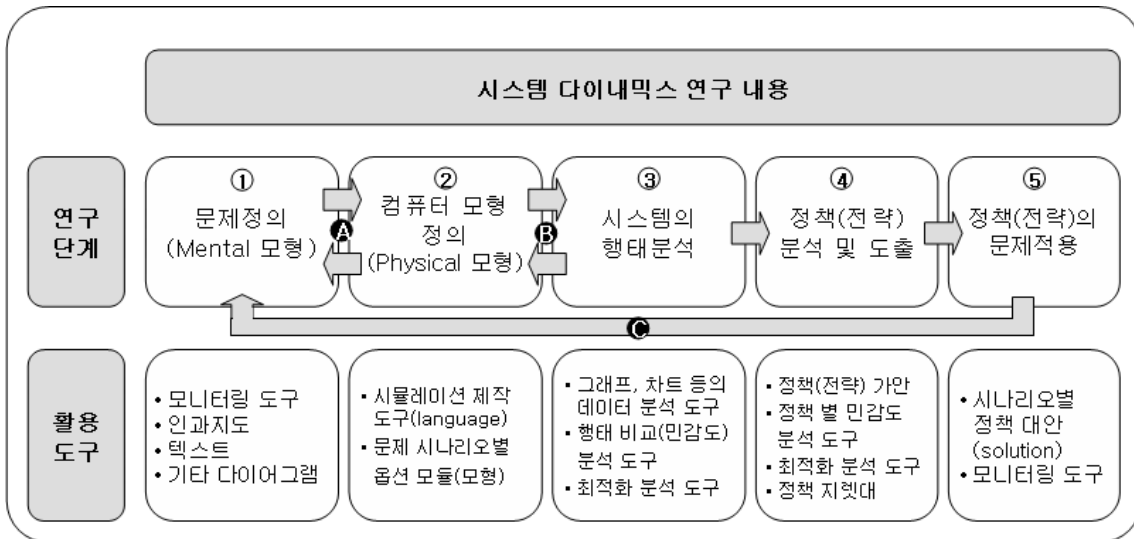
이에 본 연구에서는 기존의 시스템 다이내믹스 연구자들이 자신들의 주관성을 통제하지 못함으로써 범하는 오류들을 살펴보고, 이를 해결할 수 있는 방안을 모색해 보고자 한다.(현재의 본문에서는 소수의 사례만을 다루고 있다. 이러한 한계는 사례의 보완을 통해 개선해 나가기로 한다.) 연구는 [그림 1]의 시스템 다이내믹스 연구 과정(①, ②, ③, ④, ⑤) 중에서 ⑤를 제외한 ①, ②, ③, ④에 대해서만 진행하기로 한다.



[그림 1] 시스템 다이내믹스의 연구 단계

한편 본 연구를 통해 제시되는 방안들이 연구자의 주관성 통제 외에 시스템 다이내믹스가 보다 다양한 연구 영역으로 확대 응용될 수 있는 이론적 근거를 발견한 것도 연구의 부수적인 성과라고 할 수 있다. 관련 내용은 본문을 통해서 서술하기로 한다.

II. 시스템 다이내믹스 연구 과정



[그림 2] 시스템 다이내믹스의 연구 단계 및 연구 단계별 활용 도구

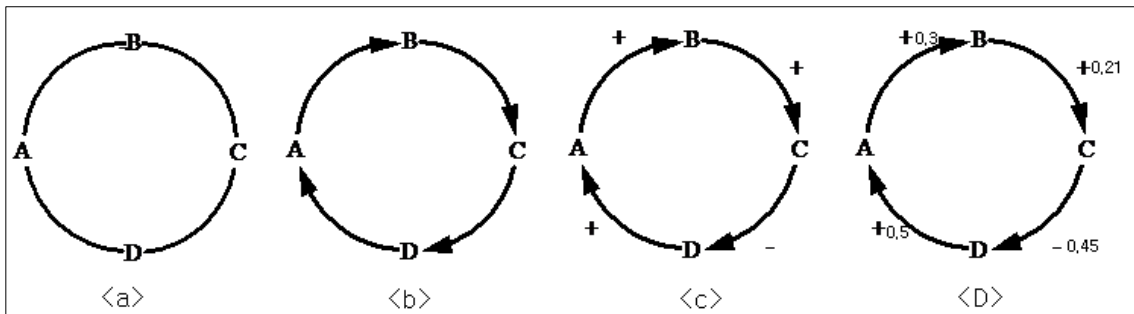
1. 문제정의(인과지도 작성)

일반적으로 어떤 현상이나 사건을 연구자가 해결하고자 할 때는 해당 문제를 연구 가능한 범위와 수준으로 제한하는 과정을 거친다. 그리고 문제의 성격에 따라, 문제를 해결하는 데 사용하는 연구 방법도 다양하게 존재한다. 하지만 시스템 다이내믹스의 경우에는 주로 문제(시스템)의 구조가 폐쇄적인 피드백 루프(feedback loop)를 구성하며, 그 양태가 동적인 상황에 활용된다. 이는 문제(system)의 동태(dynamics)적인 분석을 위해서는 동일한 구조 내에서 지속적으로 문제의 다양한 양태 변화를 용이하게 관찰할 수 있는 피드백 루프의 폐쇄 시스템이 적합하기 때문이다. 따라서 문제 정의시 해당 요소들을 잘 반영해야 한다.

한편 시스템 다이내믹스의 문제 정의는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 하나는 연구 시작 시점에서 연구자가 파악(research, monitoring)한 문제 영역을 시각화하기 위해 mental 모형을 정의하는 것이고, 다른 하나는 해당 모형의 실질적인 행태를 분석하기 위해 컴퓨터 실험(simulation)에 필요한 physical 모형을 정의하는 것이다. 선자의 mental 모형은

주로 인과지도(causal map or causal loop diagram)라는 형태로 정의되지만, 글(text)로 서술하거나 기타 다이어그램을 활용하여 모형을 정의하는 경우도 있다. 후자의 physical 모형은 주로 SFD(stock and flow diagram)로 정의(coding)되지만, 다른 시뮬레이션 언어(language)로 정의되기도 한다. 하지만 일반적으로 연구를 시작할 때 mental 모형의 정의가 선행되기 때문에 흔히 선자의 경우를 문제정의의 과정으로 본다. 그리고 이 둘은 피드백 과정을 통해 서로의 모형이 보완되는 관계를 갖는다.

문제정의에 사용되는 인과지도에 대해 살펴보면, 다음과 같다. [그림 2]의 <a>, , <c>, <d>는 모두 A, B, C, D 변수 4개로 구성된 폐쇄적인 시스템들이다. 하지만 이들의 행태 및 행태를 설명하는 정보에 따라 서로 다른 표현방식을 취하고 있다.



[그림 3] 시스템의 구조 및 행태 표현의 종류

<a>의 경우 시스템을 구성하고 있는 변수 A, B, C, D와 각 변수들이 시스템을 구성하고 있는 구조 형태는 파악할 수 있지만, 변수들 간의 행태 양상(인과관계)에 관한 언급이 없기 때문에 시스템의 성격을 이해하는 데 한계가 있다. 이러한 표현 방식은 컴퓨터(노드)들이 물리적 혹은 논리적으로 네트워크를 구성하고 있는 시스템 같이 이산적인 성격의 변수들을 구성하고 있는 시스템을 설명하는 데 주로 활용된다.

의 경우 <a>에서 설명되고 있는 시스템의 구조에 변수들의 활동 방향성에 관한 정보가 부가된 것으로, 변수들 간의 활동 방향 및 순서를 이해할 수 있다. 하지만 변수들의 활동이 주변의 변수들에게 어떤 상관성을 가지고 영향을 미치는지에 대해서는 파악할 수 없다. 이러한 표현 방식은 주로 업무 프로세스의 전개 순서 등을 설명하는 데 활용된다.

<c>의 경우 에서 설명되고 있는 시스템 정보 외에 추가적으로 변수들 간의 상관관계를 '+/-' 부호로 표현함으로써 각 변수들 간의 인과관계를 이해할 수 있다. 하지만 변수들 간의 상관계수를 알지 못하기 때문에 인과변수들 간의 행태 변화 크기를 분석하기는 곤란하다. 이러한 표현 방식은 심리학이나 시스템 다이내믹스 등에서 사용되는 인지지도 혹은 인과지도를 작성하는 데 활용된다.

마지막 <d>의 경우 <c>에서 설명되고 시스템 정보 외에 추가적으로 변수들 간의 상관계수까지 표현하고 있다. 따라서 <d>는 변수들 간의 행태에 대해 <c>보다 구체적으로 파악할

수 있다. 하지만 상관계수는 일반적으로 통계적 기법을 활용하지 않고서는 파악하기 힘든 대상이다. 그리고 통계적으로 분석해 낸다고 하더라도 측정 시점이나 상황에 따라 해당 계수의 값이 달라질 수 있기 때문에 확정적인 수치로 표기한다는 것에도 한계가 있다. 또한 상관계수를 알 수 있다고 하더라도 인과지도 상에서 수차례 반복되는 시스템의 행태를 사람이 직접 계산한다는 것도 쉬운 일이 아니다. 해당 표현 방식은 실증적 연구에서와 같이 특정 시점에서 변수들 간의 인과관계(상관관계)를 검증하고, 설명하는 과정에서 사용하는 표현방식이다.

즉 <d>가 시스템의 구조와 행태를 설명하는 데 가장 많은 정보를 제공함에도 불구하고 현실적인 활용가치 측면에서 <c>가 동태적인 시스템 설명에 적합하다. 이는 작성 방식이 쉽고 간단하기 때문에 인간의 사고 상에서 존재하는 시스템(mental model)을 쉽게 시각화(visualization)할 수 있다. 따라서 동태적인 문제 정의와 더불어 정의된 문제를 가지고 연구자들 간의 대화 수단(communication tool)으로도 많이 활용되고 있다.

2. 컴퓨터 모형 정의

연구자의 mental 모형이 실질적으로 어떤 행태를 나타내는지 분석하기 위해서는 컴퓨터 시뮬레이션 과정을 거치게 된다. 이에 시뮬레이션 모형을 시스템 구조에 맞게 물리적으로 정의를 하더라도, 구조 내에 존재하는 변수들의 초기 값이라든지 변수들 간의 상관계수 등을 어떻게 설정하느냐에 따라 나타나는 행태가 달라질 수 있다. 시뮬레이션의 모형이 논리적으로 제대로 연결되었는지, 그리고 해당 구조를 통해 나타낼 수 있는 행태의 다양성을 충분히 도출할 수 있는 시나리오(변수의 초기 값, 변수 간의 상관관계(계수), 기타 여러 환경변수 등의 설정)가 물리적 옵션으로 정의될 수 있도록 정의되었는지 등을 통해 시뮬레이션 모형의 타당성을 검증할 수 있다.

3. 시스템의 행태 분석

컴퓨터의 시뮬레이션을 통해 나타나는 시스템의 행태는 다양하게 나타날 수 있다. 시간대별로 동일 구간 내에서 변수의 초기 값, 변수 간의 상관관계(계수), 환경변수의 설정 변경 등 다양한 시나리오 상에서 나타나는 시스템의 행태는 각기 다른 모습을 보일 수 있다. 또한 동일 시나리오라고 하더라도 시간의 구간에 따라 행태가 달라질 수 있다. 따라서 해당 시스템의 행태에 대한 연구자의 의도(기존의 행태를 어떤 모습으로 바꿀 것인가, 어떻게 문제를 해결할 것인가)에 따라 행태를 변화시키고자 하는 구간, 시점 등을 고려해서 시스템의 행태를 분석한다. 이 때 그래프나 차트 등을 통해 다양한 행태들의 차이점을 효율적으로 비교, 분석할 수 있다.

4. 정책(전략) 분석 및 도출

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 시스템의 행태 분석을 통해 연구자가 의도하는 행태로 바꿀 필요가 있는 구간과 시점 등이 정의되면, 어떤 정책이나 전략을 통해서 해당 문제를 해결할 것인지를 결정해야 한다. 이 때 일반적으로 정책이나 전략으로 사용되는 것들이 통제를 하고자 하는 변수나 행태 변화에 유효하게 영향을 미치는 변수의 초기 값이나 상관계수 등의 조작이다. 따라서 연구자는 예상 가능한 실험 시나리오(정책 가안)에 어떤 것들이 가능할 것인지, 혹은 어떤 것들이 의미가 있을 것인지에 대한 정의가 있어야 한다. 그리고 시나리오별로 실험을 진행하여 나타나는 시스템의 행태 변화를 서로 비교(민감도 분석)하여 가장 효율적으로 연구자의 의도를 달성하거나 의도의 근사치에 도달할 수 있는 시나리오(정책/전략적 지렛대)를 정책으로 도출한다. 만약 최소, 최댓값을 가지는 행태를 도출하는 것이 연구자의 목적이라면 이는 여러 행태 간의 민감도 분석보다는 단일 시나리오의 최적화(optimization) 관점에서 정책을 분석하고 도출해야 한다.

한편 정책 분석 및 도출에 관한 타당성을 확보하기 위해서는 시나리오가 충분히 다양한 행태를 발생시키는 경우를 반영하고 있는지 등이 검토되어야 한다.

5. 정책(전략)의 문제 적용

정책으로 도출된 안(solution)을 문제에 적용함으로써 실제로 문제가 제대로 해결되는지, 아니면 연구자가 의도한 바와 어떻게 다르게 변화하는지 등에 관한 모니터링을 통해 문제 변화과정을 분석하고 문제를 재정의 하는 연구의 피드백 과정을 전개한다. 이는 동태적인 문제는 문제를 해결하는 과정 동안에도 꾸준히 변화하기 때문에 선언적, 단언적 문제해결이 쉽지 않다. 따라서 이러한 피드백 과정을 통해 정책의 실패 요인을 감소시키고 연구자의 의도에 부합되는 정책을 도출, 적용시킬 수 있는 가능성을 높인다.

Ⅲ. 시스템 다이내믹스 연구 단계별 문제점과 개선 방안

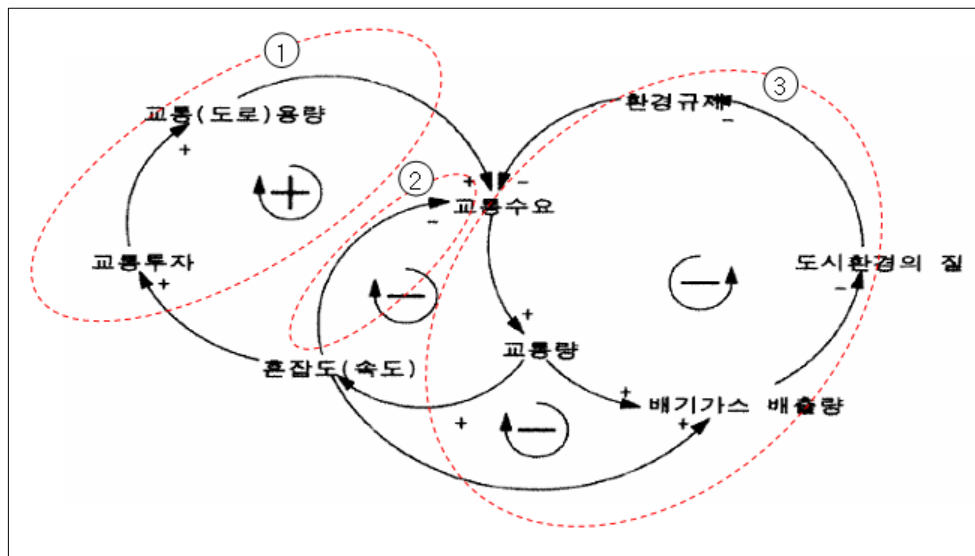
1. 문제정의(인과지도 작성)

가. 인과관계의 전체와 부분의 일관성 오류

시스템 다이내믹스 연구는 항상 시스템 사고에 기반을 둔다. 따라서 연구의 시작부터 중

료시점까지, 혹은 종료 이후에도 시스템 사고가 진행되어야 한다. 시스템 사고라고 하는 것은 사실적 사고와 동태적 사고 그리고 피드백 사고가 함께 어우러진 것을 의미한다(김도훈 외;1999:41). 하지만 국내 시스템 다이나믹스 관련 문헌을 찾아보면 연구자들의 시스템 사고에 얼마나 신뢰성을 부여할 수 있을지에 대한 의문이 드는 경우가 종종 있다. 예를 들어 문제를 정의할 때, 주로 인과지도를 활용하므로 인과지도의 작성 사례를 통해 비사실적 사고에 의한 오류를 범하는 상황을 살펴본다.

[그림 4]는 최남희, 김선경(2001)에서 교통정책에서 교통량과 환경요인 등을 고려한 동태적인 상황을 설명하는 인과지도이다.



[그림 4] 교통과 환경간 관계의 기본적인 피드백 구조(최남희, 김선경; 2001:104)

이는 시스템 사고의 대표적인 예로 널리 활용되고 있는 그림이다. 그런데 해당 그림은 변수들의 인과관계에 대한 일관성이 결여된 부분이 존재한다. 이를 자세히 살펴보기 전에 ‘혼잡도(속도)’라는 변수의 정의자체가 모순이기 때문에 이것부터 바로잡도록 하겠다. ‘혼잡도’와 ‘속도’는 음의 상관관계이기 때문에 둘을 같은 성격의 변수로 정의할 수 없다. 따라서 ‘속도’를 ‘정체시간’ 등으로 바꾸든지 ‘속도’를 제거하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 ‘속도’를 삭제한다.

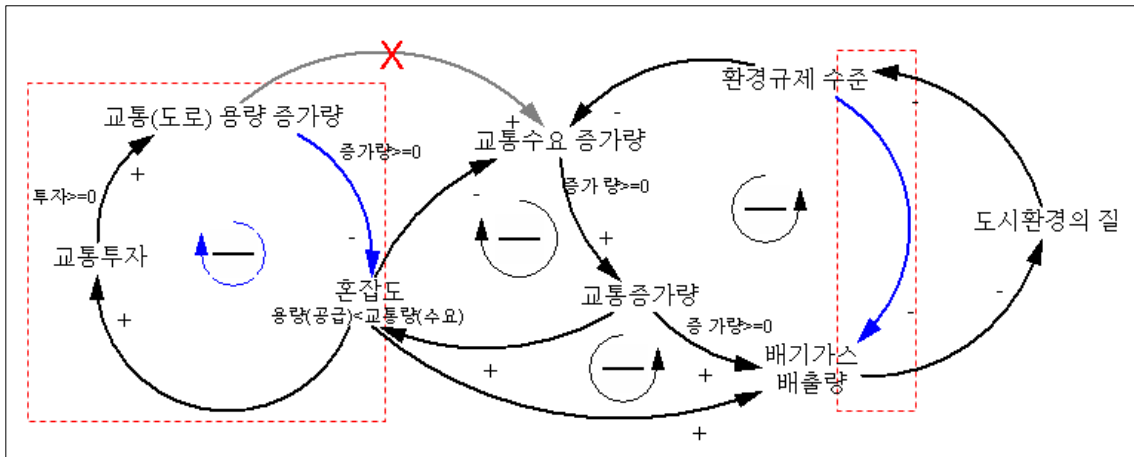
[그림 4]는 단일 피드백 루프 내에서의 인과관계만을 해석해서는 오류를 찾아내기 어렵다. 하지만 정재운, 김현수(2007)가 연구한 인과지도의 타당성 검증 방법을 통해 시스템 구성 변수들의 전체와 부분적 행태에 관한 일관성을 분석해보면, ‘혼잡도’와 ‘교통수요’가 전체적인 인과관계에서 일관성(타당성)이 결여되어 있음을 알 수 있다. ‘혼잡도’에서 ‘교통수요’로 향하는 인과관계는 ‘혼잡도 → 교통투자 → 교통(도로) 용량 → 교통수요’(①), ‘혼잡도 → 교통수요’(②), ‘혼잡도 → 배기가스 배출량 → 도시환경의 질 → 환경규제 → 교통수요’(③), 3 가지가 있다. 이 3가지의 인과관계는 경로를 구성하는 변수와 변수의

수(길이)만 다를 뿐, 궁극적인 원인 변수와 결과 변수는 동일하다. 그리고 각 경로 상에 존재하는 변수들 간의 인과관계에는 아무런 문제가 없다. 따라서 경로상의 상관계수를 제외한 상관관계만 고려했을 때, ‘혼잡도’ 변수와 ‘교통수요’ 변수 간의 인과관계는 3가지 경우 모두 동일한 값을 가져야 한다. 하지만 [그림 5]에서는 3개의 경로에서 나타나는 인과관계가 동일하게 나타나지 않는다($① \neq ② = ③$). 이 문제의 원인을 살펴보면, ①의 경로에 존재하는 ‘교통(도로) 용량’과 ‘교통수요’의 인과관계가 잘못 설정되어 있다. 이를 바로잡기 위해 먼저 ‘교통(도로) 용량’과 ‘교통수요’ 간의 상관관계를 ‘+’에서 ‘-’로 수정해보자. 그러자 ①번 경로에서 ‘교통(도로) 용량’과 ‘교통수요’ 부분을 제외한 나머지 구간(‘혼잡도 - 교통투자

교통(도로) 용량’)에서 오류가 발생한다. 이는 해당 경로에 존재하는 변수들끼리의 상관관계를 수정하는 것이 아니라 경로 자체를 수정해야 함을 뜻한다. 경로①의 수정을 위해서는 다음의 조건을 만족시켜야 한다. 두 조건에서 공통적으로 존재하고 있는 ‘혼잡도’와 ‘교통수요’의 두 변수 관점에서 봤을 때 아래의 두 조건을 동시에 만족시킨다는 것이 모순처럼 인식된다.

조건1)	혼잡도	교통투자	교통(도로) 용량	교통수요
조건2)	혼잡도	교통수요		

하지만 경로①이 포함되어 있는 ‘혼잡도 - 교통투자 - 교통(도로) 용량 - 교통수요 - 교통량 - 혼잡도’의 피드백 루프(feedback loop) 속에서 ‘교통투자’와 ‘교통(도로) 용량’이 ‘교통수요’와 연결되어 있는 다른 변수들과의 인과관계를 분석해보는다면, 위의 두 조건을 모두 만족하는 대안을 도출할 수 있다. 즉, 경로①에 있는 ‘교통(도로) 용량 - 교통수요’의 인과관계를 끊고, ‘교통(도로) 용량’과 ‘혼잡도’의 관계를 ‘교통(도로) 용량 - 혼잡도’로 수정하면 위의 두 조건을 모두 만족시키면서, 인과관계의 일관성도 유지할 수 있다 ([그림 5]의 좌측 부분 참조).



[그림 5] [그림 4]의 문제를 개선한 인과지도

나. 비사실적 사고에 의한 오류

앞서 인과관계의 일관성 오류에 관해 언급한 [그림 4]의 인과지도는 사고의 근간이 되는 사실성에 대한 결함이 존재한다. 먼저 현대 기아자동차(2007)의 자료에 따르면 국내 자동차 보유대수는 1970년대부터 현재 2006년 말까지 지속적으로 증가하고 있다. 물론 지역별, 차종별 자동차 보유대수 및 등록 대수에 관한 자료에서도 증가 추이를 보이고 있다.(이 경우, 1997년부터 2006년 자료만 제공되고 있음) 해당 자료에 따르면 현실에서의 교통수요는 항상 양이다. 따라서 [그림 4]의 인과관계에 따르면 교통량도 증가하는 방향으로만 전개된다. 따라서 '교통수요' 및 '교통량'의 변수를 '교통수요 증가량', '교통증가량'과 같이 현실적인 상황을 잘 표현할 수 있는 형태로 수정하는 것도 해당 인과지도의 타당성을 향상시키는 한 방법이다.

둘째, 자동차 도로는 인프라적인 성격을 가지는 것으로 한 번 개설되면(용량이 늘어나면), 그 수명이 다하여 없어지지 않는 한 도로의 교통 용량은 감소하지 않는 것이 일반적이다. 특정 지역의 재계획을 통해 도로의 성격을 바꾸거나(통행금지, 인도로 전환, 교통량 제한 등) 천재지변에 의한 도로 유실로 복구되지 않는 경우 등을 제외하고는 도로의 용량(교통 용량)은 줄어들지 않는다는 점을 고려한다면 일반적인 재화의 수요/공급 상황과 구별할 필요가 있다. 따라서 '혼잡도'에 관한 개념도 재정의할 필요가 있다([그림 4]의 중앙 부분 참조). 그리고 혼잡이라는 것은 도로의 교통용량보다 교통 수요(자동차의 통행량)가 많을 때 발생한다. 즉 혼잡도는 교통용량(공급)이 교통량(수요)보다 적은 상황에서만 설명될 수 있다는 것을 인식하고 해당 시스템의 행태를 분석해야 한다.

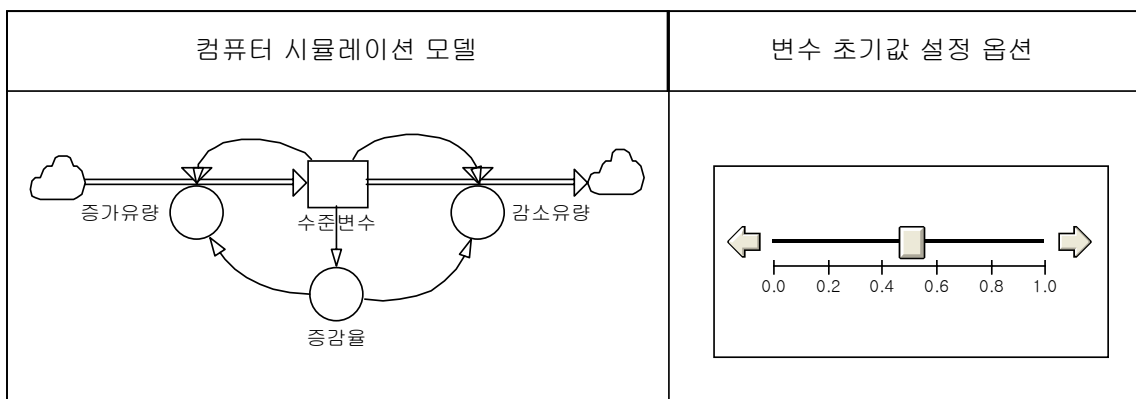
셋째, [그림 4]의 우측 피드백 루프를 살펴보면 환경 규제가 교통수요에 영향을 주어 교통증가량을 간접적으로 통제할 수 있음을 설명하고 있다. 하지만 현실적으로 환경 규제는 자동차 배출가스(매연) 저감장치의 성능 기준마련 및 강화, 해당 장치의 의무 장착, 경유에 부여하는 세금 증가 등과 같이 배기가스의 배출량을 직접적으로 통제하기 위한 수단(정책)들이 존재하고 있다는 점에서 '환경규제 수준'과 '배기가스 배출량'에 관한 인과관계를

사실적으로 보완할 필요가 있다. ‘환경규제 수준’의 변수명이 원래는 ‘환경규제’였으나, 계량적 표현을 위해 기존의 변수명에 ‘수준’을 추가하였다.

2. 컴퓨터의 모형 정의와 시스템의 행태 분석

가. 변수의 초기값 및 상관계수의 임의 정의에 따른 오류

시스템의 행태를 분석하기 위해서는 연구자의 mental 모형을 컴퓨터 시뮬레이션 모형으로 전환하는 과정이 필요하다. 이 때 시뮬레이션 모형으로 전환되는 시스템 구성 변수들이 실제에서 가지는 값을 도출하여 정량적으로 정의하면 좋겠지만, 밝혀내기 어려운 정성적인 성격의 변수들은 적절한 방법을 통해 계량화된 값으로 전환하여 정의해야 한다. 이와 관련하여 김동환(2000)은 정성적인 변수의 초기 값을 설정하는 방법으로 NUMBER라는 연구 방법론을 제시하였다. 이는 연구자가 정성적인 변수의 초기 값을 0~1 사이에 존재하는 소수(상황에 따라서는 -1~0 또는 -1~1 사이의 소수)를 임의로 선택하여 설정하는 방법이다. 하지만 정성적인 변수들의 초기 값이나, 이들 간의 상관계수는 연구자의 주관에 따라 값의 크기가 달라질 수 있기 때문에 객관적 타당성에 문제가 발생할 수 있다. 연구자의 주관에 따라 변수의 초기값을 단정적으 설정하였을 경우, 어떤 문제가 발생하는지를 살펴보기 위해 김동환(2000)에서 제안하는 NUMBER 방법론을 가지고 실험(시뮬레이션)을 해보도록 하겠다. 시뮬레이션에 따른 데이터 분석의 용이성을 고려하여 [그림 6]의 왼쪽 편과 같이 SFD의 기본 모형을 사용하기로 한다. 해당 모형과 모형 내의 변수 정의에 사용된 수식은 앞서 언급한 문헌에서 인용하였다. 그리고 변수([그림 6]모형에서는 수준변수)의 초기값 설정 변경의 용이성을 위해 0.0과 1.0 사이의 값을 자유자재로 설정할 수 있는 슬라이더(slider) 기능을 모델과 함께 정의하였다.



[그림 6] 컴퓨터 시뮬레이션 모델과 시나리오 기반의 실험을 위한 옵션

모형의 변수에 사용된 수식은 다음과 같다.

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

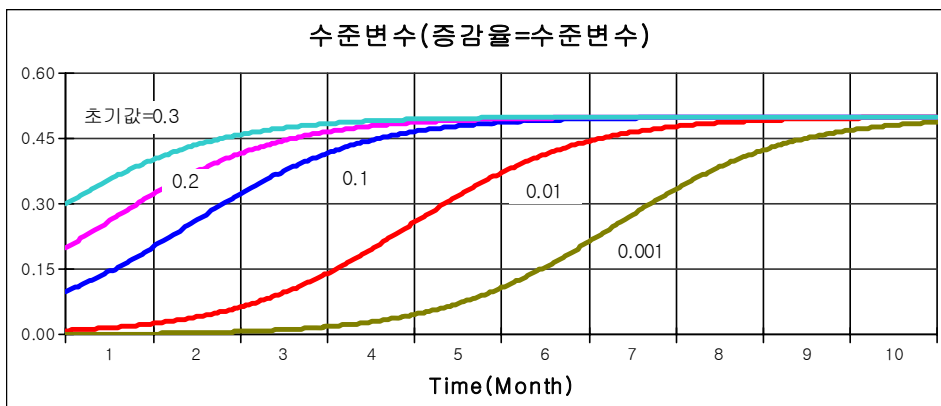
실험은 모형 인용 문헌에서와 같이 4가지의 경우로 나누어 진행하였으며, 그 분류는 [표 1]과 같다.

[표 2] 변수의 초기값 및 상관계수(증감율) 변화에 따른 실험 결과 분류

구분	증감율=수준변수	증감율=1-수준변수
	[그림 7], [그림 9]	[그림 8], [그림 10]
0에 가까운 수 입력	[그림 7]	[그림 8]
1에 가까운 수 입력	[그림 9]	[그림 10]

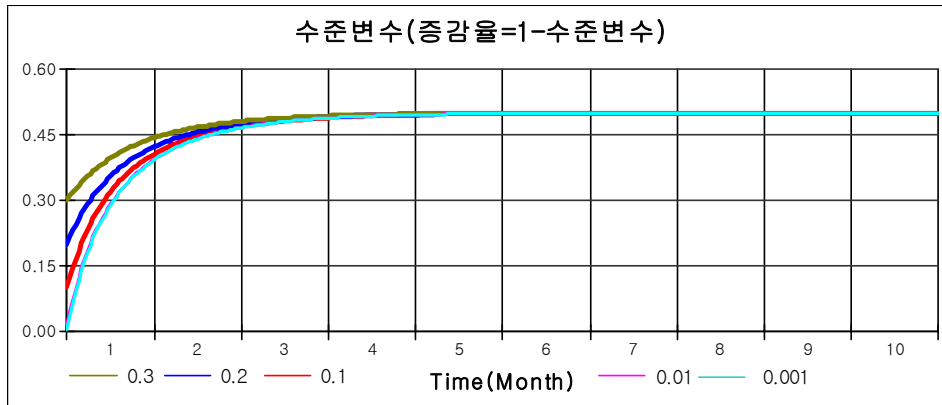
* 0에 가까운 수 : 0.001, 0.01, 0.1, 0.2, 0.3
 1에 가까운 수: 0.999, 0.99, 0.9, 0.8, 0.7

[그림 7]은 수준변수와 수준변수의 증감율이 같은(증감율=수준변수) 환경에서 0에 가까운 수를 입력한 결과를 보여주고 있다. 이 때 사용된 변수의 초기값은 0.001, 0.01, 0.1, 0.2, 0.3이다. 실질적인 실험에서는 이 외에도 수많은 값들이 사용되었지만, 결과 비교 및 설명의 용이성을 위해 앞서 언급한 5가지의 수치 비교로 나타내었다. 수준변수의 행태를 살펴보면 5가지의 모든 경우에서 0.5의 값으로 수렴하고 있다.



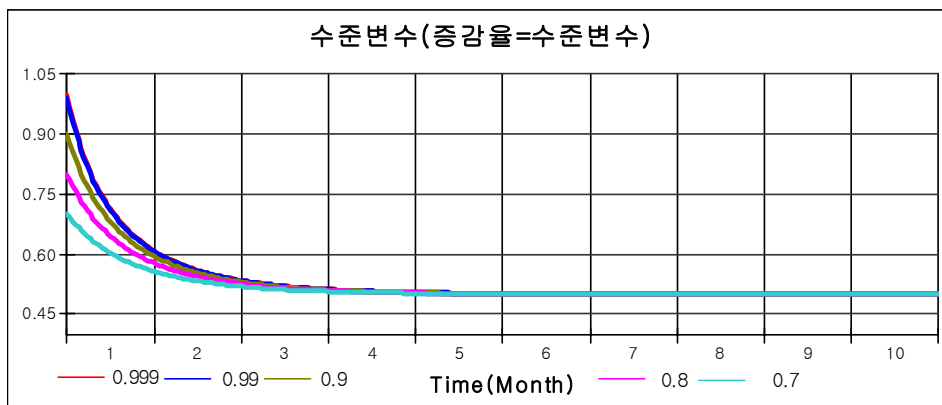
[그림 7] 변수의 초기 값에 따른 행태 변화1

한편 초기 값이 0.001, 0.01 인 경우에는 "S" 성장 곡선의 모습을 나타내지만, 초기 값이 0.1 이상일 경우에는 "S" 성장 곡선에서 도입부(시작부분)가 생략된 곡선의 형태를 나타내었다. 그리고 0에 가까운 값으로 0.01과 0.1을 입력했을 때 나타나는 행태가 명확하게 구분된다는 점은 연구자의 주관에 따라 실험의 결과가 다양하게 나타날 수 있음을 의미한다.



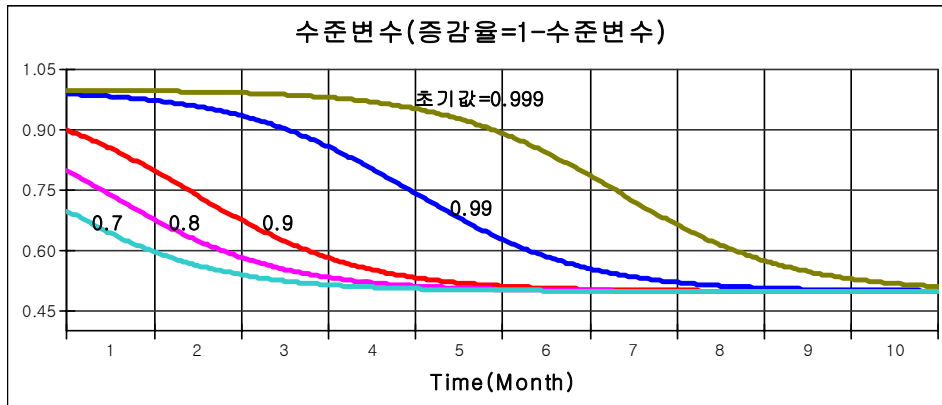
[그림 8] 변수의 초기 값에 따른 행태 변화2

[그림 8]의 경우에는 수준변수의 증감율이 '1-수준변수'인 상황에서 0에 가까운 5가지의 수치([그림 7과 동일])를 입력한 결과이다. 이 경우 초기 값에 따라 수준변수의 증가 기울기가 변하지만, 행태의 패턴은 유사하게 나타나고 있다.



[그림 9] 변수의 초기 값에 따른 행태 변화3

[그림 9]는 앞의 두 경우와 달리 1에 가까운 수를 입력한 경우다. 이 실험의 환경은 수준변수의 증감율이 수준변수와 동일하고, 사용된 수치는 0.999, 0.99, 0.9, 0.8, 0.7이다. 이 경우 입력된 초기값에 따라 수준변수의 감소 기울기가 다르지만, 행태는 유사하게 나타나고 있다.



[그림 10] 변수의 초기 값에 따른 행태 변화4

[그림 10]은 수준변수의 증감율이 '1-수준변수'이며, 초기값으로 사용된 수치는 [그림 9]와 동일하다. 이 때 나타나는 행태는 [그림 7]에서처럼 2가지의 패턴이 나타난다. 하나는 역'S'자 모양이고, 다른 하나는 역'S'자의 도입부(시작부분)이 생략된 모양이다. 즉 1에 가까운 수를 입력하더라도 0.9와 0.99의 경우처럼 연구자의 주관에 따라 실험의 결과로 나타나는 행태가 달라질 수 있다.

위의 4가지 실험 결과, 연구자의 주관에 따라 변수의 초기 값을 설정했음에도 불구하고 행태가 유사하게 나타날 확률은 50%였다. 이에 대한 구체적인 수치를 밝혀내려면 더 많은 시나리오 상에서 실험을 전개해봐야 판단할 수 있겠지만, 이번 실험만으로도 연구자의 주관성에 의한 초기값 입력은 실험의 타당성에 결함을 야기할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그렇다면 정성적인 변수를 시뮬레이션 모형으로 정의할 때 해 객관적 타당성을 확보할 수 있는 방안은 무엇인가? 본 연구에서는 다음과 같은 방안을 제시하고자 한다.

정성적인 변수는 상황에 따라 다양하게 정의될 수 있는 임의성을 내포하고 있으므로 이를 사실적으로 모형에 반영하기 위해서는 다양한 시나리오(경우의 수)를 준비하여 실험하고, 이에 대한 결과값을 사실적으로 비교, 분석하는 과정이 필요하다. 시뮬레이션은 미래의 불확실성에 대처하기 위해 사전에 다양한 상황을 실험하고 분석하는 데 주요 목적이 있는 것이지, 미래를 확정적으로 예측하기 위함은 아니다. 따라서 단일 시나리오를 가지고 단언적이고 확정적으로 실험 결과를 주장해서는 해당 실험 결과의 객관적 타당성을 확보하는 데 어려움이 있다.

3. 정책(전략) 분석 및 도출

가. 단언적 예측(추정)을 통한 정책 도출의 오류

시스템의 mental 모형을 컴퓨터 시뮬레이션 모형으로 정의할 때와 정성적인 요인들을 시나리오 기반으로 정의하지 않고, 단언적이고 확정적인 환경에서 정의를 하게 되면, 앞서 언

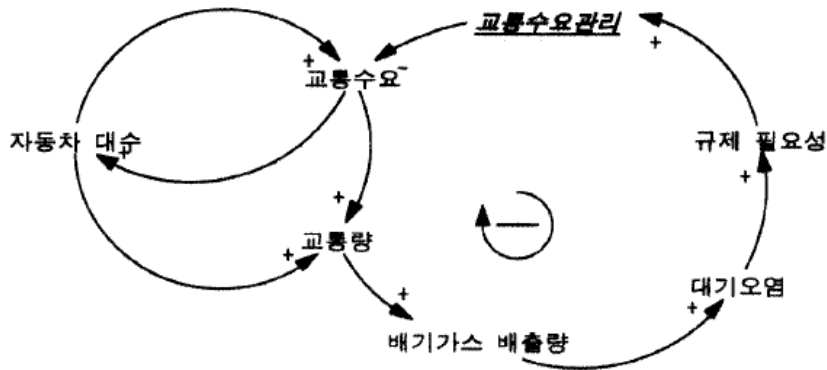
급한 것처럼 시스템의 행태 분석이 제대로 이루어지지 않을 확률이 존재한다. 이는 시스템 다이내믹스에서 해당 경우 외의 상황에서 발생하는 행태, 특히 일반적인 상황에서는 분석할 수 없는 돌발적인 행태를 분석할 수 있는 기회를 갖지 못함으로써 문제해결을 위해 도출한 정책(대안)이 적절한 효과를 거두지 못하는 문제(정책 실패)로 이어질 수 있다. 따라서 정책 분석 및 도출 역시 다양한 상황(시나리오)에서의 실험을 통해 이루어져야 한다. 시스템 다이내믹스 연구자는 현실 문제를 정확하게 컴퓨터 모형으로 만들어내고, 이를 시뮬레이션 함으로써 미래를 정확하게 예측하는 것도 중요하지만, 현재의 시스템이 미래의 불확실한 상황에서 보다 안정적이고 긍정적인 상태로 유지, 운영될 수 있도록 예상 가능한 시나리오를 타당성 있게 제시하고, 제시된 시나리오 별로 분석된 행태에 걸맞은 정책 대안을 분석, 도출하는 것을 비교하였을 때 어떤 것이 더 타당한가를 비교해 볼 필요가 있다. 경영학에서도 기업조직(시스템)을 지속가능한 상태로 유지하기 위해서 미래의 불확실적 상황(조직내부 및 외부의 동태적 상황)을 관리하는 데 시나리오 기반의 전략을 구사한다는 점(물론 이를 뒷받침하기 위해 수많은 관련 이론 및 기법들이 지원된다.)을 감안할 때, 시스템 다이내믹스가 사실적인 사고가 요구되는 부문(문제인식 및 정의 등)외에 가상적인 사고(시나리오 예상)가 요구되는 부문에 대해서도 연구자가 적절히 대처할 필요가 있다. 여기서 가상적이라는 용어를 사용하는 것은 했지만, 이는 시나리오의 가상성의 관점에서 표현한 것이고 시나리오의 분석 및 작성 역시 사실적 사고에 근거해서 진행되어야 한다.

한편 시스템의 행태 분석을 통해 연구자가 문제의 전개 양상과 문제 개입 지점 및 시점 등을 파악한 후, 연구자가 문제 해결을 위해 적용 가능한 대안들을 제시하고 적용하는 과정을 거친다. 이 때 적용 가능한 대안들도 여러 가지가 될 수 있다. 따라서 시스템의 행태 분석 과정에서 변수의 값을 다양한 수치(시나리오)를 입력함으로써 행태변화를 살펴보았듯이, 다양한 대안들을 기존의 시스템에 적용하게 되면 다양한 행태들을 분석할 수 있다. 이 때 효과적인 대안 혹은 효과적인 대안 중에 가장 효율적인 안을 정책으로 도출함으로써 정책의 타당성을 확보할 수 있다. 또한 시나리오별로 행태 분석이 이루어진 경우, 각 시나리오 상에서 가장 적절한 대안들을 정책으로 제시함으로써 다양한 상황에서의 시스템 통제 가능성을 높일 수 있다.

나. 정책지렛대 발견 및 적용(표현)의 명확성에 관한 문제

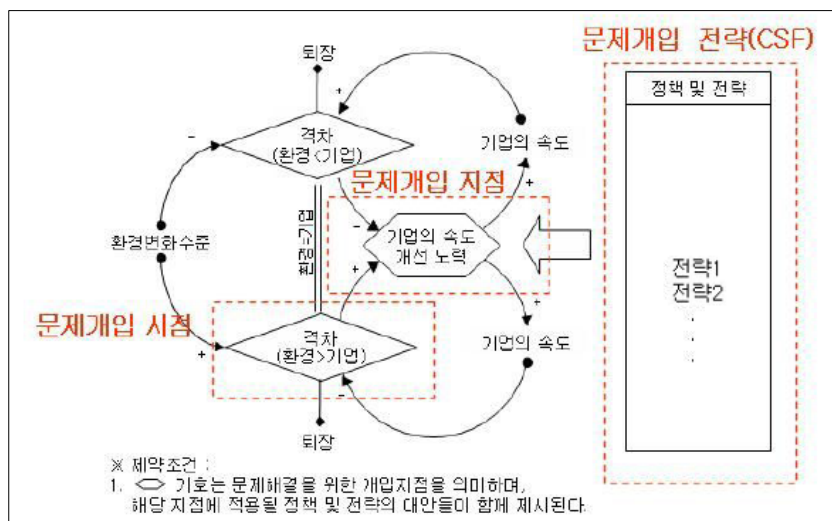
정책 분석 및 도출 과정에서 활용되는 개념으로 정책(전략) 지렛대라는 것이 있는데, 이는 시뮬레이션 결과상에서는 각 대안 결과를 비교(민감도 분석)하여 가장 우수한 값을 가지는 안을 정책으로 도출한다. 그런데 시뮬레이션을 하지 않고 인과지도 상에서 정책지렛대 개념을 적용하여 정책을 발견하고 도출하는 경우도 있다. 하지만 인과지도에서 정책지렛대를 적용해서 도출하는 방법은 거의 전무한 실정이었다. 주로 인과지도의 행태에 대해서 서술하는 과정에서 대안을 도출하는 방법을 사용하였고, 인과지도 상에서 정책지렛대를 표기하는 경우에는 [그림 11]에서와 같이 변수명에 밑줄을 긋는 방법이나, 인과지도 내의 변수대신 정책을 기입하는 식의 방법을 활용하였다. 하지만 체계적인 정책지렛대 발견 및 표기 방식이 체

계적이지 않다는 문제점이 있다.



[그림 11] 인과지도 상에서의 정책지렛대 발견 및 표시 사례
출처 : 최남희, 김선경(2001)

이와 관련하여 최근에 정재운 외(2007)에서 인과지도 상에서 정책지렛대를 발견하는 프로세스를 시각적으로 정의하는 연구를 진행함으로써 지렛대의 발견 및 적용의 명확성을 구체화하고자 하였다. [그림 12]가 그 예이다. 해당 그림을 보면 기존의 인과지도 작성에 사용된 기호 외에 여러 기호들이 사용되어 시스템의 행태에 대해 기존 보다 풍부한 정보(문제 시작 시점, 행태 변화의 논리 비교, 정책 개입 시점 및 지점 등)를 제공하고 있다. 그리고 정책 지렛대로 활용하고자 하는 대안들을 정책 개입 지점 부근에 도식화함으로써 추상적인 정책지렛대의 개념을 인과지도 상에서 가시화함으로써 기존보다 정책지렛대 발견 및 적용의 명확성이 높아졌다. 하지만 이를 보다 대중적으로 활용하기 위해서는 추가적인 보완 과정을 거칠 필요가 있어 보인다.



[그림 12] 정재운 외(2007)의 정책(전략)지렛대 도출 모형

IV. 결론

본 연구에서는 기존 사례를 통해서 시스템 다이내믹스가 연구자에게 허용하고 있는 주관성을 통제하지 못함으로써 발생하는 문제점들을 살펴보고 이를 개선할 수 있는 방안에 대해서 살펴보았다. 그러나 연구의 시간적 제약으로 본문을 통해 다룰 수 있는 사례가 소수였다는 점과 연구 내용 중에 일부 생략된 부분이 있어 본 논문의 논리 전개에 대한 보완이 필요한 것으로 분석된다. 어쨌든 시스템 다이내믹스의 타당성에 대한 본 연구의 연구적 접근을 계기로 시스템 다이내믹스 학문 자체의 이론적 발전과 함께 다양한 응용 분야에서 활용되는 사례가 늘어나 시스템 다이내믹스의 방법론적 위상이 향상될 수 있기를 바란다.

[참고 문헌]

- 김동환(2000). “인과지도의 시뮬레이션 방법론 - NUMBER,” 한국 시스템 다이내믹스 학회 학술대회 발표 논문집, 제2호: 39-60.
- 정재운, 김현수(2007). “인과지도의 타당성 확보와 정보 표현력 향상을 위한 연구,” 「한국 시스템다이내믹스 연구」, 제8권 제1호 : 97-115.
- 최남희, 김선경(2001). “도시교통과 환경간의 동태적 관계와 정책실험논리,” 「한국 시스템다이내믹스 연구」, 제2권 제2호 : 97-118.
- 현대·기아자동차(2007). Automotive Market.

