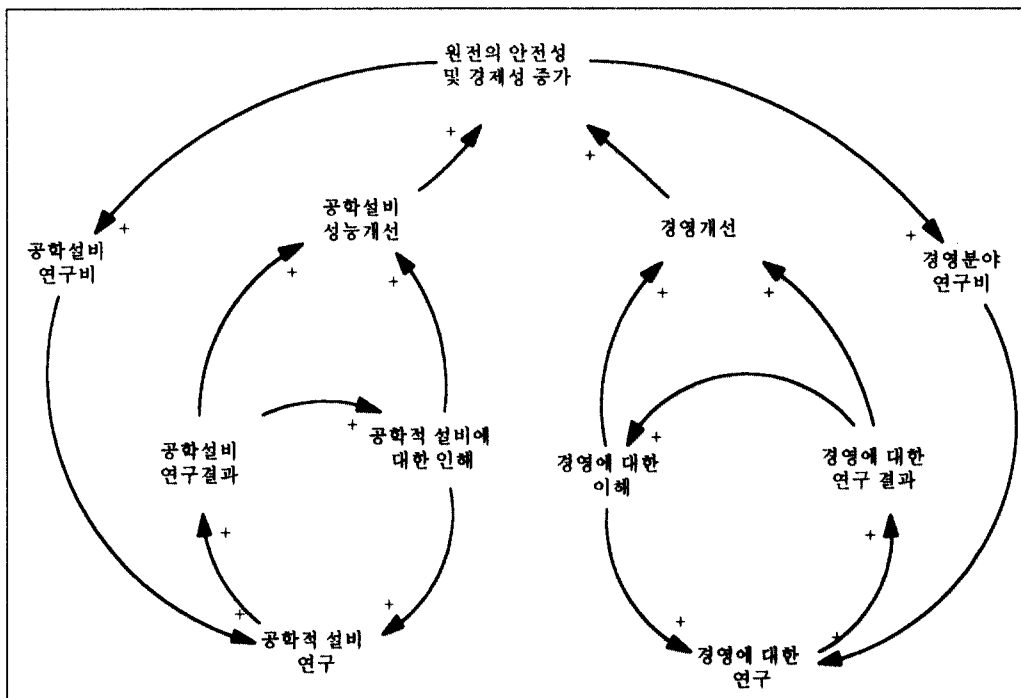


# 시스템 다이내믹스를 활용한 원전 조직 및 인적인자 평가

안남성(한전 전력연구원), 곽상만(시스템믹스), 유재국(시스템믹스)

## I. 연구의 목적과 배경

경제 활동의 근간이 되는 에너지 공급원으로서의 원자력 발전소는 그 경제적 성과의 중요성뿐만 아니라 안전성을 확보하는 것도 매우 중요하다. <그림 1>에서 볼 수 있듯이 원전의 안전성은 하드웨어(hardware) 개선을 포함한 공학적 성과와 조직 및 인적 관리 요소에 대한 부분이 상호 작용하는 시스템 구조를 갖음에도 불구하고, 원전의 경제성과 안전성을 확보하기 위한 조직 및 인적 관리분야에 대한 연구는 기술분야에 비해 상대적으로 소홀히 취급된 경향이 있다.



<그림 1> 원전의 공학적 안전성 확보와 경영 인적 안전성 확보 관계

원전의 안전성은 기계적 설계 및 기술적 지원으로 그 상태가 유지되는 한편, 원전 종사자

들의 활동에 의해 그 상태의 유지 혹은 개선이 이루어지는 시스템이다. 이러한 점에 입각하여 IAEA와 OECD 등에서는 인간 활동과 관련하여 인적 오류(human error)를 줄일 수 있는 방안과 원전 안전문화(safety culture) 등에 관심을 갖고 이를 평가할 수 있는 방법에 대한 연구가 이루어지고 있으나(OECD, 1999a, 1999b, 1999 c: IAEA, 1995), 원전에서의 조직 및 인적 인자들(organizational and human factors)은 기계적 설비나 장치와는 달리 의식을 가진 인간의 집합 행동인 유기체적 개방 시스템이라는 특징으로 인하여 원전 조직에 대한 변수의 선정 및 측정 평가에 많은 어려움을 겪고 있다.

본 연구는 이러한 배경 아래 기존에 이루어지고 있는 조직 및 인적인자 연구의 동향 및 문제점을 지적해 보고 그 대안으로서 시스템 다이내믹스를 이용한 새로운 평가기술을 개발하는 데 그 목적이 있다. 이러한 평가는 원전의 안전성을 도모하기 위한 유일 최선의 해결책을 제시하기보다는 시스템적 사고(system thinking)를 통하여(Anderson and 원전의 문제들이 서로 조화될 수 있는 방법을 찾는데 그 목적이 있다(Thompson, 1967 ; Carroll & Perin, 1995).

이러한 배경과 목적 아래 본 연구에서는 원자력 발전소의 안전성과 관련하여 지적되고 있는 조직 및 인적 인자, 그리고 이들 인자와 안전성과의 연관관계에서 파생되는 각종 변수를 파악하였다. 또한, 이들 변수들간의 정성적인 인과 관계를 동적으로 묘사하는데 초점을 맞춘 CLD(Causal Loop Diagram)모델과, 이를 이용해 원전의 안전성과 경제성이라는 측면에서 각 요소가 원자력 발전소에 미치는 영향에 대한 인과관계 구조를 밝히고, 컴퓨터 시뮬레이션(simulation)이 가능한 정량적인 SFD(Stock and Flow Diagram) 모델을 개발하였다.

시스템 다이내믹스를 활용한 원전에서의 조직 및 인적인자의 평가 모델은 조직 속에 내재된 많은 인자들간의 영향관계를 고려할 수 있게 해 줄 뿐만 아니라, 원전의 경영정책을 컴퓨터를 통해 시뮬레이션을 실행해봄으로써 정책의 효과와 부작용 등을 정책 집행 전에 미리 점검해 볼 수 있는 도구이다.

원자력 발전소를 포함하여 잠재적으로 많은 위험을 내포하고 있는 항공산업, 화학산업 등과 같은 위험조직(high-hazard organization : Perin & Carroll, 1997)에서의 경영 정책의 시뮬레이션은 아무런 실손실 없이 경제성과 안전성을 확보할 수 있는 경영 관리 방안을 제공한다는 점에서 시사하는 바가 크다.

## II. 원전에서의 조직 및 인적인자에 대한 기존 연구

### 1. 공학적 접근

원전에서의 인간활동에 대한 연구는 공학적 접근을 통해 활발히 연구되어져 왔다. 공학적 방법은 기계론적 조직관에 입각한(Morgan, 1998) 객관주의적 연구 방법이다(Burrell &

Morgan, 1992). 공학적 접근은 다시 크게 두 가지 측면에서 연구가 수행되는데 인간공학(ergonomics) 측면에서의 연구와 확률론적 측면에서의 연구이다. 인간공학에서는 예를 들면, 물리적 환경의 밝기(조도)가 인간 인지력에 미치는 영향이라든가 업무 성과를 최적화할 수 있는 공간 설계에 대한 연구를 실시한다. 확률론적 접근법은 인간 활동에 대한 논리적 사건(event)을 수목도(tree)로 작성하여 각 상황에 대한 확률을 계산함으로써 인적 실수를 줄일 수 있는 방안에 대해서 모색한다(Apostolakis, 1992 : Rasmusen, 1987 : Reason 1990).

공학적 방법론을 사용하여 원전에서의 인적 오류를 감소시키기 위한 많은 노력이 이루어졌지만, 개개인이 모여 이루어진 조직이라는 관점에서는 아직 어느 안전성 평가에도 정량적으로 고려되고 않고 있다. 최근에 이에 대하여 언급되고는 있으나, 종합적 측면에서 정립되어 있는 것은 전무한 실정이다. 즉, 조직적 수준(직업적 안전성, 종사자의 선발, 승진제도 등)의 인자가 개인의 성과(동기, 스트레스, 업무 태도) 등에 미치는 영향에 대한 연구는 이루어지지 않은 상황이다. 또한 확률론적 접근법은 정적(Static)인 평가라는 점, 상태를 성공 및 실패 등 이분법으로 묘사한다는 점 독립변수들간의 상호영향관계를 고려하지 않는다는 점 등이 지적되고 있다. 대부분의 취약점들은 보수적으로 평가함으로써 어느 정도 해결될 수 있고, 설득력도 같고 있으나, 조직 및 인적 인자의 문제에서는 보수적 가정이라는 태두리마저 설정할 수 없는 형편이다.

## 2. 사회·조직학적 접근

원전에서의 인간활동에 대한 또 다른 접근법이 있는데 사회·조직학적 접근이다. 사회·조직학적 접근은 인간 행위의 동기 및 조직 구조 등에 많은 관심을 갖는다. 사회·조직학적 접근법은 인문학적 성격이 강하며 심리학, 인간행태학, 조직학 분과에서의 연구가 활발하다. 사회 조직적 접근은 조직성과(organizational performance)에 미치는 소프트웨어적 현상에 대한 연구를 실시한다. 리더십(leadership), 사기(motivation), 팀의 규모(size), 동질성, 의사소통, 업무성격이 조직 성과에 미치는 영향을 포함하여, 최근에는 원전의 외부환경, 즉 주민 및 국민의 원전에 대한 인식과 원전 안전성을 연결하여 설명하기도 한다(IAEA, 2000 : Carter, Rudolf & Day, 1992 : Perrow, 1984 : Perrow, 1986 : Weizel & Ellen, 1989).

사회·조직학적 접근법에서 주로 사용하는 방법론으로는 대부분 체크리스트(check list)를 활용한 지표 평가 방법을 활용하거나, 문헌조사 등을 통한 통계 모형을 설계하여 주요인자들의 영향관계에 대한 통계적 유의성을 검토하는 방식을 취한다.

지표를 설정하여 점검하는 방법은 조직 및 인적인자를 밝히어, 안전성에 영향을 미치는 원전 조직의 구성요소가 무엇인지를 살필 수 있게 도와주며, 기준이 되는 항목들이 형식적으로는 원전 종사자들의 행동을 안전성과 연결하여 행동할 수 있는 지침을 제공되어지는 이점을 갖는다. 그러나 지표 측정 개념의 조작적 정의가 어렵다는 점, 항목들간의 영향관계를 살피기 어렵다는 점, 그리고 평가에 시간을 고려하지 않은 정적인 평가라는 점이 지적될 수

있다.

### 3. 시스템 다이내믹스를 이용한 연구

본 연구에서는 앞의 두 가지 방법상의 문제점을 보완하여 시스템 다이내믹스를 이용한 모델을 개발하고 원전에서의 조직 및 인적인자를 평가하고자 한다.

시스템 다이내믹스를 이용한 연구는 다음과 같은 이점이 있다.

첫째, 전술하였듯이 조직 및 인적인자에 대한 평가는 그 구성 요소들의 인과관계가 명확하지 않고, 객관적 측정에 어려움이 있지만, 시스템 다이내믹스 모델은 조직 요인들의 상호인과구조를 논리구조로 설명하려는 시도를 할 수 있다.

둘째, 시스템 다이내믹스는 인간의 의식 혹은 인지와 같은 소프트 변수(soft variables)의 고려가 가능하며, 가시적인 현상보다는 그 구조를 밝히는데 관심을 둔다. 뿐만 아니라 비선형적 상관관계의 묘사, 기존 연구에서 가정하였던 독립성을 가정하지 않고(Gharajedaghi, 1999), 변수들간의 상호영향관계를 묘사할 수 있으며, 요인과 요인이 상호 영향을 미침에 있어서 시간적 지연(delay)을 고려할 수 있다.

셋째, 기존의 연구가 주로 개인의 수행성과(individual performance) 측정 및 평가에 초점이 맞추어진 반면에 시스템 다이내믹스를 이용하여 개인의 수행성과와 조직의 수행성과(organizational performance)를 조직 구조를 통해 연결시킬 수가 있다.

넷째, 시스템 다이내믹스 모델은 유연성을 가지고 있어 모델 개발과정이나 모델 완료 후에 문제가 발견되거나 확장의 필요가 생기면 모델을 다시 수정하는데 용이하여 모델의 적실성을 높일 수 있다. 또한, 개별 분과학문에서 규명된 조직 및 인적 인자에 대한 이론을 모델에 상대적으로 쉽게 반영시킬 수 있다.

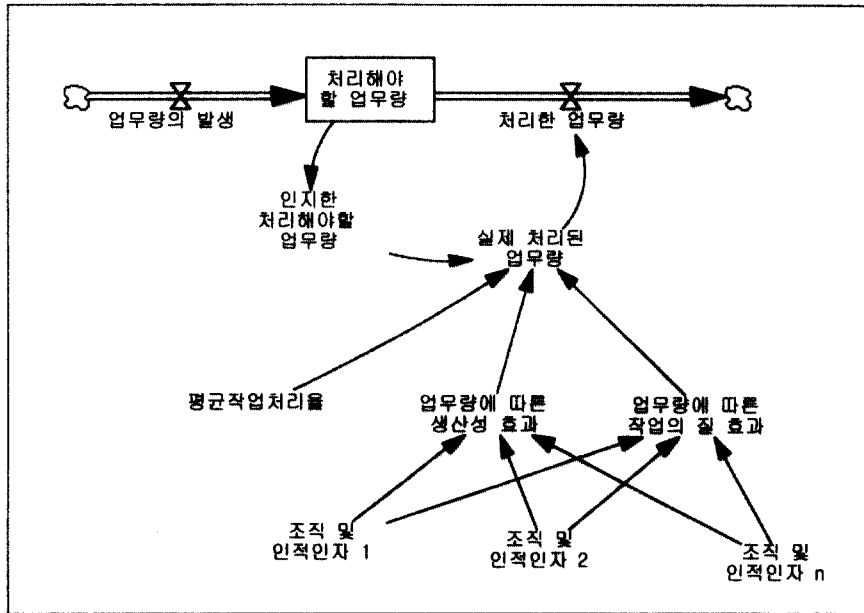
## Ⅲ. 모델의 구성

### 1. 모델의 이론적 배경과 변수의 선정

위험조직(high-hazard organization)의 경우 조직 차원에서의 안전성은 업무량과 밀접한 관련이 있다. 즉, 위험 조직의 종사자들이 한번에 처리해야 할 정보의 양과 업무량이 증가할 경우, 원전 종사자들이 업무 처리를 순차적으로 진행하는데 장애 요인으로 작용하여 종사자들의 생산성과 작업의 질을 저하시키며, 결국 안전성이 낮아질 가능성이 높아진다. 따라서, 위험 조직에서는 각 종사자들의 업무량에 대한 관리가 필요하다(Rudolph & Nelson, 2000).

이런 관점에서 볼 때, 조직에서 업무량의 발생 구조와 종사자들이 업무를 처리하는 구조의 파악이 조직 및 인적인자들이 안전성에 미치는 영향에 대한 연구의 중요한 관건이 된다.

<그림 2>는 조직에서 업무량의 발생과 이를 처리하는 종사와의 관계에 대한 간략한 Stock and Flow Diagram 이다. <그림 2>를 통해 볼 수 있듯이 원전의 안전성에 영향을 미치는 조직 및 인적인자는 작업의 질(work quality)과 생산성(productivity)에 영향을 주며, 작업의 질과 생산성은 업무량의 처리에 영향을 미쳐 처리해야 할 업무량의 수준에 영향을 미치는 구조를 가진다.



<그림 2> 간섭이론 및 관성이론을 적용한 본 연구에서의 모델 개요

작업의 질과 생산성에 영향을 미치는 조직 및 인적인자들은 시간적 지연과 다양한 상호작용을 가지게 되며, 이러한 상호 작용의 결과 처리해야 할 작업량의 수준이 결정되는데, 처리해야 할 작업량이 누적되어 처리되지 못할 경우 인적 오류를 발생시킬 가능성은 높아지는 것이다.

조직 및 인적인자와 관련된 요인들은 리더십, 사기, 업무 프로세스, 인력 수급 및 조정 계획, 종사자들의 직업에 대한 매력도, 직업의 안정성, 조직의 목표, 조직 학습, 조직 기능의 연계, 조직 계층간의 업무 등이 포함될 수 있다.

본 연구에서 사용되는 변수는 원전에서의 조직 및 인적인자와 관련된 선행 연구에서 지적한 변수를 포함하여 원전 종사자들과의 인터뷰를 통해서 선정되었다. 특히, 인터뷰를 통해서 변수들간의 상호 인과관계를 확인하고 설문문을 통해서 원전의 안전성에 영향을 미치는 주요인들을 확인하는 과정을 거쳤다. 원전 종사자들을 대상으로 한 설문조사 결과에서도 원전의 안전성에 미치는 「인적 인자」와 관련하여 가장 많은 영향을 미치는 요인으로 업무량이 지적되었다. 이러한 과정을 거치면서 초기 CLD로부터 지속적인 수정, 개선의 과정을 거치면서 최종CLD를 작성하고, 이를 기초로 하여 SFD를 작성, 원전의 조직 및 인적인자가 안전

성에 미치는 영향을 평가하기 위한 모델을 개발하였다.

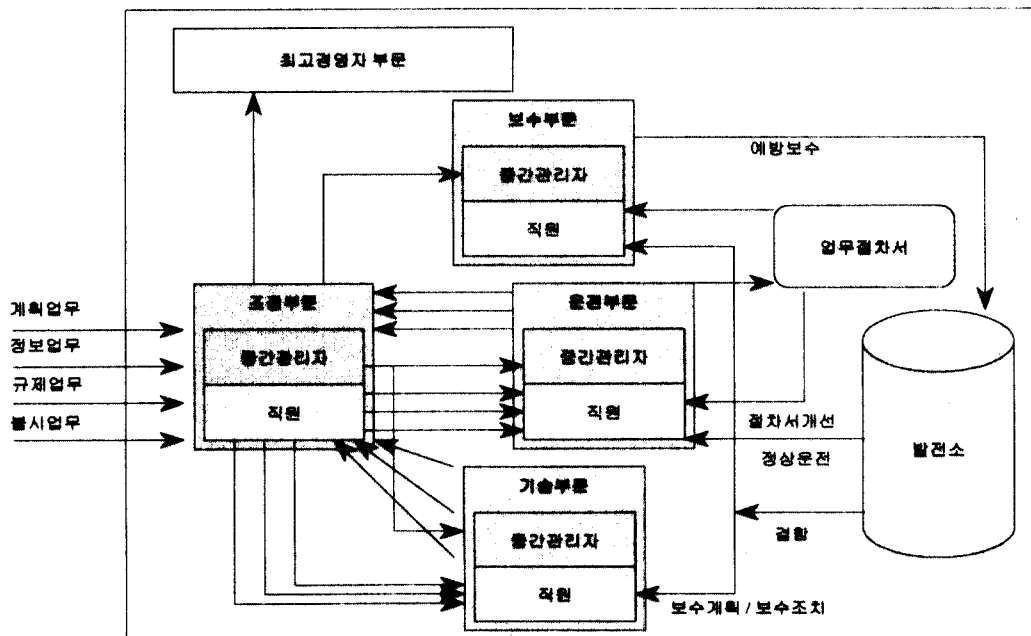
## 2. 모델의 구조

원전의 조직 및 인적인자가 안전성에 미치는 영향을 평가하기 위한 시스템 다이내믹스 모델의 최종 구조는 <그림 3>과 같다.

본 모델에서는 원전의 조직을 원전의 운영과 관련된 운전부서, 업무의 조정과 관련된 조정부서, 결함을 보수하는 보수부서, 기술 관련 업무를 처리하는 기술부서 4개 기능의 조직으로 구분하였다.

4개 조직의 인력구성은 모두 중간관리자와 직원으로 나누었는데 그들의 역할과 임무는 상이하다. 이들의 상호 작용에 의해서 발전소의 상태가 결정된다. 모델을 구성하는 하위단위 변수값을 변화시키면 모델 구조도에 나타난 화살표의 흐름에 따라 다른 하위단위 변수값이 변화되며, 궁극적으로 모델에서 정량적으로 표현된 원전의 상대적 안전성 수준(DRS : Degree of Relative Safety)이 시간의 흐름에 따라 어떤 영향을 받는가를 파악할 수 있게 된다.

예들 들어 보수부서는 발전소의 결함을 보수하는 기능을 하고 있는데, 보수 부분에서 업무를 적시에 처리하지 못하고 지연시키게 되면, 발전소의 상태가 악화되어 다른 부서의 업무량에도 영향을 미치게 된다. 이러한 현상이 지속되면 결국 발전소의 안전성은 악화될 수밖에 없을 것이다.



<그림 3> 모델의 구조

### 3. 조직 차원에서의 안전성(Degree of Relative Safety)

원전의 안전성이 무엇인가를 정의 내리는 데에는 어려움이 있다. 특히 조직 및 인력인자와 관련된 안전성은 궁극적으로 기계적 안전성과 관련이 있기는 하지만, 기계적 안전성과는 다른 차원의 안전성이다. 오히려 원전 조직의 건전성에 더욱 가까운 개념이 될 것이다.

본 모델에서의 안전성은 원전에서의 결함 발생이 일정하고 이를 발견 제거하는 인력들이 최적의 상태로 배치되었을 때의 안전성을 기준으로 하여 상대적 안전성 수준이 어떻게 변화하는가를 모델에 반영하였다.

안전성은 결함의 발생과 관련된 「빈도의 안전성」, 「규제업무의 영향」, 평상시에 결함을 발견할 수 있는 능력인 「평상시 안전성」, 급박한 문제가 발생했을 때 이를 조치할 수 있는 능력인 「위기관리 능력」으로 구성되었으며, 각 각의 안전성에 가중치를 부여하여 상대적인 안전성 수준을 계산하였다.

본 모델에서는 안전성의 정확한 수치를 예측하기보다는 인자들간의 상호 영향관계와 패턴이 어떻게 변화하는가를 살펴보는 데 의의가 있다.

따라서 안전성의 수치는 절대적 수치가 아니며, 안전성의 수준이 높다는 것은 그만큼 결함의 발견과 결함 처리의 능력이 높다는 것을 의미한다. 반면에, 안전성의 수준이 낮다는 것은 조직상에 결함 처리에 대한 능력이 낮음을 의미한다. 문제 해결을 위한 조직의 능력이 낮음으로 인하여 결함이 누적되며 결국, 기계적 결함으로 연결될 수 있는 가능성이 높아지게 된다.

## IV. 주요 Stock and Flow Diagram(SFD) 작성

본 모델의 주요한 변수는 결함, 업무량과 종사자들의 생산성 및 업무의 질과 관련된 변수이다. 본 모델은 원전에서의 업무 형태를 약 16가지로 나누어 고찰하였으며, 구성원들을 최고관리자, 중간관리자, 직원으로 구분하여 이들 각 각에 미치는 생산성 및 업무의 질에 미치는 요인을 서로 상이하게 묘사하고 피드백 구조를 형성하였다.

본 모델의 상세한 CLD나 SFD를 한정된 지면에서 소개하는 것은 어려우며 여기에서는 모델에서 가장 중요한 결함 및 업무와 관련하여 SFD를 소개하고자 한다.

### 1. 결함의 발생, 발견, 제거

#### 1) 원전의 결함 발생

원전의 안전성은 기계적 결함이 주요 원인이며, 결함이 발생하면 이를 발견하여 제거함으

로써 원전의 안전성은 유지된다.

아래의 <그림 4>는 이러한 과정을 표현한 SFD이다.

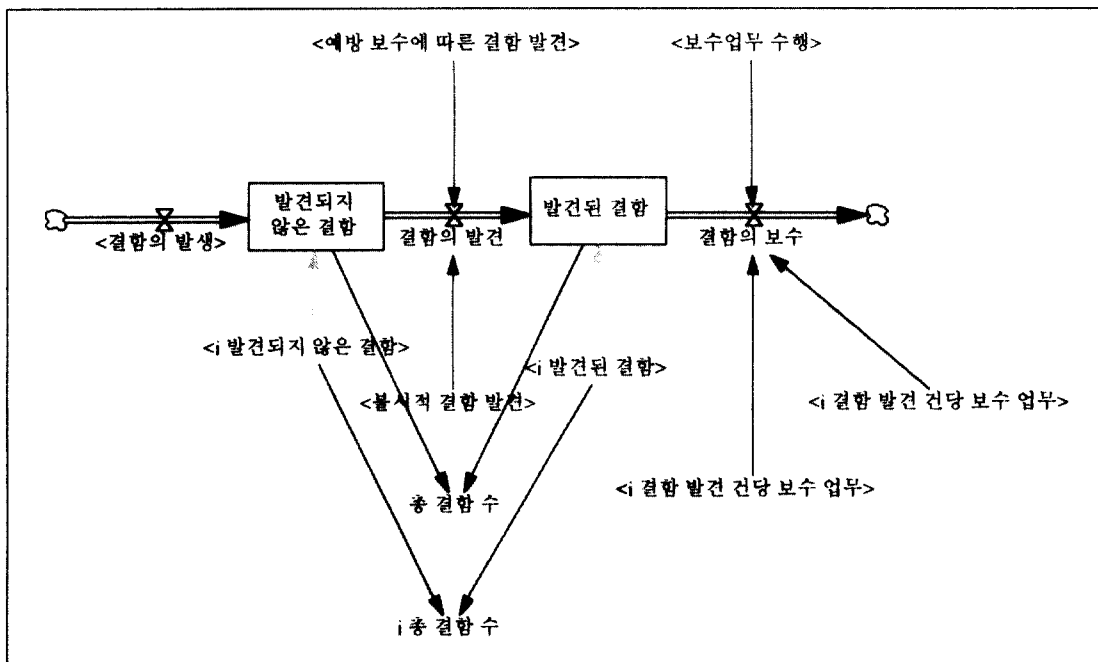
Causal Loop Diagram 단계에서는 인자들간의 영향 관계에 대한 묘사는 가능하나 이를 정량화 하기 어렵다. 이를 정량화하기 위해서는 Stock and Flow Diagram을 작성하여야 한다. <그림 4>에서 『발견되지 않은 결함』을 수식으로 나타내면,

$$\text{발견되지않은결함} = \int (\text{결함의 발생} - \text{결함의발견}, \text{발견되지않은결함}) \quad (\text{식 1})$$

가 된다. 즉 발견되지 않은 결함은 결함의 발생에 의해 증가하고 결함의 발견에 의해서 감소함을 의미한다. 이러한 과정을 통해 기타 변수들도 정량화 과정을 거쳐 표현하게 되었다.

안전성과 관련되어 가장 중요한 변수는 발전소에 있는 기계적 결함과 이를 처리할 수 있는 운전원의 능력이며 본 모델은 결함을 중심으로 작성되었다.

결함 발생은 노후화, 불량보수, 새부품의 결함, 운전미숙에 의해서 발생하게 된다.



<그림 4> 결함과 관련된 Stock and Flow Diagram

## 2) 결함의 발견

결함은 발견되지 않으면 그 처리가 불가능한데, 문제가 발견된 후에야 처리가 가능하다.

결함을 발견하는 경로는 크게 두 가지로 나누어 고찰할 수 있다. 첫째는, 계획된 일정에 의해서 보수되는 예방 보수에 의한 결함 발견이며 둘째는 원전 종사자들에 의해 우연히 발



견되는 불시적 결함 발견이다. 불시적 결함 발견의 경우에는 운전부서에 의한 결함 발견, 기타부서에 의한 결함 발견으로 나누어 모델에 반영하였다.

결함이 발견되면, 이 후로 이를 제거하려는 활동이 이루어지는데, 이 후의 과정은 업무 과정의 흐름이나 절차를 따라서 처리된다.

### 3) 결함의 제거

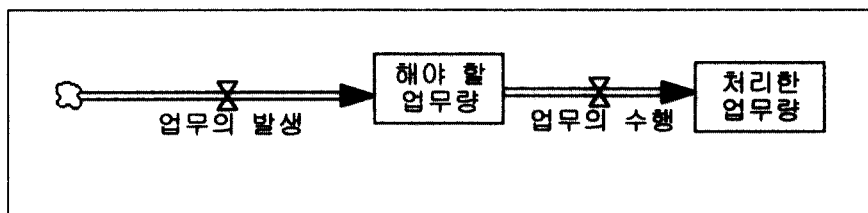
결함의 제거는 결함이 발견되고 이를 정확하게 정비하는 작업(Corrective Maintenance)에 의해서 이루어진다. 이 과정은 결함의 특성에 따라 차이가 있는데, 결함이 발전소 이용률이나 안전성에 중요하다면 이 결함은 보다 신중하게 처리될 것이고, 그렇지 않다면 단순하게 빨리 처리하는 방법을 취할 것이다. 모델에 반영될 때에는 위의 둘 중 어느 경우라도 「계획 → 보수 준비 → 보수」 등의 순서를 거치며, 다만 시간관련 상수나, 작업의 질을 높이기 위한 노력 등 상수에서는 다르게 고려된다.

## 2. 업무의 발생과 수행

본 모델에서는 업무의 발생을 단순 업무 흐름, 재작업 업무 흐름, 주기적 업무 흐름으로 구분하였다.

### 1) 단순 업무 흐름

행정업무처럼 단순한 작업의 경우에는 재작업(Rework)이 중요하지 않기 때문에 단순 업무 흐름을 적용하여 모델에 적용하였다. 다만, 단순 업무의 발생 및 업무의 수행은 업무의 특성에 따라 달라질 수 있는데, 일반적으로 <그림 5>와 같은 형태를 띤다.

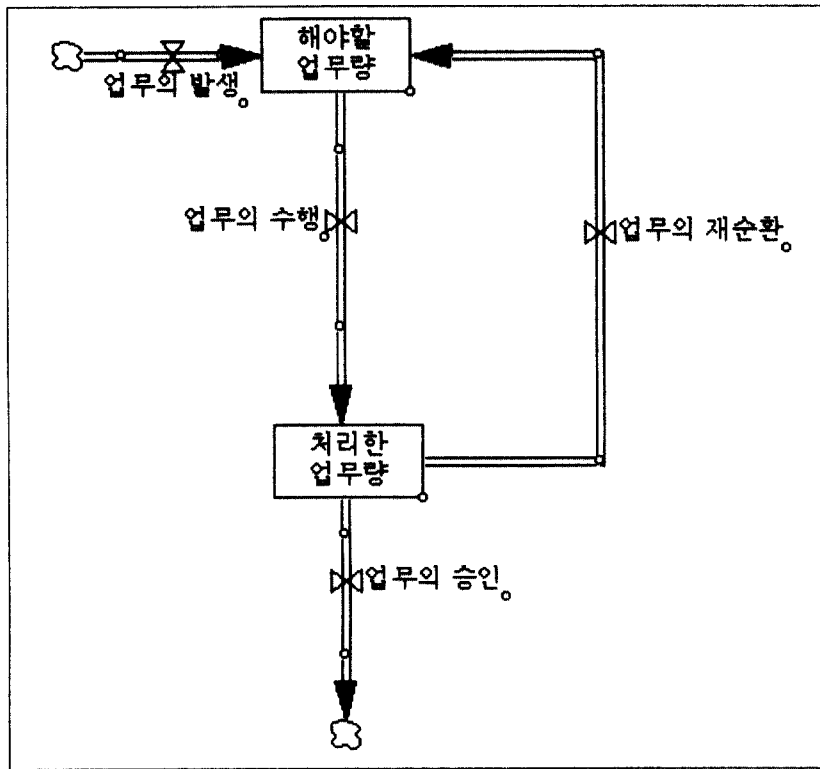


<그림 5> 단순 업무에 대한 시스템 다이내믹스 묘사 방법

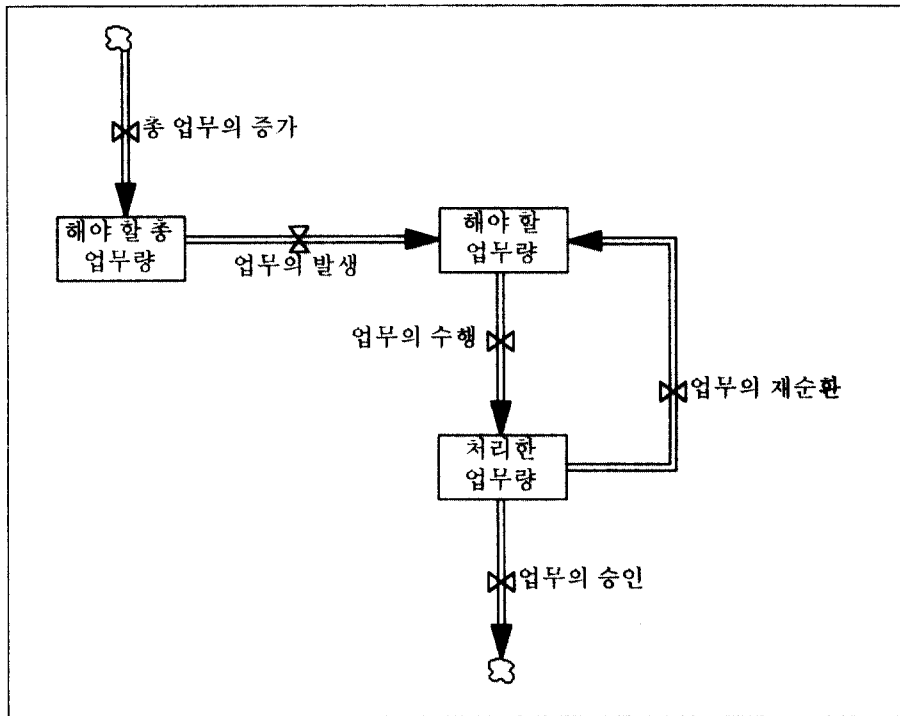
### 2) 재작업 업무 흐름

업무중에는 재작업이 매우 중요한 요소로 나타나는 경우가 있다. 즉 작업을 정확하게 수

행하지 못하여 다시 처리해야 할 경우가 발생하게 되는데, 보수 작업의 경우 정확하게 처리된 경우와 그렇지 않은 경우가 있기 때문에 이러한 경우에는 재작업 업무 흐름을 적용한다. <그림 6>은 재작업 흐름에 대한 시스템 다이내믹스 표현 방법이다. 업무의 재순환이 이루어지는 경우에는 업무를 수행할 때의 질(Quality)이 항상 중요한 변수로 대두된다.



<그림 6> 재작업 형태의 업무흐름에 대한 시스템 다이내믹스 묘사 방법



<그림 7> 주기적 흐름형태의 업무에 대한 시스템 다이내믹스 묘사 방법

### 3) 주기적 업무 흐름

업무의 성격상, 일정 주기마다 일정량의 업무를 갖고 와서 수행해야 할 경우 주기적 업무 흐름에 해당한다. 정부가 수행하는 장기 사업들의 경우 매해 다음 년도의 사업을 승인 받아야 하기 때문에 대부분 이에 해당하며, 일단 승인된 사업 내용은 그 당해 년도에는 변경되는 사항이 거의 없다. <그림 7>은 주기적 업무 흐름에 대한 시스템 다이내믹스 모델의 방법이다.

## V. 모델의 시뮬레이션

### 1. 시뮬레이션 결과

#### 1) 인력 조정이 원전의 안전성에 미치는 영향

원전의 안전성과 관련하여 인력의 조정에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

인력의 조정 문제는 원전 인력의 고령화 문제와 조직학습의 측면에서 중요하다. 즉, 원전

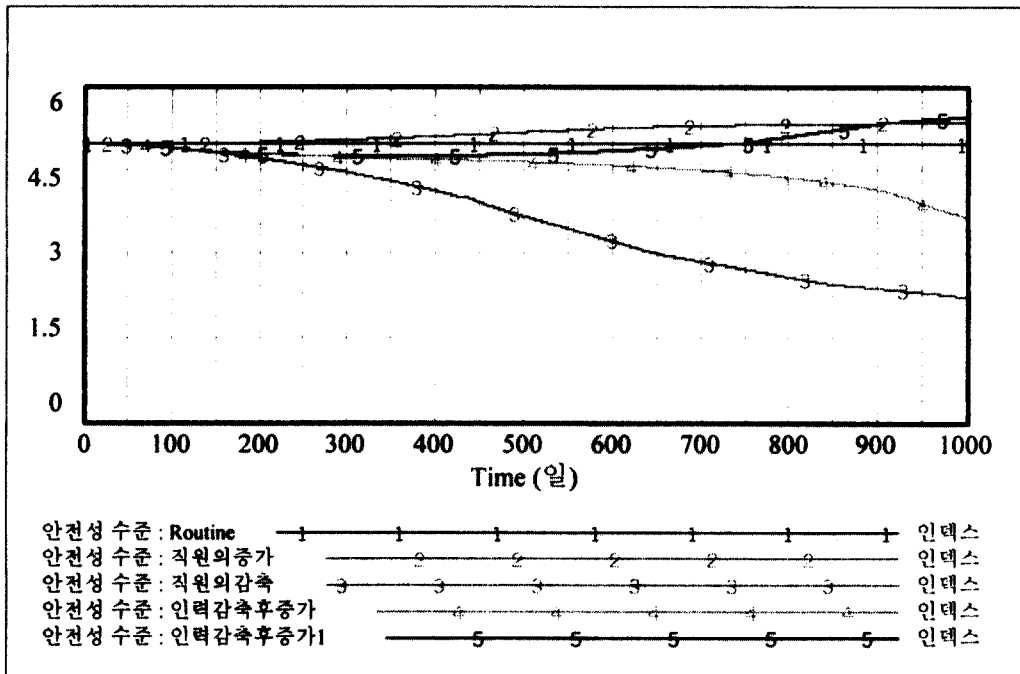
의 종사자들이 고령화되면 될수록 종사자들의 숙련도는 높아지지만, 정원 목표로 인하여 신규 인력의 입사가 어렵게 된다. 만약 고령자들이 거의 일시에 퇴사하게 되면 조직 지식 수준이 낮아질 수 있다.

뿐만 아니라, 감원의 경우에는 작업량은 일정하나 각 개인이 처리해야 할 평균 업무량은 증가하여 결국 원전의 안전성에 영향을 미칠 수밖에 없다.

아래의 <그림 8>과 <표 1>은 최적수준을 이루고 있는 발전소에서 감원 및 증원에 대한 시뮬레이션의 결과와 변수의 조작상황에 대한 표이다.

이 시뮬레이션은 인력의 보충 기간과 같은 다른 변수의 변화 없이 『직원의 목표수』 변수만을 조작한 결과이다. 이러한 시뮬레이션은 개별 변수의 조작의 효과를 알아보는 데 있으며, 실제로는 여러 변수의 동시 조작이 가능하다.

<그림 8>에서 알 수 있듯이 원전의 안전성 수준이 최적화된 상태(선 1)에서 직원의 증가(선 2)는 안전성의 향상에 큰 영향을 미치지 못하나 감소(선 3)의 영향력은 상대적으로 크다. 직원의 감소 후에 문제를 인식하여 다시 인원을 원래의 수준으로 증가시키더라도 그 회복은 원래의 수준으로 복구하지 못하고(선 4), 감축인원보다 더 많은 인원(기준 이원의 10% 증가)이 다시 투입되어 상당시간이 경과한 후(<그림 8>의 시뮬레이션 결과에서는 약 600일 후)에야 기존의 안전성 수준으로 복구하는 모습을 보인다(선 5).



<그림 8> 인력 조정이 원전의 상대적 안전성 수준(DRS)에 미치는 영향

최적의 상태에서 인력의 증가는 안전성 향상에 큰 도움은 되지 못한다. 그러나 최적 수준에서의 인력의 감소는 처음에는 그 안전성이 저하되는 차이를 느끼지 못하나, 시간이 지날

수록 그 정도가 심화되며, 장기간 지속될 경우 안전성의 회복이 불가능해 질 수 있다. 만일 결함의 발생이 갑자기 증가할 경우를 대비하여 현재의 안전성에는 도움을 주지는 못하지만 여유자원(slacks)을 확보하여 두는 것이 안전성을 유지하는 데에 도움이 될 것이다.

<표 1> 인력 조정에 관련된 변수의 조작

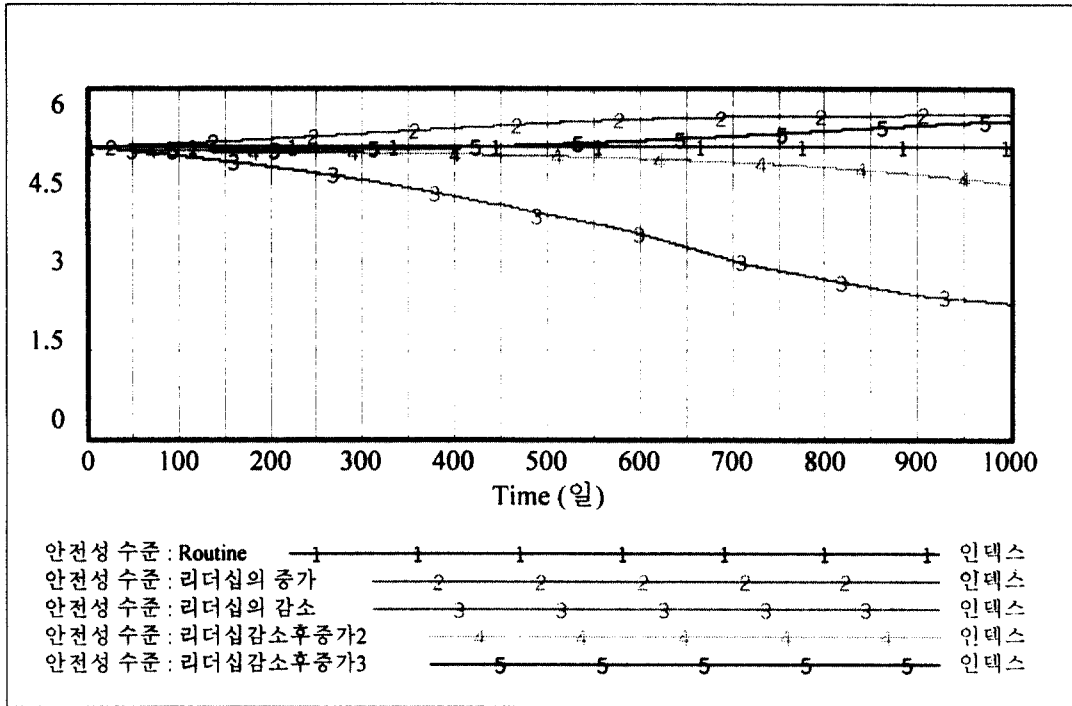
상황	변수조작상황	선번호
Routine	변수조작없음.(최적상태)	선1
직원의 증가	최적상태인 0일부터 10% 증가	선2
직원의 감축	최적상태인 0일부터 10% 감소	선3
인력감축후증가	최적상태인 0일부터 120일까지 기준정원의 10%감소 후 121일부터 기준정원의 10% 추가 증가	선4
인력감축후증가1	최적상태인 0일부터 120일까지 기준정원의 10%감소 후 121일부터 기준정원의 20% 추가 증가	선5

또한 조직 학습의 차원에서 인력 구성을 적정하게 배치시킴으로서 조직 숙련도를 적정 수준으로 유지할 수 있는 인력관리 정책이 필요하다.

## 2) 직원의 사기 진작 프로그램이 원전 안전성에 미치는 영향

다음은 업무와 관련된 리더십(leadership)에 대한 시뮬레이션이다. 리더십이란 “모든 조직 활동에 동기를 부여하고 촉진하여, 다양한 집단활동을 일정한 목표로 향하도록 일체감을 조성하는 기능”이라고 정의할 수 있다(박연호, 2000). 리더십은 업무와 관련된 리더십과 직원 측면에서의 리더십의 두 가지 성격으로 구분할 수 있겠으나 본 모델에서의 리더십은 전자 즉 업무와 관련된 리더십으로 정의한다. 직원 측면에서의 리더십은 이후의 사기와 관련하여 살펴보기로 한다.

최고관리자의 리더십의 영향관계는 간단히 「최고 관리자의 리더십 → 중간관리자(직원)의 사기 → 중간관리자(직원)의 업무 태도」와 같이 표현할 수 있다. 결국 업무 태도는 결함의 발견과 처리에 영향을 미쳐 업무량의 변화에 영향을 미친다.



<그림 9> 리더십의 DRS에의 영향

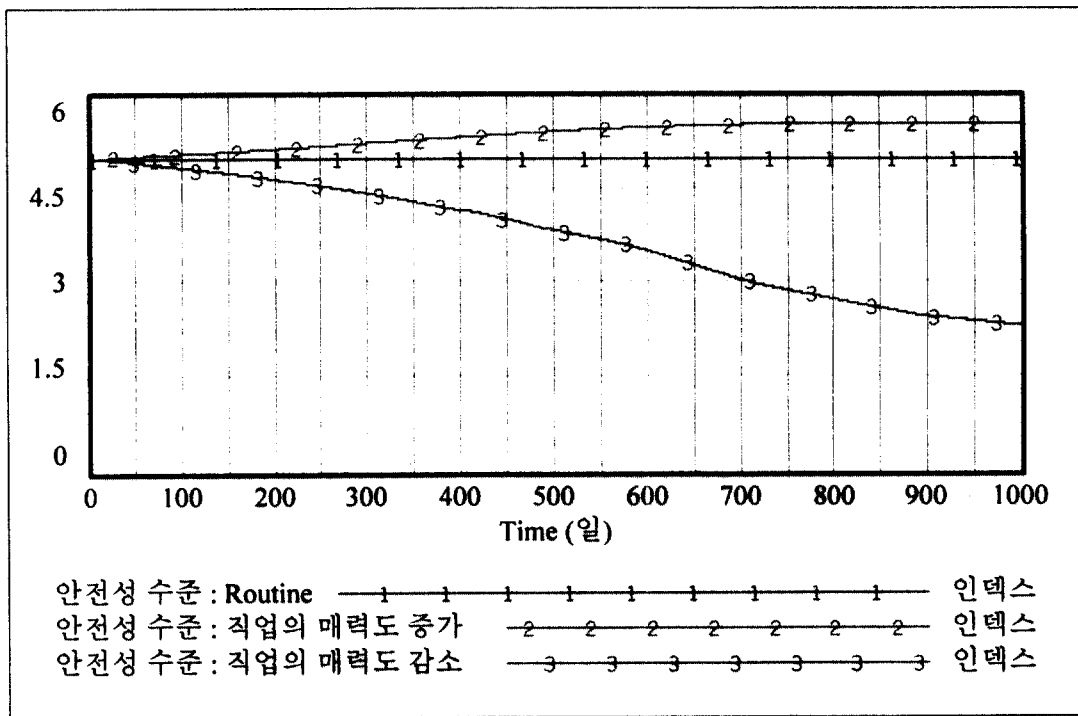
<표 2> 리더십 관련 변수조작 상황

상황	변수조작상황	선번호
Routine	변수조작없음.(최적상태)	선1
리더십의 증가	최적 상태인 0일부터 리더십의 10% 증가	선2
리더십의 감소	최적 상태인 0일부터 리더십의 10% 감소	선3
리더십 감소 후 증가 2	최적상태인 0일부터 30일까지 발전소 리더십의 10%감소, 31일부터 기준 리더십 수준으로 유지	선4
리더십 감소 후 증가 3	최적상태인 0일부터 30일까지 리더십의 10%감소 31일부터 기준 리더십 수준으로 유지 60일 이후에는 기준리더십의 10% 증가	선5

리더십과 관련된 시뮬레이션의 결과는 <그림 9>와 같다. 리더십의 증가와 감소는 직관적으로도 예측할 수 있는 형태이다(선 2와 선 3). 업무에 대한 리더십이 감소하여 안전성 수준이 낮아짐을 인식하고 이를 다시 원래의 안전성 수준으로 복귀하려고 업무에 대한 기본적인 리더십 수준으로 복귀하여도(0.9 수준에서 1수준으로), 안전성의 회복이 어려우며(선 4), 리더십의 점진적인 변화(선 5)를 통해 안전성 향상을 도모하여야 한다.

결국, 일에 대한 리더십의 급작스런 변화는 업무량을 증가시켜 자칫 안전성에 도움이 되지 않을 수도 있다. 업무 지향적 리더십의 경우에는 점진적인 변화가 보다 효과적이다.

사기 관련 시뮬레이션 결과 역시 사기의 진작이 사기의 감소보다는 안전성에 큰 영향을 미치지 못하는 못하나 사기의 지속적인 감소는 증가보다 안전성에 더 많은 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 뿐만 아니라 사기의 감소는 사기의 증가보다 더욱 빨리 반응을 한다. 위의 <그림 10>은 직업의 매력도만을 시뮬레이션 하였지만, 원자력 발전소에 대한 외부인의 선호, 언론의 역할 등이 실제의 종사자들의 사기에 영향을 미치는 것을 감안할 때, 장기적으로 원전의 관리자들도 사기 저하를 막기 위한 다양한 프로그램을 마련하여야 할 것이다.



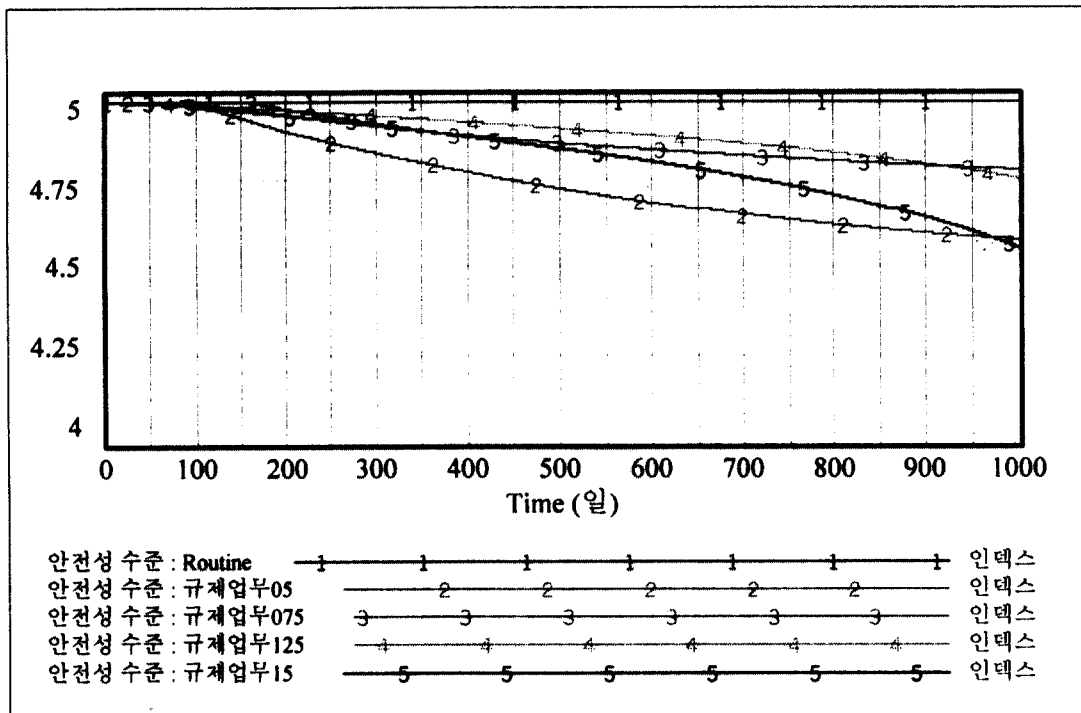
<그림 10> 사기의 DRS에의 영향

### 3) 규제활동의 빈도가 원전 안전성에 미치는 영향

원자력 발전소에 대한 규제활동은 필수 불가결한 문제이다. 규제 기관에 의한 규제활동이나 관심은 피규제자의 입장에서는 업무의 증가라는 부담으로 다가올 수도 있지만, 한편으로는 시스템 내부에서는 볼 수 없는 구조적 결함 내지는 문제점을 지적할 수 있다거나 조직 내부적으로는 알려진 문제점임에도 불구하고 그 치유가 이루어지지 않을 경우에 타율적으로나마 그 문제점을 고칠 수 있다는 점에서 긍정적인 면을 갖고 있음을 부정할 수 없다. 규제 기관의 관심은 추가적인 업무를 가져오고 이로 인한 업무량의 증가는 운전 업무의 질을 저

하하게 된다. 여기서 추가되는 업무량은 규제 기관의 관심 이외에도 경영 정책에 의한 영향도 받게 되고 이 정책은 동시에 업무량에도 영향을 미친다.

<그림 11>에서 볼 수 있는 바와 같이 규제활동 역시 최적 수준의 규제 활동이 있음을 알 수 있다(선 1). 그밖에 이 최적 수준보다 많은 규제활동이나 적은 규제 활동은 오히려 안전성에 도움이 되지 못한다. 이 최적 수준은 개별 발전소의 하드웨어, 인력 등에 따라서 차이가 존재할 것이다. 지나친 규제 활동은 장기적으로는 적은 규제 활동보다 안전성을 악화시킬 수도 있음을 볼 수 있다.



<그림 11> 규제활동의 DRS에의 영향

## 2. 시뮬레이션의 결과 및 시사점

시스템 다이내믹스를 사용함으로써 얻을 수 있는 가장 큰 이득은 복잡한 시스템 속에 감추어져 있는 다중 순환 고리를 발견하고 이의 작용을 시각적으로 표현 할 수 있다는 것이다. 일반적으로 사람들은 순환적인 사고보다는 직선적인 사고에 익숙한 경우가 대부분인 반면에 우리에게 영향을 미치거나 우리가 관심을 갖게 되는 시스템들 중 많은 경우 그 시스템의 비선형적인 요소가 중요한 역할을 하게 된다.

더우기 그 시스템이 외생 변수에 의해 많은 영향을 받는 경우라면 선형적인 분석에 의한 예측 결과와 실제로 얻어지는 자료 사이에는 커다란 차이가 생기게 된다. 외생 변수의 변화에 의한 효과는 선형적으로 생각되어지는 효과와는 달리 여러 개의 순환 고리를 거치면서



그 효과가 증폭되거나 축소되는 경우가 생기고, 두 개 이상의 변수가 미치는 효과 역시 그 상호작용과 다른 변수와의 상호 작용에 의한 순환적 효과를 고려하지 않은 선형적 효과와는 다르게 나타나게 된다.

기존의 선형적인 사고 방식에 의한 모델의 한계를 극복할 수 있는 것이 시스템 다이내믹스에 의한 순환 고리적 사고에 의한 시스템 다이내믹스 모델링 기법이다. 이 기법에 의해 구성된 모델을 통해 사용자는 변수들 사이의 상관 관계를 순환 고리에 따라 분석해 볼 수 있으며, 더 나아가 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 상황에 따른 시나리오별 예측을 해 볼 수 있으며 어떤 변수가 그 결과에 지배적 영향력을 갖고 있는지를 분석해 볼 수 있다.

이와 같은 맥락에서 원전의 조직 및 인적인자에 대한 조사가 원전의 안전성에 어떤 영향을 미치는가에 대한 시스템적 사고는 기존의 연구에서 살피지 못했던 변수들간의 상호관계를 파악할 수 있게끔 한다.

### 3. 모델의 활용

시스템 다이내믹스를 이용한 본 모델은 다음과 같이 활용될 수 있다(Anderson, 1997 : Kim, 1993 : Senge, 1990 : Sternman , 2000, Schein, 1996, Sastry, 1997).

#### 1) 주요 변수간 상관 관계 분석

개발된 시스템 다이내믹스 모델을 이용해 분석자의 관심 내에 있는 변수에 영향을 미치는 변수들을 인과 수형도(Causal Tree Graph)를 이용해서 추적하고 이들의 시간에 따른 변화의 양상을 분석해 나갈 수 있다. 이 과정에서 담당 분야의 전문가가 개입해서 모델의 오류를 추적할 수도 있으며, 전술한 바와 같이 수정이 용이한 시스템 다이내믹스 모델의 특성상 개발자에 의해 수정된 모델은 그 오류를 점점 줄어나감으로써 더욱 완벽한 모델로 개선되어질 수 있다.

#### 2) 직원의 교육

분석자와 사용자는 모델을 사용해 각종 변수들을 검토해 나가는 과정에서 스스로의 사고를 확장 및 교정 할 수 있는 기회를 갖게 된다. 개인들이 알지 못했던 분야의 지식을 얻게 될 뿐 아니라 모델에서 자신의 전문 분야에 대한 오류를 발견하고 개발자의 도움으로 그 오류를 교정하는 과정에서 해당 분야 지식을 견고히 할 수 있게 된다.

기술 위주의 배경을 가진 구성원으로 구성된 원자력 발전소의 경우 시스템 다이내믹스를 통해서 문제의 원인을 추적해봄으로써 관리적 마인드를 향상시킬 수 있는 도구가 될 수 있다. 즉 시스템 다이내믹스 모델을 이용하여 예상되는 여러 가지 환경 변수 및 결정 변수에

따른 시나리오별 시뮬레이션을 함으로써 가장 최적의 결과를 도출해내는 변수의 조합을 이끌어냄으로써 원전의 조직 시스템에 대한 이해를 심화시킬 수 있다.

### 3) 직원간 커뮤니케이션 도구

시스템 다이내믹스 모델을 이용하면 직원간 커뮤니케이션을 용이하게 할 수 있다. 모델이 일단 완성되면 이를 검토해나가는 과정에서 타 분야의 직원들 사이에 존재할 수 있는 시스템에 대한 인식의 차이에 대해 논의를 하고, 그 간격을 좁힐 수 있으며 의견이 상충하는 부분에 대해서는 의견을 종합, 모델을 수정함으로써 해당 부분에 대한 협력관계를 강화해 나갈 수 있다. 이는 또한 상하 직원간의 커뮤니케이션에도 도움이 된다.

시뮬레이션을 이용하면 서로의 입장에서 시뮬레이션을 함으로써 원자력 발전소를 더욱 안정적으로 운영할 수 있는 방안을 모색할 수 있을 것이다.

앞에서도 언급했듯이 시스템 다이내믹스 모델의 수정 용이성은 각 발전소별 운전 및 운영상의 특징을 모델에 비교적 용이하게 반영할 수 있게 해주고 여기에 필요한 데이터를 수정해 주면 되는 것이다. 모델이 수정 보완 되어감에 따라 원자력 발전소의 안정성과 운영상의 경제성에 대한 분석만이 가능한 것이 아니라 사용자의 입장 내지는 관심사에 따라 주변 환경과의 상호작용 그리고 조직 내부의 문제에 대한 분석 또한 가능하게 할 수 있다.

### 4) 원전 주기적 안전성 평가에서의 활용

원자력 발전소의 경우 발전소 안전성과 관련하여 주기적인 점검을 받게 되어 있는바, 원전의 주기적 안전성 평가(PSR : Periodic Safety Review)에서 요구하는 원전 조직 및 인적요구 사항(원자력법 시행규칙 19조)에 대한 평가에 모델의 활용이 가능하며, 안전성 향상을 위한 여러 경영 정책을 시뮬레이션을 통해서 강구할 수 있을 것이다. 앞의 시뮬레이션은 단순히 하나의 변수만을 조작함으로써 변수 변화의 효과를 살펴보았지만, 실제의 응용에는 여러 변수의 동시조작이 가능할 것이다.

## VI. 향후 과제 및 결론

현재까지 개발된 모델은 원전 조직을 대상으로 한 일반적 모델로서 원전에서의 조직 구조와 업무절차에 대하여 모델을 구성하였다. 이를 실제의 발전소에 활용하기 위해서는 근무교대 등과 같은 모델이 추가되어야 하며, 해당 발전소 종사자들의 인구학적 특성의 반영과 심리 및 행태 변수의 보다 근사한 계량화를 통해서 모델의 타당성을 향상시킬 필요가 있다.

본 모델에서 사용된 심리 및 행태적 변수의 참조함수(look-up function)는 실증적인 실험

및 조작에 의해서 데이터를 수집 작성했다기 보다는 사회·조직학에서 일반적으로 수용되고 있는 상관곡선 및 종사자들과의 인터뷰를 통해서 얻은 진술을 기초로 한 추론을 통해서 작성되었다. 따라서 모델의 타당성을 높이기 위해서는 보다 실증적인 참조함수의 작성이 중요하다 할 것이다. 향후 모델의 실증성을 높이기 위한 방안을 강구하여야 할 것이다.

이러한 한계에도 불구하고, 본 모델은 원전에서 일어나고 있는 조직의 다양한 현상들에 대한 이해를 돕는데 기여할 수 있을 것이다. 특히 공학적 배경을 가진 원전의 관리자들에 안전성을 향상시킬 수 있는 경영 관리 마인드를 향상시킬 수 있을 것이다.

원전을 포함한 위험조직에서의 조직 및 인적인자에 대한 관심이 높아졌음에도 불구하고 이에 대한 평가는 요인들간의 선형성과 독립성에 근간을 둔 평가였으며, 시간횡단면적인 성격을 가지고 있었다. 따라서 요인들의 상호 작용으로 인하여 시간에 따른 변화를 예측하기 어려우며 단기적 평가만이 가능하였다. 시스템 다이내믹스를 활용한 원전에서의 조직 및 인적인자의 평가는 이러한 한계를 극복하고, 시스템 구성요소들의 다양한 상호 작용과 변수의 증폭과 상쇄 등을 고려하여 시간에 장기적인 처방을 내릴 수 있게끔 한다.

이러한 측면은 수시로 바뀌는 원전의 조직 관리자들이 직관에 의한 결정이 아닌 장기적인 측면에서의 결정을 내리도록 하면서, 원전의 안전성을 지향한 일관성 있는 관리가 이루어지는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

전술하였듯이 본 모델의 경우 안전성의 정확한 수치를 측정하기 보다는 인자들간의 상호 영향관계 및 패턴을 살펴봄으로써 조직관리 측면에서의 의사결정의 합리성을 보다 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

본 모델이 일반적인 상황을 가정하여 작성되었지만 해당 조직의 실제 데이터를 입력하여 변수를 조작해 봄으로써 안전성을 향상시키기 위한 전략을 도출할 수 있을 것이며, 이러한 기회를 통해서 직원간 부서간의 의사소통을 이루어 조직학습에 기여할 수 있을 것이다.

\* 본 연구는 과학기술부가 지원하는 원자력 연구개발 중장기 과제 중 "조직 및 인적인자 평가기술 개발"과제의 일환으로 수행하였다.

## 【참고문헌】

- Anderson, Virginia & Johnson, Lauren (1997), *System Thinking Basis : From Concepts to Causal Loops*, MA:Pegasus Communications, Inc..
- Apostolakis, G. etc., (1992), "Inclusion of Organizational Factors into Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants", *5th Conference on Human Factors and Power Plant*, Montrey, CA.

- Burrell, Gibson & Morgan Gareth (1982), *Sociological Paradigms and Organizational Analysis : Elements of the Sociology of Corporate Life*, London:Heinemann, 윤재풍 역 (1990), 사회과학과 조직이론, 서울:박영사.
- Carroll, John S. (1998), *Organizational Learning Activities in High-Hazard Industries:The Logics Underlying Self-Analysis*, Journal of Management Studies, Blackwell Publisher LTD., Malden, MA.)
- Carter, Neil, Klein Rudolf & Day, Patricia (1992), *How Organizations measure success : The Use of Performance Indicators in Government*, NY: Routledge.
- Dougherty, E. M. Jr. (1990), "Human Reliability Analysis-where should you turn?" *Reliability Engineering and System Safety* 29.
- Gharajedaghi, Jamshid (1999). *System Thinking : Managing Chaos and Complexity: a Platform for Designing Business Architecture*. MA: Butterworth Heinemann.
- IAEA (1995). *Organizational Factors influencing human performance in nuclear power plants*, IAEA-Techdoc-943, Report of a technical committee meeting held in Ittingen, Switzerland.
- IAEA (2000), *Operational Safety Performance Indicator for Nuclear Power Plants*, Vienna, Austria. IAEA-TECHDOC-1141.
- Kim, Daniel (1993), "The Link Between Individual and Organizational Learning" , *Sloan Management Review*, fall, 37-50.
- Morgan, Gareth (1998), *Images of Organization : The Executive Edition*, Sage Publication, Inc..
- OECD (1999a), *Identification and Assessment of Organizational Factors Related to the Safety of NPPs*, Nuclear Energy Agency Committee on the Safety of Nuclear Installations, NEA/SCNI(98)17/VOL1.
- OECD (1999b), *Identification and Assessment of Organizational Factors Related to the Safety of NPPs*, Nuclear Energy Agency Committee on the Safety of Nuclear Installations, NEA/SCNI(98)17/VOL2.
- OECD (1999c), *The Role of the Nuclear Regulator in Promoting and Evaluating Safety Culture*, Nuclear Energy Agency.
- Perin, Constance and Carroll, John S. (1997), *Organizational Analysis in High-Hazard Production Systems : an academy-industry dialogue, final report of workshop funded by the National Science Foundation : NSF Grant #9510883-SBR*.

- Perrow, Charles (1984), *Normal Accident : Living with High-Risk Technologies*, New York : Basic Books.
- Perrow, Charles (1986), *Complex Organizations : A Critical Essay*(3rd Ed.), New York:McGraw Hill, Inc..
- Rasmussen, J. (1987), "Then Definition of Human Error and a Taxonomy for Technical System Design", *New Technology and Human Error*, John Wiley & Sons Inc..
- Reason, J. (1990), Types, Tokens and Indicator, *Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting*.
- Rudolph, Jenny W. and Nelson P. Repenning (2000), *Disaster Dynamics : Understanding the Role of Interruptions and Stress in Organizational Collapse*. unpublished
- Sastry, M. Anjail (1997), "Problems and Paradoxes in a Model of Punctuated Organizational Change" , *Administrative Science Quarterly*, 42, 237-275.
- Schein, Edgar H. (1996), "Three Cultures of Management:The Key to Organizational Learning" , *Sloan Management Review*, fall, 9-20.
- Senge, Peter (1990), *The Fifth Discipline : The Art & Practice of The Learning Organization*, A Currency Paperback.
- Sterman, John D (2000), *Business Dynamics : System Thinking and Modeling for a Complex World*, NY:McGraw Hill.
- Thompson, James D.(1967), *Organization in Action*, NY:McGraw-Hill.
- Weitzel, William & Ellen Jonson (1989), "Decline in Organization: A Literature Integration and Extension" , *Administrative Science Quarterly*, 34(1), 91-109.
- 박연호 (2000), 「조직행동론」, 서울:박영사.

## The System Dynamics Model for Assessment of Organizational and Human Factor in Nuclear Power Plant

Ahn, Nam Sung(KEPRI), Kwak, Sang Man(Systemix), Yu, Jae Kook(Systemix)

The intent of this study is to develop system dynamics model for assessment of organizational and human factors in nuclear power plant which can contribute to secure the nuclear safety.

Previous studies are classified into two major approaches. One is engineering approach such as ergonomics and probability safety assessment(PSA). The other is social science approach such like sociology, organization theory and psychology. Both have contributed to find organization and human factors and to present guideline to lessen human error in NPP. But, since these methodologies assume that relationship among factors is independent they don't explain the interactions among factors or variables in NPP.

To overcome these limits, we have developed system dynamics model which can show cause and effect among factors and quantify organizational and human factors.

The model we developed is composed of 16 functions of job process in nuclear power, and shows interactions among various factors which affects employees' productivity and job quality.

Handling variables such like degree of leadership, adjustment of number of employee, and workload in each department, users can simulate various situations in nuclear power plant in the organization side. Through simulation, user can get insight to improve safety in plants and to find managerial tools in the organization and human side. Analyzing pattern of variables, users can get knowledge of their organization structure, and understand stands of other departments or employees. Ultimately they can build learning organization to secure optimal safety in nuclear power plant.