

확률적 시스템 다이내믹스를 이용한 정책구조 수립 방법론과 그 응용

The Development and Application of Policy Formulation Methodology Using Probabilistic System Dynamics

趙 滢 來*
李 軫 周*

Abstract

A new approach to cross impact analysis using probabilistic system dynamics(PSD) is presented in this article. The previous models using PSD consist of system dynamics models as a basis which are interacting with cross impact analysis (CIA) sectors. In this model, the policy impact analysis part is separated from the CIA sectors and is constituted an independent subsectors of the model. The policy subsector is designed to separate the policy impact and provide feedback both to the system dynamics base model and cross impact analysis sectors.

The new technique is applied to the forecasting, assessment and policy formulation of air pollution in Seoul metropolitan area in 2,000. The results show that the new tool consider policy effects more effectively than the previous PSD models.

제 1 장 서 론

1-1. 연구 목적 및 의의

사회가 발달하고 복잡해짐에 따라서 미래를 내다본다는 것은 점점 어려워지고 있다. 그럼에도 불구하고 미래의 상황을 파악하고 그에 대처하는 것이 필요하며 어떤 경우에 있어서는 매우 중요한 의미를 지니므로, 각 개인 또는 집단별로 미래를 예측하기 위한 노력은 꾸준히 계속되어 왔다.

본 연구는 이러한 노력들의 하나로 시스템 다이내믹스(System Dynamics)와 상호 영향분석(Cross Impact Analysis)이라는 두 가지 기법을 통하여, 시스템에 대한 미래의 상태 및 추이를 알고, 새로운 모형(Model)을 통하여, 그에 따른 정책(또는 전략) 구조(Policy Structure or Strategy Structure)를 수립하며 종래의 이와 유사한 방법론들과 비교분석하는데 그 목적을 두

고 있다.

본 연구는 이러한 두 기법을 통합하여 적용하는 데 있어서, 보다 현실에 가깝게 정책구조를 대응시키며, 또한 그러한 구조를 다각적으로 검토함으로써 의사결정자 및 정책수립자에 유용한 정보를 제공하는 데 그 의의를 갖는다.

1-2. 연구 내용 및 방법

본 연구의 내용은 다음과 같다.

- ① 상호영향분석의 이론적 개념에 대한 고찰.
- ② 확률적 시스템 다이내믹스를 이용하여, 정책 또는 전략을 고려하는 모형의 제안.
- ③ 다른 기법과의 비교
- ④ 위 모형의 적용.

본 연구에서 개발된 모형은 실제 상황에 시험적으로 아래와 같이 적용되었다. 먼저 면담(Interview) 및 문헌을 통해서, 서울시 대기 오염에 관한 오염원 및 각 사건들 그리고 이들의 관계를 나타내는 구조를 파악하

* 韓國科學技術院 經營科學科

고 각 사건의 미래 발생 확률과 조건부 확률을 추정 한 다음 여기에 정책을 관련시켜 대기오염 문제의 예측 및 정책수립에 본 연구에서 개발된 모형을 적용하였다.

제 2 장 상호영향도분석의 이론적 고찰

2-1. 상호영향분석의 기본 개념 및 내용.

상호영향분석은 1968년에 최초로 Gordon과 Hayward에 의해서 'Futures'에 발표되었다.⁷⁾

이는 우선 사건들을 나열하고, 그에 대한 미래추정 확률을 전문가의 의견을 통해서 얻은 다음, 각 사건쌍에 대해서 한 사건의 발생이 다른 사건의 발생에 주는 영향의 정도(+ 또는 -)를 역시 전문가의 의견에 따라 정한다. 이 각 사건쌍에 대한 영향도를 확률의 크기로 바꾸어서, 상호영향행렬(Cross Impact Matrix)을 구성한다. 상호영향행렬을 구성한 후에는 몬테 칼로 시뮬레이션을 통해서 그 상호관련을 다시 조정하는 방법이다. 위와 같은 최초의 방법 이후 상호영향분석은 몇 가지로 변형되어, 여러 갈래의 길을 따라 발전하게 되었다.

이를 시나리오 창출절차(Scenario-Generation)에 따라 개괄적으로 분류해 보면,¹¹⁾

- (1) 발견적 기법(Heuristic Approaches)
- (2) 시뮬레이션(Simulation)
- (3) 프로그래밍(Programming)

등의 3가지 접근방법으로 나눌 수 있다.

2-2. 상호영향분석의 개괄

2.2.1. 발견적 접근방식(Heuristic Approach)

대표적인 예는 Tuoff에 의해서 제안된, 사건확률(Event Probability)이 0이나 1에 가까우면 이것을 미발생, 발생으로 가정하는 방법이나,¹²⁾ Duval, Fontela와 Gabus에 의해서 제안된, 우도비율(Likelihood-Ratio)을 이용한 방법 등에서 볼 수 있다.¹⁶⁾

2.2.2. 시뮬레이션(Simulation)

이는 Gordon과 Hayward의 시뮬레이션을 이용한 방법들을 말한다. 최초의 확률들을 사건집합사이의 잠재적 상호작용을 통하여 조정하는 시뮬레이션 접근방법이다.

2.2.3. 프로그래밍

이는 결합확률 $P(i, j)$ 사이의 차이를 제공하여 최소화시키며, 시나리오 확률의 형태로 표현되는 이론적인

확률요소들에 대한 전문가의 의견으로부터 결과가 도출되는 일련의 접근 방법으로서, 그 대표적인 것으로 Duperrin과 Godet의 SMIC-74가 있다.⁴⁾

제 3 장 정책과 관련된, 확률적 시스템 다이내믹스에 대한 새로운 접근 방법

3-1. 이론적 근거

기본적인 상호영향분석 모형은 최초 상태의 이전에 관한 정보가 없으며, 각 변수의 추세등을 제대로 고려하지 못하는 결점을 가지고 있다. 이러한 결점을 보완하기 위해 상태의 경과(Transition)에 관한 정보 및 시스템의 행태(System Behavior)에 관한 현상을 반영할 수 있는 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 모형을 사용하며, 또한 각 변수의 추세를 고려할 수 있는 추세영향분석(Trend Impact Analysis)을 도입한다.

3.1.1. 추세 영향분석(Trend Impact Analysis; TIA)

이 방법은 연구되는 시스템의 중요변수를 파악하고, 과거의 시계열자료를 이용해서 변수들의 과거 추세를 미래로 확장함을 기본으로 하고 있다.^{(1), (9), (12)} 실제 추세 영향분석을 행하는 데 있어서는 다음의 단계를 밟는다.

첫째, 대부분의 추세 예측치들은 과거자료의 외삽(Extrapolation)에 기본을 두고 있다. 추세영향분석은 외삽법에 의해서 산출된 기본출발선예측(Baseline Projection)을 통하여 그것을 조정함으로써 미래사건의 영향을 설명한다.

두번째 단계는 미래의 사건들, 즉 그 사건들이 발생한다면 기본출발선예측에 변화를 가져올 그러한 사건들을 파악하는 것이다. 일단 잠재적으로 중요한 사건들의 집합이 파악된 후에는, 시간의 함수로서의 각 사건의 발생확률이 추정되어진다.

다음 단계는 기본출발선예측에 대한 각 사건의 영향을 추정하는 것이다. 다시 말하자면, 그 사건이 발생한다면 기본출발선이 변화하게 되는 방식을 추정하는 것이다.

이상에서 설명한 바와 같이, 보편적인 추세영향분석은 시계열변수의 미래에 대한 예측치를 산출하고, 그러한 예측치들의 불확실성의 척도를 나타내는 기법이다.

3.1.2. 확률적 시스템 다이내믹스(Probabilistic System Dynamics; PSD)

미래를 예측하기 위한 많은 기법들이 기본적으로 외삽법(Extrapolation)을 사용하고 있으며, 이는 미래를 과거의 한 연장으로 가정한다는 것이다.⁷⁾

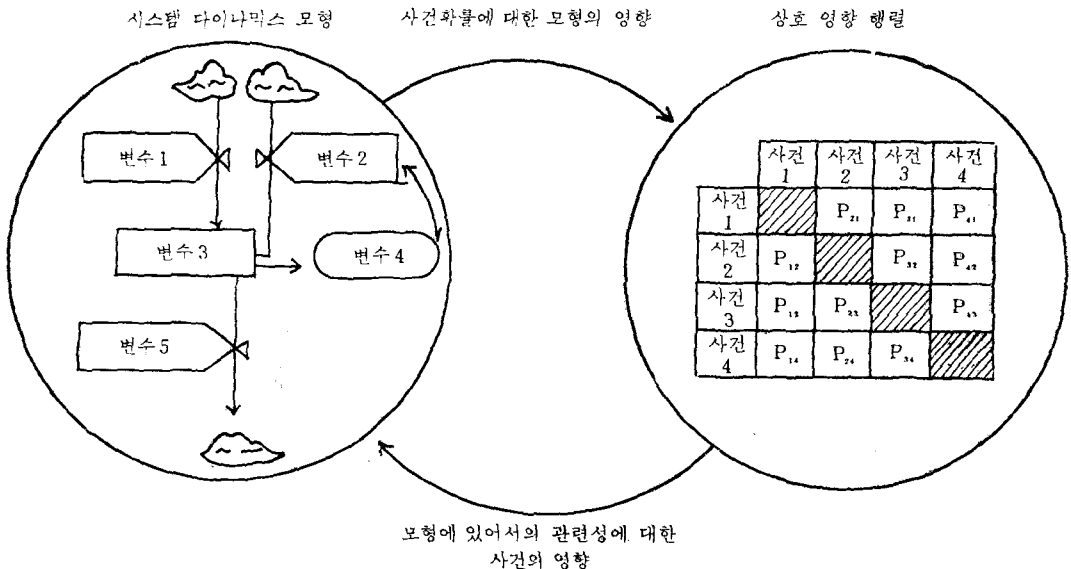
그러나, 이러한 가정은, 외삽법을 이용한 분석에 포함되지 않은 새로운 영향력을 가진 변수 및 사건들의 발생에 의해 매우 부정확하게 된다.

어떤 체계는 다른 체계보다 매우 빨리 또는 매우 늦게 변화할 수 있는데, 이는 그 체계가 어느 정도의 관성(Inertia) 또는 지속력을 가지고 있는가 하는 문제이다. 그런데 모든 체계는 인식되지 못한 힘에 의해서, 그 힘의 결과로 변화되며 그러한 힘은 외삽법의 정확도와 유용성을 감소시킨다. 그래서, 과거의 자료로부터 얻어진 정보와 인식되어지지 않은 사건 및 요소들에 대한 자료 또 그에 대한 인식을 결합하는 것과 이들을 고려하는 체계적인 방법이 예측에 있어서 필요하게 된다. 그러나, 대부분의 이러한 기법들이 단기적으로 매우 유용하며, 상관관계(Correlations)에 관해서는 많은 자료를 주고 있으나, 인과관계(Causality)를 나타내는 데는 미약하다. 시스템 다이내믹스(System Dynamics)는 이러한 인과관계에 초점을 맞추고 있으며, 폐쇄 또는 반폐쇄된 체계의 양상을 결정하는 비율 및 상태 변수(State Variable)를 정의함으로써 과거의 발달과정을 설명하는 체계적 모형을 산출해 낸다. 그러나, 이러한 시스템 다이내믹스는 대부분 그 관계가 관

단에 근거하고 있으며, 과거의 자료에 의해 결정되지는 않는다. 그래서, 변수들과의 인과관계를 고려하며 그 변수들의 과거의 자료를 이용하여 그 정보를 반영하는 기법으로서 추세영향분석(TIA)을 그리고 인식하지 못한 사건을 인식하며, 그들의 상호관련성을 고려하는 기법으로서 상호영향분석을 통합하여 확률적 시스템 다이내믹스 모형을 수립하게 되었다. 즉 확률적 시스템 다이내믹스는, 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 모형화(System Dynamics Simulation Modeling)를 시간에 의존하는 상호영향분석기법과 결합시킨 것이다. 그림<1>은 이러한 두 기법의 결합을 보여주주고 있다.⁽¹²⁾ 상호영향행렬에 포함된 사건들은 그 사건들이 만약 발생된다면 시스템 다이내믹스 모형내에 있는 변수들에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 변수들간의 관계가 변할 수 있는 것이다. 따라서 전체적인 모형의 시행에 있어서의 계산순서는 다음과 같다.

처음에는 특정한 기간에 대해서 시스템 다이내믹스 모형내에서만 계산을 수행한다. 이러한 값들 중 어느 부분은 상호영향행렬로 이전되고, 이전으로 말미암아 영향받게 되는 변수들의 사건확률에 대한 영향이 계산된다. 다음으로, 이러한 새로운 사건확률이 다른 사건확률에 미치는 영향을 계산한다. 이러한 새로운 확률은 다시 원래의 시스템 다이내믹스 모형으로 옮겨져서 이러한 확률들에 대한 반응으로서의 모형내의 변화가 결정된다. 그러면 그 다음 해를 구하기 위한 기간(Solution interval)에서 계산이 수행된다. 이러한 방법으로 미래의 각각 동떨어진 사건들의 중요한 영향이

<그림 1.> 확률적 시스템 다이내믹스에 있어서의 새로운 영향 케환(New Impact Loops in PSD)



상호영향분석의 사용을 통해서 시물레이션 모델에 포함된다.

확률적 시스템 다이내믹스의 주요한 장점은,

① 모형의 예측에 있어서 고려되어야 하지만, 시스템 다이내믹스 기본모형의 관심영역 밖에 있는 사건들을 확률적으로 포함시켜서 그것이 발생한다는 것을 가능하게 하고 있다. (여기서 기본모형은 시스템 다이내믹스모형으로서 중요 변수와 그 관련성을 설명한 모형임.)

② 기본모형(Basic Model)의 구조 그 자체가 동적이 된다. 변수들 사이의 관계, 그리고 심지어 부분별사이의 관계도 모형의 다른 부분들로부터, 또는 사건으로부터 받는 영향이 축적됨에 따라 변화할 수 있다.

③ 모형의 변수들, 그리고 모형의 구조 또는 사건확률들 사이의 관계에 대한 정책의 효과라는 관점에서 정책을 시험할 수 있다. 그리고 기본모형 외부의 영역에서 중요한 영향을 갖는 정책도 역시 그러한 정책들의 외생적 사건들에 대한 효과를 통해서 시험되어질 수 있다.

3-2. 모형의 구체적인 절차 및 특성

3.2.1. 절차

위에서 언급된 바와 같은 이론적 근거 및 효용성을 가진 이 모형의 구체적인 절차는 다음과 같이 크게 두 가지로 구분될 수 있다.

첫째는 컴퓨터 시행(run)을 하기 이전에, 모형을 수립하고 정책구조를 수립하며, 컴퓨터 시행을 하기 위한 과정이며,

둘째는, 위의 모형에 대한 컴퓨터 프로그래밍과정과 실제의 계산과정 즉 컴퓨터 시행과정 및 그 결과로서 원하는 하나의 정책구조를 선택하는 과정이다.

첫째 과정은 대개 4단계로 구분되어 있는데 다음과 같다.

1. 기본 모형의 수립.

여기서는 시스템내의 주요변수를 파악하며, 그 변수들 사이의 관계를 추정하여서 기본 모형을 구성한다.

2. 상호영향부문(Cross Impact Sector)의 확정.

여기서는 1단계에서 고려하지 못한 미래 사건의 집합을 구성한다.

3. 모든 변수와 사건간의 관계 및 상호영향도의 결정.

4. 정책구조의 수립.

우선 3단계, 즉 변수간의 관계 및 상호 영향도분석은 다음의 절차를 밟아 수행된다.

① 기본모형내의 중요변수들의 기본출발선예측(Bas-

eline Projection)을 결정한다. 이것은 변수들의 과거의 자료를 이용하여 여러가지 함수에 적용(Fit)시킨 후 가장 좋은 함수의 형태를 선택한다.

그 다음은, 그 함수를 이용하여, 시간의 증분 Δk 의 함수로서 그 변수(예로써 X 라하면)의 증분 ΔX 를 구한다. 이것으로 상호영향을 고려하기 전의 기본출발선예측을 구할 수 있다.

② 상호영향부문에 포함되는 사건의 시간에 의존하는 확률(Time Dependent Probability)과 각 사건쌍에 대한 조건확률을 추정한다. 조건확률은 이미 앞에서 언급된 바와 같이 각 사건쌍에 대한 전문가의 의견을 토대로 추정되며, 시간에 의존하는 확률은 다음 과정을 거쳐 구해진다. 우선 다음 3가지 모수(Parameter)를 전문가의 의견을 토대로 추정한다.

이것은 누적확률분포곡선을 구하기 위한 것으로서,

ㄱ. 각 사건의 최대누적확률(M)

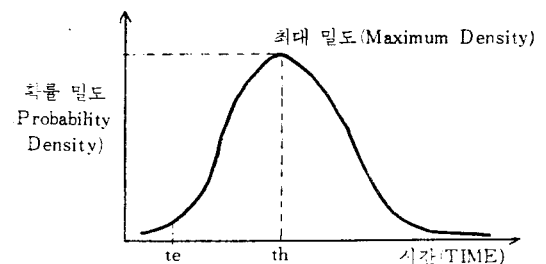
ㄴ. 각 사건에 대해서 최대누적확률의 1/10에 해당하는 누적확률의 초기발생시점. (t_0)

ㄷ. 각 사건에 대해서 최대누적확률의 1/2에 해당하는 누적확률의 초기발생시점. (t_k)등이다.

여기서 로지스틱 곡선(Logistic Curve)이 사건의 누적분포함수(CDF)를 설명하기 위해서 사용된다.¹⁾

이것은 그림 <2>에서 보듯이 U자를 거꾸로 놓은 모양의 사건확률밀도(Probability Density)를 가진다는 것을 의미한다. 이러한 관점에 따르면, 사건들이 과거에 있어서 발생한 확률밀도는 무시할 ($\ll 0.1$) 만한 현상이라고 정의되는 것이다. 그래서 그 무시할 만한 확률수준에서 미래의 한 시점에 최대수준까지 도달하며, 다시 장기간의 미래 시점에 있어서는 다시 무시할 만한 수준으로 떨어진다는 것이다. 이러한 방식으로 사건확률밀도를 표현하는 개념은 이상하거나 새로운 것이 아니다. 그것은 가끔, 만약 사건이 어떤 시점 이전에 발생하지 않는다면, 그 확률은 그 후의 시점에서 전혀 발생하지 않을 것이 거의 확실해지기까지 급격히 감소할 것이라고 여겨지기 때문이다.

<그림 2> 사건발생의 확률밀도(Probability Density of the Occurrence of an Event)



이제 누적확률을 나타내는 로지스틱곡선을 살펴보자.

$$CP = M / (1 + \exp(at + b))$$

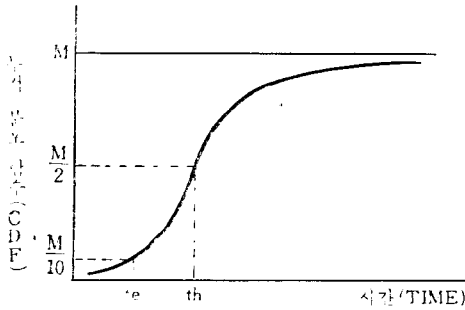
CP : 사건의 누적확률(Cumulative Probability of an Event: CDF)

M : 최대누적확률(Maximum Cumulative Probability)

t : 시간(미래로 향하는 시간의 단위(Time: Number of Units of Time into the Future))

a와 b : (결정되어야 할) 상수(Constants to be determined)

곡선의 모양은 그림<3>과 같다. 이제 앞에서 추정 한 3 가지 항목(M, t_e, t_h)으로써 세 개의 조건을 다시 구성 할 수 있으며, 그것으로 상수 a와 b를 결정할 수 있다.



<그림 3> 사건의 누적 확률분포(CDF)

ㄱ. $t = t_e$ 에서, $CP = 0.1M$ (*)

ㄴ. $t = t_h$ 에서, $CP = 0.5M$ (**)

ㄷ. $t = \infty$ 에서, $CP = M$

로지스틱등식을 대수적인 형태로 다시 쓰면,

$$at + b = \ln((M/CP) - 1)$$

식(*)와 (**)에서 a와 b를 구하면,

$$a = -(1/(t_h - t_e)) \ln 9$$

$$b = -(t_h/(t_h - t_e)) \ln 9$$

이제 M, a, b를 로지스틱함수에 대입함으로써 누적확률 분포함수를 구할 수 있고, 따라서 시간에 의존하는 확률밀도함수도 구할 수 있다.

③ 앞의 ①, ②를 기반으로 해서 추세영향분석에서 설명한 바와 같이 사건과 추세와의 사이에 상호작용하는 4가지 관계를 추정하여 각각의 모형에 반영한다.

여기서 이 관계에 대한 부분을 다시 수리적으로 전개해 보기로 한다. 우선 다음과 같이 정의한다.

$X(k)$ = 시점 k에 있어서 영향을 받기 전 추세 X의 계획된 수준(Projected Levels of the Initial Trend X at time k, $k=1, 2, \dots, n$)

$Y(k)$ = 시점 k에 있어서 영향을 받기 전 추세 Y의 계획된 수준(Projected Levels of the Initial Trend Y at time k, $k=1, 2, \dots, n$)이라 정의하고 이것들의 증분

을 $\Delta x, \Delta y$ 라 하면,

$$\Delta x = \left(\frac{dx}{dk} \right) \cdot \Delta k,$$

$$\Delta y = \left(\frac{dy}{dk} \right) \cdot \Delta k \text{이다.}$$

또 g_{xy} : 추세 Y에 대한 추세 X의 상호영향(Cross-Impact of Trend X on Trend Y)

(이것은 추세 Y에 있어서 실제값과 영향을 받기 전의 값과의 차이함수이다.)

g_{yx} : 추세 X에 대한 추세 Y의 상호영향(Cross-Impact of Trend Y on Trend X)

(이것은 추세 X에 있어서 실제값과 영향을 받기 전의 값과의 차이함수이다.)

$X'(k), Y'(k)$ 를 추세의 새로운 상호영향후의 각각 X와 Y의 수준이라 하면,

추세 X에 대해서;

$$X'(k) = X'(k-1) + \Delta x \cdot (g_{yx} + 1)$$

추세 Y에 대해서;

$$Y'(k) = Y'(k-1) + \Delta y \cdot (g_{xy} + 1)$$

이를 일반화시키면, n개의 추세가 있는 경우, 추세 j에 대해서;

$$X_j'(k) = X_j'(k-1) + \Delta X_j \cdot \left[\left(\sum_{i=1}^n g_{x_i x_j} \right) + 1 \right]$$

여기에, $f_{e_i x_j}$ 를 사건 i가 발생하였을 때 추세 j에 미치는 영향이라고 정의하고, 이 등식에 반영하면,

$$X_j'(k) = X_j'(k-1) + \Delta X_j \left[\left(\sum_{i=1}^n g_{x_i x_j} \right) + \left(\sum_{i=1}^m f_{e_i x_j} \right) + 1 \right]$$

이 된다.

참고적으로 PSD에 있어서 사건이 추세에 미치는 영향을 고려하는 데는 두 가지 방법이 있는데,¹⁵⁾ 그 첫 번째 방법은 그 영향의 기대치를 계산하여 반영하는 것으로서, 그 기대치는,

P_{y_e} 를 각 사건 e의 y해 발생확률.

$A(y_k - y)$, e를 각 사건 e가 발생한 후

$(y_k - y)$ 해 뒤의 영향이라고 할 때,

$$\sum_{e=y_0}^{y_k} P_{y_e} \cdot A(y_k - y), e와 같다.$$

그리고, 두 번째 방법은, 사건의 발생, 미발생을 실제적으로 행하는 것이다. 본 연구의 적용례에서는 두 번째 방법을 선택하였다.

이제는 추세가 상호영향부분의 조건확률 및 사건확률에 미치는 영향과 사건상호간의 영향을 고려하는 일이 남았는데 사건상호간의 영향은 상호영향부분에서 사건상호간의 조건확률에 의해서 반영된다.

추세가 상호영향부분에 미치는 영향도 역시 그 추세

의 실제값과 영향을 고려하기 전의 값과의 차이의 함수이다. 이것으로서 기본모형과 상호영향부분에서 각 부문끼리 또는 부문상호간에서 이루어지는 상호영향을 고려하는 방법을 살펴보았다. (앞에서 언급한 바와 같이 4가지 방향, 즉, 사건상호간, 추세상호간, 그리고 사건이 추세에 미치는 영향 및 추세가 사건에 미치는 영향을 고려하는 방법을 보았는데, 이에 대해서 더 자세히 알고 싶을 경우는 참고문헌 (1), (2)(9)를 참고하면 됨.)

이제 정책구조를 수립하는데, 여기서는 정책대안을 열거한 뒤, 상황에 따라, (상황은 여러 가지가 있을 수 있다. 즉 비용이라든가 정책들 상호간의 관련성 내지는 배타성, 또는 정책들간에 있어서의 우선 순위, 또는 정책수립자나 의사결정자의 필요에 따르는 가장 바람직한 기준이라든지 기타 등등 여러 가지가 있을 수 있다.) 이러한 대안들을 서로 결합, 수정함으로써 가능한 몇 가지의 정책의 구조를 결정한다.

다음은 이러한 정책구조들이 위에서 수립한 모형에 미치는 영향 및 관련성을 조사하여 모형에 반영한다. 이 절차에서의 구체적인 계산과정은 앞에서 언급되었던 확률적 시스템 다이내믹스과정과 거의 같다. 이것

은 다음의 3단계로 구분된다.

1. 컴퓨터 프로그래밍
2. 컴퓨터 시행.
3. 그 결과분석 및 필요에 맞는 최적정책구조선택.

컴퓨터시행단계에서 이루어지는 과정을 좀 더 쉽게 이해하기 위해서 그림 <4>와 그림<5>를 참조한다. 이는 2변수와 2사건을 포함하는 단순한 모형의 경우를 통해서 살펴보고자 하는 것이다. 우선 다음의 변수들을 정의한다.

TR_i : 추세변수 i 의 수준(Level)

CTR_i, M : 영향을 받기 전의 외삽된 변수 i 의 증분.

DEV_i : 변수 i 의 원래의 기대되는 수준과 실제치와의 차이.

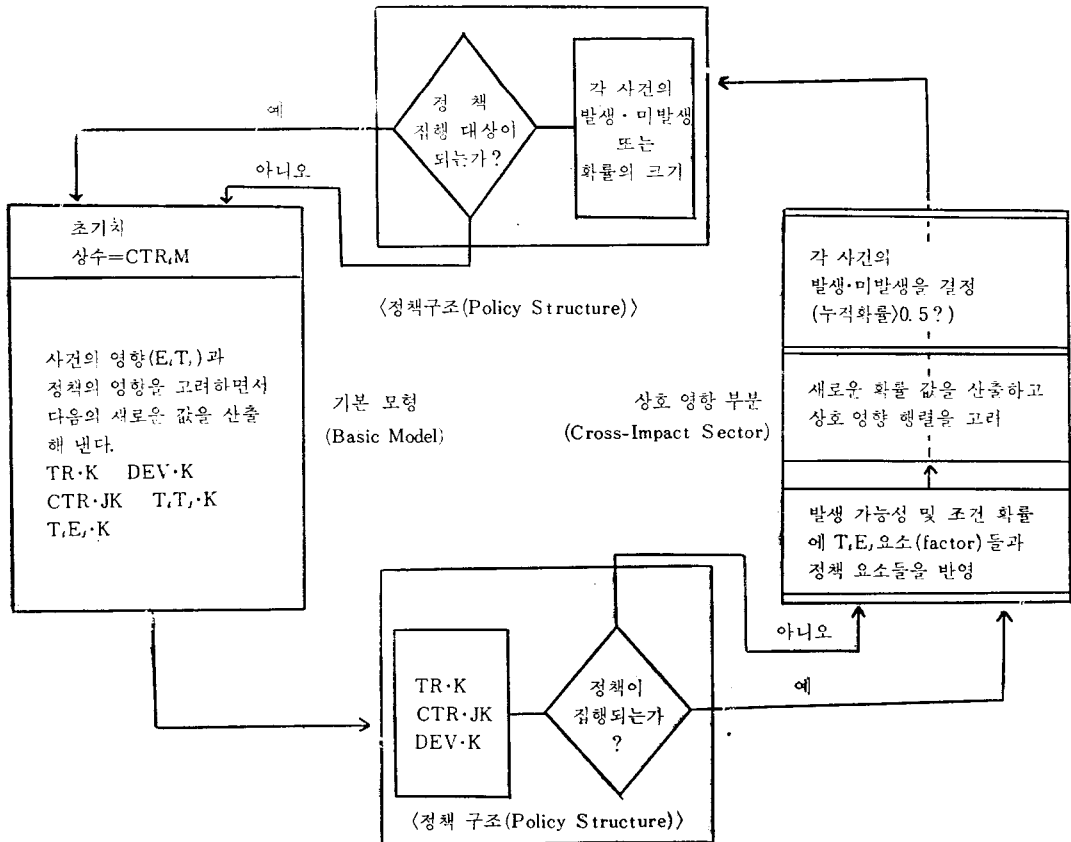
T_i, T_j, M : 변수 i 가 변수 j 에 미치는 영향의 정도.

(이것은 DEV_i 의 함수이다.)

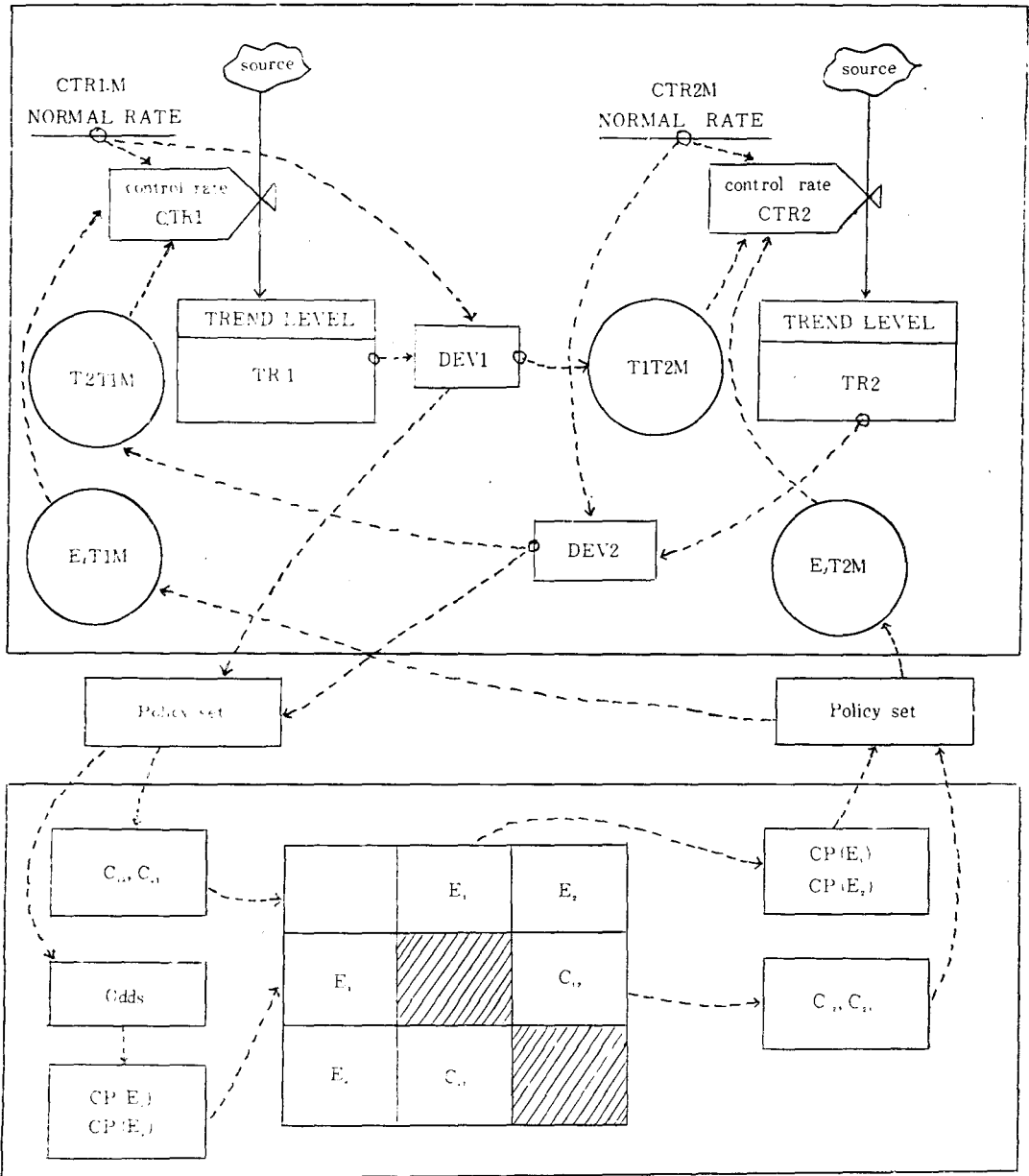
E_i, T_j, M : 이것은 사건 i 가 발생했을 때 변수 j 에 미치는 영향.

T_i, C_j, M : 이것은 추세 i 가 상호영향 확률행렬에서 조건확률(C_j)에 미치는 영향.

CTR_i : 변수 i 의 단위시간증분(DT)당 증가율. 이것은 CTR_i, M 과 T_j, T_i, M 및 E_j, T_i, M 의 영향을



<그림 4> 모형의 흐름도표(flow chart 1)



〈그림 5〉 (2변수 2사건 모델의) 흐름 도표 2 (flow chart 2)—flow of trend, ... flow of information

받는다.

$CP(E_i)$: 사건 i 의 누적확률.

C_{ij} : 사건 i 가 발생했을 때 사건 j 가 일어날 조건확률.

이상으로서, 실제 컴퓨터시행을 하기 이전의 모형을 수립하는 4단계와 실제 컴퓨터시행을 하고 그 결과에 따라 정책집행자가 원하는 정책구조를 선택하기까지의 과정을 모두 살펴보았다.

3.2.2. 이론적 근거 및 특성

상호영향분석은 어떤 특별한 계량적 기법 또는 통계적 분석의 적용이 까다로운, 그러면서도 시스템의 변화에 많은 영향을 끼칠 여지를 가진 요소들을 포함하는 모형에 비교적 많이 사용되어져 왔다. 그러나, 기술, 예측 및 평가에 적용되는 과정에 있어서, 시스템의 이전에 관한 정보 및 행태를 파악하기 어려운 결정을 보완하기 위한 노력이 많이 시도되고 또 발전한 때

비하여, 의사결정 기법으로서의 상호영향분석모형은 극히 발전하지 못한 상태였다. 그래서 본고에서는 의사결정이라는 관점에 맞추어 하나의 작은 시도로서 확률적 시스템 다이내믹스모형을 정책(또는 전략)에 관련시킨 기본모형을 수립하였다. 이 모형은 앞에서 언급한 PSD(확률적 시스템 다이내믹스)모형의 2가지 장점에 다음과 같은 특징이 있다.

이 모형은 크게 2가지로 사용될 수 있다.

첫째로는, 최적정책구조를 추구한다는 관점을 떠나서, (즉, 의사결정기법으로서가 아니라), 현실적으로 정책을 사건으로서만 반영할 경우, 이전의 모형보다 더욱 실제에 가깝게 반영할 수 있다. 즉, 이전에는 어떤 사건의 발생과 관련하여 어떤 정책을 채택할 경우 그 조건확률을 1로 해서, (다시 말하면, 조건확률이 1 이므로 그 사건이 발생할 경우 꼭 그 정책을 채택한다는 뜻이다.) 계산을 수행했는데 이 경우에 있어서 도중에 다른 상태와 관련하여 그 정책을 사용하지 않거나 다른 정책으로 바꾸는 것은 불가능하였으나 이런 모형에서는 가능하다. 또는 이전의 경우에는는 기대할 수 없었던 것으로서, 기본모형에 있어서 어떤 변수의 값이 어떤 수준에 도달할 때 어떤 정책을 채택한다고 할 경우에는 이런 적용이 가능하다. 그 외에도 이와 유사한 여러 상황에 있어서 비교적 좀 더 실제와 가깝게 적용이 가능하다.

둘째로 여러 가지 대안을 결합, 수정시킨 정책구조를 고려할 경우 일단의 복잡한 구조에 대해서 그 반영이 비교적 쉬우며, 그러한 구조에 따르는 효과를 쉽게 분리시킬 수 있다.

이전의 상호영향분석에 있어서, PSD이전의 제 모형은 위의 두 가지 경우에 있어서 적용이 불가능하며, PSD에 있어서는 적용이 가능하나, 모형의 수립이 매우 복잡하고 까다로우며, 특히 의사결정기법으로서, 구조에 따르는 각 대안의 효과를 분리시키기는 매우 어려울 것으로 보여진다.

그 반면에 PSD와 마찬가지로 이러한 모형은 변수나 사건들 상호간의 관련성을 고려하는 데 있어서, 그 효과가 중복되기 쉽다. 우선 이 모형에 있어서 내재적으로 볼 때, 추세란 어떤 관점에서 이러한 상호작용을 이미 많이 내포하고 있으므로 그러한 상호관련성에 의한 영향의 효과를 따로 분리시킨다는 데는 약간의 문제가 있다. 또한 모형수립자가 아무리 주의를 기울인다 하더라도 효과의 중복을 탈피하기는 어렵다.

제 4 장 서울시 대기오염문제에의 적용

대기오염문제는, 문명의 발달과 더불어, 현대사회 대

도시에 있어서 매우 심각한 문제로 등장하고 있다. 그래서, 국가적인 차원에서도 대기오염방지부문에 점차적으로 투자를 늘리고 있으며, 기타 다른 여러 면에서도 이 문제의 해결에 힘쓰고 있다. 본 연구는 앞에서 제시한 방법을 통해서 정책구조의 예를 들고 실제로도 그 문제해결방안의 선택방법을 보이며, 이 전반적인 과정에 대해서 분석하고자 한다.

4.1. 적용범위, 조사방법, 자료수집 및 분석

4.1.1. 적용범위

서울시의 대기오염발생원을 크게 보면 다음의 4가지로 구별된다.

- 첫째, 교통 부문,
- 둘째, 산업장 부문,
- 셋째, 주택 부문,

(주택 부문은 주택내 난방 및 취사로 인해서 발생하는 대기오염에 관련해서 구성되는 부문이다.)

- 네째, 화력발전 부문.

4.1.2. 조사방법, 자료수집 및 분석.

본 연구에서는 이 4가지 부문에 대해서 고려하기 매우 어려운 몇 가지 요인을 제외한 나머지 요인들과 가능한 대책 및 기타 연구에 필요한 여러 자료를 이용하여 분석하였다.

자료의 수집은 공해문제를 다루는 몇 연구소와 교육기관 그리고 환경청의 관계 전문가들로부터 면담(Interview)을 통하여 그리고 이 분야에 관련된 여러 문헌들의 조사를 통하여 이루어졌다. 이상의 자료를 분석한 결과를 다음 3단계로 설명하고자 한다.

- (1) 기본모형(Basic Model)에 포함되는 변수목록 및 기본출발선예측.

기본모형에 포함되는 변수들은 <표 1>과 같다.

이 변수들의 기본출발선예측은, 다음의 다섯 가지 함수형태중 과거 자료를 이용한 적용(fitting)이 가장 좋은 함수를 이용하였다.¹⁷⁾

1. 선형함수(Linear Function)
2. 지수함수(Exponential Function)
3. 수정지수함수(Modified Exponential Function)
4. 로지스틱스함수(Logistics Function)
5. 콤퍼르츠함수(Gomperz Function)

이 함수들의 형태 및 증가율은 그림<6>과 같다.

- (2) 상호영향부문(Cross Impact Sector)

이 부문에 포함되는 사건들의 목록 및 그 확률과 시점의 추정치는 <표 2>와 같다.

함수 형태	도 양	증가율($\Delta k=1$)	모수(parameter)의 정의
1. 선형 함수 $x=ak+b$		$\Delta x=a$	a =기울기
2. 지수 함수 $x=a \cdot \exp m \cdot k$		$\Delta x=m \cdot x$	$k=0$ 에서 $x=a$ m =성장율 (growth rate)
3. 수정 지수 함수 $x=M+ab^k$		$\Delta x=ab^k \cdot \ln b$	$k=0$ 에서, $x=M+a$ $k \rightarrow \infty$ 일때, $x=M$ $a < 0$ $b < 1$
4. 로지스틱스 함수 $x = \frac{M}{1 - \exp(-ak+b)}$		$\Delta x = -ax - \frac{x}{M}$	$k \rightarrow \infty$ 일때 $x=M$
5. 로퍼프르츠 함수 $x=M_0 b^k$		$\Delta x = \ln a \cdot \ln b \cdot b^k \cdot x$	$k \rightarrow \infty$ 일때 $x=M$ $\ln a < 0$ $b > 1$

* 이외에도 여러가지 함수가 있으나, 주로 많이 사용되는 5가지 함수를 사용함. (자료원 : 참고 문헌[1])

<그림 6>

(3) 상호간의 관련 및 기타 관련요인

본 연구에서 고려된 항목들의에도 다음과 같은 많은 요소들이 있으나, 여러 가지 제약때문에 제외시켰다.
즉,

- ① 위성 도시의 문제
- ② 인구의 이동 및 기타 인구 문제
- ③ 각 내연기관의 종류에 따른 차이
- ④ 계절에 따른 변동
- ⑤ 차종에 따른 차이 등등...

이제 본 연구에서 고려하는 각 요인들과 변수 및 사건과의 관계를 도표화하면, <표 3>~<표 7>과 같다.

<표 1> 기본 모형에 포함되는 변수

1. 서울 시내의 총 자동차 대수
2. 차량용 휘발유 소비 실적
3. 총 도로용
4. 자동차 년중 수송 인원
5. 전철 년중 수송 인원
6. 대기 오염 업소의 수
7. 산업용 경유 소비실적
8. 산업용 휘발유 소비실적
9. 산업용 등유 소비실적
10. 산업용 B-C유 소비실적
11. 산업용 무연탄 소비실적

12. 서울시 인구
13. GNP
14. 주택용 경유 소비실적
15. 주택용 등유 소비실적
16. 주택용 B-C유 소비실적
17. 주택용 무연탄 소비실적
18. 화력 발전 비율
19. 화력발전용 B-C유 소비실적
20. 화력 발전용 무연탄 소비실적
21. 대기 오염방지 산업에의 투자비율
22. 노후화된 차량비율(5년이상)
23. 대기 오염 산업의 구조(대기업화된 정도)
24. LPG 소비량
25. LPG 차량의 수
26. 차량용 경유 소비 실적

<표 2> 사건목록

		t	e	th
1	대중 교통수단의 확장	0.75	85	88
2	신형 차량의 개발 및 보급	0.40	90	93
3	저공해 엔진으로의 대체	0.30	85	92
4	내연 기관의 발달	0.60	89	92
5	적장, 거주의 접근화	0.40	92	96
6	시차 출근의 대폭적인 시행	0.80	86	90

7	경화기 부착 의무화	0.80	87	93	23	화력 이외의 동력 이용이 주종	0.90	88	93
8	도로의 확장	0.65	83	90	24	대기 공해 관련 질병 : 건강 약화 2배	0.70	88	94
9	방사형 도로의 지양	0.60	85	92	25	대체 에너지 개발	0.95	84	90
10	교통 체계의 정비	0.75	84	90	26	대기 공해 관련 대사건 발생	0.50	88	95
11	자동차 배기 Gas 규제 강화(수준화)	0.95	83	85	27	탈황 시설의 의무화	0.85	84	87
12	노후화 차량에 대한 규제 강화	0.90	84	86	28	Energy소비 절약 운동 일환으로 주 1회 휴업의 의무화	0.90	85	88
13	연소실의 구조 개선	0.80	83	89	29	일반 시민의 공해 업체에 대한 조적적 운동 및 그 법적인 보장	0.70	85	90
14	굴뚝의 높이	0.83	85	92	30	서울시 인구증가 억제 정책의 실시	0.95	85	89
15	보일러의 개량(개선)	0.80	84	88	31	고급 연료의 공급(서울지역)	0.93	84	88
16	대기 오염방지 산업에의 투자 비율의 수준화	0.95	88	92	32	공해에 대한 연구 개발비 증대 ¹⁾	0.87	84	89
17	연소 기술의 발달	0.80	85	88	33	도시 기능의 재배치 및 정비구조	0.73	88	93
18	산업시설 아황산 Gas배출에 관한 규제 강화	0.85	85	88					
19	도시 Gas보급 보편화	0.80	86	90					
20	난방 구조 개선	0.85	84	88					
21	태양열 주택의 보급(전반적 보편적)	0.75	84	88					
22	취사 구조의 개선	0.90	85	89					

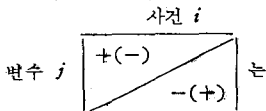
(표의 이해를 돕기 위해, 앞의 세 모수(M, te, th)의 설명과 관련시켜 예시하면, 사건 1, 「대중 교통 수단 확장」은 75%의 최대누적확률(즉, 달성가능성)을 가지며, 85년도에는 7.5%(0.1M), 88년도에는 37.5%(0.5M)의 누적확률을 가지는 것으로 전문가들의 의견이 집약되었음을 말한다.)

사건번호 변수번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24	25	26	27	30	31	32	33
1	-/+	+/-	+/-	+/-			+/-	+/-	+/-	+					+/-	+/-				+/-
2	+	-			-/+									-		+/-		+/-		
3	+/-						+/-	+/-	+					+/-	-					+/-
4	+/-	+/-		+/-			+/-	+/-	+/-	+					+/-		+/-			+/-
5	+/-	+/-			-/+			+/-	+/-	+/-					+/-		+/-			+/-
12	+				+/-	+/-		+/-	+/-	+			-	-			+/-			+/-
13		+			+/-	+/-		+/-	+/-	+/-			+	-				+/-	+/-	+/-
22	+	-	-				+/-	+					+							
24	+	-	-					+		-				-						
25	-/+	+/-	+/-	+/-			+	+/-	+/-	+					+/-	+/-				+/-
26	+	-			-/+									-		+/-		+/-		

〈표 3〉 교통 부문에 있어서의 상호 관련성

도표에 대한 요약 설명.

①



사건 i 가 변수 j 에 미치는 영향이 $+(-)$, 변수 j 가 사건 i 에 미치는 영향이 $-(+)$ 를 나타낸다. (뒤에 계속되는 표에서도 같은 관계를 나타내고 있다.)

② 구체적인 영향도(수치)는 생략하였고 영향을 미치는 방향성만 제시하였음.

상호번호 업종번호	13	14	15	16	17	18	21	25	26	27	28	29	30	31	32	33
6	+	+	+	+		-	+	-				-			-	-
7	+	+	+	+	+	-		-		+	-	+			+	
8	+	+	+	+	+	-		-		+	+				+	
9	+			+	+	-		-		+	+				-	
10	+			+	+	-		-		+	+				+	
11	+			+	+	+		-		+	+				+	
12	+					-		-				+	-		+	
13				+		-		-			-	-	-	-	-	-
21	+	+	+		+		-		+			+				
23	+	+	+	+	+											-

〈표 4〉 산업장 부문에 있어서의 상호 관련성

상호번호 업종번호	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
12						-		-			+	-			+
13	+	+	+	+		-				+	+		+	+	-
14	+		-	+			-								
15	-	+	-	+			-		+	+			+		
16	+	+	-	+			-		+	+			+		
17	+	-	-	+			-		+	+			+		
18					-		-	+	+						
19				+			-		+	-	+			-	
20				+			-		+	-	+			-	
24	-			+			-			-	+				

〈표 5〉 주택 및 화력발전부문에 있어서의 상호 관련성

	27	28	29	30	31	32	33	...달의 수치																	(단위: %)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1		10	22				8 48			42	12	18															
2	15		65	60			40			12	35	24													-8		
3		47		70			-5				-17	80													-18	-10	
4	10	45	15				70			5	22	12															
5	-25	-10		70			-40	28	-15																		
6				40			20																				
7			15	-10								70	27													-10	
8	25						25		60	15																	
9	15						25	80		15																	
10	40						60	70	70			20															
11		40	40	25			90					84														-15	
12		80			8		90				90															-15	
13		-05		-5		21								-40	60	27	75									-12	
14			15										15		55	10	25	35									
15	60												70			40	62	55								-18	
16			-9				85						80	70	90											30 -10	
17		-05											80	-15	90			-15								-15 -10	
18													45	65	65											-12 25 78	
19					70															90		78					
20					60															78		60	80				
21					19																60		10			-27 40	
22					40																80	55	10			-18 28	
23	15	15					-08																			-40 55 -10	
24			24 30		25	60	80			78	62	22	49	48					75	15	15	12	18			8	
25					25	-15						68		80					40		55	25	55	45		-20	
26	75		80 80		25	75	95			95	82	25		55					85		45	70	45	35	20	45	
27			52	24		58	-20				-20			15												-34 -20	
28																											
29	55					15	35						38	42	44				50							15 -	
30					25	-15																					
31	25		-15			-15	10												25	20	75		75	15	-10		
32		15	35 10	10							15																47
33	15 54			17	-20 24	-20		67	48	48									70		25	15	25	10		10	

〈표 6〉 상호영향도 행렬

〈표 6〉은 사건상호간의 상호영향을 표시한 상호영향도행렬인데, 종속 사건의 발생이 횡축 사건의 발생에 미치는 영향(%)을 나타낸 것이다. 예로써, 사건(1)의 발생은 사건(2)의 발생확률의 10%증가를 가져오며, 사건(33)의 발생확률의 48%증가를 가져온다. 마찬가지로 사건(5)의 발생은 사건(6)의 발생확률을 40%감소시킨다는 것이다.

	1	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	17	18	22	24	26
1			+	+											+		
2						-					-						
6					+	+	+	+	+								
7											-						-
8		-										-					
10												-	-				
12	++																
13	+△		++													+	
14						-											-
15						-											
23															-		

++ : 항상양
+△ : 양의 방향
(음도 가능)
나머지는 종속변수의
증가에 따른 횡축
변수의 변화 방향

〈표 7〉 기본모형내 변수간의 상호관련성

4-2. 정책구조수립 및 컴퓨터시행

본 연구에서는 예로써 두 가지의 정책구조를 수립하고, 컴퓨터시행을 거친 결과로써 그 장단점을 논하기로 한다. 이에 앞서, 우선 몇 가지의 용어를 정의한다. 누적확률밀도를 나타내는 로지스틱곡선에 있어서, 세 모수(M, te, th)를 설명한 바 있는데, 여기서,

- te를 정책도입시기,
- th를 정책달성접근시기,
- M을 가능 최대누적확률로 정의한다.

이제 여러 상황을 고려하면서, * 가능한 정책을 종합하여 두 가지의 정책구조대안을 수립한다.**

이 두 정책구조를 표를 통해 보면 〈표 8〉과 같다.

이상과 같은 두 가지의 정책구조대안을 볼 때 두 대안은 서로 비슷한 성격의 대응되는 정책들을 포함하고 있다. 그 한 예로써 정책구조대안(I)의 정책(2) 「신형차량개발 및 그 보급시기의 단축」은 정책구조대안(II)의 정책(1) 「저공해 엔진으로의 대체 및 그 달성시기의 단축」과 정책(2) 「내연기관의 발달」과 대응된

〈註〉 * 자원의 제약 및 그 실행가능성들을 고려함을 말한다. 이러한 상황을 고려하여 만족시킬 수 있는 여러 가지 대안을 제시하게 되는데, 여기서는 설명을 위하여 두가지 대안만을 제시한다.

** 문헌연구 및 면담을 통하여 많이 반영하였으나, 모형의 설명을 위하여 자의적으로 구성된 부분도 많음.

다.*** 〈표 9〉는 이러한 관점을 나타내고 있다.

본 연구에서는 정책구조대안의 채택을 위한 컴퓨터시행(시행 1)의에 민감도분석을 위해서 다음과 같이 추가적인 시행을 한다. 앞으로, 편의를 위해서 차례대로 시행 1~시행 6으로 부른다.

〈표 8〉

정책 구조 대안(I)	세 모수예의 반영
1. 대중 교통 수단을 확장하며, 그 달성 시기를 2년 앞당긴다. (사건 1)	M=0.90(+0.15), th=86(-2)
2. 신형 차량의 개발에 박차를 가하고, 그 달성 시기를 앞당긴다. (사건 2)	M=0.80(+0.40), te=87(-3) th=90(-3)
3. 직장(학교)과 거주지를 접근시키며, 그 시행 시기를 앞당긴다. (사건 5)	M=0.70(+0.30), te=90(-2) th=94(-2)
4. 도로를 필요 수준까지 확장한다. 또한 그 달	M=0.80(+0.15),

〈註〉 *** 대응된다는 것은, 그 기대되는 결과 및 관련부서가 비슷한 종류와 수준이며, 또한 그 수행을 위해 필요한 여러가지 자원의 소모가 비슷한 수준임을 말한다.

성 시기를 앞당긴다. (사건 8)	th=88(-2)
5. 교통 체제를 정비시키며, 그 시행 시기를 앞당긴다. (사건 10)	M=0.50(+0.05), te=85(-1) th=88(-2)
6. 연소실의 구조를 개선하며, 그 달성 시기를 앞당긴다. (사건 12)	M=0.85(+0.05), th=86(-3)
7. 굴뚝의 높이를 필요수준까지 높이며, 그 달성시기를 앞당긴다. (사건 13)	M=0.87(+0.04), th=90(-2)
8. 도시 Gas의 보급에 힘쓰고, 그 시행 시기를 앞당긴다. (사건 14)	M=0.90(+0.10), te=85(-1) th=88(-2)
9. 대체 에너지의 개발에 힘쓰고, 그 달성시기를 앞당긴다. (사건 32)	th=86(-4)
10. 고급 연료의 공급에 힘쓰고, 그 달성시기를 앞당긴다. (사건 31)	M=0.95(+0.02), th=86(-2)

며 그 교체시기를 앞당긴다. (사건 15)	th=86(-2)
8. 연소 기술을 발달시키며, 그에 대한 연구 달성시기를 앞당긴다. (사건 17)	M=0.85(+0.05) th=86(-2)
9. 대기 오염 방지 산업에의 투자시기를 앞당긴다. (사건 16)	te=86(-2), th=90(-2)
10. 태양열 주택의 보급에 힘쓰며, 그 달성시기를 앞당긴다. (사건 21)	M=0.85(+0.10) th=86(-2)
11. 취사 구조를 바꾸는 시기를 앞당긴다. (사건 22)	th=87(-2)
12. 탈황 시설을 의무화하며, 그 달성시기를 앞당긴다. (사건 27)	M=0.90(+0.05) th=86(-1)
13. 공해에 대한 투자를 촉구하며, 시기를 앞당긴다. (사건 32)	M=0.90(+0.03) th=87(-2)

정책 구조 대안(Ⅱ)	새 모수예의 반영
1. 저공해 엔진으로의 대체에 힘쓰고, 그 달성시기를 앞당긴다. (사건 3)	M=0.70(+0.40), th=90(-2)
2. 내연 기관의 개발에 힘쓰고 그 개발시기를 앞당긴다. (사건 4)	M=0.75(+0.15), te=87(-2) th=90(-2)
3. 시차 출근의 대폭적인 시행시기를 앞당긴다. (사건 6)	th=88(-2)
4. 정화기 부착의 의무화시기를 앞당긴다. (사건 7)	te=85(-2), th=90(-3)
5. 방사형 도로를 지양하며, 그 달성시기를 앞당긴다. (사건 9)	M=0.70(+0.10), th=91(-2)
6. 자동차 배기가스 규제 강화시기를 앞당긴다. (사건 11)	th=84(-1)
7. 보일러의 개량에 힘쓰	M=0.85(+0.05)

(1) 사건의 최초발생시기(te) 및 발생가능접근시기(th)의 지연 4년동안 지연되는 경우를 시행해 본다. (시행 2)

(2) 가능최대누적확률(M)의 절감..... 두 번의 시험적인 시행. (즉, 원래 수준의 60% 및 80%) (시행 3, 시행 4)

(3) 사건의 발생, 미발생을 결정짓는 확률의 변경... 두 번의 시험적인 시행
기본시행(Base Run).....0.5(시행 1)
시험시행(1) (Test Run 1).....0.6(시행 5)
시험시행(2) (Test Run 2).....0.7(시행 6)

<표 9> 정책 구조대안(Ⅰ)과 (Ⅱ)의 비교

정책 구조 대안(Ⅰ)	정책 구조 대안(Ⅱ)
1, 3	3
2	1, 2, 4
4	5
5	4, 6
6	8
7	7
8	11
9	9, 10
10	12, 13

시행 사건	시행(1)	시행(1-1)	시행(1-2)	시행(2)	시행(3)	시행(4)	시행(5)	시행(6)
1	89	87	89	92	91	90	90	91
2	(*) 0.3856	91	(*) 0.3856	(*) 0.3484	(*) 0.2295	(*) 0.3073	(*) 0.3856	(*) 0.3856
3	(*) 0.2775	(*) 0.2775	93	(*) 0.2335	(*) 0.1665	(*) 0.2220	(*) 0.2775	(*) 0.2775
4	95	95	91	99	(*) 0.3561	(*) 0.4755	(*) 0.5053	(*) 0.5953
5	(*) 0.36	96	(*) 0.3600	(*) 0.2000	(*) 0.2160	(*) 0.2880	(*) 0.3600	(*) 0.3600
6	91	91	89	95	(*) 0.4780	93	92	94
7	95	95	92	99	(*) 0.4394	97	97	99
8	94	90	94	98	(*) 0.3680	(*) 0.4922	99	(*) 0.6171
9	93	93	91	96	95	94	94	96
10	90	88	90	93	92	91	91	92
11	86	86	84	90	88	86	86	87
12	87	86	87	91	89	87	87	88
13	91	87	91	95	(*) 0.4716	93	93	95
14	94	92	94	93	(*) 0.4606	96	96	98
15	89	89	87	93	(*) 0.4793	91	90	92
16	94	93	91	97	96	94	93	94
17	89	89	87	93	(*) 0.4799	90	90	91
18	89	87	89	93	94	90	90	91
19	91	89	88	95	(*) 0.4780	93	92	94
20	89	90	94	93	96	90	90	91
21	90	90	97	94	(*) 0.4494	91	91	93
22	90	90	88	94	94	91	90	92
23	94	94	94	98	99	95	95	96
24	97	97	97	(*) 0.4727	(*) 0.3780	100	99	(*) 0.6300
25	89	86	89	92	91	90	90	91
26	(*) 0.4139	(*) 0.4139	(*) 0.4139	(*) 0.2889	(*) 0.2483	(*) 0.3311	(*) 0.4139	(*) 0.4139
27	88	88	87	92	93	89	89	90
28	89	89	89	93	92	90	89	90
29	94	93	93	97	(*) 0.4149	95	95	(*) 0.6915
30	90	90	90	94	93	91	90	91
31	89	87	89	93	92	90	90	91
32	90	90	88	94	97	92	91	93
33	93	93	93	96	95	94	94	95

〈표 10〉 각 시행의 결과(발생년도 및 미발생시 누적확률)

*): 미발생 및 2000년대까지의 누적확률 α

시행(1-1): 정책 구조 대안 I의 시행 시행(1-2): 정책 구조 대안 II의 시행

① 시행(1)~시행(6)의 내용은 본문에서 명명한 바와 같다.

② 표를 읽는 데 있어서 한 예로써, 시행(1)과 시행(1-1)에서의 사건(1)의 결과를 보면, 89와 87이 있는데 이것은 시행(1)에서는 사건(1)이 1989년에 발생했으며, 마찬가지로 시행(1-1)에서는 1987년에 발생하여 그 후로 사건의 영향이 나타나는 뜻이다.

③ 또 다른 경우는 시행(1)에서의 사건(2)와 같은 경우인데, (*)0.3856은 마지막 time-span인 2,000년대까지 발생하지 않았으며, 그 때까지 사건(2)의 누적확률이 0.3856임을 나타낸다.

4.3. 시행의 결과 및 민감도분석

4.3.1. 각 사건들의 발생여부에 관한 결과

각 시행에 있어서 각 사건들의 최초 발생시기 및 미 발생시 최후누적확률을 살펴보면 <표 10>과 같다.

4.3.2. 대기오염원(Gas)에 관한 결과.

대기오염을 나타내는 것으로는 주로 SO₂, NO_x, CO, HC, 분진의 다섯가지 Gas가 대부분을 차지하고 있다. Gas방출에 관한 각 시행의 결과는 분량이 너무 많으므로 생략한다.

4.3.3. 중요한 결과의 요약

이제 몇 가지 중요한 점만을 예로써 살펴보기로 한다.

사건중에서 신형자동차의 개발여부가 모형에 있어서의 한 가지 중요한 관측대상이었는데 정책구조대안 I에서 그 정책을 채택할 경우 1991년에 발생(즉, 1991년에 신형자동차가 개발됨.) 되어 약 4~5년의 시간지연(time-delay)을 거친 후 본격적으로 그 효과를 미치게 되어 교통부문에서 약 20~30%의 Gas 방출감소효과를 가져오는 것으로 보여진다.*

사건 1「대중교통수단의 확장정책」은 그 영향도가 매우 크지는 않으나 전반적으로 골고루 영향을 미침을 볼 수 있다. 직장(학교)·거주의 접근화(사건 5)는 자동차 수송인원을 줄이고, 따라서 교통의 혼잡을 줄이게 되어 운전조건을 양호하게 만들고 그에 따라 환산계수**에 영향을 미치게 되어, Gas방출이 줄어들음을 볼 수 있다.

이제 이러한 사실들을 염두에 두고 정책구조대안 I과 II의 효과를 어느 정도 분리시켜서 파악할 수 있고, 각각의 상황에 대해 새로운 분석을 가할 수 있다. 또한 이러한 사실들을 토대로 하여, 새로운 정책구조대안을 마련하고 그에 대한 시행 및 분석을 다시할 수도 있다. 이러한 결과를 면밀히 파악 검토함으로써 정책입안 및 집행자는 그 시스템의 행태(behavior)를 파악하고, 그에 대한 대책을 수립할 수 있다.

<註> * 이것은 전반적인 각 요인들의 상호작용에 관계되므로 확정적으로 말하기는 곤란한 점이 있으나, 그 solution interval 전후의 결과를 보고 어느 정도는 분석이 가능하며, 때로는 많은 정보를 제공한다.

** 각종 대기오염원료(석탄, 석유, 등등...)의 사용량을 토대로 대기오염물질의 방출량을 간접적으로 계산하는 데 필요한 계수로써 이에 대한 여러 연구가 있다. 본고에서는 참고문헌(23)을 참고하였다.

표의 결과에서 보아, 정책구조대안 I과 II의 효과를 알 수 있으며, 몇 가지 부분을 제외하고는 대안이 전반적으로 우월하게 보여지지만, 이에 관계된 것은 정책집행자의 판단기준 및 입장에 따라 달라질 수 있을 것이다. 기타 각 민감도분석에 대한 결과는 앞에서 제시한 표에 나타나 있다.

제 5 장 결 론

5-1. 종합적 고찰

앞서 제시한 모형을 사용하여 서울시대기오염문제에 적용한 결과는 다음과 같다.

- ① 이 접근 방법은 실제 적용에 있어서 좋은 결과를 보여 주고 있다.
- ② 이전의 상호영향분석의 제 모형과의 차이에서 기대되었던 추세 및 사건발생의 대체적인 순서등변동의 추이에 대한 정보를 얻을 수 있었다.
- ③ 이 접근방법은 실제 적용에서 보듯이 현실을 민감하게 반영시킬 수 있다.

다음으로, 본 연구의 적용에 있어서 다음과 같은 세가지의 문제가 있음을 밝혀둔다.

첫째로, 모형 자체가 내포하고 있는 효과의 중복을 탈피하기는 매우 어렵다.

둘째로, 본 연구의 적용에 있어서 가능한 한 많은 요인을 고려하였으나, 대기오염문제가 워낙 광범위하므로 고려되지 못한 요인들도 많다. 그러므로, 본 연구의 결과에서 나타난 수치 하나 하나에 뜻을 두기보다는, 모형의 구성 및 그 방향성과 변동의 추이에 초점을 맞추어야 할 것이다.

마지막으로, 본 적용에에서는 각종 에너지, 주거, 교통, 도로, 자원 부문등에 관련하여 정부에서 계획하고 있는 정책등에 대해서, 수집 가능한 정보를 제외하고는 반영되지 못하였음을 밝혀 둔다.

5-2. 연구 결과 및 추후 연구과제와 방향

본 연구는, PSD를 정책구조수립 및 현실성에 입각하여 고려한 상호영향도분석에 대한 것이다.

그 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- ① 이 접근 방법은, 복잡한 정책구조를 고려하거나, 또는 정책의 중단, 변경을 반영함에 있어서 효과적이므로, 종래의 방법보다 더욱 현실적으로 상황을 반영시킬 수 있다.
- ② 이 접근 방법은, 앞의 적용례에서 두 정책구조대안의 효과를 비교분석함에 있어 본 바와 같이, 정책구조수립에 있어서 가능한 의사결정기법이 될 수

있다.

본 연구의 추후 과제는 많지만 그 중 몇 가지만을 제시하면 다음과 같다.

- ① PSD에 있어서 사건의 추이에 대한 영향을 고려하는 두 방법의 다른 고려방법.
- ② 다른 예측 기법(회귀분석(regression analysis) 등)과 PSD와의 결합.
- ③ 사건 및 추세의 수가 많을 경우 부문에 따른 분할(Decomposition)분석의 가능성에 대한 연구.
- ④ Table Function 및 Function Subroutine 등을 이용한 Package의 개발.

〈참 고 문 헌〉

1. Bloom, Mitchell F., "Deterministic Trend Cross Impact Forecasting," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 8, 1975.
2. Bloom, Mitchell F., "Time-Dependent Event Cross-Impact Analysis: Results from a New Model," *Techno. Forecast. & Social Change*, Vol. 10, 1977.
3. Boucher, Wayne I. & Stover, John G., "An Annotated Bibliography on Cross-Impact Analysis," The Futures Groups, Report 128-01-14, Sept., 1976.
4. Dupperrin, J.C. and Godet, M., "SMIC 74-A method for constructing and ranking scenario" *Futures*, Aug., 1975.
5. Fontela, Emillio and Gabus, Andre', "Events and Economic Forecasting Models," *Futures*, Aug., 1974.
6. Godet, Mitchell, "SMIC 74. A reply from the authors," *Futures*, Aug., 1976.
7. Gordon, T.J. and Hayward, H., "Initial Experiments with the Cross Impact Matrix Method of Forecasting," *Futures*, 1968, Vol. 1, No. 2.
8. Gordon, T.J., Becker, H.S. and Gerjuoy, Herbert, "Trend Impact Analysis: A New Forecasting Tool," The Futures Group, Jan., 1974.
9. Helmer, Olaf, "Cross Impact Gaming," *Futures*, June, 1972.
10. Kaya, Y., Ishikawa, M. and Mori, S., "A Revised Cross-Impact Method and Its Applications to the forecast of Urban Transportation Technology," *Techno. Forecast. & Social Changes*, Vol. 14, 1979.
11. Mitchell, R.B., Tydeman, J. and Curnow, R., "Scenario Generation," *Futures*, June, 1977.
12. Stover, John G. and Gordon, T.J., *Cross Impact Analysis, Handbook of Futures Research*, (edited by Fowles, Jib.) Greenwood Press. Westpoint, Connecticut, 1978.
13. Turoff, Murray, "An alternative Approach to Cross Impact Analysis," *Techno. Forecast. & Social Change*, Vol. 3, 1972.
14. Tydeman, J. and Mitchell, R.B., "Subjective Information Modeling," *Operations Research Quarterly*, Vol. 28, No. 1, 1977.
15. Gordon, Theodore, J. and John Stover., "Using Perceptions and Data About the Future to improve the Simulation of Complex System," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 9., 1976.
16. A Duval, E. Fontela, and A. Gabus., *Cross Impact—A Handbook on Concepts and Applications*, Geneva, Battelle, 1974.
17. 李 軫周, "기술 장기 평가의 방법론적 고찰," 한국 OR학회지, 제 4 권 2호, 1979년 12월
18. 李 軫周, "기술예측모형개발," 국방관리연구소, 1980.
19. 金 淵敏, 李 軫周, "Goal Programming을 이용한 상호영향도분석", 한국OR학회지, 1981 6권 1호.
20. "제 5 차 경제 사회 발전 5개년계획", 주거·도시 및 토지계획반, 1982.
21. 중소기업협동조합 중앙회, "알기 쉬운 중소기업 육성 시책문답", 1982.
22. 환경청, "대기보전관리," 1982. 5.
23. 연세대 학교 의과대학 환경공해연구소, "도시의 대기오염모델과 환경기준 설정에 관한 연구(Ⅲ)—오염 강도에 대하여—," 1980. 6.
24. 한국 자동차 기술회, 환경청, "경유 자동차의 오염 물질 배출계수산정을 위한 조사연구," 1980. 12.
25. 보건사회부, "대기 오염 측정망에 관한 연구," 1978. 12.
26. 한국과학기술연구소, "전국 특별 대책 지역 대기 관리에 관한 연구," 1979. 12.
27. 국립환경연구소, "국립환경연구소보," Vol. I & II (1979. 1980).
28. 환경청, "환경보전," 1982.
29. 행정부, "행정백서," 1981.
30. "제 5 차 경제 사회 발전 5개년계획 에너지 부문 계획 1982~1986," 에너지 계획반, 1982.