

최종연구보고서

# 원전 주기적 안전성 평가기술 개발

Development of Periodic Safety Review  
Technology for NPP

## 조직 및 인적인자 평가기술 개발

Development of Assessment Technology  
of Effect of Human and Organizational Factors  
on Nuclear Power Plant Safety

연구기관  
한국전력공사 전력연구원

과 학 기 술 부



# 제 출 문

## 과 학 기 술 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “원전 주기적 안전성 평가기술 개발”과제 (세부과제 “조직 및 인적인자 평가기술 개발”)의 보고서로 제출합니다.

2004년 2월

연구 기관 명 : 한전 전력연구원

연구 책임자 : 안 남 성

연구 원 : 김 태 룡, 박 민 혁

제 갈 성, 이 영 일

박 종 혁, 윤 태 식

정 우 중, 김 현 실

한수원(주) 채 완 희, 김 영 균

이 윤 규

위탁연구기관명 : 시스테믹스(주)

위탁연구책임자 : 곽 상 만

연구 원 : 정 관 용, 김 도 형

장 원 혁, 홍 정 석

유 재 국

위탁연구기관명 : 한양대학교

위탁연구책임자 : 제 무 성

연구 원 : 강 경 민, 박 상 준

## 최종연구보고서 초록

| 과제관리<br>번호  |                                | 해당단계<br>연구기관   | 한전 전력연구원      | 단계구분          | 2단계<br>/2단계중   |
|---|--------------------------------|--|---------------|---------------|----------------|
| 연구사업명   | 중 사업명                          | 원자력연구개발 중·장기 계획사업  |               |               |                |
|   | 세부 사업명                         | 원전성능개선/현장기술혁신  |               |               |                |
| 연구과제명   | 대과제명                           | 원전 주기적 안전성 평가 기술 개발  |               |               |                |
|   | 세부과제명                          | 조직 및 인적인자 평가기술 개발  |               |               |                |
| 연구기관명<br>(연구책임자)  | 한전<br>전력연구원<br>(안남성)           | 해당단계연<br>구인력   | 내부 : 2.90 M·Y | 연구비           | 정부 :169,642 천원 |
|   |                                |  | 외부 : 2.25 M·Y |               | 민간 : 58,682 천원 |
|   |                                |  | 계 : 5.15 M·Y  | 계 :228,324 천원 |                |
| 위탁연구  | 연구기관: 시스템믹스(주)      연구책임자: 곽상만 |  |               |               |                |
| 국제공동연구  | 상대국명:                          | 상대국연구기관명:  |               |               | 참여기업           |
| 색 인 어<br>(각5개이상)  | 한글                             | :조직인자, 인적인자, 시스템 다이내믹스, 안전성, 확률론적 안전성 평가                           |               |               |                |
|   | 영어                             | :organizational factor, human factor, system dynamics, safety, PSA |               |               |                |
| 요약  |                                |  |               | 면수            | 364page        |
| <p>1. 연구개발목표 및 내용</p> <p>원전의 조직 및 인적인자에 대한 정량화 방법을 개발하고 이를 시스템 다이내믹스를 통해 모델화 하여 조직 및 인적 인자에 대한 평가에 활용하고, 모델은 원전 주기적 안전성 평가(PSR : Periodic Safety Review)에 활용</p> <p>2. 연구결과</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조직 및 인적인자 평가를 위한 시스템 다이내믹스 모델을 개발하여 이를 고리 1발전소에 적용</li> <li>- 고리 1발전소의 고유 데이터를 모델에 포함하여 이를 시뮬레이션하여 조직 및 인적인자 측면에서의 안전성에 대한 검토</li> <li>- 모델 검증을 위하여 발전소 직원을 대상으로 한 설문 및 인터뷰 실시</li> </ul> <p>3. 기대효과 및 활용방안</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조직 및 인적인자가 안전성에 미치는 영향에 대한 정량화 모델 개발</li> <li>- 주기적 안전성 평가(PSR) 중 조직 및 행정, 인적 인자 평가에 활용</li> <li>- 원전 구성원들에 대한 교육에의 활용</li> </ul> |                                |  |               |               |                |



# 요 약 문

## I. 과제명

조직 및 인적인자 평가기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

기술적 혁신과 설비 개선을 통해 원전의 경제성과 안전성은 많은 향상을 이루어 왔다. 그러나 안전성과 관련된 조직 및 인적 측면에서의 연구는 상대적으로 미흡하였다. 본 연구는 조직 및 인적인자가 원자력 발전소의 안전성에 어떤 영향을 미치는가를 분석하고 이를 향상시킬 수 있는 방안을 도출하는 데 그 목적이 있다. 연구의 필요성은 다음과 같다.

첫째, 현재 원전에서의 사고의 상당부분이 인적 오류와 관련되어 있기에, 인적 오류를 줄일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다. 둘째, 원전에서의 조직이 안전성에 미칠 수 있는 연구가 상대적으로 저조하다. 원전의 장치는 조직 구성원들의 감시와 보수활동에 의해서 그 상태가 유지되므로 이들의 조직화에 대한 연구가 필요하다. 셋째, 원전 주기적 안전성 평가 측면에서 요구하는 사항에 대한 충족 방안에 대한 연구가 필요하다.

## III. 연구 개발의 내용 및 범위

원전의 조직 및 인적인자에 대한 정량화 방법을 개발하고 이를 시스템 다이내믹스를 통해 모델화 하여 조직 및 인적 인자에 대한 평가에 활용한다. 모델은 원전 주기적 안전성 평가(PSR : Periodic Safety Review)에 활용될 수 있도록 고리 1발전소를 대상으로 이를 적용한다.

원전의 안전성과 관련된 조직 및 인적 인자에 대한 연구 방법론은 크게 관리적 접근방법, 정량적 접근방법, 정성적 접근방법으로 일반적으로 구분된다. 각 방법론은 나름대로의 유효성과 한계를 지닌다.

정량적 방법론은 신뢰성 공학 분야에서 이루어지고 있는데, 정량화의 장점에도 불구하고 원전의 사고가 일어나게 된 인과관계를 설명하지 못하며 개인적 수준의 연구에 머물러 있다. THERP, SLIM 모델 등 운전원의 수행오류와 관련된 오류를 모델링하는 데에는 도움을 주지만 인자들간의 연관성 및 동시 다발적인 운전원 행위들 간의 상관관계를 고려하지 못한다. 또한 관측 가능한 인간 오류의 설명에 국한되어 있으며 의도 형성 과정과 이유에 대해서 설명이 부족하다.

정성적 방법론은 조직적 수준의 연구가 수행되고 있으나 인자들의 나열 위주의 연구이며, 인자들간의 상호 영향관계에 대한 고려가 약하다. NEA, INPO 및 MIT 등의 연구에서 조직 및 인적인자에 대한 다양한 연구가 시행되고 있다. 이들은 업무량, 리더십, 발전소의 목표와 전략, 조직 학습, 조직 문화, 교육 훈련, 업무 조정 등의 요인을 지적하고 있다. 이러한 연구는 개인 수준에서 뿐만 아니라 조직 요인이 개인의 수행능력에 영향을 미칠 수 있음을 지적한다. 그러나 이 방법론 역시 다양한 요인들에 대해서 나열은 되어 있으나 그 상호 영향관계를 파악하지 못하고 있다.

본 연구에서는 조직 및 인적인자들의 상호 영향 관계를 묘사할 수 있는 시스템 다이내믹스 방법을 이용하여 평가 기법을 개발하였다.

1단계에서는 일반적으로 원전에 적용될 수 있는 모델을 개발하였으며, 2단계에서는 1단계에서 개발된 모델을 기초로 해당호기에 적용할 수 있으며 특히, PSR에서의 조직 및 행정 및 인적인자 분야에 적용할 수 있도록 모델을 구성하였다.

모델의 기본 구성들은 유기체적 조직 모델에 기초로 하여 조직에 대한 시스템적인 분석을 제공하였다. 이 분석들은 원전 조직을 구성하는 다양한 인자가 상호 영향을 주는 피드백 구조를 갖는다.

시스템 다이내믹스 모델의 개발은 문제를 정의하고, 인터뷰와 설문을 통해서 변수를 선정하였으며, 선정된 변수들의 인과관계를 묘사한 인과관계지도(Causal Loop Diagram)를 개발하고, 이를 정량화할 수 있는 Stock and Flow Diagram을 개발하였다.

이 때, 사기, 생산성, 업무의 질과 같은 이른바 Soft 변수는 원전의 구성원들과의 개별 인터뷰를 통하여 정량화를 시도하였다.

한 편, 모델의 기본 구조는 하드웨어에 있는 결함의 제거를 기초로 하여 모델이 설계되었다. 원전의 안전성에 가장 중요하게 영향을 미치는 것은 원전 설비의 결함이며, 종사자들은 이 결함을 발견하여 제거하는 활동을 하게 되며, 모델에서는 결함의 발견과 제거 활동을 표현하였다. 결함이 발생하는 것은 1) 노후화에 따른 결함, 2) 보수업무에 의한 결함 3) 새부품의 결함 4) 운전 미숙에 의한 결함에 의해서 발생한다.

이러한 결함의 발견과 제거에 영향을 미치는 것은 종사자들의 생산성과 업무의 질이다. 생산성은 업무의 처리 속도와 관련이 되며, 업무의 질은 업무처리의 정확성과 관련된다.

이러한 업무의 생산성과 업무의 질에 영향을 미치는 요인은 직원의 계층에 따라서 서로 다른 요인이 영향을 미치지만, 일반적으로 업무량, 리더십, 감독, 태도, 사기, 구성원들간의 업무 숙련도 등에 의해서 영향을 받는다.

결함은 각 부서에 업무를 발생시킨다. 업무는 단순업무흐름, 재작업 업무 흐름, 주기적 업무 흐름으로 구별하여 모델링을 하였다. 업무는 보수업무, 운전부문, 기술부문, 조정부문이 각기 기능에 따라 상이하다.

작업자들의 업무 수행에 의해서 원전의 안전성이 결정되는데, 안전성은 정상시의 안전성, 결함 빈도의 안전성, 운전원의 위기 대처 능력과 규제 업무 영향에 의해서 계산하였다.

모델을 구성하는 변수들의 상호 영향관계에 의해서 안전성은 변화한다.

안전성의 계산은 정적인 CDF 결과를 동적인 자료로 계산함으로써 정량화하였다. 모델의 한 변수인 정규화된 업무의 질과 정규화된 결함의 수가 각각 CDF를 구성하는 MCS(minimum cutsets)의 집합을 구성하는 기본사건의 하드웨어 실패확률과 인적 실수에 대한 확률에 곱해지도록 모델을 구성하였다.

#### IV. 연구개발결과

모델을 개발한 이후 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션은 PSR과 관련된 원자력법 시행규칙에서 제시한 항목을 기초로 만들어졌는데, 시뮬레이션은 인력 계획, 규제활동, 업무에 대한 리더십, 불시적 업무의 발생이 그 내용이다.

인력 계획을 통해서 인력의 증가가 안전성을 향상시키지는 못하지만 인력의 감축은 일정 시간이 지난 후부터 안전성에 영향을 미침을 살펴보았다. 규제활동 역시 최적 수준이 존재한다. 업무에 대한 리더십도 리더십 강화가 곧 안전성을 향상시키지는 못하지만, 그 감소는 안전성에 영향을 미칠 수 있다. 불시적 업무가 장기간 지속하여 발생한다면 안전성에 영향을 미칠 수 있다.

## V. 연구개발 결과의 활용 계획

모델의 결과는 크게 3가지 측면에서 활용이 가능하다. 첫째, 주요 변수간의 상관관계에 활용될 수 있다. 기존의 선형적 사고 방식으로는 원인과 결과에 대한 선형적 인과관계를 고려하였지만, 시스템 다이내믹스 모델을 통해서 비선형적 인과관계와 피드백에 의한 원인 추적이 가능하다. 둘째, 직원 교육에 활용이 가능하다. 시뮬레이터를 통해서 경영적 측면에 대한 요인을 시뮬레이션함으로써 종사자들로 하여금 문제의 추적 및 의사결정에 대한 결과를 학습할 수 있도록 한다. 셋째, 조직 및 인적 인자와 관련된 원전 주기적 안전성 평가에서 요구하는 항목을 충족시킬 수 있는 방안에 대한 도출이 가능하다.

# SUMMARY

## I. Project Title

The Development of Assessment Technology of Effect of Human and Organizational Factors on Nuclear Power Plant Safety

## II. Objectives

While the intensive investments into hardware or equipment in NPPs(nuclear power plants) have been made to improve power plant performance and safety, there are little studies on management factors such as communication, coordination among department and human resource etc. which also influence plant safety.

This study's objectives are to analyze how organizational and human factors have influence on NPP safety, to model organization of NPP using system dynamics and finally to find out the way to improve safety on the side of organizational and human factors.

Followings are the necessities of this projects

First, the necessities to reduce human error are increased, because many cases of incident or accident in NPP are connected with human error. Currently, As it is recognized that Human performance is related with organization factors, the importance of organizations factors are more emphasized.

Second, because all NPP's equipments are repaired, maintained and, monitored by organized human activity, the human activities and behaviors which are happened in organization in NPP are needed to be analyzed and studied to improve human reliability. But, there are few researches of

organizational effects on NPP's safety, so researches in this fields are needed.

Third, the researches to meet PSR(Periodic safety review)'s requirements of organization & administration system and human resource are needed.

We selected system dynamics method which can quantify the organizational factors and model synthetically the relations or networks of them to analyze NPP's organization. This project has purposes to develop assessment technique about organizational and human factors effect on NPP's safety.

### III. Scope of Project

Generally, the methods in the studies of organizational and human factor affecting on NPP's safety can be classified with managerial approach, quantitative approach and qualitative approach.

Although each approach has inherent logics and limits to analyze phenomena of organizational and human factor in NPPs, the specific researches based on each approach have focused on individual behaviors excluding organizational factors and simply listed up factors without considering interaction or feedback among factors and delay time.

Researches in PSA such as THERP, SLIM, HCR can contribute to model operator's behavior error, however it doesn't include and measure simultaneous human activities, factors' interaction and co-relation.

Previous studies in PSA have focused on tangible human errors and presented few explanation about processes of human intends and causes of human behavior.

NEA, MIT and INPO have studied organizational factors' effect on NPPs' Safety. Having found many organizational factors related to NPP's

safety such as workload, leadership, goal and mission, organization learning, safety culture, coordination, these researches don't depict interaction among factors.

In this project we conducted, we developed organizational and human factors assessment technology using System Dynamics which can depict interactions including non-linear relationships among variables.

Before developing system dynamics model, we elaborated framework based on organic organization model which presents basic direction and clue for the modeling of feedback structures within factors.

Model development process is followings.

First, in order to identify organizational factors or variables related NPPs safety, this project conducted interviews with employees and survey.

Second, on the basis of interview we develop Causal Loop Diagram that can present cause & effect of variables.

Third, converting Causal Loop Diagram and adding auxiliary variables, we made Stock and Flow Diagram which can quantify the relationship of variables.

The most important factor which effects on NPP's safety is equipment defects. There are various employees' activity such as monitoring and maintenance etc. in order to identify defects and eliminate these. Equipment Defects are generated from aging, part defect rate, maintenance activity and unskilled operation in the model.

The factors effecting on identifying and eliminating defects are employees' productivity and work quality. Productivity is related to the speed of handling works, and work quality to the accuracy of performed works. Productivity and work quality are affected by workload, backlog, leadership, supervision, attitude, morale, and experience.

Defects generate tasks to each department - maintenance, operation, coordination, and engineering department. Tasks are generally classified with

simple task flow, rework task flow, and periodic task flow.

Employees' task to eliminate defects determines NPP's safety and NPP's safety is calculated and measured by safety in ordinary times, safety in frequency, effect of regulatory activity and emergency operation capability. NPP's safety is dynamically changed by interactions of variables composed of system dynamics model.

On the other hand, we tried to quantify the safety by borrowing the concepts of CDF(core damage frequency) from PSA. Normalized number of defects and normalized work quality, which are one of the variable in this model, are multiplied by basic events composed of MCS(minimum cutsets). Application to PSA can convert the static results of PSA to dynamic results along with plants operation status.

#### IV. Results

We run a model for simulations according to the developed scenarios.

Scenarios are composed of human resource planning, leadership oriented task, regulatory activities, and unexpected task initiation.

Results from human resource planning scenario show that employees increase can't give a big improvement of NPP's safety, but on the contrary employees reduction effects on it after a certain days.

There is optimal Regulatory activity in order to sustain NPP's safety through regulatory scenario. All strong leadership for task doesn't make NPP's safety sustained or improved. Leadership's effects are different as NPP's situation. Long unexpected task breaking employees' time allocation balance, makes NPP's safety becoming worse



## V. Proposal for application

System dynamics model for assessment of organizational and human factors can use three aspects.

First, It can use analysis of variable co-relation. Linear thinking about factor's relation can't consider real relationship in the complex world. But system dynamics model enables to think of and analyze non-linear relationship and feedback among the variables.

Second, it can use training program. Using simulator, employees may test the decision making in their mind without any miss or loss. Simulation will teach them decision making's result and cause & effect.

Third, it can use developing alternatives to meet the PSR requirements on NPP, organization, administration and human factors.

# 여 백

# Contents

|  |    |
|--|----|
| Chapter 1. Introduction .....                                    | 1  |
| Section 1 Aims and Background .....                              | 1  |
| 1. Aims and Background .....                                     | 1  |
| 2. Necessities of the studies .....                              | 3  |
| 3. The present position of the this studies .....                | 8  |
| Section 2 Scope of Studies .....                                 | 9  |
| 1. Overview and Objectives .....                                 | 9  |
| 2. Contents of Studies .....                                     | 10 |
| Chapter 2 Review of the State of the art .....                   | 15 |
| Section 1. Methodology of organizational and human factors ..... | 15 |
| 1. Overview of previous studies .....                            | 15 |
| 2. Studies in the fields of PSA .....                            | 16 |
| 3. Qualitative analysis of organizational factors .....          | 23 |
| Section 2 System Dynamics .....                                  | 33 |
| 1. Overviews of the System Dynamics .....                        | 33 |
| 2. The language of the System Dynamics .....                     | 37 |
| 3. Modeling Process .....  | 38 |
| 4. The present position of the Studies with SD .....             | 44 |
| Chapter 3 Contents and Results .....                             | 47 |
| Section 1 Overview of the PSR .....                              | 47 |
| 1. Overview of the PSR .....                                     | 47 |
| 2. PSR in Korea .....  | 50 |

|  |     |
|--|-----|
| 3. PSR Application to the model .....                    | 52  |
| Section 2 Review of Organization model .....             | 53  |
| 1. Organization Model .....                              | 53  |
| 2. Organizational & human factors and Safety .....       | 59  |
| Section 3 Overview of the model .....                    | 71  |
| 1. Framework design .....                                | 71  |
| 2. Model boundary .....                                  | 72  |
| 3. Model Structure .....                                 | 74  |
| 4. Model overview .....                                  | 76  |
| Section 4 Data collection .....                          | 81  |
| 1. Interview .....                                       | 81  |
| 2. Surveys .....   | 86  |
| Section 5 Causal Loop Diagram .....                      | 105 |
| 1. Investment in equipment and human resource .....      | 105 |
| 2. Regulatory Concerns .....                             | 110 |
| 3. Learning from internal information .....              | 114 |
| 4. Learning from external information .....              | 117 |
| 5. Problem solution .....                                | 119 |
| Section 6 Stock and Flow Diagram .....                   | 124 |
| 1. Modeling for defects generation and elimination ..... | 124 |
| 2. Modeling for task generation and completion .....     | 133 |
| 3. Task types .....                                      | 136 |
| 4. Task Generation .....                                 | 150 |
| 5. Productivity and work quality .....                   | 152 |
| 6. Task priority .....                                   | 157 |
| 7. Morale and training .....                             | 161 |
| 8. Modeling for safety .....                             | 164 |
| 9. Input data setting .....                              | 171 |
| Section 7. Model validation .....                        | 172 |

|   |     |
|---|-----|
| 1. Steady State in model .....  | 172 |
| 2. Model validation .....   | 174 |
| Section 8. Model simulation .....   | 176 |
| 1. Scenarios for model operation .....  | 176 |
| 2. Running the scenarios and results .....  | 179 |
| <br>  |     |
| Chapter 4. Accomplishment and contributions .....                                     | 193 |
| <br>  |     |
| Chapter 5. Application filed .....  | 199 |
| <br>  |     |
| Chapter 6. References .....   | 203 |
| <br>  |     |
| Appendix 1 : Questionnaire 1 .....  | 209 |
| Appendix 2 : Questionnaire 2 .....  | 217 |
| Appendix 3 : Causal Loop Diagram .....  | 237 |
| Appendix 4 : Stock and Flow Diagram .....   | 261 |
| Appendix 5 : Look-up functions .....  | 305 |
| Appendix 6 : Development of method to apply PSA results<br>into System Dynamics ..... | 321 |

# 여 백

# 【제 목 차 례】

|  |    |
|--|----|
| 제 1 장 서 론 .....                        | 1  |
| 제 1 절 연구의 목적과 배경 .....                 | 1  |
| 1. 연구의 배경과 목적 .....                    | 1  |
| 2. 연구의 필요성 .....                       | 3  |
| 3. 조직 및 인적인자 연구에 대한 국내외 기술개발 현황 .....  | 8  |
| 제 2 절 연구의 내용 및 범위 .....                | 9  |
| 1. 연구개발의 개요 및 목표 .....                 | 9  |
| 2. 연차별 연구 개발 내용 .....                  | 10 |
| <br>                                   |    |
| 제 2 장 조직 및 인적인자에 관한 국·내외 연구개발 현황 ..... | 15 |
| 제 1 절 조직 및 인적 인자에 관한 연구 방법론 .....      | 15 |
| 1. 조직 및 인적인자의 연구방법론의 개요 .....          | 15 |
| 2. 신뢰성 공학 및 PSA에서의 인적 인자에 대한 연구 .....  | 16 |
| 3. 조직 및 인적 인자에 대한 정성적 연구 .....         | 23 |
| 제 2 절 시스템 다이내믹스(System Dynamics) ..... | 33 |
| 1. 시스템 다이내믹스 기법의 개요 .....              | 33 |
| 2. 시스템 다이내믹스 기법에 활용되는 컴퓨터 언어 .....     | 37 |
| 3. 시스템 다이내믹스 모델화 과정 .....              | 38 |
| 4. 시스템 다이내믹스를 이용한 본 연구의 위치 .....       | 44 |
| <br>                                   |    |
| 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 .....            | 47 |
| 제 1 절 주기적 안전성 평가의 개요 .....             | 47 |
| 1. 주기적 안전성 평가의 개관 .....                | 47 |
| 2. 우리나라의 주기적 안전성 평가 .....              | 50 |

|  |     |
|--|-----|
| 3. 본 연구에서의 평가 항목의 적용 .....             | 52  |
| 제 2 절 조직 모델에 대한 검토 .....               | 53  |
| 1. 조직 모델(Organization Model) .....     | 53  |
| 2. 조직 및 인적 인자와 안전성 .....               | 59  |
| 제 3 절 모델의 개요 .....                     | 71  |
| 1. 연구의 분석틀 .....                       | 71  |
| 2. 조직의 구분 및 시스템경계의 설정 .....            | 72  |
| 3. 모델의 구조 .....                        | 74  |
| 4. 모델의 개관(model overview) .....        | 76  |
| 제 4 절 자료의 수집 .....                     | 81  |
| 1. 인터뷰의 실시 .....                       | 81  |
| 2. 설문지의 실시 .....                       | 86  |
| 제 5 절 Causal Loop Diagram의 작성 .....    | 105 |
| 1. 인력 및 설비에의 투자 .....                  | 105 |
| 2. 규제 기관의 관심도 .....                    | 110 |
| 3. 내부 정보에 의한 지식 습득 .....               | 114 |
| 4. 외부 정보에 의한 지식 습득 .....               | 117 |
| 5. 문제 해결 능력 .....                      | 119 |
| 제 6 절 Stock and Flow Diagram의 작성 ..... | 124 |
| 1. 결함의 발생과 처리의 모델링 .....               | 124 |
| 2. 업무의 발생과 수행 .....                    | 133 |
| 3. 업무의 종류 .....                        | 136 |
| 4. 업무 발생 .....                         | 150 |
| 5. 업무의 생산성 및 업무의 질 .....               | 152 |
| 6. 부문별 업무의 우선순위 .....                  | 157 |
| 7. 사기 및 교육훈련 .....                     | 161 |
| 8. 안전성의 개념과 수식 .....                   | 164 |
| 9. 환경변수의 설정 .....                      | 171 |
| 제 7 절. 모델의 검증 .....                    | 172 |



|   |     |
|---|-----|
| 1. 모델의 균형상태(Steady State) 점검 .....                    | 172 |
| 2. 모델의 검증 .....                                       | 174 |
| 제 8 절 시나리오에 의한 모델 시뮬레이션(Simulation) : (고리 1발전소) ..... | 176 |
| 1. 조직 및 인적 인자 운용 시나리오 개발 .....                        | 176 |
| 2. 시나리오의 실행 .....                                     | 179 |
| <br>  |     |
| 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외 기여도 .....                       | 193 |
| 제 1 절 연구개발목표의 달성도 .....                               | 193 |
| 제 2 절 연구의 한계 .....                                    | 194 |
| 제 3 절 기술발전에의 기여도 .....                                | 196 |
| <br>  |     |
| 제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획 .....                            | 199 |
| 제 1 절 연구 결과의 응용 분야 .....                              | 199 |
| 1. 주요 변수간 상관관계 분석 .....                               | 199 |
| 2. CLD를 이용한 직원 교육 .....                               | 200 |
| 3. 원전 주기적 안전성 평가(PSR)에의 활용 .....                      | 200 |
| <br>  |     |
| 제 6 장 참고문헌 .....                                      | 203 |
| <br>  |     |
| 부록 1 : 1단계 설문지 .....                                  | 209 |
| 부록 2 : 2단계 설문지 .....                                  | 217 |
| 부록 3 : Causal Loop Diagram .....                      | 237 |
| 부록 4 : Stock and Flow Diagram .....                   | 261 |
| 부록 5 : 참조함수 .....                                     | 305 |
| 부록 6 : 위탁연구과제 .....                                   | 321 |

## 【표 차례】

|  |    |
|--|----|
| <표 1.1-1> 국내 원전 원자로 정지 현황 .....            | 2  |
| <표 2.1-1> 인적오류에 관한 연구방법론 .....             | 16 |
| <표 2.2-1> 방법론상의 특징 비교 .....                | 45 |
| <표 3.1-1> IAEA 주기적안전성평가 안전인자 및 평가범위 .....  | 47 |
| <표 3.1-2> 조직 및 행정 조항에 대한 모델 적용 여부 .....    | 52 |
| <표 3.1-3> 인적인자 조항에 대한 모델 적용 여부 .....       | 53 |
| <표 3.2-1> 시스템의 복잡성 및 결합성에 의한 의사결정 구조 ..... | 68 |
| <표 3.4-1> 인터뷰 질문의 개요 .....                 | 82 |
| <표 3.4-2> 조별 근무상태 현황 .....                 | 83 |
| <표 3.4-3> 조별 근무교대 방법 .....                 | 84 |
| <표 3.4-4> Look-Up 함수 조사 내용 요약 .....        | 84 |
| <표 3.4-5> 안전성 인식에 대한 설문 결과 .....           | 88 |
| <표 3.4-6> 조직 요인 일반에 대한 인식 설문 결과 .....      | 89 |
| <표 3.4-7> 인적요인 일반에 대한 인식 설문 결과 .....       | 89 |
| <표 3.4-8> 외부 환경변화에 대한 인식 설문 결과 .....       | 90 |
| <표 3.4-9> 조직의 복잡성에 대한 인식 설문 결과 .....       | 90 |
| <표 3.4-10> 업무의 숙지도에 대한 인식 설문 결과 .....      | 91 |
| <표 3.4-11> 관리자 리더십에 대한 인식 설문 결과 .....      | 91 |
| <표 3.4-12> 행정지원에 대한 인식 설문 결과 .....         | 92 |
| <표 3.4-13> 의사소통에 대한 인식 설문 결과 .....         | 92 |
| <표 3.4-14> 업무처리에 대한 인식 설문 결과 .....         | 93 |
| <표 3.4-15> 의사결정에 대한 인식 설문 결과 .....         | 93 |
| <표 3.4-16> 조직학습에 대한 인식 설문 결과 .....         | 94 |
| <표 3.4-17> 정보기기 활용에 대한 인식 설문 결과 .....      | 94 |
| <표 3.4-18> 포상과 처벌에 대한 인식 설문 결과 .....       | 95 |
| <표 3.4-19> 사고분석에 대한 인식 설문 결과 .....         | 95 |
| <표 3.4-20> 유지보수에 대한 인식 설문 결과 .....         | 96 |

|  |     |
|--|-----|
| <표 3.4-21> 교육훈련에 대한 인식 설문 결과 .....         | 96  |
| <표 3.4-22> 업무조정에 대한 인식 설문 결과 .....         | 97  |
| <표 3.4-23> 업무규정에 대한 인식 설문 결과 .....         | 97  |
| <표 3.4-24> 업무자원에 대한 인식 설문 결과 .....         | 98  |
| <표 3.4-25> 조직 목표와 전략에 대한 인식 설문 결과 .....    | 98  |
| <표 3.4-26> 인사관리에 대한 인식 설문 결과 .....         | 99  |
| <표 3.4-27> 조직 몰입 및 신뢰도에 대한 인식 설문 결과 .....  | 99  |
| <표 3.4-28> 업무태만에 대한 인식 설문 결과 .....         | 99  |
| <표 3.4-29> 안전성 관련 인자들의 상관관계 .....          | 100 |
| <표 3.4-30> 인적 실수에 미치는 영향 요인 .....          | 103 |
| <표 3.4-31> 인적 실수에 미치는 영향 요인의 현재 수준 .....   | 104 |
| <표 3.4-32> 작업량에 영향을 미치는 요인 .....           | 104 |
| <표 3.4-33> 작업량에 영향을 미치는 요인들의 현재 수준 .....   | 105 |
| <표 3.6-1> 업무의 종류 .....                     | 136 |
| <표 3.6-2> 중간관리자의 업무의 질과 생산성에 미치는 요인들 ..... | 156 |
| <표 3.6-3> 최고경영자의 업무의 질과 생산성에 미치는 요인들 ..... | 157 |
| <표 3.6-4> 업무별 우선순위 .....                   | 158 |
| <표 3.6-5> 안전성 관련 인자의 참조 함수 .....           | 167 |
| <표 3.6-6> 의사결정 변수 .....                    | 171 |
| <표 3.8-1> 계획예방정비 기간 입력자료 .....             | 176 |
| <표 3.8-2> 고리 1,2호기 최근 정지 현황 .....          | 177 |
| <표 3.8-3> 정상정비시 예방정비에 대한 시나리오 .....        | 180 |
| <표 3.8-4> 계획예방정비에 대한 시나리오 .....            | 181 |
| <표 3.8-5> 인력채용에 대한 시나리오 .....              | 183 |
| <표 3.8-6> 업무절차에 대한 시나리오 .....              | 185 |
| <표 3.8-7> 교육훈련에 대한 시나리오 .....              | 186 |
| <표 3.8-8> 관리자의 리더십에 대한 시나리오 .....          | 188 |
| <표 3.8-9> 관리자의 리더십에 대한 시나리오 .....          | 189 |
| <표 3.8-10> 민감도 분석을 위한 난수 생성 변수 목록 .....    | 191 |

## 【그림차례】

|  |    |
|--|----|
| [그림 1.1-1] 우리나라 발전위널 구성비율 .....                  | 1  |
| [그림 1.1-2] 원전 정지의 원인별 비율 .....                   | 3  |
| [그림 2.1-1] NEA의 성과 모델 .....                      | 24 |
| [그림 2.1-2] INPO의 인적수행능력 향상 지도 .....              | 31 |
| [그림 2.2-1] 조직의 상호 영향관계 개요 .....                  | 37 |
| [그림 2.2-2] 문제의 원인과 결과사이의 지연 .....                | 39 |
| [그림 2.2-3] 시스템 다이내믹스 모델의 과정 .....                | 40 |
| [그림 2.2-4] Casual Loop Diagram에서의 인과 관계 표시 ..... | 41 |
| [그림 2.2-5] 순환고리(Loop) 의 종류 .....                 | 41 |
| [그림 2.2-6] 시스템 다이내믹스의 저장변수와 유량변수의 표시 .....       | 43 |
| [그림 3.2-1] IAEA의 원전의 운전안전 성능지표(1) .....          | 65 |
| [그림 3.2-2] IAEA의 원전의 운전안전 성능지표(2) .....          | 65 |
| [그림 3.2-3] IAEA의 원전의 운전안전 성능지표(3) .....          | 66 |
| [그림 3.2-4] IAEA의 원전의 운전안전 성능지표(4) .....          | 66 |
| [그림 3.3-1] 연구의 분석틀 개요 .....                      | 72 |
| [그림 3.3-2] 모델에서의 시스템 경계 .....                    | 73 |
| [그림 3.3-3] 모델의 시뮬레이터 구성 .....                    | 75 |
| [그림 3.3-4] 모델에서의 데이터 파일의 생성과 읽기 .....            | 76 |
| [그림 3.3-5] 모델에서의 계층간 업무의 흐름 .....                | 77 |
| [그림 3.3-6] 수직적 구조의 업무 .....                      | 78 |
| [그림 3.3-7] 구성원 속성들 간의 관계 .....                   | 79 |
| [그림 3.3-8] 모델의 구조 .....                          | 80 |
| [그림 3.3-9] 벤심에서의 모델 작성 .....                     | 81 |
| [그림 3.4-1] 참조함수의 작성과 형태 .....                    | 85 |
| [그림 3.4-2] 중간관리자의 업무량 지수와 생산성과의 관계 .....         | 86 |
| [그림 3.4-3] 안전성에 영향을 미치는 인적 요인(빈도분석) .....        | 87 |

|   |     |
|---|-----|
| [그림 3.4-4] 안전성에 영향을 미치는 조직요인(빈도분석)                    | 88  |
| [그림 3.4-5] 안전성 관련 인자들의 Fish-Bone 도표(1)                | 101 |
| [그림 3.4-6] 안전성 관련 인자들의 Fish-Bone 도표(2)                | 102 |
| [그림 3.5-1] 자원의 설비에의 투자                                | 106 |
| [그림 3.5-2] 발생 가능한 문제의 수                               | 106 |
| [그림 3.5-3] 자원의 인력에의 투자와 분석업무의 질                       | 107 |
| [그림 3.5-4] 자원의 인력에의 투자와 운전업무의 질                       | 108 |
| [그림 3.5-5] 이용 가능 자원과 업무 매력도                           | 109 |
| [그림 3.5-6] 이용 가능한 자원의 투자                              | 109 |
| [그림 3.5-7] 규제기관의 관심과 절차서 개선                           | 110 |
| [그림 3.5-8] 규제 기관의 관심과 업무량                             | 112 |
| [그림 3.5-9] 업무량에 영향을 미치는 변수                            | 112 |
| [그림 3.5-10] 업무량에 영향을 받는 변수들                           | 113 |
| [그림 3.5-11] 규제 기관의 관심                                 | 113 |
| [그림 3.5-12] 규제기관의 관심 상관 변수                            | 114 |
| [그림 3.5-13] 분석에 의한 지식 습득                              | 115 |
| [그림 3.5-14] 분석 업무 요구량과 업무 부담                          | 115 |
| [그림 3.5-15] 운전 업무의 질에 영향을 미치는 변수들                     | 116 |
| [그림 3.5-16] 분석 업무의 질                                  | 116 |
| [그림 3.5-17] 조직 내부 정보에 의한 학습                           | 117 |
| [그림 3.5-18] 외부 정보에 의한 지식의 습득                          | 118 |
| [그림 3.5-19] 외부 정보에 의한 지식의 습득2                         | 119 |
| [그림 3.5-20] 문제 해결 업무 요구량                              | 120 |
| [그림 3.5-21] 문제 해결 능력과 업무량                             | 120 |
| [그림 3.5-22] 문제의 규명                                    | 121 |
| [그림 3.5-23] 문제 규명의 경로                                 | 121 |
| [그림 3.5-24] 문제 해결 능력                                  | 122 |
| [그림 3.5-25] 문제 해결 능력에 영향을 주는 변수들                      | 123 |
| [그림 3.5-26] Causal Loop Diagram (high level overview) | 123 |

|   |     |
|---|-----|
| [그림 3.6-1] 결함과 관련된 Stock and Flow Diagram ..... | 125 |
| [그림 3.6-2] 결함의 발생 .....                         | 127 |
| [그림 3.6-3] 결함의 발생 노후화 .....                     | 128 |
| [그림 3.6-4] 부품의 노후화 .....                        | 128 |
| [그림 3.6-5] 결함의 발생(부품 교체) .....                  | 129 |
| [그림 3.6-6] 결함의 발생에 영향을 미치는 변수들 .....            | 130 |
| [그림 3.6-7] 결함발견(예방보수) .....                     | 130 |
| [그림 3.6-8] 결함발견(불시) .....                       | 131 |
| [그림 3.6-9] 결함의 처리에 영향을 미치는 변수들 .....            | 132 |
| [그림 3.6-10] 단순 흐름 업무의 시스템 다이내믹스 묘사 방법 .....     | 134 |
| [그림 3.6-11] 재작업 업무 흐름에 대한 시스템 다이내믹스 묘사 방법 ..... | 135 |
| [그림 3.6-12] 주기적 흐름 업무의 시스템 다이내믹스 묘사 방법 .....    | 135 |
| [그림 3.6-13] 부서간 업무의 흐름 및 발생 .....               | 137 |
| [그림 3.6-14] 보수부문 업무(보수행정) .....                 | 138 |
| [그림 3.6-15] 보수부문 업무(예방정비업무수행) .....             | 139 |
| [그림 3.6-16] 보수부문 업무(임박한 업무) .....               | 140 |
| [그림 3.6-17] 기술부문 업무(규제관련업무) .....               | 141 |
| [그림 3.6-18] 조정부문 업무(계획업무) .....                 | 143 |
| [그림 3.6-19] 운전부문 업무(정상운전업무) .....               | 143 |
| [그림 3.6-20] 운전부문 업무(비정상운전업무) .....              | 144 |
| [그림 3.6-21] 운전부문 업무(절차서개선업무) .....              | 145 |
| [그림 3.6-22] 운전부문 업무(보수관련업무) .....               | 145 |
| [그림 3.6-23] 운전부문 업무(예방정비운전업무) .....             | 146 |
| [그림 3.6-24] 중간관리자 업무(일반행정) .....                | 146 |
| [그림 3.6-25] 중간관리자 업무(비정기불시업무) .....             | 147 |
| [그림 3.6-26] 중간관리자 업무(부서감독업무) .....              | 147 |
| [그림 3.6-27] 중간관리자 업무(계획업무) .....                | 148 |
| [그림 3.6-28] 최고경영자 업무(일반행정) .....                | 149 |
| [그림 3.6-29] 최고경영자 업무(감독업무) .....                | 149 |

|  |     |
|--|-----|
| [그림 3.6-30] 최고경영자 업무(비정기불시업무) .....                | 149 |
| [그림 3.6-31] 최고경영자 업무(계획업무) .....                   | 150 |
| [그림 3.6-32] 예방정비의 발생 .....                         | 151 |
| [그림 3.6-33] 예방정비 .....                             | 151 |
| [그림 3.6-34] 보수부문 생산성 .....                         | 153 |
| [그림 3.6-35] 생산성 인식 .....                           | 154 |
| [그림 3.6-36] 부서별 생산성에 영향을 미치는 요인 .....              | 155 |
| [그림 3.6-37] 보수부문 업무의 질 .....                       | 156 |
| [그림 3.6-38] 보수부문 인력배당 .....                        | 159 |
| [그림 3.6-39] 직원 정원 .....                            | 160 |
| [그림 3.6-40] 직원의 사기1 .....                          | 161 |
| [그림 3.6-41] 직원의 사기에 영향을 미치는 요인 .....               | 161 |
| [그림 3.6-42] 중간관리자의 사기2 .....                       | 162 |
| [그림 3.6-43] 업무스킬 .....                             | 162 |
| [그림 3.6-44] 교육기간 인원 .....                          | 163 |
| [그림 3.6-45] 운전원 작업조 .....                          | 163 |
| [그림 3.6-46] OH 추가 인력 .....                         | 164 |
| [그림 3.6-47] 안전성 관련 영향 인자 .....                     | 166 |
| [그림 3.6-48] CDF의 계산 .....                          | 170 |
| [그림 3.6-49] 모델에 사용된 결함 및 업무의 질의 CDF 영향관계 함수 .....  | 170 |
| [그림 3.7-1] 보수부서의 업무량의 균형상태 점검 .....                | 172 |
| [그림 3.7-2] 결함수의 균형상태 : 5년 주기(왼쪽)와 1년 주기(오른쪽) ..... | 173 |
| [그림 3.7-3] 상대적 CDF값의 균형상태 변화 .....                 | 173 |
| [그림 3.7-4] 상향식 접근법의 모델 검증 절차 .....                 | 174 |
| [그림 3.7-5] 하향식 방식의 모델 검증 절차 .....                  | 175 |
| [그림 3.8-1] 결함의 보수에 대한 모의 결과 .....                  | 176 |
| [그림 3.8-2] 고리 발전소 예방정비기간 입력후의 시뮬레이션 결과 .....       | 178 |
| [그림 3.8-3] 호기간의 상호 관계 .....                        | 178 |
| [그림 3.8-4] 발전소 정지와 상대적 CDF와의 관계 .....              | 179 |

|   |     |
|---|-----|
| [그림 3.8-5] 경상정비시 예방정비 상태의 CDF 영향 .....    | 180 |
| [그림 3.8-6] 계획예방정비 업무량의 CDF 영향 .....       | 181 |
| [그림 3.8-7] 인력운용의 안전성에의 영향 .....           | 182 |
| [그림 3.8-8] 인력의 안전성에 대한 영향 .....           | 183 |
| [그림 3.8-9] 부문별 지원의 숙련도 .....              | 184 |
| [그림 3.8-10] 업무절차 간소화 실적에 의한 안전성 영향 .....  | 185 |
| [그림 3.8-11] 교육훈련의 안전성에의 영향 .....          | 187 |
| [그림 3.8-12] 관리자의 리더십의 영향 .....            | 188 |
| [그림 3.8-13] 리더십의 영향에 따른 부서별 업무량의 변화 ..... | 189 |
| [그림 3.8-14] 관리자의 안전성 영향 .....             | 190 |
| [그림 3.8-15] 안전성에 대한 민감도 분석 결과 .....       | 192 |

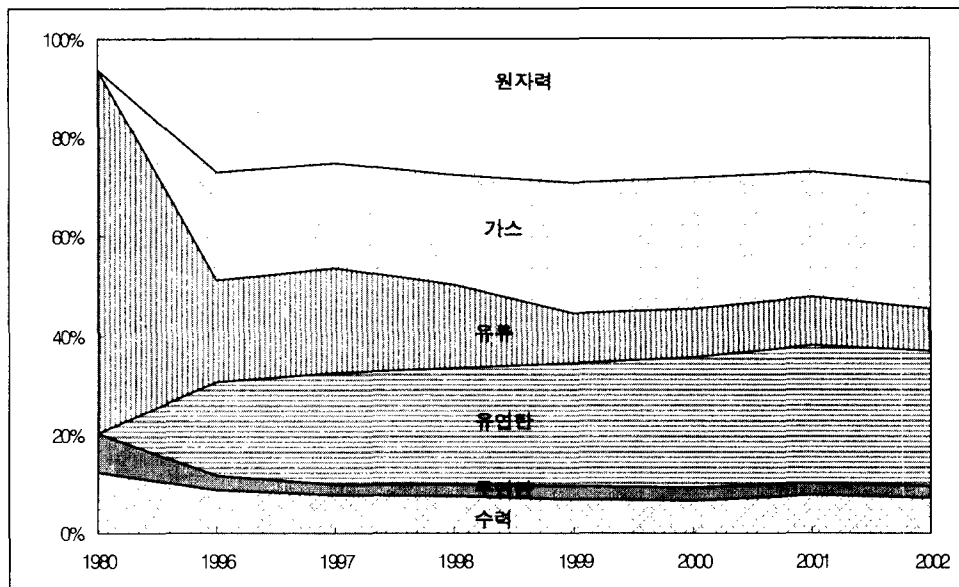


# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 목적과 배경

### 1. 연구의 배경과 목적

산업 사회의 동력의 근원으로서 원자력 산업의 발전은 매우 비약적인 발전을 거듭하여 왔는데, 전력의 원활한 공급은 원자력 발전소에 있어 효율화와 능률화를 통한 생산성 제고를 요구하고 있다. 한편, 원자력 발전의 원천은 방사성 물질로부터 얻어지기에 안전성에 대한 관심도 원자력 산업이 발전하는 만큼 증가하고 있다.



[그림 1.1-1] 우리나라 발전원별 구성비율(2003년 현재)

출처 : <http://www.kpx.or.kr> 전력통계 > 발전설비용량

[그림 1.1-1]에서 볼 수 있듯이 원자력이 우리나라의 발전원에서 차지하는 비율은 1990년대 중반이후부터 약 30%를 유지하고 있으며, 그만큼 원자력의 중요성이 증가하고 있음을 보여준다. 원자력 발전의 중요성이 증가하는 만큼 안전성에 대한 일반 대중들의 관심도 증가하고 따라

서 경제성 확보와 더불어 안전성 유지 및 향상도 중요한 관심사로 대두되고 있는 것이다.

원자력 발전소의 안전성 관련 지표의 하나로써 간주되는 원전 원자로 정지현황을 추세를 살펴보면 <표 1.1-1>에서 나타난 것과 같다.

<표 1.1-1> 국내 원전 원자로 정지현황

| 연<br>도 | 고 리 |   |   |   | 영 광 |   |   |   | 울 진 |   |   |   | 월 성 |   |   |   | 평<br>균<br>율 | 총<br>정<br>지<br>수 | 호<br>기<br>수 |
|--------|-----|---|---|---|-----|---|---|---|-----|---|---|---|-----|---|---|---|-------------|------------------|-------------|
|        | 1   | 2 | 3 | 4 | 1   | 2 | 3 | 4 | 1   | 2 | 3 |   | 1   | 2 | 3 | 4 |             |                  |             |
| 1997   | 2   | 2 | 1 | 0 | 1   | 2 | 1 | 5 | 4   | 5 | - | - | 0   | 4 | - | - | 2.3         | 27               | 12          |
| 1998   | 0   | 2 | 2 | 0 | 0   | 0 | 0 | 0 | 1   | 0 | 0 | - | 2   | 2 | 2 | - | 0.8         | 11               | 14          |
| 1999   | 1   | 2 | 2 | 0 | 1   | 5 | 1 | 1 | 1   | 0 | 1 | 0 | 1   | 1 | 0 | 0 | 1.1         | 17               | 16          |
| 2000   | 1   | 0 | 1 | 1 | 0   | 0 | 0 | 2 | 1   | 1 | 1 | 1 | 0   | 0 | 0 | 0 | 0.6         | 9                | 16          |
| 2001   | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 2 | 0 | 0 | 6   | 5 | 0 | 0 | 0   | 2 | 2 | 0 | 1.1         | 17               | 16          |

\* 본 자료는 과학기술부고시를 기준한 원자로정지 통계임.

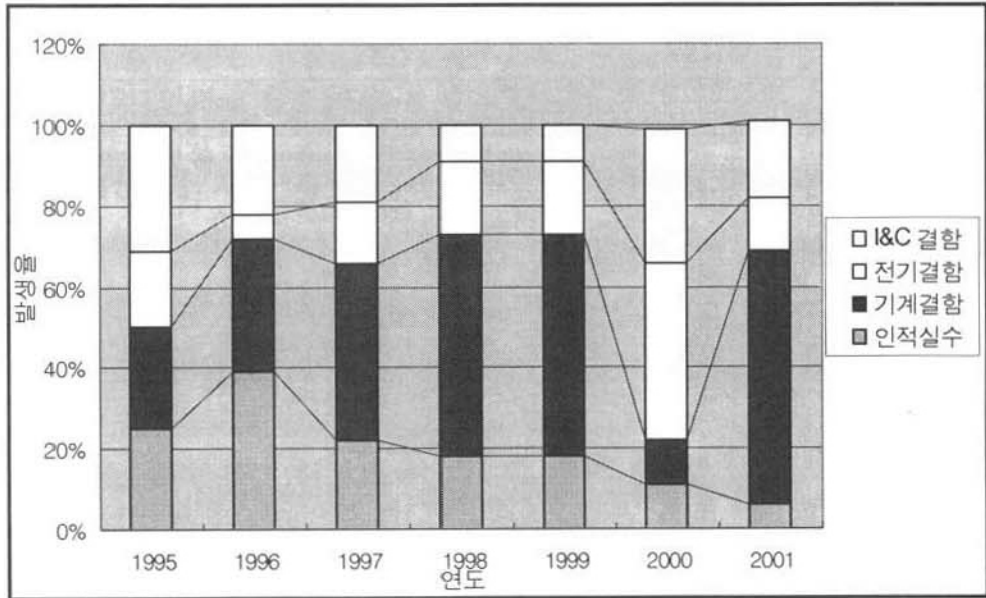
\* 평균율은 총 정지를 가동 원전 수로 나눈 값으로 단위는 정지회수/원자로·년임

출처 : 과학기술부 2002, 2002년도 원자력안전백서

국내 원전 원자로 정지현황은 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 최근 5년간의 원자로정지 통계 평균치인 1.3회/원자로·년의 수준이하를 유지하고 있다. 정지 현황을 원인별로 다시 분류하면 [그림 1.1-2]와 같다. 해마다 인적 실수에 의한 원인으로 정지된 비율은 줄어들고 있는데, 이는 안전문화의 정착 및 인력의 질적 향상에 기인하는 것으로 평가되고 있다.

이렇게 원자력 산업의 경제성의 문제와 안전성에 대한 문제를 해결하기 위하여, 기술적으로 많은 혁신이 일어나고 원자력 발전소의 보다 높은 경제성과 안전성에 대한 가능성을 전개시켜 준 것은 부인할 수 없는 사실이나, 안전성과 관련하여 조직적·인적 측면에서 원자력 발전소의 경제성과 안전성에 대한 연구는 미흡했던 것도 사실이다.

본 연구의 목적은 이러한 배경아래 조직 및 인적인자가 원자력 발전소의 안전성에 어떤 영향을 미치는가를 분석하고 이를 향상시킬 수 있는 방안을 도출하는데 있다.



[그림 1.1-2] 원전 정지의 원인별 비율  
출처 : 과학기술부 2002, 2002년도 원자력안전백서

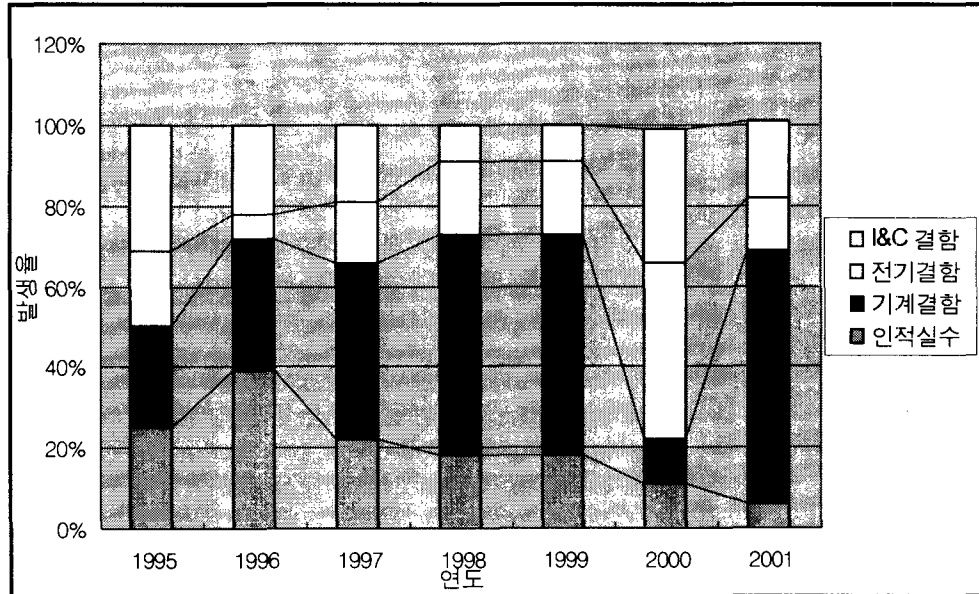
## 2. 연구의 필요성

본 과제 of 필요성을 서술하면 다음과 같다.

첫째, 조직요인에 대한 고려 필요성의 증가이다. 지금까지 가장 널리 사용되는 원전 안전성의 평가는 설비고장이나 인간오류평가에 제한되어 왔다. 그러나 최근에 와서 동일한 유형의 원전에 서로 다른 안전성 평가 결과를 통해서 조직(Organization)의 질(Quality)이 설비의 신뢰도와 인간오류정도에 영향을 주고 있으며, 원전의 안전성에 전반적인 영향을 끼친다는 것을 고려하지 않고 있다는 사실이 지적되기 시작하였다.

TMI(Three Mile Island) 사고는 경미한 설비고장은 있었으나 중요한 사고원인은 운전원의 오류에 기인한 것으로 나타났다. 즉 운전원에

본 연구의 목적은 이러한 배경아래 조직 및 인적인자가 원자력 발전소의 안전성에 어떤 영향을 미치는가를 분석하고 이를 향상시킬 수 있는 방안을 도출하는데 있다.



[그림 1.1-2] 원전 정지의 원인별 비율

출처 : 과학기술부 2002, 2002년도 원자력안전백서

## 2. 연구의 필요성

본 과제 of 필요성을 서술하면 다음과 같다.

첫째, 조직요인에 대한 고려 필요성의 증가이다. 지금까지 가장 널리 사용되는 원전 안전성의 평가는 설비고장이나 인간오류평가에 제한되어 왔다. 그러나 최근에 와서 동일한 유형의 원전에 서로 다른 안전성 평가 결과를 통해서 조직(Organization)의 질(Quality)이 설비의 신뢰도와 인간오류정도에 영향을 주고 있으며, 원전의 안전성에 전반적인 영향을 끼친다는 것을 고려하지 않고 있다는 사실이 지적되기 시작하였다.

TMI(Three Mile Island) 사고는 경미한 설비고장은 있었으나 중요한 사고원인은 운전원의 오류에 기인한 것으로 나타났다. 즉 운전원에

대한 훈련량의 부족, 절차서의 불명확성, 주제어실의 설계상의 결함 등이 함께 어우러진 안전문화와 관련한 조직오류(Organizational Failure)에 의한 대표적인 사건이다.

Chernobyl사고도 전반적인 관리조절(Management Control)의 부족과 운전원의 부적절한 실험 절차서의 검토, 안전 절차서의 위배 등이 함께 연루되어 발생한 것이다.

이렇듯 설비의 안전성은 구조적 요인을 고려함으로써 개선되어야 하며 따라서, 조직적 인자가 원전안전성에 중요한 만큼 기존의 원전 안전성 평가방법은 조직적 인자 및 관리 인자를 정량적으로 포함시키기 위해서 모델링, 정보 수집 및 분석, 그리고 정량화 도구를 개발할 필요가 있다.

둘째, 조직 및 인적 인자의 안전성에 대한 정량적 표현의 필요하다. 원전의 안전성을 평가하는 대표적인 방법론인 확률론적 안전성 평가(PSA: Probabilistic Safety Assessment)는 매우 과학적이고 체계적인 방법론으로, 이 방법론을 사용하면 안전성 수준을 정량화하여 평가할 수 있다. 그러나 정적(Static)인 평가라는 점, 상태를 성공 및 실패 등 이분법으로 묘사한다는 점과 함께 인적 인자를 고려하기 어렵다는 점 등이 지적이 되어 왔고, 최근에는 조직인자를 고려하지 못하고 있다는 점이 지적되고 있다.

PSA 방법론에서는 인적 요인을 분석하기 위하여 THERP, SLIM, HCR 등의 방법이 사용되고 있다. 그러나 이러한 방법론은 몇 가지 제약사항을 가지고 있는데, 관측 가능한 인간오류의 설명에 국한되어 있어 인간의 의도형성을 분석하는 데에는 한계를 가진다. 뿐만 아니라, PSA 분야에서는 조직수준에서의 안전성 평가 연구는 거의 고려되고 있지 않고 있으며, 최근에는 약간 언급되고는 있으나, 종합적 측면에서 정립되어 있는 것은 전무한 실정이다. 즉, 조직적 수준(급여, 직업적 안전성, 종사자의 선발, 승진제도)의 인자가 개인의 성과(동기, 스트레스, 업무 태

도 등)에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 상황이다.

PSA 방법론은 인자들 간의 영향관계가 독립적으로 이루어지고, 인간을 원전 기계 시스템의 일부로써 가정한다. 인자들이 상호 독립적이라는 가정은 이들 간의 상호 영향관계를 파악하기 어렵게 만들고, 인간이 기계 설비의 일부라는 인간관은 인간이 외부 현상을 의식할 수 있고 학습할 수 있는 존재라는 점을 간과해 버렸다.

이러한 PSA의 제약 사항 특히, 조직 및 인적 인자에 대한 제약사항을 극복하고 이를 정량화 시킬 수 있는 방법론이 필요한데, 이에 대한 적절한 방법론으로 피드백(feedback)과 시간지연(time delay)를 고려할 수 있는 시스템 다이내믹스(System Dynamics)를 채택하여 본 과제를 수행하였다.

시스템 다이내믹스를 이용한 정량화 모델은 조직 및 인적인자의 상호 관계의 묘사와 더불어 PSA방법과의 연계를 통해 조직 및 인적 인자가 안전성에 미치는 영향을 정량적으로 표현할 수 있는 가능성을 제시한다.

셋째, 인적 성과 능력의 향상을 위한 조직관리의 기술 개발이 필요하다. 원자력 발전소의 안전성 향상을 위하여 기술적 측면에서 많은 연구개발과 투자가 이루어진 것은 주지의 사실이며, 실제로 이들은 안전성 향상에 많은 기여를 하였다. 원자력 발전소가 기계적 장치에 대하여 의존성이 큰 것은 사실이지만, 설비 및 장치를 유지 보수하고, 이들의 상태를 점검하고, 원전 문제에 대한 조치를 취하는 활동들은 결국 인간에 의해서 이루어진다. 이로 인하여 원전에서의 인간활동과 안전성이 긴밀한 관계를 형성하는 것이며, 자료를 살펴보면 원자력 발전소에서의 인적 실수(Human Error)가 사고로 이어지는 경우가 상당수 존재한다. 인적 성과(Human Performance : 이하 HP)의 향상은 발전소의 안전성 향상에 기여한다는 공감대가 형성되었으며, 원전 안전성 향상을 위한 또 하나의 축으로써 인적 성과(HP) 향상을 위한 노력이 이루어지고 있다.

인적 성과를 향상시키기 위해서는 인간에 대한 이해, 인간의 집합체인 팀 혹은 조직에 대한 이해, 그리고 인간과 조직 간의 상호 관계에 대한 이해가 필수적이다. 그럼에도 불구하고 우리나라에서는 원전에서의 인간 및 조직에 대한 연구와 투자가 활발히 이루어지지 못한 상황이며, 이에 대한 연구와 투자가 필요한 실정이다.

인간의 행위는 단순히 개인적 수준에서 의도되어 발생하는 것이 아니다. 개인은 타인과의 관계 속에서 인간관계를 형성하고, 소속된 조직의 정책 및 근무환경에 의해서 어떤 행위는 제약되기도 하고, 또 어떤 행위는 적극 유도되기도 한다. 즉 개인의 행위는 조직의 다양한 수준(팀, 소속 부서, 원전 호기, 사회적 관심 등)에서 일어나는 현상들에 의해 영향을 받는다.

조직은 사람들만의 집합체라기보다는 인간, 기계적 장치, 물리적 환경, 절차, 규정, 제도, 가치, 문화 등이 혼합되어 있는 개방적 유기체적 시스템(open system)이다. 기계적 폐쇄 시스템과는 달리, 원전 조직은 원전 외부에서 발생한 요인(사회적 관심, 정부 규제, 시장 환경의 변화 등)들이 원전 조직의 제도 절차, 인간 행위 등에 영향을 미치게 된다. 뿐만 아니라 원전 조직 내부에서도 원전을 구성하는 인간, 설비, 절차, 규정 등은 독립적으로 원전의 안전성에 영향을 미치는 것이 아니라, 순환고리(loop) 즉, 상호의존성을 형성하면서 영향을 미치므로 원전 조직에 대한 이해는 선형적 사고보다는 시스템적 사고(systems thinking)를 요구한다.

원전 조직을 보다 깊이 있게 이해하기 위해서는 구성요소들 간의 영향관계에 대한 구조 분석을 통한 원전 조직 시스템에 대한 이해로부터 출발하여야 할 것이다.

넷째, 원전의 경제성과 안전성의 조화를 모색하는 전략 탐색이 필요하다. 전력산업구조개편의 일환으로 발전소의 민영화가 진행되고 있다. 발전소의 민영화는 결국 시장 기구에 의해서 전력의 생산 판매가 이루

어질 것이며, 민간 소유의 발전소는 경제적 이익이 가장 큰 목표로 자리 잡을 것이다. 한편, 특히 원자력 발전소의 경우에는 이익 창출과 더불어 “안전성”을 동시에 확보할 경우에만 그 생존이 보장되며, 원자력 발전소 종사자는 “경제적 이익”과 “안전성”을 동시에 확보해야 하는 상황에 처해 있다. 따라서 원자력 산업의 환경 변화에 의하여 원전에서의 “안전문화”에도 많은 변화가 있을 것으로 예측된다.

원전의 가동 이후에는 “원전의 안전성”은 경제성에 대한 필요조건으로 이에 대한 관심은 지속적으로 이루어져야 하며, 이는 원자력 산업의 경제적 규제완화와는 구별되는 사회적 규제 측면에서 안전성을 바라볼 것을 요구한다. 사회적 규제는 규제 비용을 수반하며 따라서 이익 창출에 관심을 두는 민간 발전소의 입장에서는 규제 비용을 최소화하려 할 것이며, 공공의 입장에서는 안전성 강화를 위한 활동이 증가할 것이다.

따라서 원자력 산업의 환경 변화로 인한 경영 환경 및 안전문화의 변화와 원전의 안전성 확보 방안 및 영향관계를 예측해 볼 필요가 있다. 본 연구 과제의 결과물인 개별 발전소의 경영 시뮬레이터는 규제 요건을 충족시키면서 동시에 경영 인자의 변화가 안전성에 어떻게 영향을 미치는가를 평가할 수 있도록 한다.

조직 및 인적 인자에 대한 연구는 지역적 특수성을 갖는다는 특징을 갖는다. 즉 미국에서 적용되는 인자 영향 구조가 한국에서 그대로 적용될 수 없을 것이며, 한국 내에서도 차이가 존재하며 따라서 조직 및 인적인자에 대한 연구는 개별 발전소의 특징에 맞게 재구성이 되어야 한다.

또한 원자력법 시행규칙의 PSR 시행 조항에 조직, 행정, 인적인자에 대한 평가가 규정되어 있으며 이를 수행하기 위한 연구가 필요하다.



### 3. 조직 및 인적인자 연구에 대한 국내외 기술개발 현황

원전의 조직 및 인적인자에 대한 정량화 모델은 확률론적 안전성 평가에서 THERP, SLIM, HCR 등의 방법을 이용하여 이루어지고 있다. 이러한 정량화 기법은 개인행위의 실패 성공에 대한 모델링에 국한되어 있다. 따라서 조직의 문제에 대한 모델링은 되어 있지 않다고 볼 수 있다.

K-HPES와 같은 시스템이 도입되었는데 이는 문제 발생 이후의 사후 관리적 측면이 강하다고 볼 수 있으며 정량화 방법론으로 보기는 어렵다.

원자력 발전소 조직을 모델링한 방법은 미국의 HGK사에서 OPSIM이라는 모델이 시스템 다이내믹스를 이용하여 개발되었으나, 모델의 규모는 현재 본 과제에서 고려한 범위보다 작을뿐만 아니라, 미국 발전소를 대상으로 한 모델이기에 국내의 특수성 문화 조직 구조 등을 고려할 때에 모델을 사용하는 데에는 한계점이 존재한다.

현재 주기적 안전성 평가(PSR : Periodic Safety Review)에서 제시한 조직 및 행정 분야와 인적 인자 분야에 대한 평가가 현재 국내에서 실시되었거나 실시되고 있는데, 설문조사, 문헌조사 등의 방법을 이용하여 종사자들의 인식 상태, 수준을 점검하는 방법이 주종을 이루고 있는데, 그 결과물은 시간 횡단면적인 수치제시에 그치고 있다.

IAEA를 포함한 각 기구에서는 원전의 원활한 운전을 위한 조직 및 인력 관리에 대한 지침서(guide line) 또는 원전성능지표 등의 정성적 방법을 제시하고 있는 상황이다.

본 연구 과제의 결과물은 첫째, 조직 및 인적 인자의 발전소의 안전성에 영향을 미치는 영향 정도를 파악할 수 있도록 시간에 따른 안전성의 동태적인 변화에 대한 정량화 모델이 가능할 것이다. 둘째, 원전 조직에 대한 모델링에서 개인 행위의 질까지 연결하여 조직의 문제(인력의 문제, 사기, 업무량 등)를 정량적으로 표현한 모델을 개발하였다.

## 제 2 절 연구의 내용 및 범위

### 1. 연구개발의 개요 및 목표

지금까지 원전의 안전성과 관련하여 기술적 측면이 강조되고 사회적 조직적 측면은 간과되어 일반 국민의 호응을 받는데 어려움을 겪어 왔다. 원전의 운영자들은 그 동안 확률론적 안전성 평가 등의 방법으로 원전의 안전성에 대한 객관적 공학적 정보를 일반 국민에게 제공하여 왔으나 이러한 설명들이 일반 국민들을 이해시키기에는 어려운 관계로 일반 국민들의 공감을 얻는 데는 실패하여 왔다.

한 편, 원전의 안전성에 대한 조직적 사회적 측면의 접근은 그 정량화 방법에 어려움을 겪고 있으며, 원전 조직에 대한 구조적 분석이 어렵다는데 그 이유가 있을 것이다.

특히 원전의 안전성과 관련하여 개인적 측면에서의 정량화 문제는 PSA나 인지공학 등의 방법으로 연구가 이루어져 왔다. 따라서 조직적 측면에서 원전의 안전성을 평가한 연구는 거의 없다고 볼 수 있으며, 개인 행위의 인적 실수에 대한 연구와 개인 행위에 영향을 미치는 조직적 요인에 대한 요인을 결합할 필요가 있다.

이러한 맥락에서 본 과제는 원전의 주요 조직 및 인적 인자 선정 및 정량화 방법 개발을 개발하고 이를 바탕으로 현재 국내에서 일반적으로 적용될 수 있는 원전의 조직 및 인적 인자간 상관 관계 파악을 위한 모델을 개발하는 데 있다. 그리고 이를 개별 발전소에 적용하여 최종적으로 PSR에서 요구하는 조직 및 인적 인자 분야의 요구사항을 충족하기 위한 권고안을 도출하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 최종적으로 고리 1발전소를 대상으로 모델을 작성 데이터를 입력하여 시뮬레이션을 실시하였다.

본 연구를 통해 개발되는 시스템 다이내믹스 모델은 기술적 측면에서의 안전성 확보보다는 원전의 인적 및 조직적 요소와 원전운영회사의

일반 대중에 대한 태도, 운영회사의 문화, 지식층의 의견, 타 원전의 관련 사고 등 사회적 현상에 의해 발생하는 원전의 안전성 문제 등을 취급하는 관계로 이 연구결과를 이용할 경우 운전원의 인적 및 조직적 요소와 사회적 요소가 원전의 안전성 및 경제성에 미치는 영향을 정량적으로 묘사할 수 있고, 이를 이용하여 규제기관이나 일반 국민들에게 원전의 안전성에 대한 이해를 증진시키고 조직의 질이 정량적으로 안전성에 어느 정도 기여할 수 있음을 쉽게 설명 수 있어 향후 원전의 안전성을 일반 국민들에게 홍보하는 데에도 설득력을 얻을 수 있을 것이다.

## 2. 연차별 연구 개발 내용

### 가. 1차년도 연구 개발 요약(2000. 9. 16 - 2001. 5. 15)

제 1 차년도인 2000년도 연구에서는 원전의 안전성에 영향을 미치는 조직 및 인적인자에 대한 선정과 인자들 간의 영향관계를 설명하는 인과관계 지도를 작성하였다.

이를 위하여 다음과 같은 연구 업무를 수행하였다.

- 국내 원전 적용을 위한 주요 경영 인자 선정
  - 가. 조직 및 인적 인자 관련 최신기술분석
  - 나. 조직관련 중요인자의 국내 적용성 검토
  - 다. 국내 특유의 경영 인자 도출
  - 라. 국내용 설문방법 개발 및 설문조사
  - 마. Causal Loop Diagram(CLD) 작성

1차년도 연구를 수행하기 위하여 먼저, 조직 및 인적인자에 대한 국내외 연구동향을 파악하여 원전의 안전성에 영향을 미치는 조직 및 인

적인자들을 수집하였다. 또한 문헌조사 등을 통하여 일반적으로 업무 성과에 영향을 줄 수 있는 여러 요인들 간의 관계를 설정한 여러 모형들을 조사하여, 연구의 범위를 설정하였다.

원자력 발전소의 경우도 일반 사회 시스템(social system)과 같은 성격을 지니기 때문에, 사회과학 분야에서 연구되어 일반적으로 받아들여지는, 본 연구와 관련이 있는 연구결과물을 조사하여 조직 및 인적인자를 선정하였다.

기초 조사를 마친 후 고리 1,2 발전소를 대상으로 인터뷰를 실시하여 보다 구체적인 인자들을 도출하고 특히, 국내 원전에서 중요하게 작용하는 요인들이 무엇인가를 추출하였다. 인터뷰를 통해서 인자를 파악하는 동시에 인자들 간의 인과관계를 구성하여 Causal Loop Diagram 작성의 기초를 다졌다.

Causal Loop Diagram은 문헌 연구를 통해서 일반적으로 생각되어지는 조직 연구 결과물을 포함시킴으로써 그 타당성을 확보하는데 노력했다. 또한 자문을 통해서 전문가의 의견을 반영하여 Causal Loop Diagram에 대한 타당성과 신뢰도를 확보하였다.

이러한 과정을 통해서 1차년도에는 국내 원전에 일반적으로 적용될 수 있는 조직 및 인적인자들 간의 Causal Loop Diagram을 완성하였다.

#### 나. 1단계 2차년도 연구개발 요약 (2001.05.16 - 2002.03.31)

2차년도에서는 1차년도에서 완성된 Causal Loop Diagram을 바탕으로 이를 정량화할 수 있는 Stock and Flow Diagram을 작성하여 시뮬레이션을 하는데 그 목적이 있다.

##### o 경영 인자 정량화 방법 개발

- o 경영 인자간 상관 관계 파악을 위한 경영 시뮬레이션 모델 개발
  - 가. Causal Loop Diagram의 수정
  - 나. 모델 검증을 위한 설문
  - 다. Stock and Flow Diagram 작성
  - 라. 시나리오의 작성과 시뮬레이션

2차년도에는 1차년도에 작성된 Causal Loop Diagram에 추가될 내용을 추가하고 이를 바탕으로 Stock and Flow Diagram을 작성하였다. Causal Loop Diagram은 정량화가 어려우나 Stock and Flow Diagram에서는 정량적 표현이 가능하다.

수정이 완료된 모델에 대하여 검증하기 위하여 설문을 실시하였으며, 설문의 결과와 1차년도에서 실시한 인터뷰 결과를 종합해 볼 때, Causal Loop Diagram은 타당성과 신뢰도가 있는 것으로 나타났다.

정량화 작업을 위하여 정량화가 가능하도록 변수를 추가하여 Stock and Flow Diagram을 작성하였다.

작성이 완료된 모델은 입력된 수식의 신뢰도 및 변수 범위의 신뢰도를 높일 수 있도록 초기값의 검정과 변수에 대한 민감도 분석을 실시하여 모델의 신뢰도를 높였다.

완료된 모델은 원자력법 시행규칙 19조에서 제8항과 제9항에서 제시한 조직 및 인적인자에 대한 PSR요구사항을 충족시킬 수 있는 시나리오를 작성 시뮬레이션을 실시하였다.

또한 시스템 다이내믹스 구현 소프트웨어를 모르는 사용자가 사용할 수 있도록 인터페이스 소프트웨어를 개발하였다.

#### 다. 2단계 1차년도 연구개발 요약 (2002.04.01 - 2003.03.31)

2단계 과제에서는 1차년도에 완성된 모델을 현장에서 활용할 수 있

도록 모델을 개선하고 보완하는데 연구의 주요 내용이다.

2단계 1차년도 연구의 주요 내용은 아래와 같다.

고리 1,2호기의 원전 고유 자료 수집을 통하여 1단계에서 개발된 시스템 다이내믹스 모델 개선

- 1단계 완성 Causal Loop Diagram 개선
- 1단계 완성 Stock and Flow Diagram 개선

시스템 다이내믹스 모델에 사용되는 기초자료 구축

- 고리 1,2 호기 고유의 인자들 간의 상관관계 조사  
(기본데이터 수집, 인터뷰, 설문지 등)
- 모델 타당성 검토를 위한 자료 수집

일반적으로 각 발전소마다 조직의 문화가 상이하므로 개발된 모델을 수정하지 않고 사용할 수는 없다.

모델을 고리 1발전소에 적용하기 위해서는 모델을 고리 1발전소의 상황에 맞게 고쳐야 하는데 Causal Loop Diagram과 Stock and Flow Diagram이 변경되었다.

주요 변경내용은 교육 훈련 효과에 대한 모델, 예방정비모델의 추가 및 호기의 분리가 주요 내용이다. 또한 데이터를 얻기 위해서 인터뷰 및 설문을 실시하였다.

안전성의 개념을 보다 객관적으로 정의하기 위해서 확률론적 안전성 평가(PSA : probabilistic safety assessment)에서의 CDF(Core Damage Frequency) 개념을 모델에 반영하였다.

모델 타당성 검토를 위해서 고리 발전소의 직원들과의 인터뷰가 추가적으로 실시되었으며, 설문도 실시되었다.

라. 2 단계 2차년도 연구개발 요약 (2003.04.01 - 2004.02.29)

구축된 기초 자료를 이용하여 모델의 타당성 검토

- 시나리오 개발
- 민감도 분석

개발된 모델을 이용하여 고리 1,2호기 PSR 요구사항에 대한 권고안  
도출

- 권고안 작성

2단계 2차년도의 연구의 주요 내용은 모델의 검증 및 보정이라고 할 수 있다. 모델의 검증은 상향식, 하향식 두 방법을 통해서 이루어졌다. 예방정비모델이 추가됨에 따라 발전소의 가동 상태에 변화가 발생하게 되었으며, 모델의 Steady State를 유지하기 위한 작업이 주로 수행되었다. 즉 발전소의 상태가 1년을 주기로 반복적인 상태가 나타나도록 모델을 수정하고 보완하였다.

모델의 검증은 첫째, 원자력 발전소 종사자들에게 모델의 결과를 보여줌으로써 시스템 거동이 자신들의 경험과의 비교를 통해서 모델 결과의 타당성을 확보하였다. 둘째, 발전소의 데이터와 시뮬레이션 결과를 비교함으로써 모델의 오차범위가 어느 정도 되는가를 비교하였다.

이 모델을 바탕으로 시뮬레이션을 실시하여 발전소의 개선사항에 대한 권고안을 작성하였다.

## 제 2 장 조직 및 인적인자에 관한

### 국·내외 연구개발 현황

#### 제 1 절 조직 및 인적 인자에 관한 연구 방법론

##### 1. 조직 및 인적인자의 연구방법론의 개요

본 연구 수행을 위하여 원전에서의 조직 및 인적인자에 관한 국·내외 자료를 수집하였다. 인적 오류에 관한 한국원자력연구소에서는 『인적행위분석기법개발』에서 인적오류연구의 유형을 (1) 관리적 접근방법 (2) 정량적 접근방법 (3) 정성적 접근방법으로 분류하였다. 한전 전력연구원의 『원자력발전소 인적행위개선시스템 (K-HPES) 개발(II)』에서는 인적 오류 연구 방법론으로 (1) 정량적 연구 분석 방법 (2) 정성적 인적오류 분석 기법 (3) 작업자 인지 모형 (4) 인적오류 분석을 위한 관리적 기법 등의 4가지 유형으로 분류하고 있다(과학기술처, 1996 ; 한전 전력연구원, 1997).

각 방법론은 나름대로의 유효성과 한계를 가지고 있는데, 정량적 정성적인 연구의 대부분은 이론에 치우쳐 실무자들이 사용하기 어려우며, 반면에 관리적인 연구는 현장에서의 적용이 용이하나 자료의 분류 및 수집에 객관성이 결여될 수 있다는 문제를 내포하고 있다.

또한 문제의 대부분이 개인적 수준에 연구의 초점이 맞추어져 있으며, 문제의 원인에 대한 메카니즘에 대한 설명력이 부족하다. 따라서 조직적 수준에서 발생한 일들이 개인 행위에 어떻게 영향을 미치는가에 대한 연구는 아직 활발히 진행되지 않다고 할 수 있다(Pfeffer, 1997 ; OECD, 1999b).

PSA 측면에서의 연구는 사고와 관련된 인간 수행능력에 초점을 두



어 그 이전의 조건에 대한 연구는 미흡한 상황이다.

<표 2.1-1> 인적오류에 관한 연구방법론

| 분류                                | 대표모델  | 특징  |
|-----------------------------------|---|---|
| 정량적 오류<br>분석방법                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- THERP</li> <li>- OATS</li> <li>- HCR</li> <li>- SLIM</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 인적오류에 대한 정량화</li> <li>o 인간 오류 발생 구조 파악에 부적절,</li> <li>o 오류 분석의 부적절</li> <li>o 확률론적 안전성 분석의 일부로 시도</li> </ul> |
| 정성적 오류<br>분석 기법<br>(작업자 인지<br>모형) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- HEA(Human Error Analysis)</li> <li>- GEMS(Generic Error Modeling System)</li> <li>- HOS(Human Operator Simulator) 등</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 인간의 인지구조에 대한 분석,</li> <li>o 오류의 대응방안 분석</li> <li>o 실무 적용의 어려움</li> <li>o 인간 의사결정 구조의 모사</li> </ul>           |
| 관리적 기법                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- HPES(Human Performance Enhancement)</li> <li>- IRS(Incidents Reporting System) 등</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 일정한 보고양식을 통한 분석,</li> <li>o 사건의 부정확한 보고 가능성</li> <li>o 실무에 응용 용이</li> </ul>                                  |

## 2. 신뢰성 공학 및 PSA에서의 인적 인자에 대한 연구

### 가. THERP 모델

가장 통상적으로 사용되는 THERP(Technique for Human Error Rate prediction)로서 일반적으로 “HandBook”으로 불린다. 1983년

Swain에 의해 발표된 이 모델은 운전원을 시스템 부품중의 한 요소로 취급함으로써 인간신뢰도도 부품의 신뢰도와 같이 평가한다. 운전원의 행위들이 handbook,에 있는 기본 HEP가 발견될 수 있을 때까지 세분화된다. 이 기본 HEP의 자료근원은 Licensee Event Report로부터 모아진다. 사건수목과 같은 확률수목이 세분화 작업에 사용되는데 각 분파가지는 2단 선택 즉, 적절한 수행과 잘못된 수행중의 하나를 나타낸다. 할당되는 확률 값은 handbook 내의 표에서 상응하는 HEP값으로부터 얻어지며 인간오류가 일어나는 실제 상황을 반영하는 상세한 분석을 통해 수행특성인자를 고려하여 보상된다. 아래와 같이 수행특성인자의 세 가지 분류법이 THERP에 의해 제시되었다.

- (1) 운전실설계, 잡음 및 섭도, 교체계획 등과 같이 작업환경을 정의하는 외부 수행특성인자.
- (2) 운전원의 기술, 능력, 훈련정도 및 자세를 결정하는 내부수행인자.
- (3) 피로, 실패에 대한 공포, 사건의 갑작성 등 정신적, 육체적 stress로 나뉘어 진다.

운전원이 실수를 저질렀을 때 확률에 영향을 주는 수행특성인자들 (PSFs)을 고려하게 되는데 예를 들면 stress정도가 높을 때는 핸드북의 표에 나타나 있는 기본 HEP에 5배수를 곱하고 stress정도가 낮으면 2배수를 곱한다. 핸드북에는 27개의 표가 원전 운전행위에 따라 분류되어 있고 중간값, 상한값 및 하한값으로 주어지는데 UUB는 로그정규분포의 95%, LUB는 5% 값을 각각 나타낸다. THERP에서는 각 운전원이 동일한 능력을 가진 것으로 고려되므로 각 운전원은 관련 직무를 수행하는데 같은 실패확률을 가진다.

그 때 운전원 간의 의존도는 5가지의 의존도수준에 의해 나타내어진

다. 이 의존도 수준은 무의존도, 저의존도, 중간의존도, 고의존도 및 완전 의존도로 구분되는데 아래와 같이 간단한 수식으로 나타내어진다.

ZD:HEP=원래 HEP(즉, PSFs가 고려된 후의 HEP)

$$LD:HEP = \frac{1 + 19 \times \text{원래}HEP}{20}$$

$$MD:HEP = \frac{1 + 6 \times \text{원래}HEP}{7}$$

$$HD:HEP = \frac{1 \times \text{원래}HEP}{2}$$

CD:HEP=1.0

THERP에서는 대부분의 인간오류가 스위치를 잘못 선택하거나 수치적 정보를 잘못 읽는 등의 관측실수이다. 이러한 오류들은 비수행오류와 수행오류로 분류되는데, 비수행오류는 관련작업을 완전히 빠뜨리거나 혹은 단계를 빠뜨리고 수행하는 경우이고 수행오류는 선택, 순서, 시간과 관련된 오류를 말한다.

#### 나. SLIM 모델

1984년 Embrey에 의해 발표된 성공률지수 방법론(Success Likelihood Index Methodology)은 조직화되고, 전문가의견을 기초로 하는 기법이다.

이 방법론이 취하는 단계는 다음과 같다.

- (1)같은 수행특성인자를 가지면서 확률값이 요구되는 작업군을 선정한다.
- (2)각 수행특성인자에 대한 중요도를 할당한다.
- (3)모든 작업에 있어서 각 수행특성인자에 대한 중요도 비율을 할당

한다.

(4)각 해당 작업에 대해 성공률지수(SLI)를 얻기 위해 상대 중요도를 만들어낸다.

(5)성공률지수를 인간오류확률(HEP)로 환산한다.

SLIM 방법론에서 많이 사용되는 수행특성인자는 설계수준, 운전절차서의 적절성, 스트레스, 시간적 스트레스, 결과의 심각성, 복잡성, 조화성 등이다.

같은 수행특성인자를 가진 작업군을 선택한 후에(일반적으로 10tasks 이하), 분석자, 즉 전문가는 각 수행특성인자에 대한 상대적 중요도를 결정한 후 그 합이 1이 되도록 조정한다. 그때 사용자는 모든 작업에 있어서 각 수행특성인자에 대한 중요도비율을 1부터 9까지 중에서 선택한다. 이 과정 동안에 각 수행특성인자에 대한 이상적인 수준이 역시 할당되어야 한다. 이 이상적인 수준은 운전원이 그 일을 수행하는데 있어서 그 일을 가장 잘 수행할 수 있게 해주는 수준(optimum level)을 나타낸다.

그 다음에는 할당된 율과 이상적인 율 사이의 차이에 의해 가장 차이가 적을 때 1, 가장 차이가 큰 것은 0으로 재조정되고 남지는 비례값으로 조정된다.

각 작업에 대한 성공률지수는 재조정율과 각 수행특성인자들의 중요도의 곱들의 합이다. 그때 그 작업에 대한 인간오류확률은 다음 식으로 구해진다.

$$\text{LOG}(\text{HEP}) = a \times \text{SLI} + b$$

여기서 상수a와 b는 기준값 혹은 전문가가 제공한 경계값(boundary values)으로부터 결정된다. 이 기준값은 시뮬레이터 또는 활용 가능한 자료들로부터 얻어질 수 있다. 하나의 작업에 대한 경계값은 각각

SLI=0과 SLI=1에 해당하는 상한값과 하한값인데 이 값들이 주어저도 아래 수식에 의해 인간오류확률을 구할 수 있다.

$$HEP = UB^{1-SLI} \times LB^{SLI}$$

#### 다. HCR 모델

1984년 Hannaman 에 의해 발표된 Human Cognitive Reliability(HCR) 모델은 중요한 변수들을 이용하여 시간의존적 비반응 확률값을 산출해 낸다. 비반응이란 운전원이 하나의 일에 대하여 주어진 시간 안에 어떠한 행위도 취하지 않는 상태를 말하는 것으로서 인간오류의 한 요소에 불과하다. 오진단과 바른 진단후임에도 불구하고 실현가능한 선택이 없는 경우에 의한 인간오류는 이 모델에 포함되지 않는다. 세 개의 중요변수들이 운전원 비반응 확률의 평가시 사용되는 데 그 변수의 내용은 다음과 같다.

- (1) J.Rasmussen에 의해 정의된 바, 기술, 법칙 및 지식과 관련된 거동을 나타내는 변수,
- (2) 인식작업을 수행하는데 있어서의 운전원이 취하는 중간반응시간
- (3) 운전원의 경험, 스트레스 정도, 운전실 설계의 질과 관련된 수행 특성인자값들이다.

또한 인식거동을 구분하기 위한 사건수목이 제시되었는데 일상적인 운전행위인지, 관련 기술서가 존재하는지 등을 따져서 기술, 법칙, 지식 기반 거동을 분류하였다. 중간반응시간은 시뮬레이터 자료나 전문가 판단, 혹은 운전원과의 면담을 통해서 얻어지게 되며 세 수행특성인자들 (K1:운전원의 경험정도, K2:운전원의 스트레스 정도, K3:운전실 설계의 수준)을 보상한 K상수가 아래 수식에 의해 결정된다.

$$K=(1+K1)(1+K2)(1+K3)$$

이 때 보정된 중간반응시간,  $T1/2$  이 아래 수식으로 결정된다.

$$T1/2=T1/2nominal \times K$$

이때 비반응확률은 Weibull 분포로써

$$P(T)=\exp\{-[(t/T1/2)-Ci]/Ai\}Bi$$

로부터 구해진다.

시간  $t$ 는 주어진 작업을 수행하는데 사용가능한 시간이고,  $Ai$ ,  $Bi$  및  $Ci$ 는 시뮬레이터 자료에 의해 조율된 상관상수이며 첨자  $I$ 는 세 가지 형태의 기술, 법칙 및 지식 기반 거동을 나타낸다. 그러므로 HCR 모델은 시뮬레이터로부터 모든 자료에 근거한 실험모델이다. 이 모델이 중요한 가정은 어떠한 인식거동도 이 세 가지 구분에 해당된다는 것이고, 수행 특성인자가 오로지 중간반응시간( $T1/2$ )에만 영향을 주며 시뮬레이터자료도 역시 세 가지 거동형태로 분류될 수 있다는 것이다.

또한 수행특성인자가 단지 중간반응시간에만 영향을 끼치고 인식거동과는 무관하다는 가정은 실제와 다르다. 즉, 많은 스트레스아래에서 그 전에 운전원이 기억했던 법칙이 완전히 망각되는 경우에 법칙기반거동이 지식기반거동으로 전이될 수 있는 것이다.

또한 HCR에 관한 최근 검정연구는 운전원의 반응이 정확히 이 세 가지 타입 중의 하나로 귀착되지 않았고 오히려 2가지 이상의 거동의 조합으로 나타나는 것을 보여주었다.

원자력 발전소에 대한 확률적 위험도 분석(PRA)에 있어서 인간신뢰도분석 방법으로 널리 사용되고 있는 세 가지 방법론을 검토하여 각 방법론의 장단점 및 그 모델들이 가지는 가정, 한계점 등을 기술하였다.

세 가지 선정된 방법론은 THERP, SLIM, 및 HRC로써 이들 방법론은 공통적으로 관측 가능한 인간거동과 수행특성인자를 고려하는 모델들이다.

#### 라. HRA 방법론의 특징 및 한계

THERP 모델에 의해 제공된 방대한 데이터베이스와 방법론은 운전원의 수행오류 즉, 진열적(display) 관측, 조작 및 제어와 관련된 오류를 모델링하는데 좋은 출발점을 제공하지만 운전원의 인식거동의 근간이 되는 원인과 과정을 설명하지 못할 뿐만 아니라, 수행특성인자 사이의 연관성 및 동시 다발적인 운전원 행위들 간의 상관관계를 고려하지 못하는 제한성을 내포하고 있다.

SLIM방법론도 전문가 의견에 기초한 체계적인 방법이지만 THERP에서와 같이 수행특성인자 사이의 상관성을 적절히 표현하지 못하며 인간 오류확률을 정량화에 필요한 기준점 데이터베이스의 부족 문제, 분석된 작업을 가감함으로써 생기는 민감도문제는 SLIM모델이 앞으로 극복하여야 할 과제이다.

그러나 THERP방법론과 비교해 볼 때 최소한 2개이상의 기준값만 주어지면 SLIM이 인간거동의 인식측면을 더 잘 설명한다고 볼 수 있다. HCR모델의 근본가정(기술, 법칙, 지식기반 거동으로의 분류)이 시뮬레이터 검증연구를 통해서 정확하지 않은 것으로 나타났다. 또한 이 모델은 THERP나 SLIM에서와 같이 수행특성인자 간의 상호관계를 적절히 설명하지 못한다. 운전원 거동의 새로운 분류와 적절한 새 TRC(Time Reliability Current)가 제시된다면 이 방법론이 새로운 인식모델의 개발 전까지는 PRA 연구에서 여전히 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

기존 HRA 방법론은 관측 Error의 원인이 되는 non-observable error를 고려하지 못한다.

예를 들면 두 개의 동일한 모양의 밸브 중 하나가 close 되어야만 소기의 목적인 Flow를 isolation시킬 경우에 운전원은 Slip Error(의도는 올바르지만 밸브의 모양이 유사하여 엉뚱한 밸브를 닫는 경우) 또는 Intention Error(운전의 판단이 옆에 있는 밸브가 바른 밸브라고 생각하여 정확히 그 밸브를 닫은 경우)로 인하여 잘못 밸브를 닫을 수 있다. 이 경우에 즉각적인 결과(Flow not Isolate)는 같지만 나중에는 상당히 다른 결과를 초래한다. 나중에 복구할 때에 후자의 실수가 한층 어렵다. 이러한 Human Error는 기존 방법론은 해결할 수가 없고 현재는 인식 모델링 기법을 이용한 새로운 HRA 방법론들이 개발되고 있고 차세대 원전의 HRA 수행시에도 이러한 인식 모델링을 포함하는 방법론이 활용되어야 한다.

이와 같이 현재 사용되고 있는 HRA 방법론들은 인간오류의 피상적인 형태 즉, 관측 가능한 인간오류의 피상적인 형태, 즉 관측 가능한 인간오류의 설명에 국한되어 있다. 이러한 인간오류의 의도형성의 과정과 이유를 설명하지 못하면 실제적인 인간 신뢰도의 분석이 불가능하다. 이러한 인식 위에서 최근에는 원전사고시에 운전원의 의도형성과 이 의도가 어떻게 실행되는지를 분석하는 인지적 모델 개발이 활발히 진행되고 있다. 인간신뢰도가 원자력 발전소의 안전성에 미치는 효과가 큰 만큼 기존 기초방법론의 여러 가지 문제점들을 극복하기 위하여 운전원의 인지적 과정과 특성을 분석하는 인지적 모델의 연구개발이 요구된다고 하겠다.

### 3. 조직 및 인적 인자에 대한 정성적 연구

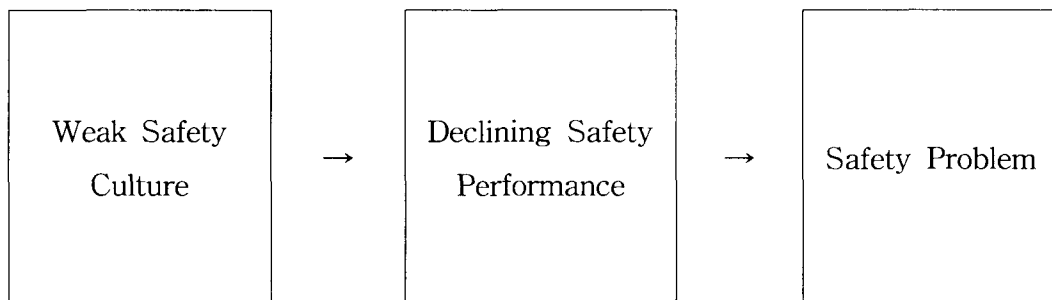
#### 가. NEA의 연구

NEA에서는 조직 문화가 원전 안전성에 아주 중대한 영향을 미침에



도 불구하고, 이에 대한 인식은 부족하다고 보고, 원자력 발전소에서의 어떤 요인들이 안전성에 영향을 주는가를 『The Roles of the Nuclear Regulator in Promoting Evaluating Safety Culture』 보고서(June 1999, NEA-OECD)를 통해서 기술하고 있다(OECD, 1999).

이 보고서에서는 성과 모델(performance model)을 통해서 원전의 안전성을 사고 이전에 점검하고자 한다.



[그림 2.1-1] NEA의 성과 모델(Performance Model)

약한 안전문화는 낮은 안전성 성과를 나타나게 하고 이러한 성과에 대한 올바른 조치가 취해지지 않는다면 안전 문제가 발생할 수 있다는 것이 기본적인 배경이다.

규제기관에서 원전의 안전성을 평가하기 위하여 살펴보아야 할 항목들을 원전의 감소하는 성과의 초기 현상(early signs of declining performance)과 잠재적으로 위험한 안전문화의 징후(signs of potentially weak safety culture)를 나누어서 그 항목들을 열거하고 있다.

이들 항목들의 대분류 항목을 살펴보면 성과 하락의 초기 징후(early signs of declining performance)에는 경영(Management), 운전(Operations), 보수(Maintenance), 기술적 설계 및 안전분석(Engineering design and safety analysis), 문서생성(Plant documentation), 방사선 관리(Radiological controls), 발전소 정지에 있어서의 활동(Outage

activities), 문제분석(Event analysis), 규제기관과의 관계(Regulatory relations)에 대한 항목들이 나열되어 있다.

잠재적으로 위험한 안전문화의 징후(signs of potentially weak safety culture)에는 최고경영층(Management), 중간관리자(Programmes), 자기 평가(Self-assessment), 책임성(Accountability), 규제기관과의 관계(Regulatory relations), 독립성(Isolation), 태도(Attitude) 등으로 구분하여 구성원들의 관리 특성 및 발전소 속성의 특징을 기술하고 있다.

한 편 NEA에서는 Identification and assessment of organizational factors related to the safety of NPPs(NEA/CSNI/R(98)17/VOL1)에서 원자력 발전소의 안전성과 관련된 조직 요인을 정리하여 발표하였는데, 여기에서는 대 항목 위주로 살펴보고자 한다(OECD, 1999a ; OECD, 1999b).

(1) 외부환경의 영향(External Influences) : 조직 문화와 성과에 영향을 미칠 수 있는 운전조직과 회사의 경계 밖의 요인을 말한다. 여기에는 정치적 상황, 법체계, 경제 체제(민영화), 인력의 사회적 교육적 지위, 여론 등이 이러한 속성에 속한다.

(2) 발전소 목표와 전략(Goals and Strategies) : 우선순위를 설정하고, 자원을 배분하고, 안전을 강력하고 장기 계획을 세우는 최고 조직의 목표를 말하며, 부서나 개인의 목표는 이러한 목표와 전략에 구속된다. 조직의 임무를 지원에 대한 경영 정책 및 전략, 사업 계획 과정, 목표와 목적에 대한 정의, 우선순위, 계획의 집행 등이 구성요소에 속한다.

(3) 관리 기능(Management Functions and Overview) : 관리기능이란 발전소 목표와 전략을 지원하기 위한 과정과 활동을 조직화, 계획, 통제, 감시하기 위한 상위 관리(upper management)들에 대한 준비(arrangement)를 의미한다. 여기에는 관리자 개발, 권한 위임, 승진, 효

율적 의사결정 과정을 위한 구조(framework)의 구축, 조직학습의 장려, 기술 및 조직 변화 관리, 업무량 관리를 포함한 작업 과정에 대한 계획과 공정관리 등

(4) 자원할당(Resource allocation) : 자원할당이란 발전소 목표와 전략이 요구하는 활동을 지원하기 위한 재무, 인력, 시간, 기술적 자원을 할당, 분배, 감시하는 것이다. 여기에는 기술적 자원, 노하우 개발·정의·획득, 경제성과 안전성의 조화, 의사결정을 위한 조직구조, 자원 통제, 조달 등이 여기에 속한다.

(5) 인적자원관리(Human Resources Management) : 인적자원관리에는 선발, 배치, 개발과 조직 요구를 충족하기 위한 역할과 책임을 규명하고, 이러한 요구사항을 충족하였는가를 평가하는 것이다. 선발, 인력의 심리적 상태, 근무교대에 대한 규칙, 근무시간, 보직 배치, 승진, 경력 개발, 직업의 안정성, 보상 등이 여기에 속한다.

(6) 훈련(Training) : 훈련이란, 안전하고 효율적인 방법으로 작업을 완수하기 위해 필요한 지식, 기술, 능력, 적정 훈련 규정을 규명하고, 기능과 과업을 규명하는 과정이다. 지식, 기술 능력의 지속적 향상을 위한 훈련 과정의 조직화, 훈련 교재의 개발과 훈련 방법의 집행, 훈련의 내면화, 훈련에 대한 QA 집행, 훈련 프로그램의 지속적 평가, 실제 요구사항과 부합되는 훈련 등이 여기에 속한다.

(7) 작업의 조정(Co-ordination of work) : 조정 작업 활동에 대한 자원과 책임에 대한 계획, 일정, 통합, 할당, 집행의 과정이다. 내부 조직간의 활동의 조직화, 역할과 책임, 위임에 대한 명확화, 근무교대의 구성, 작업의 우선순위와 계획, 업무량 관리 등이 구성요소로 지적된다.

(8) 조직 지식(Organizational knowledge) : 조직 지식이란 조직에서 작업이 이루어지고 있는 공식적 비공식적 방식, 과정, 절차, 실행에 대하여 구성원들이 지니고 있는 이해를 말한다. 조직 단위 간의 다른 대면접촉과 조직 구조에 대한 이해, 공식적 비공식적 의사소통 채널에 대한 지

식, 작업에 대한 암묵지, 조직 메모리 등이 이러한 하위 구성 요인으로 구성된다.

(9) 절차(Proceduralization) : 기능과 작업의 분석에 기초가 되고, 작업 활동의 표준이 되는 규칙, 절차 및 방법의 규명, 개발, 확인, 검증 및 집행의 과정을 말한다. 반복되고 중요한 작업 활동에 대한 적절한 표준화 및 공식화, 활동시 수반되는 위험(risk)에 대한 명확한 정보, 절차의 개정, 설계 및 개발 시 최종사용자의 참여, 행정적 지원 등이 하위 구성 요소의 특징을 갖는다.

(10) 조직문화(Organizational culture) : 조직의 구성원들이 공유하는 가정, 규범, 가치, 태도, 및 인식으로, 개인의 안전 의식, 직원의 사회화를 위한 조직적 지원, 안전 강화를 위한 보상과 인식, 공개적인 의사소통 등으로 구성된다.

(11) 조직 학습(Organizational learning) : 조직의 문제를 규명하고 과거의 경험으로부터 학습하고 미래의 성과를 향상시키기 위해서 다른 발전소를 통해 경험하는 과정을 말한다. 운전 경험의 피드백, 예방적 행동, 문제에 대한 규명과 해결, 반복적인 자기 평가, 지속적 향상, 개인 지식의 조직 지식화 등이 구성요소로 되어 있다.

(12) 의사소통(Communication) : 공식적 비공식적으로 기록 구전되는 정보의 교환을 말한다. 조직내외 간의 정보 흐름, 조직 내부 계층 간의 정보 흐름, 내부조직 간의 정보 흐름, 적정 시간 내의 정보 전달, 의사소통 과정의 공개성, 비공식적 의사소통의 실행, 정보 전달의 가외장치 등이 그 구성 요소이다.

#### 나. 일본 중앙전력연구소의 연구

일본중앙전력연구소(CRIEPI)에서 조직 및 인적 인자가 발전소의 성능(performance)과 어떤 관계가 있는가에 대해서 상관관계를 분석하기

전에 건설회사와 정유회사에서 이미 이루어진 조직 및 인적 인자에 대한 연구에서 어떤 항목들이 설정되었는가를 기술하고 있다(CRIEPI, 1999)

(1) 안전 성과 : 설비 고장률, 작업자 재해율(종속변수)

(2) 현장 작업자의 안전 의식 : 현장 기술자의 책임, 위험에 대한 인지, 작업자 재해율 또는 시설 결함에 대한 위험의 이해, 현장 관리자와 안전 관리자의 의사소통, 안전 유지를 위한 분위기, 안전 활동을 실행하기 위한 동기, 안전 규칙의 준수,

(3) 통제 가능한 안전 관리 : 행정적인 안전 정책 및 체계, 안전 규칙, 안전관련 상, 사전예방적 안전 점검

(4) 안전을 위한 활동 : 위험예측, 잘 정돈된 작업장, 문제 해결을 위한 회의, 안전에 대한 현장 교육, 안전 관련 포스터, 아차실수 사례 수집

(5) ISO의 획득 : ISO 9001, ISO 14001

(6) 안전관리 : 안전 훈련 교육, 작업장의 잠재적 위험에 대한 회의, 안전 문제 보고 체계, 안전 관리원의 직위, 표준, 체계적인 사고 보고, TQC, 회사의 광범위한 사고 알림,

(7) 안전 및 위생관련 활동 : 최고경영자의 관심, 안전 관련 부서의 작업량, 안전 관련 부서의 권한, 안전 관련자에 대한 처우

(8) 조직 분위기 및 문화 : 생산성 대 안전성 관련 인간관계와 분위기 확장, 의사결정의 형태, 작업자의 협조, 기술 자격과 수준, 작업자의 협조 구조, 통제의 구조, 전통과 진보, 달성 평가, 승진 체계, 보수 체계, 권한의 집권과 분권

#### 다. MIT의 연구

Carroll과 Perin의 조직의 안전성을 증진하는 조직의 활동과 안전성을 제약하는 활동들이 서로 맞물려 중대위험조직이 안전성을 유지해 나

가고 있음을 지적한다. 또한 이 둘의 연구는 원자력 발전소와 같이 잠재적 위험이 큰 산업에서의 안전성 제고를 위하여 접근해야 할 4가지 방향을 제시한다. 첫째, 조직에 대한 기계적 가정과 유기체적 시스템 가정에서 무엇을 택할 것인가? 둘째, 조직의 활동 시스템(activity system)과 조직도에서 어떤 것이 보다 현실에 가까운 모습인가? 셋째, 공유된 지식의 사회적 분배(the social distribution of shared knowledge) 넷째, 환류로부터의 학습(dynamic learning from feedback)을 조직화, 관리 및 학습의 틀로 제시하고 있다.

MIT의 연구에서는 원전에서는 안전성을 증진하는 활동과 위험을 발생하는 활동이 존재하며, 무형의 자원들이 존재함을 지적한다(Carroll & Perin, 1995).

이런 자원에는 정책, 정보, 훈련, 경험, 포상, 문서, 일정, 예산, 우선 순위, 근무환경 등과 같은 조직자원(organizational resources), 주의, 관찰, 집중, 의문, 인내, 상상력, 해석능력, 기억 등과 같은 인지자원(cognitive resources), 신뢰, 보상, 규칙, 규범, 의사소통의 패턴, 관습과 같은 사회적 문화적 자원(social and cultural resources), 그리고 설비, 절차서, 하드웨어 소프트웨어와 같은 기술 자원(technical resource)이 존재함을 강조하며, 이러한 자원들이 반드시 안전성 지표, 조직도, 절차서와 같은 것에 충분히 반영될 수 없음을 지적한다.

MIT의 연구는 원전의 안전성을 위한 자원관리를 위하여 (1) 조직 분석 및 자기 분석(organizational analysis and self analysis), (2) 절차화와 전문주의의 조화(Balancing proceduralization and professionalism), (3)의사소통과 학습(Communication and Learning)의 분석틀을 제시한다. 조직 분석 및 자기 분석에서는 원전 안전성과 관련된 자원의 흐름과 통제 틀을 외연적으로 부각시키는 작업을 강조하여 원전에서 일어나고 있는 활동에 대한 분석과 안전문화 분석을 실시한다. 절차화와 전문주의의 강조에서는 자동화와 소프트웨어에 의한 코드화의 증가에 따라 절차와 규

칙이 증가하게 되고 따라서 운전원들이 운전의 목적과 이유에 대해서 불명확성을 가질 수 있으므로 운전원들에 대한 신뢰 창의성, 학습능력 함양할 수 있도록 관리되어야 함을 강조하고 마지막으로 의사소통과 학습을 통해서 원전 사고에 대한 다각적 접근과 임시방편적 접근에서 학습을 통한 접근으로의 전환을 강조한다.

## 라. INPO의 연구

INPO에서는 HPES 모델 개발 이후에 VALUE(Vision, Achievement, Leadership, Understanding, Event free)모델을 개발하여 조직 관리에 사용할 수 있도록 하였다. 또한 원전에서의 자원을 전환하는 과정에 대한 지속적인 인적수행능력 향상 지도(Human Performance Continuous Improvement Process Map)를 작성하여 인적 수행능력과 관련된 전체적인 개요도를 작성하여 발전소별 벤치마킹을 실시한 바가 있다. 이 과정 지도는 인적 수행능력에 대한 조직의 본질을 묘사한 것이며, 과정(process)으로서 인적 수행 능력을 인식할 때, 인적수행능력의 향상은 보다 방법적이며 지속될 수 있다고 본다(INPO, 2001).

INPO에서 벤치마킹(benchmarking)을 통해 얻은 대상 원전의 공통요인(common contributors)은 다음과 같다.

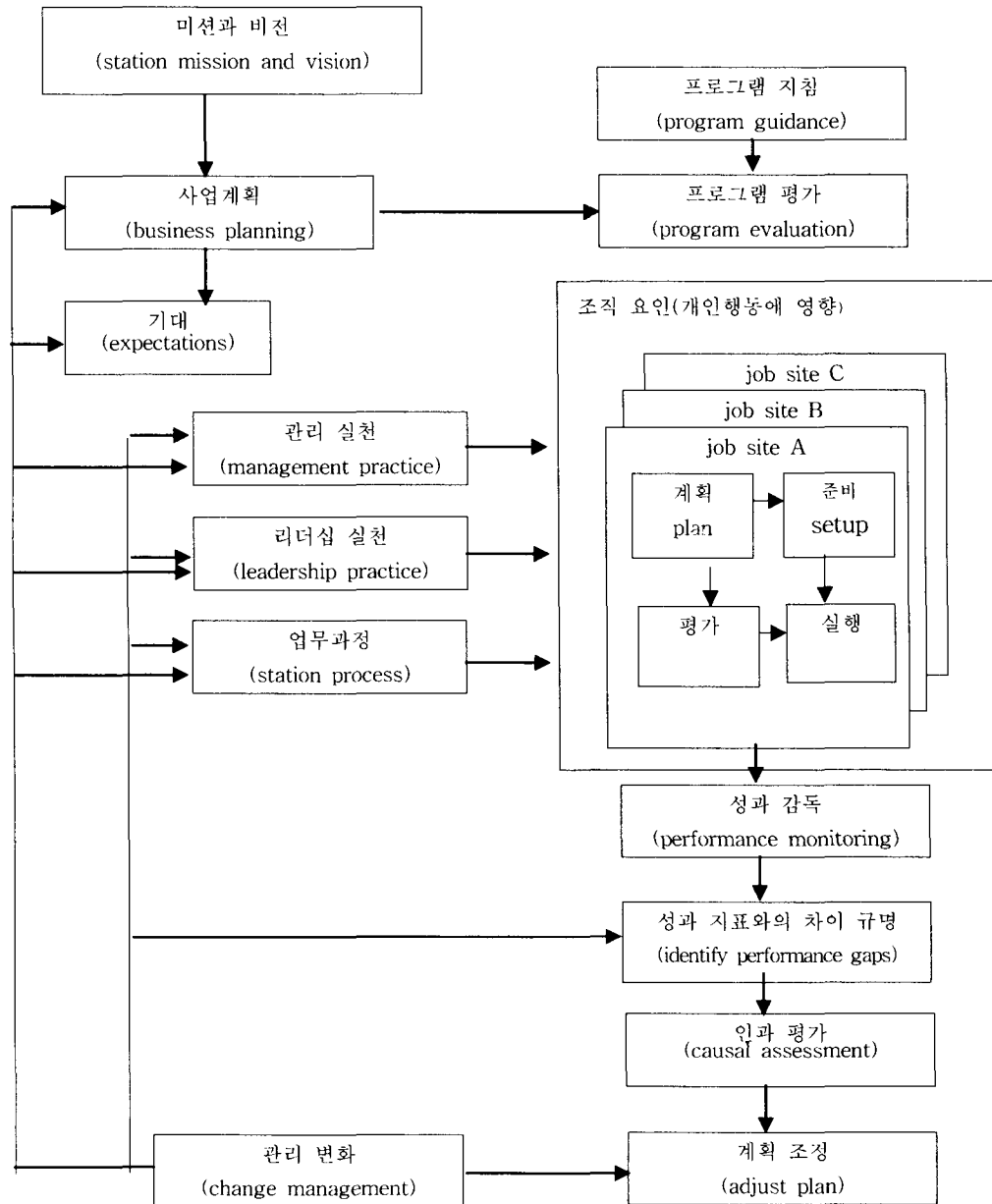
(1) 관리자의 지원과 안전 지향(management sponsorship and leader driven) : 관리자는 비전과 목표를 설정하고 이를 지원한다.

(2) 사업 계획 시 인적 수행 능력의 통합(integrating human performance in business planning) : 사업 계획은 조직의 사업 목표를 명확하게 하는바 사업 계획에 인적 수행능력을 포함하는 것은 전략적인 인적 수행능력 목표를 창조하고 목표 달성을 완성하기 위한 주요 단계를 규명한다.

(3) 의사소통(communication) : 인적 수행능력을 높이기 위해서 많은

발전소가 구조화된 의사소통을 사용한다. 인적 수행능력과 관련된 요인은 사고와 관련된 토의에 의해서 구체화된다.

(4) 훈련과 개발(training and development) : 성과가 좋은 발전소는 지속적인 훈련에 전념하며, 보통의 경우에는 종사자들에게 훈련 프로그램을 제공하지만 숙련자로부터 비숙련자에게 제공되는 교육을 포함한다.



[그림 2.1-2] INPO의 지속적인 인적수행능력 향상 지도  
(Human Performance Continuous Improvement Process Map)



(5) 행위 보정(reinforcement) : 올바른 행위를 나타내기 위하여 발전소 종사자들에게 긍정적인 행위 보정 유형(some type of positive reinforcement)을 제공한다. 관리자, 감독자, 동료에 의해 관찰된 행위 보정은 시의 적절하여야 한다. 성공적인 행위 보정 시스템은 즉각적 규정과 바람직한 행위의 보정을 포함한다.

(6) 인적 수행 능력 도구(human performance tools) : 많은 발전소가 인적 실수를 저감할 수 있는 절차서와 지침서(procedures and guidelines)와 같은 일련의 도구에 대한 표준을 규명한다.

(7) 작업전 브리핑(Pre-job briefings) : 발전소 성능을 높이기 위한 사전적 수단으로서 작업전 브리핑이 사용된다.

(8) 관찰 프로그램(observation program) : 발전소 감독자들은 통상적으로 인적 수행능력을 관찰을 수행한다.

(9) 인적 수행능력에 대한 통합 자기 평가(integrated self-assessment of human performance) : 자기 평가 프로그램은 발전소 성과 향상을 위한 중요 추진체이다.

## 마. 종합

조직 인자에 대한 연구는 대부분 정성적 방법을 이용한 연구가 이루어지고 있으며 특히 영향을 주는 인자들을 나열하는 지표를 활용하려는 지표화 방법이 이루어지고 있다. 지표화 방법의 이점은 다음과 같다.

첫째, 조직 및 인적인자를 개념적으로 드러내어, 원전 조직의 구성요소가 무엇인지를 살필 수 있게 도와주며, 이를 지표화 하여 평가항목으로 사용할 수 있게 해 준다.

둘째, 기준이 되는 항목들이 형식적으로는 원전 종사자들의 행동을 안전성과 연결하여 행동할 수 있도록 도와줄 수 있다.

그러나 인자들의 나열이 갖는 단점은 다음과 같다.

첫째, 개념 통일의 어려움이다. 즉 조직 및 인적 인자는 인간 사회시스템과 관련된 인자이기에 물리적 세계에서 쓰이는 용어보다 추상적 언어로 구사될 수밖에 없으며 이로 인하여 개념의 조작적 정의의 수준에 따라서, 그 개념적 통일이 어렵다.

둘째, 항목들 간의 관계를 살피는 것이 어렵다. 항목을 구성하는 세부 항목들 간에 모순된 관계의 항목들이 존재하게 되면 양자를 동시에 충족시키는 것이 어렵다. 이는 지표화 방법론 역시 인자들 간의 상호인과관계에 대한 고려의 부족으로 발생하는 문제이다.

## 제 2 절 시스템 다이내믹스(System Dynamics)

본 연구에서는 시스템 다이내믹스(system dynamics)를 이용하여 원전 조직에 대한 모델링(modeling)을 수행하며, 시스템 다이내믹스 기법에 대해서 살펴보기로 하겠다.

### 1. 시스템 다이내믹스 기법의 개요

시스템 다이내믹스(System Dynamics)란 주어진 문제 또는 예상되는 문제(A set of Problems)에 대하여 그와 직접 또는 간접적으로 관련된 변수들로 구성된 시스템을 정의하고, 변수들 간의 관계를 정량적으로 연구하여 컴퓨터 모델화한 후, 일련의 시뮬레이션을 통하여 시스템의 동적 특성을 밝혀내어 문제해결에 도움이 되도록 하는 기법이다.

시스템 다이내믹스 기술은 1960년대 초 미국의 MIT 경영대학의 포리스트(Jay W. Forrester) 교수에 의해서 개발된 기술로, 비선형(Non-Linear) 순환고리(Feedback)를 갖고 있는 복잡한 시스템의 동적

(Dynamic)인 변화를 정량적으로 분석할 수 있는 기술이다. 전기공학을 전공하고 컴퓨터에 사용되는 마그네틱 테이프를 개발하여 크게 성공한 포리스트 교수는 전기공학에서 사용되는 순환고리 이론을, 다양한 순환고리를 갖고 있는 사회 시스템에도 적용 시킬 수 있음을 착안하여, 그 당시 경영학적으로 가장 큰 규모인 미국 군대내의 물자관리에 적용하기 위해 생산관리, 재고관리 및 고용관리 등의 Instability 등을 전체적으로 관리할 수 있는 모델을 개발하여 처음으로 이 기술을 사용하였다.

시스템이란 Ackoff에 의하면 다음의 속성을 갖는다고 한다. (Ackoff,1999)

① 전체는 하나 혹은 그 이상의 속성(Properties)나 기능(functions)을 지님.

② 각 부분은 전체의 행태(behavior)나 속성(properties)에 영향을 미침.

③ 하나 혹은 그 이상의 환경 속에서 전체의 기능을 수행하기 위하여 충분한 부분의 부분적인 집합이 존재함; 이러한 부분의 각각은 필요하나 전체의 기능을 수행하기에는 불충분함.

④ 시스템의 필수적인 부분이 그것의 행태나 속성에 영향을 미치는 방식은 시스템 중 적어도 하나의 다른 부분에 의존함.

⑤ 전체로서의 시스템에 미치는 하위집합의 영향은 하나이상의 다른 하위집합의 행태에 영향을 미침.

시스템 다이내믹스는 이러한 시스템적 특징을 가진 실체를 분석하는데 적합하며, 특히 사회 시스템을 묘사하는데 유용한 방법론으로 자리를 잡고 있다.

그런데, 시스템 다이내믹스 기술이 다루는 문제가 매우 복잡한 데 반하여, 프로그램 기법은 기존의 코딩(Coding)에 의존하는 방식을 탈피하지 못하였기 때문에 그 응용에 있어서 초창기에는 제한이 많았다. 시스템 다이내믹스가 다시 각광을 받기 시작한 것은 1980년대 중반으로

시스템의 구조를 그림으로 구현하고 바로 프로그램으로 연결하는 방법이 고안 되면서이다. 또한 미국 내에서 경영자문(Management Consulting) 분야의 회사들이 성장하면서 그 도구로 시스템 다이내믹스가 사용되기 시작하였다.

시스템 다이내믹스는 다층적이고 상호 복합적인 사회적 변수를 논리적으로 재구성하여 현실 사회와 매우 유사하게 컴퓨터상에 구현함으로써 현실에서 생각할 수 있는 가설들을 아무런 실제의 손실 없이 시행해 볼 수 있는 기법이다.

시스템 다이내믹스는 MIT에서 1960년대 초에 개발되어 각종 국가 정책 개발, 대외문제, 사회집단 간의 갈등 해소 방안 및 새로운 제도와 정책의 채택에 따른 영향 분석 등에 많이 활용되고 있다.

시스템 다이내믹스 기법을 이용하여 조직을 분석하는데 몇 가지 유용성을 제공한다.

첫째, 시스템 다이내믹스는 시스템의 인과관계를 묘사하여 봄으로써, 시스템의 영향관계를 살펴볼 수 있게끔 한다. 시스템의 구성요소들은 상호간에 강화 고리(reinforcing loop)와 균형 고리(balancing loop)로 얽히어 시스템 상태를 향상·악화시키거나 균형 상태를 유지토록 하며 시스템 다이내믹스는 이러한 요인 간의 구성요소를 묘사함으로써 상관성을 학습하는데 도움을 줄 수 있다.

둘째, 시스템 구성 요소들의 시간에 따른 변화(dynamics)를 이해하는데 도움을 준다. 조직에서 일어나고 있는 현상들은 일시적으로 발생하고 있는 현상이라기보다는 시스템의 구조에서 일어나는 순환과정의 결과로서 조직을 바라다본다.

셋째, 시스템 다이내믹스 방법은 조직에서 일어나고 있는 사건들의 인과관계(causality)를 묘사하고, 이를 정량적으로 표현하여 조직에서 발생하는 문제를 예방할 수 있는 정책 지렛대(policy leverage)를 발견하고

자 하는데 유용한 도구이다.

넷째, 시스템 다이내믹스는 변수들 간의 비선형성(nonlinear)을 분석하는데 유용하다. 요인과 요인 간의 분석과 상호 영향관계는 상호의존적(interdependence)인데, 이를 분석할 수 있는 방법이다.

시스템 다이내믹스는 다른 방법론과 구별되는 몇 가지 특징을 가지고 있다.

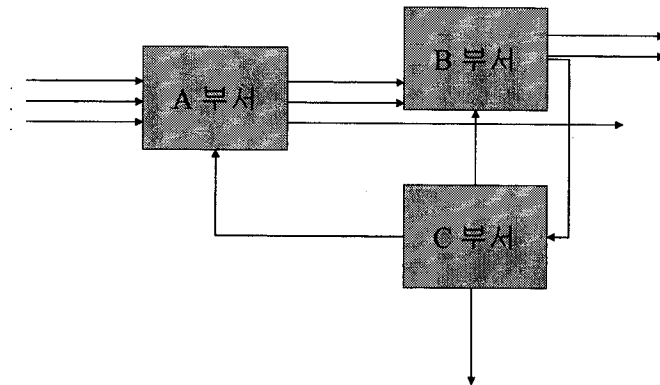
첫째, 시스템 다이내믹스는 종속변수와 독립변수를 구별하지 않는다. 변수들 간의 상호 영향관계에 초점을 두기 때문에, 독립변수로 다루어진 변수들도 종속변수의 영향으로 변화할 수 있다. 또한 독립변수들 간의 독립성을 배제하고, 종속변수들의 상호 영향관계를 상정한다(Gharajedaghi, 1999).

둘째, 시스템 다이내믹스의 방법론적 위상은 단선적인 인과관계가 아닌 순환적인 인과관계에 기초하고 있다는 점, 그리고 정태적인 분석이 아닌 동태적인 분석을 수행할 수 있다는 점에서 기존의 단선적이고 정태적인 연구방법에 비해 고유한 위상을 갖는다고 할 수 있다(김도훈·문태훈·김동환, 1999).

셋째, 시스템 다이내믹스 기법은 사건 중심의 기법이 아니라 오히려 문제의 구조적 특성을 파악한 후 처방을 실시한다. 시스템 다이내믹스가 피드백 구조를 찾으려 하는 것도 문제의 구조를 밝히는데 초점을 두었기 때문이다.

시스템 다이내믹스는 시스템적 접근을 통해 시스템 간의 영향관계가 시간의 흐름에 따라 어떻게 변화하면 최종적으로 살펴보고자 하는 시스템에 어떤 영향을 미치는가를 살펴보는 것이다. 따라서 문제의 구조를 계층적으로 분석하지 않고 피드백 구조에서 찾으려 하는 것이다. 피드백 구조를 통한 문제의 탐색 및 분석은 문제해결로 취한 대안의 부수 효과, 환경의 영향, 환경의 변화에 의한 자신에의 영향 등을 다 각도로 분석할 수 있게 도와준다.(Sterman, 2000) 조직에 대한 연구 역시 특정 조직에

초점을 맞추지 아니하고 시스템적으로 상호 유기적인 접근을 시도한다.



[그림 2.2 -1] 조직의 상호 영향관계 개요

조직에 대한 시스템적 접근은 관련 부서에서의 산출물이 다른 부서의 입력물로 작용하고 한 조직의 상태가 다른 조직의 입출력의 조건을 제약하여 영향을 미쳐 전체 시스템에 어떤 영향을 미치는가를 보여준다.

## 2. 시스템 다이내믹스 기법에 활용되는 컴퓨터 언어

시스템 다이내믹스는 비선형 시스템에 대한 동적 현상을 Causal Loop Diagram 및 Stock Flow Diagram으로 분석한다는 것이 중요하고, 그것을 구현하는 도구로는 어떠한 컴퓨터 언어를 사용하든지 관계가 없다. 따라서 시스템 다이내믹스 모델은 기존의 일반 언어(포트란, 코볼 등)를 사용한 예부터, Spread Sheet, 또한 최근의 각종 소프트웨어까지 다양하다. 그러나 시스템 다이내믹스 전문가들은 전통적으로 그 동안 다음과 같은 언어를 사용해 왔고 사용하고 있다.

① 다이나모(DYNAMO): 초창기의 시스템 다이내믹스용 컴퓨터 언어로 일반 종이에 Causal Loop Diagram 및 Stock Flow Diagram을 작성하고 그것을 Coding하는 방법이다.

② 아이싱크(ithink, 또는 Stella): 1985년경에 등장한 소프트웨어로 일반 종이를 사용하여 Causal Loop Diagram을 작성한 다음, Stock

Flow Diagram은 itthink라는 컴퓨터 소프트웨어를 사용하고, Coding은 그림에서 직접 하도록 되어 있다.

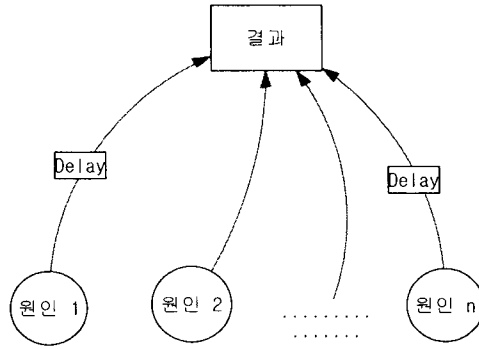
③ 파워어심(PowerSim): 아이싱크와 거의 같은 시기에 등장하였고 아이싱크와 같이 일반 종이를 사용하여 Causal Loop Diagram을 작성한 다음, Stock Flow Diagram은 PowerSim라는 컴퓨터 소프트웨어를 사용하고, Coding은 그림에서 직접 하도록 되어 있다.

④ 벤심(Vensim): 1990년경에 소개되기 시작하였고, Causal Loop Diagram 및 Stock Flow Diagram은 모두 벤심(Vensim)이라는 컴퓨터 소프트웨어를 사용할 수 있으며, Coding도 그림에서 직접 할 수 있다. 그 외에도 Causal Tracing, Optimization Tool, Monte Carlo Simulation, Interface Programming 등 다양한 기능이 추가되어 있다. 본 연구에서는 분석 기능이 가장 발달된 벤심을 사용하여 모델을 개발한다.

### 3. 시스템 다이내믹스 모델화 과정

시스템 다이내믹스는 분석하려고 하는 문제의 영향관계를 중심으로 모델 개발이 이루어진다. 시스템 다이내믹스는 학문적으로 문제의 역학적인 패턴(pattern)을 알아보기 위하여 사용되기도 하지만, 실제 현실 문제를 분석하고 이들의 상호관계를 살펴보기 위하여 사용된다.

시스템에 나타나는 현상(event)에 초점을 맞추기보다는 문제의 근원이 되는 구조를 밝힘으로써 구조에서 문제에 대한 해결을 찾으려는 시도를 하게 된다. 현재 보여지고 있는 현상은 [그림 2.2-2]에서 보는 바와 같이, 이전의 자신의 시스템 혹은 다른 시스템에서 나온 결과가 원인이 되어 나타난 것이다. 시스템 다이내믹스는 시스템의 구조에 초점을 맞추고 있으며, 또한 시간지연까지 고려하여 모델링을 실시한다. (Anderson & Johnson, 1997)



[그림 2.2-2] 문제의 원인과 결과사이의 지연

시스템의 구조(Structure) 파악은 단순한 것 같지만 많은 시간의 훈련이 필요하다. 시스템 사고(Systems thinking)가 이의 근본이 되는데, 상호의존적인 변수들 간의 관계의 고찰하는 사고의 체계라고 말할 수 있다.(Gharajedaghi, 1999)

시스템 다이내믹스 모델개발과정에 대해서는 [그림 2.2-3]의 순서도로 나타내었다.

첫째, 문제의 이해와 정의의 과정이다. 현재 시스템의 문제가 무엇이며 이 문제를 풀기 위한 단순화 과정, 시스템 경계의 확정, 모델에 대한 일반적 가정을 설정하는 단계이다.

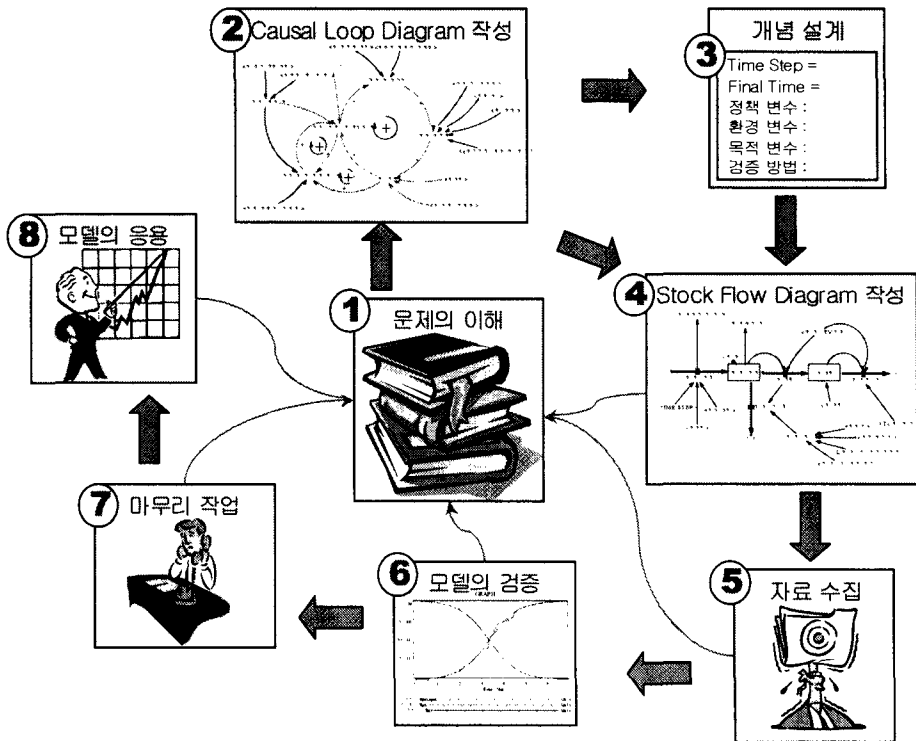
문제의 이해는 선형적 사고방식이 아니라 시스템 사고에 의해서 이해되어진다. 문제의 영향정도에 따라 시스템의 경계를 설정하여 문제의 분석수준을 결정하여야 한다.

이런 과정에서 현재 문제에 영향을 미치는 주요한 변수들을 대략적으로 선정하는 과정을 거친다. 즉, 문제에 영향을 미치는 변수들을 파악하고 이를 나열하는 과정이다. 변수들은 현상에 영향을 미치는 직·간접적인 내용을 포함한다. 시스템 다이내믹스는 회귀분석과는 달리 종속변수에 영향을 미치는 독립변수들 간의 독립성을 가정하지 않으며, 오히려 종속변수와 독립변수의 구분 없이, 상호 간의 인과관계를 설정한다.



변수의 나열은 연역적 추론, 경험에 의한 귀납적 추론, 설문, 인터뷰, 문헌조사, 브레인스토밍(brainstorming) 등 여러 방법을 통해서 구할 수 있다. 나열된 변수는 이후의 과정을 거치면서 소거되기도 더 추가되기도 하며 정량화 과정에서 가중치가 부여되기도 한다.

둘째, 선정된 인자들의 상호관계에 대한 인과관계지도(Causal Loop Diagram)를 만드는 단계이다. 즉 나열된 변수들의 상호 관계를 설정하는 단계이다. 이 때, 변수의 관계는 상관관계(correlation)보다는 인과관계(causality)를 바탕으로 연결된다. 인자들 간의 영향관계를 표시하기 위하여 화살표(→)를 사용하게 되는데, A → B 라는 표현은 A라는 요인이 B에 영향을 미친다는 표현이다. 이 둘의 관계는 정(正)적으로 영향을 미칠 수 있거나, 부(否)적으로 영향을 미칠 수 있는데 정적으로 영향을 미칠 때에는 화살표 끝에 플러스(+) 표시를 부적으로 영향을 미칠 때에는 마이너스(-)를 표시한다.



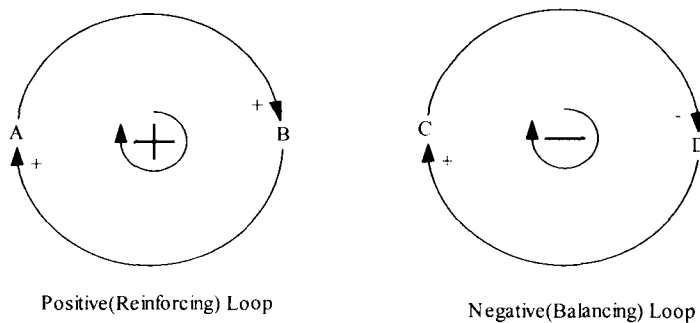
[그림 2.2-3] 시스템 다이내믹스 모델의 과정

예를 들면, [그림 2.2-4]에서의 A와 B의 영향 관계를 살펴보면, A가 B에 영향을 미치는데 A가 증가하면 B도 증가하고 A가 감소하면 B도 감소한다는 정의 관계를 표시한다. C와 D의 관계도 역시 C가 D에 영향을 미치는데 C가 증가하면 D는 감소하고 C가 감소하면 D는 증가하는 부의 관계를 형성하는 관계를 표시한 것이다.



[그림 2.2-4] Casual Loop Diagram에서의 인과 관계 표시

상호 영향관계가 양방향으로 이루어지면 순환고리를 형성한다. 아래의 [그림 2.2-5]는 순환관계를 표시한 것으로 강화순환고리(positive loop 또는 reinforcing loop)와 균형순환고리(negative loop 또는 balancing loop)로 구별된다. 강화루프는 계속 증가하거나 계속 감소하는 관계를 형성하며 균형루프는 시스템의 균형점으로 수렴시키려는 성격을 갖는다. 양자의 구별은 루프에서 마이너스 기호(-)의 수로 구별하는데 마이너스 기호(-)가 홀수이면 균형루프이며 그 이외에는 강화루프가 된다.



[그림 2.2-5] 순환고리(Loop) 의 종류

셋째, 모델에 대한 개념설계가 이루어진다. 입력변수와 출력변수를 선정하고 이밖에 모델의 영향을 미치는 환경변수에 대한 정확한 정의가 이루어지며 모델에 들어갈 변수가 외생 변수(exogenous variables)인지 내생 변수(endogenous)인지가 결정된다. 내생변수 및 외생변수의 설정에 따라 모델에 대한 가정 또한 결정되어진다.

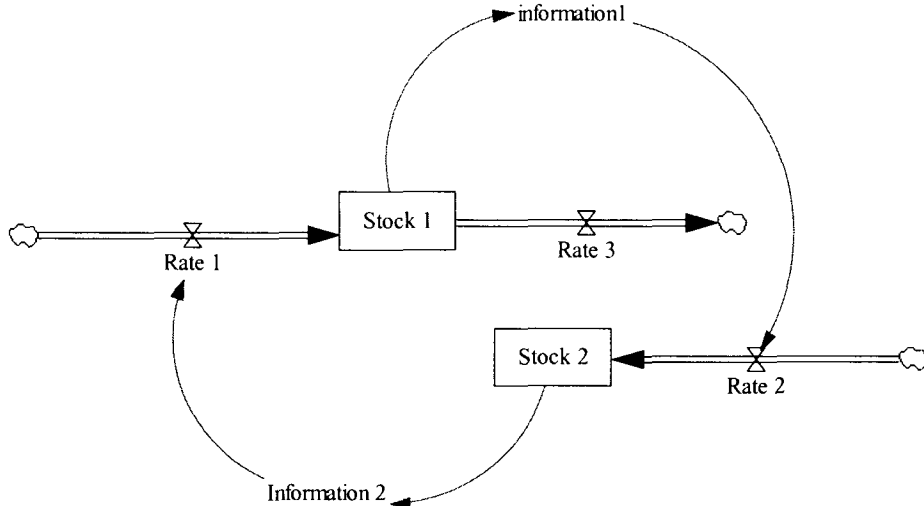
이는 실재로는 다음 단계인 Stock and flow diagram의 작성을 염두에 두고 이루어지는 경우가 많다.

넷째, 변수들 간의 영향관계를 표시하고 난 후 거치는 단계는 Stock and Flow Diagram 작성의 과정이다. 이는 변수들 간의 영향관계를 계량화하기 위한 단계이며 여기에는 저장변수(level)와 유량변수(rate) 및 수식을 위한 보조변수(auxiliary variables)와 상수(costants) 등이 사용된다.

저량변수는 Stock이라고도 불리며, 유입(inflows)과 유출(outflows)에 의해서 변화하는데, 이는 행위의 결과로 저장된 변수이다, 이에 반하여 유량변수는 저장변수의 값을 변화시키는 역할을 하며, 이 밖에 변화율 변수의 계산식을 단순화시키기 위하여 사용되는 보조 변수가 있다(김도훈, 문태훈, 김동환, 1999).

저량변수는 용기의 물과 같은 성질의 변수로서 시간에 따라 누적되는 성질을 가지고 있으며, 누적되는 성질로 인하여 시간적 지연이 발생하기도 한다. 유량변수는 저장변수의 증감을 가져오게 하는 변수로서, 수량의 유입과 유출과 같은 성질의 변수이다. 변수의 선정 후 변수가 유량변수인가 저장변수인가를 구분하여 모델을 시작한다.

저량변수는 시스템의 거동에 있어서 시간 지연과 밀접한 관련이 있기 때문에 저장변수의 선정과 모델링은 특히 더욱 중요하다.



[그림 2.2-6] 시스템 다이내믹스의 저장변수와 유량변수의 표시

[그림 2.2-6]은 Vensim에서의 저장변수와 유량변수를 표현하는 방법이다. [그림 2.2-6]에서 볼 수 있듯이, 저장변수는 사각의 상자로 표시되며, 유량변수는 사각의 표시 없이 그냥 사용되는데, 저장변수의 변동은 반드시 유량변수를 통해서만 변동이 가능하다.

저장변수 stock1의 식을 살펴보면

$$Stock1 = \int_0^t (rate1 - Rate3) dt + C$$

로써 유량변수의 적분임을 알 수 있다.

다섯째, 자료 수집단계이다. 자료 수집은 정량화 모델에 들어갈 자료로써 시계열 자료가 될 수도 있으며, 평균 자료가 될 수도 있다. 또한 심리상태와 같은 소위 소프트변수(soft variables)는 그래프로써 조사되기도 한다. 보통, 서열척도(ordinal scale)이거나, 비선형성을 갖는 변수들의 경우에는 그래프 변수 형태로 수집된다.

여섯째, 검증단계를 거친다. 모델의 검증의 방법으로는 실적자료와의 비교 또는 사용자 그룹과의 의견교환을 통해 수행한다. 과거 실적자료와

비교하여 검증하는 방법은 가장 유력한 수단으로, 작동원리를 중심으로 된 시뮬레이션의 결과가 과거 실적자료와 유사한 동적 현상을 보여준다면 그 모델은 충분히 타당성을 갖고 것으로 볼 수 있다. 그러나, 신규사업과 같이 비교할 만한 적당한 실적자료가 없을 때가 많은데, 이 경우는 모델작성 그룹과 사용자 그룹 간의 합의를 거쳐 사용할 만한 가치가 있는가 판단하고, 사용하면서 실적자료와 비교하여 모델을 계속 수정할 수 있도록 해야 한다.

일곱째, 검증과정을 거친 모델은 과거의 분석, 미래의 예측, 각종 정책에 대한 평가 등에 활용되는 단계를 거친다. 시스템 다이내믹스 소프트웨어가 갖고 있는 원인추적 기능을 통하여 현상이 나타난 원인이 무엇이며 작용원리를 중심으로 문제를 분석할 수 있다(학습기능). 다른 한편으로는 모델을 통해서 미래에 대한 예측도 가능하다(예측기능). 또한 각종 정책이 앞으로 시스템에 어떻게 영향을 미치는지 평가할 수 있으며, 정책의 평가과정에서 앞으로 어떠한 부작용이 나타날지도 미리 점검해 볼 수 있다. 한편, 과거에 대한 분석과정이나, 부작용의 점검과정에서 시스템에 대한 이해를 할 수 있게 되고, 이러한 이해를 통하여 보다 좋은 정책을 마련하는데 기여 할 수 있다.

#### 4. 시스템 다이내믹스를 이용한 본 연구의 위치

##### 가. 조직 인자에 대한 연구

원자력발전소의 인적 오류에 대한 중요성이 부각됨으로써 원전의 조직 및 인적 인자에 대한 연구가 활발히 진행되었으나 대부분의 연구는 개인 수준의 인적인자 중심으로 연구가 진행되었다.

<표 2.2-1> 방법론상의 특징 비교

| 구분           | 인자구성                  | 인자들 간의<br>관계 | 정량적 분석         |
|--------------|-----------------------|--------------|----------------|
| 지표화 방법       | 직·간접<br>인자나열          | 상호 독립적       | 원칙적으로<br>질적 분석 |
| 신뢰도 분석<br>기법 | 안전도에 미치는<br>직접적 인자 취급 | 상호 독립적       | 정량적 분석<br>가능   |
| 시스템<br>다이내믹스 | 직·간접 인자의<br>나열 가능     | 상호 의존적       | 정량적 분석<br>가능   |

조직 인자에 대한 연구의 경우에도 지표 측정 등을 통해서 이루어졌기에 그 정량화와 인자들 간의 상호 관계에 대한 고려가 어려웠으나 본 연구에서는 시스템 다이내믹스 기법을 활용하여 이에 대한 정량화가 가능하도록 연구를 수행하였다.

시스템 다이내믹스의 방법은 요인들 간의 독립성을 가정하지 않고 상호 영향관계가 있음을 파악하여 이를 모델링하는 방법으로 신뢰성방법론이나 지표화 방법론의 변수들 간의 독립성에 대한 가정을 어느 정도 극복할 수 있을 것이다.

#### 나. 조직 인자 관련 모델 개발

국내 원전의 조직 및 인적인자를 선정하여 이를 시뮬레이션 할 수 있는 시뮬레이터를 개발함으로써 관리자들의 의사결정이 원전의 안전성에 미칠 수 있는 영향관계를 고찰하고 학습할 수 있는 시스템 다이내믹스 모델을 개발하였다. 이를 원전의 관리자들에 교육에 활용한다면 기계적 기술 능력뿐만 아니라 원전의 운영에 대한 관리교육에 활용하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

여 백

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 주기적 안전성 평가의 개요

#### 1. 주기적 안전성 평가의 개관

국제원자력기구(IAEA : International Atomic Energy Agency)의 주창으로 제기된 주기적안전성평가(PSR : Periodic Safety Review)는 현재의 안전기준 관점에서 가동원전의 안전여부와 장기간의 안전성 유지 대책이 적절히 이행되고 있는가를 종합적으로 평가하는 것을 말한다. IAEA에서는 <표 3.1-1>에서와 같은 내용을 평가하도록 주기적 안전성 평가 지침(Safety Series No. 50-SG-O12)에서 제시하고 있다.

<표 3.1-1> IAEA 주기적안전성평가 안전인자 및 평가범위

| 안전 인자        | 평 가 범 위  |
|--------------|--|
| 1. 실제 물리적 상태 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원전 구조물, 계통 및 기기의 실제 물리적 상태 파악 및 평가</li> </ul>   |
| 2. 안전성 분석    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발전소 실제상태, 예상되는 수명말기 상태와 현행 해석방법, 안전기준, 기술지식을 고려한 기존 안전성 분석의 타당성 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 안전해석기법의 타당성</li> <li>- 공통원인사고, 교차결합(Cross-links) 사고 가능성</li> <li>- 결정론적 방법을 기본으로 확률론적 방법 병행권장</li> </ul> </li> <li>○ 지질, 홍수, 기상, 인구 분포 등을 고려한 부지특성 평가</li> </ul> |
| 3. 기기검증      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 안전 관련 장비들에 대한 규정 및 안전기능 수행 가능성 검증 이행 실태 평가 및 품질보증 이행현황 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수명기간동안 안전기능 수행 보증 증거 제시 및 문서화</li> <li>- 경년열화, 변경, 보수, 정비, 고장, 교체, 비정상운전조건, 이력</li> </ul> </li> </ul>  |



|                    |   |
|--------------------|---|
| 4. 경년열화            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원전 안전여유도 유지를 위한 노후화 관리실태 및 향후 관리계획의 적절성 평가</li> <li>- 구조물 및 기기/계통 미래 상태 예측</li> <li>- 성능 저하 시점 예측 및 감지, 적절한 보수 및 완화 조치</li> <li>- 경년열화 프로그램 및 안전여유도 유지 계획</li> </ul> |
| 5. 안전성능            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원전의 안전성능 및 운전경험 기록경향 분석</li> <li>- 안전성관련 사건, 안전계통 이용불능도</li> <li>- 방사선 피폭, 폐기물 발생 및 유출</li> <li>- 운전기록, 보수, 시험, 검사, 교체, 변경 기록을 평가</li> <li>- 안전성능지표 이용</li> </ul>    |
| 6. 운전경험/ 연 구 결과 활용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 운전경험 및 기술개발 결과의 반영 활동 평가</li> <li>- 반영 체계, 현황 및 성과 등을 검토</li> </ul>  |
| 7. 절차서             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원전 운전, 보수, 점검, 시험, 변경 및 비상대응 절차의 적절성 평가</li> <li>- 운전, 보수, 점검, 시험, 작업허가 및 방사선 방호절차 및 변경절차</li> <li>- 발전소 설계, 하드웨어의 변경 관리·통제 절차</li> </ul>                            |
| 8. 조직 및 행정         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조직 및 행정의 원전 안전운전에 대한 적합성 평가</li> <li>- 안전 운전에 대한 적합성</li> <li>- 관리, 배치(형상) 조정, 기술 및 계약 지원, 훈련, 품질보증, 기록, 법령 준수 등</li> </ul>  |
| 9. 인적인자            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원전 안전운전 관련 각종 인적인자들의 상황 평가</li> <li>- 직원 구성, 채용, 훈련, 절차서 형태, 인간-기계 연계 등</li> </ul>   |
| 10. 비상계획           | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 사업자의 비상대비계획, 인력 및 시설/장비 확보상태와 국가차원의 준비, 조정 및 정기점검 실태 평가</li> </ul>   |
| 11. 환경영향           | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 사업자의 걱정 원전환경영향감시 프로그램 확보 여부 확인</li> </ul>  |

여기에서 본 연구의 내용과 관련이 깊은 8항의 “조직 및 행정 분야” 와 9항의 “인적인자” 분야의 세부내용을 살펴보면 아래와 같다.

#### 8. 조직 및 행정(Organization and Administration)

가) 생산성과 생산성과 관련된 집행활동보다 우선하는 안전성을 명시한 안전 정책

- 나) 운전과 안전 목표를 설정하기 위한 메카니즘
- 다) 개인과 그룹의 명문화된 역할과 책임
- 라) 종사자들에 대한 경험(조직과 관리 실패와 관련된 경험을 포함)의 피드백 절차
- 마) 원자력 발전소와 그 문서의 일치를 유지하기 위한 메카니즘
- 바) 외부 기술자, 유지보수, 전문가를 고용하기 위한 공식적 준비 계획
- 사) 종사자 훈련 시설시설 및 프로그램
- 아) QA 프로그램과 독립적 평가자를 포함한 정규 QA 감사
- 자) 규제 요구에 대한 순응
- 차) 기초적 정보와 운전 및 유지보수 이력에 대한 포괄적이고 검색이 용이하며 청작성인 기록
- 카) 지속적인 설비 개선/자기 평가 프로그램
- 타) 원자력 발전소 안전성에 영향을 미칠 수 있는 운전 조직의 조직 구조 혹은 자원의 변화에 관리에 대한 준비 계획

## 9. 인적인자(Human Factor)

- 가) 원자력 발전소 결근, 운전 근무교대, 초과 근무 제한을 인지하기 위한 발전소 운전에 대한 인사관리 수준
- 나) 근무시간 중에 자격 있는 종사자의 여부
- 다) 종사자들의 노하우를 유지하기 위한 정책
- 라) 체계적이고 유효한 직원 선발 방법(태도, 지식 및 기술의 측정)
- 마) 시뮬레이터의 사용을 포함하여 초기, 보수교육, 상위교육에 대한 프로그램
- 바) 관리자들에 대한 안전문화에 대한 교육
- 사) 안전에 중대한 사건에 기여한 인적 수행능력(실패와 오류)에 대한 운전 경험과 그것들의 원인과 수정 행동에 대한 피드백 프로그램
- 아) 근무시간, 건강, 남용 등과 관련된 근무 규정 지침의 적정성

자) 운전, 유지보수의 기술자, 관리에 대한 자격 요구 사항

차) 인간 - 기계 인터페이스 : 통제실과 다른 작업장들의 설계; 인간 정보 요구와 작업량에 대한 분석 ; PSA와 다른 결정론적 방법론과의 연계

카) 절차서의 형태와 명확성

조직 및 행정에 대한 평가는 원자력 발전소의 조직이 원전의 안전에 적절한지를 확인하기 위한 것이다. 이는 원전의 조직과 행정이 적절한 사례를 따르고 있는지, 위험요소가 존재하는지 여부를 확인하기 위하여 원전의 조직을 평가하고 관리하기 위함이다. 여기에는 안전관리, 조직의 통제, 기술지원, 훈련, 품질보증, 규제나 법령 요건의 준수 등이 포함된다.

## 2. 우리나라의 주기적 안전성 평가

이를 우리나라에서도 받아들이기 위하여 1999년에 원자력안전위원회에서 심의 의결하고 과학기술부는 2001.1.16 개정된 원자력법(법률 제 6354호) 및 2001.7.16 개정된 원자력법시행령(대통령령 제17304호)에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 정하는 원자력법시행규칙을 개정·공포하고 여기에 주기적 안전성 평가기술에 대한 항목을 반영하여 법제화하였다.

### 제19조의2(주기적 안전성평가의 세부내용)

#### 8. 조직 및 행정에 관한 사항

조직과 행정이 원자로시설의 안전운전을 위하여 적절하게 운영되고 있는가를 확인하기 위한 것으로 다음 각목의 사항을 포함하여야 한다.

가. 안전목표 및 안전 우선원칙 이행을 포함한 안전체제

나. 문서화된 개인과 단체의 역할 및 책임

- 다. 원자로서설의 운영의 유기적 구성을 유지하기 위한 방법
- 라. 외부 인력 및 전문가활용을 위한 체제
- 마. 직원의 교육훈련 시설 및 계획
- 바. 독립된 평가자가 포함된 정규 품질보증감사와 품질보증계획

## 9. 인적 요소에 관한 사항

원자로서설의 안전운전에 영향을 줄 수 있는 다양한 인적요소의 관리상태를 확인하기 위한 것으로 다음 각목의 사항을 포함하여야 한다.

- 가. 교대근무 및 초과근무 제한을 포함한 직원관리수준
- 나. 자격이 있는 직원이 상시 임무수행을 하는지의 여부
- 다. 모의제어반의 사용을 포함한 초기·재교육 및 능력향상을 위한 훈련계획
- 라. 인적 정보요건과 업무량에 대한 분석
- 마. 인간-기계 연계체제 분석

모든 원전에 대하여 주기적 안전성 평가(PSR)의 필요성이 대두되었으며, PSR 평가항목을 크게 하드웨어 항목과 소프트웨어 항목으로 구별할 수 있다면, 소프트웨어 항목인 조직 및 인적인자에 대한 평가의 중요성이 중요하게 부각되었다고 할 수 있다.

그런데 무엇보다도 소프트웨어 측면에서 안전성 평가를 하기 위해서는 조직 인자 및 행정 인자를 정량적으로 측정하는 것이 중요한 요인이다. 이를 위해서는 최신정보수집, 방법론 개발, 관련 요소별 세부모델개발 등이 매우 필요한 상황이다.

즉, 각종 제도나 조직이 발전소 운영에 미치는 영향을 재는 정량적인 척도의 개발과 조직 및 관리 분야를 검사를 할 때 그 합목적성, 일관성, 타당성 등을 파악하고 처방을 할 수 있는 방법론 개발이 수행되어야 한다.

주기적 안전성 평가의 차질 없는 수행을 위하여 사업자, 규제기관, 연구기관이 상호 협력하며 긴밀한 연구수행체제를 갖추고 국제적 연구 동향을 분석함으로써 체계적으로 조직인자의 연구가 활발히 진행되어야 할 것이다.

### 3. 본 연구에서의 평가 항목의 적용

현재 우리나라의 원자력법 시행규칙에서 규정된 항목을 어떻게 평가할 것이며 이를 모델에 어떻게 수용할 것인가에 대한 판단이 필요하다.

본 연구에서는 조직 및 행정에 대한 PSR 항목에서 제시한 대부분의 평가항목을 수용하려 하였으며, 다만, 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 방법으로 평가하기 어려운 항목들은 모델에서 제외하였다. 시스템 다이내믹스 방법으로 평가하기 어려운 항목으로는 “나. 자격이 있는 직원이 상시 임무수행을 하는지의 여부”에 대한 항목과 “마. 인간-기계 연계체제 분석”에 대한 항목이다. 이는 실조사 및 MMI(man-machine interface)에서 사용되는 모델링 기법이 더욱 적절한 것으로 판단된다.

이 두 항목을 제외하고 기타 항목들은 최대한 모델에 반영하였다.

<표 3.1-2> 조직 및 행정 조항에 대한 모델 적용 여부

| 원자력법 시행규칙 19조 2항<br>8 조직 및 행정에 관한 사항                        | 모델링 적용여부               |
|---|------------------------|
| 가. 안전목표 및 안전 우선원칙 이행을 포함한 안전체제                              | 안전성 관련 태도 등에 대한 모델     |
| 나. 문서화된 개인과 단체의 역할 및 책임<br>다. 원자로시설의 운영의 유기적 구성을 유지하기 위한 방법 | 원전 조직 및 업무 흐름에 대한 모델   |
| 라. 외부 인력 및 전문가활용을 위한 체제                                     | 외부 정보 및 협력업체 모델        |
| 마. 직원의 교육훈련 시설 및 계획   | 교육 훈련양에 대한 모델          |
| 바. 독립된 평가자가 포함된 정규 품질보증                                     | 외부 규제 활동의 업무량 영향 관계 모델 |

<표 3.1-3> 인적인자 조항에 대한 모델 적용 여부

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 원자력법 시행규칙 19조 2항<br>9. 인적 요소에 관한 사항          | 모델링 적용여부                  |
| 가. 교대근무 및 초과근무 제한을 포함한<br>직원관리수준             | 교대근무 관련 모델                |
| 나. 자격이 있는 직원이 상시 임무수행을<br>하는지의 여부            | × (체크리스트 방법 타당)           |
| 다. 모의제어반의 사용을 포함한 초기·재<br>교육 및 능력향상을 위한 훈련계획 | 8. 마 교육훈련과 연결             |
| 라. 인적 정보요건과 업무량에 대한 분석                       | 업무 발생/해결/업무질 등에<br>대한 모델링 |
| 마. 인간-기계 연계체제 분석                             | ×(MMI 분석이 타당)             |

평가는 평가항목을 구성할 수 있는 요인들을 최대한 정량적으로 표현하였다. 인원, 업무 발생량, 근무조, 교육훈련의 양, 사기, 생산성, 업무의 질과 같은 측정 가능한 요인들이 원자력 발전소 시스템에서 서로 상호 작용하여 최종적으로 발전소의 안전성에 어떻게 영향을 미치는가를 봄으로써 발전소의 조직 및 인적인자에 대한 평가를 할 수 있게끔 도와준다.

## 제 2 절 조직 모델에 대한 검토

### 1. 조직 모델(Organization Model)

#### 가. 조직 모델 검토의 의의

인간 행위의 대부분은 조직 속에서 이루어지며, 조직의 규칙, 구성원

과의 상호작용, 조직의 구조 등에 의해서 영향을 받는다. 조직은 그 목적을 달성하기 위하여 개인들의 노력을 제공받고, 조직은 이에 대한 보상을 제공함으로써 조직 목적을 달성한다고 볼 수 있다.

즉, 인간의 행위는 조직과의 상호작용 속에서 이루어지며, 원전의 성과는 원전이 보유한 기계적 성과와 인간의 수행능력이 상호 작용함으로써 달성된다. 그런데, 인간의 집합체인 조직에 대해서는 여러 관점이 있으며(Morgan, 1998), 조직으로서의 원전을 연구함에 있어 조직을 어떻게 보아야 할 것인가 하는 조직 모델에 대한 검토는 의의 있는 일이라 할 수 있다.

#### 나. 조직 모델의 유형

조직관(view point of organization)에 따라 조직에서의 인간의 역할의 강조점이 상이하므로 “조직”의 정의 혹은 관점에 대해서 먼저 설명되어야 할 것이다. 조직의 관점에 따라서 조직에서의 인간 활동에 대한 역할과 강조점에 대한 파악이 가능하며 연구의 목적인 조직 및 인적 인자가 원전의 안전성에 미치는 영향을 평가하기 위한 모델 개발의 방향을 제시할 수 있다.

조직에 대한 접근법 또는 패러다임(paradigm)은 기계적 모델에서 유기체의 모델 그리고 사회모델로의 전환되고 있는데, 이는 조직을 구성하는 변수 간의 상호의존성(interdependent)이 보다 강조되고 이를 고려하여 조직 시스템을 이해하려는 측면이 부각된 것이다. Gharajedaghi가 바라본 3가지 조직관을 간략히 정리하면 다음과 같다.(Gharajedaghi, 1999).

- (1) 기계적 조직관(Mindless Systems : A Mechanistic View) : 조직은 기계와 같아서 스스로 목적을 갖지 못하며, 그의 소유자가 달성하려는 목표를 달성하려는 도구에 불과하며 의존적이며 조직의 성과의 기

준은 효과성이다.

- (2) 유기체적 조직관(Uniminded Systems : A Biological View) : 조직은 사람과 같은 유기체로서 여러 하부시스템으로 구성되며, 뇌와 같은 기관이 존재하여 의식을 갖는다. 다만 하부시스템들은 판단능력이 없기 때문에, 집행기능과 네트워크(network) 정보전달기능이 매우 중요하다. 이는 목표 값과의 차이를 통해서 스스로를 조절하는 사이버네틱스(Cybernetics)와 유사하다.
- (3) 사회문화적 조직관(Multiminded Systems : A Sociocultural View) : 조직은 다양한 의식을 가진 구성원의 집합체이다. 이러한 조직관은 다른 환경 속에서도 같은 결과를 얻는다거나 같은 환경임에도 불구하고 다른 결과를 얻는 양상을 보인다. 기계적 조직이 물리적 법칙이 구성요소 간의 관계를 지배한다고 보는 반면 사회문화적 조직관에서는 정보지향적(information-bonded)이다.

그런데 이러한 조직관은 동시에 태동된 것이 아니라 그 대두 시기가 다르며 조직관은 연대기적으로 폐쇄체제 모델(Closed System Model)에서 개방체제모델(Open System Model)로 변화한다고(Scott, 1998) 볼 때, 기계적 조직관에서 탈피하여, 유기체적, 사회문화적 조직관에 입각한 조직모형으로 전환이 필요하다.

본 연구에서는 Gharajedaghi의 3가지 조직관에서 유기체적 조직관과 사회문화적 조직관을 합하여 시스템적 조직모델로 보고 기계론적 조직모델과 유기체적 시스템 조직 모델로 대별하여 조직 모델을 설명하고자 한다.

#### (1) 기계론적 조직 모델

기계론적 조직 모형은 조직이나 조직을 구성하는 인간들은 시계를 구성하는 부품과 같아서 시계를 제작하는 사람이 양질의 부품을 공급받



아 설계대로 조립하기만 하면 시계가 정상적으로 작동을 하듯이, 조직의 최고경영자들은 조직 목표 달성을 위하여 조직의 구성원들의 행동을 위한 규칙과 업무 권한과 책임을 부여하여 조직 구성원들 간의 비정의적 관계에 따라 조직은 운용되어, 조직이 추구하는 목표를 효율적으로 달성할 수 있다고 본다.

기계론적 조직 모형은 조직 운영의 기초를 형성하고, 현재에도 대부분의 조직은 기계론적 조직 모형에 입각하여 조직의 업무 설계를 실시하고 있으며, 현대 사회에서의 기계론적 조직의 공과는 매우 크다고 할 수 있다. 정확성, 안전성, 명확한 책임성이 필요한 작업에서는 기계적 모델이 성공적인 역할을 하고 있다(Morgan, 1998).

기계론적 조직 모형에 의한 관리는 조직의 예측가능성과 조직의 효율성을 높일 수 있다. 기계론적 조직 모형은 조직의 목표와 목표 달성을 위해서 조직 구성원을 통제하게 된다. 조직을 운영하기 위한 여러 규칙을 만들어지고, 조직 구성원들이 조직이 원하는 방향으로 움직이도록 활동하기를 기여한다. 조직의 규칙을 준수하지 않는 개인은 조직으로부터 불이익을 받게 되며, 조직의 규칙은 조직의 안정성을 유지하는 데 매우 중요한 역할을 한다.

조직의 업무의 표준화를 구성할 수 있다. 분업에 의한 업무의 표준화는 조직 구성원들의 전문적 지식과 기술을 통하여 업무 목표 달성을 가능하게 한다. 이를 위하여 상위의 관리계층은 조직 설계를 위한 의사결정과 표준운영절차(SOP : Standard Operating Procedure)에 대해서 많은 관심을 갖는다.

기계론적 조직 모형은 조직의 구조를 설명하는 것이 용이하다. 조직의 구조를 통해 권한과 책임을 설정하고, 각 개인에게 역할을 부여하는 구조를 설정하는 데 유용하다. 각 개인은 권한과 책임을 가지며, 각 직위에 맞는 역할을 해냄으로써, 조직의 목표달성에 기여할 수 있다고 본다.

기계론적 조직 모형은 다음과 같은 때 잘 적용될 수 있다(Morgan, 1986). 수행하는 업무가 단순할 때, 환경이 안정적일 때, 동일한 상품과 서비스를 반복적으로 생산할 때, 정밀성이 요구될 때, 인간이 설계한 대로 복종하고 행동할 때인데, 만일 이러한 요건이 충족된다면 기계적 조직 모형을 잘 운영되고 효율적으로 작동할 수 있다고 본다.

반면에 기계론적 조직 모형의 효율성에도 불구하고 그에 대한 비판이 많이 가해지고 있다. 합리성에 입각하여 조직을 설계할 지라도 예측할 수 없는 부수적 현상이 늘 존재한다. 이러한 현상들은 병리현상이라 불리는데, 목표와 수단이 바뀌는 동조과잉, 부서 간에 자기 이익에 집착하여 전체 조직의 효율성을 떨어뜨리는 부서할거주의와 구성원들의 전문화된 무능의 문제가 일반적으로 제기되고 있다. 기계론적 조직 모형은 매우 정태적(static)인데, 실제의 조직은 매우 역동적이며 많은 변화가 조직 내부에 존재하며, 조직도에서 그려진 경계와 경로대로 정보가 진행되지 않으며 하부조직의 경계를 넘는 현상과 정보가 존재한다.

기계론적 조직 모형은 조직을 주어진 목표의 달성 도구로 보기 때문에 변화나 혁신을 통한 환경의 변화에는 어려움을 겪는다(박우순, 1996). 기계적 접근법은 의식을 갖는 것은 의사결정권자만이 있으며, 종업원들은 결정사항에 따라 움직이게 되므로, 자신의 행동에 대한 반응이 주어지지 않으면 문제를 간과할 우려가 있으며, 업무 분장에 적혀 있지 않은 사항에 대해서는 책임지려 하지 않는 경향이 나타나는 문제가 있다(Morgan, 1998).

## (2) 유기체적 시스템 조직 모델

조직의 유기체적 시스템 접근은 기계론적 조직 모형에서 설명할 수 없었던 현상들을 설명하고 이해하는 데 도움이 된다.

복잡한 시스템(complex system)은 자기 안정화(self-stabilizing)경향, 목적지향성(purposeful), 조직의 행태를 수정하기 위한 환류(feedback)의

사용, 조직 환경의 변화, 재조직·수정·유지의 능력 및 조직 관성을 보유한다는 특징을 가지고 있다(Anderson & Jonhson, 1997 ; Sastry, 1997).

유기체적 시스템 조직관은 조직에서 발생하는 여러 현상들의 인과관계를 선형적 인과관계로 설명하기보다는 상호인과성과 환류(feedback)를 바탕으로 현상을 설명한다. 예를 들면 경영자의 리더십이 종사자들의 수행 능력(performance)에 영향을 미치지만, 종업원들의 성과는 경영자의 리더십에 영향을 준다고 생각할 수 있다.

조직의 외부 환경(external environment)과 조직이 활동하기 위하여 필요한 자원을 고려할 수 있게 해 준다. 즉 조직이 운영되기 위한 에너지와 그 소비를 연상할 수 있다(Hall, 1991).

유기체적 시스템 접근은 조직에서의 시간의 문제를 다룰 수 있게 해 준다. 조직 문제를 시간과 결합함으로써 역동적인 분석이 가능하게 한다. 이 점은 기계론적 접근법의 단점을 극복해 줄 수 있다. 시간에 따른 조직의 변화와 그 구성 요소들 간의 역동적 관계를 고려함으로써 원자력 발전소에서 발생하는 다양한 현상들을 보다 종합적인 시각에서 바라다 볼 수 있게 해준다.

유기체적 시스템 접근은 조직의 구조(structure)에서 조직의 과정(process)을 분석할 수 있게 해 준다. 조직의 과정은 기능과 밀접한 관련이 있는데 시스템적 접근은 조직의 현실적인 모습을 묘사하기에 적당하다. 조직을 유기체로 간주하는 시스템적 접근은 조직이 살아남기 위한 여러 기능들과 그들의 상호작용에 관심을 갖고 기능들 간의 유기적 연계를 설명해 준다.

### (3) 본 연구에서의 조직관

원전의 안전성과 관련된 조직 및 인적 인자에 대한 연구의 입장은 유기체적 시스템 조직관에 입각하되 기계론적 조직관을 전적으로 배제

하지는 않는다. 이러한 입장은 기존의 정량적 연구의 대부분이 기계적 시스템 조직관에 입각한 결과 인간을 시스템의 일부분으로 간주하여 기계적 부품처럼 취급되어 조직적 수준에서의 연구가 어려웠던 측면을 일부 극복해 줄 것이다.

기계론적 접근과 유기체적 접근을 병행하여 보다 사실적인 원자력 발전소의 모습을 그려보는 것이 본 연구의 의도이다.

양자를 병행하려는 방법은 연구의 유연성을 제공할 수 있다. 이렇게 다차원적인 접근은 하나의 개념틀로 조직을 설명하려는 시각적 한계를 뛰어넘고, 원자력 발전소를 보다 전체적으로 이해할 수 있게 도와 줄 수 있을 것이다.

## 2. 조직 및 인적 인자와 안전성

### 가. 인적 오류와 안전성

인적 오류를 특징짓는 다양한 분류법이 제안되어 왔는데, 크게는 이 분법으로 나뉠 수 있다. 즉, 적극적인 의미로서 잘못된 행동을 하는 것 (commission)과 무엇인가 행동하여야 할 때 하지 않는 생략(omission)으로서 구별할 수 있다.

Reason은 인간은 자극이 형성되어 이를 처리할 때 상황에 대한 해석 평가, 계획 및 행위의 의도, 그리고 마지막으로 행위의 실천을 하는 과정을 거친다며 과정 모형을 제시하였다(Reason 1990). 그는 각 단계에서 일어나는 인적오류는 서로 상이한 성격이며 각 단계에서 일어나는 인적오류를 달리 명명하였다.

먼저, 운전원들이 상황의 자극이나 형상을 해석하여 이를 근거로 행동을 계획하고 계획된 행동에 의해서 행위를 취하는데, 이 때, 의도의 선택 혹은 해석의 선택과 관련된 오류를 mistakes라 한다.

mistakes는 지각, 기억력, 인지에 있어서의 약점의 결과이다. Reason은 이를 knowledge based mistakes와 rule based mistakes로 나눈다. knowledge based mistakes는 잘못된 지식에 근거한 잘못된 상황판단에 의한 오류이다.

rule based mistakes는 오퍼레이터의 행동에 대한 지적 기반이 강한 상태에서 이루어진다. 즉, 어떤 현상이나 증상에 대한 원인에 대한 강한 신념에 의해 발생하는 오류이다. Slips은 올바른 의도와 행동은 형성되었지만 최종적으로 올바른 행동을 취하지 못한 경우를 말한다. 타이피스트들의 오타가 대표적인 예이다. slip이 발생하게 되는 이유로는 첫째, 의도한 행동이 작업 처리 경로와 약간 차이가 존재하여서 둘째, 행위의 결과나 환경이 부적절한 행동과 관련이 있는 경우, 셋째, 행위의 결과가 상대적으로 주의 집중으로부터 자동화 되었거나 감시가 되지 않아 발생하게 된다. Slip이 의도된 행동으로부터 잘못된 행동을 하게 되는 것인 반면, lapse는 어떤 행위를 수행하는 것에 실패하는 경우이다. 보통 직접적으로는 기억력의 실패와 관련이 되어 있지만 낮은 의사결정의 질을 발생시키는 작업 메모리의 과대로부터 발생하는 knowledge-based mistakes와는 다르다. lapse는 망각과 오히려 가깝다. 즉 어떤 절차의 생략이라든가 점검활동의 생략 등과 같은 경우이다. 보통의 경우 일련의 작업 중에 중요한 단계의 생략에 의해서 발생하게 되는 유지보수 활동이나 설치 작업에서 많이 일어나게 된다.

Mode Errors는 오퍼레이터가 맥락을 적절하게 기억하지 못하여서 부적절 혹은 다른 모드를 수행하게 되는 경우이다. 예를 들면 운전자가 후진기어를 넣은 상태에서 가속 페달을 밟는 경우가 해당된다. 모드 에러는 상대적으로 자동화된 상태이거나 높은 작업량 상태에서 발생한다.

개인 수준에서의 인적 오류에 대한 메카니즘(mechanism)완전하게 자동화된 기계가 아닌 한, 기계도 인간의 정비나 보수 등과 손길을 필요로 하기 때문에 원전에서의 인적인자는 중요하다. 또한 인간의 조직 속

에서 생활하기 때문에 조직에서의 규범과 구조는 인간 행위에 영향을 미친다. 따라서 조직의 구조와 시스템의 분석은 매우 중요하며, 인간행동의 중요한 출발점이 된다.

원전 종사자들은 제한된 자원을 가지고 자신의 행동을 취하는데, 일의 처리는 순차적으로 해결되지 못한다. 하나의 행동을 취하더라도 그의 의식 속에는 자신이 처리해야 할 다른 여러 일들에 대한 생각이 자리잡고 있다. 인간의 의식을 통제하는 것은 어려운 일이며, 그의 의식 속에 많은 일이 자리잡지 않도록 환경을 조성해주어야 한다.

Rudolph와 Repenning 의 Mandler의 Interruption 이론을 바탕으로 한 시스템 다이내믹스의 모델은 원전 종사자들이 처리해야 할 업무량으로부터 받는 스트레스(stress)에 의한 사고 중단과 이로 인한 인적 오류의 가능성을 제시해준다(Rudolph & Repenning, 2002; Weick, 1991). 이 모델에서 간섭(Interruption)이란 한 개인이 작업을 수행함에 있어 내재적 혹은 외재적인 일로 사고의 연속성, 작업 계획, 작업 처리의 완성을 방해하는 예상치 못하고, 비구조화된 사건을 말한다.

이들이 제시한 모델의 시뮬레이션 결과에 의하면 평소의 일상적인 일의 일정 수준까지는 별 문제 없이 충분히 일을 해결해 나갈 수 있지만 그 이상의 일의 부하(workload)가 생기면 해결되지 못한 일(interruption pending)과 스트레스(stress)는 증가하는 모습을 보여주어 결국 사고 중지에 의해 인적 실수를 범할 수 있는 가능성이 높아질 수 있음에 대해서 암시해 준다.

결국 원전의 목표 달성을 위하여 발생하는 업무량은 개인의 인적 오류로 연결될 수 있음을 보여준다.

#### 나. 조직인자와 안전성

선행연구를 살펴보면서 조직 요인에 대한 요인을 살펴보았는데, 다시 한 번 이를 정리하면 다음과 같은 요인들이 있다. (Davoudian, K. et

al (1994))

- ㉠ 집중화 : 의사결정이나 권위가 구성원들 혹은 집단사이에서 한 군데에 놓여 있는가의 정도
- ㉡ 외부와의 의사소통 : 혹은 상급기관 및 규제 기관 등을 포함하여 외부기관과 원전 사이에서의 공식적 비공식적 정보 교환의 정도
- ㉢ 부서간 의사소통 : 발전소 내부에서의 수평적 수직적 네트워크를 통해서 부서 간의 공식적 비공식적 정보의 교환 정도
- ㉣ 부서내부의 의사소통 : 같은 부서에서의 수평적 수직적 네트워크를 통해서 부서내부에서의 공식적 비공식적 정보의 교환 정도
- ㉤ 작업의 협력 : 계획, 통합, 개인과 집단 작업 활동의 집행에 관련된 협력
- ㉥ 공식화 : 루틴한 일뿐만 아니라 비일상적인 사건의 발생에 대해서 잘 정의된 규칙, 절차와 표준화된 방법의 정도
- ㉦ 목표의 우선순위 : 구성원들이 목표에 대한 목적과 타당성 (relevance)을 이해하고 받아들이고 동의하는 정도
- ㉧ 조직 문화 : 구성원들이 조직에 대하여 인지하는 것을 의미하며, 여기에는 다른 조직과 구별되는 오랜 시간 동안 형성된 전통, 가치, 관습, 관행, 목표, 사회화 과정을 포함함.
- ㉨ 조직 학습 : 구성원과 조직이 미래의 성과를 향상시키기 위하여 과거의 경험으로부터 얻은 지식을 사용하는 정도
- ㉩ 조직 지식 : 구성원들이 조직의 하부시스템과의 상호작용과 발전소에서 실제 일을 완성하는 방식에 대한 이해
- ㉪ 주인의식 : 구성원이 자신의 행위에 대한 개인적 책임감과 중요성을 갖으며, 조직 몰입과 자부심을 포함함
- ㉫ 성과 평가 : 구성원이 작업과 관련된 행위에 대한 공정한 평가를 받는 정도이며 장래의 성과 향상에 대한 강조와 피드백을 포함함

- ㉓ 개인 선택 : 경험, 스킬, 직무 수행 능력, 및 지식을 가지고 구성원이  
이 분별되는 정도
- ㉔ 문제 규명 : 조직이 구성원들에게 문제를 규명하기 위하여 지식,  
경험과 정보를 독려하는 정도
- ㉕ 자원할당 : 재정적 자원을 분배하는 방법으로 자원의 실제 분배뿐  
만 아니라 개인의 분배에 대한 인식을 포함
- ㉖ 역할과 책임 : 구성원과 부서의 작업 활동이 명확하게 정의되고  
수행되는 정도
- ㉗ 안전 문화 : 구성원이 안전성에 부여하는 중요성에 영향을 주는  
규범, 규칙과 일반적인 이해의 정도와 같은 작업 환경의 성격. 발전  
소 개선을 지향하는 태도의 정도임
- ㉘ 기술적 지식 : 구성원이 발전소 안전성과 관련된 현상과 사건들  
발전소 설계와 시스템에 대한 이해의 깊이와 폭
- ㉙ 시간적 급박성 : 다양한 과업을 수행하는 동안에 구성원들이 인식  
하는 일정에 대한 압력
- ㉚ 훈련 : 과업을 안전하게 수행하기 위한 지식과 스킬의 부여 정도  
로, 훈련 프로그램의 유용성에 대한 개인적 인식의 정도를 포함  
함.

원전에서의 조직 및 인적인자에 대한 최종 관심은 궁극적으로 원전의 안전성에 초점이 맞추어진다. 안전성은 다양하게 정의할 수 있지만 본 과제에서는 원전에서의 안전성은 원자력의 이용과정에서 발생하는 방사성물질이 부적절한 관리로 인하여 원자력 관련시설의 외부로 유출되는 것을 억제하여 이를 사회가 수용할 수 있는 수준으로 저감시키고 또 유지할 수 있는 상태의 정도로서 정의하고자 한다.

원전의 안전성을 어떻게 해서든 나타내고자 하는 국가적 노력들이 IAEA를 중심으로 결집되어 운전안전성능지표로 집대성되었다. 이에 의



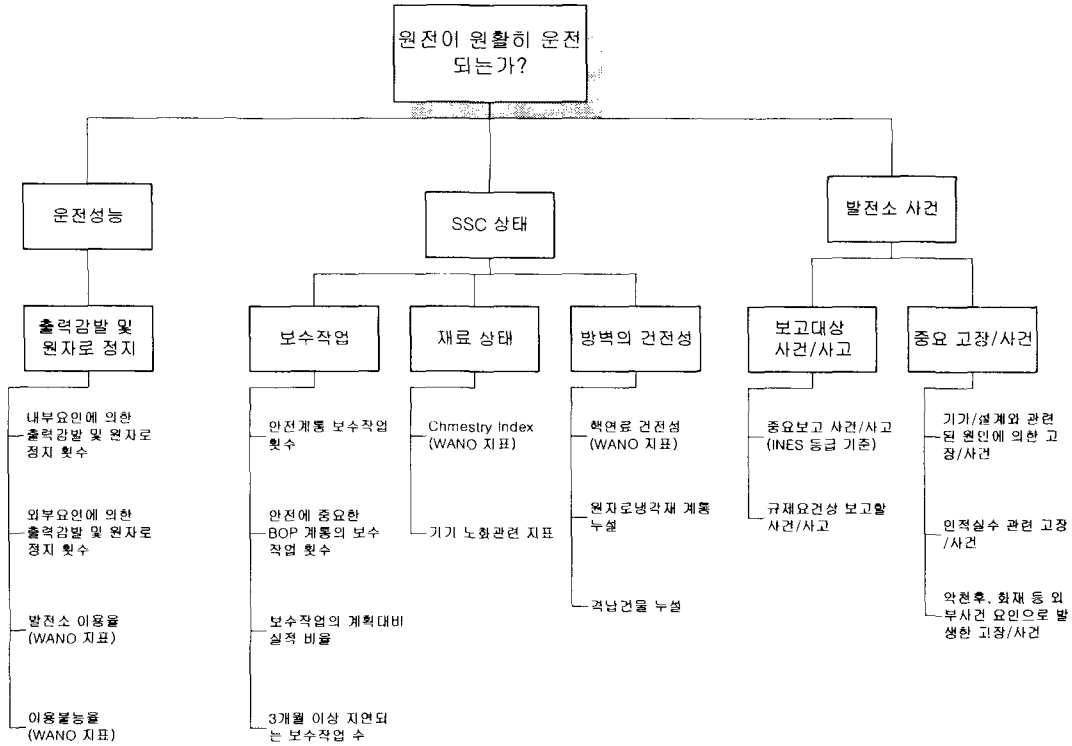
하면 높은 수준의 안전성은 좋은 설계, 운전안전성, 인적 성능(human performance)의 상호작용의 결과이며, 이중 하나에만 초점을 맞추는 것은 비효율적이며 오도되기 쉽다고 본다.

원전의 안전성은 몇 개의 지표로 측정할 수 있는 것이 아니며 다양한 요인들의 집합체이다. 그러므로 그 안전을 나타낼 수 있는 요인들을 정하여 그것을 모니터하고 측정하여 운전원들이 이를 통해 안전수준을 추론하도록 한다는 것이다. IAEA의 방법론은 ‘원자력안전성능’이라는 개념을 상정한다(IAEA, 2000). 그리고 원전이 안전하게 성능을 발휘하기 위하여 필요한 것들

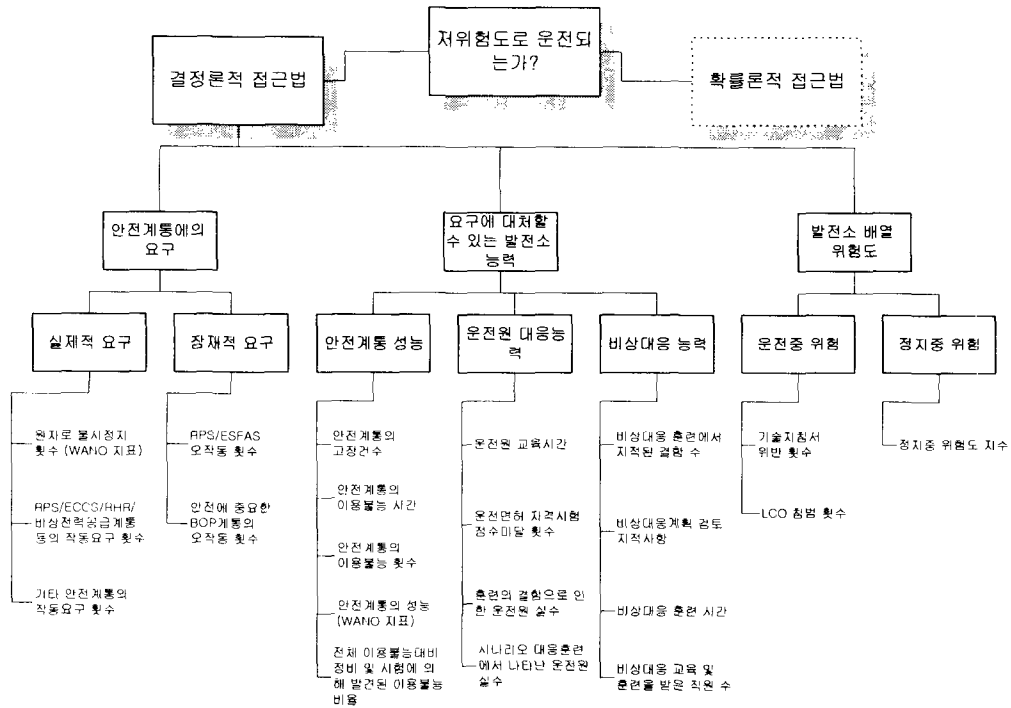
을 운전안전요소(attributes)로 정하고 그것들을 도출하였다. 그것으로부터 전반적 운전안전성능을 나타낼 수 있는 변수(parameter)들을 전반지표(overall indicator)로 도출하고 그 각각에 대하여 하부의 측정이 용이한 변수들을 전략지표로 도출하였으며 그 각각의 전략지표에 대하여 직접모니터하고 측정할 수 있는 변수들을 세부지표(specific parameter)로 도출하였다.

2000년 5월 TECDOC-1141 문서로 발간된 원전의 운전안전 성능지표(Operational Safety Performance Indicators for NPPs)에 의하면 원전의 운전안전성을 첫째, 원전이 원활하게(smoothly) 운전되는가 둘째, 저위험도로(with low risk) 운전되는가, 셋째 적극적 안전태도를 가지고(with a positive safety attitude) 운전되는가 하는 세 가지로 나타낼 수 있다고 본다. 이 세 개의 요소는 각각 하부의 총괄지표(overall indicators)와 다시 그 하부의 전략지표(strategic indicators)로 나누어지고 그것은 다시 하부 세부지표(specific indicators)로 쪼개어진다(IAEA, 2000).

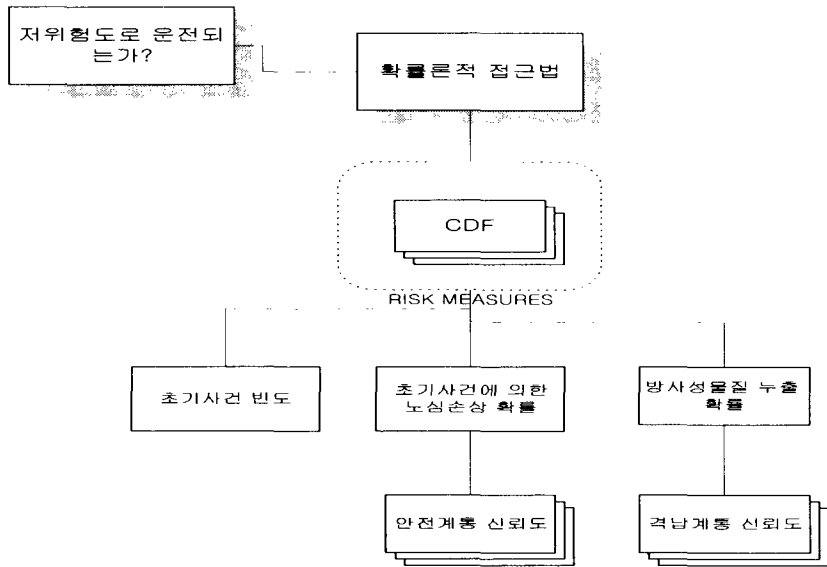
이 지표들에서 보면 조직 및 인적인자와 관련된 지표가 상당 수 포함되어 있음을 알 수 있다.



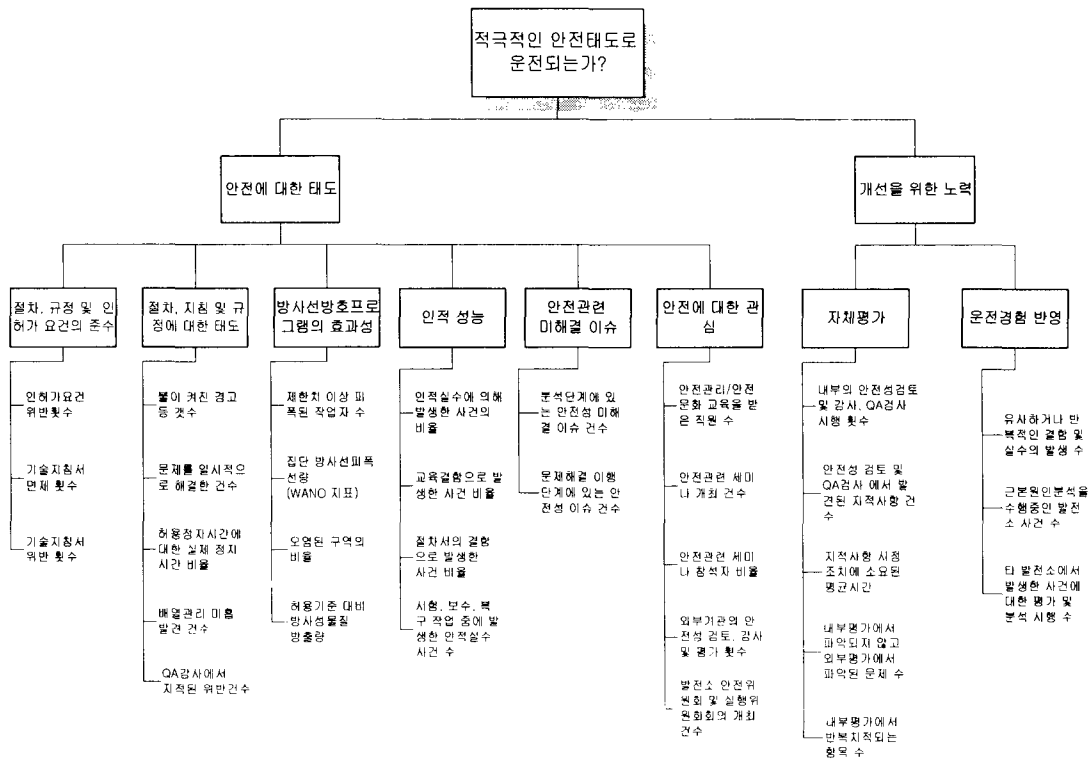
[그림 3.2-1] IAEA의 원전의 운전안전 성능지표(1)



[그림 3.2-2] IAEA의 원전의 운전안전 성능지표(2)



[그림 3.2-3] IAEA의 원전의 운전안전 성능지표(3)

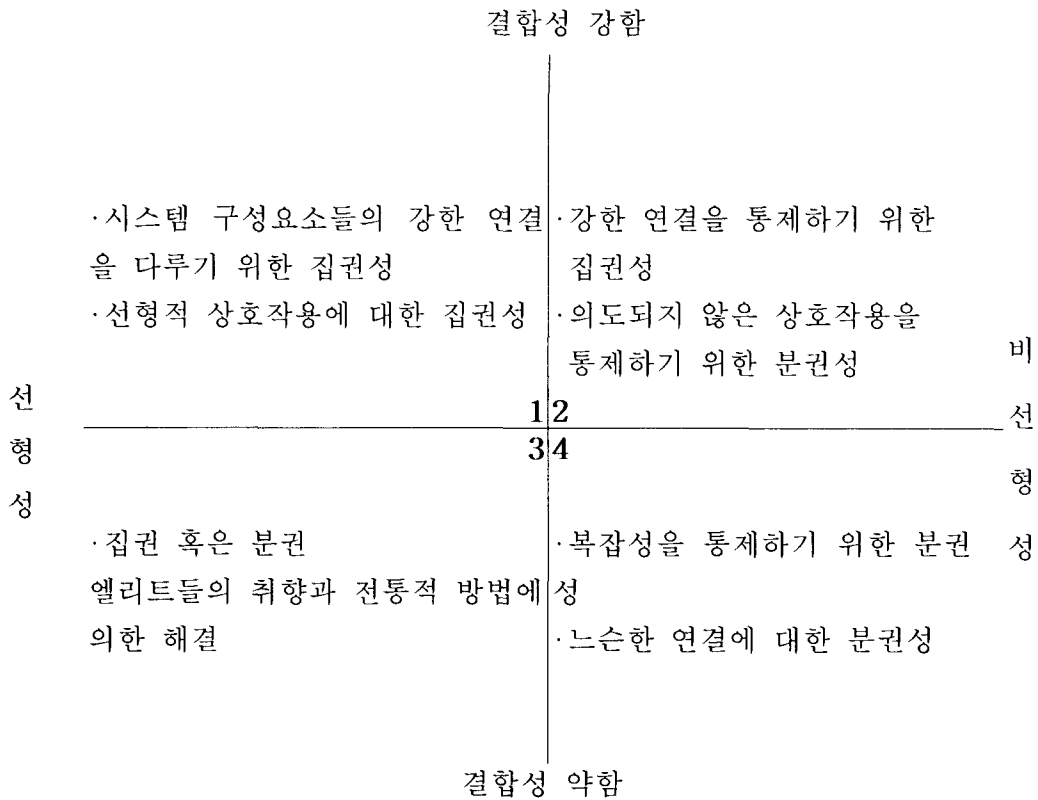


[그림 3.2-4] IAEA의 원전의 운전안전 성능지표(4)

#### 다. 조직학습과 안전문화

조직에 뛰어난 사람이 모여 있더라도 이를 조직화하지 않으면 조직

의 역량을 발휘할 수 없다. 따라서 조직 구성원들 간의 지식의 공유와 학습이 중요한 요인으로 작용한다. 원전 종사자들의 학습이 강조되는 이유는 자동화된 설비가 증가하고 있는 원전의 경우 원전 안전성의 설비에 대한 의존도와 운전원들의 안전성과 관련된 지식의 조화가 중요하기 때문이다(Carroll & Perin, 1995). 그것은 원전에서 발생하는 사고와 그 처리에 대한 특성 때문이다. 이에 대해서 Perrow는 조직의 복잡성과 결합성을 의사결정과 연결시켜 설명하는데(Perrow, 1986), 그에 의하면 강한 결합성은 집권된 의사결정을 요구하는 반면에 복잡성은 분권화된 의사결정을 요구한다고 한다. 이것이 바로 의사결정 구조의 딜레마를 형성하는데 그 상황은 [표3.2-1]에 나타나 있다. Perrow는 특히 강한 결합성과 복잡성이 같이 존재하는 2분면의 문제점을 지적하고 있다. 즉 복잡성은 분권적인 의사결정 구조를 원하지만 강한 결합성으로 말미암아 문제 해결을 위한 올바른 해결책을 이해할 수 있는 사람이 이를 통제해야 한다는 상황에 처하게 되어 있다는 것이다. 대부분의 위험 산업 조직은 2분면 즉 복잡하고 강한 결합성이 작용하는 조직인데, 페로우는 2분면에 해당하는 조직들의 의사결정구조는 상충되는 구조를 가지고 있다는 것이다(Perrow, 1986). 2분면에 속하는 조직들이 순간 닥치는 위험은 공식이나 규칙보다는 선택(choice)과 판단(judgement)에 의해서 나타난다고 한다(Perin & Carroll). 2분면에서 문제해결은 개인의 학습(Carroll & Perin, 1995)과 의사결정이 중요한 역할을 하게 된다.



<표 3.2-1> 시스템의 복잡성 및 결합성에 의한 의사결정 구조

(출처 : Perrow, 1986 : 149)

학습은 기계론적 조직모델에서는 생각기 어려운 문제인데, 기계론적 조직관은 생산성과 능률성을 위해서 설계된 조직이지 학습을 위해 설계된 조직이 아니기 때문이다(Wakins, K. E. & Marsick, V. J., 1993).

조직의 성과를 향상시키기 위하여 조직도 학습할 수 있는 조직이어야 하며, 학습을 통해서 행동의 변화를 모색하고 조직의 긍정적인 변화를 도모하는 데 그 의의가 있다.

조직 학습에 대한 연구는 Argyris와 Schon의 연구에서 시작되는데, 실제와 이론은 본격적으로 결합하려는 시도는 Senge에 이르러서이다.

Senge는 학습조직으로의 다섯 단계의 훈련을 제시하고 있는데 이에 대한 요약은 다음과 같다.(Senge, 1990).

■ 시스템 사고(system thinking) : 사물 현상을 바라볼 때, 개별적 고찰이 아닌 전체적 고찰이 필요하다. 전체 시스템에서 분리된 일면에 초점을 맞추는 경향이 있는데 이것은 근본적 문제를 풀지 못하게 된다.

■ 개인적 숙련(personal mastery) : 개인의 비전을 명확히 하고 이를 지속적으로 심화 확장시키고, 인내심을 기르고, 현실을 객관적으로 보도록 하는 훈련법이며 이는 조직 구성원 개개인의 학습과 조직의 학습을 연결이 중요하다.

■ 정신 모델(Mental Model) : 정신모델이란 세상을 이해하고 행동하는 방법에 영향을 미치는 가정, 일반화나, 심상이다. 이를 훈련하기 위해서는 우리의 내면의 형상이 무엇인가를 외부로 끌어내어 분석하여야 한다.

■ 비전의 공유(Building Shared Vision) 리더십에서 강조된 비전은 조직 구성원들로 하여금 자발적 참여를 가능하게 한다.

■ 팀학습(Team Learning) 자발적 학습은 조직 전체의 성과를 높이기 위해서 구성원들끼리 대화하는 데에서 시작된다. 조직을 구성하는 개인의 학습이 조직의 학습으로 전이하는 것이 조직 학습에 있어서 중요한 문제이다.

조직은 개인들로 구성되어 있기 때문에 개인의 학습이 조직의 학습으로 전이되는 것은 매우 중요한 문제가 아닐 수 없다. Kim은 조직 구성원들의 학습이 조직 학습으로 전이되는 과정에 대한 모델을 제시하고 있다. 이러한 모델이 중요한 것은 인간의 조직에서의 행동에 대한 이해와 가정이 되는 정신모델(mental model)을 밖으로 드러내어 조직 구성원들의 상황적이고 분절된 학습을 줄이고 전이기제(transfer mechanism)를 향상시킬 수 있다고 한다(Kim, 1993).

사고를 통한 조직 학습이 중요한 것은 조직의 지식과 노하우는 궁극적으로 개인의 머리 속에 있고, 조직에 존재하지 않는다. 심지어 컴퓨터

시스템이나 문서에 기록되어 있는 정적 메모리(static memory)보다 사람이 더 중요하고(Kim, 1993), 인적 관리에 대한 중요성은 이러한 측면에서 중요하다. 즉, 원전에 대한 제반 사항에 대한 지식을 가지고 있던 종사자가 원전을 퇴직하거나 그만두게 된다면, 퇴직한 사람이 가지고 있던 지식의 보충은 어려움을 겪을 수밖에 없으므로, 지식의 공유가 이루어져야 하는 것이다.

조직의 복잡성을 예측하기 어려운 또 하나의 커다란 장애 요인은 조직 문화(organization culture)가 바탕에 자리 잡고 있다(Frost, 1991). 문화란 조직 구성원들의 기본가정으로서 어떤 문화에서는 당연히 받아들이는 행위가 다른 문화에서는 금기시 되는 것은 문화의 영향이다. 원자력 발전소의 경우에도 각 발전소 보유 국가와 한 나라의 발전소에서도 발전소마다 그 조직의 문화가 차이가 있다.

또한, 동일 조직에서도 각자의 전공 및 조직 계층상에서의 위치에 따라 사회를 바라보는 기본 가정이 다르다. Schein은 이러한 문화적 차이로 인하여 조직학습이 제대로 이루어지지 않는다고 지적한다(Schein, 1996).

조직의 문화를 연구하기 어려운 이유 중에 하나도 그것은 인간의 내면 깊숙이 자리 잡고 있는 것이기에 밖으로 드러내는 것이 매우 어렵다.

조직의 복잡성과 관련되는 문제는 조직이 해결하려하는 문제나 달성하려는 목표자체가 매우 복잡하다는 데에서 기인하는 경우도 많이 있다. 대부분의 조직은 복수의 목표를 가지고 있으며, 이러한 목표의 분석이 가능하고, 조직 관리에 대한 해답을 추구한다(이창순, 1994).

조직의 복잡성은 인간으로 하여금 제한된 합리성(bounded rationality)에 입각하여 의사결정을 내릴 수밖에 없으며, 복잡한 구조를 가진 조직에서의 피상적인 대안은 한계를 가질 수밖에 없다(Sterman, 2000). 따라서 조직 문제에 대한 시스템적 사고와 문화에 대한 이해가 필요하다.

### 제 3 절 모델의 개요

#### 1. 연구의 분석틀

원자력 발전소의 경우는 경제성과 안전성을 동시에 추구한다는 특징을 가지며, 잠재적으로 내포된 위험은 원전의 문제를 시행착오(try and error)로 해결하기 어렵다. 이런 조직적 특성으로 인해서 Carroll은 시스템적 접근을 통해서 문제 접근법을 제시한다.(Carroll, 1998) Carroll의 연구에서는 이런 특성으로 조직 학습에 대해서 자원, 활동, 절차와 산출물의 피드백 구조를 이루는 연구의 분석틀을 제시하여, 원전을 분석하였다(Carroll, 1998 ; Pfeffer & Salancik, 1978).

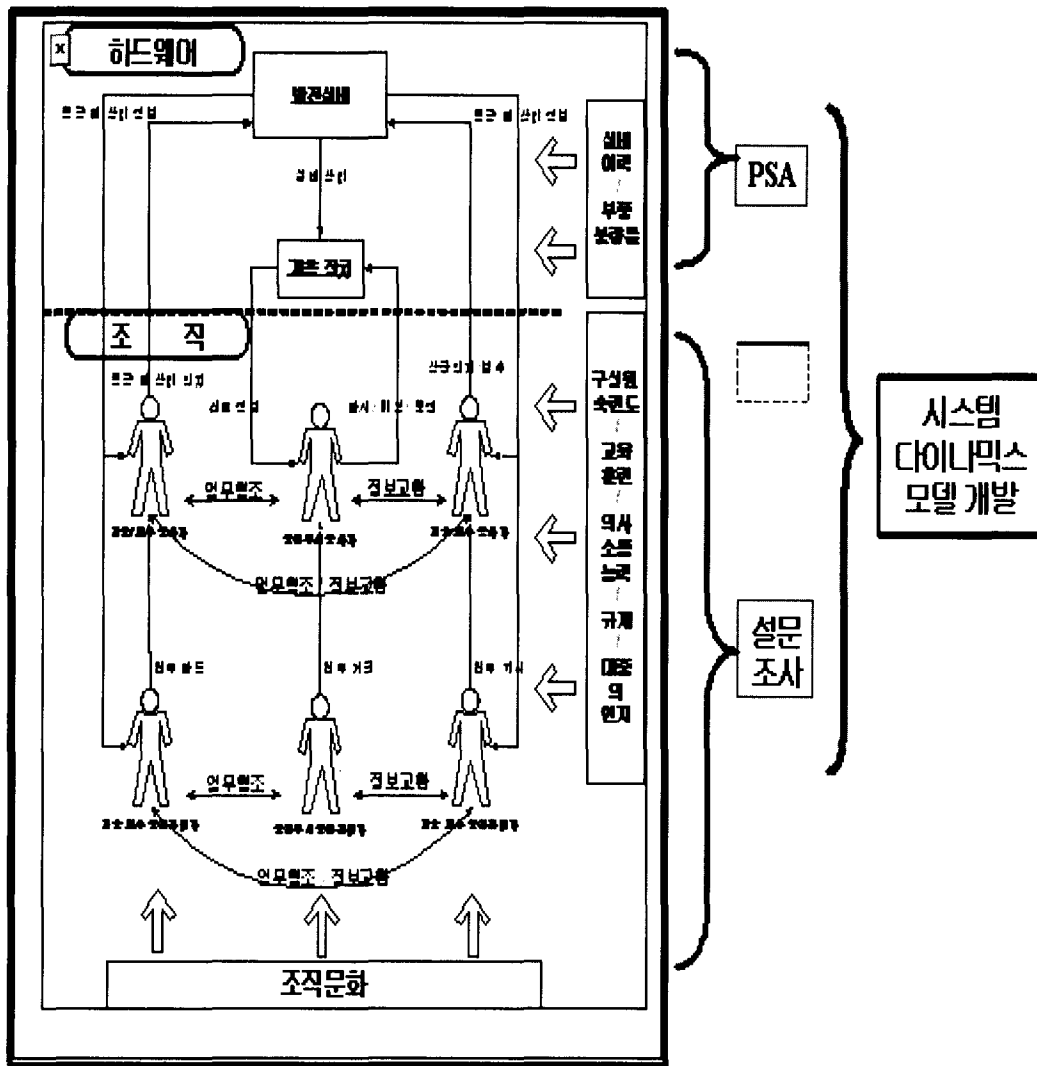
기존의 연구가 주로 하드웨어에 초점을 맞추었다면, 본 연구는 이를 확장하여 조직 수준에까지 영역을 넓혔다고 할 수 있다. 하드웨어는 하드웨어의 설비상태나 이력, 부품의 불량률과 관련이 깊으며, 인간의 오류를 포함하더라도 MMI에서의 연구가 주 대상이었다.

전술하였듯이 인적 오류의 주요 원인으로서는 지식, 규칙, 업무량이 주요 원인인데, 이러한 것들의 상당부분은 조직적 수준에서 발생하고 제공된다. 즉 조직적 수준에서 지식 향상을 위한 교육 훈련, 규칙준수에 대한 조직 문화, 업무량 관리를 위한 직원들의 생산성 관리 이밖에도 상호 업무 협조, 정보교환 의사소통능력 등의 문제는 조직적 수준에서 제공된다고 보아도 무방하다. 본 연구의 초점은 주로 조직 수준에 맞추었다.

그리고 이를 모델링 하기 위해서 설문 및 인터뷰가 이루어졌으며 최종적으로는 시스템 다이내믹스 모델을 개발하였다.

안전문화는 구성원의 사기 및 비공식적 관행을 포괄하는 광범위한 개념이므로 모델에서는 태도, 사기 등의 용어로 전환되어 부분적으로 표현하였다. 이는 정량화 모델에서 정량적으로 표현하여 수용가능한 정도로써 결정된 것이다.





[그림 3.3-1] 연구의 분석틀 개요

## 2. 조직의 구분 및 시스템경계의 설정

일반적으로 원자력 발전소의 조직 모델을 만들 때, 원자력발전소(한수원(주) 및 타 발전소), 규제기관, 지역주민, 일반국민 등으로 구분으로 구분할 수 있다.

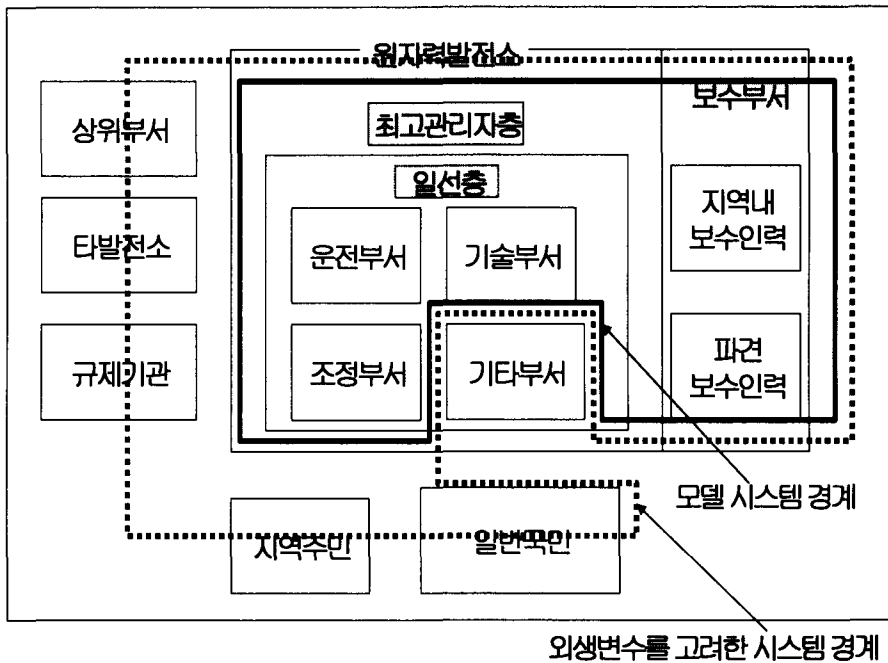
이러한 조직 중 어디까지를 모델에 포함시키는가의 문제는 문제의 특성은 물론 모델의 활용 방안 등을 검토한 후에 결정된다.

본 모델에서는 원자력 발전소와 관련된 부분을 경영부문, 운전부문, 기술부문, 조정부문, 보수회사, 기타 부서로 나누었는데, 본 모델에서는

[그림 3.3-2]에 나타난 바와 같이 시스템의 경계를 정하고 모델에 포함시키는 범위를 결정하였다.

즉 모델은 원전의 안전성의 관련이 있는 보수부서, 기술부서, 조정부서, 운전부서를 중심으로 모델을 개발하며 이외의 부서는 시스템 경계 밖의 사항으로 처리한다.

타 발전소나 상위부서, 지역 주민들의 영향에 대해서는 일부 포함하여 모델을 설정한다.



[그림 3.3-2] 모델에서의 시스템 경계

모델에서 조직의 범위는 기능적으로 구분하였다. 즉, 부서이름을 통해서 모델링을 하기 보다는 기능을 통한 모델링을 함으로써 시간이 지나도 해당 기능이 존재한다면 이에 대한 자료 취득 및 모델의 변형이 용이할 것이다. 그렇지 않고 부서 이름 위주의 모델은 부서의 변경시마다 변경해야 하는 번거로움과 비용을 발생시킬 것이다.

### 3. 모델의 구조

이러한 분석틀과 시스템 경계로 만들어질 모델의 구조는 [그림 3.3-3]와 같은 구조를 갖는다.

시스템 다이내믹스로 개발되는 모델에는 입력변수와 환경변수, 출력변수가 모두 반영되나, 의사결정과 관련된 변수에 대해서는 그 값을 조정하도록 하여 최종 결과물에 미치는 영향을 살펴볼 수 있는 구조를 갖는다.

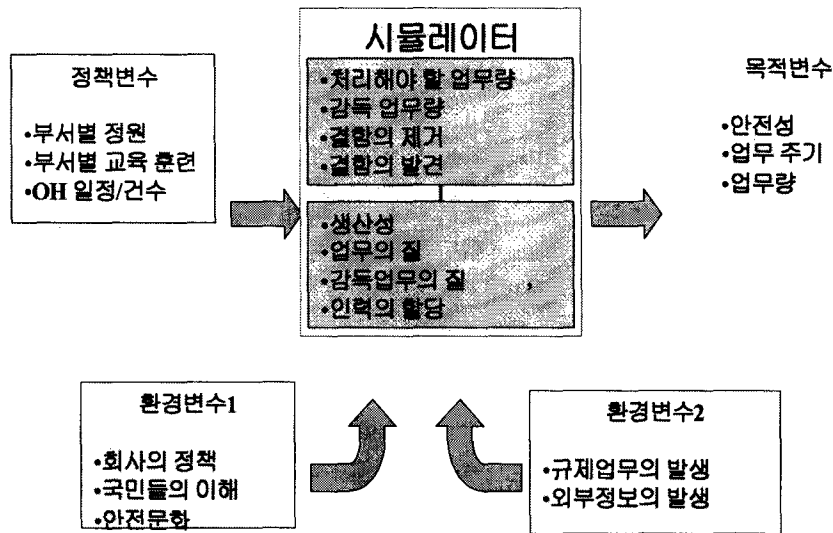
모델의 내생변수는 아니지만 발전소의 안전성과 관련이 있는 이른바 환경 변수들도 입력이 가능하도록 모델을 설계하여 상황에 맞는 입력값을 모델에 반영할 수 있도록 하였다.

연구결과물로서 얻어지는 모델은 모델을 통해 얻은 결과물을 다시 조정하여 입력값을 조정할 수 있다. 그리고 의사결정에 대한 전략을 수정해 볼 수 있으며, 또한 입력변수를 포함한 환경변수들에 대한 민감도 분석을 통해서 최종 결과물에 미치는 영향의 정도를 살펴볼 수 있도록 구성된다.

모델의 구성은 사용자의 목적에 맞게 개략적으로 미리 설계를 해 놓고 Stock & flow Diagram을 만들면서 수정하고 개선하여 최종적으로 확정한 것이다.

사용자는 모델의 내부구성과 구조에 신경 쓰지 않더라도 입력변수와 결과변수에 주목하여 자신의 전략을 컴퓨터상에서 실행시킬 수 있다.

정책변수는 입력변수로서 PSR에서 요구하는 사항과 관련된 변수가 주를 이루며, 영향변수는 안전성 변수이다. 환경변수로는 PSR에서는 요구하지 않으나 모델의 경계에 포함되지 않는 변수에 대한 외생변수들의 모음이라고 할 수 있을 것이다.

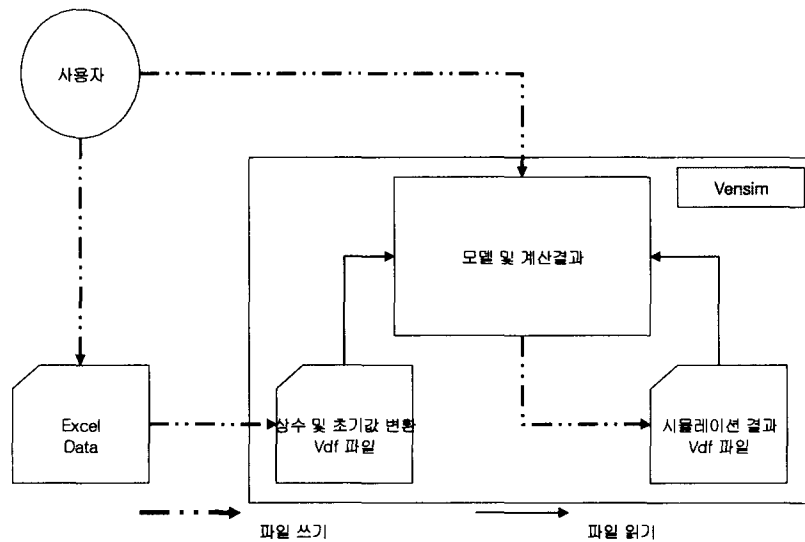


[그림 3.3-3] 모델의 시뮬레이터 구성

외생변수에는 검증을 위한 실패데이터가 있는데 실제의 데이터를 excel 파일로 만들어서 vensim에서 이를 읽어 와, 이를 vdf(vensim data file)로 변환한 뒤 모델에서 사용한다. 또한 사용자가 외생변수를 엑셀 (MS-Excel)에 입력하여 모델에서 이를 읽을 수도 있으며, 사용자가 직접 모델에 입력할 수도 있다.

입력된 자료를 이용하여 모델이 계산을 실행하면 계산 결과는 다시 vdf(vensim data file)형태로 저장이 되는데, 그래프 및 테이블은 vdf 파일을 읽어서 사용자에게 보여준다.

일반적으로 vensim에서는 시뮬레이션의 시나리오를 data set이라고 부르는데 data set 하나에 하나의 vdf 파일이 생성되므로 data set 파일을 동시에 불러오면 시나리오 간의 결과 비교(benchmark)를 할 수 있는 것이다.



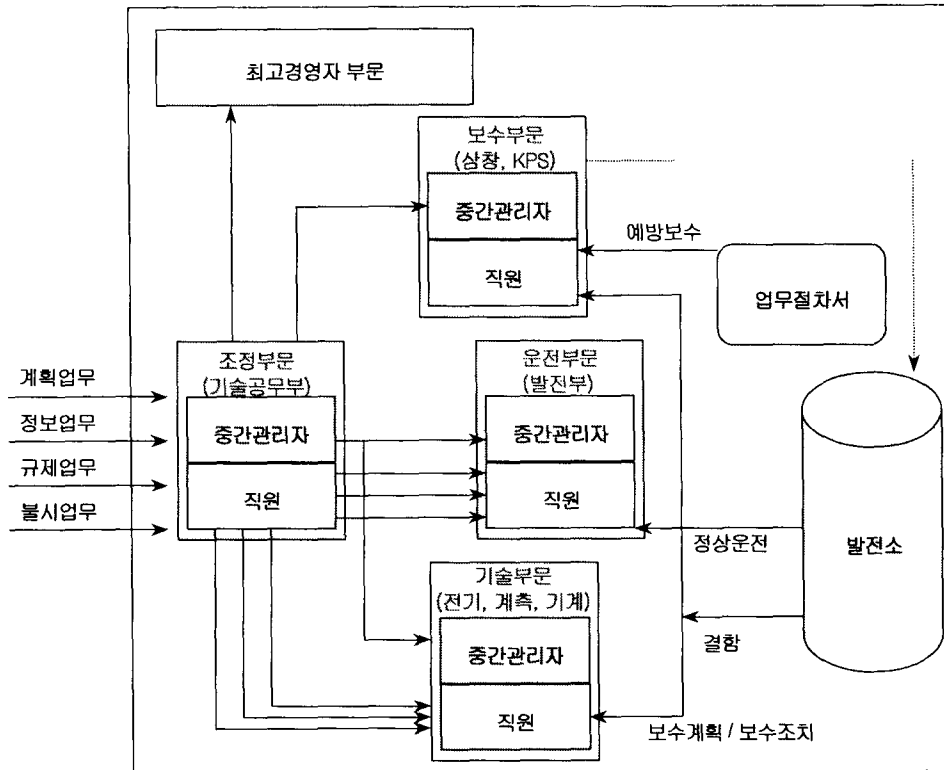
[그림 3.3-4] 모델에서의 데이터 파일의 생성과 읽기

#### 4. 모델의 개관(model overview)

모델의 논리적인 최종 구조는 [그림 3.5-5]와 같다. 모델을 구성하는 하위단위 변수 값을 변화시키면 모델 구조도에 나타난 화살표의 흐름에 따라 다른 하위단위 변수값이 변화되며, 궁극적으로 모델에서 정량화된 안전성이 시간의 흐름에 따라 어떤 영향을 받는가를 파악할 수 있다.

[그림 3.5-5]에서 볼 수 있듯이 발전소의 결함 사항이 보수와 관련된 업무를 발생시키는 반면에 불시업무, 정보업무, 규제업무 등은 외부에서 발생하는 구조를 갖도록 설계하였다.

업무의 처리는 해당 업무를 수행하는 부서에서 수행이 이루어지며, 각 부서에서는 해당 부서원의 계층에서 수행하는 업무 활동에 의해서 처리가 이루어지는 구조를 갖는다.

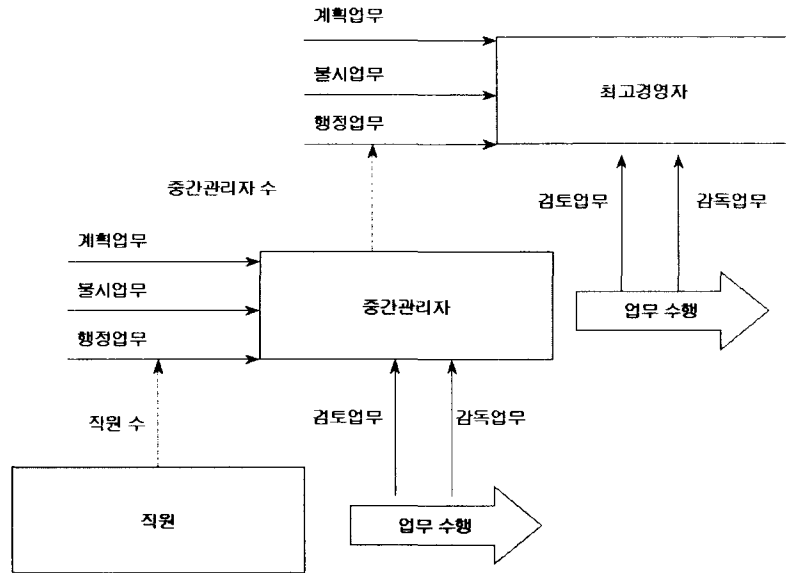


[그림 3.3-5] 모델에서의 계층간 업무의 흐름

모델은 발전소의 안전성에 영향을 미치는 요인으로 보수부서에서 결함을 제거하는 업무를 실시하는데 만약 결함의 제거가 제대로 이루어지지 않거나 생산성이 낮다면 발전소 상태가 나빠지게 될 것이라는 가정을 모델은 포함한다. 이러한 가정 아래 발전소의 상태가 악화된다면 발전소의 하드웨어는 더 많은 결함을 발생시킬 것이며 이는 기술부서, 운전부서, 보수부서에 더 많은 일을 발생시킨다는 구조를 보여준다. 업무에는 발전소의 결함으로 인한 업무뿐만 아니라 계획, 정보, 규제, 불시업무와 같이 외부에서 발생하는 업무 그리고 업무절차서를 개정하는 업무 등을 포함하였다.

한 편 수직적인 계층 간의 업무를 살펴보면 [그림 3.3-6]과 같다. 직원이 해당 업무를 수행하게 되면, 중간관리자층은 이에 대한 검토와 감독에 대한 작업이 발생하게 된다. 중간관리자층의 업무 수행은 다시 최

고경영층의 업무 발생과 연결되고, 이는 최고경영층의 검토 및 감독 업무를 발생시키는 상호 연결된 구조를 갖는다

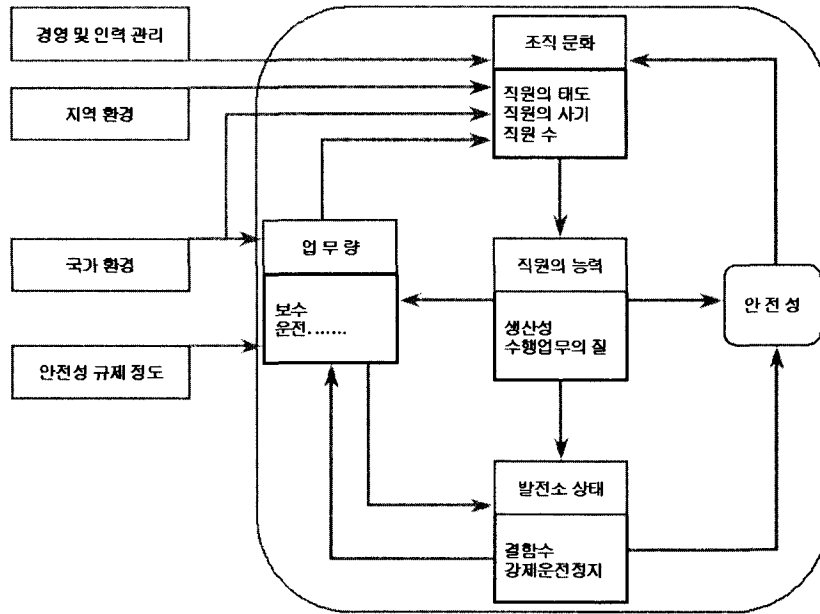


[그림 3.3-6] 수직적 구조의 업무

한편 [그림 3.3-7]에서 보는 바와 같이 구성원의 속성 즉, 생산성 및 업무의 질 사기와 관련된 변수들의 영향관계는 업무량이 태도와 사기 등에 영향을 미쳐 이는 다시 직원의 생산성 및 업무 수행의 질을 향상시키거나 떨어뜨려 다시 업무량에 영향을 미치는 구조로써 이루어 졌다.

결함이 일정하게 발생한다고 가정할 경우 업무 처리 능력이 높을 경우에는 누적된 업무량이 줄어드는 반면에 업무 처리 능력이 낮을 경우에는 누적된 업무량이 증가하게 된다. 누적된 업무량 중에 처리해야할 결함 등은 발전소 상태에 직접적인 영향을 미치게 되어 안전성에 영향을 미치는 구조를 갖는다.

구성원의 생산성은 또한 상급 기관의 경영정책, 지역적 환경, 규제외 강도, 국가의 환경에 의해서도 영향을 받으나 모델에서는 이를 외생변수로 처리하였다 환경에 의해서도 영향을 받으나 모델에서는 이를 외생변수로 처리하였다.



[그림 3.3-7] 구성원 속성들 간의 관계

본 모델은 크게 시스템 다이내믹스 부분과 외장함수 부분으로 구성이 된다. 시스템 다이내믹스 부분은 앞서 설명한 것과 같이 조직을 중심으로 이루어졌다. 즉, 수평적으로는 보수부서, 기술부서, 운전부서, 조정부서에 대한 모델과 수직적으로 일선 직원, 중간관리자, 최고관리자의 역할이 모델화 되어 있다.

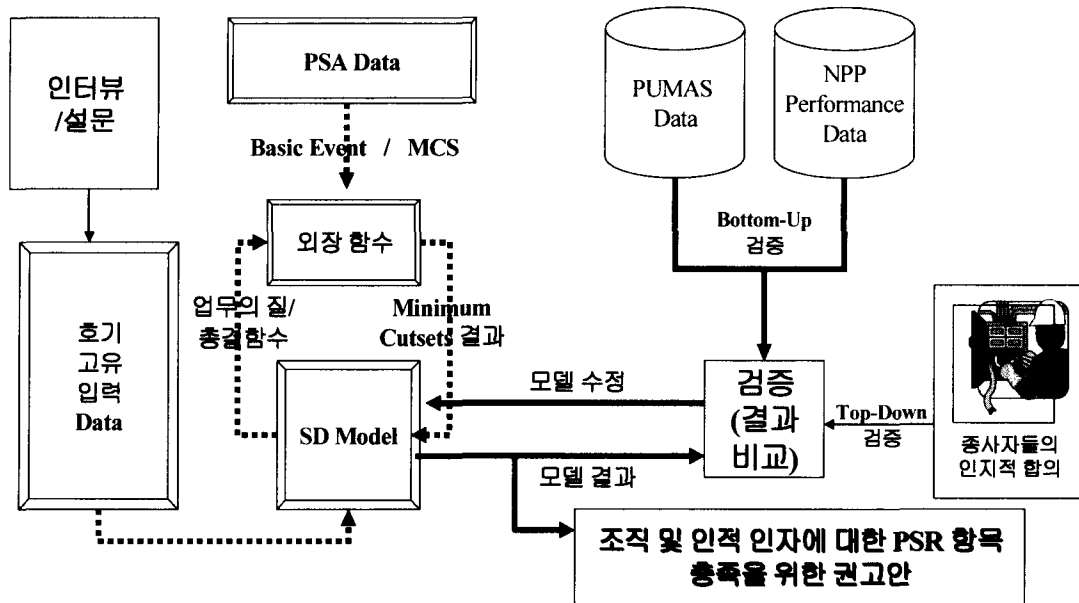
모델에 들어가는 입력 자료는 크게 세 가지 자료가 입력된다.

첫째, 인터뷰 및 설문 조사에 의한 자료이다. 이는 대부분이 정성적 자료이지만 정량화를 위하여 숫자화 시켜 모델에 반영한다. 즉, 설문의 방법으로 사용되는 5점척도 기법으로 중요 요인을 선정하기도 하며, 필요에 따라서는 가중치를 부여하기도 한다. 자료의 형태는 비율척도(ratio scale), 등간척도(interval scale), 서열척도(ordinal scale) 중에서 서열척도가 상당수를 차지하고 등간척도도 다수 존재한다.

둘째, 안전성 계산을 위한 PSA Data를 받아들인다. 이는 외장함수를 통해서 계산하여 계산된 결과를 시스템 다이내믹스 모델에 반영시킨다.

셋째, 정량적인 데이터로써 PUMAS 자료 등이다. 이는 비율척도로써 차후에 모델의 검증과 깊은 관련이 있다.





[그림 3.3-8] 모델의 구조

모델은 다양하게 구분할 수 있지만 업무, 정원조정, 업무에 대한 인력할당, 생산성, 사기, 업무의 질, 교육훈련, 하드웨어 관련 사항, 발전소의 예방정비로 구분할 수 있을 것이다. [그림 3.3-9]는 벤심 소프트웨어의 작업창으로써 모델작성에 대한 창을 보여준다.



다. 인터뷰의 대상자들은 고리 1발전소와 고리 2발전소의 실무자를 상대로 3차에 걸쳐 이루어졌다.

인터뷰의 진술에 따라 모델의 개발자는 조직 및 인적인자를 파악하고 이들의 영향관계에 대한 Causal Loop Diagram을 개발하며, 이를 인터뷰 대상자들과 함께 다시 수정하여 개선해 가는 과정을 거친다.

인터뷰에 대한 질의는 Carroll의 분석틀을 따라 실시되었다. Carroll의 경우 원전의 성과를 유지하기 위한 자원과 활동, 이를 처리하는 과정과 이를 통한 최종 산출물의 단계로 구성된다. 질문의 내용의 개요는 <표 3.4-1>에 나타나 있다(Carroll, 1998).

<표 3.4-1> 인터뷰 질문의 개요

|                           |   |  |
|---------------------------|---|--|
| <b>자원<br/>(Resource)</b>  | 인력, 설비<br>권한,<br>법적책임<br>정보, 절차<br>문화<br>Mental Model<br>시간, 자금 등   | -인력의 구성은 적절한가?<br>-적정인원 및 배경<br>-설비는 얼마나 노후화 되었는가?<br>-능력을 가진 사람에게 그 능력을 행사할 수 있는 권한이 적절히 분배되었는가?<br>-열거된 자원의 양과 분포는 어떠한가?                                     |
| <b>활동<br/>(Activity)</b>  | 자기점검<br>회의<br>사고분석<br>작업 후 보고<br>견학<br>상호교류<br>Benchmarking<br>감사 등 | -자원을 어떻게 활용하는가?<br>-어떤 활동들이 이루어지고 있는가?<br>-활동의 강도와 빈도 등은 적절한 수준인가?<br>-활동들 간의 자원활용에 대한 모순은 존재하지 않는가?   |
| <b>절차<br/>(Process)</b>   | 관찰<br>내면화<br>창조<br>행위   | -종사자들의 태도는 어떠한가?<br>-의사결정은 어떻게 진행이 되는가?<br>-종사자들의 관찰의 범위는 어떠한가?<br>-자신의 한계에 대해서 인지하고 있는가?<br>-행위의 목표에 대해서 인지하고 있는가?<br>-내면화는 제대로 이루어 지는가?<br>-갈등에 대한 인식은 어떠한가? |
| <b>산출물<br/>(Outcomes)</b> | 생산, 비용<br>안전성,<br>사기, 명성<br>품질, 일정<br>자질개발 등                        | -산출물의 우선순위는 무엇인가?<br>-보이지 않는 산출물에 대한 관리는 어떻게 하는가?<br>-결과물에 대한 산출의 역추적은 이루어지는가?<br>-산출물의 당위성에 대한 메타분석은 이루어지는가?  |

1단계에서는 인터뷰 결과 High-level 수준에서의 구성요소를 (1)문제 해결능력, (2)외부 정보에 의한 학습, (3)내부 정보에 의한 학습, (4)규제 활동, (5)설비 및 인력에의 투자의 영역을 선정하여 개발하였다.

2단계에서는 고리 1발전소 일선 지원을 대상으로 소프트 변수(soft variables)에 대한 조사를 하였다. 즉, 생산성, 업무의 질과 관련된 요인들의 함수 상관관계를 도출하기 위한 인터뷰가 주요 내용이었다고 할 수 있다.

인터뷰를 통해 얻은 주요 자료의 유형은 다음과 같다.

- 직원 소요 현황
- 각 업무별 발생 빈도/ 시간 할당 비율
- 주기적 예방 정비 기간의 업무별 시간 할당 비율
- 재작업 비율
- 발전부 근무형태
- Overhaul 기간의 역할 분담
- Overhaul 기간 동안 일어나는 발전소의 다양한 업무에 대한 조사
- 기타 발전부 직원들의 의견 수렴
- 기타 PSR 평가에 활용될 수 있는 자료 수집

<표 3.4-2> 조별 근무상태 현황

| 주    | 1        | 2 | 3 | 4 | 5        | 6 | 7 | 8 | 9        | 10 | 11 | 12 | 13       | 14 | 15 | 16 | 17       | 18 | 19 | 20 | 21       | 22 | 23 | 24 |
|------|----------|---|---|---|----------|---|---|---|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|
| 운전조  | 주        | 주 | 주 | 주 | 주        | 주 | 주 | 주 | 주        | 주  | 주  | 주  | 주        | 주  | 주  | 주  | 주        | 주  | 주  | 주  | 주        | 주  | 주  | 주  |
| 운전조A | 근무교대(9주) |   |   |   |          |   |   |   | 현장교육(4주) |    |    |    | 교대근무(7주) |    |    |    | 훈련(4주)   |    |    |    |          |    |    |    |
| 운전조B | 훈련(4주)   |   |   |   | 근무교대(9주) |   |   |   |          |    |    |    | 현장교육(4주) |    |    |    | 교대근무(7주) |    |    |    |          |    |    |    |
| 운전조C | 근무교대(7주) |   |   |   | 훈련(4주)   |   |   |   | 근무교대(9주) |    |    |    |          |    |    |    | 현장교육(4주) |    |    |    | 근무교대(7주) |    |    |    |
| 운전조D | 근무교대(7주) |   |   |   |          |   |   |   | 훈련(4주)   |    |    |    | 근무교대(9주) |    |    |    |          |    |    |    | 현장교육(4주) |    |    |    |
| 운전조E | 현장교육(4주) |   |   |   | 근무교대(7주) |   |   |   |          |    |    |    | 훈련(4주)   |    |    |    | 근무교대(9주) |    |    |    |          |    |    |    |
| 운전조F | 근무교대(9주) |   |   |   | 현장교육(4주) |   |   |   | 근무교대(7주) |    |    |    |          |    |    |    | 훈련(4주)   |    |    |    | 근무교대(9주) |    |    |    |

<표 3.4-3> 조별 근무교대 방법

|      |                |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |
|------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      | 1일             | 2일 | 3일 | 4일 | 5일 | 6일 | 7일 | 8일 | 9일 | 10일 | 11일 | 12일 | 13일 | 14일 | 15일 | 16일 |
| 운전조A | D              | D  | D  | D  | x  | E  | E  | E  | E  | x   | N   | N   | N   | N   | x   | x   |
| 운전조B | 원자력 연구원 훈련(4주) |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 운전조C | E              | x  | N  | N  | N  | N  | x  | x  | D  | D   | D   | D   | x   | E   | E   | E   |
| 운전조D | 현장 교육(4주)      |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 운전조E | N              | N  | x  | x  | D  | D  | D  | D  | x  | E   | E   | E   | E   | x   | N   | N   |
| 운전조F | x              | E  | E  | E  | E  | x  | N  | N  | N  | N   | x   | x   | D   | D   | D   | D   |

나. 참조함수(Look-Up Function)의 작성

시스템 다이내믹스의 모델에는 소프트 변수(soft variables)가 반영된다. 자료에는 수치적 데이터(numerical data), 기술적 데이터(written data), 멘탈 데이터(mental data)의 3 종류가 있다. 수치적 데이터는 시계열 자료가 대부분 여기에 속하며, 기술적 자료는 조직도, 출판 기록물 등이 여기에 속한다. 멘탈 데이터는 감정, 이야기, 시스템에 대한 이해를 포함한다. 수치적 데이터는 이를 행렬식이나 그 밖의 수치적 조작이 쉽게 이루어져 하드 데이터로 부를 수 있는데, 반면에 경험, 사기 상급자와 하급자 사이의 신뢰 등과 같이 수치적으로 표현하기 어려운 데이터는 소프트 변수라고 부른다(Sternan, 2000).

<표 3.4-4> Look-Up 함수 조사 내용 요약

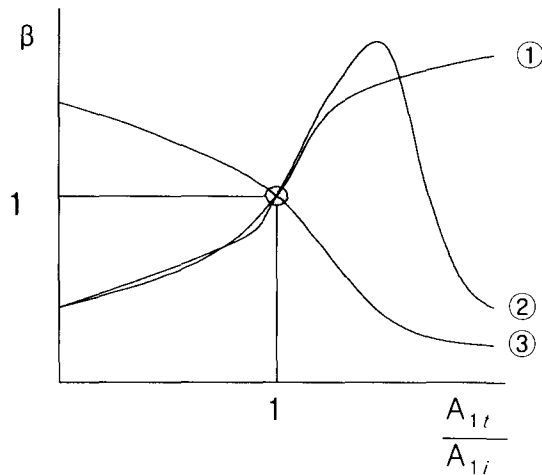
| 부서                  | 조사수 | 조사 내용  |  |
|---------------------|-----|--|--|
|                     |     | 직원   | 중간관리자  |
| 조정부서<br>(기술공무부)     | 10  | - 결함발견 확률 근무<br>태도 함수<br>- 생산성 영향 함수<br>- 교육 효과 함수 등 | - 중간 관리자 감독<br>업무량 요인 함수<br>- 사기 영향 함수<br>- 업무 협조 생산성<br>영향 함수 등 |
| 운전부서<br>(발전(운영)부)   | 10  |  |  |
| 기술부서<br>(기계/전기/계측부) | 10  |  |  |
| 보수부서<br>(한전기공/삼창)   | 10  |  |  |

시스템 다이내믹스는 측정이 어렵지만 모델의 인과구조를 형성하는데 중요한 요인인 소프트변수를 정량화하여 이를 처리한다. 소프트 변수의 영향관계에 대한 수식은 주로 참조함수(look-up function)로 정의되어 지며, 이는 발전소의 직원들과의 인터뷰를 통해서 직접 얻었다.

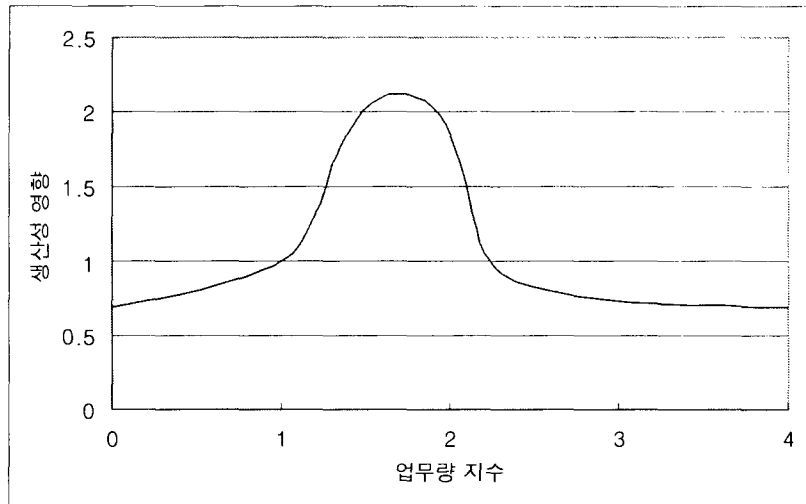
참조함수의 구조는 x축은 주로 영향 변수의 t 시점에서의 normalized된 상태량이며, y축은 영향 계수(1을 중심으로 분포함)이다.

$$y(\text{영향계수}) = f\left(\frac{A_{1t}}{A_{1i}}\right)$$

참조 함수의 모양은 다양하지만 ① 정의 관계에 있는 형태 ② threshold 포인트를 갖는 형태, ③ 부의 관계에 있는 형태로 정리할 수 있다. 어느 형태를 취하든 모델에서는 1의 점을 통과하도록 함수를 만들었다. 즉 현재의 상태와 초기상태가 같다면(x의 값이 1이라면) y값인 영향계수가 1이 되며, 이는 현재 영향 수준은 초기상태와 동일하게 작용한다는 의미이다.



[그림 3.4-1] 참조함수의 작성과 형태



[그림 3.4-2] 중간관리자의 업무량 지수와 생산성과의 관계

위의 그래프는 중간관리자의 업무량 지수에 따른 생산성에의 영향관계에 대한 그래프이다.

이러한 그래프의 작성은 종사자들의 의견을 반영하여 작성을 하였다. 그러나 운전원의 업무량 지수는 종사자들의 의견을 반영한 결과 모델의 결과에 왜곡을 시키는 결과를 일으켜 이를 x축의 범위를 넓게 하여 합당한 결과가 나올 수 있도록 함수를 수정하였다.

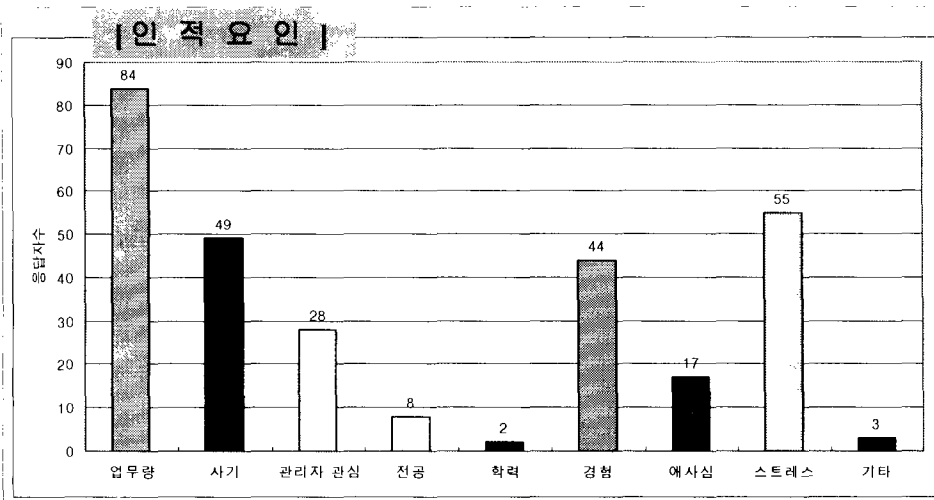
## 2. 설문 실시

### 1) 1단계 설문조사

인터뷰를 통해서 얻지 못한 조직 및 인적 인자의 영향 인자를 도출하고 영향관계를 보충하기 위하여 설문을 실시하였다.

- \* 설문 대상 : 고리 1,2발전소 종사자 대상
- \* 설문 부수 : 98부
- \* 설문 내용 : 종사자의 시간할당 및 조직 및 인적인자에 대한 관심

설문의 목적은 조직 및 인적인자가 안전성에 미치는 영향에 대한 종사자들의 인식을 살펴보기 위해서이다(Carroll & Sachi, 2000 ; Carroll, Rudolph & Sachi, 2000). 설문이 원전의 안전성과 관련된 조직 및 인적인자에 대한 구조가 직접적으로 나타내지는 않지만, 설문 결과를 통해서 인과관계에 대한 논리적 구조를 연결할 수 있다. 먼저, 원전의 안전성과 관련된 인적인자들의 우선순위에 대한 원전 종사자들의 응답에 대한 빈도분석의 결과를 살펴보면 [그림 3.4-3]과 같다.

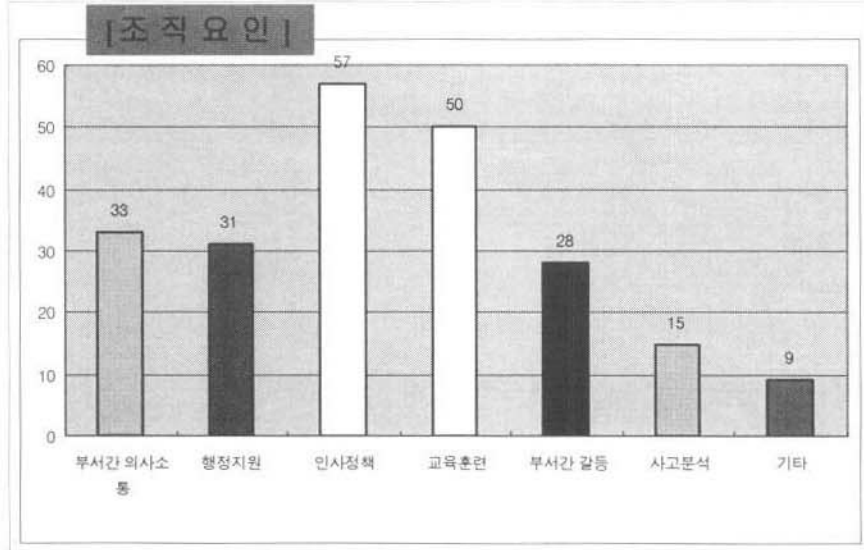


[그림 3.4-3] 안전성에 영향을 미치는 인적 요인(빈도분석)

원전의 안전성에 미치는 인적 요인으로 발전소 종사자들은 업무량에 가장 많은 응답을 하였다. 이는 앞에서의 간섭이론에서 제시한 업무량에 의해서 사고의 간섭이 일어날 수 있는 상황과 유사하다고 볼 수 있다. 그 다음으로 스트레스와 사기가 중요한 요인으로 선택되었다.

안전성에 대한 조직요인에 대한 결과는 [그림 3.4-4]에 나타나 있다. 조직 요인은 회사의 정책과 관련된 요인으로서 인사정책, 교육훈련 의사소통의 순으로 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 설문 결과를 이론적 토대를 통해 Causal Loop Diagram으로 재구성하고 보다 상세하게 나타내었다.





[그림 3.4-4] 안전성에 영향을 미치는 조직요인(빈도분석)

#### 나. 안전성에 대한 인식에 영향을 미치는 요인

원전 종사자의 안전성에 대한 인식적인 측면을 측정하기 위하여 리커트 5점척도를 사용하여 설문을 실시하였으며, 다음은 그 결과이다.

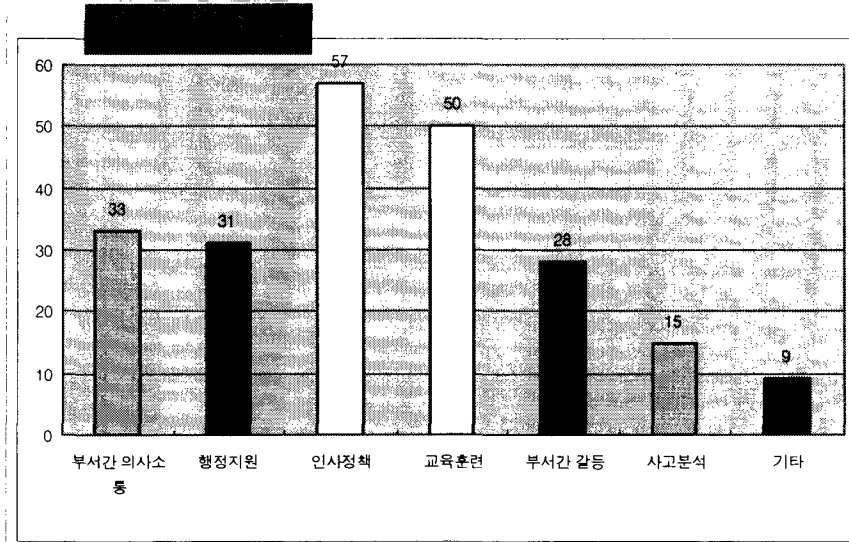
##### (1) 안전성에 대한 인식

<표 3.4-5> 안전성 인식에 대한 설문 결과

| 대분류     | 하위분류             | 평균   | 표준편차 |
|---------|------------------|------|------|
| 원전의 안전성 | 1. 안전성의 우선순위     | 4.57 | .77  |
|         | 2. 업무수행과 안전성의 관련 | 4.51 | .76  |
|         | 3. 안전성 개념에 대한 인지 | 4.53 | .65  |
|         | 4. 안전문화          | 4.03 | .79  |

원전의 안전성에 대한 인식은 응답자의 대부분이 높은 안전성 수준을 유지하고 있는 것으로 인식하고 있는데, 자신들의 업무 수행이 안전성과 연결되고 있음에 대한 인지도는 높은 응답 비율이 나왔다.

응답자들의 상당부분이 원전 안전성에 대해서 높은 평가를 하고 있다.



[그림 3.4-4] 안전성에 영향을 미치는 조직요인(빈도분석)

#### 나. 안전성에 대한 인식에 영향을 미치는 요인

원전 종사자의 안전성에 대한 인식적인 측면을 측정하기 위하여 리커트 5점척도를 사용하여 설문을 실시하였으며, 다음은 그 결과이다.

##### (1) 안전성에 대한 인식

<표 3.4-5> 안전성 인식에 대한 설문 결과

| 대분류     | 하위분류             | 평균   | 표준 편차 |
|---------|------------------|------|-------|
| 원전의 안전성 | 1. 안전성의 우선순위     | 4.57 | .77   |
|         | 2. 업무수행과 안전성의 관련 | 4.51 | .76   |
|         | 3. 안전성 개념에 대한 인지 | 4.53 | .65   |
|         | 4. 안전문화          | 4.03 | .79   |

원전의 안전성에 대한 인식은 응답자의 대부분이 높은 안전성 수준을 유지하고 있는 것으로 인식하고 있는데, 자신들의 업무 수행이 안전성과 연결되고 있음에 대한 인지도는 높은 응답 비율이 나왔다.

응답자들의 상당부분이 원전 안전성에 대해서 높은 평가를 하고 있다.

(2) 조직 요인일반 대한 인식

<표 3.4-6> 조직 요인 일반에 대한 인식 설문 결과

| 대분류   | 하위분류                | 평균   | 표준 편차 |
|-------|---------------------|------|-------|
| 조직 요인 | 1. 조직 요인에 대한 인식     | 4.43 | .82   |
|       | 2. 조직 요인에 대한 회사의 배려 | 3.31 | .86   |
|       | 3. 조직 구조의 적절성       | 3.31 | .86   |
|       | 4. 조직의 안전문화 수준      | 3.84 | .75   |
|       | 5. 발전소 안전 목표에 대한 인식 | 4.15 | .80   |

조직요인 즉 회사의 직무설계 등에 의해서 안전성이 영향을 받는 다는 측면에서 대체적으로 그 중요성은 종사자들에 의해서 인식되고 있음을 알 수 있다. 원전의 안전성에 대한 목표 인식은 높은 상태이나, 상대적으로 원전 조직이 이를 뒷받침하는 것은 낮게 인식하고 있는 것으로 나타났다.

(3)인적 요인에 대한 인식

<표 3.4-7> 인적요인 일반에 대한 인식 설문 결과

| 대분류  | 하위분류             | 평균   | 표준 편차 |
|------|------------------|------|-------|
| 인적요인 | 1. 인적 오류에 대한 인식  | 3.88 | .90   |
|      | 2. 인적 오류의 예방 가능성 | 4.01 | .79   |
|      | 3. 회사 정책에의 영향    | 3.91 | .89   |
|      | 4. 안전 의식의 수준     | 4.37 | .73   |
|      | 5. 인력의 우수성       | 3.66 | 1.00  |
|      | 6. 인적 구성의 적정성    | 3.33 | 1.04  |

인적인자에 영향을 주는 요인으로서는 안전의식의 수준이 가장 큰 요인으로 나타났으며, 인적 오류가 예방될 수 있는 가능성에 대한 인식도 중요한 요인으로 나타났으며, 실제로 가능하다고 인식하고 있음을 보여 준다. 인적 실수에 대한 인식이 개인적 차원에서 뿐만 아니라 회사 수준에서도 발생하고 있음에 대한 인식이 개인의 능력 또는 우수성보다 높게 인식되고 있다.

(4) 외부 환경변화에 대한 인식

<표 3.4-8> 외부 환경변화에 대한 인식 설문 결과

| 대분류                | 하위분류              | 평균   | 표준 편차 |
|--------------------|-------------------|------|-------|
| 직원들의 외부 환경 변화에의 적용 | 1. 외부 환경변화에의 적응력  | 3.77 | .87   |
|                    | 2. 회사차원에서의 변화수용력  | 3.34 | .91   |
|                    | 3. 환경 변화에의 인지     | 3.63 | .89   |
|                    | 4. 외부 환경상태 정보의 공유 | 3.45 | .91   |
|                    | 5. 변화의 인식         | 2.31 | 1.26  |
|                    | 6. 규제활동에 대한 인식    | 4.13 | .95   |
|                    | 7. 국민의 인식 변화      | 3.56 | 1.04  |

외부 환경 변화에 대한 인식은 규제 활동에 대한 인식이 가장 많은 영향을 미치며, 환경변화에 대한 나머지 요인들은 골고루 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다만 변화에 대한 인식과 이에 대한 적응은 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

(5) 조직의 복잡성에 대한 인식

<표 3.4-9> 조직의 복잡성에 대한 인식 설문 결과

| 대분류     | 하위분류              | 평균   | 표준 편차 |
|---------|-------------------|------|-------|
| 조직의 복잡성 | 1. 정보 습득 경로의 다양성1 | 2.91 | 1.00  |
|         | 2. 정보 습득 경로의 다양성2 | 3.01 | .95   |
|         | 3. 의사결정의 단계       | 3.93 | .90   |

조직의 복잡성이 증가할수록 정보 습득이나 의사결정에 많은 영향을 미치는 것으로 일반적으로 받아들여지고 있는데, 의사결정의 단계가 안전성에 영향을 미치는 것으로 원전 종사자들은 인식하고 있다. 현재 정보 습득의 과정은 비교적 일정한 경로를 통해서만이 전달되고 있으나, 의사결정에 대한 과정은 낮은 의사결정 단계를 통해서 이루어지고 있다고 볼 수 있다.

(6) 조직 구성원의 업무에 대한 숙지도

<표 3.4-10> 업무의 숙지도에 대한 인식 설문 결과

| 대분류    | 하위분류                       | 평균   | 표준<br>편차 |
|--------|----------------------------|------|----------|
| 업무 숙지도 | 1. 업무 내용에 대한 인식            | 4.41 | .87      |
|        | 2. 업무 목표에 대한 인식            | 4.42 | .86      |
|        | 3. 업무 내용의 문서화              | 3.63 | 1.19     |
|        | 4. 외부 정보의 습득               | 3.34 | .93      |
|        | 5. 안전성 관련 업무에 대한 관심과<br>처리 | 3.66 | .96      |

종사자들의 업무에 대한 숙지도가 높을수록 안전성에 긍정적인 영향을 미칠 것인데, 자신의 업무와 관련된 내용일수록 안전성에 더 많은 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 종사자들의 대부분이 업무에 대한 인식은 양호한 상태를 나타내고 있는데 문서화와 외부 정보의 습득은 업무와 관련된 것보다 낮은 인식 수준을 나타내고 있다.

(7) 관리자의 리더십에 대한 인식

<표 3.4-11> 관리자 리더십에 대한 인식 설문 결과

| 대분류      | 하위분류               | 평균   | 표준<br>편차 |
|----------|--------------------|------|----------|
| 관리자의 리더십 | 1. 관리자의 안전성에 대한 관심 | 3.54 | 1.09     |
|          | 2. 관리자의 목표 제시      | 3.33 | .90      |
|          | 3. 관리자의 직원 고충처리    | 3.04 | .86      |
|          | 4. 관리자의 직원 고충처리    | 3.29 | .92      |
|          | 5. 관리자의 통솔능력       | 3.11 | .95      |
|          | 6. 관리자의 직원에 대한 관심  | 3.37 | .84      |

관리자의 리더십 또한 영향을 미치는 것으로 나타났는데 관리자들의 안전성 지향 관심과 목표제시가 중요한 요인으로 나타나며, 대체적으로 관리자에 대한 인식은 양호하게 나타나고 있다.

(8) 행정지원에 대한 인식

<표 3.4-12> 행정지원에 대한 인식 설문 결과

| 대분류      | 하위분류             | 평균   | 표준<br>편차 |
|----------|------------------|------|----------|
| 행정부서의 지원 | 1. 행정부서에 대한 인식   | 2.31 | .98      |
|          | 2. 행정적 지원에 대한 인식 | 2.78 | .98      |
|          | 3. 조직 권력         | 3.38 | .98      |

행정부서의 지원은 대체적으로 낮게 인식되고 있는데, 실무조직과 지원조직 간의 상호 입장 이해 및 행정관리에 대한 이해 등이 필요하다고 볼 수 있다.

(9) 의사소통에 대한 인식

<표 3.4-13> 의사소통에 대한 인식 설문 결과

| 대분류  | 하위분류             | 평균   | 표준<br>편차 |
|------|------------------|------|----------|
| 의사소통 | 1. 보고의 빈도        | 3.99 | .74      |
|      | 2. 보고의 개방성       | 3.67 | .88      |
|      | 3. 상향적 의사소통의 정도  | 3.74 | 1.01     |
|      | 4. 부서간의 의사소통의 정도 | 3.60 | .93      |
|      | 5. 부서내의 의사소통의 정도 | 4.09 | .70      |

안전성과 관련하여 의사소통은 부서내의 의사소통에 대한 인식이 우선적으로 인식되고 있다. 비슷한 업무를 수행하는 종사자들간의 의사소통이 우선적으로 인식되고 있으며, 다음은 보고의 빈도로서 원전 종사자들간에 잦은 의사소통이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

(10) 업무처리에 대한 인식

<표 3.4-14> 업무처리에 대한 인식 설문 결과

| 대분류          | 하위분류        | 평균   | 표준 편차 |
|--------------|-------------|------|-------|
| 업무처리의<br>명확성 | 1. 업무의 공개성  | 3.87 | .94   |
|              | 2. 타 업무의 인지 | 3.91 | .77   |
|              | 3. 책임의 명확성  | 4.28 | .65   |
|              | 4. 책임의 감수   | 3.88 | .85   |

업무에 대한 책임 수준에 대한 인식은 높게 나타나고 있으며, 자신의 업무 이외의 타 업무에 대한 인지수준도 높게 나타나고 있다. 타 업무에 대한 인지는 다른 종사자들의 업무에 대한 배려와 이해가 가능하며, 의사소통을 가능하게 할 수 있게 도와줄 것이다.

(11) 의사결정에 대한 인식

<표 3.4-15> 의사결정에 대한 인식 설문 결과

| 대분류  | 하위분류         | 평균   | 표준 편차 |
|------|--------------|------|-------|
| 의사결정 | 1. 의사결정의 공개성 | 3.54 | .81   |
|      | 2. 실행가능성     | 3.51 | .68   |
|      | 3. 부서간의 협조   | 3.75 | .73   |
|      | 4. 안전의 우선    | 3.58 | .94   |

원전에서의 의사결정은 대체적으로 공개인 협조 하에 이루어지고 있다고 볼 수 있다. 그 결정에 대한 실행 가능성도 비교적 양호한 것으로 인식하고 있다.

(12) 조직학습에 대한 인식

개인의 능력을 유지하고 정보교환이 활발히 이루어질 수 있는 조직학습에 대한 인식은 전체적으로 보통의 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 원

전에서 일어나고 있는 일들에 대한 기록도 양호하게 이루어지고 있는 것으로 나타나고 있는데, 개인적 수준에서의 학습은 상대적으로 낮게 이루어지고 있다.

<표 3.4-16> 조직학습에 대한 인식 설문 결과

| 대분류  | 하위분류          | 평균   | 표준 편차 |
|------|---------------|------|-------|
| 조직학습 | 1. 지식의 기록1    | 3.74 | .77   |
|      | 2. 지식의 기록2    | 3.58 | .81   |
|      | 3. 업무의 참조물 비치 | 3.22 | .99   |
|      | 4. 개인 학습의 정도  | 3.12 | .92   |
|      | 5. 원전에 대한 이해도 | 3.14 | 1.65  |
|      | 6. 비전의 공유     | 3.56 | .68   |
|      | 7. 조직의 학습     | 3.35 | .78   |
|      | 8. 안전성에 대한 신념 | 3.34 | 1.64  |

(13) 정보기기의 활용에 대한 인식

<표 3.4-17> 정보기기 활용에 대한 인식 설문 결과

| 대분류      | 하위분류                     | 평균   | 표준 편차 |
|----------|--------------------------|------|-------|
| 정보기기의 활용 | 1. 정보기기의 발전소 안전성 향상에의 기여 | 4.14 | .74   |
|          | 2. 정보기기의 업무에의 활용         | 2.73 | .96   |
|          | 3. 정보기기의 활용능력            | 3.57 | .74   |

정보기기의 활용이 발전소의 안전성에 기여할 수 있을 것이라고 나타났다. 반면에 이에 대한 활용능력이나 활용도는 상대적으로 낮게 나타났다.

(14) 인사 포상과 처벌에 대한 인식

회사의 인사 및 포상에 대한 만족도는 낮게 나타나고 책임위주의 규정이



라는 응답이 상대적으로 높게 나타났다

<표 3.4-18> 포상과 처벌에 대한 인식 설문 결과

| 대분류    | 하위분류          | 평균   | 표준<br>편차 |
|--------|---------------|------|----------|
| 포상과 처벌 | 1. 포상에 대한 만족도 | 2.75 | 1.02     |
|        | 2. 책임 위주의 처벌  | 3.32 | .89      |

(15) 사고분석에 대한 인식

<표 3.4-19> 사고분석에 대한 인식 설문 결과

| 대분류   | 하위분류           | 평균   | 표준<br>편차 |
|-------|----------------|------|----------|
| 사고 분석 | 1. 토론의 공개성     | 3.59 | .82      |
|       | 2. 토론의 심도      | 3.98 | .76      |
|       | 3. 토론을 위한 학습   | 3.81 | .79      |
|       | 4. 근본 원인으로의 수렴 | 2.68 | .95      |
|       | 5. 상급자의 의견 반영  | 2.75 | .97      |
|       | 6. 전공에 의한 해석   | 3.31 | .91      |

많은 문헌에서 사고 분석에 대한 중요성을 강조하고 있듯이 사고 분석이 심도있게 논의되고 있는 것으로 나타났다. 사고 분석은 대체적으로 공개적이며 직위에 의한 의견 교환이 아닌 자유스러운 분위기에서 이루어지는 것으로 나타났다.

(16) 유지보수 활동에 대한 인식

<표 3.4-20> 유지보수에 대한 인식 설문 결과

| 대분류  | 하위분류          | 평균   | 표준<br>편차 |
|------|---------------|------|----------|
| 유지보수 | 1. 사전예방적 유지보수 | 4.39 | .97      |
|      | 2. 유지보수의 감독   | 3.76 | .94      |
|      | 3. 보수의 우선순위   | 3.46 | 1.17     |
|      | 4. 타부서의 협조여부  | 3.93 | 1.11     |
|      | 5. 용역기관의 협조여부 | 3.78 | .79      |

유지보수 중 예방보수에 대한 중요성에 대한 인식이 상대적으로 높게 나타나고 있다. 유지 보수를 위한 타 부서의 협조도 비교적 양호하게 이루어지고 있는 것으로 인식되고 있다. 그러나 보수의 우선순위에 대한 인식은 상대적으로 낮게 인식되고 있다.

(17) 교육훈련에 대한 인식

<표 3.4-21> 교육훈련에 대한 인식 설문 결과

| 대분류  | 하위분류          | 평균   | 표준<br>편차 |
|------|---------------|------|----------|
| 교육훈련 | 1. 정기적 교육훈련   | 3.65 | .93      |
|      | 2. 훈련 기간의 적절성 | 3.36 | .89      |
|      | 3. 교육 훈련의 효과성 | 3.84 | .85      |
|      | 4. 정보교환       | 3.72 | .82      |
|      | 5. 강사의 질      | 3.57 | .78      |
|      | 6. 습득된 지식의 질  | 3.68 | .79      |
|      | 7. 습득 교육의 활용성 | 3.38 | .83      |

교육훈련에 대한 효과는 3,84점을 얻었는데 이와 더불어 교육을 통해 습득된 지식의 질요 중요한 요인으로 작용하고 있음으로 나타났다.

(18) 업무조정에 대한 인식

업무 조정에 대한 인식은 상대적으로 작은 값들이 많았는데 조정 능력과 업무의 명확성이 높은 응답빈도를 나타내고 있다.

<표 3.4-22> 업무조정에 대한 인식 설문 결과

| 대분류  | 하위분류             | 평균   | 표준 편차 |
|------|------------------|------|-------|
| 업무조정 | 1. 조정해결능력        | 3.59 | .92   |
|      | 2. 조정의 부하 참여     | 3.25 | .99   |
|      | 3. 갈등에 대한 긍정적 인식 | 2.95 | 1.11  |
|      | 4. 갈등의 해결시간      | 2.18 | .85   |
|      | 5. 갈등해결의 노력      | 3.45 | 1.10  |
|      | 6. 조정후 업무의 명확성   | 3.56 | .91   |

(19) 업무 규정에 대한 인식

<표 3.4-23> 업무규정에 대한 인식 설문 결과

| 대분류   | 하위분류           | 평균   | 표준 편차 |
|-------|----------------|------|-------|
| 업무 규정 | 1. 업무 절차의 경직성1 | 4.13 | .72   |
|       | 2. 업무 절차의 경직성2 | 3.76 | .99   |
|       | 3. 업무 절차의 경직성3 | 4.21 | .68   |
|       | 4. 절차의 참여도     | 3.09 | 1.00  |
|       | 5. 문서화된 절차     | 3.60 | 1.00  |
|       | 6. 업무 절차의 경직성4 | 2.96 | .94   |

업무 규정에 대해서 경직적이라고 인식하고 있는 것으로 나타났는데, 원전과 같은 조직에서의 업무 절차에 대한 경직성과 능력에 대한 조화가 필요하다.

(20) 업무 자원에 대한 인식

원전의 종사자들은 대체적으로 조직 자원이 부족한 것으로 인식하고 있는

것으로 나타났다. 특히 인력과 예산에 대해서 충분하지 못하다고 생각하고 있다. 그러나 업무 수행 능력과 관련된 작업의 질과 인력의 질에 대해서는 대체적으로 양호한 생각을 가지고 있다.

<표 3.4-24> 업무자원에 대한 인식 설문 결과

| 대분류    | 하위분류               | 평균   | 표준 편차 |
|--------|--------------------|------|-------|
| 자원의 보유 | 1. 인력의 적절성         | 2.22 | .92   |
|        | 2. 예산의 적절성         | 2.51 | .99   |
|        | 3. 작업의 질           | 3.72 | .69   |
|        | 4. 인력의 우수성         | 3.67 | .76   |
|        | 5. 자원 운영의 자율성      | 3.02 | 1.01  |
|        | 6. 인력구성의 적절성       | 3.32 | .89   |
|        | 7. 문제 해결을 위한 자원 배분 | 3.60 | .64   |

(21) 조직 목표와 전략에 대한 인식

<표 3.4-25> 조직 목표와 전략에 대한 인식 설문 결과

| 대분류    | 하위분류               | 평균   | 표준 편차 |
|--------|--------------------|------|-------|
| 목표와 전략 | 1. 안전성 우선도         | 3.59 | .83   |
|        | 2. 장기적 목표의 제시      | 3.71 | .89   |
|        | 3. 안전성과 경제성의 차이 인식 | 2.80 | 1.35  |

원전 종사자들은 안전성에 대한 장기적 목표와 우선성을 인식하고는 있지만 안전성과 경제성에 대한 차이인식은 낮은 것으로 나타났다.

(22) 인사관리에 대한 인식

원전 종사자들은 인사고과와에 대한 만족도는 낮지만 인사고과 기준에 맞추어 행동하려는 경향이 있다. 따라서 원전에서의 인적자원 관리를 위해서 합리적인 인사관리 방안을 도출하여야 할 것이다.

<표 3.4-26> 인사관리에 대한 인식 설문 결과

| 대분류  | 하위분류             | 평균   | 표준 편차 |
|------|------------------|------|-------|
| 인사관리 | 1. 인사고과의 만족도     | 2.49 | .94   |
|      | 2. 자원배치의 원할      | 3.27 | .97   |
|      | 3. 자원배치의 원할      | 3.65 | .87   |
|      | 4. 인사고과의 공정성     | 2.73 | .92   |
|      | 5. 불만족 요인의 제거 노력 | 2.96 | .99   |
|      | 6. 인사고과의 우선도     | 3.81 | .99   |

(23) 조직 몰입 및 신뢰도에 대한 인식

<표 3.4-27> 조직 몰입 및 신뢰도에 대한 인식 설문 결과

| 대분류        | 하위분류          | 평균   | 표준 편차 |
|------------|---------------|------|-------|
| 신뢰도와 조직 몰입 | 1. 조직 몰입도     | 3.74 | .97   |
|            | 2. 상관에 대한 신뢰도 | 3.82 | .97   |
|            | 3. 직원에 대한 신뢰도 | 3.84 | .84   |
|            | 4. 조직에 대한 신뢰도 | 3.44 | .86   |
|            | 5. 업무에 대한 만족도 | 3.45 | .98   |

조직에 대한 몰입과 신뢰도는 대부분의 질문에서 보통 이상으로 나타나고 있다. 이는 발전소 종사자들이 자신의 업무에 대한 충성 및 상관 동료에 대한 신뢰도가 높게 나타나고 있음을 보여주는 것이다.

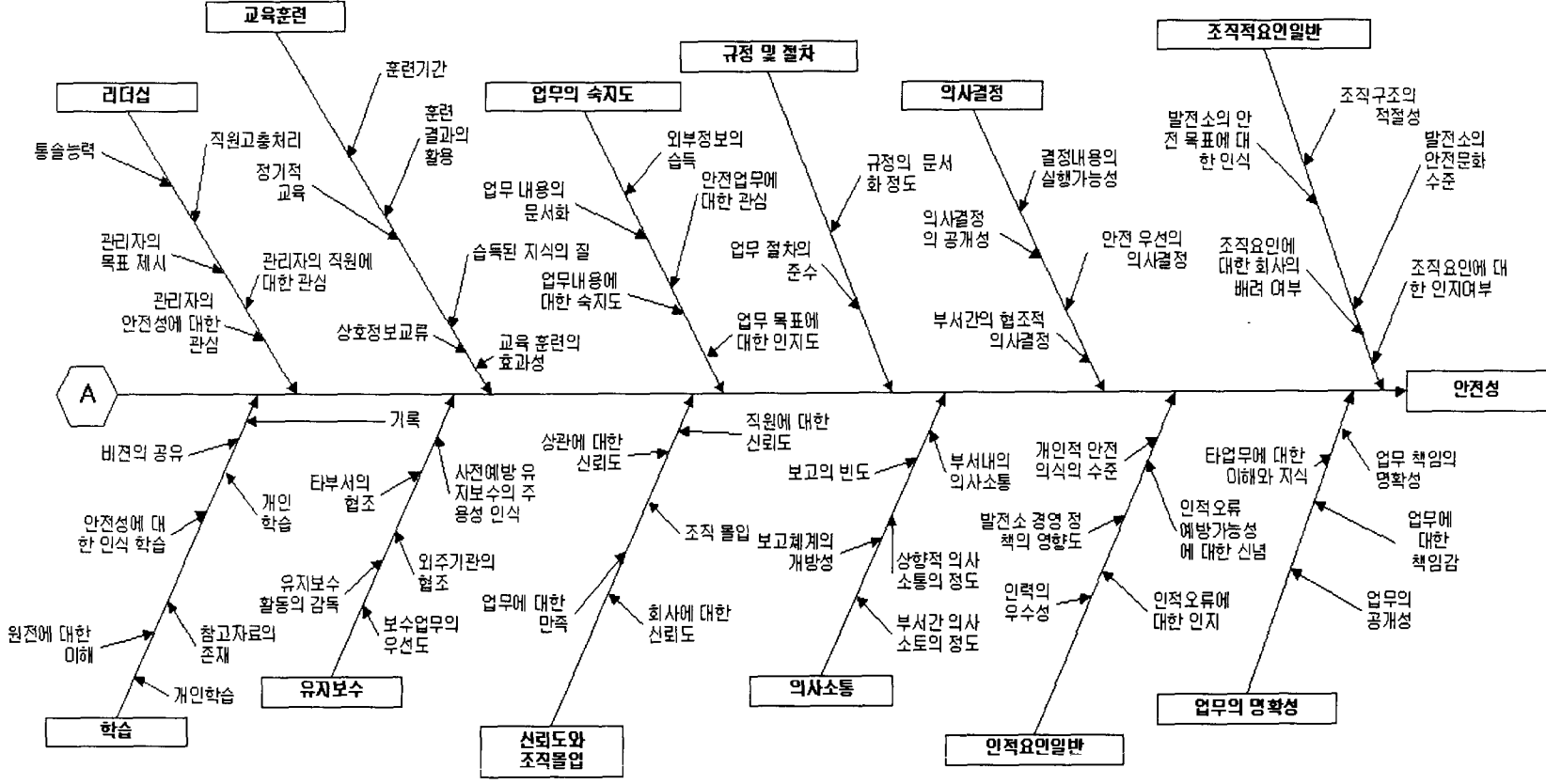
(24) 업무 태만에 대한 인식

<표 3.4-28> 업무태만에 대한 인식 설문 결과

| 대분류 | 하위분류           | 평균   | 표준 편차 |
|-----|----------------|------|-------|
| 태만  | 1. 태만의 정도      | 2.12 | .91   |
|     | 2. 전직 의사       | 2.71 | .92   |
|     | 3. 회사에 대한 기피정도 | 3.06 | 1.17  |



[그림 34-5] 안전성 관련 인자들의 Fish-Bone 도표(1)







2) 2단계 설문조사

2단계의 설문조사는 고리1발전소의 직원을 대상으로 실시되었으며, 조사결과를 모델에 반영하기 위해서 실시하였다. 2003년 1월에 실시하였다.

<표 3.4-30> 인적 실수에 미치는 영향 요인

| 인적 오류에 미치는 영향 요인 | 전혀 무관함 | 영향을 주지 않는 편 | 보통 | 영향을 주는 편 | 매우 큰 영향 | 총응답자수 | 평균    |
|------------------|--------|-------------|----|----------|---------|-------|-------|
| 작업량              | 1      | 3           | 39 | 70       | 20      | 133   | 3.789 |
| 작업지식             | 0      | 8           | 24 | 59       | 39      | 130   | 3.992 |
| 사기               | 1      | 5           | 38 | 53       | 35      | 132   | 3.879 |
| 절차서의 질           | 0      | 9           | 34 | 64       | 24      | 131   | 3.786 |
| 의사소통             | 0      | 4           | 34 | 66       | 29      | 133   | 3.902 |
| 감독               | 2      | 4           | 47 | 65       | 15      | 133   | 3.654 |
| 절차서 미준수          | 1      | 9           | 35 | 55       | 31      | 131   | 3.809 |
| 잘못된 작업지시         | 1      | 6           | 33 | 60       | 32      | 132   | 3.879 |
| 작업 근무 환경         | 2      | 4           | 42 | 61       | 22      | 131   | 3.740 |

<표 3.4-30>는 인적 실수에 영향을 미칠 수 있는 요인 중에서 중요성을 표시해 달라는 질문에 대한 평균점수표이다. 인적 실수에 미칠 수 있는 요인을 나열하였을 때 작업 지식이 영향을 미칠 수 있을 것이라는 평균이 가장 높았다. 대체적으로 열거된 요인이 기존의 문헌 조사에서 이미 중요성이 강조되었던 것들이기 때문에 대체적으로 보통 이상의 중요성을 갖는 것으로 종사자들은 인식하고 있으며, 이러한 요인들이 현장에서 중요하다고 인식되고 있음을 알 수 있다.

다음으로 질문을 던진 것은 그런 요인들이 현재 조직에서 얼마의 수준을 유지하고 있는지에 대한 질문이다. 작업지식이 중요하다고 대답하고 작업지식 수준은 높은 것으로 나타났다. 반면에 사기가 낮게 나왔는데 이에 대한 보다 계량적인 조사가 필요할 것이다. 대부분의 항목은 양

호한 상태이다.

<표 3.4-31> 인적 실수에 미치는 영향 요인의 현재 수준

| 항목          | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우<br>많다<br>(높다) | 총응답<br>자수 | 평균    |
|-------------|--------------|------------|----|------------|------------------|-----------|-------|
| 작업량         | 1            | 10         | 66 | 49         | 5                | 131       | 3.359 |
| 작업지식        | 2            | 7          | 53 | 57         | 11               | 130       | 3.523 |
| 사기          | 8            | 32         | 62 | 25         | 4                | 131       | 2.885 |
| 개인적<br>스트레스 | 3            | 22         | 77 | 26         | 3                | 131       | 3.031 |
| 절차서의 질      | 2            | 9          | 60 | 49         | 8                | 128       | 3.406 |
| 의사소통        | 1            | 5          | 60 | 52         | 11               | 129       | 3.519 |
| 감독          | 4            | 10         | 67 | 40         | 9                | 130       | 3.308 |
| 절차서 미준수     | 10           | 40         | 48 | 27         | 5                | 130       | 2.823 |
| 잘못된 작업지시    | 10           | 32         | 55 | 26         | 6                | 129       | 2.891 |
| 작업 근무 환경    | 6            | 20         | 63 | 32         | 6                | 127       | 3.094 |

작업량에 영향을 미치는 요인으로는 정원으로 나타났다. 이 밖에도 대부분이 모두 작업량에 영향을 미친다고 답변하였는데, 이러한 요인들은 생산성에 미치는 영향 요인으로 모델에 반영되었다.

<표 3.4-32> 작업량에 영향을 미치는 요인

| 항목           | 전혀<br>무관함 | 영향을<br>주지<br>않는 편 | 보통 | 영향을<br>주는 편 | 매우 큰<br>영향 | 총응답<br>자수 | 평균    |
|--------------|-----------|-------------------|----|-------------|------------|-----------|-------|
| 업무처리속도       | 1         | 7                 | 45 | 70          | 10         | 133       | 3.609 |
| 불시적 업무<br>지시 | 0         | 3                 | 40 | 74          | 16         | 133       | 3.774 |
| 행정 절차의<br>단계 | 0         | 4                 | 46 | 68          | 15         | 133       | 3.707 |
| 업무 처리 인원     | 0         | 2                 | 40 | 68          | 23         | 133       | 3.842 |
| 목표의 명확성      | 0         | 3                 | 52 | 66          | 11         | 132       | 3.644 |
| 부서간 업무<br>협조 | 0         | 6                 | 42 | 73          | 11         | 132       | 3.674 |
| 리더십 수준       | 0         | 3                 | 39 | 73          | 16         | 131       | 3.779 |

<표 3.4-33> 작업량에 영향을 미치는 요인들의 현재 수준

| 항목           | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우<br>많다<br>(높다) | 총응답<br>자수 | 평균    |
|--------------|--------------|------------|----|------------|------------------|-----------|-------|
| 개인의 생산성      | 3            | 12         | 65 | 47         | 4                | 131       | 3.282 |
| 불시적 업무<br>지시 | 4            | 6          | 70 | 42         | 9                | 131       | 3.351 |
| 행정 절차의<br>단계 | 1            | 10         | 68 | 43         | 9                | 131       | 3.374 |
| 업무 처리 인원     | 4            | 26         | 63 | 30         | 8                | 131       | 3.092 |
| 목표의 명확성      | 4            | 12         | 71 | 40         | 3                | 130       | 3.200 |
| 부서간 업무<br>협조 | 6            | 16         | 57 | 46         | 4                | 129       | 3.202 |
| 리더십 수준       | 5            | 15         | 71 | 36         | 2                | 129       | 3.116 |

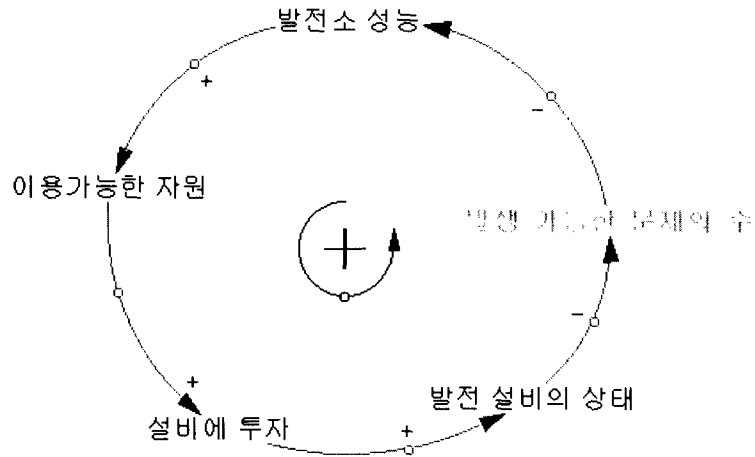
반면 대체적으로 보통의 수준을 유지하고 있으나 불시적 업무 지시나 행정절차는 보통보다는 높다고 의견을 제시한 직원들이 있었다.

## 제 5 절 Causal Loop Diagram의 작성

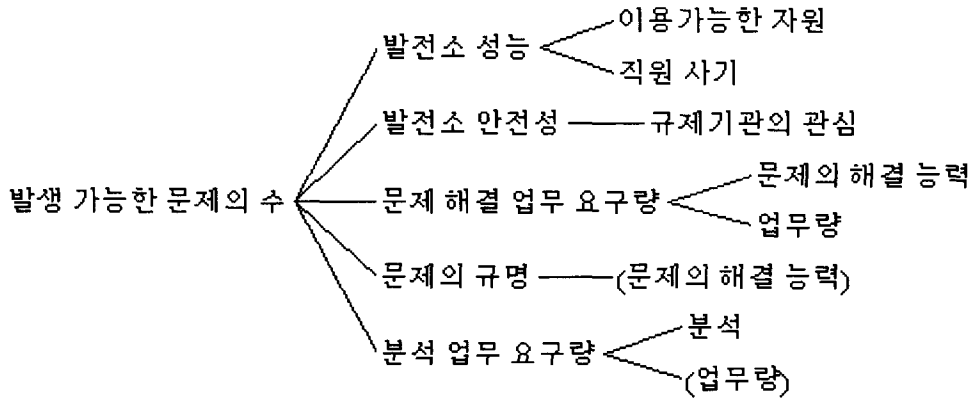
### 1. 인력 및 설비에의 투자

인력과 설비에 대한 투자와 안전성과의 개략적인 관계를 살펴보면 다음과 같다.

우선, 설비에 대한 투자와 발생 가능한 문제와의 관계를 살펴볼 수 있다



[그림 3.5-1] 자원의 설비에의 투자



[그림 3.5-2] 발생 가능한 문제의 수

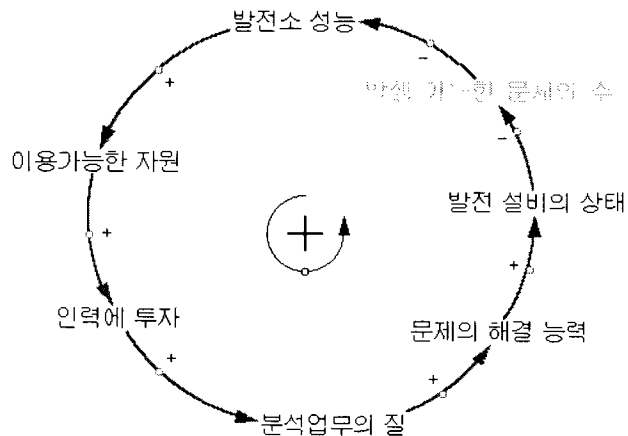
[그림 3.5-1]에서 '발생 가능한 문제의 수'라는 변수는 발전소의 안전성과 직접적인 연관이 있다. [그림 3.5-2] 인과관계 수목(Causal Tree)에서 보면 발생 가능한 문제의 수 즉, 문제의 발생 가능성은 발전소의 안전성, 성능, 업무량 등에 영향을 주지만, 이중에서도 발전소의 안전성에 가장 밀접하게 관련되어 있다.

[그림 3.5-1]에서 볼 수 있듯이, 설비에 대한 투자와 안전성 사이에는 피드백 루프(feedback loop)가 형성되어 있다. 이 루프는 양의 루프로써 루프에 있는 한 변수의 증가 혹은 감소는 루프 내의 다른 변수에 연

이은 증가 혹은 감소를 가져옴을 의미한다. 이용 가능한 자원이 증가함에 따라 설비에 대한 투자가 증가하고 이는 설비 상태의 개선으로 이어진다. 설비 상태의 개선으로 문제가 발생할 여지는 줄어들고, 이에 따라 발전소의 성능이 향상되면 다시 설비에 투자할 수 있는 자원이 늘어나게 되는 것이다. 물론 이처럼 선순환이 아닌 악순환이 될 수도 있다. 설비에 대한 투자가 줄어들면 이는 설비의 상태 저하로 이어지고 이는 문제 발생의 가능성을 높게 하며 이로 인해 설비에 투자할 수 있는 가용 자원의 양이 줄어들게 될 수도 있는 것이다. 즉, 양의 루프라는 것이 긍정적(Positive)인 의미를 갖고 있는 것은 아니고, 자기 증폭적 의미 내지는 발산(Divergence)의 의미로 사용된 것이다.

이용 가능한 자원은 설비 이외에 인력에도 투자될 수도 있다. 인력에 대한 투자와 발전소 안전성에 대한 상관성을 다음 [그림 3.5-3]과 같은 루프로 나타낼 수 있다.

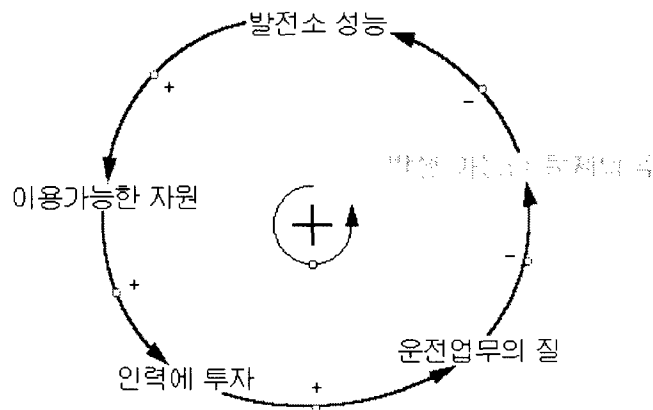
인력에 대한 투자와 발전소 안전성 사이의 관계를 나타내는 피드백 루프 역시 앞에서 본 설비에의 투자에 대한 루프와 마찬가지로 양의 루프를 이루고 있다. 인력에 대한 투자로는 금전적인 것도 포함되겠지만, 주로 교육에 관한 것이 주를 이룰 것이다.



[그림 3.5-3] 자원의 인력에의 투자와 분석업무의 질

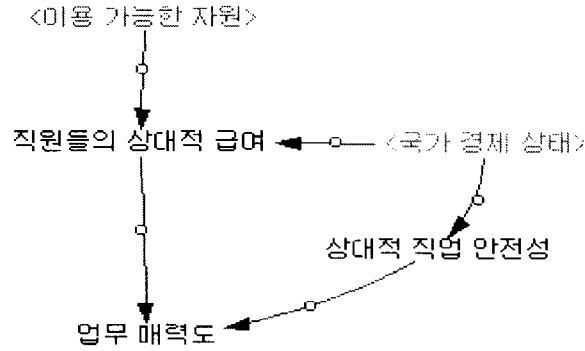
이로 인해 분석 업무의 질이 높아지면 문제에 대한 해결 능력이 증가하고 이는 발생 가능한 문제를 감소시킴으로써 안전성을 높일 수 있는 것이다. 여기서도 설비에의 투자에 대한 루프와 마찬가지로 한가지 변수가 악화됨으로써 순환 고리 전체적으로 악순환이 일어날 수도 있다. 하지만, 분석 업무의 질은 인력에 대한 투자뿐만 아니라 업무 환경과 업무량에 의해서도 영향을 받기 때문에 이 변수들에 의해 루프에 있는 변수들에 대해 단순한 예측을 할 수는 없다.

인력에 대한 투자를 증가시킴으로써 분석 업무의 질 이외에도 운전 업무의 질 역시 향상시킬 수 있으며 이는 [그림 3.5-4]와 같이 도식할 수 있다.



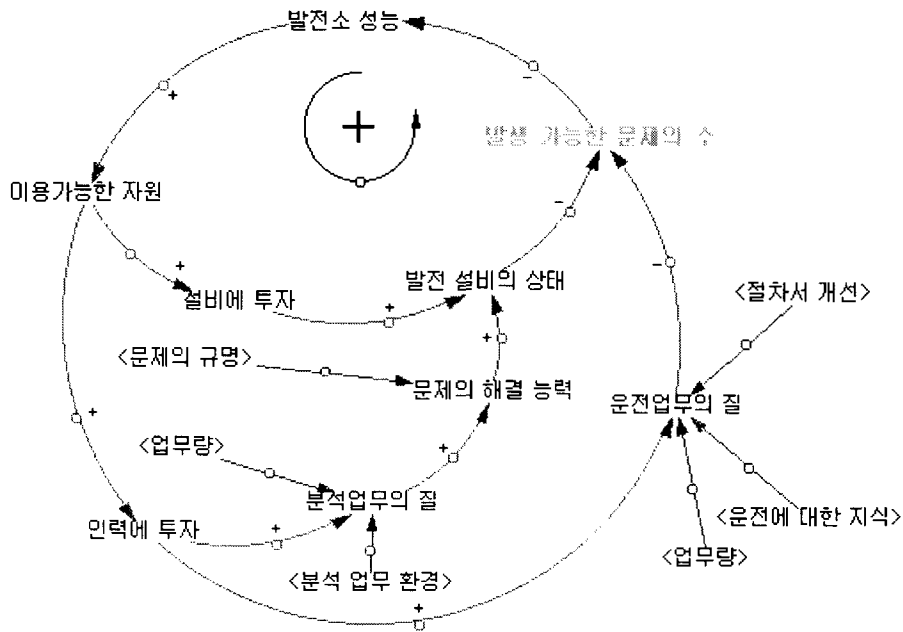
[그림 3.5-4] 자원의 인력에의 투자와 운전업무의 질

인력에 대한 투자는 운전 업무의 질을 향상시킴으로써 발생 가능한 문제의 수를 감소시키고 이는 발전소의 성능을 향상시킬 수 있다. 이 역시 양의 루프인데, 여기서도 운전 업무의 질은 인력에 대한 투자에 의해서만 결정되는 것이 아니라 업무량과 운전에 대한 지식, 절차서의 개선과 같은 변수에 의해서도 영향을 받게 되며, 운전에 대한 지식은 또한 다른 변수들에 의해 영향을 받게 되는데, 이에 대한 자세한 내용은 추후에 설명하도록 한다.



[그림 3.5-5] 이용 가능 자원과 업무 매력도

이용 가능한 자원(Available resources)은 교육적인 면 외에 금전적인 면으로도 영향을 미치고 이는 원자력 발전소 근무에 대한 매력도와 관련되어 있으며, 이는 직관적으로도 충분히 생각할 수 있는 요소이다. 위에서 설명한 3개의 양의 루프로 이루어진 변수들 사이의 상관관계를 하나의 도식으로 나타내면 다음 [그림 3.5-6]과 같이 표현할 수 있다.

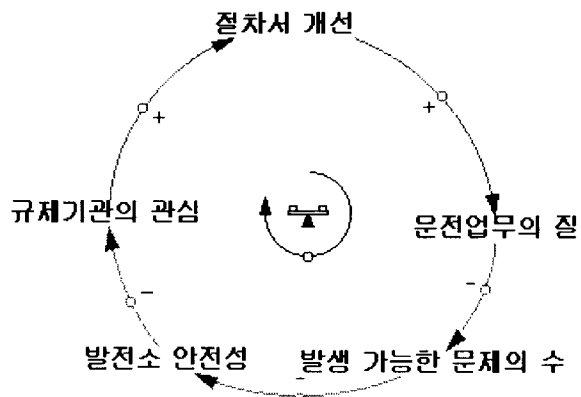


[그림 3.5-6] 이용 가능한 자원의 투자

위의 [그림 3.5-6]을 보면 앞에서 설명한 3개의 루프가 합쳐져서 서로 상관 관계를 이루고 있음을 알 수 있다. 자원은 설비 혹은 인력에 투자되며 이들 투자는 발전 설비의 개량이나 업무의 질적 향상을 통해 발전소의 성능을 향상시킴으로써 사용 가능한 자원의 양을 증가시킬 수 있는 것이다. 물론, 이들 루프는 폐쇄형 고리 (Closed Loop)가 아닌 개방형 고리 (Open Loop)로서 많은 수의 변수들이 루프 외부에서 루프상의 변수에 작용함으로써 단순한 피드백 루프 이상의 구조를 이루고 있다. 이처럼 사람의 선형적인 사고방식으로는 생각하기 어려운 다중 피드백 루프 (Multiple feedback loop) 구조의 모델을 비교적 직관적인 모델로 구성할 수 있다는 것이 시스템 다이내믹스의 커다란 장점중의 하나라고 할 수 있다. 추후 연구가 진행되면 변수들끼리의 정성적인 관계만을 나타내고 있는 CLD 모델은 SFD(Stock Flow Diagram) 모델을 이용한 시뮬레이터로 발전하여, 민감도 분석 (Sensitivity Analysis) 및 몬테카를로 시뮬레이션을 가능하게 해줄 것이다.

## 2. 규제 기관의 관심도

규제 기관의 관심도 내지는 규제 정도가 발전소의 안전성과 가지는 상관관계에 대해서 알아보도록 한다.



[그림 3.5-7] 규제기관의 관심과 절차서 개선

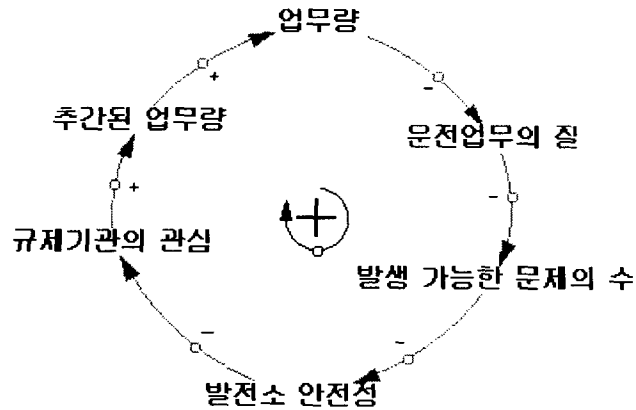


위 [그림 3.5-7]에서 규제 기관의 관심은 절차서의 개선이라는 결과로 나타나게 된다. 규제 기관에 의한 규제나 관심은 피규제자의 입장에서는 업무의 증가라는 부담으로 다가올 수도 있지만, 한편으로는 시스템 내부에서는 볼 수 없는 구조적 결함 내지는 문제점을 지적할 수 있다거나 조직 내부적으로는 알려진 문제점임에도 불구하고 그 치유가 이루어지지 않을 경우에 타율적으로나마 그 문제점을 고칠 수 있다는 점에서 긍정적인 면을 갖고 있음을 부정할 수 없다. 절차서의 개선은 운전 업무의 질을 향상시키고 이는 발전소의 안전성을 증가시키게 되고 그렇게 됨으로써 규제 기관의 관심 내지는 규제를 덜 받게 되는 피드백 효과를 낳게 된다. 이 루프는 앞에서 보았던 다른 루프들과는 달리 음의 루프를 이루고 있다. 양의 루프가 반드시 긍정적 의미를 갖고 있는 것이 아닌 것과 마찬가지로 음의 루프 역시 부정적인 의미를 갖고 있는 것은 아니다. 음의 루프에서 한 변수 혹은 그 이상의 변수의 값의 변화가 다른 변수의 값에 영향을 미치는 것은 마찬가지이지만 그 피드백 효과가 계속적인 증가나 감소로 이어지는 것이 아니라 일정한 균형점을 향해 수렴한다는 면에서 양의 루프가 발산하는 성질을 갖는 것과는 차이가 남을 알 수 있다.

규제기관의 관심이 절차서 개선으로 이어져 운전 업무의 질을 향상시킬 수도 있지만, 위에서 언급했듯이 규제기관의 관심은 업무량의 증가로 이어질 수도 있다.

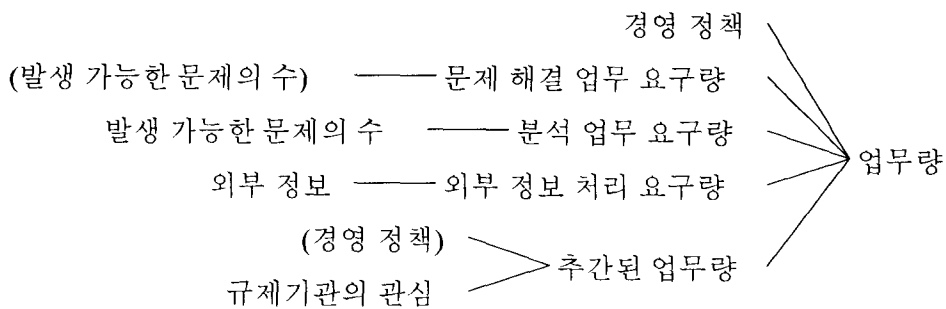
다음의 [그림 3.5-8]에서 보듯이 규제 기관의 관심은 추가적인 업무를 가져오고 이로 인한 업무량의 증가는 운전 업무의 질을 저하하게 된다. 여기서 추가되는 업무량은 규제 기관의 관심 이외에도 경영상의 정책에 의한 영향도 받게 되고 이 정책은 동시에 업무량에도 영향을 미친다. 여기서 업무량이라는 것은 구체적인 업무량 이외에도 직원들이 느끼는 심적인 부담 내지는 스트레스도 포함되었다고 보아야 할 것이다. 규제 기관의 관심 같은 경우 그로 인한 물리적인 업무의 증가 이외에도

가외의 업무가 추가된다는 점과 그 업무가 현재 작업에 어느 정도의 효율을 가져다 줄 것인가에 대한 의문 등에 의한 심리적인 부담도 동반한다고 볼 수 있을 것이기 때문이다.

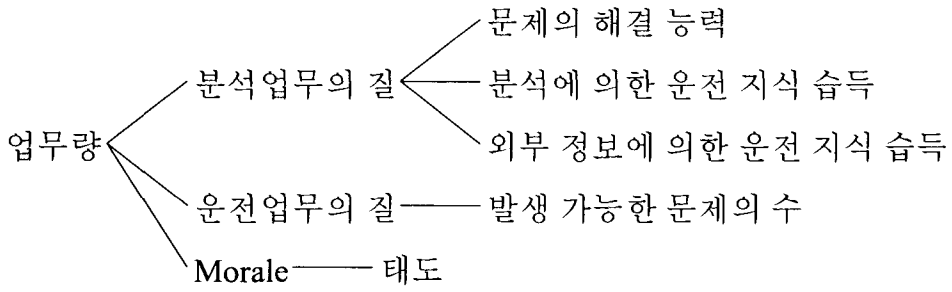


[그림 3.5-8] 규제 기관의 관심과 업무량

업무량의 경우 앞으로 살펴보게 될 여러 변수에도 영향을 미치게 되는데, 업무량에 영향을 주는 변수들 및 업무량에 의해 영향을 받는 변수들을 모델에서의 인과관계 수목 (Causal Tree)으로 보면 다음 [그림 3.5-9], [그림 3.5-10]과 같이 나타낼 수 있다.

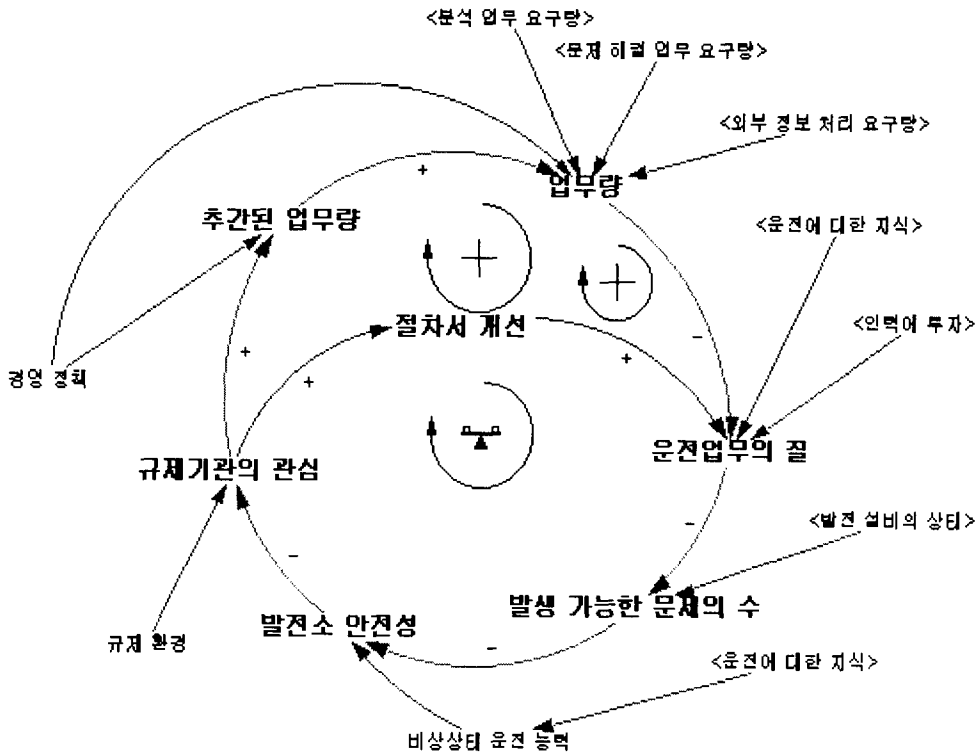


[그림 3.5-9] 업무량에 영향을 미치는 변수



[그림 3.5-10] 업무량에 영향을 받는 변수들

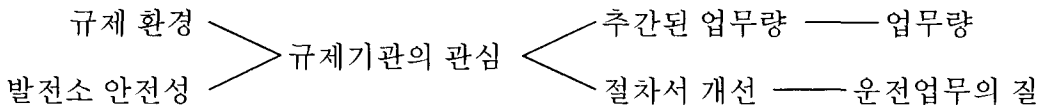
여기서도 볼 수 있듯이 업무량은 분석 업무와 운전 업무의 질에 영향을 미치고 또한 직원들의 사기에도 영향을 미침을 볼 수 있다. 여기에서 보듯이 업무량에는 물리적인 개념 이외에도 직원들이 느끼는 심리적인 개념 또한 포함되어 있다.



[그림 3.5-11] 규제 기관의 관심

규제 기관의 관심을 포함하는 양의 루프와 음의 루프를 합치면 다음 [그림 3.5-11]과 같이 나타낼 수 있다.

[그림 3.5-11]에서 보면, 규제 기관의 관심은 발전소의 안전성이라는 내부 변수에 의해서도 영향을 받지만, 규제 환경이라는 외부 변수에 의해서도 영향을 받는다. 여기서 규제 환경이라는 것은 원자력 발전소에 대한 사회적 분위기 혹은 원자력 발전소에 대한 미디어의 보도, 정책 입안자의 정책 방향 등 여러 가지 요소를 포함하는 것으로 볼 수 있다.



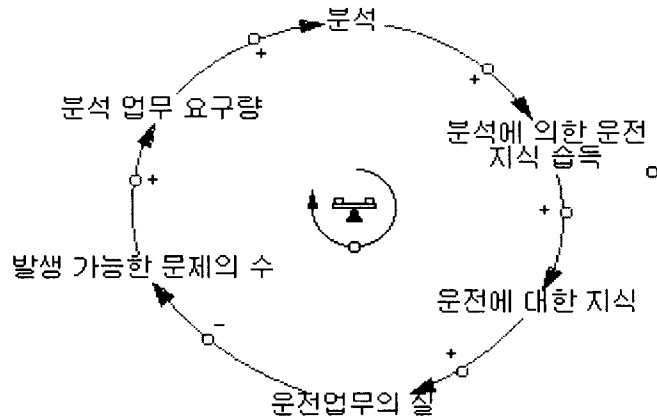
[그림 3.5-12] 규제기관의 관심 상관 변수

[그림 3.5-12]에서 볼 수 있듯이 규제기관의 관심이 운전 업무의 질에 영향을 미치는 경로는 2가지로 나누어 볼 수 있는데, 절차서의 개선을 포함하는 음의 루프를 그리는 것과 업무량의 증감을 포함하는 양의 루프를 그리는 것들이다. 이 피드백 루프를 이용해서 규제기관의 관심의 변동이 운전 업무의 질에 어떤 경로를 통해 영향을 미치는가를 알 수 있으며, 더 나아가 각 시뮬레이터로 발전시킨 후 변수별 데이터를 입력, 계량화를 하게 된다면 과거의 데이터를 참조하여 규제 기관의 관심이 운전 업무의 질에 미치는 영향을 업무량의 증가에 의한 부정적 영향과 절차서 개선에 의한 긍정적 영향에 따라 나누어 분석, 변수의 값 내지는 가중치를 보정함으로써 더욱 정확한 모델을 만들 수 있고 이는 다시 더욱 정확한 분석을 가능케 해준다.

### 3. 내부 정보에 의한 지식 습득

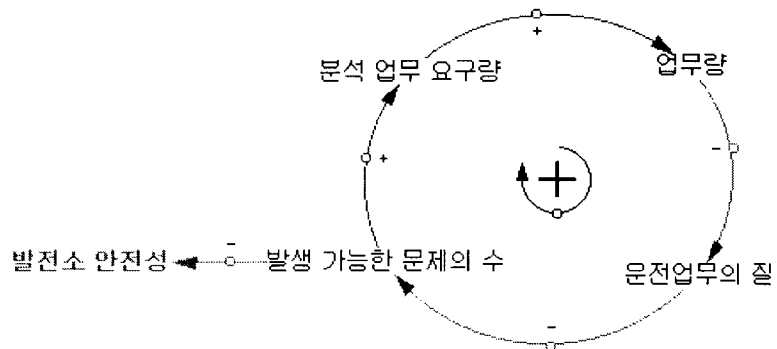
지식은 크게 2가지 경로로 조직 혹은 조직원에 의해 습득되어지는데, 그중 하나는 조직 내부에서의 정보에 의한 지식의 습득이고, 다른

하나는 조직 외부로부터 받아들여지는 정보에 의한 것이다.



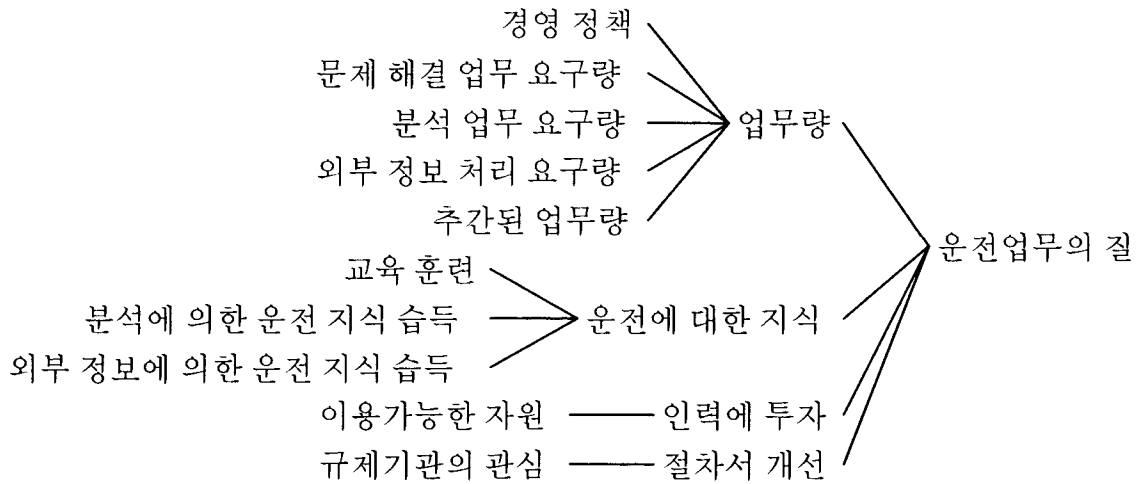
[그림 3.5-13] 분석에 의한 지식 습득

[그림 3.5-13]에서 조직 내부에서 지식이 생성되는 과정을 간략하게 도식화하고 있다. 발생 가능한 문제 혹은 발생하는 문제에 대한 분석을 통한 지식의 조직 내부로의 체화는 운전 업무의 질을 높여 줌으로써 문제 발생의 가능성을 감소시키는 음의 루프를 형성하고 있다. 하지만, [그림 3.5-14]에서 보듯이 이에 따른 업무량의 증가는 직원들에게 또 다른 부담 요인이 될 수 있으며 이에 의한 운전 업무 질의 저하가 생길 수 있다.



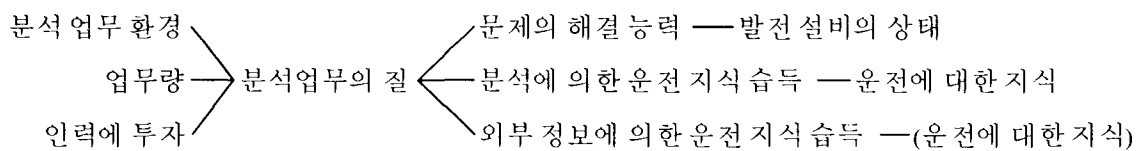
[그림 3.5-14] 분석 업무 요구량과 업무 부담

즉, 문제 발생의 가능성과 그에 따른 분석 업무와의 사이에 또 하나의 음의 루프가 형성되는 것이다.



[그림 3.5-15] 운전 업무의 질에 영향을 미치는 변수들

[그림 3.5-15]를 보면 운전 업무의 질에 영향을 미치는 변수들을 볼 수 있다. 업무량은 부정적(negative) 영향을 미치는 반면 운전에 대한 지식, 인력에의 투자, 절차서의 개선 등은 긍정적 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.



[그림 3.5-16] 분석 업무의 질

[그림 3.5-16]에는 분석 업무의 질에 영향을 미치는 변수와 분석 업무의 질로부터 영향을 받는 변수들이 나타나 있다.

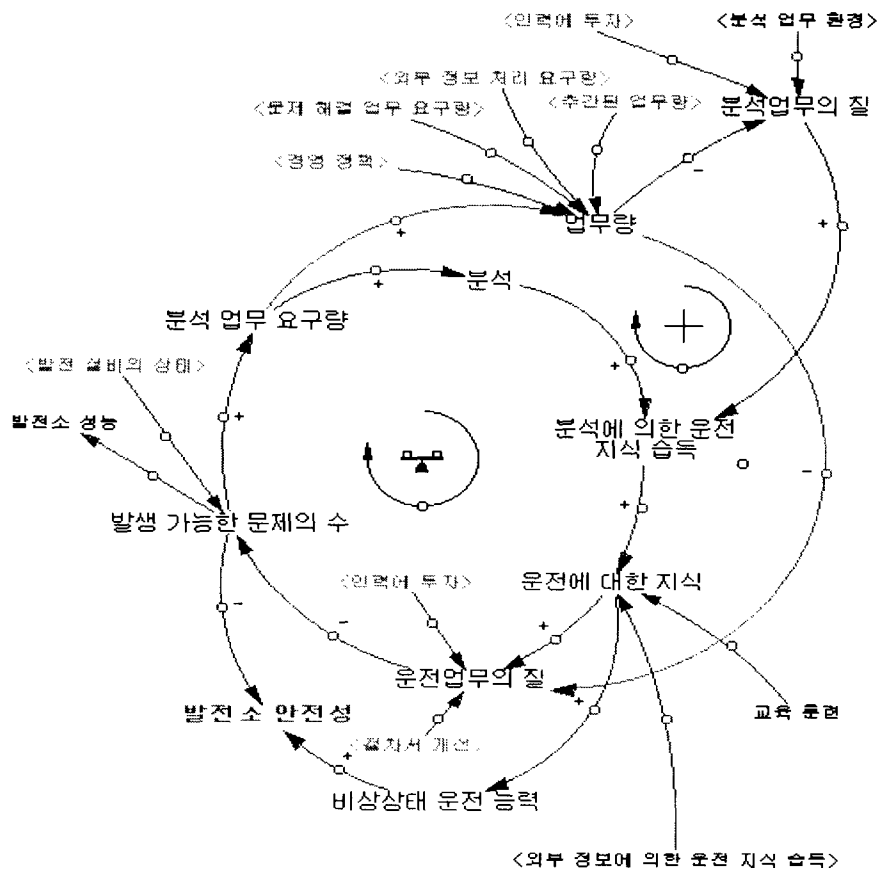
조직 내부의 업무 분석에 의한 학습에 있어서 지식 습득의 정도는 분석 업무 환경을 비롯한 제 변수들의 영향을 받는데, 이를 추상화 한

것이 분석 업무의 질이라는 변수이다. 여기에 분석 업무 환경이라는 것은 직원들의 업무 태도, 사기와 관련되어 있다.

앞의 두 개의 루프와 분석 업무의 질이라는 변수가 두 개의 루프와 갖는 상관관계를 함께 도식화하면 [그림 3.5-17]과 같이 된다

#### 4. 외부 정보에 의한 지식 습득

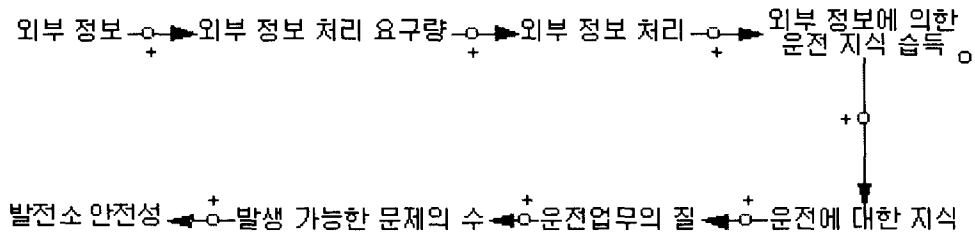
조직 내지는 조직 구성원이 지식을 습득하는 방법에는 앞에서 말한 조직 내부에서의 정보에 의한 습득 말고도 조직 외부로부터 들어오는 정보를 통한 수도 있다.



[그림 3.5-17] 조직 내부 정보에 의한 학습

조직 내부에서 분석에 의해 지식을 습득하는 것과는 달리 [그림 3.5-18]에서 볼 수 있듯이 외부 정보에 의한 지식의 습득은 피드백 루프를 형성하지 않는다는 점에서 차이가 있다.

[그림 3.5-18]에서 보듯이 외부로부터 정보가 들어오면 이를 처리하는 과정에서 지식 습득의 과정이 일어난다. 이는 업무의 질을 높이고 문제의 가능성을 줄여준다. 하지만, 중간 어느 과정에서도 외부로부터 들어오는 정보에 피드백 효과를 주는 변수는 없다. 그렇다고 외부로부터의 무제한적인 정보의 공급이 조직 내의 지식을 무한정 증가시켜줄 수는 없는 것이다.



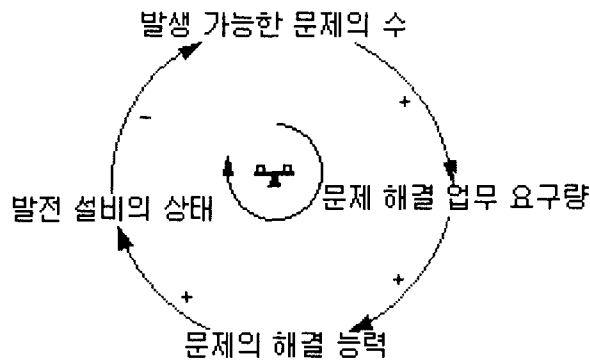
[그림 3.5-18] 외부 정보에 의한 지식의 습득

[그림 3.5-19]를 보면 외부 정보가 증가하면 그에 따라 업무량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 업무량의 증가는 조직, 조직원의 지식 흡수 정도에 제한을 가하게 된다. 이는 실질적으로는 직원들의 스트레스 내지는 피로함으로 나타날 것이다. 그리고, 지식 습득에 대한 조직내 분위기 역시 많은 영향을 끼치는데, 이것이 분석 업무 환경으로 나타나 있다. 그리고 업무량은 지식을 습득하는 과정에만 영향을 미치는 것이 아니라, 이미 습득한 지식을 업무에 적용시키는 데에도 영향을 미쳐 운전 업무의 질의 향상 속도가 저하될 수도 있다. 즉, 외부 정보로부터 조직 내부의 지식을 증가시키는 것도 중요하지만, 동시에 직원들이 느끼게 될 부담감 내지는 스트레스와 조직 분위기 등을 함께 고려해야 할 것이다.

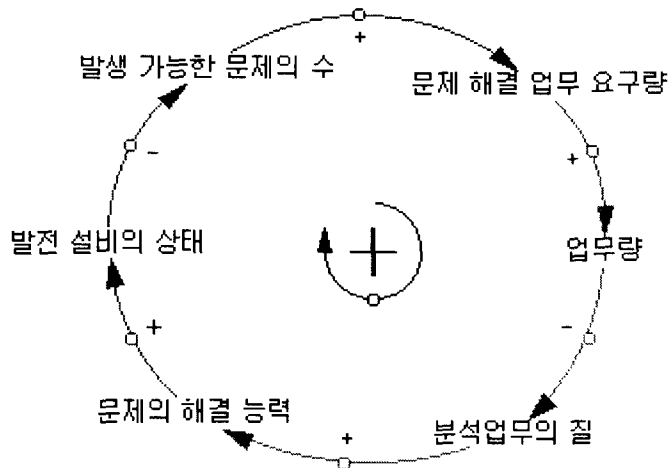




즉, 문제 발생 가능성이 작아질수록 업무 요구량이 작아지고 따라서 문제 해결 능력이 작아지는 경우도 나타날 수 있다. 이 루프에서는 문제 해결에 대한 요구가 커질수록 그에 대한 작용으로 해결 능력이 상승하는 것으로 나와 있다. 이는 업무에 의한 어느 정도의 압박이 직원들의 문제 해결 능력을 상승시키는데 긍정적 작용을 하는 면을 반영하는 것이다.



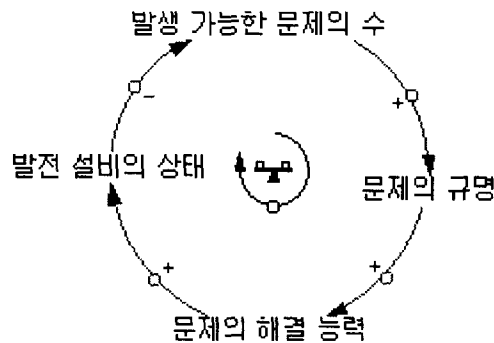
[그림 3.5-20] 문제 해결 업무 요구량



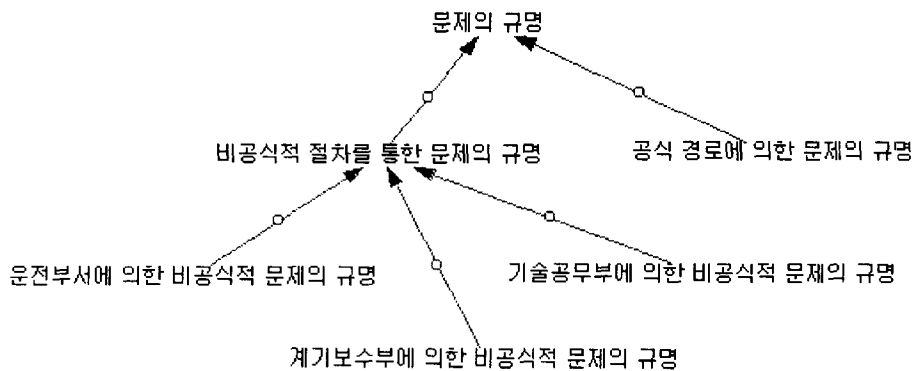
[그림 3.5-21] 문제 해결 능력과 업무량

이와 동시에 [그림 3.5-21]을 보면 문제 해결 업무 요구량이 증가함에 따라 업무량이 증가하고 이는 분석업무의 질의 저하로 문제 해결 능력에 부정적 영향을 미치는 것을 표현하고 있는데, 여기서 문제 해결 능력을 최대로 만드는 업무 요구량의 적절한 추정이 필요함을 알 수 있으며 이러한 추정의 용이함을 위해서 추후 개발될 시뮬레이터를 이용할 수 있다.

[그림 3.5-22]에서는 문제의 규명과 관련된 루프가 도식되어 있는데, 문제가 규명되는 경로로는 [그림 3.5-23]과 같이 공식적인 것과 비공식적인 것으로 나누어 볼 수 있을 것이다.

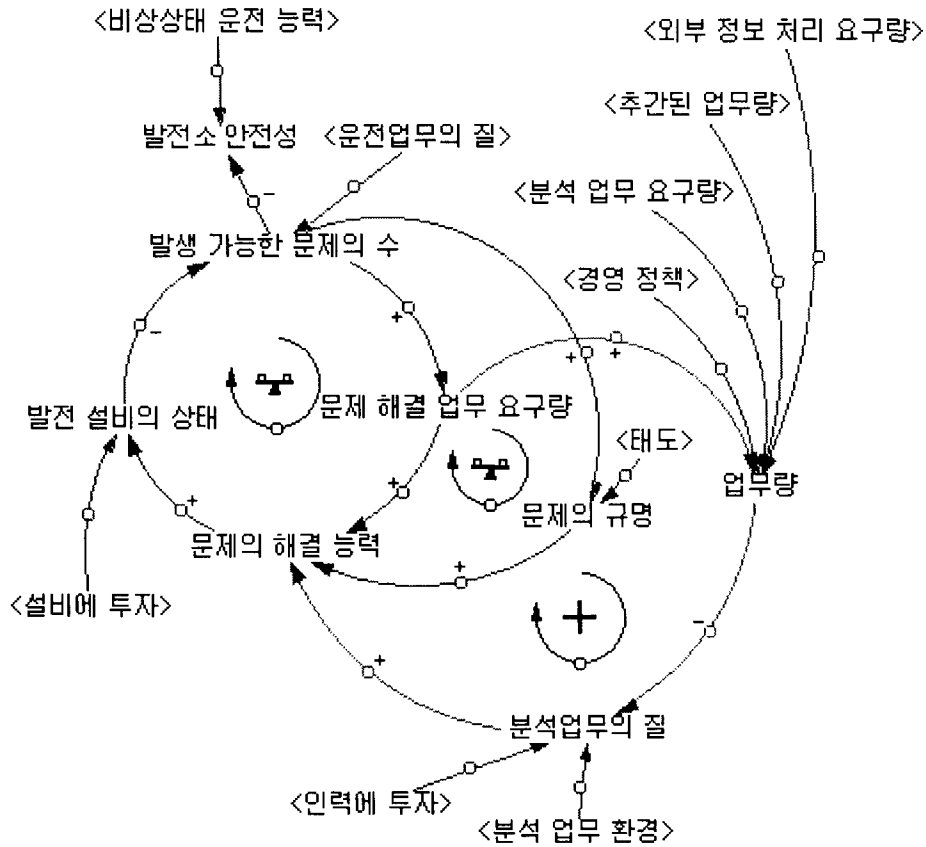


[그림 3.5-22] 문제의 규명



[그림 3.5-23] 문제 규명의 경로

위 루프들을 결합하면 [그림 3.5-24]와 같이 나타낼 수 있다.



[그림 3.5-24] 문제 해결 능력

[그림 3.5-25]에는 문제 해결 능력과 관련된 인과 관계 수목(Causal Tree)이 있다. 여기서 문제 해결 능력에 영향을 주는 변수인 분석 업무의 질은 분석 업무 환경, 업무량, 인력에의 투자 등과 관계가 있는데, 여기서 분석 업무 환경은 직원들의 사기, 업무 태도 등이 포함될 것이며, 인력에의 투자는 금전적인 보수 이외에도 교육 등이 있을 것이다.



발전소의 상태는 여러 요인이 서로 순환고리를 형성하며 영향을 미치는 것으로 한 변수의 변동은 다른 변수의 상태에 영향을 일으키고 따라서 연쇄반응을 일으켜 시스템 전체에 영향을 미친다.

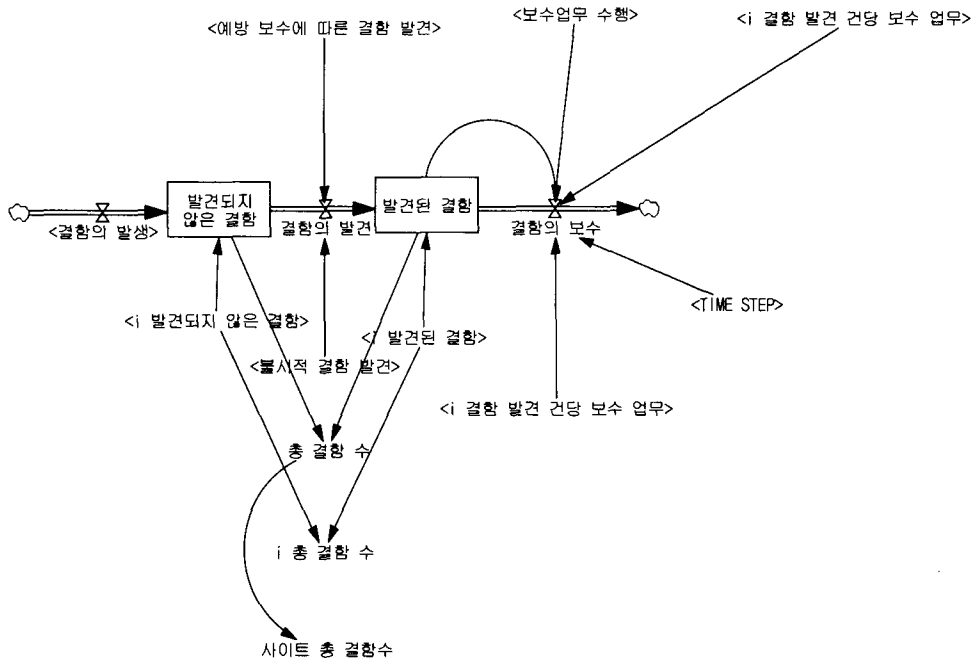
자세한 Causal Loop Diagram은 부록에 표현되었으며 이들의 관계가 상호 어떻게 영향을 주고받는가는 다시 Stock & flow Diagram을 통해서 정량적으로 표현할 수 있다.

## 제 6 절 Stock and Flow Diagram의 작성

### 1. 결함의 발생과 처리의 모델링

안전성과 관련되어 가장 중요한 변수는 발전소에 있는 기계적 결함과 종사자들의 수행 능력이라고 할 수 있다. 즉 발전소에서 발생하는 결함을 발견하고 제거하는 과정을 통해서 원전은 일정수준의 안전성을 유지할 수 있는 것이다.

여기에서는 결함의 발생과 제거에 대해서 우선 살펴보겠다. 결함과 관련된 시스템 다이내믹스 모델은 결함의 발생, 결함의 발견, 결함의 제거 등의 기능이 포함되며, 이에 대한 Stock and Flow Diagram은 [그림 3.6-1]과 같다.



[그림 3.6-1] 결함과 관련된 Stock and Flow Diagram

결함은 다시 크게 두 가지 형태로 분류되는데, 현재 결함이 있음에도 불구하고 발견되지 않은 것과 결함을 발견 후 보수를 받기 위해 대기하고 있는 결함의 두 형태이다.

발견되지 않은 결함과 발견된 결함은 Stock의 성격을 갖으며 결함의 발생, 결함의 발견, 결함의 보수는 Rate 변수에 해당한다.

따라서

$$\text{발견되지않은결함} = \int_0^t (\text{결함의 발생} - \text{결함의발견})dt + C_0$$

$$\text{발견된결함} = \int_0^t (\text{결함의발견} - \text{결함의보수})dt + C_0$$

의 관계를 맺는다.

결함의 발생, 결함의 발견 그리고 결함의 보수의 일일 발생 건수가

같다면 하드웨어적으로 시스템은 균형상태(Steady State)에 이를 것이며, 따라서, 발견되지 않은 결함과 발견된 결함 모두 평형상태를 이룰 것이다.

여기에서 발전소의 총 결함수는

총결함수 = 발견되지 않은 결함 + 발견된 결함 으로 계산할 수 있다.

그리고 균형상태를 이루는 상태의 총결함수를 초기 총결함수의 초기값이라고 할 때,

$$Normalized\text{총결함수} = \frac{\text{총결함수}}{\text{총결함수초기값}}$$

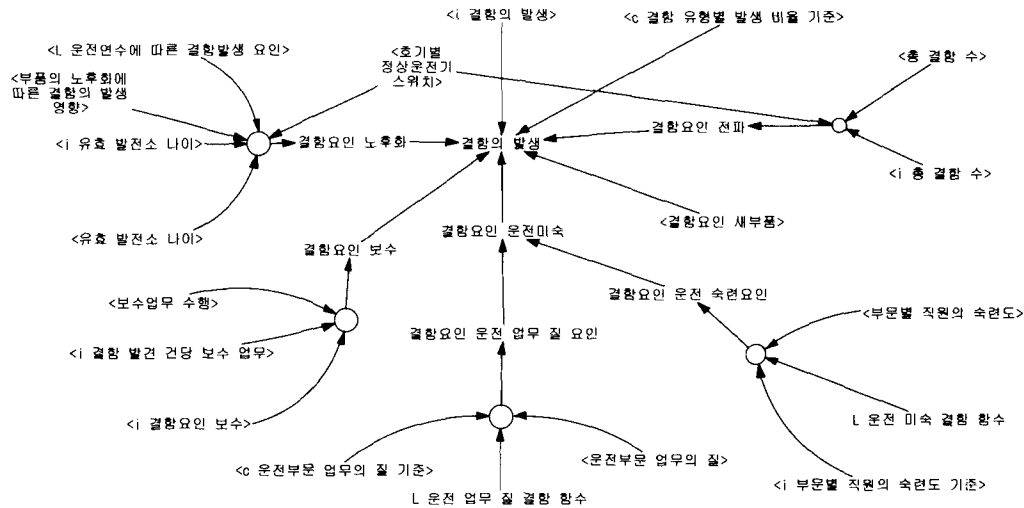
의 식을 만들 수 있다.

총결함수초기값은 상수이며, 총결함수는 시간에 따라 변화하므로 Normalized 총결함수 역시 시간에 따라서 변화하며 따라서 초기상태에 대한 현재 상태의 비를 의미한다. Normalized 총결함수는 안전성 계산에 사용되어 진다.

#### 가. 결함의 발생

결함이 발생하는 원인을 [그림 3.6-2]와 같이 분류하여 5가지 형태를 모델을 반영하였다.





[그림 3.6-2] 결함의 발생

① 노후에 따른 결함 발생 : 발전소의 노후화는 자연 결함의 발생을 증가시킬 것이다.

② 운전 미숙에 따른 결함 발생 : 운전원의 운전미숙으로 인한 발전소 결함 발생한다. 원전원의 운전에 대한 생산성, 업무의 질 및 숙련자와 비숙련자의 구성비율에 의한 운전부서의 숙련도이 여기에 영향을 미친다.

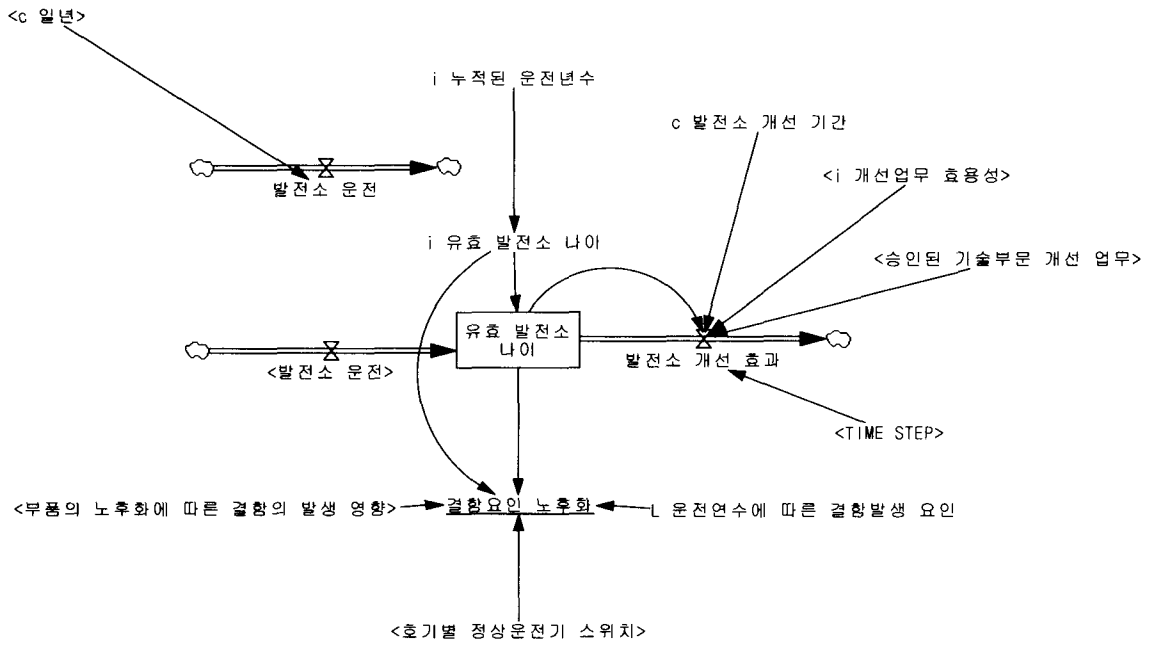
③ 보수에 따른 결함 발생 : 보수 요원의 보수 작업 시 발생할 수 있는 결함이 존재한다. 이러한 발생은 보수 요원의 생산성 및 작업의 질이 중요한 요인으로 작용한다.

④ 새 부품에 따라오는 결함 : 원전 시설의 부품 교환 시 부품이 가지고 있는 결함에 내재된 결함에 의해서 결함이 발생한다.

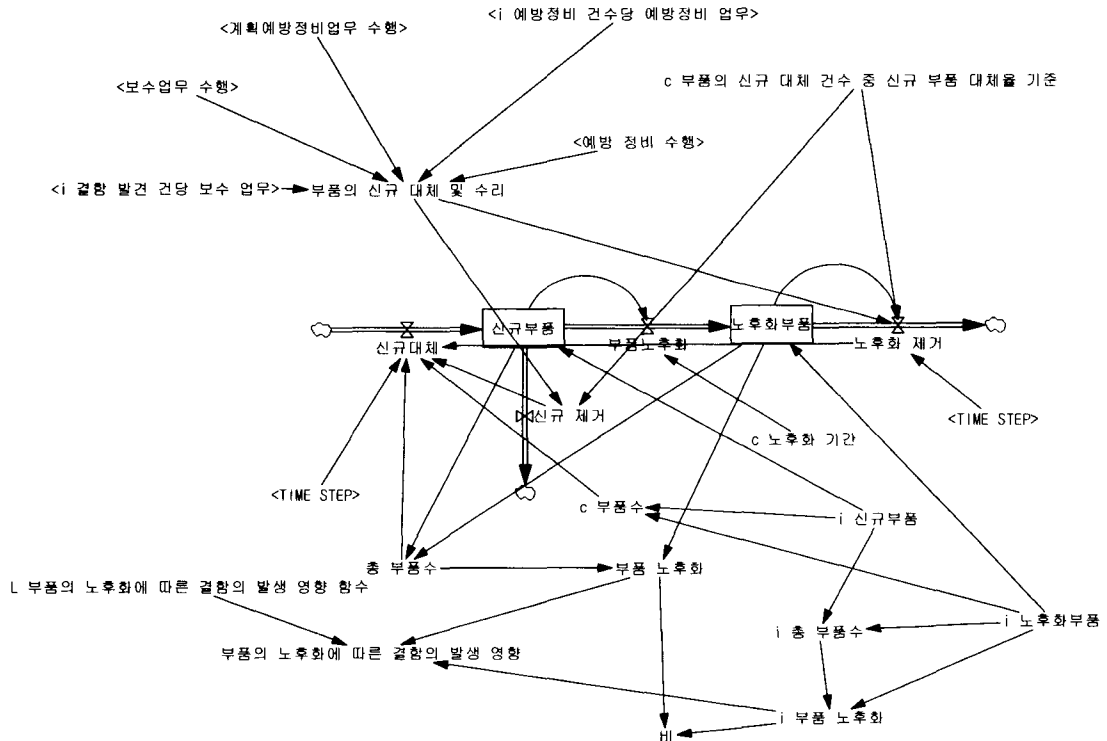
⑤ 결함이 결함을 만드는 즉 결함이 많을수록 다른 부품에도 영향을 주어 결함을 발생시키는 경로로 6가지 경로를 모델에 포함시켰다.

[그림 3.6-3]은 발전소의 노후화와 관련된 결함 발생원리의 모델링 부분이다. 결함의 노후화와 관련된 모델은 큰 장치(equipment)의 노후화와 관련한다. 이는 부품(part)의 노후화와 구별되며, 파트의 노후화와 장치의 노후화에 의해서 기계적 노후화에 의한 결함 발생에 영향을 미

치도록 모델링 하였다. 기술부서에서 발전소의 개선에 대한 업무를 수행함으로써 발전소의 하드웨어적인 개선효과가 증가한다.



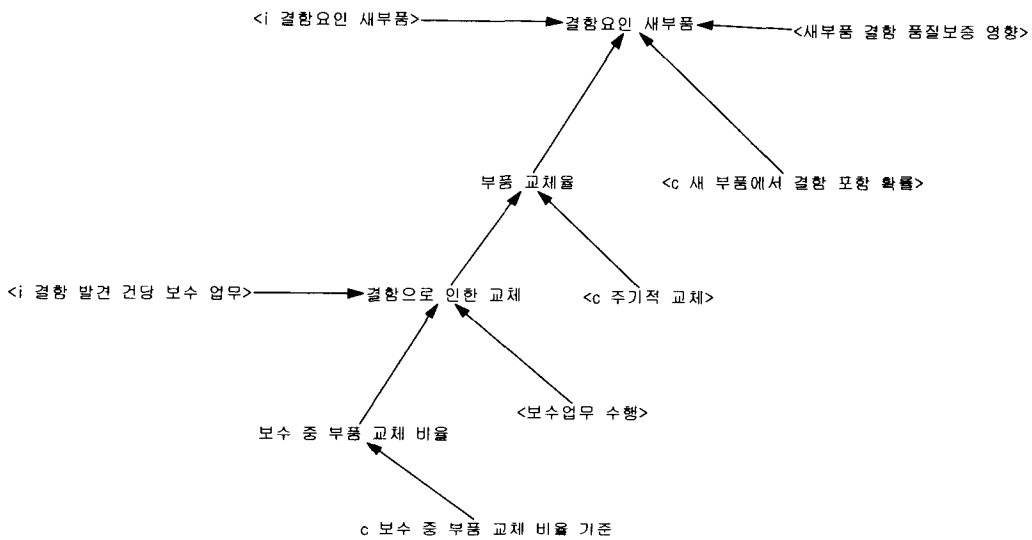
[그림 3.6-3] 결함의 발생 노후화



[그림 3.6-4] 부품의 노후화

부품의 노후화를 보다 자세히 표현하면 [그림 3.6-4]와 같다. 부품은 신규 부품과 노후화 되어 노후화 된 부품으로 나눌 수 있는데 대부분이 보수업무를 수행하면서 제거되고 새 부품으로 바로 대체된다. 따라서 제거와 동시에 신규 부품으로 들어오게끔 모델을 작성하였다. 모델에서는 신규 부품과 노후 부품의 조화정도(integration)를 고려하여 결합에 영향을 주도록 모델링하였다.

결합이 많을수록 결합의 발견은 더욱 쉽고 따라서 부품의 교체율도 높아진다. 이 때 부품 자체에 내포되어 있는 결합률로 인하여 새부품이 많이 교체될수록 새부품에 의한 결합의 발생 빈도는 많아진다. 그러나 새부품의 교체로 제거되는 결합으로 인하여 교체가 많다고 하여 결합이 증가하는 것은 아니다[그림 3.6-5].

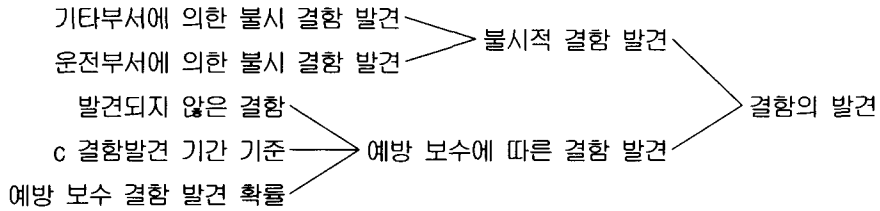


[그림 3.6-5] 결합의 발생(부품 교체)

#### 나. 결합의 발견

결합은 발견되어야 조치를 취할 수 있다. 결합의 발견은 크게 두 개의 경로에 의해서 발견되는데 첫째는 예방 보수에 의한 결합 발견이며 둘째는 불시적 결합 발견이다. 예방보수는 주기적으로 이루어지는 활동

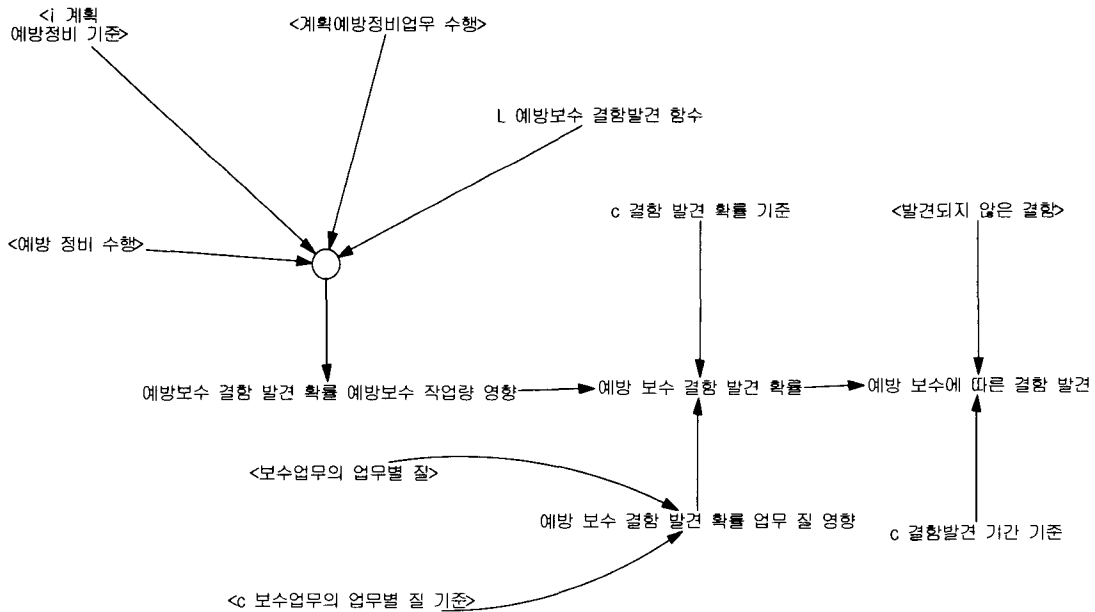
인 반면에 불시적 결함 발견은 우연히 혹은 예상치 않은 상태에어 발견 된다.



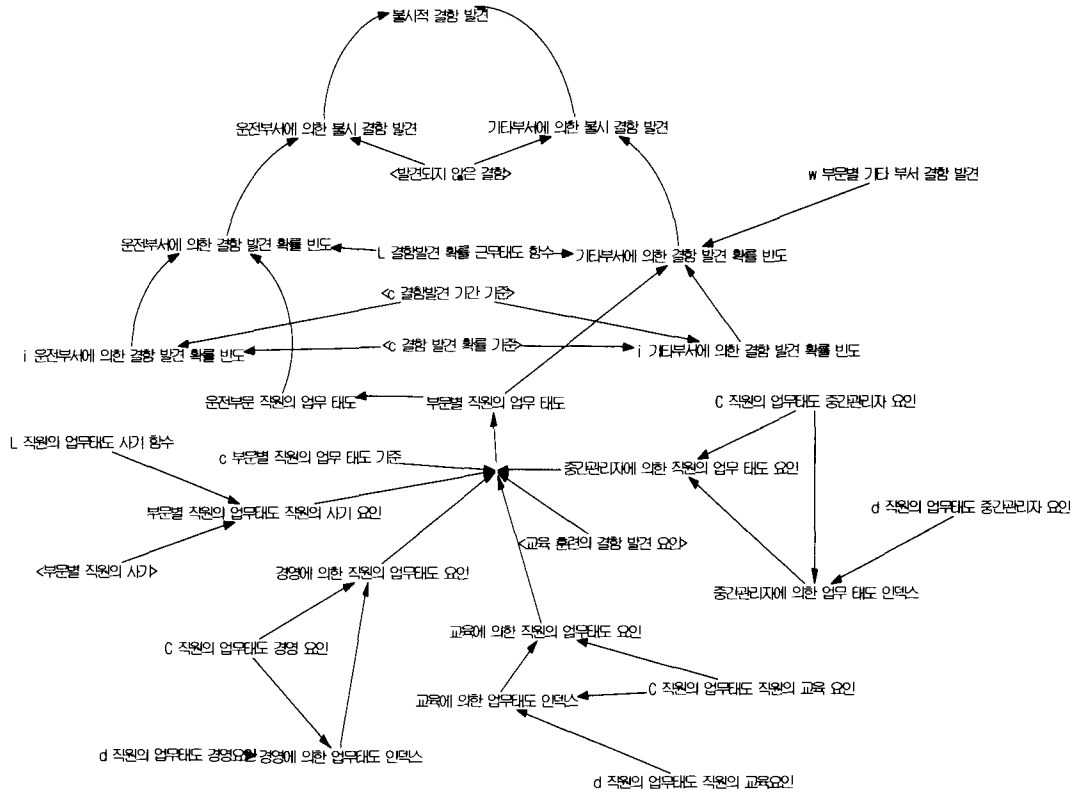
[그림 3.6-6] 결함의 발생에 영향을 미치는 변수들

다시, 불시적 결함 발견은 운전부서에 의한 결함 발견과 기타 부서에 의한 결함 발견으로 구분할 수 있다.

발전소에서는 예방보수 활동으로 인하여 결함이 발견되는 경우도 상당수 존재한다. 예방정비를 경상정비 시의 예방정비와 계획예방정비시의 예방정비로 구분하였는데, 발전소의 운영 전주기에 걸쳐서 예방정비 활동이 이루어진다고 볼 수 있다.



[그림 3.6-7] 결함발견(예방보수)



[그림 3.6-8] 결함발견(불시)

결함의 발견은 또한 불시에 발견될 수 있다. 불시적 발견은 업무에 대한 직원들의 태도와 깊은 관련이 있는데 즉, 적극적인 자세로 임하는 사람들이 많을수록 더 많은 결함을 발견할 수 있을 것이라는 가정을 하였다.

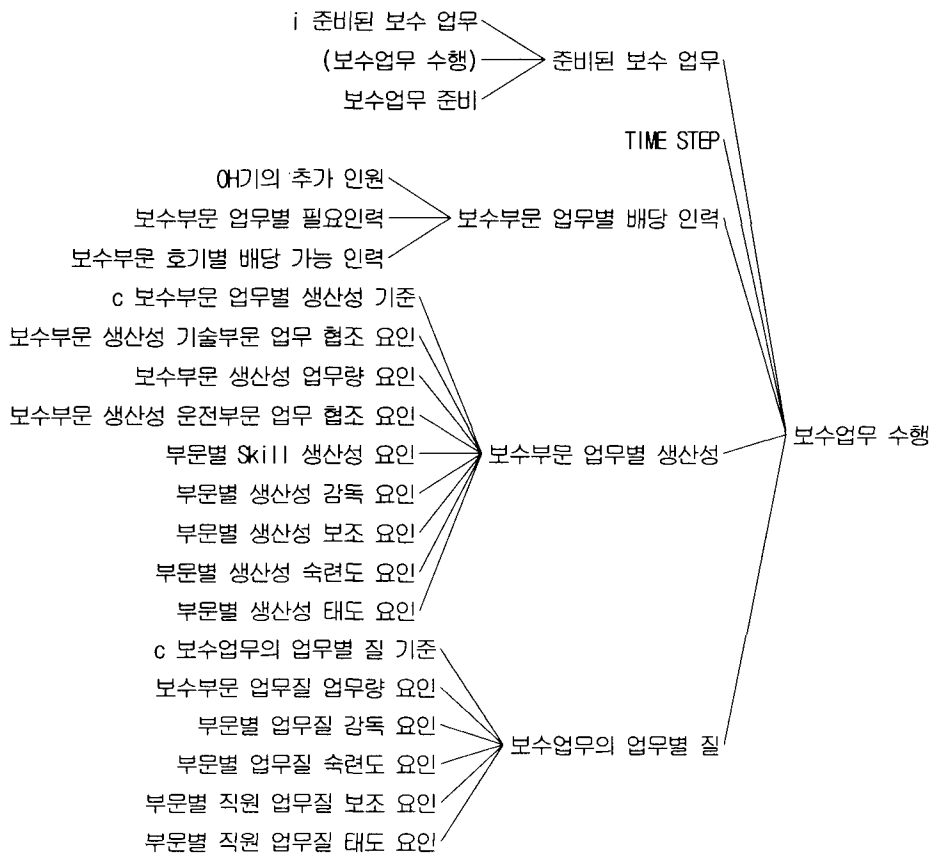
불시적 발견은 운전부서에 의한 것과 비운전 부서에 의한 것으로 나누어서 고찰할 수 있는데 이러한 태도에 영향을 미치는 것은 사기, 경영자들의 관리에 의한 직원들의 업무태도 등이다. 업무의 태도는 교육에 의해서 그리고 중간관리자의 관리에 의해서도 영향을 받는다.

### 다. 결함의 제거

결함의 제거는 보수활동에 의해서 제거된다. 보수활동에는 작업의

질이 영향을 미치는데 즉 올바른 보수(Corrective Maintenance)만이 재작업을 발생하지 않고 완전한 결함의 제거가 이루어진다. 만약, 결함에 대한 보수가 잘못 이루어진다면(Wrong Maintenance), 발견되지 않은 결함에 계속 누적된다.

결함의 제거 과정을 모델에 반영하는 방법은 결함의 특성에 따라 차이가 있는데, 결함이 발전소 이용률이나 안전성에 중요하다면 이 결함은 보다 신중하게 처리될 것이고, 그렇지 않다면 단순하게 빨리 처리하는 방법을 취하게 될 것이다.



[그림 3.6-9] 결함의 처리에 영향을 미치는 변수들

시스템 다이내믹스 모델에서는 결함이 중요한 결함이든 중요하지 않은 결함이든 어느 경우라도 "계획 → 보수 준비 → 보수" 등의 순서를 거치게 되며, 결함이 발전소 안전성에 영향을 미치는 중요도에 따라서

시간적 상수나, 작업의 질을 높이기 위한 노력 등의 상수를 다르게 고려하여 모델에 반영한다.

즉, 위의 [그림 3.6-9]에서 볼 수 있는 바와 같이 보수 업무의 수행은 인력과 생산성 작업의 질에 의해서 영향을 받는 것으로 표시하여 보수로 인한 결함의 제거 활동을 묘사할 수 있다.

## 2. 업무의 발생과 수행

업무를 시스템 다이내믹스로 묘사하는 방법은 크게 외연적 방법(Explicit Method)과 내연적 방법(Implicit Method)으로 나누어 고찰할 수 있다.

외연적 방법은 업무의 생성과 수행을 레벨 (Levels)과 변동률(Rates)로 나타내게 되며, 내연적 방법은 업무의 양을 보조변수(Auxiliary Variables)로 계산하는 방식을 말한다. 반면에 내연적 방법은 업무의 생성과 수행을 단순히 변동률로 표시하는 방법을 말한다.

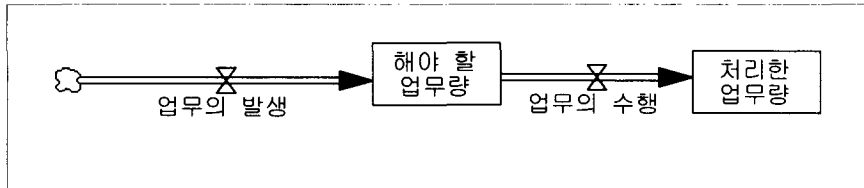
일반적으로 하나의 레벨을 묘사하기 위해 10개의 변수가 부수적으로 필요하다는 점을 고려하면, 업무는 되도록 내연적 방법을 사용하는 것이 모델을 간략화 하는데 도움이 되나 모델의 정확성은 떨어진다. 따라서 업무의 양이 중요한 역할을 하는 본 연구에서는 외연적 방법을 사용하여 업무 부분을 묘사하기로 한다.

외연적 방법을 사용하는 또 하나의 이유는, 업무 과정 중에 시간 지연(Delay)이 존재하고 시간 지연에 따른 시스템의 동적 현상을 묘사하기 위해서는 외연적 방법을 사용하게 된다.

모델의 목적 및 업무의 특성에 따라 다음과 같은 3 가지 방법으로 Explicit 방법을 사용할 수 있다.

- 단순 업무 흐름
- 재작업 업무 흐름
- 주기적 업무 흐름

가. 단순 업무 흐름



[그림 3.6-10] 단순 흐름 업무의 시스템 다이내믹스 묘사 방법

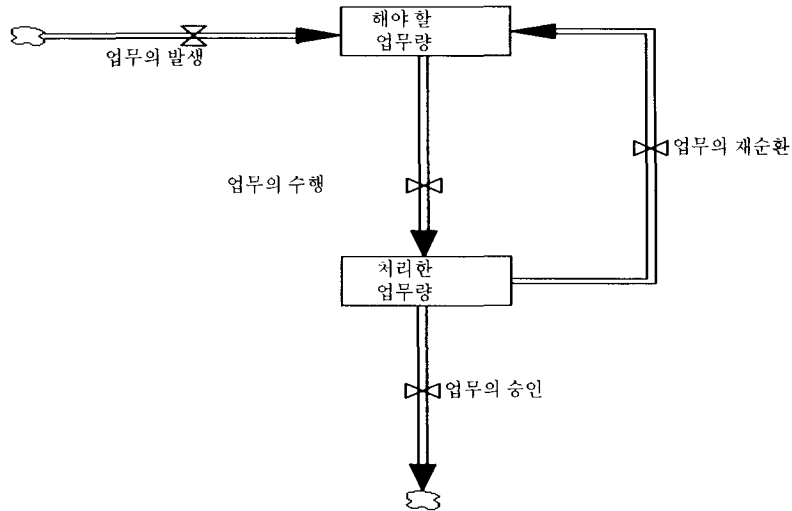
단순 흐름 업무의 형태는 업무의 재작업(Rework)이 중요하지 않을 때 적용한다. 최고 경영자의 업무는 경영자 외에 검토할 사람이 없으므로 이 부류에 속하고, 그 하부 계층의 업무라 하더라도 행정업무처럼 단순한 작업으로 재작업이 중요하지 않은 경우에도 이 형태를 적용할 수 있다.

“처리한 업무량”이라는 값이 필요가 없다면 이 변수를 제거할 수 있으며, 업무의 발생 및 수행에 필요한 인력과 인력들이 갖는 생산성, 업무의 질과 같은 특성은 업무의 특성에 따라 달리 표현하면 된다.

나. 재작업 업무 흐름도

업무 중에는 재작업이 매우 중요한 요소로 나타나는 경우가 나타난다. 예를 들면 앞에서의 보수 업무와 같은 경우가 해당된다. 보수 업무의 경우에는 보수 업무를 실행했지만 그 수행과정에 이상이 발생하여 결함이 제거되지 못하면 다시 결함을 발생하게 되는 경우이다. 업무의 재순환에서는 업무를 수행할 때의 질(Quality)이 항상 중요한 변수로 대두된다.

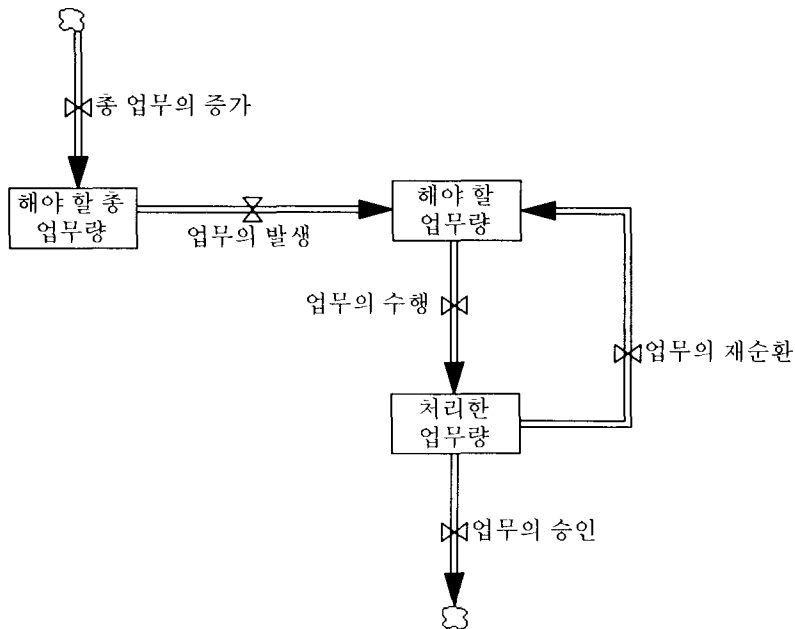




[그림 3.6-11] 재작업 업무 흐름에 대한 시스템 다이내믹스 묘사 방법

다. 주기적 업무 흐름

업무의 성격상, 일정 주기마다 일정량의 업무를 갖고 와서 수행해야 할 경우 발생하게 되는데 이를 주기적 흐름 업무로 분류하여 모델에 반영할 수 있다.



[그림 3.6-12] 주기적 흐름 업무의 시스템 다이내믹스 묘사 방법

정부가 수행하는 장기 사업들이 대부분 이에 해당하며, 매해 다음  
 년도의 사업을 승인 받아야 하기 때문이다. 일단 승인된 사업 내용은 그  
 당해 년도에는 변경되는 사항이 거의 없게 된다.

### 3. 업무의 종류

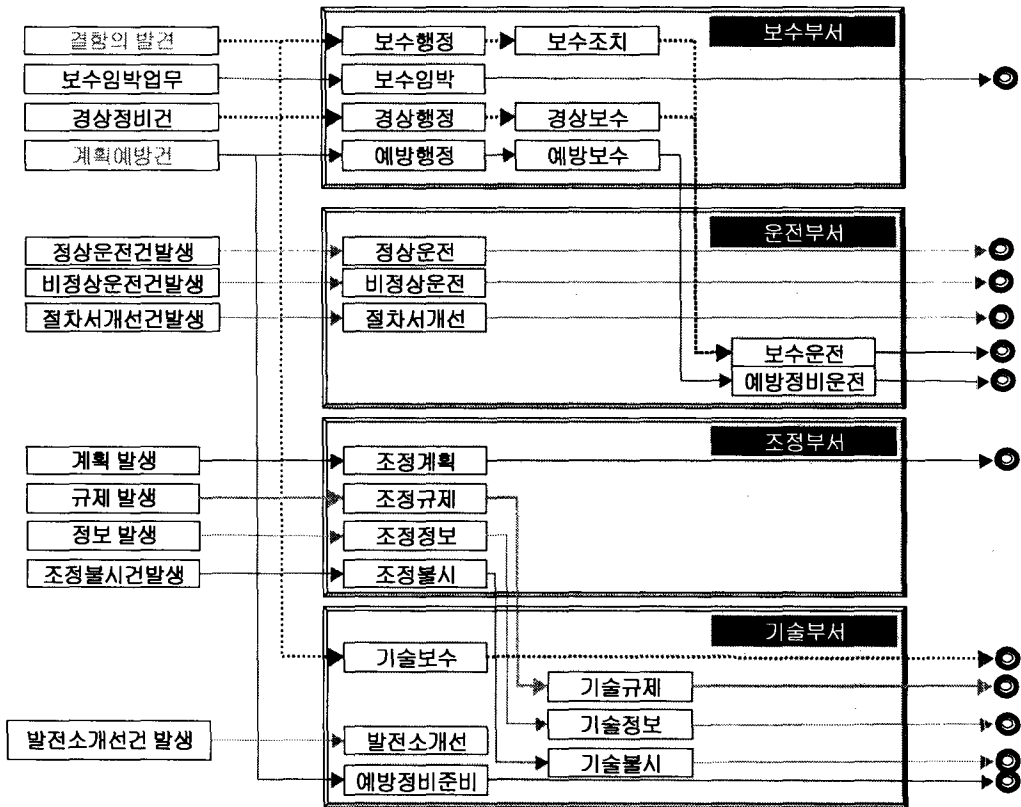
본 모델에서는 16가지의 업무 형태를 묘사하였다. 모델에 반영된 업  
 무와 그 묘사 방법은 <표 3.6-1>에 나열되었다.

<표 3.6-1> 업무의 종류

| 부문           | 업무        | 정의               | 묘사방법 |
|--------------|-----------|------------------|------|
| 최고 경영자<br>부문 | 비정기 불시 업무 | 불시에 발생하는 업무      | A    |
|              | 행정 업무     | 행정 처리 업무         | D    |
|              | 계획 업무     | 발전소 운영 등에 계획 업무  | D    |
|              | 감독 업무     | 관리자 감독 업무        | D    |
| 중간관리자<br>부문  | 비정기 불시 업무 | 불시에 발생하는 업무      | A    |
|              | 행정 업무     | 행정 처리 업무         | D    |
|              | 계획 업무     | 발전소 운영에 대한 계획 업무 | B    |
|              | 감독 업무     | 직원 감독 업무         | D    |
| 조정 부문        | 비정기 불시 업무 | 불시에 발생하는 업무      | A    |
|              | 규제 관련 업무  | 규제와 관련된 조정 업무    | A, D |
|              | 기술 정보 업무  | 기술 정보 배분 업무      | A, D |
|              | 계획 업무     | 원전 운영 관련 계획      | B    |
| 운전 부문        | 정상 운전 업무  | 정상 운전에 관한 업무     | D    |
|              | 비정상 운전 업무 | 비정상 운전에 관한 업무    | D    |
|              | 보수 관련 업무  | 보수 작업 관련 운전 업무   | A    |
|              | 절차서 수정 업무 | 절차서 개선에 관련된 업무   | B    |
|              | 예방정비운전    | 예방정비후 테스트운전      |      |
| 보수 부문        | 경상예방보수업무  | 올바르게 처리된 보수업무    | A    |
|              | 경상예방보수행정  | 사전 예방 보수 업무      | D    |
|              | 보수행정      | 보수관련 행정업무        | A    |
|              | 비정기 불시 업무 | 불시에 발생하는 보수업무    | A    |
|              | 보수조치      | 수리TR의 해결         | A    |
|              | 계획예방정비행정  | 계획예방정비관련행정업무     | A    |
|              | 계획예방정비업무  | 계획예방정비조치업무       | A    |
| 기술 부문        | 비정기 불시 업무 | 불시에 발생하는 기술업무    | A    |
|              | 보수 관련 업무  | 보수관련 기술업무        | A    |
|              | 기술 정보 업무  | 기술 개선에 대한 정보 처리  | A    |
|              | 규제 관련 업무  | 규제관련 기술업무        | B    |
|              | 예방정비준비업무  | 계획예방정비준비 업무      | A    |
|              | 발전소 개선 업무 | 발전소 개선을 위한 기술 업무 | A    |

비고 A = 단순흐름, B=재작업흐름, C = 주기적흐름, D = Implicit 방법

[그림 3.6-13]은 각 업무의 흐름을 나타낸 것이다..



[그림 3.6-13] 부서간 업무의 흐름 및 발생

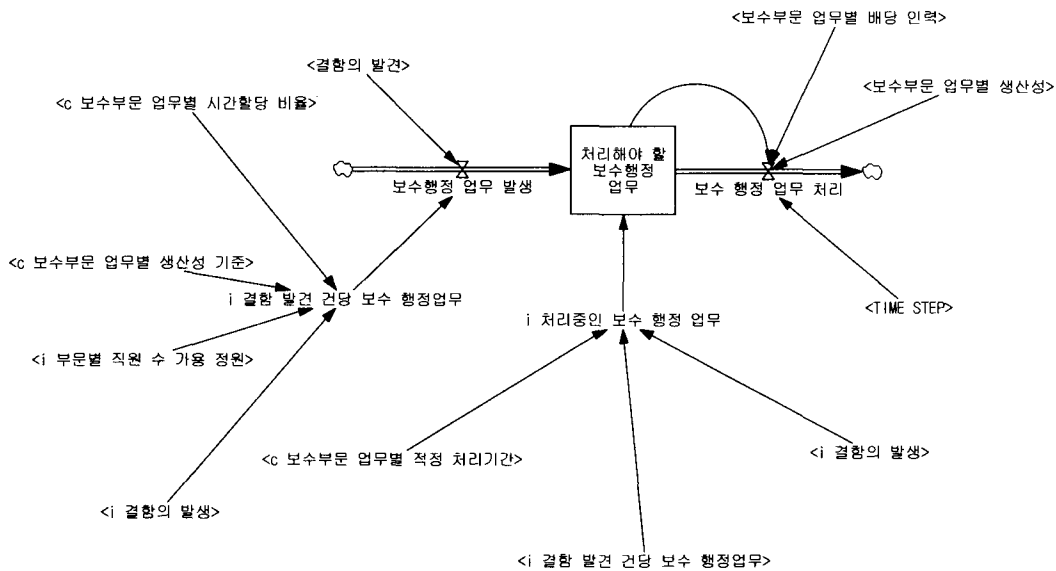
한 부서의 업무의 완성은 다른 부서의 업무의 발생이 되며 수직적으로도 한 계층의 일의 완성은 다른 계층의 일의 시작이 되는 시스템적 구조를 갖는다.

### 가. 보수 관련 업무

결함의 발견 이후에 수행되는 보수(Corrective Maintenance) 관련 업무에는 보수부서, 운전부서 및 각 기술부서도 관여하게 된다. 운전부서는 모든 보수 활동을 확인해 주어야 하며, 기술부서는 중요 보수에 대해 기술적 검토를 수행하게 된다.

필요에 따라서는 기술부서의 직원이 보수 현장에 입회해야 할 때도

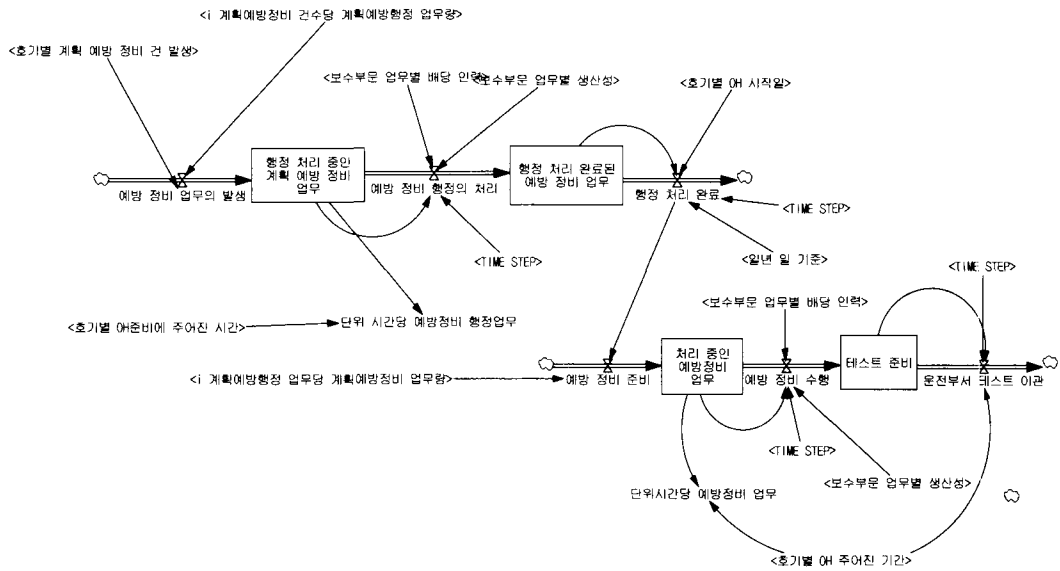
있으며 이러한 작업은 앞에서 언급한 업무의 형태에서 승인이 필요한 작업의 형태로 분류하여 모델에 반영하였다.



[그림 3.6-14] 보수부문 업무(보수행정)

이상의 기본적인 모델링 규칙에 의거하여 보수행정에 대한 모델의 실재는 위 [그림3.6-14]와 같다. 보수부서의 경우에는 단순업무 종류의 처리형태가 다수를 이룬다. 모든 업무에 공통적으로 적용되는 사실은 업무의 처리에는 생산성, 배당 인력에 의해서 업무 처리가 이루어지며, 업무의 질을 고려해야 할 업무 즉, 보수 작업의 실행과 관련된 일들은 업무의 질을 추가하여 업무 처리를 계산한다.

보수부문 업무 중 보수와 계획예방정비 업무는 같은 업무 처리 구조를 갖는다. 즉 행정적인 업무 절차가 완료되면 작업 준비를 하고 작업의 준비는 업무를 수행함으로써 완료된다. 이 때, 작업준비기간에 영향을 미치는 것이 부품의 원활한 공급이 이루어지느냐의 여부이다. 만약 해당 부품이 존재하지 않으면 그만큼 업무 처리가 지연될 것이다. 본 모델에서는 부품에 대한 공급 기간에 대해서는 입력변수로서 처리하였다.



[그림 3.6-15] 보수부문 업무(예방정비업무수행)

보수부서에서의 예방정비 업무는 다른 특성을 갖는다. 예방정비를 준비하는 기간이 존재하며, 예방정비기간에 들어가면 이미 예정된 양을 소거하는 형태로 모델을 만들었다. 즉 해야 할 일이 step 형태로 한꺼번에 발생하고 이를 매일 매일 해결하는 형태의 모델을 작성하였다. 예방 보수 기간에 처리했던 일들은 테스트 운전이 성공적으로 종료되어서야 시스템에서 제거된다.

나. 비정기 불시 업무

비정기 불시 업무(unexpected work)란 발전소의 일상적 업무가 아닌 예상치 못했던 업무를 말한다. 이러한 업무는 주로 외부 기관의 요청에 의해서 발생하는데 불시 감사와 같은 경우가 그 예라고 할 수 있다.

본 모델에서는 비정기 불시 업무는 일단 조정부서(기술공무부)로부터 시작한다고 가정하였다.

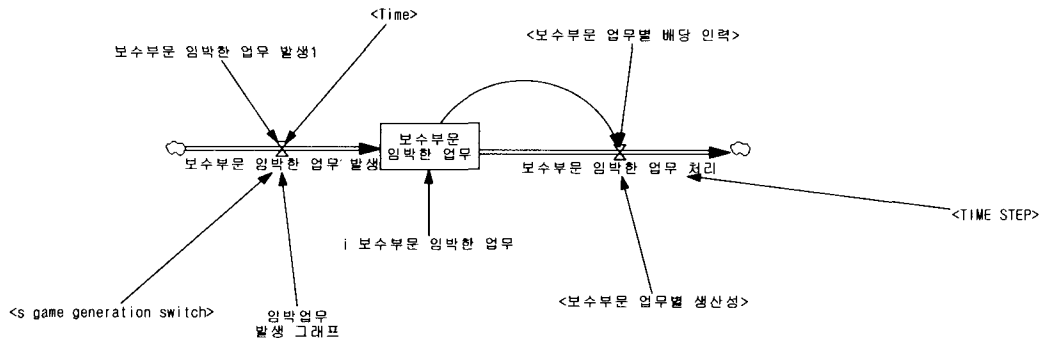
먼저, 조정부서는 어느 부서에서 이 일을 수행하는 것이 적당한지 판단하고 해당부서로 이관한다.

해당 부서에서는 맡은 일을 처리하고, 이를 다시 조정부서에서 통합

하여 마무리를 비정기 불시 업무를 마무리 짓는다. 이러한 논리에 의하면 비정기 불시 업무와 관련해서는 다음과 같은 업무들이 이루어진다.

- 조정부문 초기조정 업무
- 기술부문 업무
- 조정부문 조정 업무
- 조정부문 통합 업무

이러한 업무를 모델에 반영하여 비정기 불시업무에 대한 처리 과정을 묘사하였다.



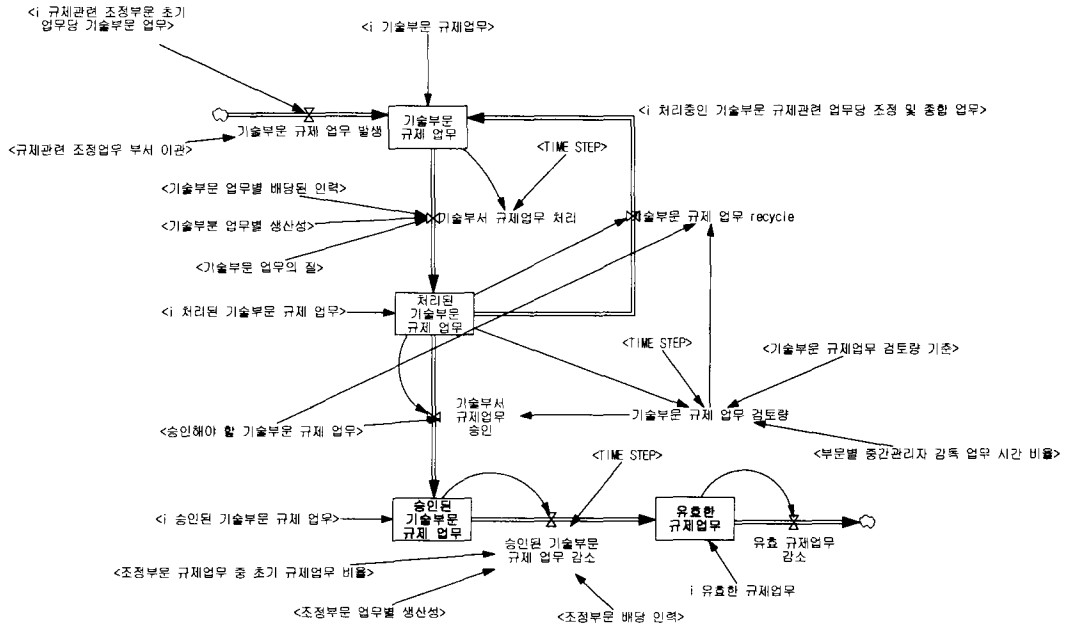
[그림 3.6-16] 보수부문 업무(임박한 업무)

#### 다. 규제 관련 업무

규제 관련 업무 역시 비정기 불시 업무와 같이 일단 조정부서(기술공무부)로부터 시작한다고 가정하였다.

조정부서는 비정기 불시 업무와 마찬가지로 규제 관련 업무 역시 관련 업무에 대한 처리를 어느 부서에서 수행하는 것이 적당한지 판단하고 해당부서로 업무를 이관하는 것으로 모델에 반영하였다.

해당부서에서는 맡은 일을 처리하고 다시 조정부서에서 통합하여 마무리하게 된다.



[그림 3.6-17] 기술부문 업무(규제관련업무)

이러한 맥락에서 규제 관련 업무와 관련해서는 비정기 불시 업무와 유사하게 다음과 같은 업무들이 이루어지게 된다.

- 조정부문 초기조정 업무
- 기술부문 업무
- 조정부문 조정 업무
- 조정부문 통합 업무

#### 라. 기술 정보 업무

기술정보 업무도 일단 조정부서(기술공무부)로부터 시작한다고 가정한다.

조정부서는 어느 부서에서 이 일을 수행하는 것이 적당한지 판단하고 해당 부서로 이관한다. 해당 부서에서는 맡은 일을 처리하는데, 비정

기불시 업무나 규제 관련 업무와는 다르게 통합 조정업무는 필요가 없다. 이러한 논리에 의하면 기술 정보 업무와 관련해서는 다음과 같은 업무들이 이루어진다.

- 조정부문 업무
- 기술부문 업무
- 계획 업무
- 비정기 불시업무

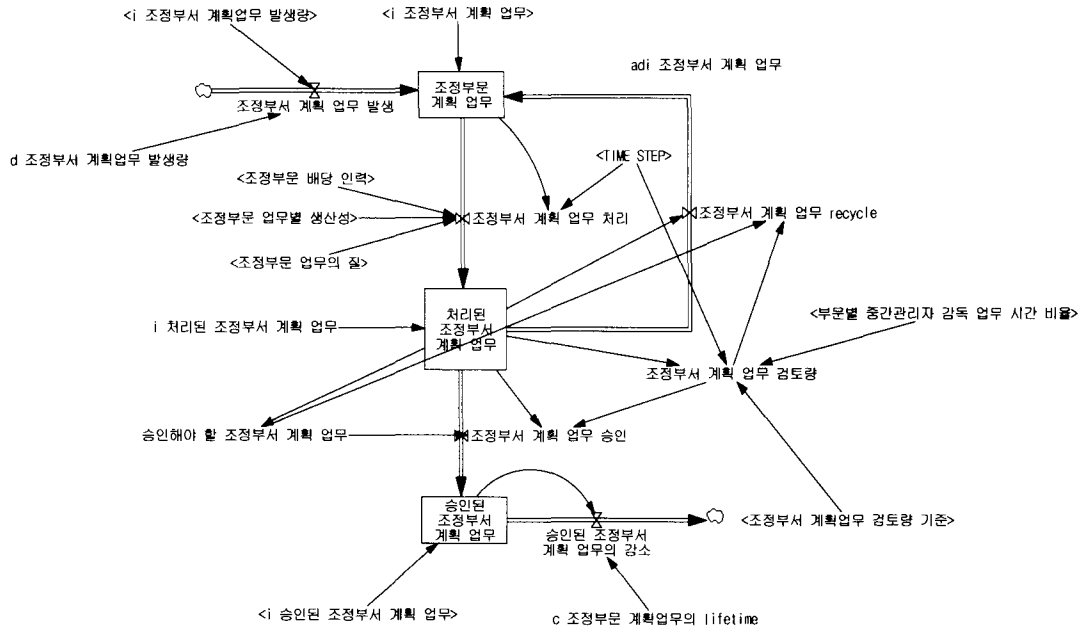
계획 업무도 조정부서(기술공무부)로부터 시작한다고 가정한다. 조정부서에서 필요한 지침과 함께 각 기술부서로 업무를 분담하게 된다. 해당 부서에서는 각 분야의 일을 수행한 다음 다시 조정부서에서 통합하여 업무를 마무리한다.

거의 모든 부서가 관련되는 계획 업무는 재작업이 많이 관련된다는 점이 다른 조정업무와 다르다.

재작업(또는 검토)을 고려한다면 계획 업무와 관련해서는 다음과 같은 업무들이 이루어진다.

- 조정부문 초기조정 업무
- 기술부문 업무
- 조정부문 조정 업무
- 조정부문 통합 업무,
- 중간관리자 검토 업무
- 최종관리자 검토 업무

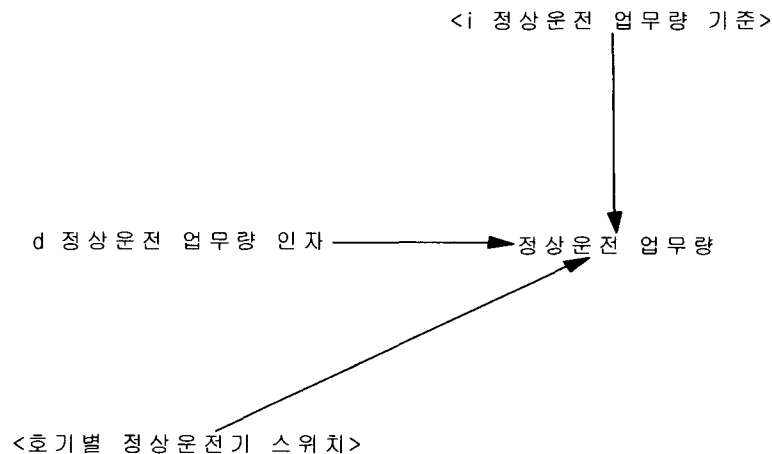




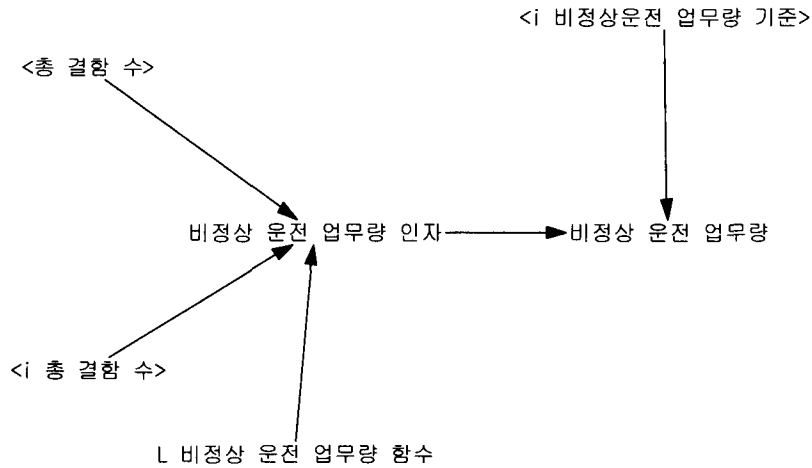
[그림 3.6-18] 조정부문 업무(계획업무)

마. 운전업무

운전업무는 운전업무의 특성상 보조변수를 이용하여 외연적 업무처리 과정으로 묘사한 것이 많다. 아래 [그림3.6-19]와 [그림3.6-20]은 이러한 모델링을 보여준다.



[그림 3.6-19] 운전부문 업무(정상운전업무)



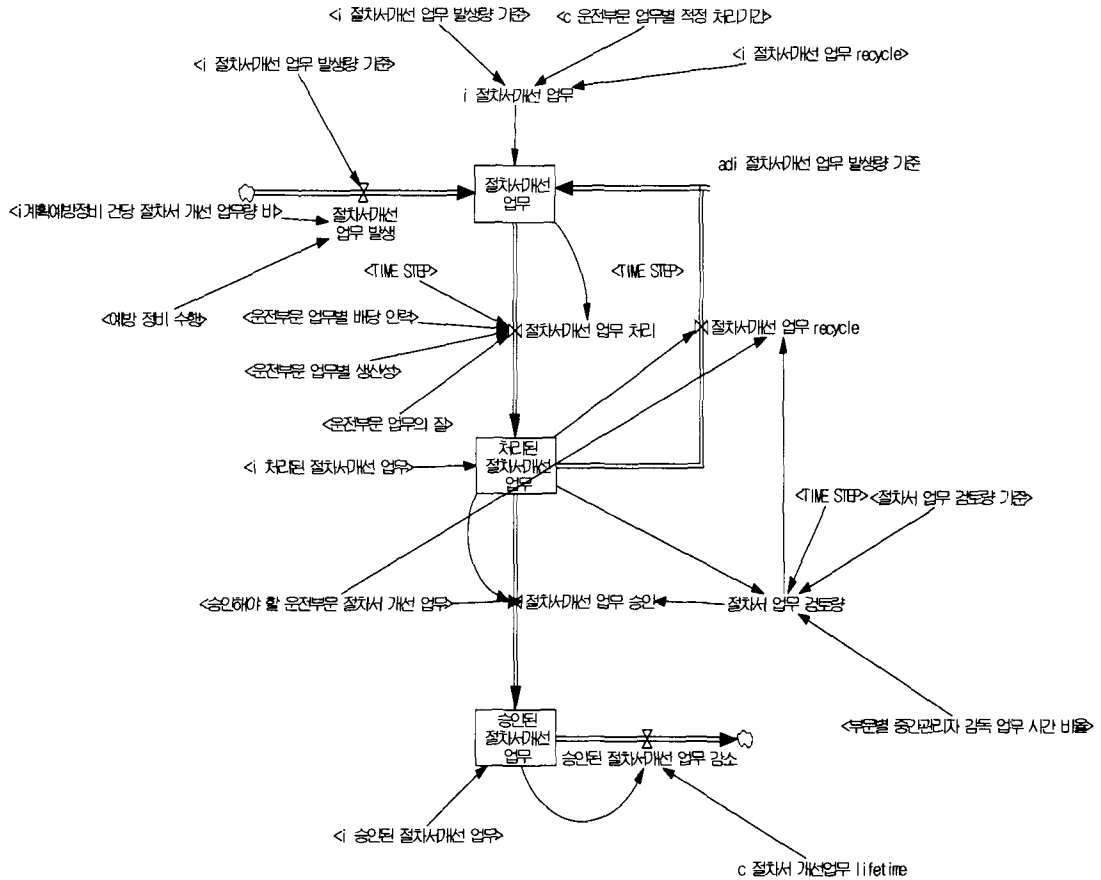
[그림 3.6-20] 운전부문 업무(비정상운전업무)

운전부서의 업무는 다른 업무의 처리와는 다르게 Stock 변수 없이 보조변수만으로 이를 처리한 것이 있다. 일의 우선순위 배정에 있어서 업무량에 의해서 인력이 배분되기 때문에 Stock 변수로 처리한 것과는 큰 차이가 존재하지 않는다. 다만 일처리의 흐름을 가시적으로 파악하기 어렵다는 단점이 있다.

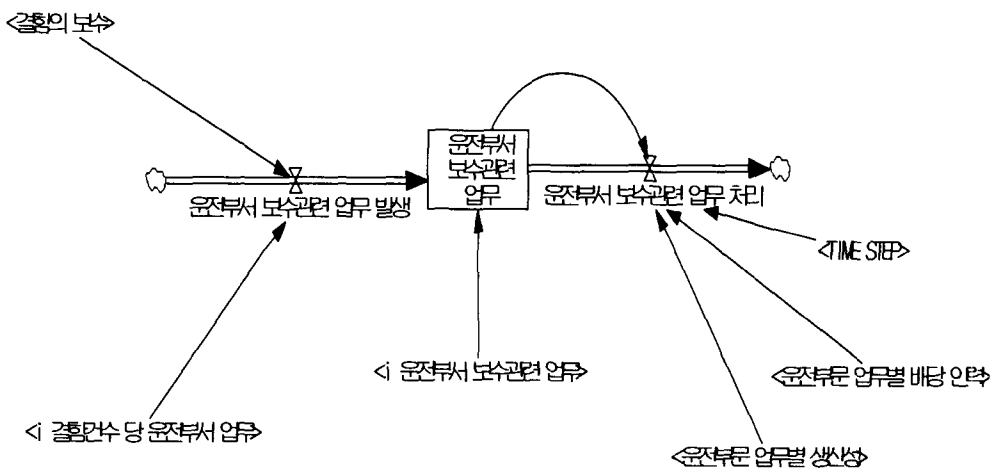
이렇게 stock 변수로 표현하지 않은 업무는 정상운전 업무와 비정상 운전 업무가 있다. 정상운전 업무란 100% 출력으로 운전되는 상태를 뜻한다면 비정상운전은 정상운전이 아닌 상태를 말한다. 다만 비정상 운전의 상황에 대해서는 사용자가 직접 입력할 수 있도록 작성하였다.

절차서 개선 업무는 운전부서의 주요한 업무이다. 절차서 개선 업무 역시 상급자의 승인이 필요한 업무이므로 재작업 단계가 있는 업무의 종류에 속한다. 재작업의 처리에 대한 업무는 결국 매뉴얼의 질과 연결된다.

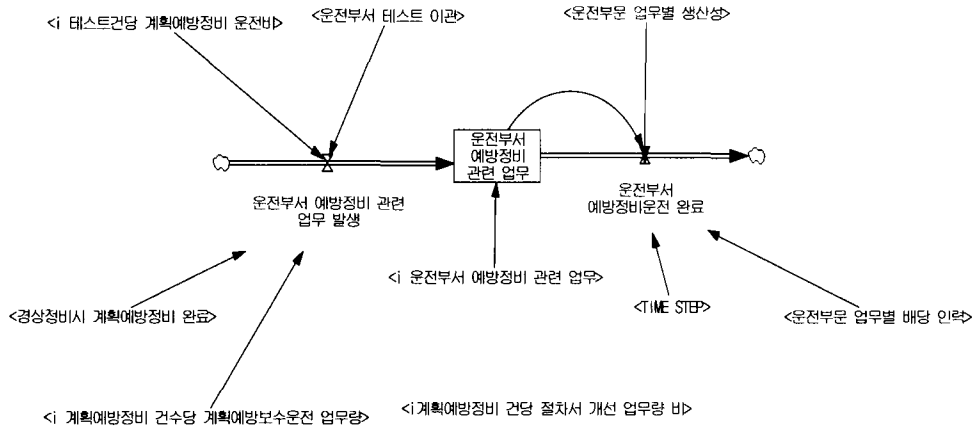
매뉴얼의 질은 작성자와 검토자가 충분한 시간을 가지고 작성하고 검토하는 것과 그것과 비교했을 때 단위시간당 검토량이 많으면 매뉴얼의 질은 좋지 않을 것이라는 가정할 수 있을 것이다.



[그림 3.6-21] 운전부문 업무(절차서개선업무)



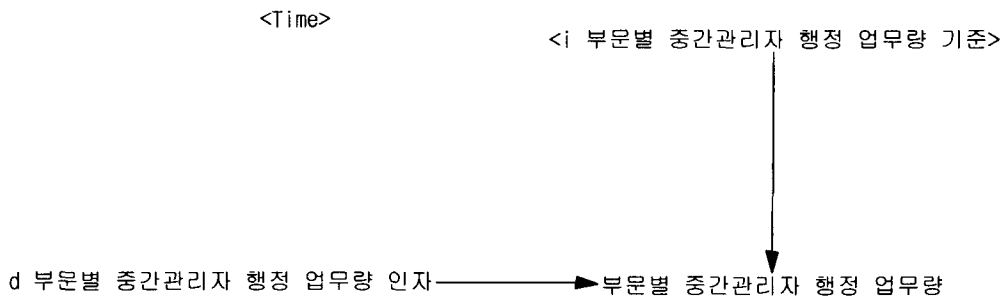
[그림 3.6-22] 운전부문 업무(보수관련업무)



[그림 3.6-23] 운전부문 업무(예방정비운전업무)

운전부서에서 보수업무 수행 후 이를 테스트하기 위한 테스트 운전이 필요하다. 이러한 일은 단순업무처리 흐름으로 모델링을 실시하였다. 시기는 다르지만 예방정비 후에 테스트 운전기간 역시 단순업무처리 흐름으로 묘사하였다.

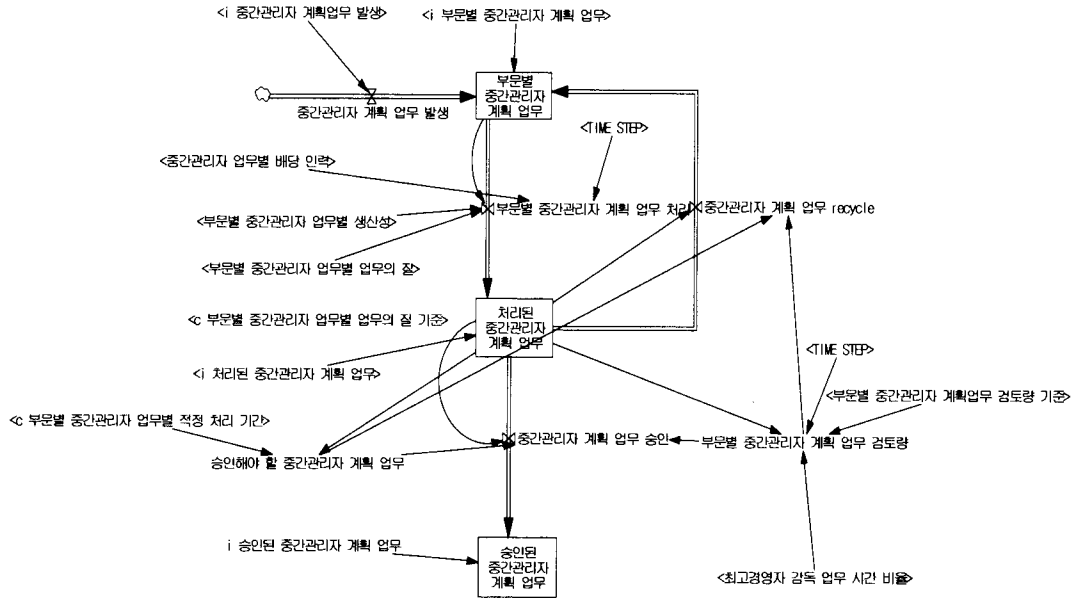
바. 중간관리자 및 최고관리자 업무



[그림 3.6-24] 중간관리자 업무(일반행정)

중간관리자의 업무는 4가지 형태로 업무를 분류하였다. 루틴한 행정 업무, 비정기적으로 발생하는 불시업무, 부서감독 업무, 마지막으로 계획

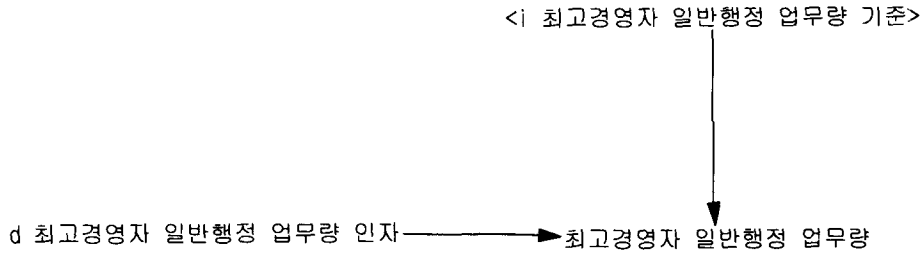




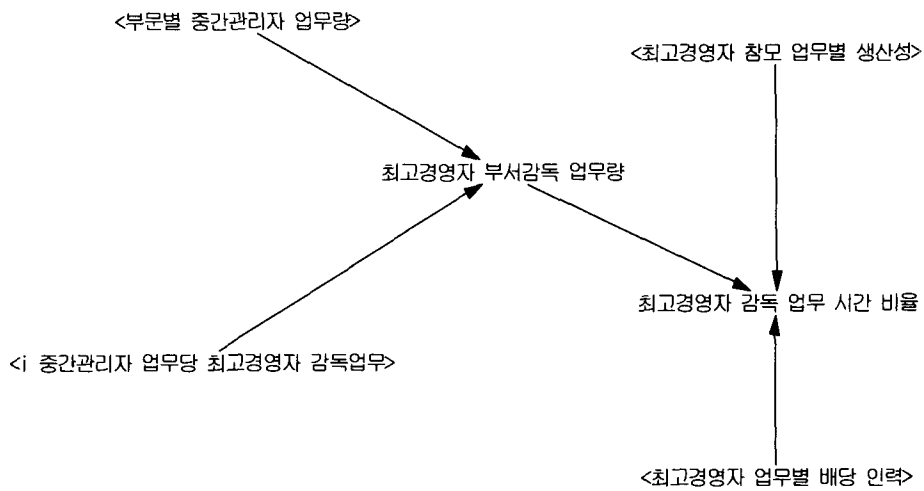
[그림 3.6-27] 중간관리자 업무(계획업무)

중간관리자의 승인업무의 경우에는 최고관리자의 승이니 필요한 업무가 많기 때문에 최고경영자들의 승인이 된 것과 되지 못하는 것으로 다시 나누어 승인을 얻지 못하는 것은 다시 재작업하는 과정을 거치도록 묘사하였다.

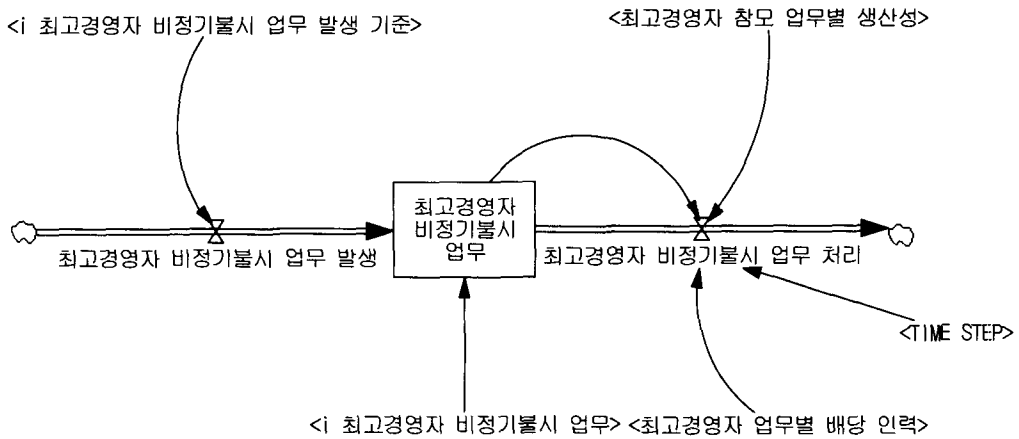
최고경영자들의 업무 역시 행정업무, 계획업무, 감독업무, 그리고 예상 밖의 업무의 4종류로 나누어서 모델을 작성하였다. 최고경영자의 업무는 예상 밖의 업무를 제외하고는 Stock으로 처리하지 않고 보조변수로서 처리하였다. 즉 일이 발생하면 즉시 시간할당을 하도록 하기 위한 묘사방법이다. 아래의 그림들은 최고경영자들의 업무 처리에 대한 모델링 결과이다.



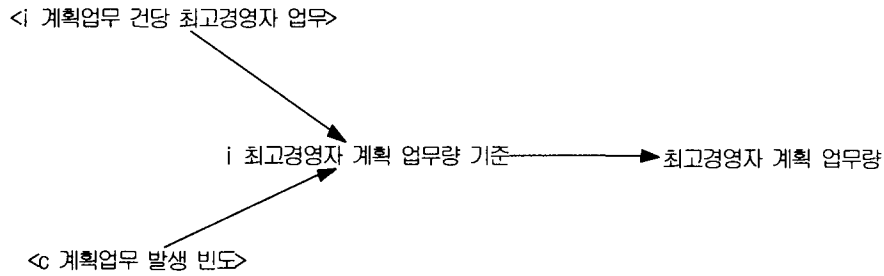
[그림 3.6-28] 최고경영자 업무(일반행정)



[그림 3.6-29] 최고경영자 업무(감독업무)



[그림 3.6-30] 최고경영자 업무(비정기불시업무)



[그림 3.6-31] 최고경영자 업무(계획업무)

#### 4. 업무 발생

업무의 발생은 그 이전에 업무를 유발하는 이벤트에 의해서 발생한다. 가령, 예방정비 업무는 예방정비를 해야 할 부품의 건수가 발생했다든가, 결함의 보수는 결함의 보수를 요구하는 사건의 발생이 있어야 행위가 이루어진다. 외생변수로 처리된 사건은 업무와 마찬가지로 보조변수로써 표현을 할 수 있으나 중요한 사건 특히 발전소 내부에서 일어나는 예방정비와 같은 사건들은 Stock 변수를 이용하여 내연적으로 묘사하였다.

##### 가. 예방정비의 발생

발전소의 예방정비의 발생과 이 일의 해결에 대한 모델 부분은 [그림 3.6-32]와 같다. 발전소의 예방정비 스위치가 작동함으로써 예방정비 건수가 발생하고 이를 수행함으로써 완료되는 형태를 나타낸 것이다. 예방정비에 대한 모델은 발전소의 상태에 따라서 발전소가 정지되기도 하고 다시 가동되기도 하도록 하기 위해서 만든 모델이다. 연도별 예방정비 시작 날짜와 예방정비 기간 그리고 예방정비를 준비하는 기간을 입력하면 발전소의 상태에 따라서 예방정비 관련 업무를 발생시키고, 인력 할당에 대한 스위치를 제공한다. 이 때, 자료의 입출력은 호기별로 입력을 받는다.





## 5. 업무의 생산성 및 업무의 질

생산성이란 한 사람이 단위시간당 처리할 수 있는 업무단위의 양을 말하며 생산성이 클수록, 업무의 처리속도가 빠르다고 할 수 있다. 그런데, 업무를 신속히 처리하는 것도 중요하나, 이를 정확하게 처리하는 것도 역시 중요하다. 업무 처리의 정확성이 바로 업무의 질과 관련이 된다.

업무의 생산성과 업무의 질에 영향을 미치는 요인들은 직위에 따라 상이하므로 직위에 따라 서로 다른 영향관계를 고려하여야 한다.

즉, 직원의 경우는 주로 상위 계층에서 하달되는 업무를 처리하는 계층이므로 중간관리층의 리더십이 중요한 요인으로 작용하나, 중간 관리층의 경우에는 그 위의 최고관리층의 리더십이 중요하므로 영향 요인을 구별하여 모델에 반영할 필요가 있다.

최고관리층의 경우에는 오히려 하위계층이 업무를 충실히 따라주는가에 대한 요인이 영향을 미칠 것이다.

### 가. 직원의 생산성 및 업무의 질

결함의 발견과 처리에서 중요한 요인은 직원의 생산성 및 업무의 질과 관련된다. 직원의 생산성 및 업무의 질에 영향을 주는 요인들은 직위에 따라 서로 상이하다.

생산성 및 업무의 질은 업무의 처리에 있어서 중요한 요인이다. 본 연구에서 생산성의 정의는 “일인이 해당업무에 대해서 하루 동안에 처리할 수 있는 능력”으로 정의하였다. 업무의 질은 “해당 업무를 재작업이 발생하지 않도록 정확하게 처리하는 확률”로 정의하였다. 생산성이 업무의 속도와 관련이 있다면, 업무의 질은 정확성과 관련이 깊다. 즉 빠르고 정확하게 처리할수록 누적업무는 점점 줄어들 것이다.



[그림 3.6-34] 보수부문 생산성

생산성의 계산은 아래와 같이 하였다.

$$P_t = P_0 \times a1_t \times a2_t \times a3_t \times \dots \times a_n_t$$

$P_t$  : t 시점에서의 생산성

$P_0$  : 생산성의 기준값

$a_n_t$  : t 시점에서 생산성에 영향을 미치는 요인의 영향 계수

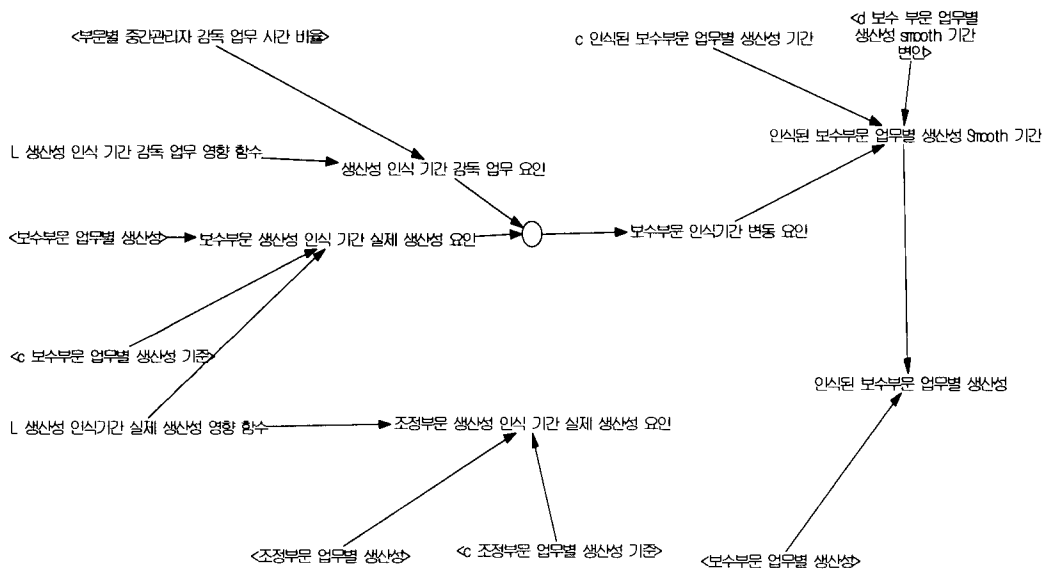
$a_n_t$ 와 같은 계수는 Vensim에서 Look-up 함수를 이용하여 계산하였다. 즉 영향요인을 지수화하여 1이면 영향을  $P_0$ 에 영향을 미치지 않는

것으로 1보다 작거나 크면 그 상황에 맞는 가중치를 계산하여 이를  $P_0$ 에 곱하여 t시점에서의 생산성을 계산하였다. 아래는 생산성에 대한 모델을 예시한 것이다.

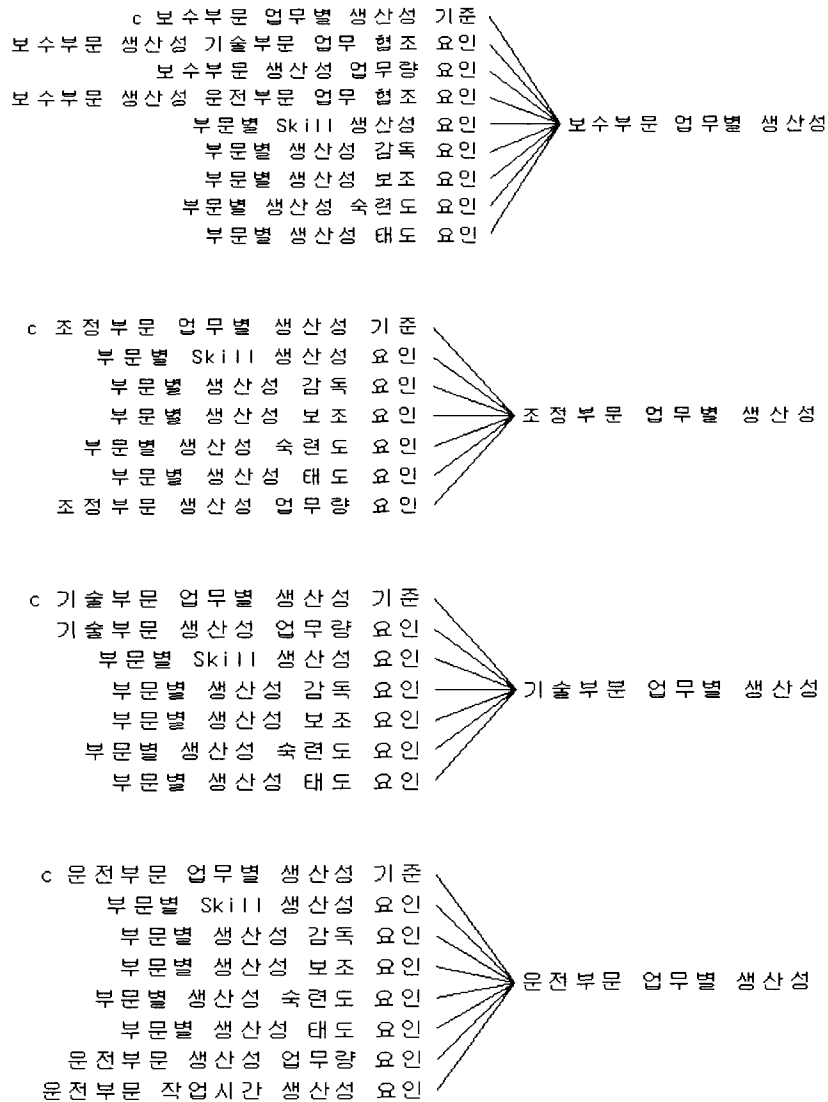
생산성에 영향을 미치는 요인을 설정한 것은 설문과 인터뷰를 바탕으로 구성하였다. 큰 항목으로 기술성, 업무환경, 리더십, 업무태도, 사기로 나누었는데, 이 각 각은 다시 하위 구성요소를 구성된다.

그런데, 실재의 생산성과 중간관리자들이 인지하고 있는 생산성 사이에는 차이가 존재하므로 이를 모델링 하였다.

관리자들은 일선 직원들의 생산성 상태를 잘 관찰하여 그 인지 기간을 단축한다면 더 많은 직원들의 성과를 더욱 향상시킬 수 있을 것이다. 중간관리자와 최고관리자도 같은 방식으로 생산성에 대한 모델링을 하였다.



[그림 3.6-35] 생산성 인식



[그림 3.6-36] 부서별 생산성에 영향을 미치는 요인

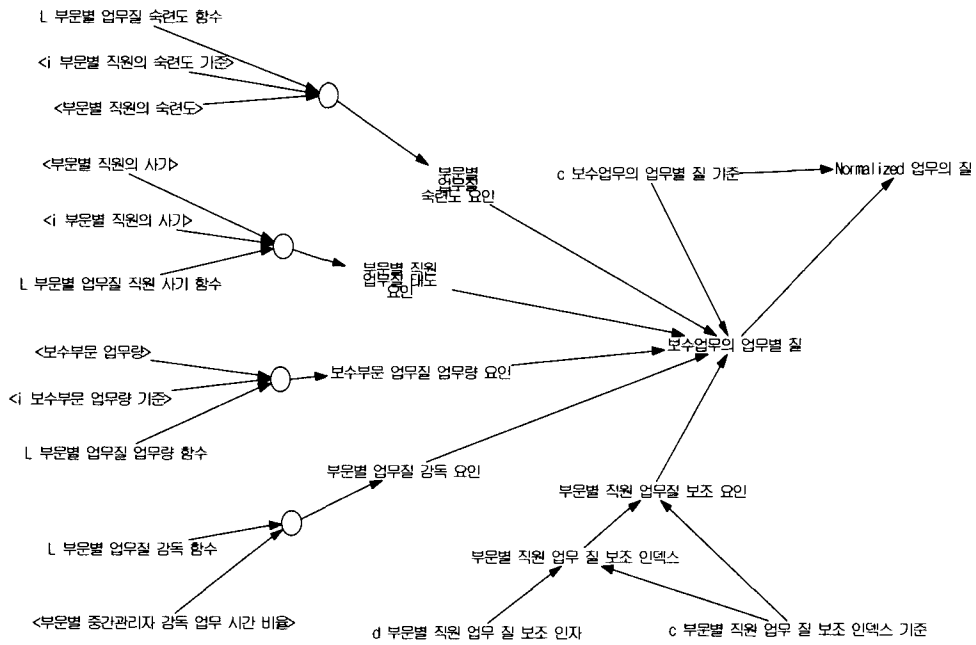
업무의 질도 생산성과 같은 방식으로 이루어졌다. 다만 업무의 질은 1(=100%)을 넘지 않도록 묘사하였다.

#### 나. 중간관리자의 생산성

중간관리자의 생산성 및 업무의 질에 영향을 주는 요인들은 다음의 표 3.6-2]와 같다.

직원들에 영향을 미치는 요인과 비슷하게 구성은 되어 있으나, 모델

에 반영이 될 때에는 독립적인 변수로서 처리된다.



[그림 3.6-37] 보수부문 업무의 질

<표 3.6-2> 중간관리자의 업무의 질과 생산성에 미치는 요인들

| 구분     | 요인             | 비고 |
|--------|----------------|----|
| 기술성    | 근무 년수          |    |
|        | 교육 정도          |    |
|        | 직원의 기술적 수준     |    |
| 업무 환경  | 지원 정도          |    |
|        | 업무 작업 환경       |    |
| 리더쉽    | 발전소 최고경영자의 리더쉽 |    |
|        | 회사 최고경영자의 리더쉽  |    |
| 업무 태도  | 최고경영자의 감독 능력   |    |
|        | 업무 부하 정도       |    |
|        | 경영진의 정책        |    |
| 직원의 사기 | 미래의 불확실성       |    |
|        | 경제적 보수         |    |
|        | 업무 방법에 의한 요인   |    |
|        | 타 직종과의 비교      |    |
|        | 직업의 안정성        |    |

다. 최고경영자의 생산성

최고경영자의 생산성 및 업무의 질에 영향을 주는 요인들은 다음의 표와 같다.

<표 3.6-3> 최고경영자의 업무의 질과 생산성에 미치는 요인들

| 구분     | 요인            | 비고 |
|--------|---------------|----|
| 기술성    | 근무 년수         |    |
|        | 교육 정도         |    |
|        | 중간관리자의 기술적 수준 |    |
| 업무 환경  | 지원 정도         |    |
|        | 업무 작업 환경      |    |
|        | 참모진의 기술성      |    |
|        | 참모진의 기술성      |    |
| 리더십    | 회사 최고경영자의 리더십 |    |
| 업무 태도  | 업무 부하 정도      |    |
| 직원의 사기 | 미래의 불확실성      |    |
|        | 경제적 보수        |    |
|        | 업무 방법에 의한 요인  |    |
|        | 타 직종과의 비교     |    |
|        | 직업의 안정성       |    |

6. 부문별 업무의 우선순위

종사자들이 처리하는 업무를 구분하여 처리하나, 모든 업무가 동등한 우선순위를 가지고 처리되는 것은 아니다. 따라서 업무가 발생하면 이를 우선순위에 의해서 처리할 수 있도록 모델에 반영하여야 한다.

인터뷰를 바탕으로 <표 3.6-4>에 업무의 우선순위를 표시하였다. 이는 업무의 중요성이 아니라 실제 일을 처리하는 순서를 의미한다. 대체적으로 시간제한이 있는 경우는 제한시간에 가까워지면서 우선순위가 올라간다.

<표 3.6-4> 업무별 우선순위

| 부문        | 업무               | 우선순위 | 비고       |
|-----------|------------------|------|----------|
| 최고 경영자 부문 | 비정기 불시 업무        | 1    | 시간제한이 있음 |
|           | 행정 업무            | 2    | 시간제한이 있음 |
|           | 계획 업무            | 3    | 시간제한이 있음 |
|           | 감독 업무            | 4    |          |
| 중간관리자 부문  | 비정기 불시 업무        | 1    | 시간제한이 있음 |
|           | 행정 업무            | 2    | 시간제한이 있음 |
|           | 계획 업무            | 3    | 시간제한이 있음 |
|           | 감독 업무            | 4    |          |
| 조정 부문     | 비정기 불시 업무        | 1    |          |
|           | 규제 관련 업무         | 2    | 시간제한이 있음 |
|           | 기술 정보 업무         | 3    |          |
|           | 계획 업무            | 4    | 시간제한이 있음 |
| 운전 부문     | 정상 운전 업무         | 2    |          |
|           | 비정상 운전 업무        | 1    |          |
|           | 보수 관련 업무         | 3    |          |
|           | 절차서 수정 업무        | 4    | 시간제한이 있음 |
| 보수 부문     | Corrective 보수 업무 | 2    |          |
|           | 예방 보수 업무         | 1    | 시간제한이 있음 |
|           | 보수 관련 행정 업무      | 3    |          |
| 기술 부문     | 비정기 불시 업무        | 1    | 시간제한이 있음 |
|           | 보수 관련 업무         | 2    |          |
|           | 기술 정보 업무         | 4    |          |
|           | 규제 관련 업무         | 3    | 시간제한이 있음 |
|           | 발전소 개선 업무        | 5    |          |

가. 인력과 업무의 배분

인력과 같은 자원을 배분하는 방식은 크게 사전식 배분과 연속 배분으로 구분된다.

사전식 배분이란 상위 우선순위에 자원을 필요한 만큼 모두 배분하고 그 다음 우선순위에 배분해 나가는 방식을 말한다. 연속 배분 방식은 자원을 필요한 양 및 우선순위에 근거하여 모든 분야에 배분하는 방식

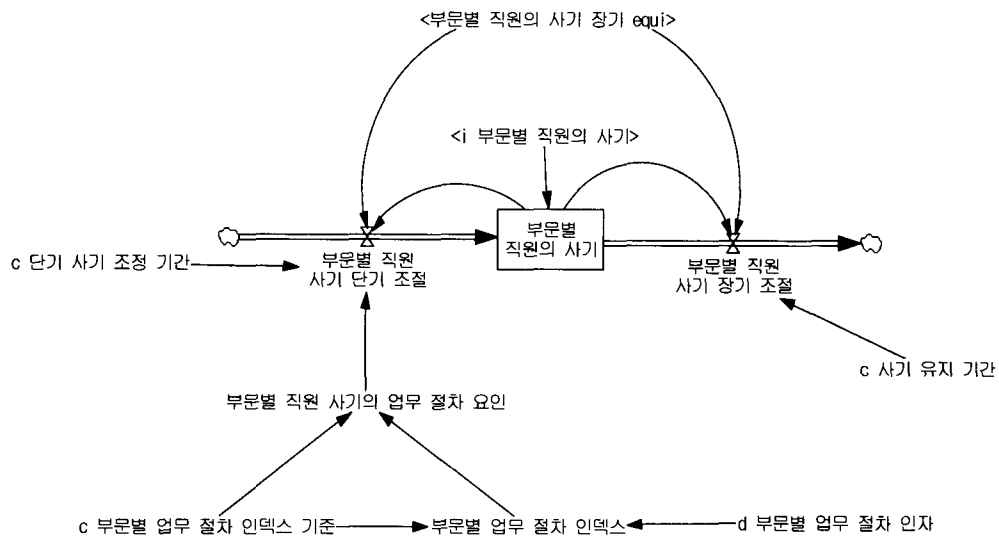






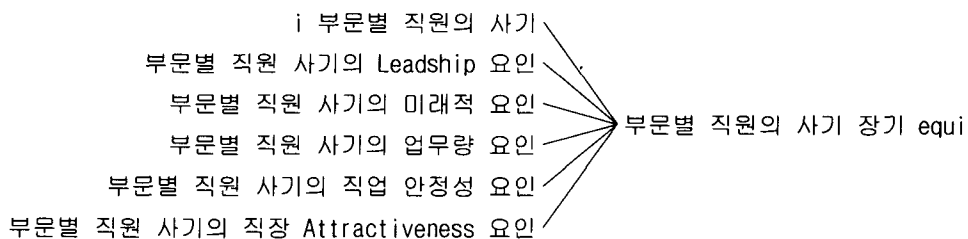
## 7. 사기 및 교육훈련

사기(morale)란 조직구성원들이 공동의 목표를 향해 자발적으로 노력하는 정신상태를 말하며 조직의 목표에 대한 몰입 충성심을 말한다.



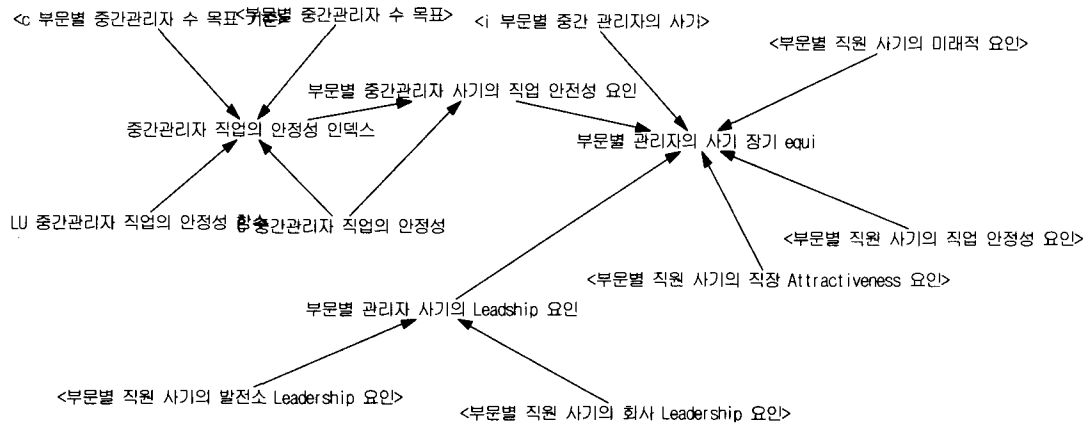
[그림 3.6-40] 직원의 사기1

이는 동기부여 등과 매우 관련이 있는데 모델에서는 단기적인 사기와 장기적인 사기로 나누어서 사기 수준(stock 변수)이 시간에 따라 변화하도록 모델링 하였다. 직원의 사기에 영향을 미치는 요인이 여러 가지가 있지만 모델에서는 다음의 다섯 가지 요인을 선별하여 모델에 반영하였다.(*i* 부문별 직원의 사기는 기준값이므로 영향요인에서는 제외됨)



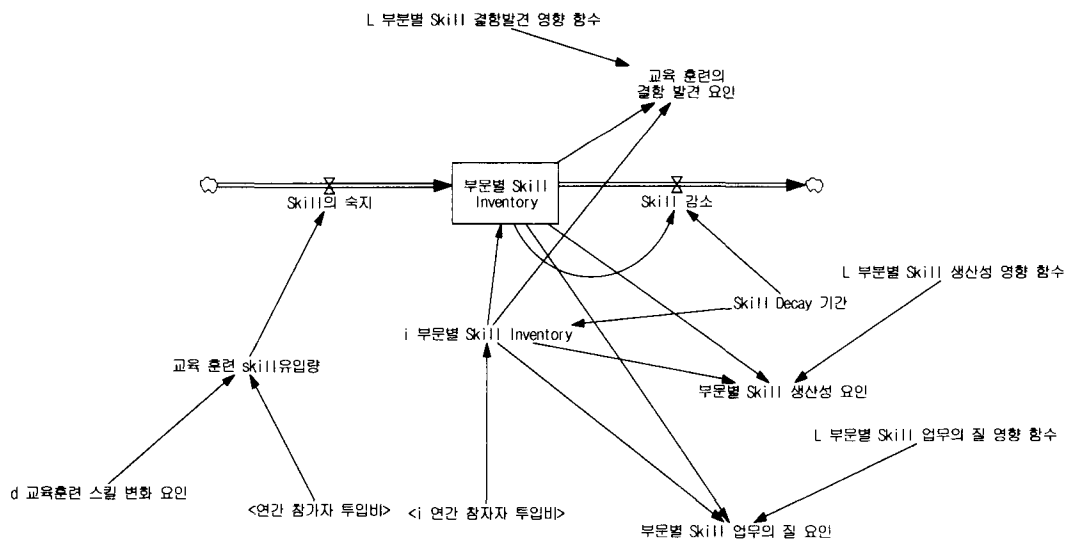
[그림 3.6-41] 직원의 사기에 영향을 미치는 요인

직원과는 달리 중간관리자의 사기는 [그림 3.6-42]과 같은 요인을 선정하여 모델링하였다.



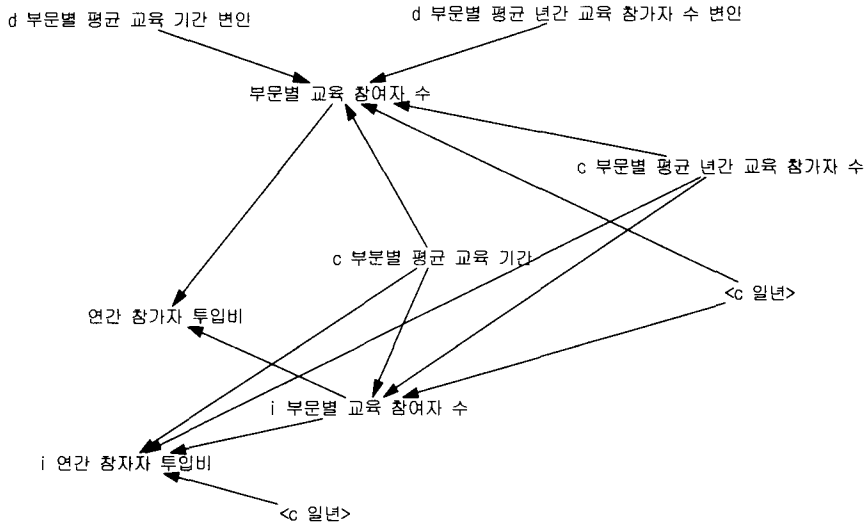
[그림 3.6-42] 중간관리자의 사기2

이 밖에도 모델에서는 업무 스킬, 운전부서의 작업조의 영향, 추가인력, 교육훈련을 모델링하였다. 업무 스킬은 생산성과 업무의 질에 영향을 미치도록 묘사된 것이며 결함발견에도 영향을 미치도록 모델링하였다. 또한 조직의 업무 스킬은 교육훈련의 참여 정도에 따라 달라지므로 교육 훈련에 어느 정도의 사람들이 참여하느냐에 의해서 영향을 받는다.



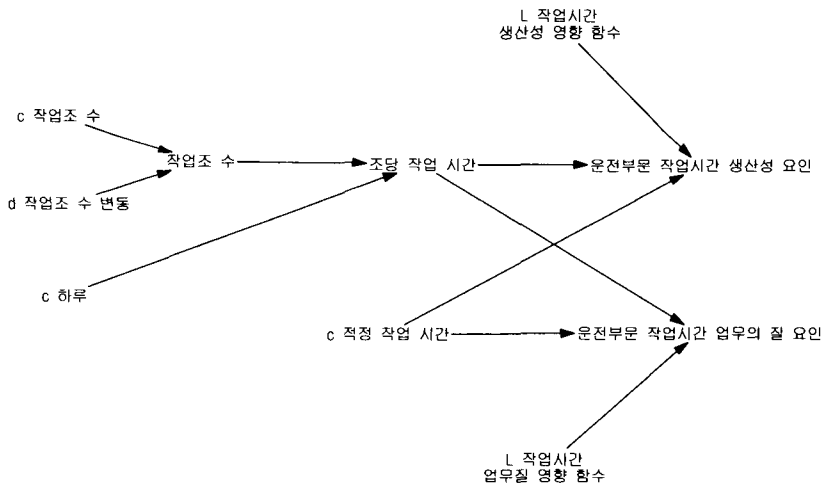
[그림 3.6-43] 업무스킬

교육 훈련에 참여하는 사람은 인원의 문제와 교육 기간의 문제가 동시에 존재하며, 교육훈련의 인원과 참석 기간은 단기적으로는 발전소 운용에 필요한 가용인력을 줄이는 결과를 낳는다. 그러나 위에서 언급한 조직의 업무 스킬의 증가시킬 수 있다.



[그림 3.6-44] 교육기간 인원

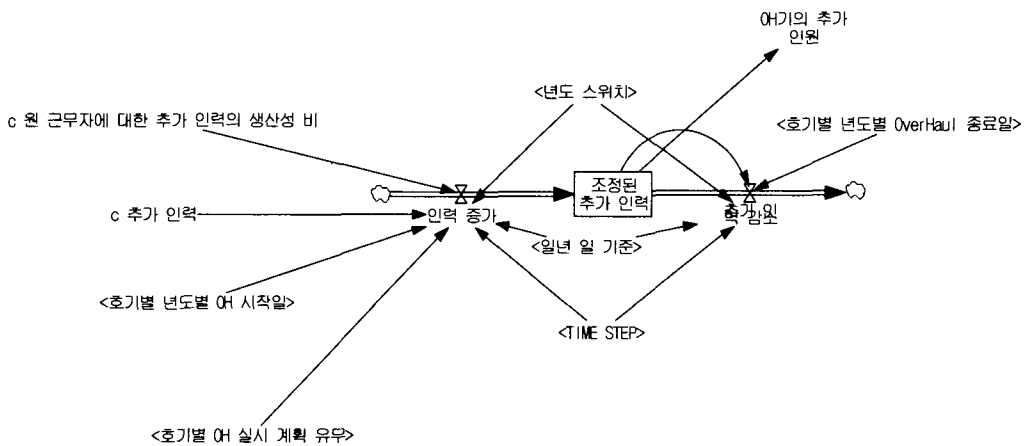
운전원의 경우에는는 작업조와 근무교대가 생활 상태나 사기에 중요한 영향을 미친다.



[그림 3.6-45] 운전원 작업조

이를 자세히 모델링하기 위해서는 인간 공학적 접근이 필요하며, 시간의 단위도 분 혹은 초단위를 요구하므로 이는 본 연구 범위를 뛰어넘는 것이기에 자세한 모델을 할 수는 없었다. 다만 간단히 작업조 변경으로 인한 작업 시간의 변경을 모델링하여 모델에 반영하였다.

예방정비기간 중에는 외부에서 보수업무를 수행하기 위해서 인력이 파견되어 온다. 이를 모델링 하기 위해서 추가 인력에 대한 모델링을 하였다. 예방정비 기간이 되면 추가 인력으로 파견되어 Stock에 저장되었다가 예방정비가 종료되면 추가인력이 Stock에서 빠져나가도록 모델링을 하였다.



[그림 3.6-46] OH 추가 인력

## 8. 안전성의 개념과 수식

본 연구에서는 안전성에 대한 개념을 두 가지 입장에서 정리하였다. 하나는 안전성과 관련된 지표를 선정하여 이를 지수화 하여 나타낸 안전성이며 다른 하나는 PSA에서의 안전성 지표로 활용되는 CDF로 표현된 안전성이다.

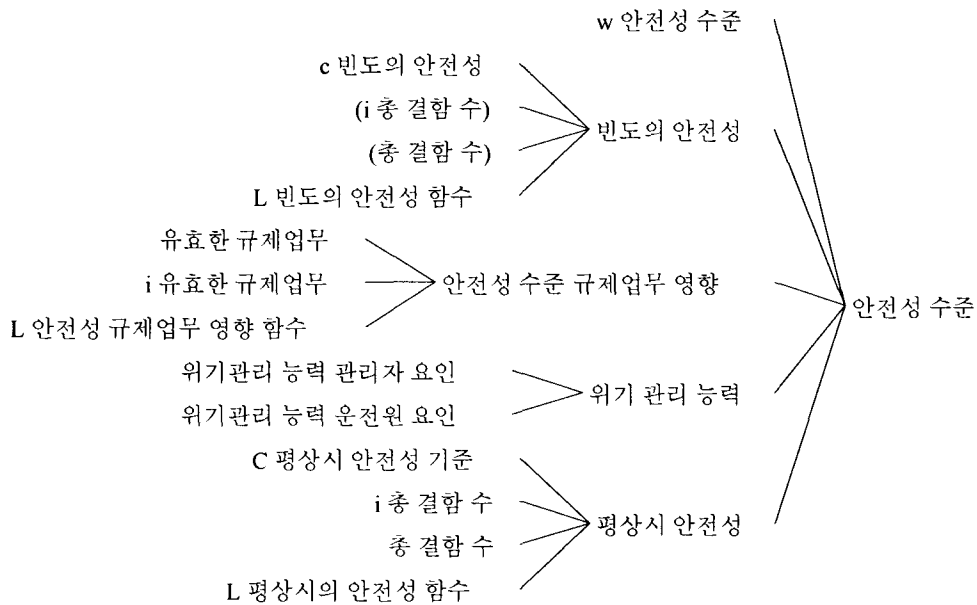
먼저, 지수화된 안전성을 살펴보기로 한다.

본 모델에서의 안전성은 원전에서의 결함 발생이 일정하고 이를 받

건 제거하는 인력들이 최적의 상태로 배치되었을 때의 안전성을 기준 (Steady state의 가정)으로 하여 상대적 안전성 수준(DRS : Degree of Relative Safety)이 어떻게 변화하는가를 모델에 반영하였다.

지수화된 안전성은 안전성의 정확한 수치를 예측하기보다는 인자들 간의 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.

지수화된 안전성 수준은 발전소의 4가지 상태를 통해서 계산하였다. 즉 평상시 결함의 발견과 처리와 관련된 『평상시의 안전성』, 결함의 빈도를 나타내는 『빈도의 안전성』, 발전소의 긴급 상황 발생시에 이를 대처하기 위한 『위기 대처능력』과 규제활동으로 인하여 안전성에 영향을 미치는 『안전성 수준 규제업무 영향』에 의해 안전성이 계산된다. 이들 각 각은 다시 가중치가 부여되어 계산되는데, 『평상시 안전성』과 『빈도의 안전성』에는 0.3 그리고 『위기 관리 능력』에는 0.4를 기본적으로 부여하였다. 『안전성 수준 규제업무 영향』 변수는 안전성 전체에 영향을 미치는 변수로 고려하였기 때문에 가중치를 별도로 부여하지 않았다. 이를 종합하여 볼 때, 안전성에 대한 수식과 변수들 간의 영향 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다.



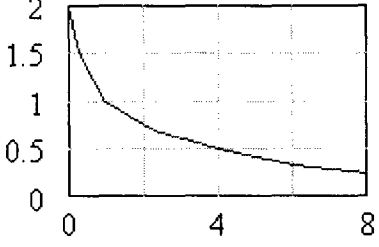
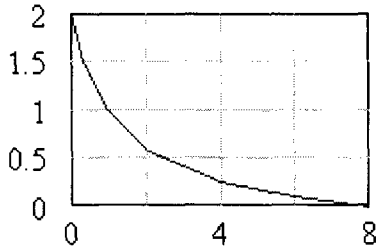
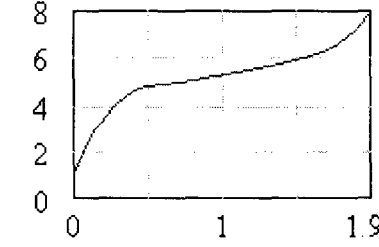
[그림 3.6-47] 안전성 관련 영향 인자

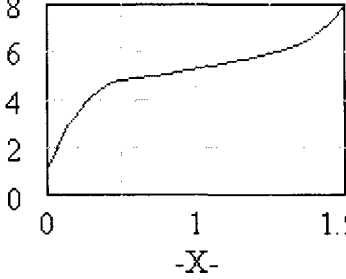
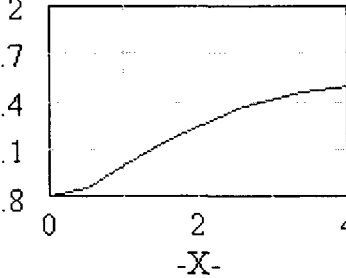
안전성의 수준 = (w 안전성 수준[정상시] \* 정상시 안전성 + w 안전성 수준[빈도] \* 빈도의 안전성 + w 안전성 수준[위기관리] \* 위기 관리 능력) \* 안전성 수준 규제업무 영향

안전성과 관련된 4가지 구성요소의 안전성은 참조함수(Look-Up Function)을 통해 계산하였다. 시스템 다이내믹스 모델링 중 변수들 관계의 비선형성 등으로 인하여 정확한 인과구조와 영향 관계의 표현이 어려울 경우 참조함수는 유용하게 사용될 수 있다. 안전성과 관련된 해당 참조함수의 모양은 다음과 같다.



<표 3.6-5> 안전성 관련 인자의 참조 함수

| 항목                    | 모델 반영 수식  | 참조함수   |
|-----------------------|---|--|
| <p>정상시의 안전성</p>       | <p>c 빈도의 안전성 * L 빈도의 안전성 함수(총 결함 수/ 총 결함 수 초기값)</p> | <p>Routine</p> <p>L 정상시의 안전성 함수</p>  <p>x 축 : 총 결함 수/ 총 결함 수 초기값<br/>y 축 : 정상시의 안전성 수준</p>       |
| <p>빈도의 안전성</p>        | <p>c 빈도의 안전성 * L 빈도의 안전성 함수(총 결함 수/총 결함 수 초기값)</p>  | <p>Routine</p> <p>L 빈도의 안전성 함수</p>  <p>x 축 : 총 결함 수/총 결함 수 초기값<br/>y 축 : 빈도의 안전성</p>            |
| <p>위기관리 능력 운전원 요인</p> | <p>L 위기관리 능력 운전원 함수(부문별 직원의 숙련도[운전부문])</p>          | <p>Routine</p> <p>L 위기관리 능력 운전원 함수</p>  <p>x 축 : 부문별 직원의 숙련도[운전부문]<br/>y 축 : 위기관리능력 운전원 요인</p> |

| 항목                                | 모델 반영 수식   | 참조 함수  |
|-----------------------------------|--|--|
| <p>위기관리<br/>능력<br/>관리자<br/>요인</p> | <p>L 위기관리 능력 관리자<br/>함수(부문별 중간관리자<br/>숙련도[운전부문])</p>     | <p>Routine</p> <p>L 위기관리 능력 관리자 함수</p>  <p>x 축 : 부문별 중간관리자<br/>숙련도[운전부문]</p> <p>y 축 : 위기관리능력 관리자 요인</p>    |
| <p>안전성<br/>규제업무<br/>영향</p>        | <p>L 안전성 규제업무 영향<br/>함수(유효한 규제업무 /<br/>유효한 규제업무 초기값)</p> | <p>Routine</p> <p>L 안전성 규제업무 영향 함수</p>  <p>x 축 : 유효한 규제업무 / 유효한<br/>규제업무 초기값</p> <p>y 축 : 안전성 규제업무 영향</p> |

한 편, 2단계에서는 보다 객관성을 확보하기 위해서 CDF(Core damage frequency) 방법을 도입하였다.

일반적으로 PSA에서 MCS(Minimum Cutsets)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$MCS = f(BE_{hw}, BE_{hu})$$

$BE_{hw}$  : 하드웨어 결함에 의한 기본사건

$BE_{hu}$  : 인적오류에 의한 기본사건

이를 본 연구에서는 다음과 같이 모델링하였다.

$$MCS = f(BE_{hw} \times NTD_t, BE_{hu} \times NQW_t)$$

$BE_{hw}$  : 하드웨어 결함에 의한 기본사건

$BE_{hu}$  : 인적오류에 의한 기본사건

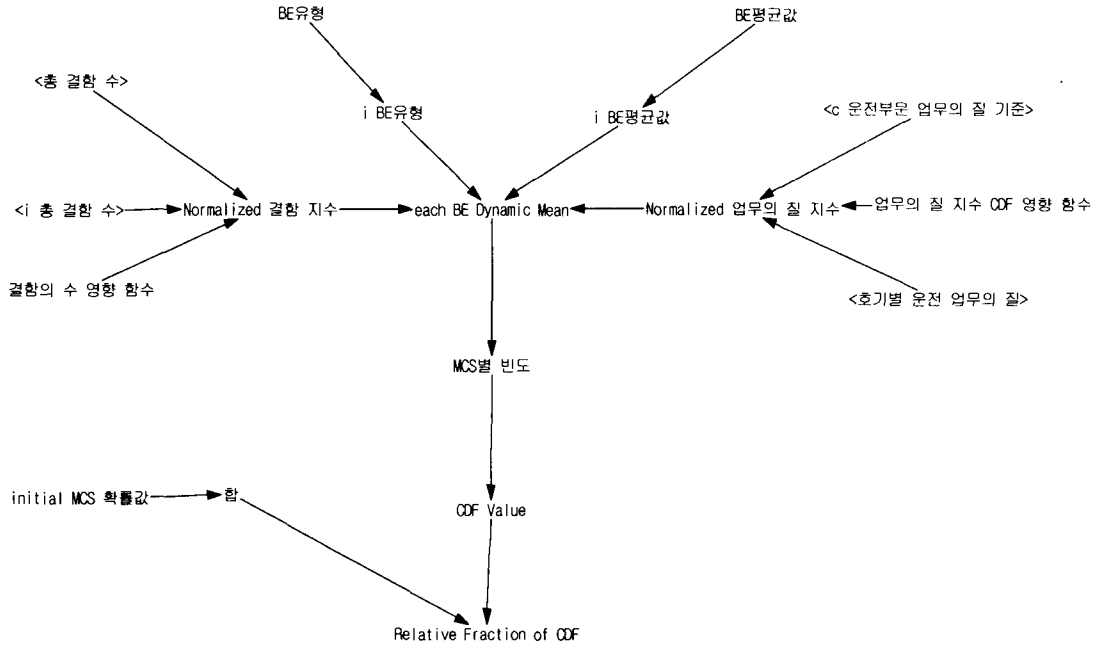
$NTD_t$  : t 시점에서의 Normalized 된 발전소의 총 결함수

$NQW_t$  : t 시점에서의 Normalized 된 종사자들의 업무의 질

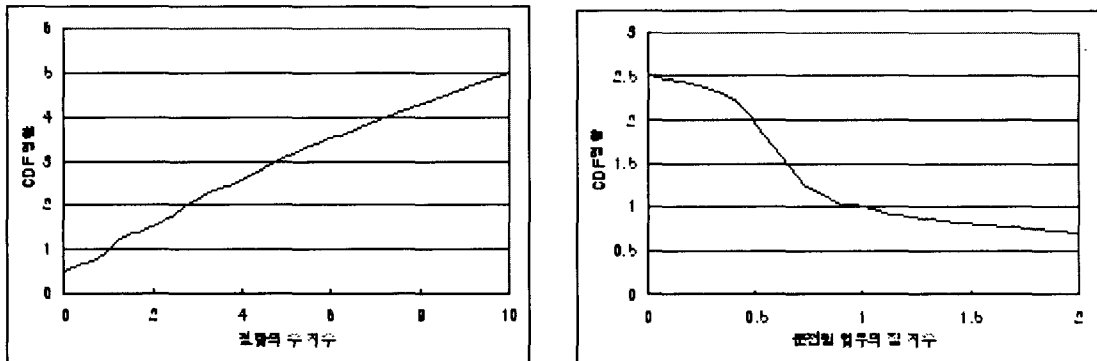
$BE_{hw}$ 와  $BE_{hu}$ 은 PSA에서는 상수로 표현되지만  $NTD_t$ 와  $NQW_t$ 가 모델에서 시간에 따라 계속 변화하므로 동적인 표현이 가능하도록 모델을 작성하였다.

여기에서 하드웨어 관련 기본사건에는  $NTD_t$ 를 곱하고, 인적오류 관련 기본사건에  $NQW_t$ 를 곱한 이유는 하드웨어의 상태에 따라서 MCS의 값은 변화할 것이며 즉, 결함이 많을수록 안전성은 더 낮아질 것이며, 인적오류도 발전소의 상태에 따라서 변화할 것이라는 가정을 하였기 때문이다.

이러한 관계를 모델링한 것이 아래의 [그림 3.6-48]이다. CDF에 영향을 주는 함수는 아래의 [그림 3.6-49]에서와 같은 가중치를 가정하였다.



[그림 3.6-48] CDF의 계산



[그림 3.6-49] 모델에 사용된 결함 및 업무의 질의 CDF 영향관계 함수

[그림 3.6-49]에서 보는 바와 같이 결함의 수가 많을수록 CDF를 높이는 영향관계를 적을수록 낮게 영향을 미치는 관계의 함수를 가정하였으며, 업무의 질은 높을수록 CDF를 낮게 만들면 업무의 질이 높으면 CDF를 높인다고 가정하였다.

## 9. 환경변수의 설정

시스템 다이내믹스 모델을 시뮬레이션하기 위해서는 의사결정 변수와 환경변수의 값을 입력하여 실행시킨다. 의사결정변수는 안전성에 영향을 미칠 수 있는 인력, 기술 등과 같이 조정되는 변수를 의미한다. 반면에 환경변수는 모델의 경계에는 포함되었지만, 상수로 처리되는 변수를 의미한다.

관련 의사결정 변수와 환경변수는 <표 3.6-6>에 각각 나타나 있다.

<표 3.6-6> 의사결정 변수

| 구분            | 요인                           | 비고 |
|---------------|------------------------------|----|
| 기술 정책         | 교육 정책                        |    |
|               | 부서간 협조에 대한 정책                |    |
| 인사 정책         | 복리 후생에 대한 정책                 |    |
|               | 직원 규모에 대한 정책                 |    |
|               | 직원의 사기에 대한 기타 정책             |    |
| 조직 및 자원 배분 정책 | 부서별 자원 할당의 차등화 정책            |    |
|               | 부서별 직원 수에 대한 정책              |    |
|               | 직원의 업무 할당에 대한 정책             |    |
| 경영 일반         | 리더십에 대한 정책                   |    |
|               | 발전소 Performance에 대한 Pressure |    |
|               | 직원 채용에 대한 정책                 |    |

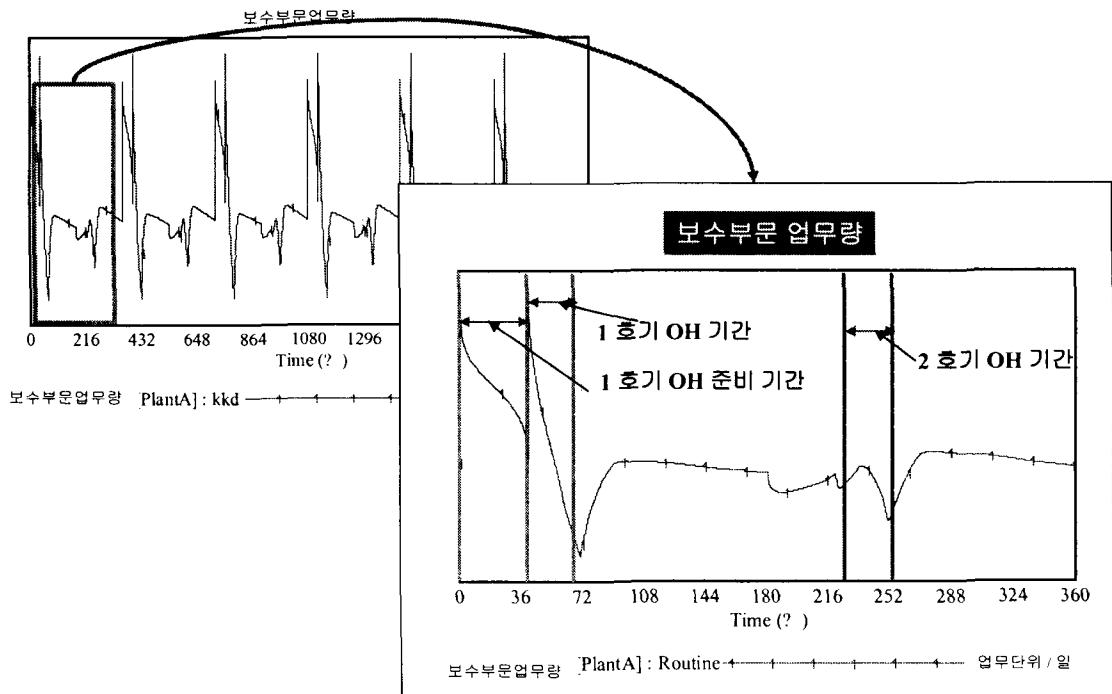
## 제 7 절. 모델의 검증

### 1. 모델의 균형상태(Steady State) 점검

모델의 작성이후 영향 요인들 간의 관계에 대한 수식이 제대로 입력되었는가를 살펴보기 위해서 변수들의 값들을 Steady State를 유지하도록 하여야 한다.

1 단계에서의 모델은 하나의 조직에 하나의 호기를 상정하였으며 또한 계획예방정비를 고려하지 않은 평균적인 상태의 모델이었다. 그러나 2단계에서 완성한 모델은 하나의 조직이 2개의 호기를 관리하며, 계획예방정비가 포함된다. 따라서 균형상태를 시스템의 입출력이 같은 평형상태로 보기는 어려우며, 주기적으로 같은 거동을 이루는가에 초점을 두고 균형상태를 맞추었다.

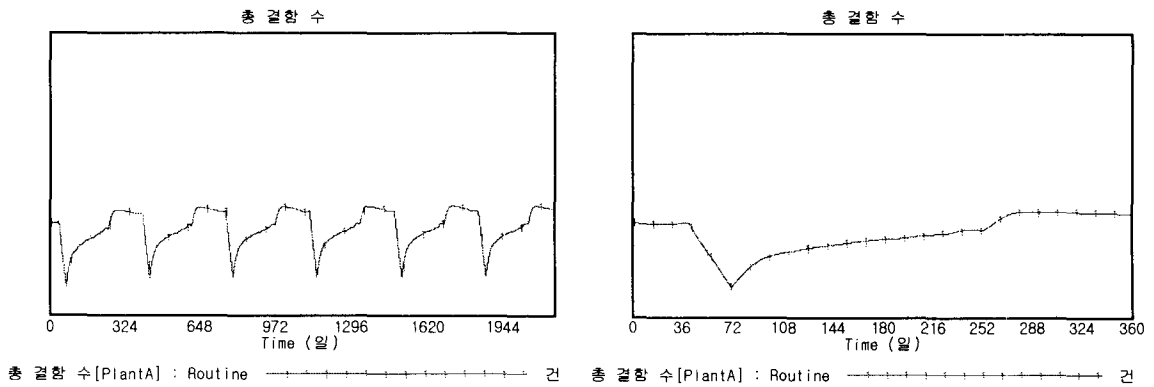
먼저 보수부서의 업무량에 대하여 균형상태를 점검하면 [그림 3.7-1]과 같다.



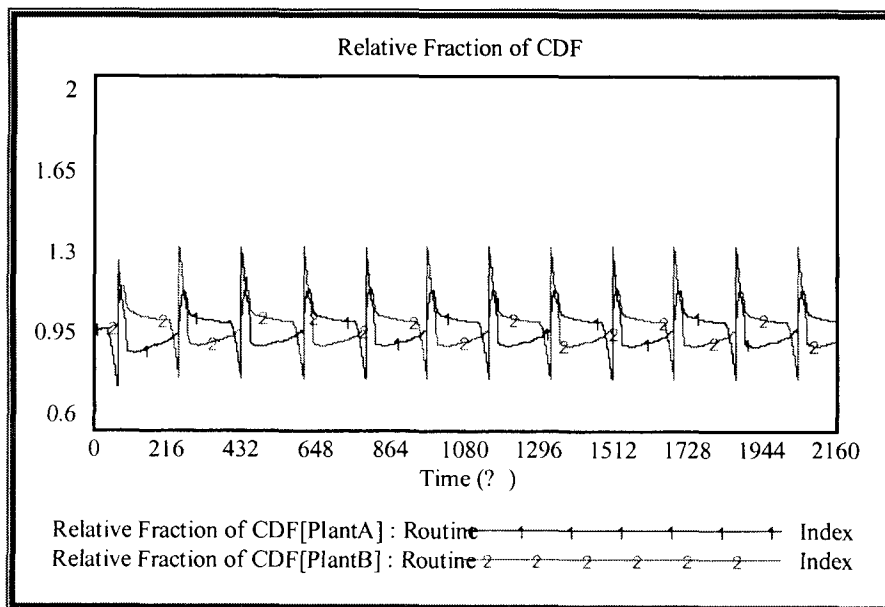
[그림 3.7-1] 보수부서의 업무량의 균형상태 점검

[그림3.7-2]은 보수부문의 업무량을 5년의 길이로 시뮬레이션 한 결과이며 1년을 주기로 반복적으로 같은 형태의 패턴이 반복됨을 보여준다.

이와 같은 형태는 결함의 수에서도 나타난다. 즉 발전소가 같은 패턴의 업무로 진행하고 결함이 일정하다는 가정을 하였으므로 균형상태에 도달할 수 있다.



[그림 3.7-2] 결함수의 균형상태 : 5년 주기(왼쪽)와 1년 주기(오른쪽)

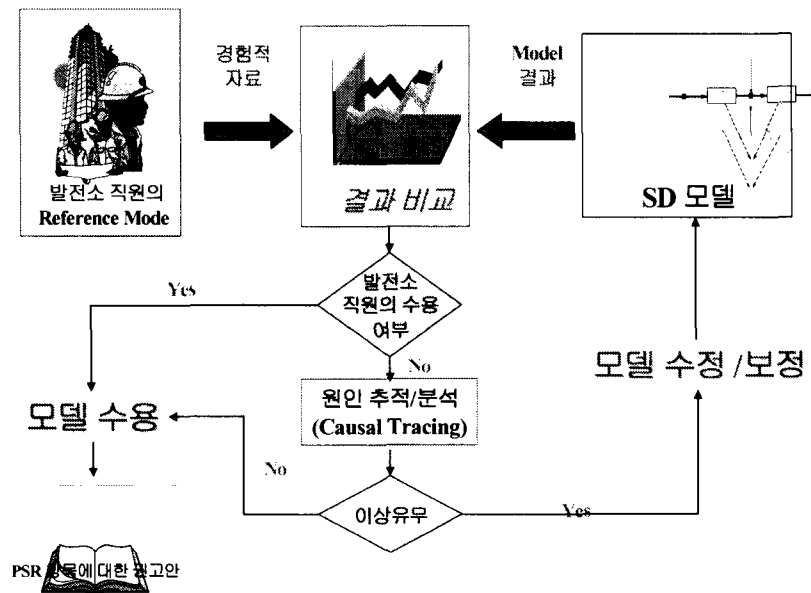


[그림 3.7-3] 상대적 CDF값의 균형상태 변화

균형상태는 다른 그래프에도 동일하게 적용된다. 위 [그림 3.7-3]은 상대적인 CDF값에 대한 그래프이다. 1년을 주기로 발전소의 운영상태가 계속 변화함을 볼 수 있다.

## 2. 모델의 검증

모델의 검증은 2가지 방식으로 진행이 되었다. 하나는 하드웨어 데이터와 모델에서의 시뮬레이션 결과와 비교하는 방법이다. 하나는 시스템 구성원들의 경험적 자료와 비교하는 상향식(bottom-up approach) 접근방법이다. 시스템 내에 있는 구성원들이 다른 누구보다도 시스템의 구조 시스템의 거동에 대해 잘 알고 있으므로 이들의 아이디어를 빌리는 작업이다. [그림 3.7-4]는 상향식 접근방법의 절차를 나타낸 것이다.



[그림 3.7-4] 상향식 접근법의 모델 검증 절차

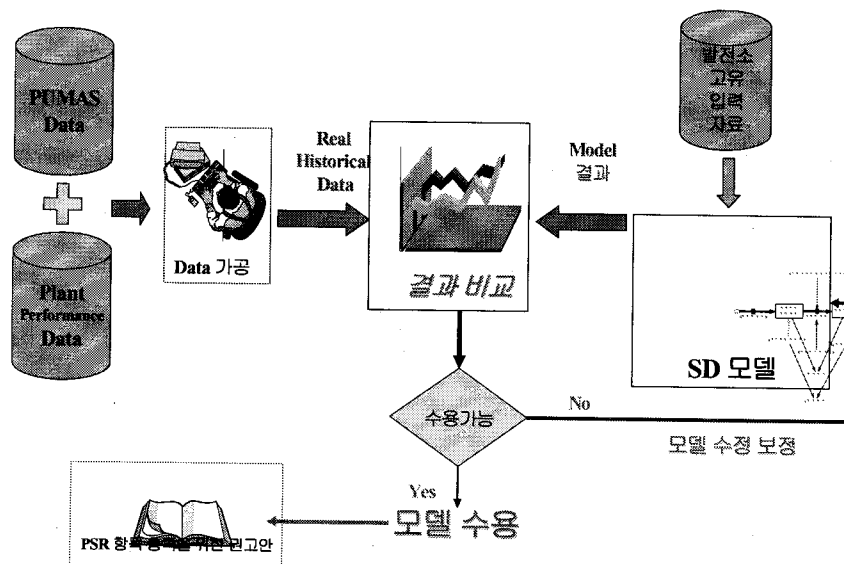
구성원들의 경험적 자료와 모델 시뮬레이션 결과 자료를 비교함으로써 이를 수용가능하다면 모델을 받아들일 수 있을 것이나, 받아들이지



못할 경우에는 모델이 잘못된 것인지 아니면 구성원들의 사고에 결점이 있는 것인지를 살펴본다. 이를 통해서 다시 모델의 교정이 이루지고 교정된 모델로부터의 결과를 다시 구성원들의 경험과 비교하는 단계를 거친다.

하향식 접근(top-down approach) 비교적 객관적인 자료를 사용하므로 비교가 쉽다. 객관적 자료와의 비교 과정도 모델 구조가 인과관계를 바탕으로 이루어졌다는 더 중요한 전제 아래 실시되며, 올바른 구조 속에서 나온 결과를 채택하게 된다. [그림 3.7-5]는 하향식 접근 방법의 절차이다.

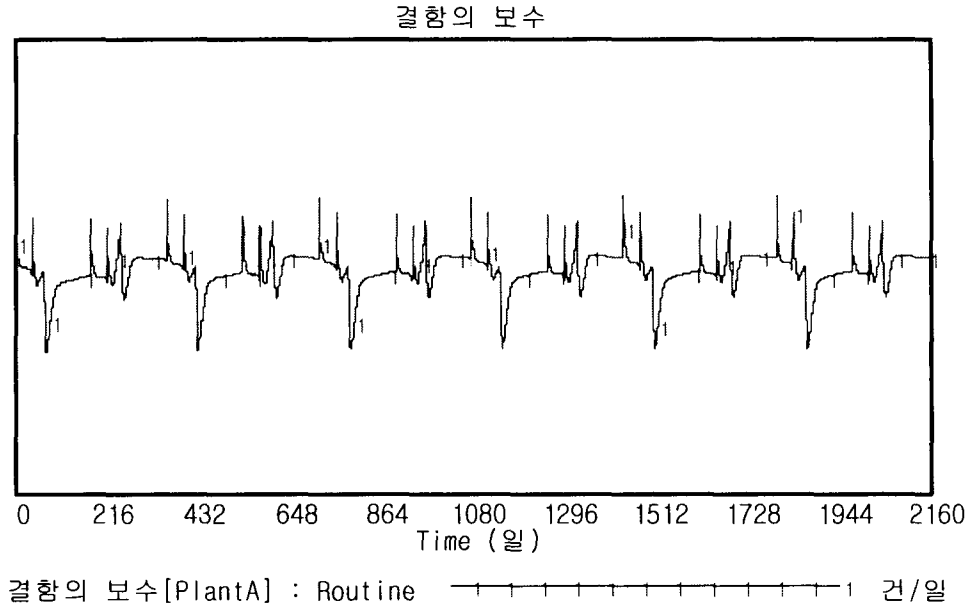
하향식 접근 방식은 상향식 접근법에 비해서 자료가 수집된다면 쉽게 비교할 수 있다.



[그림 3.7-5] 하향식 방식의 모델 검증 절차

## 제 8 절 시나리오에 의한 모델 시뮬레이션(Simulation) : (고리 1발전소)

### 1. 조직 및 인적 인자 운용 시나리오 개발



[그림 3.8 -1] 결함의 보수에 대한 모의 결과]

[그림 3.8-1]은 고리 1호기의 TR 건수의 처리에 대한 모의 결과이다. [그림 3.8-1]에 대한 추세는 실데이터(Real Data)와의 비교와 발전소 근무자의 인터뷰를 통해서 그래프 추세는 실제와 부합된다고 평가할 수 있었다. 실제의 데이터를 보면 고리 1호기의 경우에는 차차 TR건수가 감소하는 추세를 보이고 있다.

<표 3.8-1> 계획예방정비 기간 입력자료

|        | 2000년도      | 2001년도      | 2002년도    | 2003년도    |
|--------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| 고리 1호기 | 10.15~11.17 | 11.16~12.11 |           | 1.29~2.27 |
| 고리 2호기 | 5.14~6.28   | 5.27~7.12   | 8.24~9.25 |           |

출처 : 원자력안전기술원 (www.kins.re.kr) 홈페이지에서 정리

한편 고리 1호기 및 2호기의 예방정비기간에 대한 실험 데이터를 입력하여 시뮬레이션한 결과는 [그림 3.8-2]와 같다.

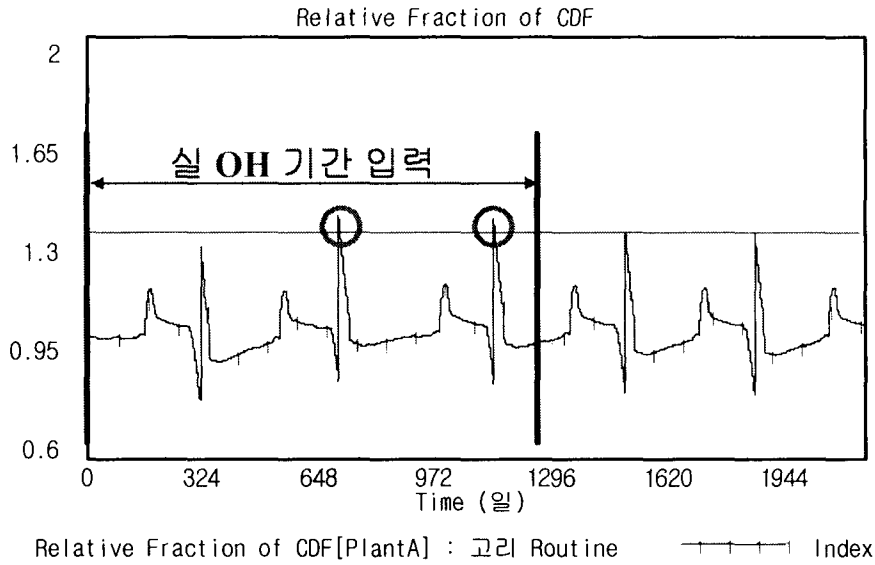
<표 3.8-2> 고리 1,2호기 최근 정지 현황

| 호기     | 발생 일자      | 정지계통 | 정지원인 | 사건제목                        |
|--------|------------|------|------|-----------------------------|
| 고리 1호기 | 2000.11.17 | 2차   | 인적   | 계획예방정비중 원자로 정지              |
| 고리 1호기 | 2002.04.22 | 2차   | 전기   | 주변압기 고장에 의한 원자로정지           |
| 고리 1호기 | 2002.09.16 | 2차   | 전기   | 고리1호기 주변압기 교체를 위한 원자로 수동정지  |
| 고리 1호기 | 2003.02.27 | 2차   | 인적   | 기동중 증기발생기 저-저 신호에 의한 원자로정지  |
| 고리 2호기 | 2003.05.17 | 2차   | 기계   | 발전기 수소 누설부위 보수를 위한 원자로 수동정지 |

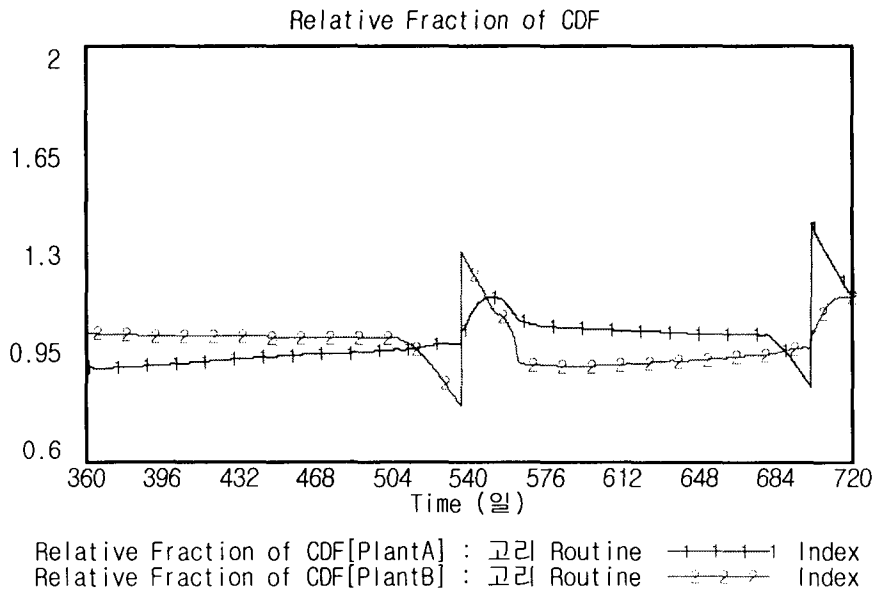
출처 : 원자력안전기술원 (www.kins.re.kr) 홈페이지에서 정리

시뮬레이션의 주요 결과는 상대적 CDF로써 설명된다. 시뮬레이션 결과 원전의 운영주기 동안에 상대적으로 높은 CDF 값을 갖는 기간이 존재한다.

이는 대부분이 자기 호기의 예방정비기간 후 테스트 운전해 해당하는 기간이다. 그 다음으로 높은 기간은 자기 호기 이외의 호기(자기호기가 1호기라면 2호기의 경우)가 예방정비를 하거나 테스트 운전을 하는 기간이다. 이를 좀 더 자세히 살펴보면 [그림 3.8-3]과 같이 나타나는데 하나의 호기상태가 다른 호기에 영향을 미침을 보여준다. 즉, 대부분의 발전소가 하나의 조직으로 2개의 발전소를 운영하고 있으므로 하나 호기는 다른 하나에 영향을 미칠 수밖에 없는 관계에 있다.

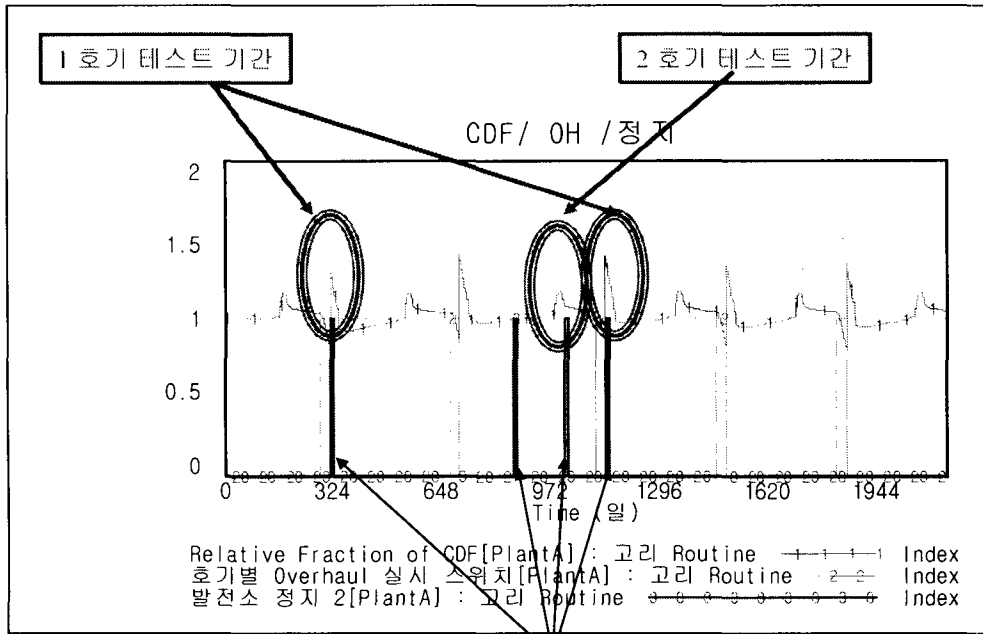


[그림 3.8-2] 고리 발전소 예방정비 기간 입력후의 시뮬레이션 결과



[그림 3.8-3] 호기간의 상호 관계

[그림 3.8-4]는 발전소의 정지와 모델에서 나온 상대적 CDF값과의 관계를 나타낸 그림이다.



2000 - 2003까지 4회의 정지 건수 기록  
2회만이 가동중 정지건수임

[그림 3.8-4] 발전소 정지와 상대적 CDF와의 관계

2000년부터 2002년까지 총 4번의 발전소 정지(이 중에 2번은 가동중 정지가 아니라 예방정비 후 테스트 운전기간 중에 발생한 정지임)가 있었는데 2001년도의 정지 건을 제외하고는 상대적인 CDF값이 높은 때에 발생하였음을 보여준다. 특히 테스트 기간 중에 CDF값이 높게 나타나며, 이 때에는 더 많은 주의와 관리가 요망된다고 할 것이다. 타호기의 예방정비기간이나 테스트 운전기간에도 CDF값이 상대적으로 높게 나타나는데 이 기간에도 관리의 주의가 필요하다. (2002년도 후반기의 교체는 고리1호기 주변압기 교체를 위한 원자로 수동정지임)

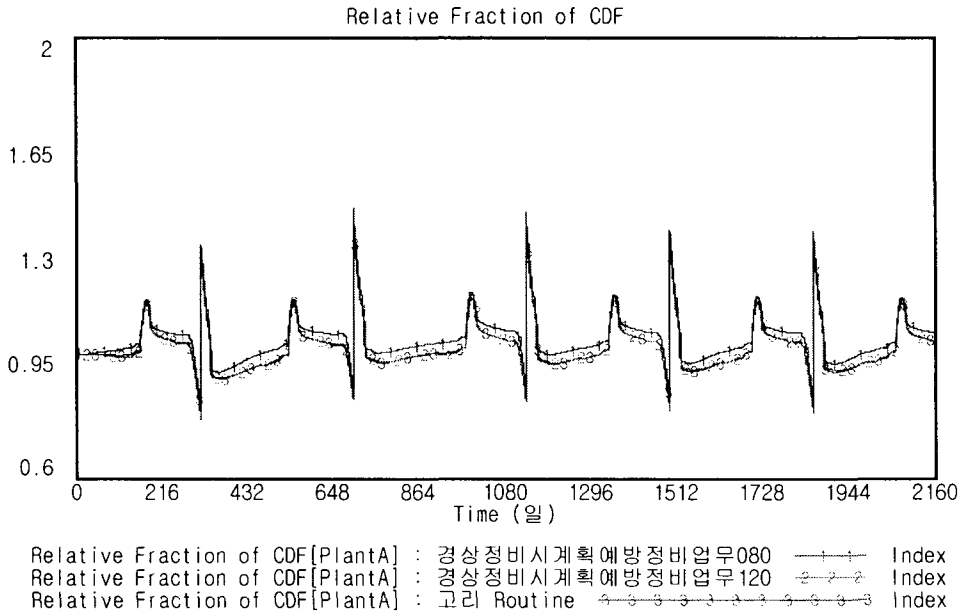
## 2. 시나리오의 실행

### 가. 경상정비시 예방정비

<표 3.8-3> 경상정비시 예방정비에 대한 시나리오

| 라인<br>번호 | 조작변수명         | 조정값     | DataSet 명            | 물리적 의미                      |
|----------|---------------|---------|----------------------|-----------------------------|
| 1        | d 예방정비<br>발생건 | 1 → 0.8 | 경상정비시계획예방<br>정비업무080 | 경상정비기간동안에<br>예방정비 업무를 20%줄임 |
| 2        | d 예방정비<br>발생건 | 1 → 1.2 | 경상정비시계획예방<br>정비업무120 | 경상정비기간동안에<br>예방정비 업무를 20%늘임 |
| 3        | d 예방정비<br>발생건 | 1       | 고리 Routine           | 현재의 상태 및 유지상태               |

경상정비의 효과에 대한 시나리오 입력내용은 <표3.8-3>과 같다. 결과를 살펴보면 시나리오 1의 상황은 점차 시간이 점차 악영향을 미침을 보여준다. 현재의 수준(선3)에 비해서 CDF 값이 다소 높게 나오는데 시간이 지날수록 일의 양이 적은 경상정비 기간에도 영향을 미칠 수 있다.



[그림 3.8-5] 경상정비시 예방정비 상태의 CDF 영향

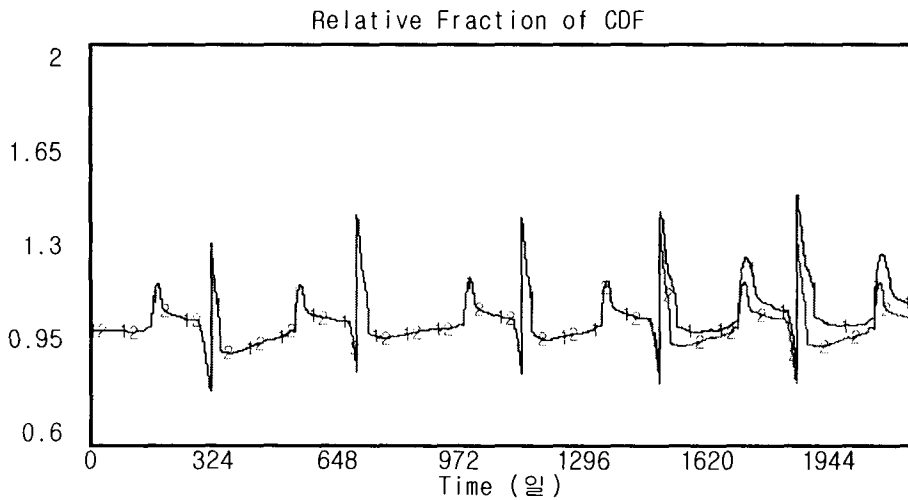
나. 경상예방정비 정비건수

경상예방정비 업무량에 입력결과와 시뮬레이션 결과는 다음의 <표 3.8-4>와 [그림 3.8-6]에 나타나 있다.

<표 3.8-4> 계획예방정비에 대한 시나리오

| 라인 번호 | 조작변수명   | 조정값     | DataSet 명   | 물리적 의미                               |
|-------|---|---------|-------------|--------------------------------------|
| 1     | d OH 기간 중 계획 예방 정비 발생 변인[PlantA,Y2004],<br>d OH 기간 중 계획 예방 정비 발생 변인[PlantA,Y2005] | 1 → 1.2 | 계획예방정비업무120 | 2004년과 2005년 계획예방정비 업무를 평년도 보다 20%늘임 |
| 2     | -   | 1       | 고리 Routine  | 현재 상황 유지                             |

2004년도와 2005년도에의 계획예방정비 업무량을 평년의 120% 즉, 20% 증가시킨 경우의 상대적 CDF에 대한 영향 정도이다.



Relative Fraction of CDF[PlantA] : 계획예방정비업무 120 -1 Index  
 Relative Fraction of CDF[PlantA] : 고리 Routine -2-2-2 Index

[그림 3.8-6] 계획예방정비 업무량의 CDF 영향

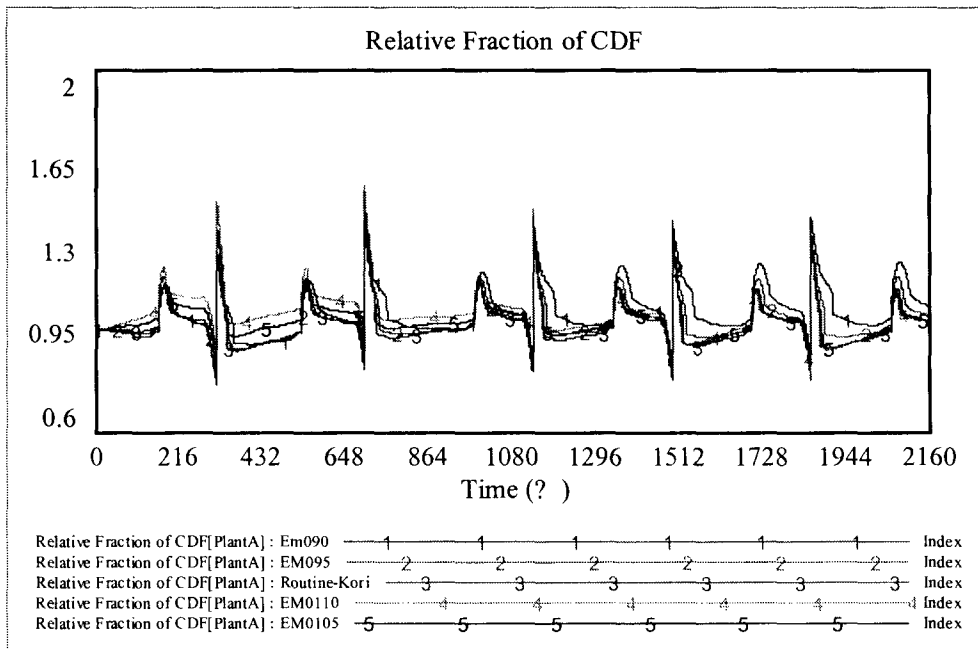
계획예방정비의 업무량의 변화가 CDF에 더 많은 영향관계가 있음을 [그림 3.8-6]은 보여준다. 이러한 영향관계도 연간 지속된다면 그 효과가 누적되어 나타남을 보여준다.

#### 다. 인력운용

인력운용에 대한 시뮬레이션 결과이다. 각 선의 상황은 다음과 같다.

- ① 선1 : 인력을 10% 감원하여 운영하는 경우
- ② 선2 : 인력을 5% 감원하여 운영하는 경우
- ③ 선3 : 현재상황 유지
- ④ 선4 : 인력을 10% 증원한 경우
- ⑤ 선5 : 인력을 5% 증원하여 운영하는 경우

[그림 3.8-7]에서 인력의 조정문제 역시 안전성에 영향을 미침을 알 수 있다. 그런데 인력을 증원하는 것보다는 줄이는 것이 안전성에 더 큰 영향을 미친다.



[그림 3.8-7] 인력운용의 안전성에의 영향

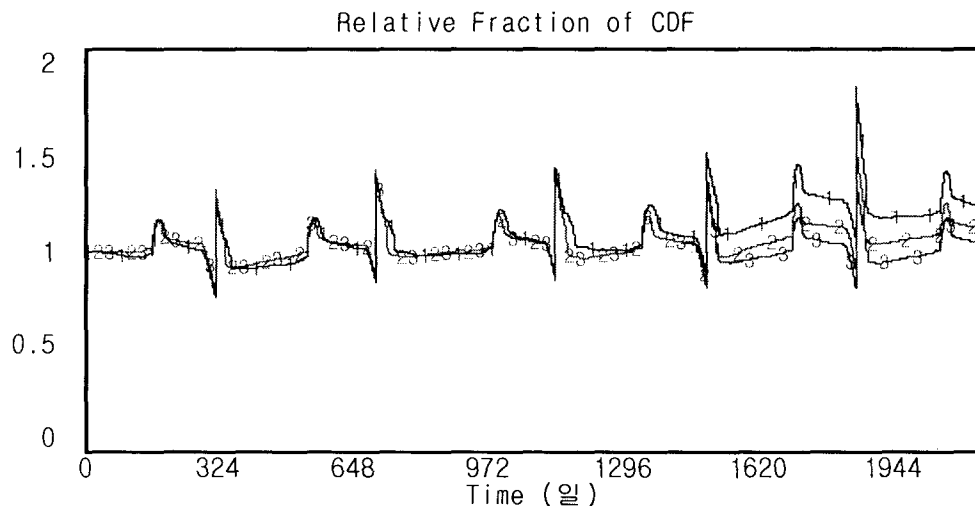


인력을 즉 선 4와 선 5의 효과보다는 선 1과 선 2의 효과가 더 두드러지게 나타남을 보여준다. 인력의 감소는 장기적으로는 예방정비기간뿐만 아니라 정상정비시의 안전성에도 영향을 미친다. 따라서 인력의 문제는 최적점이 존재함을 알 수 있다. 즉, 일정수준에서는 인력을 증원하여도 안전성에 영향을 주는 차이가 적다.

한편, 인력을 탄력적으로 다음 상황과 같이 탄력적으로 운용을 하는 경우의 안전성은 일관되게 조직의 숙련도를 유지하는 것이 좋은 인력 운용정책임을 보여준다.

<표 3.8-5> 인력채용에 대한 시나리오

| 라인 번호 | 조작변수명          | 조정값                             | DataSet 명 (시나리오명) | 물리적 의미   |
|-------|----------------|---------------------------------|-------------------|--|
| 1     | T 인력증감 테이블     | 0-1440 : 0.9<br>1440-2160 : 1.1 | 인력을 줄였다가 높임       | 인력을 1440시간이 될 때까지는 현재의 90%를 유지하다가 이후에 110%로 높임 |
| 2     | d 직원 채용 기간의 변화 | 1 → 0.5                         | 직원채용기간 050        | 직원채용시간을 절반으로 줄임                                |
| 3     | -              | -                               | 고리 Routine        | 현재상황 유지  |

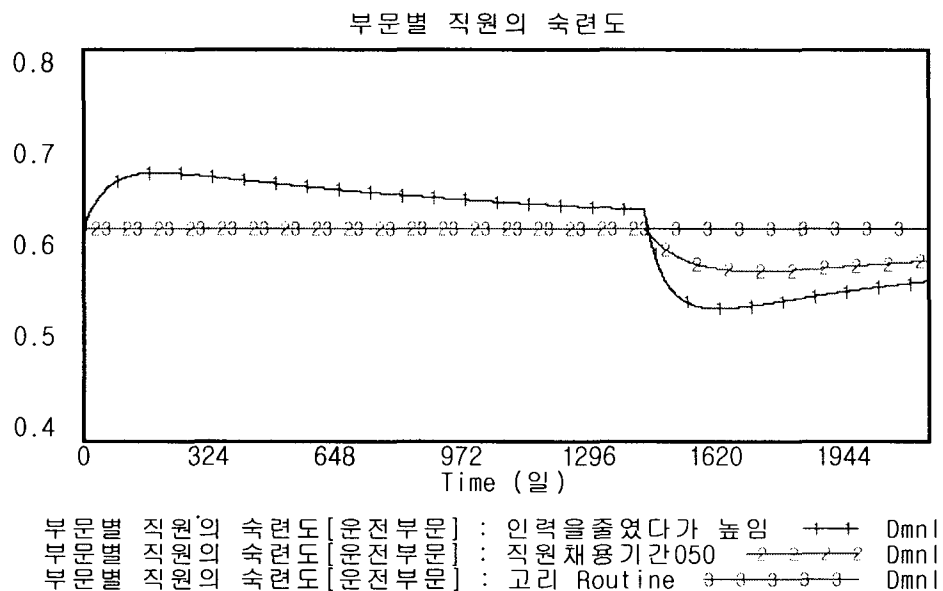


Relative Fraction of CDF[PlantA] : 인력을 줄였다가 높임 - Index  
 Relative Fraction of CDF[PlantA] : 직원채용기간050 - Index  
 Relative Fraction of CDF[PlantA] : 고리 Routine - Index

[그림 3.8-8] 인력의 안전성에 대한 영향

즉, 선 1과 같이 인력을 적게 운용했다가 증원을 시켜도 안전성을 유지하는 데에는 큰 도움이 되지 못한다. 왜냐하면 그것은 조직의 숙련도와 관련이 깊다[그림 3.8-9]. 인력을 적게 운용할수록 신규 인력의 채용이 적기 때문에 인력의 양은 적어도 질적 수준은 더욱 높아진다. 그런데 신규 인원의 채용으로 신규 인원에 대한 교육에 시간을 할당해야 하는 등 부대적인 일이 발생하므로 신규직원들이 들어오게 되면 상대적으로 안전성이 낮아질 우려가 있는 것이다.

인력의 양적인 문제도 문제이지만 질적 관리에 대한 관심도 중요하다. 이는 조직의 학습능력과도 관계가 깊으며, 암묵지에 대한 전수와 조직의 지속성 유지를 위해서도 중요한 요인이다.



[그림 3.8-9] 부문별 지원의 숙련도

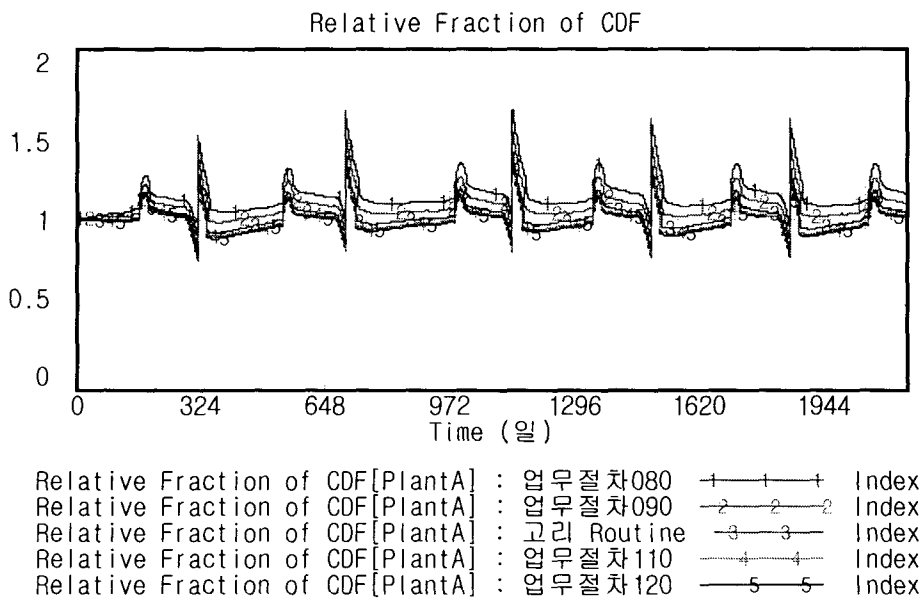
### 라. 업무절차의 간소화

업무 절차의 간소화에 의하여서도 안전성에 영향을 미친다. 이는 주로 사기측에 있어서 영향을 주도록 모델에 반영이 되었다. 고리 1발전소

의 경우에는 업무의 절차와 관련하여 현재의 수준으로 안전성 유지를 위한 활동이 제대로 되고 있음을 보여준다.

<표 3.8-6> 업무절차에 대한 시나리오

| 라인 번호 | 조작변수명          | 조정값     | DataSet 명 (시나리오명) | 물리적 의미                        |
|-------|----------------|---------|-------------------|-------------------------------|
| 1     | d 부문별 업무 절차 인자 | 1 → 0.8 | 업무절차080           | 업무절차에 대한 조직의 실적이 현상태의 80% 수준  |
| 2     | d 부문별 업무 절차 인자 | 1 → 0.9 | 업무절차090           | 업무절차에 대한 조직의 실적이 현상태의 90% 수준  |
| 3     | -              | -       | 고리 Routine        | 현행                            |
| 4     | d 부문별 업무 절차 인자 | 1 → 1.1 | 업무절차110           | 업무절차에 대한 조직의 실적이 현상태의 110% 수준 |
| 5     | d 부문별 업무 절차 인자 | 1 → 1.2 | 업무절차120           | 업무절차에 대한 조직의 실적이 현상태의 120% 수준 |



[그림 3.8-10] 업무절차 간소화 실적에 의한 안전성 영향

선1과 선3의 간격은 넓은 반면에, 선 3과 ,4,5는 큰 차이를 갖지 않는다. 즉 업무 절차의 개선의 효과는 눈에 띄지 않게 나타나지만, 이를 소홀히 하면 안전성에 영향을 줄 수 있음을 보여준다.

마. 교육훈련

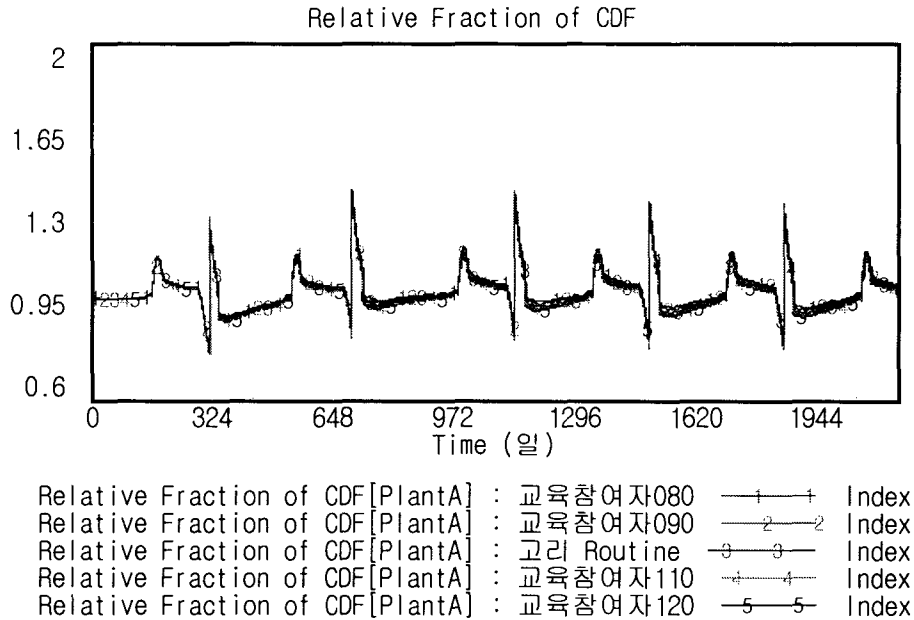
교육훈련에 대한 시나리오는 몇 가지로 작성할 수 있다. 즉

- ① 대상인력의 증원 / 감원
- ② 교육기간의 증가/감소

이 그것이다. 여기에서는 대상자의 수에 대한 증감을 시뮬레이션 실행하였다.

<표 3.8-7> 교육훈련에 대한 시나리오

| 라인 번호 | 조작변수명                        | 조정값     | DataSet 명 (시나리오명) | 물리적 의미                |
|-------|------------------------------|---------|-------------------|-----------------------|
| 1     | d 부문별 평균 연간 교육 참가자 수 변인[x부문] | 1 → 0.8 | 교육참여자080          | 교육파견인력을 현 수준의 80% 수준  |
| 2     | d 부문별 평균 연간 교육 참가자 수 변인[x부문] | 1 → 0.9 | 교육참여자090          | 교육파견인력을 현 수준의 90% 수준  |
| 3     | -                            | -       | 고리 Routine        | 현행                    |
| 4     | d 부문별 평균 연간 교육 참가자 수 변인[x부문] | 1 → 1.1 | 교육참여자110          | 교육파견인력을 현 수준의 110% 수준 |
| 5     | d 부문별 평균 연간 교육 참가자 수 변인[x부문] | 1 → 1.2 | 교육참여자120          | 교육파견인력을 현 수준의 120% 수준 |



[그림 3.8-11] 교육훈련의 안전성에의 영향

시뮬레이션 결과 그 차이는 대동소이한 것으로 나타났다. 교육훈련의 중요성이 강조됨에도 불구하고 이런 결과가 나오는 것은 교육훈련을 많이 가면 원전의 가용인력이 그만큼 줄어들기 때문이다. 따라서 교육훈련에 대한 적절한 훈련 일정을 유지하는 것이 안전성에 유지에 기여할 수 있을 것이다.

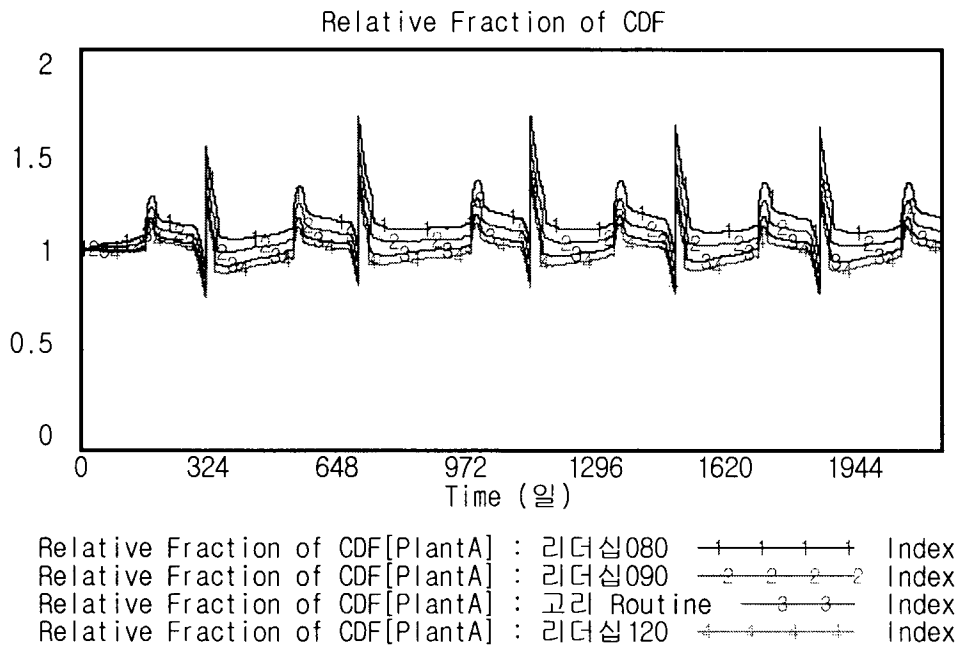
#### 바. 관리자의 리더십의 영향

관리자의 리더십은 구성원들의 작업 참여, 사기에 영향을 미친다. 현행 수준의 유지를 벗어나 관리수준이 낮아지면 안전성에 악영향을 미칠 수 있다. 이러한 나쁜 영향은 작업량이 많은 계획예방정비 기간보다는 경상정비기간에 더 큰 영향을 주는 듯 하다.

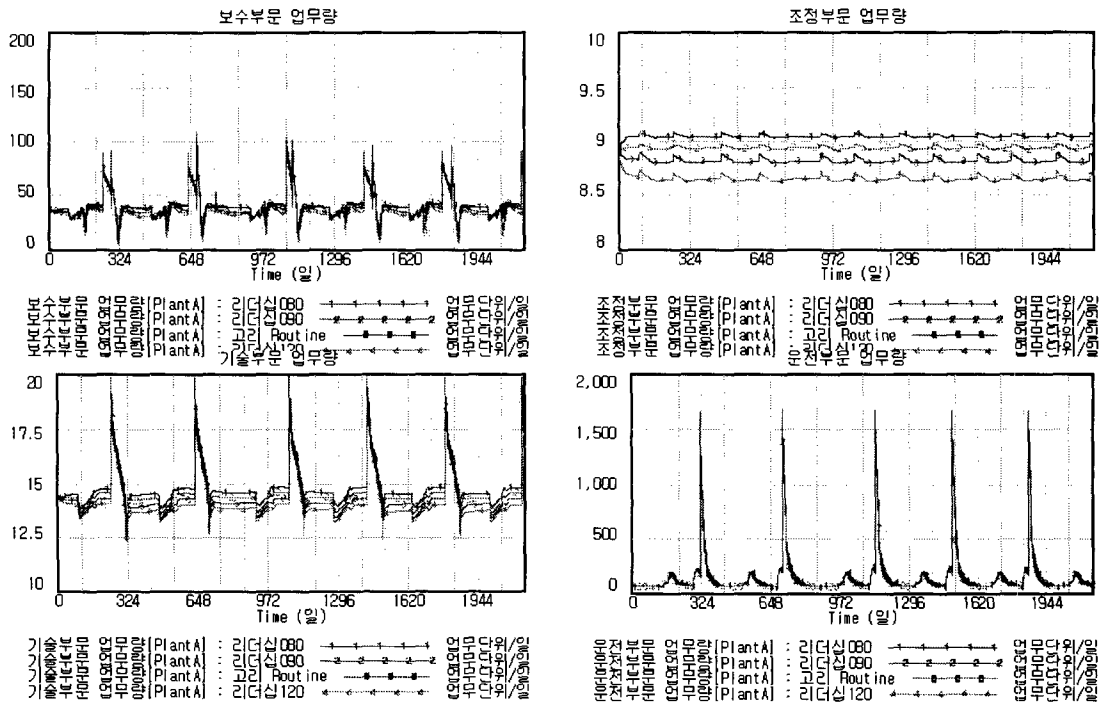
업무량이 상대적으로 작지만 경상정비 기간에도 관리자의 감독활동과 직원들의 사기진작에 대한 관심을 기울여야 할 것이다.

<표 3.8-8> 관리자의 리더십에 대한 시나리오

| 라인 번호 | 조작변수명                          | 조정값     | DataSet 명 (시나리오명) | 물리적 의미                  |
|-------|--------------------------------|---------|-------------------|-------------------------|
| 1     | d 부문별 부서<br>Leadership 인자[x부서] | 1 → 0.8 | 리더십080            | 관리자의 리더십이 현 수준의 80% 수준  |
| 2     | d 부문별 부서<br>Leadership 인자[x부서] | 1 → 0.9 | 리더십090            | 관리자의 리더십이 현 수준의 90% 수준  |
| 3     | -                              | -       | 고리 Routine        | 현행                      |
| 4     | d 부문별 부서<br>Leadership 인자[x부서] | 1 → 1.2 | 리더십120            | 관리자의 리더십이 현 수준의 120% 수준 |



[그림 3.8-12] 관리자의 리더십의 영향



[그림 3.8-13] 리더십의 영향에 따른 부서별 업무량의 변화

사. 직원 관리

<표 3.8-9> 관리자의 리더십에 대한 시나리오

| 라인 번호 | 조작변수명  | 조정값   | DataSet 명 (시나리오명) | 물리적 의미                       |
|-------|--|-------|-------------------|------------------------------|
| 1     | d 직원의 업무태도 경영요인<br>d 직원의 업무태도 중간관리자 요인<br>d 직원의 업무태도 직원의 교육 요인 | 1→1.2 | 직원관리120           | 직원에 대한 경영자 중간관리자로서의 관심을 증가시킴 |
| 2     | d 직원의 업무태도 경영요인<br>d 직원의 업무태도 중간관리자 요인<br>d 직원의 업무태도 직원의 교육 요인 | 1→0.8 | 직원관리80            | 직원에 대한 경영자 중간관리자로서의 관심을 감소시킴 |
| 3     | -  | -     | 고리 Routine        | 현재상황유지                       |





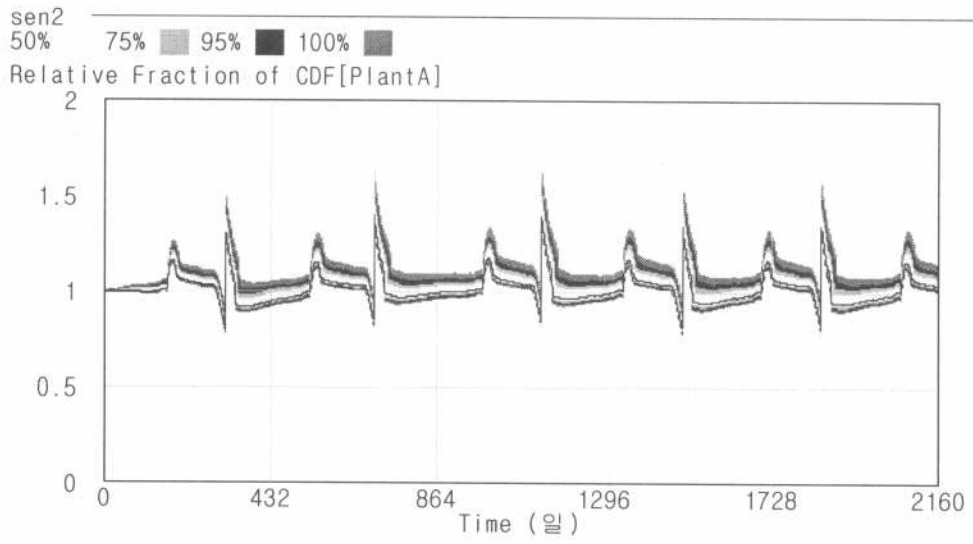
오차는 가질 수 있다는 가정에서 민감도 분석을 실시하였다. 이 때 난수는 500회를 발생시켰다.

최종적으로 살펴보고자 하는 안전성에 대한 결과를 살펴보면 [그림 3.8-15]와 같다.

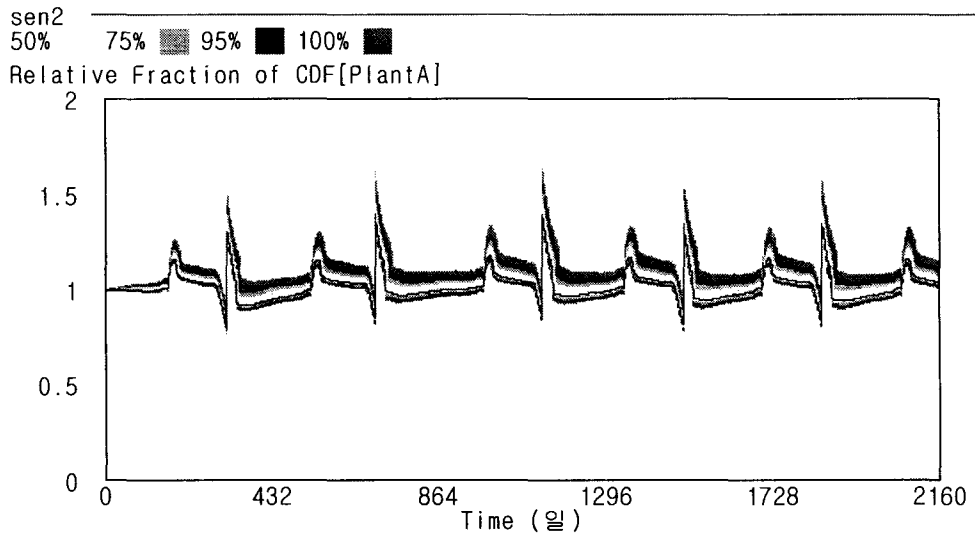
지정한 변수가  $\pm 5\%$ 의 불확실성을 가지고 있다고 하더라도 기준값에서 크게 벗어나지 않음을 볼 수 있다. 해당 호기에 대한 관리수준이 원만히 이루어지고 있는 것으로 판단할 수 있다.

<표 3.8-10> 민감도 분석을 위한 난수 생성 변수 목록

| 변수명   | 발생분포함수         | 기준값 | 최소값  | 최대값  |
|---|----------------|-----|------|------|
| d Spare part 인자[xPlant]                       | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 계획예방정비 발생 건수 변인[xPlant]                     | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 계획예방정비 준비기간 인자[xPlant]                      | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 교육훈련 스킬 변화 요인[x부문]                          | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 규제관련 업무 발생량 인자[xPlant]                      | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 발전소 Leadership 인자                           | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 부문별 관리자 업무 절차 인자[x부문]                       | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 보수부문 업무별 적정 처리기간 인자[xPlant,x보수업무]           | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 보수 부문 업무별 생산성 smooth 기간 변인                  | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 보수 준비기간 인자[xPlant]                          | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 부문별 업무 절차 인자                                | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 부문별 중간관리자 업무별 적정 처리 기간 인자[xPlant,x부문,x경영부문] | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 조정부문 비정기 불시업무 발생 변인[xPlant]                 | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 부문별 평균 교육 기간 변인[x부문]                        | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 부문별 평균 연간 교육 참가자 수 변인[x부문]                  | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 직업의 Attractiveness 인자                       | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 직원의 업무태도 경영요인[x부문]                          | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 직원의 업무태도 중간관리자 요인[x부문]                      | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 회사 Leadership 인자                            | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 최고경영자 업무별 적정 처리기간 인자[xPlant,x경영부문]          | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |
| d 기술부문 업무별 적정 업무처리 기간[x기술업무]                  | RANDOM_UNIFORM | 1   | 0.95 | 1.05 |



[그림 3.8-15] 안전성에 대한 민감도 분석 결과



[그림 3.8-15] 안전성에 대한 민감도 분석 결과

## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외 기여도

### 제 1 절 연구개발목표의 달성도

본 연구과제의 최종 목표는 다음과 같다.

최종목표 :

원자력 발전소 조직 및 인적인자가 원전의 안전성에 미치는 영향을 분석할 수 있는 시스템 다이내믹스 모델을 개발하고 이를 이용하여 고리1호기 및 고리2호기에 대하여 PSR에서 요구하는 인적 및 조직인자 평가분야에 활용방안 검토.

연구 내용으로는 다음을 포함한다.

- ① 국내 원전 적용을 위한 주요 경영 인자 선정
- ② 경영 인자 정량화 방법 개발
- ③ 경영 인자간 상관관계 파악을 위한 경영 시뮬레이션 모델 개발
- ④ 고리 1,2호기의 원전 고유 자료 수집을 통하여 1단계에서 개발된 시스템 다이내믹스 모델 개선
- ⑤ 시스템 다이내믹스 모델에 사용되는 기초자료 구축
- ⑥ 구축된 기초 자료를 이용하여 모델의 타당성 검토
- ⑦ 개발된 모델을 이용한 고리 1,2호기 PSR 요구사항에 대한 권고안 도출

과제 목표 ①과 관련하여 문헌조사, 인터뷰 및 설문을 통해서 이를 충분히 달성하였으며 이를 바탕으로 시스템 다이내믹스 모델을 개발하여 ②와 ③에 대한 목표도 완성하였다.(제 3장 1절, 2절, 3절, 4절 참조, 부록 1, 부록 3 참조)

과제 목표 ④와 관련하여서는 고리 제 1 발전소에 대한 모델링을 실시하여 이를 완성하였으며(부록 4 참조), 여기에 반영될 자료를 수집하기 위하여 인터뷰, 설문 등이 실시되었다.(제 3장 3절, 부록 2 참조)

모델의 타당성을 확인하기 위하여 모델의 결과를 발전소 직원들과 같이 인터뷰하여, 개선해 나가는 과정을 거쳤다.

완성된 모델을 바탕으로 고리 제1, 제2 발전소의 직원들과 같이 모델을 시뮬레이션 함으로서 조직 인자 분야에 대한 접근에 대한 방법론으로서 호응을 얻었다.

이렇게 완성된 모델을 바탕으로 PSR항목에서 평가토록 되어 있는 항목을 선정하여 시나리오 베이스로 원전 조직에 대한 분석을 실시하였다.

## 제 2 절 연구의 한계

본 연구는 조직의 다양한 상황을 시스템 다이내믹스라는 기법을 통해서 모델링을 한 연구 과제으로써, 원자력발전소라는 복잡한 시스템을 추상화시켜 가면서 모델을 작성하였다. 연구 참여자들의 이러한 노력에도 불구하고 몇 가지 약점을 가지고 있으며 이를 기술하고자 한다.

첫째, 본 연구의 대상 자체에 대한 문제이다. 사회적 시스템에 대한 추상화된 모델은 전략과 정책에 중요한 시사점을 제시하는 데에는 강한 메시지를 전달하지만, 정량화의 정교함에 있어서는 물리적 시스템과 비교하면 낮은 수준이라고 말할 수 있다. 이것은 본 연구 대상이 사회적 시스템이기 때문에 그러하다. 즉 정량화의 문제는 채택한 기법의 문제라기보다는 연구의 대상이 사회적 시스템이라는 내재적 문제를 포함하고 있기 때문이다. 사회적 시스템에 대해서는 실험을 할 수도 없으며, 설사 실험이 가능하다고 하더라도, 그 결과를 살펴보는 데에는 장기간이 소요

되고, 피실험자들이 실험에 대하여 반응을 하게 되면 실험의 신뢰성에 문제를 야기할 수 있다. 사회시스템은 이른바 개방시스템으로서 지속적으로 외부의 영향을 받고 동시에 외부 환경에 영향을 주기도 하는 것이다.

둘째, 해당시스템을 가장 잘 아는 사람들은 해당 시스템의 구성원이며 따라서 본 연구의 참여자들도 가급적 원전 조직 속에서 이를 관찰하고 이해하려 하였으나, 시간적 공간적 여건의 제한으로 연구 참여자들이 완벽히 시스템에 내재화되어 모델을 작성할 수 없었다. 다만, 모델의 결과물을 원전 구성원들과의 의견교환을 통해서 문제점을 발견하고 이를 반복적으로 수정하여 조금씩 향상된 모델을 제시할 수 있었다. 그러나 여전히 원자력 발전소 조직을 완전히 모델화시켰다고 볼 수는 없으며, 다만 추후에 이를 확장하고 더 많은 고민을 한다면 모델에 더 많은 내용을 포함할 수 있을 것이다. 이러한 문제를 해결하는 방안으로는 모델을 작성하는 팀과 현장의 팀이 동시에 참여하는 형태로 이루어진다면 효율적으로 해결할 수 있을 것으로 기대한다.

셋째, 자료의 한계이다. 현재 모델은 약 3000여개의 변수로 구성되어 있는데, 이를 검증하기 위한 더 많은 자료가 필요하다. 그러나 조직과 관련된 자료가 매우 적은 실정이다. 예를 들면 현재 우리나라 원전 종사자들의 사기에 미치는 영향요인에 대한 규명이나 영향을 미치는 상황들에 대한 조사 자료가 매우 적으며, 시계열적인 자료는 거의 존재하지 않는다. 이는 검증과도 밀접한 관련이 있으며, 자료가 없어서 모델의 검증이 어려운 점도 있지만 모델을 통해서 필요한 자료의 목록이 나왔다면 시간을 두고 이에 대한 자료 축적을 이루어나가는 것이 중요한 것일 것이다. 이는 본 모델의 검증을 위해서만이 아니고 조직 및 인적 요인이 강조되면 될 수록 더욱 더 많은 자료가 필요할 것이다.

넷째, 방법론적 한계로서 시스템 다이내믹스는 요인들 간의 관계를 연결하여 심리적인 요인들까지 정량화시킬 수 있으나 정량화와 관련하여

여 연구자의 주관이 개입될 수밖에 없다. 다만 이러한 주관의 개입도 상식을 벗어난 것이 아님을 밝히는 바이다. 소프트 변수와 관련하여 설명하였듯이 인과적으로는 분명히 영향을 미치는 요인이 있지만 객관적 자료(hard data)가 없다는 이유로 그 변수를 생략하거나 혹은 자의적으로 소프트 변수를 넣어서 모델을 만든다면 모델 결과를 왜곡시킬 수 있을 것이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 심리학, 인간공학 등의 관련 분야의 기초연구의 지원 및 학제적 연구를 통해서 문제를 해결할 수 있을 것이다.

비록 본 연구가 이러한 몇 가지의 한계점을 가지고 있기는 하지만 조직 및 인적인자에 대한 정량화에 대한 연구로써는 커다란 의의를 가지고 있음을 다음 장에서 밝히는 바이다.

### 제 3 절 기술발전예의 기여도

본 과제는 조직 및 인적인자에 대한 기존의 연구방법을 탈피하여 인자들을 선정하여 상호 간의 영향관계를 묘사하여 이들 간의 비선형적 인과관계가 원전의 안전성에 어떤 영향을 미치는가를 평가할 수 있는 모델을 개발하였다.

기존의 방법은 조직 인자들의 나열에 그치고 상호 영향관계에 대한 묘사를 하는데 실패하였으며, 본 연구는 인자들 간의 상호 영향관계를 정량적으로 묘사하였다.

본 연구는 원자력 발전소의 조직 인자가 종사자의 수행능력에 미치는 영향을 고려하여 정량적으로 표현한 연구로서 원전의 경영 정책 및 조직 평가에 도움을 줄 수 있을 것이다.

뿐만 아니라, PSR에서 요구하는 조직 및 인적인자에 대한 평가를 지원하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

즉, 인원의 적정성의 문제를 걱정하다 혹은 걱정하지 아니하다는 판단을 함에 있어서 인원이 안전성에 얼마만큼을 기여하고 있는지를 정량적으로 표현할 수 있다. 그리고 정책의 결과가 향후에 원전의 안전성에 언제 얼마만큼의 문제를 일으킬 수 있을 것인가에 대한 예측지원의 도구로도 사용될 수 있다.

조직인자에 대한 연구는 정성적 연구 및 관리적 연구가 이루어져 오고 있으며 정량적 연구에 대한 시도가 일반적이지는 않다. 본 연구는 정량적 연구를 시도함으로써 조직인자에 대한 선도적인 연구를 수행하였다고 평가할 수 있다.



여 백

## 제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획

### 제 1 절 연구 결과의 응용 분야

원자력 발전소의 안전성과 관련하여 규명된 조직 및 인적 인자, 그리고 이들 인자와 안전성과의 연관관계에서 파생되는 각종 변수, 이들 변수들 간의 정성적인 인과 관계를 동적으로 묘사하는데 초점을 맞춘 Causal Loop Diagram을 개발함으로써 이를 이용해 안전성과 경제성이라는 측면에서 각 요소가 원자력 발전소에 미치는 영향에 대한 원인을 분석하고 이를 바탕으로 원자력 발전소의 안전성을 확보하는 방안을 마련해 볼 수 있는 사고의 기틀을 마련할 수 있다.

또한 컴퓨터 시뮬레이션이 가능한 정량적인 STD(Stock Flow Diagram) 모델 토대를 마련함으로써 CLD에 의한 정성적 분석뿐만 아니라 정량적 모델링을 통한 시스템의 평가 또한 가능하게 하기 위한 준비단계를 마련하였다.

본 모델은 이를 이해하는 사용자로 하여금 중요 변수와 그 관련 변수들 간의 상호관계에 대한 분석을 용이하게 할 수 있게 함으로써 문제의 원인 발견, 문제 해결 및 더 나아가서는 인적 구성원 및 각각의 조직 간에 의사소통의 수단으로 사용 활용될 수 있을 것이다.

#### 1. 주요 변수간 상관관계 분석

개발된 모델을 이용해 분석자의 관심 내에 있는 변수에 영향을 미치는 변수들을 인과 수형도(Causal Tree Graph)를 이용해서 추적해 나갈 수 있다. 이 과정에서 담당 분야의 전문가가 개입해서 모델의 오류를 추적할 수도 있으며 모델의 수정이 용이하다는 시스템 다이내믹스 모델의 특성상 개발자에 의해 수정된 모델은 그 오류를 점점 줄여나감으로써 더욱 완벽한 모델로 개선되어질 수 있는 것이다.

또한 모델에 들어가는 데이터는 내부 구성원들이 자체 조사하여 입력할 수 있다.

## 2. CLD를 이용한 직원 교육

분석자와 사용자는 모델을 사용해 각종 변수들을 검토해 나가는 과정에서 스스로의 사고를 확장 및 교정 할 수 있는 기회를 갖게 된다. 몰랐던 분야에 대한 지식을 얻게 될 뿐 아니라 자신의 전문 분야에서는 오류를 발견하고 개발자의 도움으로 그 오류를 교정하는 과정에서 분야 지식을 견고히 할 수 있게 된다. 또한 CLD 모델의 인과 수형도(Causal Tree Graph)는 사용자로 하여금 시스템 다이내믹스에 대한 별다른 지식 없이도 쉽게 응용 시스템의 구조 및 변수의 특성, 그리고 변수 사이의 관계를 파악할 수 있게 해줌으로써 해당 분야의 전문가 뿐 아니라 인접 분야 직원 및 간부 직원의 교육용으로도 활용할 수 있게 해 준다. 또한 STD (Stock Flow Diagram)으로 전환 시뮬레이터를 이용하여 예상되는 여러 가지 환경 변수 및 결정 변수에 따른 시나리오별 시뮬레이션을 함으로써 가장 최적의 결과를 도출해내는 변수의 조합을 이끌어냄으로써 시스템에 대한 이해를 심화시킬 수 있다.

## 3. 원전 주기적 안전성 평가(PSR)에의 활용

모델은 조직 및 인적 인자에 대한 원전 주기적 안전성 평가의 요구 사항을 충족시키기 위한 방안을 마련을 위해서 활용될 수 있다.

시스템 다이내믹스 모델은 시간 횡단면적인 연구가 아닌 시간에 따른 안전성 영향관계를 고려할 수 있다는 장점을 지닌다. 따라서 현재의 단순한 지표평가가 아닌 현 상황이 향후 안전성에 미치는 영향에 대한 평가가 가능하다.

뿐만 아니라, 연구 개발을 통해서 개발된 시스템 다이내믹스 모델은

원자력 발전소 조직을 기능별로 나누어 고찰하였기에 기능간 연계성을 충분히 고려할 수 있게 해준다.

시스템 다이내믹스를 사용함으로써 얻을 수 있는 가장 큰 이득은 복잡한 시스템 속에 감추어져있는 다중 순환 고리를 발견하고 이의 작용을 시각적으로 표현할 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. 더욱이 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 효과가 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 모델에 의한 이러한 한계를 극복할 수 있는 것이 시스템 다이내믹스에 의한 순환 고리적 사고에 의한 모델링 기법이다. 이 기법에 의해 구성된 모델을 통해 사용자는 변수들 사이의 상관 관계를 순환 고리에 따라 분석에 볼 수 있으며, 더 나아가 시뮬레이터를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 상황에 따른 시나리오별 예측을 해 볼 수 있으며 어떤 변수가 그 결과에 지배적 영향력을 갖고 있는지를 분석해 볼 수 있다.

여 백

## 제 6 장 참고문헌

- [1} Ackoff, Russell L.,(1999), Re-Creating the Corporation, New York : Oxford University Press
- [2] Allison. Jr., Graham T. (1983), “Public and Private Management : Are They Fundamentally Alike in All Unimportant Respects?”, Public Management : Public and Private Perspectives(Edited by James Perry, Kenneth L. Kraemer), CA : Mayfield Publish Company, 72-79.
- [3] Anderson, Virginia & Johnson, Lauren (1997), System Thinking Basis : From Concepts to Causal Loops, MA:Pegasus Communications, Inc..
- [4] 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.
- [5] Barnard, Chester I., (1938). The Function of the executive. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [6] 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.
- [7] 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.)
- [8] Carroll, John S., Hatakenaka, Sachi (2000). Building Trust and

Creating Change During a Crisis: Develop a Safety Conscious Work Environment at Millstone Nuclear Power Station. Cambridge. MA : MIT. unpublished.

- [9] Carroll, John S., Hatakenaka, Sachi (2000). Building Trust and Creating Change During a Crisis: Develop a Safety Conscious Work Environment at Millstone Nuclear Power Station. Cambridge. MA : MIT. unpublished.
- [10] Carroll, John S., Perin, Constance (1995). Organizing and Managing for Safe Production: New Frameworks, New Question, New Actions. Cambridge. MA: MIT, Center for Energy Policy Research Working Paper NSP 95-005.
- [11] Carroll, John S., Rudolph, Jenny, Hatakenaka, Sachi (2000). The Difficult Hand-over from Incident Investigation to Implementation: A Challenge for Organizational Learning. Cambridge. MA : MIT, unpublished.
- [12] CRIEPI (1999) Interrelationships between organizational factors and major safety indicators : A Perspective and preliminary field study.
- [13] Davoudian, K. , J. S. Wu, G. Apostolakis (1994) Incorporating organizational factors into risk assessment through the analysis of work processes : *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 45, Issues 1-2, 85-105
- [14] Dougherty, E. M. Jr. (1990), Human Reliability Analysis—where should you turn?" *Reliability Engineering and System Safety* 29.
- [15] Dougherty, E. M. Jr. (1990), Human Reliability Analysis—where

should you turn?" *Reliability Engineering and System Safety* 29.

- [16] Ellison, Jr., James F. (1996). Modeling Nuclear Power Management Maintenance : Promoting New Discussion and Better Policy, Cambridge, MA : MIT Master of Science in Technology and Policy Thesis.
- [17] Embery, D. E. (1984), "SLIM-MUD; An Approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgement", NUREG/CR-3518.
- [18] Frost Peter J. et al. ED.(1991), Reframing Organizational Culture, Sage Publications: CA.
- [19] Gharajedaghi, Jamshid (1999). System Thinking : Managing Chaos and Complexity: a Platform for Designing Business Architecture. MA: Butterworth Heinemann.
- [20] IAEA (1995). Organizational Factors influencing human performance in nuclear power plants, IAEA-Techdoc-943, Report of a technical committee meeting held in Ittingen, Switzerland.
- [21] IAEA (2000), Operational Safety Performance Indicator for Nuclear Power Plants, Vienna, Austria. IAEA-TECHDOC-1141.
- [22] INPO (1991), In-Reactor Fuel Damaging Events : A Chronology 1945 - 1990.
- [23] INPO (2001), Human Performance Process Benchmarking Report : NEI/INPO/EPRI Inderstrywide Benchmarking Project.
- [24] Keyvan Davoudian, Jya-Syin Wu, George Apostolaskis, The Work



Process Analysis Model(WPAM), Reliability Engineering and System Safety 1994, 45 , 107 - 125

- [25] Kim, Daniel (1993), "The Link Between Individual and Organizational Learning" , Sloan Management Review, fall, 37-50.
- [26] Lee, T. & K. Harrison. Assessing safety culture in nuclear power stations, Safety Science 34(2000), 61-97.
- [27] Morgan, Gareth (1998), Images of Organization : The Executive Edition, Sage Publication, Inc..
- [28] 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.
- [29] Perrow, Charles (1984), Normal Accident : Living with High-Risk Technologies, New York : Basic Books.
- [30] Pfeffer, Jeffrey & Salancik, Gerald R.(1978). The External Control of Organizations : Resource Dependence Perspective, NY, Harper & Row, Publisher.
- [31] Pfeffer, Jeffrey (1997), New Directions for Organization Theory : Problems and Prospects, New York : Oxford University Press.
- [32] Rasmussen, J. (1987), "Then Definition of Human Error and a Taxamomy for Technical System Design", New Technology and Human Error, John Wiley & Sons Inc..
- [33] Rasmussen, J. (1987), "Then Definition of Human Error and a

Taxonomy for Technical System Design", New Technology and Human Error, John Wiley & Sons Inc..

- [34] Reason, J. (1988), "Modelling the Basic Error Tendency of Human Operators". Reliability Engineering and System Safety, Vol 22.
- [35] Reason, J. (1990). Human error. New York: Cambridge University Press,
- [36]] Reason, J. (1997). Managing the Risks of Organizational Accidents, VT : Ashgate Publishing Company.
- [37] Rudolph, J. and N. Repenting (2002). Disaster Dynamics : Understanding the Role of Interruptions and Stress in Organizational Collapse, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 47, 47: 1-30
- [38] Sastry, M. Anjail (1997), "Problems and Paradoxes in a Model of Punctuated Organizational Change" , *Administrative Science Quarterly*, 42, 237-275.
- [39] Sayer, Andrew (1992), *Method in Social Science : A realist approach*, London: Routledge. 이기홍 역(1999), 『사회과학방법론:실재론적접근』 , 서울: 한울 아카데미.
- [40] Schein, Edgar H. (1996), "Three Cultures of Management: The Key to Organizational Learning" , *Sloan Management Review*, fall, 9-20.
- [41] Scott, W. Richard (1995), *Institutions and Organizations*, CA: Sage Publications, Inc..
- [42] Senge, Peter (1990), *The Fifth Discipline : The Art & Practice of The Learning Organization*, A Currency Paperback.

- [43] Stermann, John D (2000), *Business Dynamics : System Thinking and Modeling for a Complex World*, NY: McGraw Hill.
- [44] Swain, A. D. and H. E. Guttman (1984), "Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application", NUREG/(R-K)8.
- [45] Weick, K. E. (1991), *The vulnerable system : an analysis of the Tenerife air disaster, Reframing Organizational Culture*, London : Sage Publication.
- [46] Wood D. & E.Roth (1988), " Modelling Human Intention Formation for Human Reliability Assessment", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 22.
- [47] Wreathall, J. etc. (1991), "An Observation on the Human Performance and Safety : The Onion Model of Human Performance Influence Factors", *Proceedings of PSAM '91 Beverly Hills, CA*.
- [48] 김도훈 · 문태훈 · 김동환 (1999), 『시스템 다이내믹스』, 서울:대영문화사.
- [49] 박우순 (1996), 『현대조직론』, 서울:법문사.
- [50] 이창순 (1994), 『조직이론 : 사회조직의 제관점』, 서울:박영사.

부록 1  
1단계 설문지

여 백

다음 질문에 생각하신 바를 오른쪽 번호에 체크해 주십시오.

① 전혀 아니다. ② 아니다. ③ 보통이다. ④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

**【안전성】**

|   |           |
|---|-----------|
| 1. 나는 작업에 임함에 있어 제1의 우선순위는 안전성이다.       | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나는 나의 충실한 역할 수행이 사회의 안전과 관련된다고 생각한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 나는 원자력 발전소의 안전성이라는 개념에 대해서 잘 알고 있다.  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 우리 회사의 안전 문화 수준은 높은 편이다.             | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【조직적 요인】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 조직의 관리는 설비의 기계적 설계만큼이나 원전안전성에 중요한 역할을 한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 우리 회사의 조직 구조는 원전 안전성 확보를 위해 적절하다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 우리회사의 제도 및 시스템은 원전안전성 확보를 위해 적절하다.        | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 우리 회사의 안전 문화 수준은 높은 편이다.                  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 우리회사는 발전소의 안전성 향상을 위한 목표를 가지고 있다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【인적 요인】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 원전의 안전성과 관련된 사고는인적 오류에서 발생한다고 생각한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 인적 오류는 회사의 관리정책에 의해서 예방할 수 있다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 나의 심리적 상태는 회사의 일로 인해 큰 영향을 받는다.     | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 나의 원전의 안전 의식은 높은 편이다.               | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 우리회사에는 우수한 인력을 보유하고 있다.             | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 우리회사의 인적 구성은 경력 학력 등이 조화롭게 구성되어 있다. | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【외부환경변화에 적응】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나의 보직과 관련된 기술 변화의 속도에 나는 잘 적응하는 편이다.    | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 업무와 관련하여 내가 요구하는 사항들은 발전소에서 잘 수용하는 편이다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 우리 회사는 외부기관의 정보 수집을 많이 하는 편이다.          | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 외부기관의 정보는 잘 해석되어 회사에서 공유한다.             | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 전력 분야의 민영화는 발전소 안전성에 긍정적 영향을 미칠 것이다.    | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 규제기관의 규제활동은 강화되어 간다.                    | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 7. 국민들의 원전에 대한 관심도의 변화에 대해서 알고 있다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【조직의 복잡성】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나는 보통 타 부서에서 일어난 사고를 문서화되기 전에 인지할 수 없다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 발전소 내의 정보를 얻는 데에는 여러 절차와 단계를 거친다.       | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 원전의 안전성과 관련된 의사결정은 많은 단계와 절차를 거친다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【업무 숙지도】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나는 나의 업무분장의 내용을 숙지하고 있다.                                | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나는 나의 작업 목표를 명확히 알고 있다.                                 | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 나는 전임자로부터 인수인계를 받는 데 어려움이 없었다.                          | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 다른 발전소의 정보를 쉽게 접할 수 있다.                                 | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 나는 안전성과 관련된 문제는 나의 일이 아니어도 적절한 방법 (보고 등)으로 처리하려 하는 편이다. | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【관리자의 리더십】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나는 관리자는 생산성보다는 안전성에 더 많은 관심을 가지고 있다               | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나의 관리자는 나에게 비전을 제시해 준다.                           | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 나의 관리자는 나의 심리적 육체적 상태를 주기적으로 체크한다.                | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 나의 관리자는 나의 업무에 안전을 강구하기 위한 업무 개선 기획에 많은 시간을 사용한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 나의 관리자의 부하직원에 대한 통솔 방식은 인사권에 많이 의존하는 편이다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 나의 관리자는 능력과 직위를 고려해 부하직원을 적재 적소에 배치하였다.           | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【행정부서의 지원】**

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 1. 나는 행정부서의 직원들은 나의업무에 대해서 잘 알고 있다 | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 내가 의뢰한 업무를 행정부서가 지연 없이 처리해 준다.  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 행정적인 일들은 나의 주업무보다 덜 중요하다고 생각한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【의사소통】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나는 어려운 일이 있을 때 상급자에게 보고하는 편이다.            | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나는 부서원들의 제안은 개방적이고 이에 대한 논의가 이루어진다고 생각한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 상급자와 의사소통을 하는 데에는 어려움이 없다.                | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 부서간에 의사소통을 하는 데에는 어려움이 없다.                | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 동료들과 의사소통을 하는 데에는 어려움이 없다.                | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【업무 처리의 명확성】**

|   |           |
|---|-----------|
| 1. 업무의 협의는 부서장을 포함하여 공개적으로 이루어진다.               | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나는 동료가 처리해야 할 업무에 대해서도 알고 있다.                | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 나는 나의 업무에 대한 책임의 수준을 알고 있다.                  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 나는 책임 소재가 불분명한 경우에도 안전성을 위한 작업을 적극적으로 하려 한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【의사결정】**

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 1. 나는 부서의 의사결정 시 많은 의견을 밝히는 편이다.    | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 상급 부서에서의 보통 실행 가능한 결정을 내리는 편이다.  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 문제 해결을 위하여 부서 간의 회의가 있다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 의사결정은 생산성보다는 안전성에 대한 결정이라고 생각한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【조직 학습】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나는 업무 일지에 오늘 있었던 일들을 상세히 기록하는 편이다.  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 사고로 이어지지 않았지만 중요한 실수는 모두 기록한다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 처음 발령을 받았을 때, 업무를 익힐 수 있는 지침서가 있었다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 발전소 안전을 위한 훈련을 개인적으로 하고 있다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 발전소의 안전성과 관련된 인과관계에 대해서 알고 있다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 발전소의 안전성과 관련하여 직원들 간에 공유된 비전이 있다.   | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 7. 발전소의 안전성과 관련하여 동료들과의 학습을 실시한다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 8. 발전소의 안전성에 대한 신념이나 가치관을 가지고 있다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【정보기기활용】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 여러 정보처리 시스템(데이터 베이스 및 소프트웨어)은 발전소의 안전성 향상에 도움을 줄 것이다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 정보처리 시스템 도입이 되어도 나의 업무에 미치는 영향은 작을 것이다.               | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 나의 컴퓨터 활용 능력은 보통 이상이다..                               | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【포상과 처벌】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나는 나의 회사가 내가 기여한 만큼 포상을 한다고 생각한다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나의 상급자는 나의 실수에 대해서 책임을 추궁하기보다는 이해하려는 편이다. | ① ② ③ ④ ⑤ |



**【사고 분석】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나는 사고 분석시 많은 의견을 제시하는 편이다.                        | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나는 사고 분석시 근본적인 원인을 찾으려 한다.                        | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 사고분석을 위해서 나는 개인적인 공부와 자료를 수집한다.                   | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 사고분석시 사고의 원인을 한가지 원인(root cause)으로 귀결지으려는 경향이 있다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 사고분석시 상급자가 의도하는 방향으로 해석하려는 경향이 있다.                | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 사고분석시 자신이 잘 알고 있는 분야에서 해석하려는 경향이 있다.              | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【유지보수】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나는 주로 사전 예방 정비가 중요하다고 생각한다.                 | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나는 작업시 그릇된 행위에 대해서 상급자는 즉각적인 반응을 보인다고 생각한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 나는 유지보수 작업이 운전원들의 작업보다 중요하다고 생각한다.          | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 정비시 운전부서와의 협조에 신경을 쓴다.                      | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 용역기관(KPS, 삼창)과 감독기관(한수원)의 협조가 이루어진다.        | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【교육 훈련】**

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 1. 나는 정기적으로 나의 업무에 대한 교육 훈련을 받고 있다.  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 교육 훈련의 기간과 시간은 적당하다고 생각한다.        | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 교육 훈련을 통해 나의 기술적 능력을 향상시킬 수 있다.   | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 교육 훈련시 타부서 사람과의 의견 및 정보교환이 이루어진다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 교육 훈련의 강사는 대체적으로 훌륭한 사람들이었다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 교육 훈련 시 전문성을 강화할 수 있는 기회가 제공되었다.  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 7. 교육 시 배운 내용은 현장에서 즉시 활용이 가능하다.     | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【업무 조정】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 타부서와의 갈등이 발생할 때 상급자는 이를 조정한다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 조정 시 부하직원의 참여가 가능하다.                  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 타부서와의 갈등은 회사의 발전에 도움을 줄 때가 있다.        | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 나는 보다 많은 회의 시간이 필요하다고 생각한다.           | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 나는 전자메일이나 전자게시판이 업무의 조정에 효과적이라고 생각된다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 업무 조정 후의 임무에 대한 책임은 명확한 편이다.          | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【조직 규정 및 절차】**

|  |           |
|--|-----------|
| 1. 나는 작업시 대부분의 규칙과 절차를 준수한다고 생각한다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 내가 상급자면 개인의 재량과 위임보다는 규칙과 절차를 강조하겠다.    | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 절차와 규칙의 준수는 사고 발생을 줄일 수 있다.             | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 절차 및 규칙은 주로 상위자나 상급부서에서 일방적으로 내려오는 편이다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 나는 작업시 경험이 많은 고참 선배의 말보다는 절차나 규정을 따르겠다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 불필요한 법규와 규칙 때문에 내 능력을 발휘하는데 지장이 있다.     | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【자원 할당】**

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 1. 우리 부서의 일과 이에 대한 인력(T/O)이 적절한 수준이다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 우리 부서의 일과 이에 대한 예산은 적절한 수준이다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 직원들의 기술적 능력은 우수하다.                 | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 우리 부서에는 타부서에 비해 우수한 인력이 많이 있다.     | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 우리 부서의 인력에 대해서 상급부서의 통제가 적은 편이다.   | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 부서의 구성원들의 경력 및 전공에 따라 조화롭게 구성되었다.  | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 7. 나의 업무는 문제해결 시점에서 적절하게 이루어진다.       | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【목표와 전략】**

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 1. 나는 회사의 목표가 안전성과 생산성에 적절히 조화되어 있다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나는 회사가 안전 목표에 대한 장기적인 전략이 있다.     | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 발전소의 안전성과 발전소의 생산성은 다른 문제이다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【인사관리】**

|   |           |
|---|-----------|
| 1. 나는 회사의 인사고과 방법에 대해서 만족하고 있다.         | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나는 회사에서 내 적성과 능력에 맞는 업무를 부여했다고 생각한다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 나는 최근의 업무과정이나 절차의 변화에 대해서 적응적이였다.    | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 나는 회사의 인사고과가 공정하다고 생각한다.             | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 우리 부서는 스트레스를 풀 수 있는 기회를 부여한다.        | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 6. 직장에서의 행동함에 있어 승진을 고려하지 않을 수 없다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【신뢰도와 조직 몰입】**

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 1. 우리 부서는 직원의 의견을 충족시키려고 성실히 노력한다.    | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 2. 나는 내 상관의 정직함을 믿는다.                 | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 3. 내가 만일 직무상 어려움을 당하면 동료들이 나를 도울 것이다. | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 4. 내가 근무하는 조직은 나의 진가를 발휘하게 해준다.       | ① ② ③ ④ ⑤ |
| 5. 나는 나의 임무에 대해서 보람과 만족을 느끼고 있다.      | ① ② ③ ④ ⑤ |

**【태 만】**

|  |                        |
|--|------------------------|
| 1. 나는 골치 아픈 문제에 대해서는 일단 회피하고 본다.           | ① ② ③ ④ ⑤              |
| 2. 나는 직장을 그만둔다면 현재보다 더 좋은 직장을 구할 수 있다.     | ① ② ③ ④ ⑤              |
| 3. 나는 다른 부서로 옮기고 싶은 때가 종종 있다.              |                        |
| 4. 나는 참고 견디면 모든 일이 잘 되리라고 믿고 직무를 묵묵히 수행한다. | ① ② ③ ④ ⑤<br>① ② ③ ④ ⑤ |

감사합니다.

부록 2  
2단계 설문지

여 백

I. 다음은 발전소의 안전성과 관련된 전반적인 여건 및 상황에 관한 질문입니다.

| 질문 사항                                      | 전혀<br>그렇지<br>않다 | 그렇지<br>않은<br>편이다 | 보통<br>이다 | 그런<br>편이다 | 매우<br>그렇다 |
|--|-----------------|------------------|----------|-----------|-----------|
| 1. 발전소의 운전 역량은 매년 향상되고 있다                  | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 2. 발전소의 정상적인 운영에 필요한 예산이 매년 증가하고 있다        | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 3. 발전소의 운전정지 횟수는 매년 증가하고 있다                | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 4. 발전소 설비들의 정비/보수가 필요한 결함보고 건수가 매년 증가하고 있다 | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 5. 발전소 설비들의 부품 교체율이 매년 증가하고 있다             | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 6. 발전소 설비의 보수를 위한 전체 작업시간은 매년 증가하고 있다      | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 7. 발전소 설비의 보수를 위한 재 작업 빈도가 매년 증가하고 있다      | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 8. 발전소의 안정성과 관련한 규제기관의 지적 건수는 매년 증가하고 있다   | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 9. 경영층의 발전소 안전성과 관련된 업무지시 횟수가 매년 증가하고 있다   | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |

II. 다음은 발전소 조직 전체에 관한 질문입니다.

| 질문 사항  | 전혀<br>그렇지<br>않다 | 그렇지<br>않은<br>편이다 | 보통<br>이다 | 그런<br>편이다 | 매우<br>그렇다 |
|--|-----------------|------------------|----------|-----------|-----------|
| 1. 발전소 조직의 부서 편제와 업무분장은 문제가<br>없어 보인다              | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 2. 발전소 조직의 부서간 업무 협력은 지연 없이 빠<br>르게 이루어지고 있다       | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 3. 발전소 조직의 부서간 의사소통은 지연 없이 빠<br>르게 이루어지고 있다        | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 4. 발전소 정비/보수에 필요한 자원의 공급은 지연<br>없이 빠르게 이루어지고 있다    | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 5. 발전소의 운영에 필요한 전체 인력 규모는 적정<br>하다                 | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 6. 발전소의 결원이 발생하였을 경우 인력 충원은<br>빠르게 이루어지고 있다        | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 7. 발전소의 상-중-하위 관리층 간의 의사결정은 갈<br>등 없이 이루어지고 있다     | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 8. 발전소의 안전은 경영적 차원의 이익보다 항상<br>우선적으로 고려된다          | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 9. 모든 직원들의 직무는 단순한 업무까지 모두 명<br>세화 되어 있다           | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 10. 발전소의 안전과 관련된 제도나 업무개선에 모<br>든 직원들의 참여도가 높다     | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 11. 발전소의 장기적인 안전관리 계획이 수립되고<br>집행되고 있다             | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 12. 운전경험과 보수작업 수행/이력 등의 내용은 반<br>드시 기록되고 있다        | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 13. 발전소에 근무하는 직원들은 그 담당 업무와 전<br>공/자격이 대부분 일치한다    | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 14. 발전소의 모든 분야에 걸쳐 예방적 안전관리 업<br>무가 일상화 되어 있다      | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 15. 발전소의 근무 교대 시에는 안전관리 사항이 서<br>류 상으로 반드시 인수인계 된다 | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |

Ⅲ. 다음은 규제기관/안전규제 지침에 관한 질문입니다.

| 질문 사항  | 전혀<br>그렇지<br>않다 | 그렇지<br>않은<br>편이다 | 보통<br>이다 | 그런<br>편이다 | 매우<br>그렇다 |
|--|-----------------|------------------|----------|-----------|-----------|
| 1. 규제기관의 안전 관련 규칙과 절차 수준은 매년 강화되는 추세에 있다   | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 2. 규제기관의 안전 관련 규칙과 절차는 발전소의 안전한 운전과 정비/보수작업에 많은 도움이 된다                             | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 3. 규제기관의 안전 관련 규칙과 절차는 발전소의 운전과 정비/보수 업무를 수행하는데 있어 내부의 기술적 검토보다 반드시 최우선적으로 고려되고 있다 | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 4. 규제기관의 안전 관련 규칙과 절차는 신속한 업무/작업 수행에 종종 지연을 초래하는 요인이 되고 있다.                        | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |



IV. 다음은 발전소에 근무하시는 귀하의 업무수행 환경에 관한 질문입니다.

| 질문 사항   | 전혀<br>그렇지<br>않다 | 그렇지<br>않은<br>편이다 | 보통<br>이다 | 그런<br>편이다 | 매우<br>그렇다 |
|---|-----------------|------------------|----------|-----------|-----------|
| 1. 나는 수행하는 모든 업무/작업의 표준화된 절차를 명확히 알고 있다고 생각한다           | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 2. 나는 나의 근무 시간에 비해 수행해야 할 업무/작업이 많다고 생각한다               | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 3. 나는 나의 기술적 능력에 비해 수행해야 할 업무/작업이 조금 부담스럽다고 생각한다        | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 4. 나의 비상직무는 복잡한 편이라고 생각한다                               | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 5. 나는 아무리 사소한 것이라도 반드시 안전관리규정에 따라 업무를 처리한다              | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 6. 나는 나의 동료가 사소한 경우 안전관리 규정을 따르지 않는 경우를 가끔 본다           | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 7. 나의 상급자는 업무수행에서 직면하는 문제해결에 언제나 도움을 줄 수 있다             | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 8. 내가 처리한 업무는 반드시 상급자에 의해 그 결과가 체크된다                    | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 9. 나는 업무/작업 수행에 필요한 정보(기술검토서 등)를 항상 쉽게 검색/획득할 수 있다      | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 10. 나는 동료들과 업무수행에서 협력적인 관계를 유지하고 있다                     | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 11. 나는 비일상적인 불시 업무수행을 위해 시간을 할애하는 것이 본 업무수행에 부담스럽다고 느낀다 | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 12. 나는 우리 발전소에는 일체화된 안전문화가 존재한다고 생각한다.                  | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 13. 나는 품질보증(QA) 프로그램을 나의 직무활동에서 실천하는데 적극적이다             | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 14. 나는 상급자의 안전성과 관련된 지도력에 복종하는 편이다                      | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 15. 나는 운전/보수 업무 중 동일한 결함 및 작업 실수가 반복되는 경우를 종종 본다        | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |

V. 다음은 교육훈련에 관한 질문입니다.

| 질문 사항   | 전혀<br>그렇지<br>않다 | 그렇지<br>않은<br>편이다 | 보통<br>이다 | 그런<br>편이다 | 매우<br>그렇다 |
|---|-----------------|------------------|----------|-----------|-----------|
| 1. 발전소에서 받는 교육훈련은 업무지식 향상에 많은 도움을 주고있는 편이다                        | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 2. 발전소에서 받는 교육훈련은 안전성에 관한 인식이나 안전문화 고취에 효과가 있는 편이다                | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 3. 발전소에서 받는 교육훈련은 직무에 맞게 세분화되어 있고 충실하게 이루어진다                      | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 4. 교육훈련을 받는 것보다는 업무를 수행하는 것이 여러 가지 면에서(교육후의 업무 누적 등 고려) 편하다고 생각한다 | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 5. 발전소의 교육훈련 프로그램은 제도화되어 있고, 모든 직원에게 예외 없이 적용된다                   | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |

VI. 다음은 발전소에 근무하시는 귀하의 근무 여건에 관한 질문입니다.

| 질문 사항  | 전혀<br>그렇지<br>않다 | 그렇지<br>않은<br>편이다 | 보통<br>이다 | 그런<br>편이다 | 매우<br>그렇다 |
|--|-----------------|------------------|----------|-----------|-----------|
| 1. 나의 보수는 업무량과 난이도를 비교해 볼 때 적당하다고 생각한다                 | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 2. 내가 수행하는 업무/작업을 수행하는 환경은 때로는 생명에 위협할 수 있다고 생각한다      | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 3. 나는 업무 부담으로 인해 종종 휴가를 떠나고 싶은 생각을 할 때가 있다             | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 4. 나의 상급자는 나의 건강이나 근무여건에 관심과 배려를 하는 편이다                | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 5. 나는 쉬고 싶을 때 휴가를 신청하는 것이 편안하게 느껴지지 않는다                | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 6. 나는 나의 안전성 관련 지침의 충실한 이행이나 업무역량이 근무평정에 반영되고 있다고 생각한다 | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |
| 7. 나는 우리 발전소의 인사고과, 상벌이 공평하게 이루어진다고 생각한다               | ①               | ②                | ③        | ④         | ⑤         |

VII-1 아래의 항목에서 인적 오류에 미치는 정도가 어느 정도라고 생각하십니까?

|              | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우 많다<br>(높다) |
|--------------|--------------|------------|----|------------|---------------|
| 1. 작업량       | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 2. 작업지식      | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 3. 사기        | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 4. 개인적 스트레스  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 5. 절차서의 질    | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 6. 의사소통      | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 7. 상급자의 감독   | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 8. 절차서 미준수   | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 9. 잘못된 작업지시  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 10. 작업 근무 환경 | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |

VII-2 아래의 항목의 현재 상태는 어느 정도라고 생각하십니까?

|              | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우 많다<br>(높다) |
|--------------|--------------|------------|----|------------|---------------|
| 1. 작업량       | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 2. 작업지식      | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 3. 사기        | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 4. 개인적 스트레스  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 5. 절차서의 질    | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 6. 의사소통      | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 7. 상급자의 감독   | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 8. 절차서 미준수   | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 9. 잘못된 작업지시  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 10. 작업 근무 환경 | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |

VIII-1 아래의 항목에서 작업량에 미치는 정도가 어느 정도라고 생각하십니까?

|              | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우 많다<br>(높다) |
|--------------|--------------|------------|----|------------|---------------|
| 1. 업무처리속도    | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 2. 불시적 업무지시  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 3. 행정절차      | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 4. 업무처리 인원   | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 5. 업무목표의 명확성 | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 6. 부서간 업무협조  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 7. 상급자의 리더십  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |

VIII-2 아래의 항목의 현재 수준은 어느 정도라고 생각하십니까?

|              | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우 많다<br>(높다) |
|--------------|--------------|------------|----|------------|---------------|
| 1. 업무처리속도    | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 2. 불시적 업무지시  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 3. 행정절차      | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 4. 업무처리 인원   | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 5. 업무목표의 명확성 | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 6. 부서간 업무협조  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 7. 상급자의 리더십  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |

IX-1 아래의 항목이 사기에 미치는 정도가 어느 정도라고 생각하십니까?

|                      | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우 많다<br>(높다) |
|----------------------|--------------|------------|----|------------|---------------|
| 1. 급여수준              | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 2. 국민의 원전 호응도        | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 3. 직원복지혜택            | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 4. 직업의 안정성           | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 5. 근무교대<br>(발전부의 경우) | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 6. 승진 등 인사고과         | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 7. 자기능력개발            | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |

IX-2 아래의 항목의 현재 상태는 어느 정도라고 생각하십니까?

|                      | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우 많다<br>(높다) |
|----------------------|--------------|------------|----|------------|---------------|
| 1. 급여수준              | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 2. 국민의 원전 호응도        | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 3. 직원복지혜택            | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 4. 직업의 안정성           | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 5. 근무교대<br>(발전부의 경우) | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 6. 승진 등 인사고과         | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 7. 자기능력개발            | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |

X-1 아래의 항목 중 생산성에 미치는 영향이 어느 정도라고 생각하십니까?

|                     | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우 많다<br>(높다) |
|---------------------|--------------|------------|----|------------|---------------|
| 1. 교육훈련             | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 2. 고참직원들의 지도        | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 3. 경험보고서 및 해외<br>정보 | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 4. 학력/전공의<br>업무일치도  | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 5. 의사결정참여           | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |

X-2 아래의 항목의 현재 수준은 어떻다고 생각하십니까?

|                    | 매우적다<br>(낮다) | 적다<br>(낮다) | 보통 | 많다<br>(높다) | 매우 많다<br>(높다) |
|--------------------|--------------|------------|----|------------|---------------|
| 1. 교육훈련            | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 2. 고참직원들의 지도       | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 3. 경험보고서 및<br>해외정보 | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 4. 학력/전공의<br>업무일치도 | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |
| 5. 의사결정참여          | ①            | ②          | ③  | ④          | ⑤             |



| 변수                         |            | 변 수                  |                           |                        |     |
|----------------------------|------------|----------------------|---------------------------|------------------------|-----|
|                            |            | 문항번호                 | 변수 명 칭                    |                        |     |
| 1. 원자력발전소의 안전성<br>(잠재적 위험) | I-1        | X1                   | 전년대비 운전가동을 향상정도(1)        |                        |     |
|                            | I-2        | X2                   | 전년대비 운영예산 증가 정도(2)        |                        |     |
|                            | I-3        | X3                   | 전년대비 운전정지 횟수 증가정도(3)      |                        |     |
|                            | I-4        | X4                   | 전년대비 설비 TR건수 증가정도 (4)     |                        |     |
|                            | I-5        | X5                   | 전년대비 부품교체를 증가정도 (5)       |                        |     |
|                            | I-6        | X6                   | 전년대비 설비보수 작업시간 증가정도 (6)   |                        |     |
|                            | I-7        | X7                   | 전년대비 설비보수 재작업 빈도 증가정도(7)  |                        |     |
|                            | I-8        | X8                   | 전년대비 규제기관 지적건수(8)         |                        |     |
|                            | I-9        | X9                   | 전년대비 경영층의 지시횟수(9)         |                        |     |
| 2. 외부환경 (규제기관/안전<br>규제지침)  | III-1      | X25                  | 전년대비 규제기관의 안전관리 강화정도(25)  |                        |     |
|                            | III-2      | X26                  | 규제기관의 발전소 안전성 기여도(26)     |                        |     |
|                            | III-3      | X27                  | 규제기관의 안전관리규칙에의 우선성(27)    |                        |     |
|                            | III-4      | X28                  | 규제기관의 안전관리 규칙/절차의 지연도(28) |                        |     |
| 3. 경영/전략/리더십               | II-11      | X20                  | 장기안전계획 수립 및 집행(20)        |                        |     |
|                            | IV-7       | X35                  | 문제해결에의 상급자의 도움정도(35)      |                        |     |
|                            | IV-8       | X36                  | 업무결과에 대한 상급자의 체크(36)      |                        |     |
|                            | IV-14      | X42                  | 상급자의 안전성/지도력 복종정도(42)     |                        |     |
|                            | VI-1-4     | X52                  | 건강/근무여건에 대한 상급자의 배려(52)   |                        |     |
|                            | VII-1-7    | X62                  | 감독수준→인적 실수에의 영향(62)       |                        |     |
|                            | VII-2-7    | X72                  | 감독자의 감독수준의 현재 상태(72)      |                        |     |
|                            | VIII-1-2   | X77                  | 불시적 업무지시→작업량 누적(77)       |                        |     |
|                            | VIII-1-5   | X80                  | 업무목표의 명확성→작업량 누적(80)      |                        |     |
|                            | VIII-1-7   | X82                  | 상급자의 리더십→작업량 누적((82)      |                        |     |
|                            | VIII-2-2   | X84                  | 불시적 업무지시의 현재수준(84)        |                        |     |
|                            | VIII-2-5   | X87                  | 업무목표의 명확성의 현재수준(87)       |                        |     |
|                            | VIII-2-7   | X89                  | 상급자의 리더십(89)              |                        |     |
|                            | X-1-2      | X105                 | 고참직원들의 지도→생산성(105)        |                        |     |
| X-2-2                      | X110       | 고참직원들의 지도의 현재상태(110) |                           |                        |     |
| 4. 전반적인<br>조직풍토            | 조직전체<br>특성 | II-1                 | X10                       | 조직의 부서편제 및 업무분장(10)    |     |
|                            |            | II-2                 | X11                       | 조직부서 간 업무협력 지연정도(11)   |     |
|                            |            | II-3                 | X12                       | 조직부서간 의사소통 정도(12)      |     |
|                            |            | II-4                 | X13                       | 정비 / 보수 작업의 지연정도(13)   |     |
|                            |            | II-5                 | X14                       | 전체 인력규모의 적정도(14)       |     |
|                            |            | II-6                 | X15                       | 인력 충원정도(15)            |     |
|                            |            | II-7                 | X16                       | 관리계층간 의사결정의 갈등정도(16)   |     |
|                            |            | II-8                 | X17                       | 발전소 안전성의 우선성(17)       |     |
|                            |            | II-9                 | X18                       | 업무명세화 정도(18)           |     |
|                            |            | II-10                | X19                       | 제도/업무 개선에의 직원 참여도(19)  |     |
|                            |            | II-12                | X21                       | 보수작업/운전경험 수행/이력 기록(21) |     |
|                            |            | II-13                | X22                       | 담당 업무와 전공/자격 일치도(22)   |     |
|                            |            | II-14                | X23                       | 예방적 안전관리의 일상화정도(23)    |     |
|                            |            | II-15                | X24                       | 안전관리사항의 인수인계(24)       |     |
|                            |            |                      | 업무수행환경                    | IV-12                  | X40 |

| 변수              |               | 변 수      |                          |                           |
|-----------------|---------------|----------|--------------------------|---------------------------|
|                 |               | 문항번호     | 변수                       | 변 수 명 칭                   |
| 4. 전반적인 조직풍토    | 인적실수요인        | VII-1-5  | X60                      | 절차서의 질 → 인적 실수영향정도(60)    |
|                 |               | VII-1-6  | X61                      | 의사소통 → 인적 실수 영향정도(61)     |
|                 |               | VII-1-8  | X63                      | 절차서의 미준수→인적실수(63)         |
| VII-1-10        |               | X65      | 작업근무환경 → 인적실수(65)        |                           |
| VII-2-5         |               | X70      | 절차서의 질의 현재 상태(70)        |                           |
| VII-2-6         |               | X71      | 의사소통의 현재상태(71)           |                           |
| VII-2-8         |               | X73      | 절차서 미준수의 현재상태(73)        |                           |
| VII-2-10        |               | X75      | 작업근무 환경의 현재상태(75)        |                           |
| 업무처리지연/<br>누적요인 |               | VIII-1-3 | X78                      | 행정절차 단계의 수 → 작업량누적(78)    |
|                 |               | VIII-1-4 | X79                      | 업무처리인원 수 → 작업량 누적(79)     |
|                 | VIII-1-6      | X81      | 부서간 업무협조 수준 → 작업량 누적(81) |                           |
|                 | VIII-2-3      | X85      | 행정절차단계의 현재 수준(지연수준)(85)  |                           |
|                 | VIII-2-4      | X86      | 업무처리 인원의 현재 수준(86)       |                           |
|                 | VIII-2-8      | X88      | 부서간 업무협조의 현재 수준(88)      |                           |
| 작업처리능력          | X-1-5         | X108     | 개인의 의사결정참여→생산성(108)      |                           |
|                 | X-2-5         | X113     | 개인의 의사결정참여의 현재상태(113).   |                           |
| 5. 조직 내 업무      | 개인별<br>업무수행환경 | IV-1     | X29                      | 작업표준화절차의 인지도(29)          |
|                 |               | IV-2     | X30                      | 업무/작업의 부하정도(30)           |
|                 |               | IV-3     | X31                      | 업무/작업의 부담정도(31)           |
|                 |               | IV-4     | X32                      | 비상시 직무 복잡성(32)            |
|                 |               | IV-5     | X33                      | 안전관리규정의 준수정도(33)          |
|                 |               | IV-6     | X34                      | 동료의 안전관리규정 비준수정도(34)      |
|                 |               | IV-9     | X37                      | 업무수행 정보의 검색 및 획득 용이성(37)  |
|                 |               | IV-10    | X38                      | 동료들과 업무협조 정도(38)          |
|                 |               | IV-11    | X39                      | 비일상적 업무의 부담 정도(39)        |
|                 |               | IV-13    | X41                      | QA활동의 실천정도(41)            |
|                 |               | IV-15    | X43                      | 결함 및 작업실수의 반복정도(43)       |
|                 |               | X-1-4    | X107                     | 학력/전공의 업무일치도 → 생산성(107)   |
|                 |               | X-2-4    | X112                     | 학력/전공의 업무일치의 현재수준(112)    |
|                 |               | 근무여건     | VI-1-2                   | X50                       |
|                 | VI-1-3        |          | X51                      | 업무부담으로부터의 휴식(51)          |
|                 | VI-1-5        |          | X53                      | 업무부담감(53)                 |
|                 | 인적실수요인        | VII-1-1  | X56                      | 작업량의 인적 실수예의 영향정도(56)     |
|                 |               | VII-1-2  | X57                      | 작업지식의 인적 실수예의 영향정도(57)    |
|                 |               | VII-1-3  | X58                      | 사기수준의 인적 실수예의 영향정도(58)    |
|                 |               | VII-1-4  | X59                      | 가정사/스트레스의 인적실수 영향정도(59)   |
|                 |               | VII-1-9  | X64                      | 잘못된 작업지시의 인적실수 영향정도(64)   |
|                 |               | VII-2-1  | X66                      | 작업량의 현재수준(66)             |
|                 |               | VII-2-2  | X67                      | 작업지식의 현재상태(67)            |
|                 |               | VII-2-3  | X68                      | 사기수준의 현재상태(68)            |
|                 |               | VII-2-4  | X69                      | 가정사/스트레스의 현재상태(69)        |
|                 | VII-2-9       | X74      | 잘못된 작업지시의 인적실수 영향정도(74)  |                           |
|                 | 업무처리지연<br>요인  | VIII-1-1 | X76                      | 개인 생산성(업무처리속도)→작업량 누적(76) |
| VIII-2-1        |               | X83      | 개인 생산성(업무처리속도)의 현재수준(83) |                           |
| 작업처리능력          | X-1-3         | X106     | 경험보고서/해외정보학습→생산성(106)    |                           |
|                 | X-2-3         | X111     | 경험보고서/해외정보학습의 현재수준(111)  |                           |



| 변수               |       | 변 수               |                         |                        |
|------------------|-------|-------------------|-------------------------|------------------------|
|                  |       | 문항번호              | 변수                      | 변 수 명 칭                |
| 6.<br>인사/보상/교육제도 | 교육훈련  | V-1               | X44                     | 교육훈련의 업무 기여도(44)       |
|                  |       | V-2               | X45                     | 교육훈련의 안전문화에의 기여도(45)   |
|                  |       | V-3               | X46                     | 교육훈련의 직무적합성(46)        |
|                  |       | V-4               | X47                     | 교육훈련에 대한 기피도(업무누적)(47) |
|                  |       | V-5               | X48                     | 교육훈련프로그램의 제도화정도(48)    |
|                  |       | X-1-1             | X104                    | 정규적 교육훈련 → 생산성(104)    |
|                  |       | X-2-1             | X109                    | 정규적 교육훈련의 현재상태(109)    |
|                  | 급여만족도 | VI-1-1            | X49                     | 급여만족도(49)              |
|                  | 인사평정  | VI-1-6            | X54                     | 업무역량의 근무평정 반영도(54)     |
|                  |       | VI-1-7            | X55                     | 인사고과, 상벌의 공평성(55)      |
|                  | 사기    | IX-1-1            | X90                     | 급여수준 → 사기(90)          |
|                  |       | IX-1-2            | X91                     | 국민의 원전 호응도 → 사기(91)    |
|                  |       | IX-1-3            | X92                     | 직원복지혜택 → 사기(92)        |
|                  |       | IX-1-4            | X93                     | 직업의 안정성 → 사기(93)       |
|                  |       | IX-1-5            | X94                     | 근무교대 → 사기(94)          |
|                  |       | IX-1-6            | X95                     | 승진 등 인사고과 → 사기(95)     |
|                  |       | IX-1-7            | X96                     | 자기능력개발 → 사기(96)        |
|                  |       | IX-2-1            | X97                     | 급여수준의 현재 상태(97)        |
|                  |       | IX-2-2            | X98                     | 국민의 원전 호응도의 현재수준(98)   |
|                  |       | IX-2-3            | X99                     | 직원복지혜택의 현재수준(99)       |
| IX-2-4           |       | X100              | 직업의 안정성의 현재수준(100)      |                        |
| IX-2-5           |       | X101              | 근무교대의 현재상태(101)         |                        |
| IX-2-6           |       | X102              | 승진 등 인사고과의 현재상태(102)    |                        |
| IX-2-7           | X103  | 자기능력개발의 현재상태(103) |                         |                        |
| 학습               | X-1-3 | X106              | 경험보고서/해외정보학습 → 생산성(106) |                        |
|                  | X-2-3 | X111              | 경험보고서/해외정보학습의 현재상태(111) |                        |
| 기타 사항            |       | XI-1              | X114                    | 성별(114)                |
|                  |       | XI-2              | X115                    | 연령(115)                |
|                  |       | XI-3              | X116                    | 학력(116)                |
|                  |       | XI-4              | X117                    | 근무연수(117)              |
|                  |       | XI-5              | X118                    | 소속부서근무연수(118)          |
|                  |       | XI-6              | X119                    | 직급(119)                |

missing value를 0으로 처리한 결과임

| 설문번호 | 문항                        | N   | 평균    | 표준<br>편차 | 분산    |
|------|---------------------------|-----|-------|----------|-------|
| I-1  | 전년대비 운전가동율 향상정도           | 138 | 3.82  | 1.055    | 1.113 |
| 2    | 전년대비 운영예산 증가 정도           | 138 | 2.88  | 1.155    | 1.335 |
| 3    | 전년대비 운전정지 횟수 증가정도         | 138 | 2.15  | 1.171    | 1.371 |
| 4    | 전년대비 설비 TR건수 증가정도         | 138 | 2.53  | 1.075    | 1.156 |
| 5    | 전년대비 부품교체를 증가정도           | 138 | 2.95  | 1.02     | 1.041 |
| 6    | 전년대비 설비보수 작업시간 증가정도       | 138 | 2.63  | 1.19     | 1.417 |
| 7    | 전년대비 설비보수 재작업 빈도 증가<br>정도 | 138 | 2.19  | 0.971    | 0.942 |
| 8    | 전년대비 규제기관 지적건수            | 138 | 2.801 | 1.043    | 1.088 |
| 9    | 전년대비 경영층의 지시횟수            | 138 | 3.22  | 0.987    | 0.974 |

| 설문번호 | 문항                 | N   | 평균   | 표준<br>편차 | 분산    |
|------|--------------------|-----|------|----------|-------|
| II-1 | 조직의 부서편제 및 업무분장    | 138 | 2.96 | 1.003    | 1.005 |
| 2    | 조직부서 간 업무협력 지연정도   | 138 | 3.03 | 0.981    | 0.963 |
| 3    | 조직부서간 의사소통 정도      | 138 | 3.15 | 0.958    | 0.918 |
| 4    | 정비 / 보수 작업의 지연정도   | 138 | 3.67 | 0.962    | 0.925 |
| 5    | 전체 인력규모의 적정도       | 138 | 2.46 | 1.068    | 1.141 |
| 6    | 인력 충원정도            | 138 | 2.16 | 1.116    | 1.244 |
| 7    | 관리계층간 의사결정의 갈등정도   | 138 | 2.88 | 0.952    | 0.906 |
| 8    | 발전소 안전성의 우선성       | 138 | 3.28 | 1.125    | 1.267 |
| 9    | 업무명세화 정도           | 138 | 3.35 | 0.972    | 0.944 |
| 10   | 제도/업무 개선에의 직원 참여도  | 138 | 3.36 | 0.934    | 0.873 |
| 11   | 장기안전계획 수립 및 집행     | 138 | 3.62 | 0.866    | 0.749 |
| 12   | 보수작업/운전경험 수행/이력 기록 | 138 | 4.05 | 0.758    | 0.574 |
| 13   | 담당 업무와 전공/자격 일치도   | 138 | 3.36 | 0.973    | 0.946 |
| 14   | 예방적 안전관리의 일상화정도    | 138 | 3.73 | 0.71     | 0.504 |
| 15   | 안전관리사항의 인수인계       | 138 | 3.53 | 1.048    | 1.098 |

| 설문번호 | 문항                       | N   | 평균   | 표준<br>편차 | 분산    |
|------|--------------------------|-----|------|----------|-------|
| Ⅲ-1  | 전년대비 규제기관의 안전관리 강화<br>정도 | 138 | 3.38 | 0.724    | 0.524 |
| 2    | 규제기관의 발전소 안전성 기여도        | 138 | 3.14 | 0.971    | 0.942 |
| 3    | 규제기관의 안전관리규칙에의 우선<br>성   | 138 | 3.42 | 1.002    | 1.005 |
| 4    | 규제기관의 안전관리 규칙/절차의<br>지연도 | 138 | 3.78 | 0.861    | 0.741 |
| 1    | 작업표준화절차의 인지도             | 138 | 3.84 | 0.767    | 0.588 |
| 2    | 업무/작업의 부하정도              | 138 | 3.59 | 0.752    | 0.565 |
| 3    | 업무/작업의 부담정도              | 138 | 2.78 | 0.877    | 0.77  |
| 4    | 비상시 직무 복잡성               | 138 | 3.09 | 0.919    | 0.845 |
| 5    | 안전관리규정의 준수정도             | 138 | 3.78 | 0.817    | 0.668 |
| 6    | 동료의 안전관리규정 비준수정도         | 138 | 2.54 | 0.99     | 0.98  |
| 7    | 문제해결에의 상급자의 도움정도         | 138 | 3.73 | 0.815    | 0.665 |
| 8    | 업무결과에 대한 상급자의 체크         | 138 | 3.86 | 0.7      | 0.49  |
| 9    | 업무수행 정보의 검색 및 획득 용이<br>성 | 138 | 3.7  | 0.868    | 0.753 |
| 10   | 동료들과 업무협조 정도             | 138 | 3.94 | 0.869    | 0.756 |
| 11   | 비일상적 업무의 부담 정도           | 138 | 2.95 | 0.984    | 0.968 |
| 12   | 조직내 안전문화의 존재             | 138 | 3.78 | 0.92     | 0.847 |
| 13   | QA활동의 실천정도               | 138 | 3.5  | 0.922    | 0.85  |
| 14   | 상급자의 안전성/지도력 복종정도        | 138 | 3.82 | 0.727    | 0.529 |
| 15   | 결합 및 작업실수의 반복정도          | 138 | 2.48 | 0.881    | 0.777 |

| 설문번호 | 문항                 | N   | 평균   | 표준<br>편차 | 분산    |
|------|--------------------|-----|------|----------|-------|
| IV-1 | 교육훈련의 업무 기여도       | 138 | 3.7  | 0.841    | 0.707 |
| 2    | 교육훈련의 안전문화에의 기여도   | 138 | 3.69 | 0.835    | 0.698 |
| 3    | 교육훈련의 직무적합성        | 137 | 3.5  | 0.796    | 0.634 |
| 4    | 교육훈련에 대한 기피도(업무누적) | 138 | 3.12 | 0.88     | 0.775 |
| 5    | 교육훈련프로그램의 제도화정도    | 138 | 3.44 | 0.888    | 0.789 |

| 설문번호 | 문항                  | N   | 평균   | 표준편차  | 분산    |
|------|---------------------|-----|------|-------|-------|
| V-1  | 급여만족도               | 138 | 2.84 | 0.906 | 0.821 |
| 2    | 작업환경의 생명위협정도        | 138 | 3.33 | 1.075 | 1.156 |
| 3    | 업무부담으로부터의 휴식        | 138 | 3.54 | 0.998 | 0.995 |
| 4    | 건강/근무여건에 대한 상급자의 배려 | 138 | 3.17 | 0.933 | 0.87  |
| 5    | 업무부담감               | 138 | 3.38 | 0.961 | 0.923 |
| 6    | 업무역량의 근무평정 반영도      | 138 | 3.26 | 0.84  | 0.705 |
| 7    | 인사고과, 상벌의 공평성       | 138 | 2.71 | 1.055 | 1.112 |

| 설문번호   | 문항                 | N   | 평균   | 표준편차  | 분산    |
|--------|--------------------|-----|------|-------|-------|
| VI-1-1 | 작업량의 인적 실수에의 영향정도  | 137 | 3.65 | 1.023 | 1.046 |
| 2      | 작업지식의 인적 실수에의 영향정도 | 138 | 3.76 | 1.253 | 1.57  |
| 3      | 사기수준의 인적 실수에의 영향정도 | 138 | 3.74 | 1.126 | 1.269 |
| 4      | 가정사/스트레스의 인적실수영향정도 | 138 | 3.66 | 1.091 | 1.19  |
| 5      | 절차서의 질 → 인적 실수영향정도 | 138 | 3.59 | 1.157 | 1.338 |
| 6      | 의사소통 → 인적 실수 영향정도  | 138 | 3.76 | 1.05  | 1.103 |
| 7      | 감독수준→인적 실수에의 영향    | 138 | 3.52 | 1.027 | 1.054 |
| 8      | 절차서의 미준수→인적실수      | 138 | 3.62 | 1.216 | 1.479 |
| 9      | 잘못된 작업지시의 인적실수영향정도 | 138 | 3.71 | 1.154 | 1.331 |
| 10     | 작업근무환경 → 인적실수      | 138 | 3.55 | 1.153 | 1.33  |

| 설문번호   | 문항                  | N   | 평균   | 표준편차  | 분산    |
|--------|---------------------|-----|------|-------|-------|
| VI-2-1 | 작업량의 현재수준           | 138 | 3.19 | 1.015 | 1.03  |
| 2      | 작업지식의 현재상태          | 138 | 3.32 | 1.127 | 1.27  |
| 3      | 사기수준의 현재상태          | 138 | 2.74 | 1.076 | 1.158 |
| 4      | 가정사/스트레스의 현재상태      | 138 | 2.88 | 0.985 | 0.97  |
| 5      | 절차서의 질의 현재 상태       | 138 | 3.16 | 1.16  | 1.347 |
| 6      | 의사소통의 현재상태          | 138 | 3.29 | 1.128 | 1.273 |
| 7      | 감독자의 감독수준의 현재 상태    | 138 | 3.12 | 1.121 | 1.257 |
| 8      | 절차서 미준수의 현재상태       | 138 | 2.66 | 1.156 | 1.336 |
| 9      | 잘못된 작업지시의 인적실수 영향정도 | 138 | 2.7  | 1.18  | 1.393 |
| 10     | 작업근무 환경의 현재상태       | 138 | 2.85 | 1.196 | 1.429 |

| 설문번호    | 문항                  | N   | 평균   | 표준편차  | 분산    |
|---------|---------------------|-----|------|-------|-------|
| VII-1-1 | 개인생산성업무처리속도→작업량누적   | 138 | 3.48 | 0.991 | 0.981 |
| 2       | 불시적 업무지시→작업량 누적     | 138 | 3.64 | 0.974 | 0.948 |
| 3       | 행정절차 단계의 수 → 작업량누적  | 138 | 3.57 | 0.981 | 0.962 |
| 4       | 업무처리인원 수 → 작업량 누적   | 138 | 3.7  | 1.007 | 1.013 |
| 5       | 업무목표의 명확성→작업량 누적    | 138 | 3.49 | 0.991 | 0.982 |
| 6       | 부서간 업무협조 수준 →작업량 누적 | 138 | 3.51 | 1.013 | 1.025 |
| 7       | 상급자의 리더쉽→작업량 누적     | 138 | 3.59 | 1.065 | 1.135 |

| 설문번호    | 문항                  | N   | 평균   | 표준편차  | 분산    |
|---------|---------------------|-----|------|-------|-------|
| VII-2-1 | 개인 생산성업무처리속도)의 현재수준 | 138 | 3.12 | 1.04  | 1.081 |
| 2       | 불시적 업무지시의 현재수준      | 138 | 3.18 | 1.076 | 1.157 |
| 3       | 행정절차단계의 현재 수준지연수준)  | 138 | 3.2  | 1.047 | 1.097 |
| 4       | 업무처리 인원의 현재 수준      | 138 | 2.93 | 1.102 | 1.215 |
| 5       | 업무목표의 명확성의 현재수준     | 138 | 3.01 | 1.053 | 1.109 |
| 6       | 부서간 업무협조의 현재 수준     | 138 | 2.99 | 1.156 | 1.336 |
| 7       | 상급자의 리더쉽            | 138 | 2.91 | 1.077 | 1.16  |

| 설문번호     | 문항              | N   | 평균   | 표준편차  | 분산    |
|----------|-----------------|-----|------|-------|-------|
| VIII-1-1 | 급여수준 → 사기       | 138 | 4.07 | 1.034 | 1.069 |
| 2        | 국민의 원전 호응도 → 사기 | 138 | 3.57 | 1.107 | 1.225 |
| 3        | 직원복지혜택 → 사기     | 138 | 3.91 | 1.164 | 1.356 |
| 4        | 직업의 안정성 → 사기    | 138 | 3.94 | 0.995 | 0.989 |
| 5        | 근무교대 → 사기       | 138 | 2.12 | 2.052 | 4.211 |
| 6        | 승진 등 인사고과 → 사기  | 138 | 3.78 | 1.202 | 1.446 |
| 7        | 자기능력개발 → 사기     | 138 | 3.54 | 1.128 | 1.272 |

| 설문번호     | 문항               | N   | 평균   | 표준편차  | 분산    |
|----------|------------------|-----|------|-------|-------|
| VIII-2-1 | 급여수준의 현재 상태      | 138 | 2.7  | 1.049 | 1.101 |
| 2        | 국민의 원전 호응도의 현재수준 | 138 | 2.43 | 1.152 | 1.327 |
| 3        | 직원복지혜택의 현재수준     | 138 | 2.53 | 1.062 | 1.127 |
| 4        | 직업의 안정성의 현재수준    | 138 | 2.88 | 1.063 | 1.131 |
| 5        | 근무교대의 현재상태       | 138 | 1.58 | 1.651 | 2.727 |
| 6        | 승진 등 인사고과의 현재상태  | 138 | 2.71 | 1.197 | 1.434 |
| 7        | 자기능력개발의 현재상태     | 138 | 2.83 | 1.12  | 1.254 |

| 설문번호   | 문항                 | N   | 평균   | 표준<br>편차 | 분산    |
|--------|--------------------|-----|------|----------|-------|
| IX-1-1 | 정규적 교육훈련 → 생산성     | 138 | 3.51 | 0.983    | 0.967 |
| 2      | 고참직원들의 지도→생산성      | 138 | 3.62 | 0.976    | 0.952 |
| 3      | 경험보고서/해외정보학습 → 생산성 | 138 | 3.33 | 0.914    | 0.834 |
| 4      | 학력/전공의 업무일치도 → 생산성 | 138 | 3.4  | 0.876    | 0.767 |
| 5      | 개인의 의사결정참여→생산성     | 138 | 3.4  | 0.963    | 0.928 |

| 설문번호   | 문항                 | N   | 평균   | 표준<br>편차 | 분산    |
|--------|--------------------|-----|------|----------|-------|
| IX-2-1 | 정규적 교육훈련의 현재상태     | 138 | 3.04 | 0.973    | 0.947 |
| 2      | 고참직원들의 지도의 현재상태    | 138 | 3.11 | 0.941    | 0.886 |
| 3      | 경험보고서/해외정보학습의 현재상태 | 138 | 2.83 | 0.973    | 0.948 |
| 4      | 학력/전공의 업무일치의 현재수준  | 138 | 3.04 | 0.923    | 0.853 |
| 5      | 개인의 의사결정참여의 현재상태   | 138 | 2.95 | 0.923    | 0.851 |

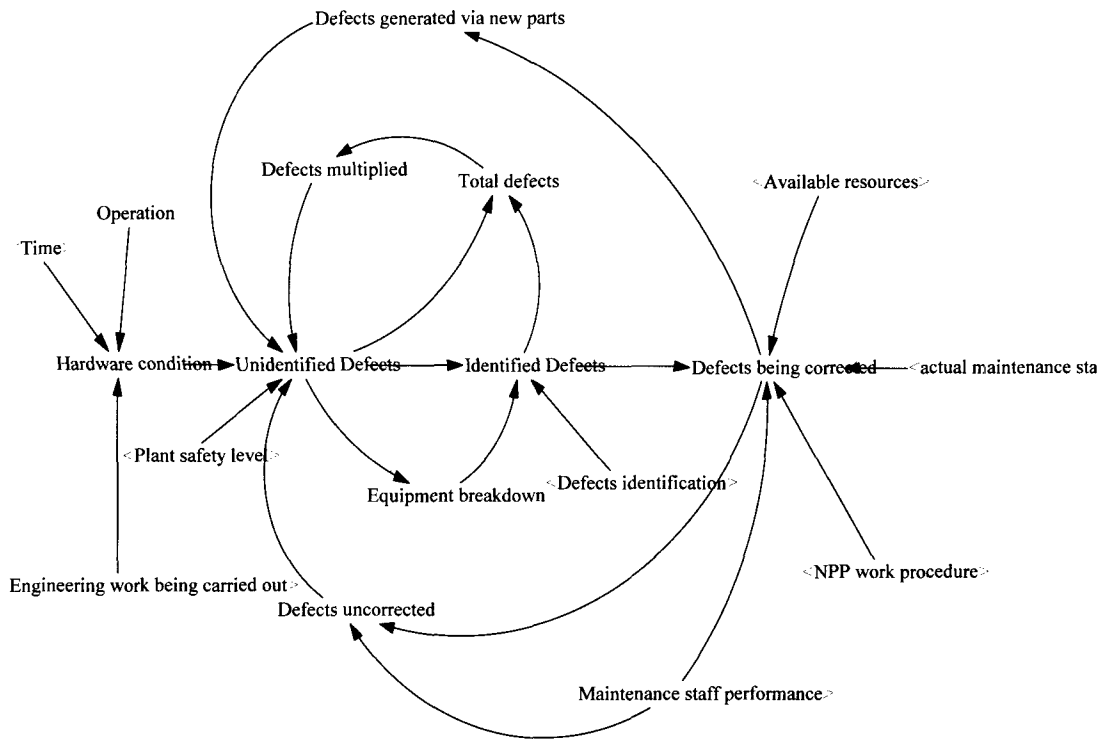
여 백

## 부록 3

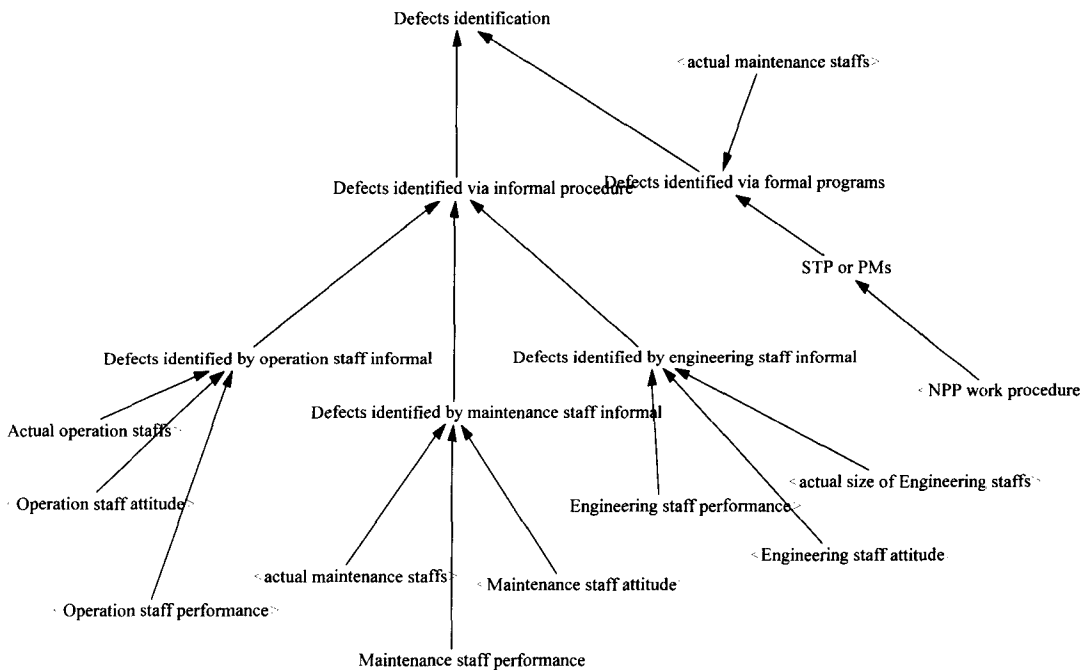
### Causal Loop Diagram



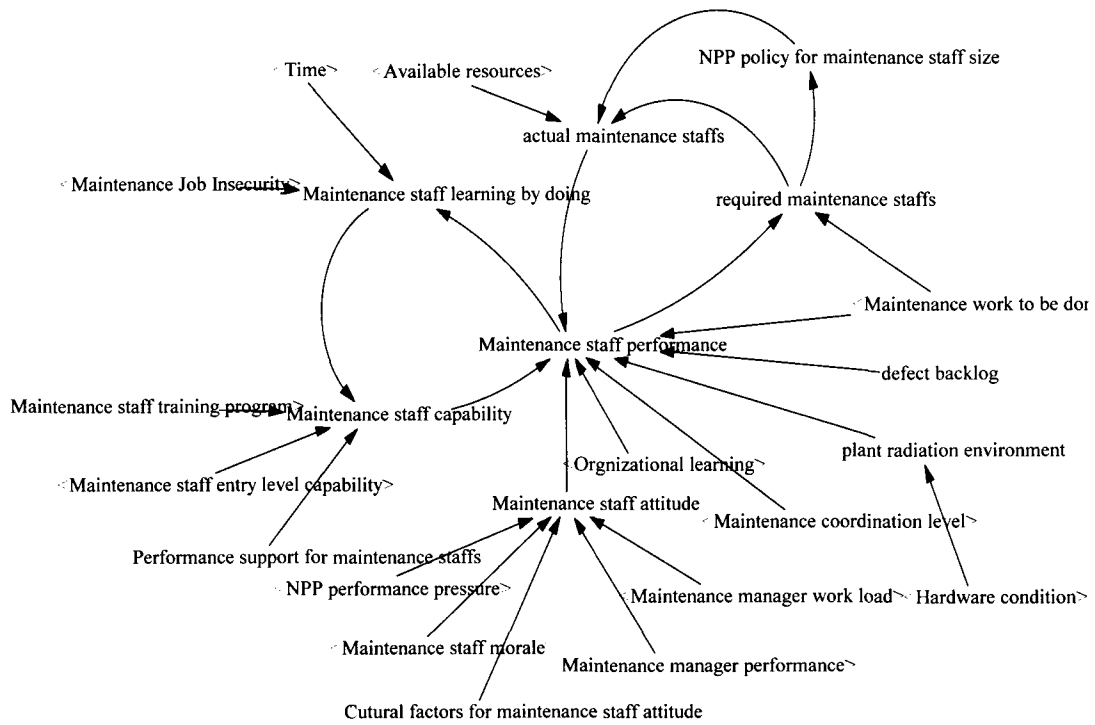
# 여 백



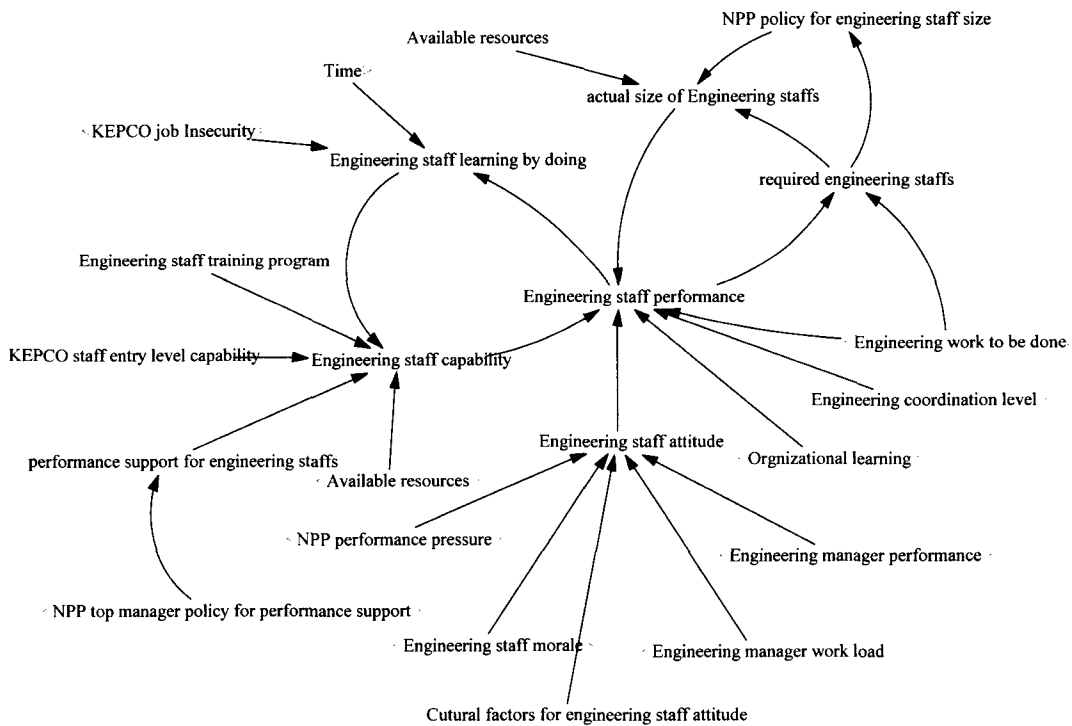
[그림 16] Defect Flow



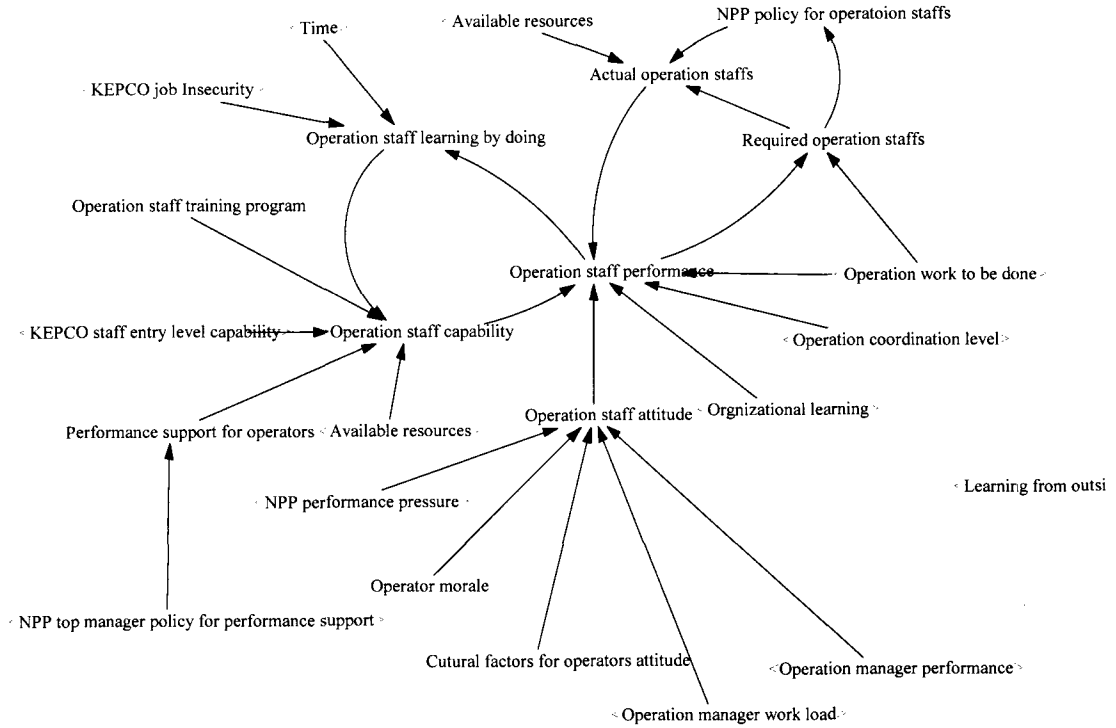
[그림 17] Defect identification



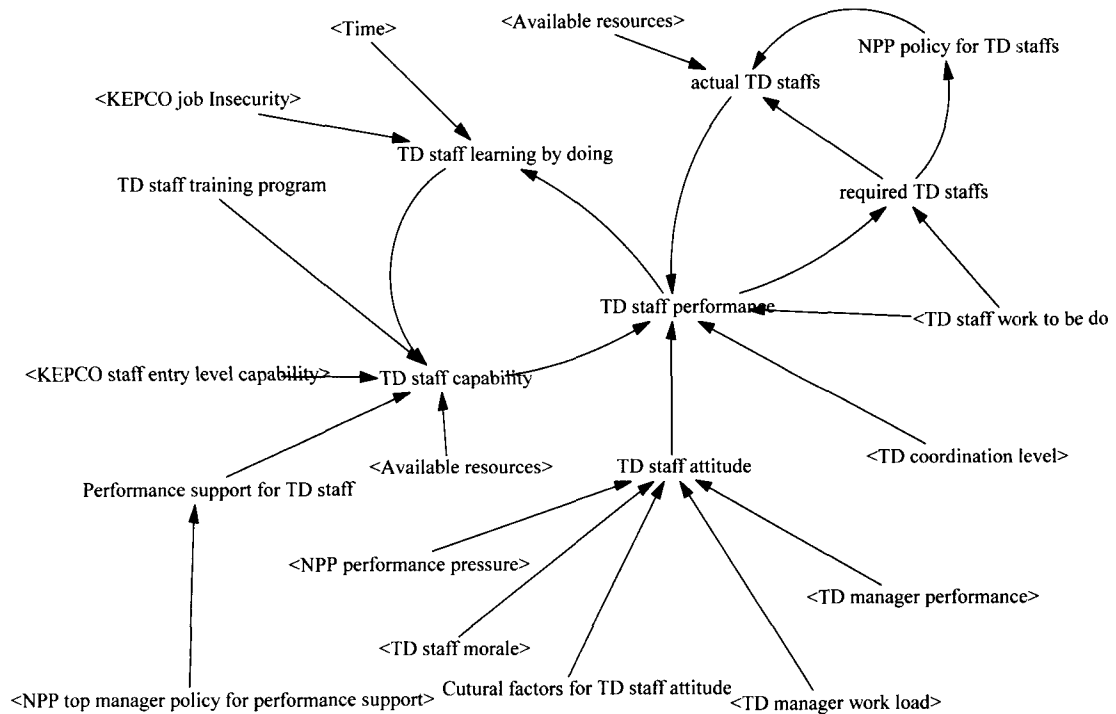
[그림 18] maintenance staff performance



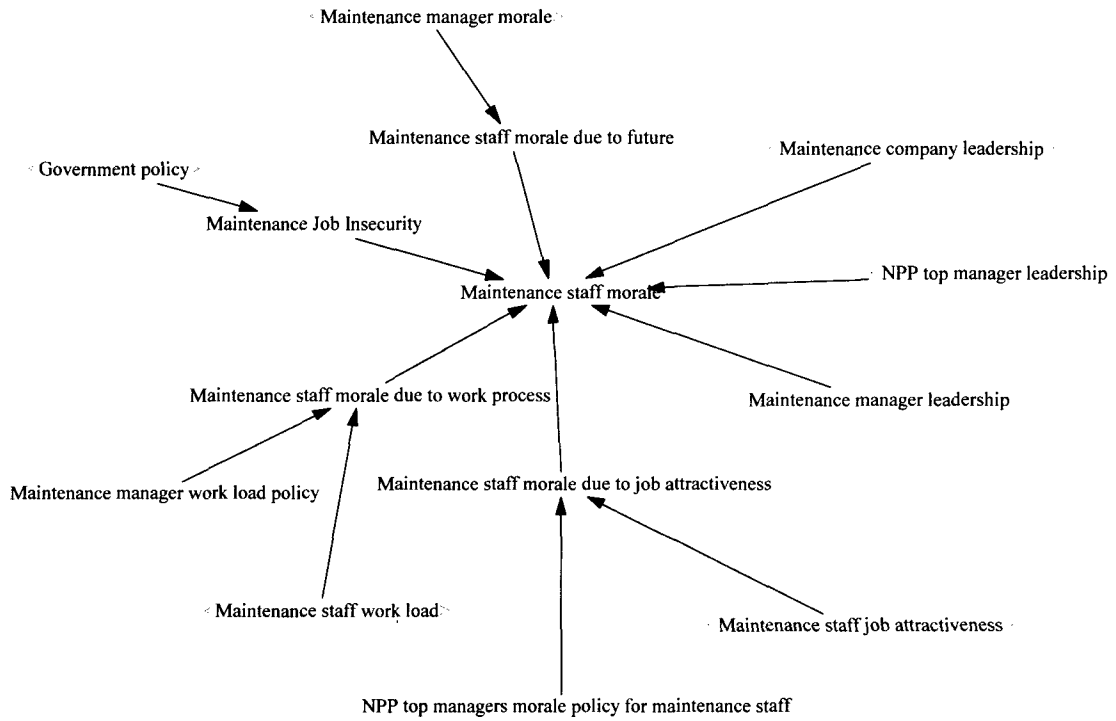
[그림 19] Engineering Performance



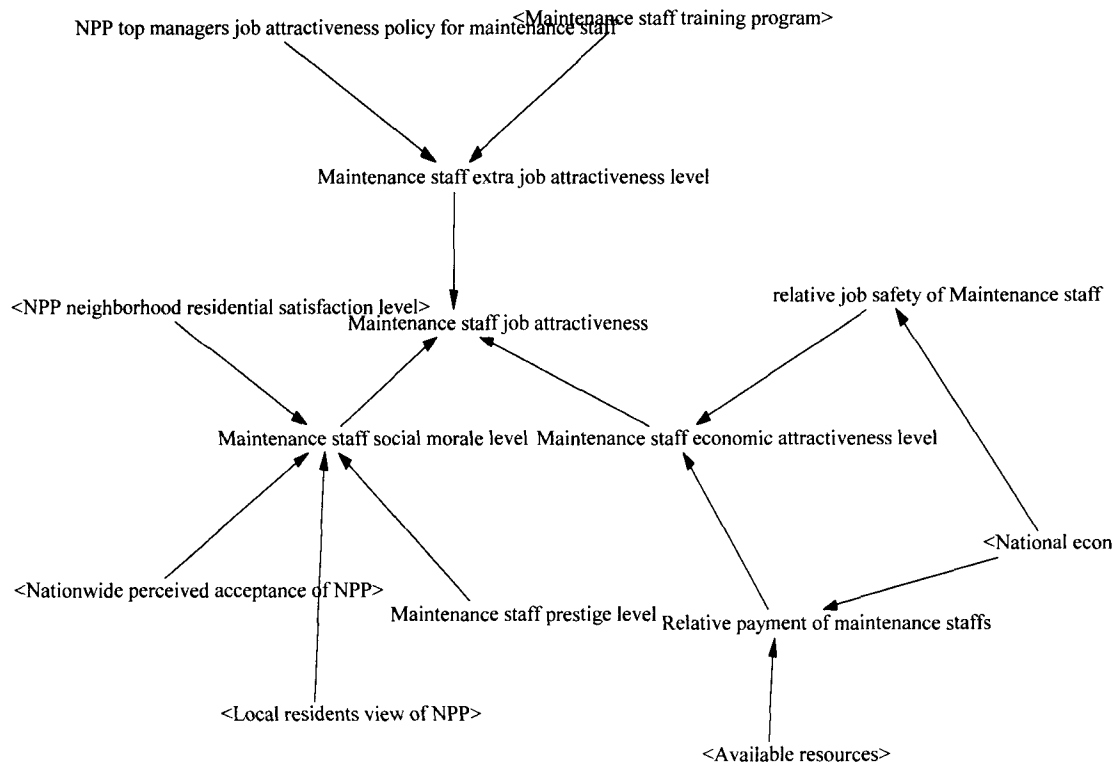
[그림 20] Operation Staff Performance



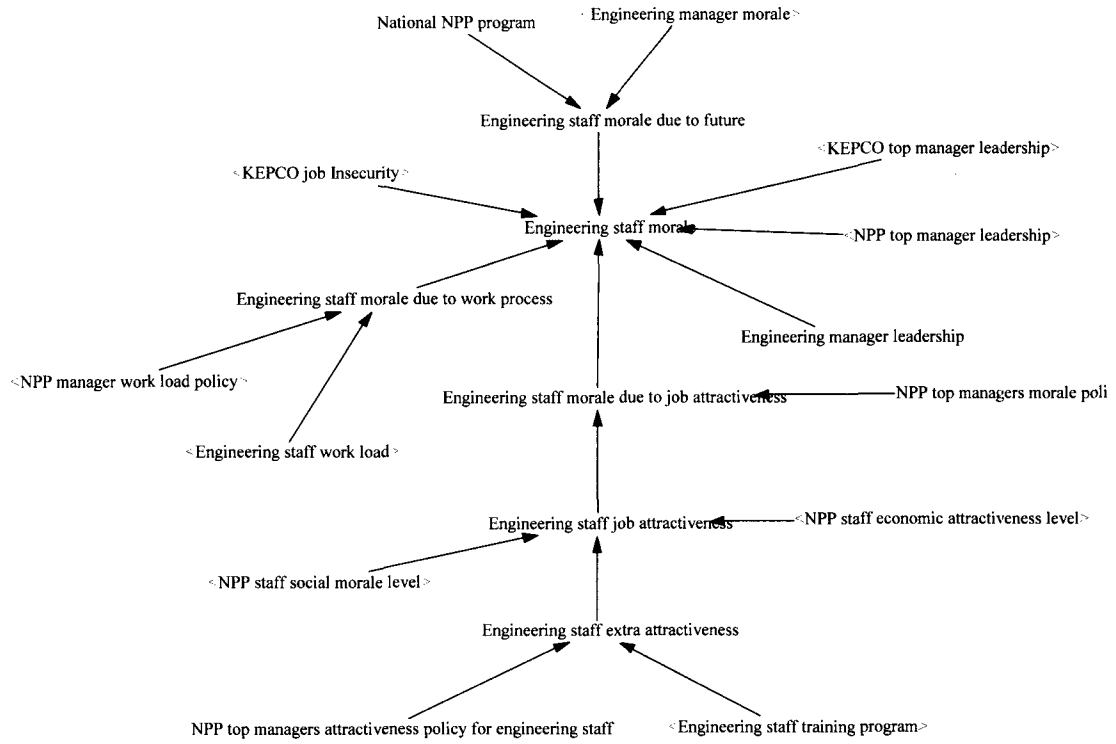
[그림 21] TD Staff Performance



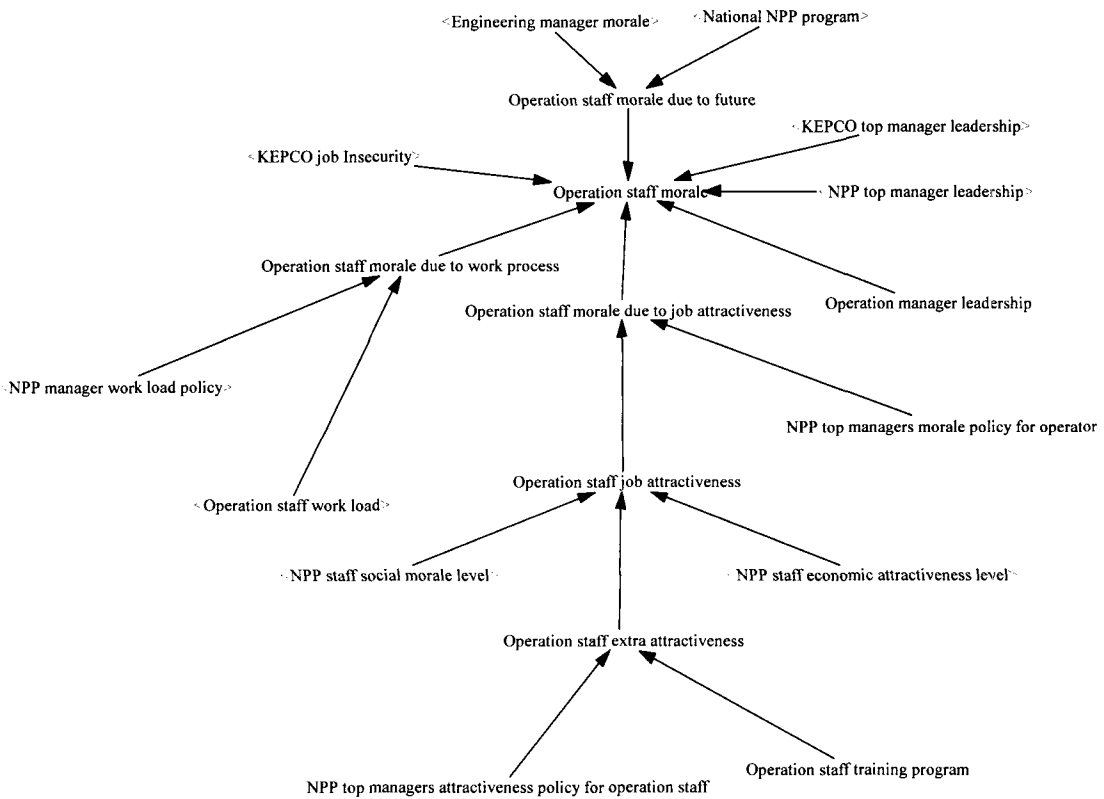
[그림 22] Maintenance Staff Morale



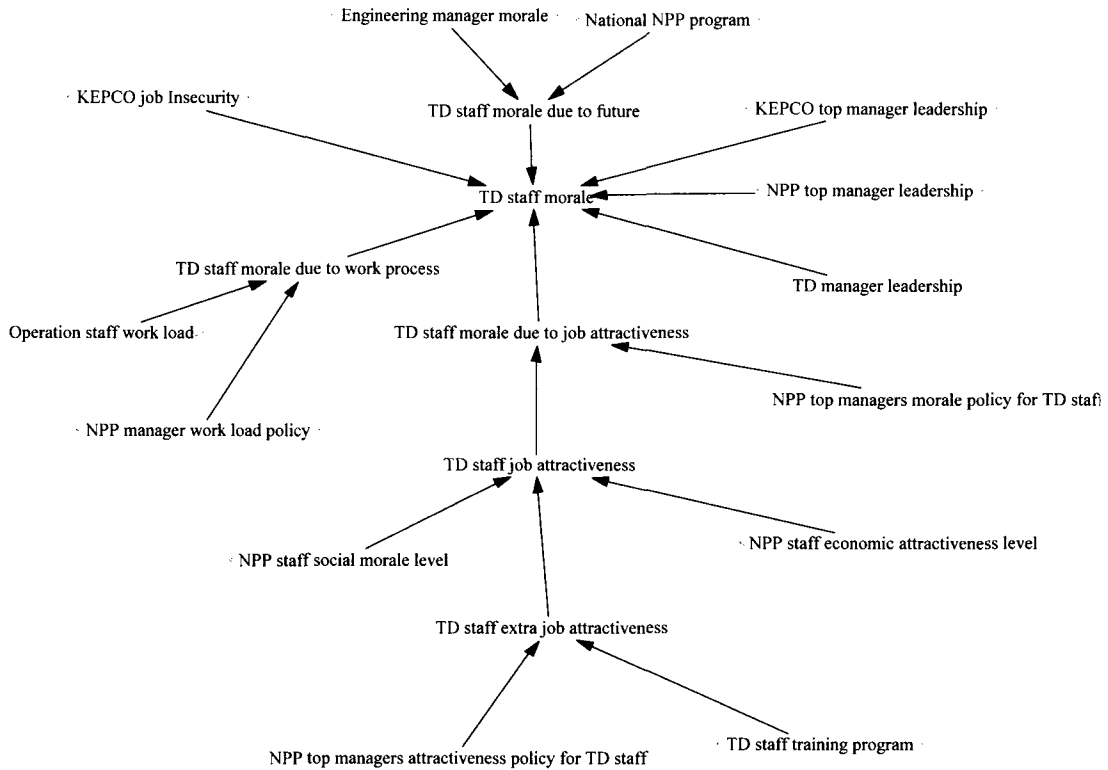
[그림 23] Maintenance Staff Morale(Job Attractiveness)



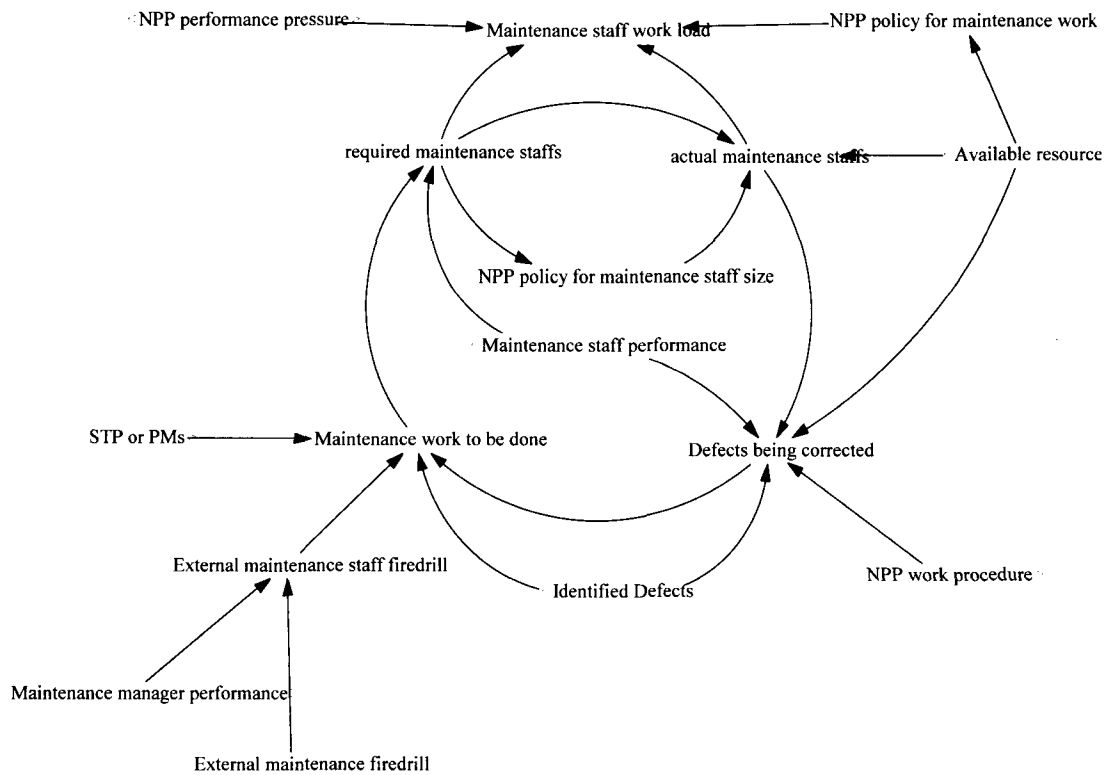
[그림 24 ] Engineer Staff Morale



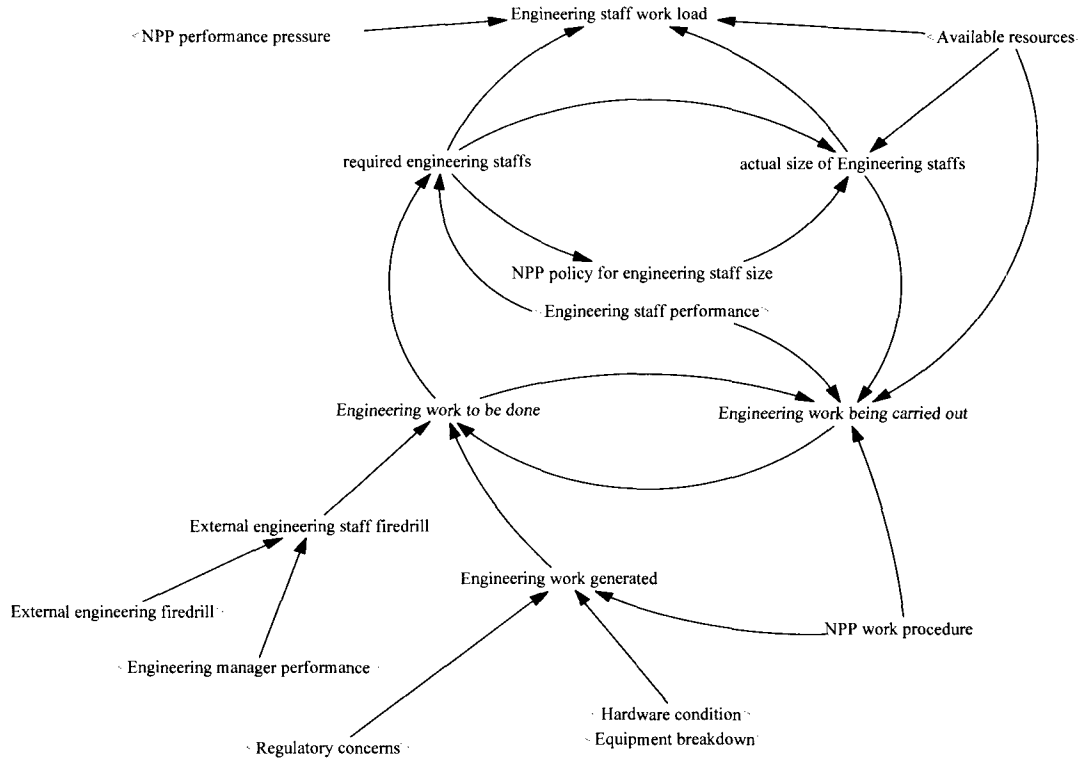
[그림 25] Operation Staff Morale



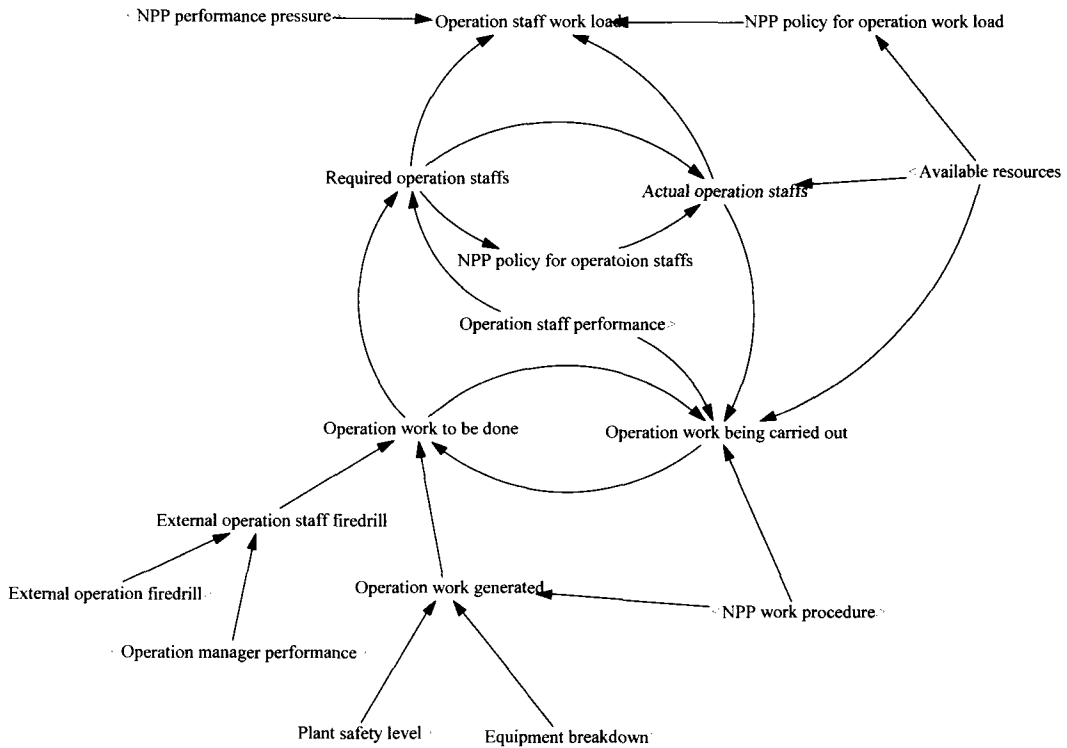
[그림 26] TD Staff Morale



[그림 27] Maintenance Staff Work Load

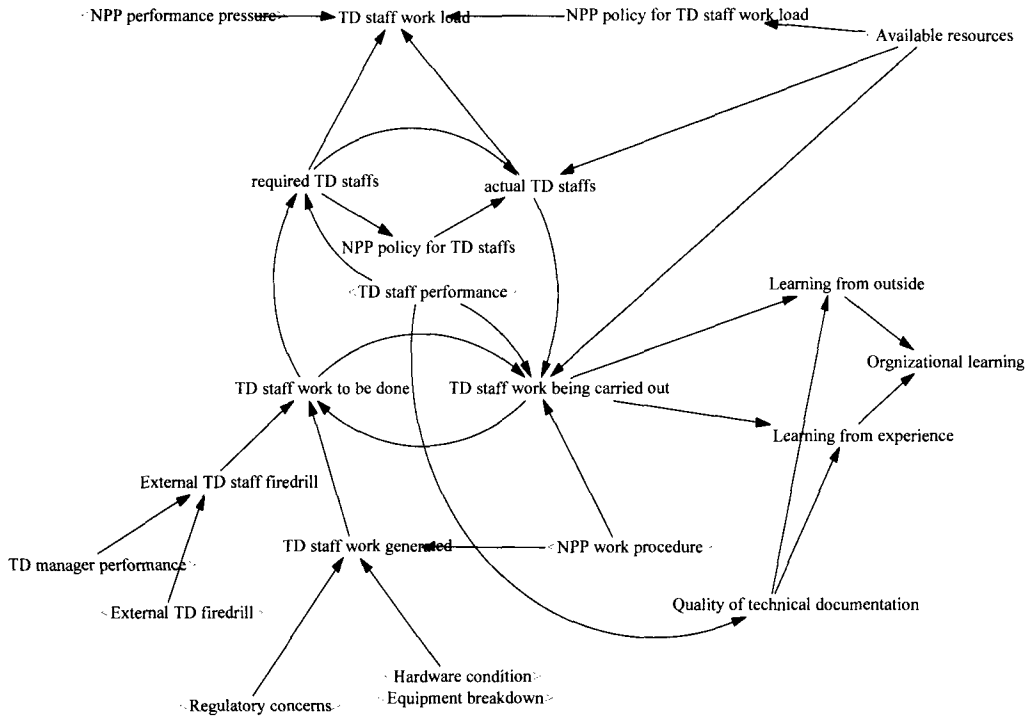


[그림 28] Engineer Staff Work Load

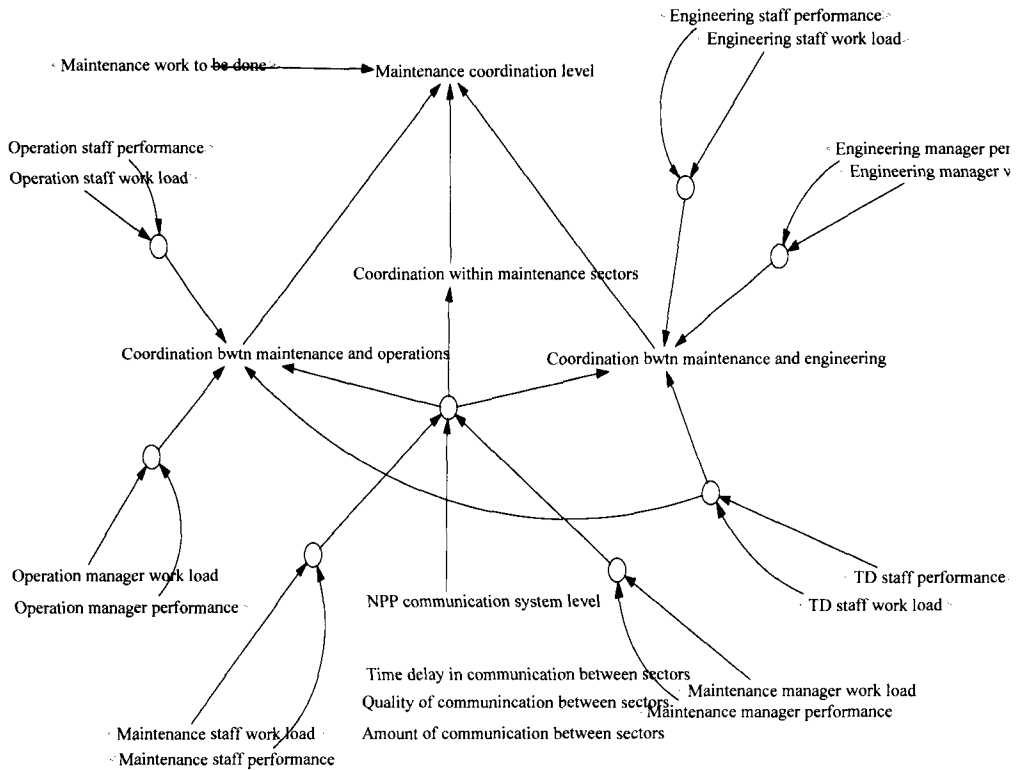


[그림 29] Operation Staff Work Load

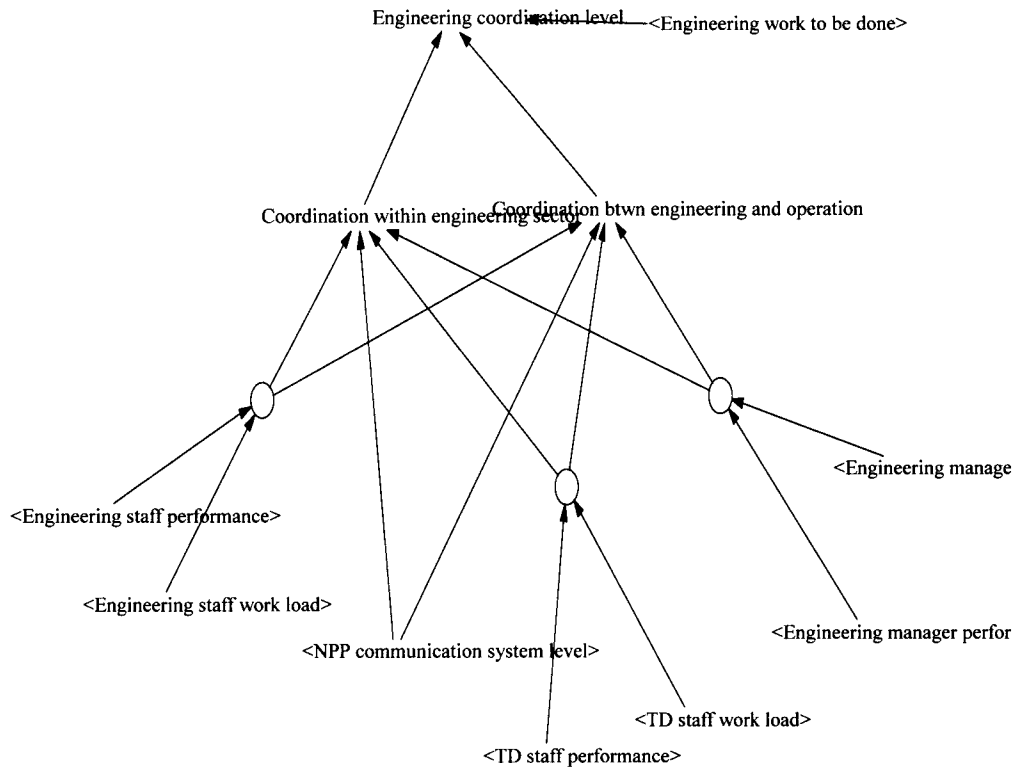




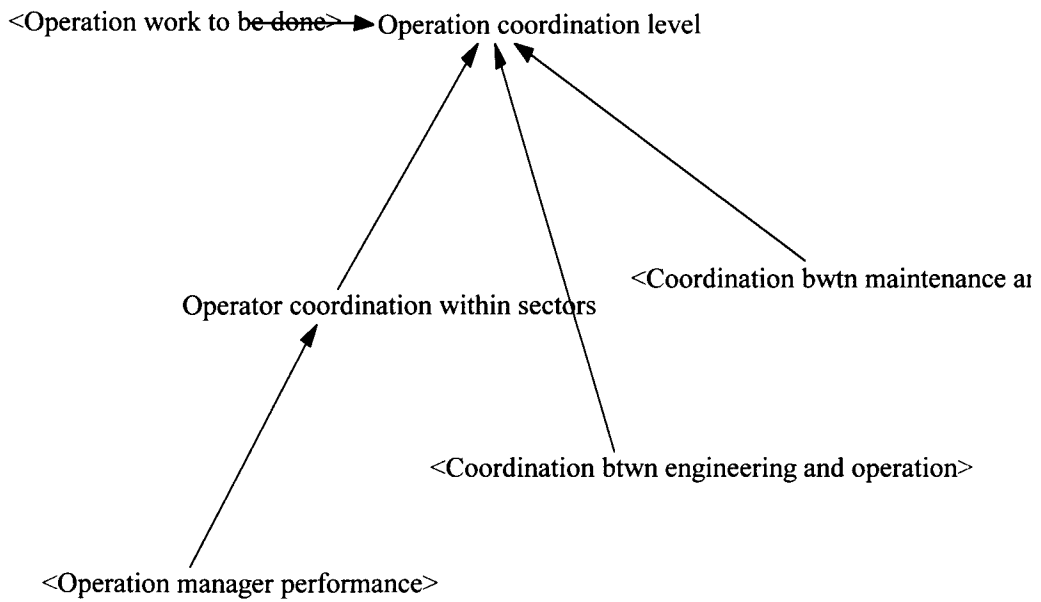
[그림 30] TD Staff Work Load



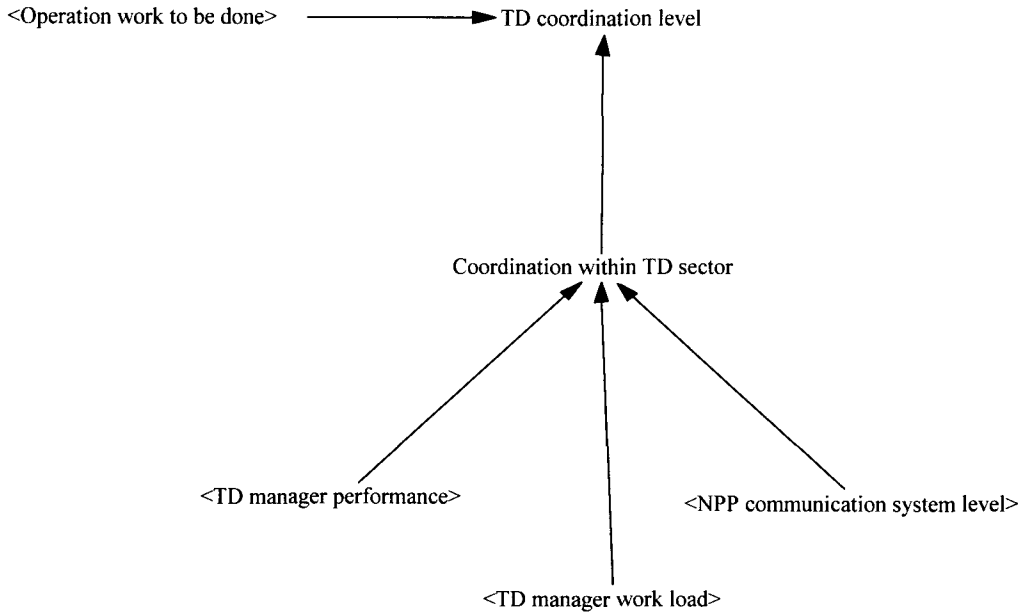
[그림 31] Maintenance Coordination



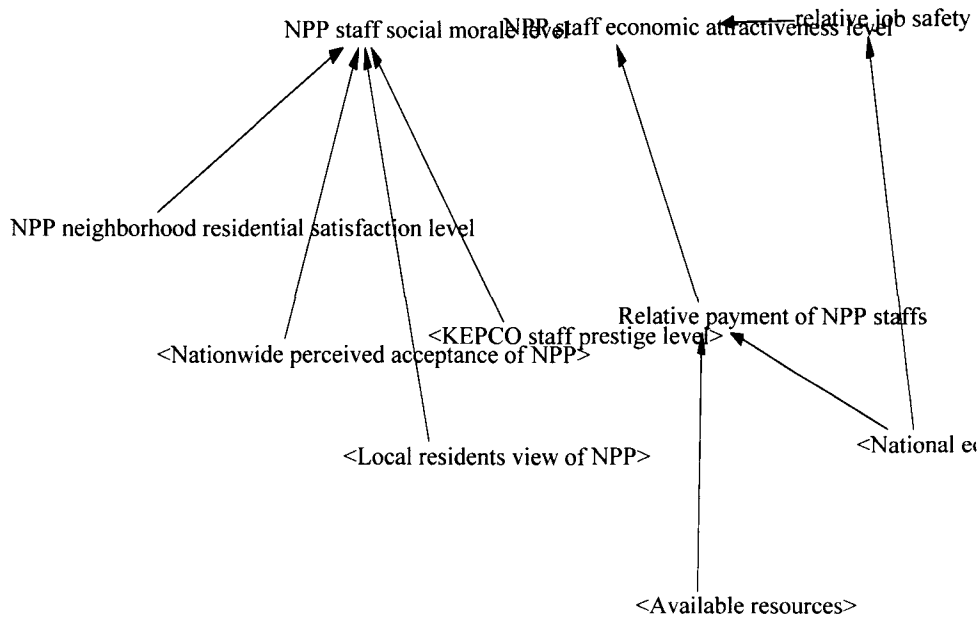
[그림 32] Engineering Coordination



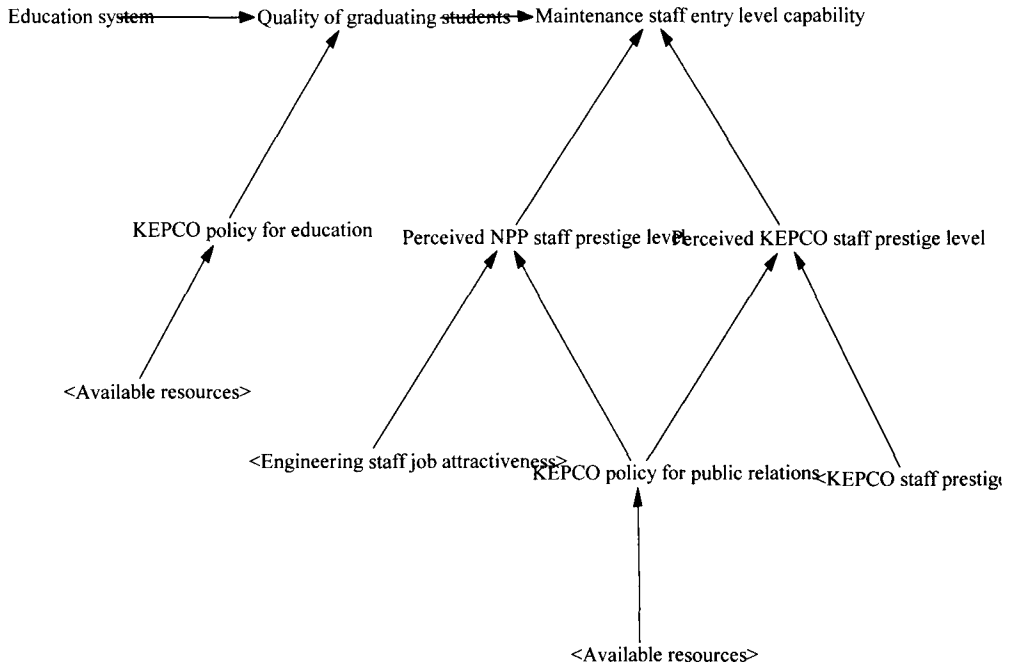
[그림 33] Operation Coordination



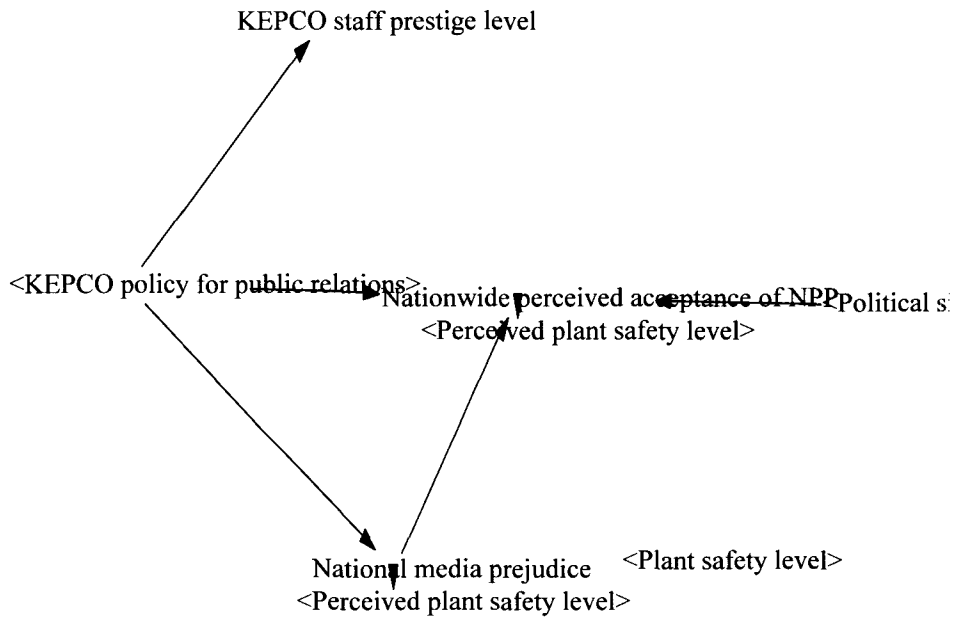
[그림 34] TD Coordination



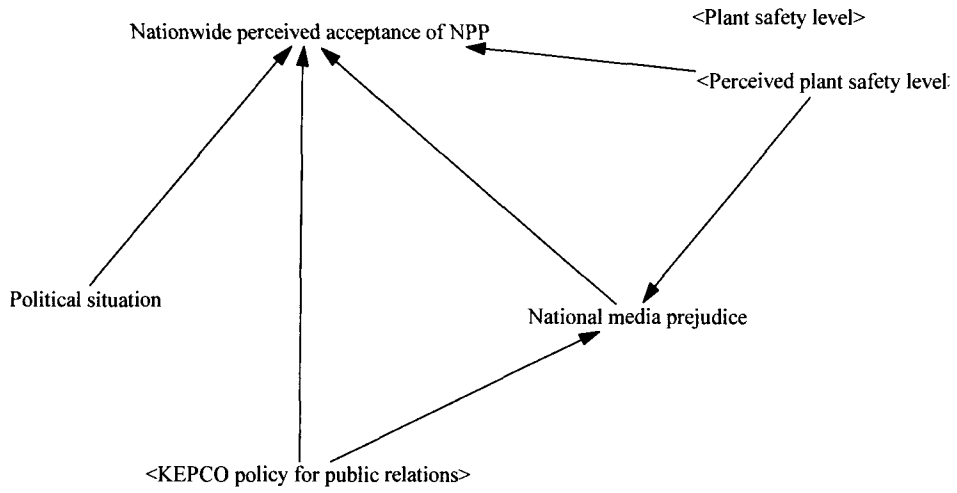
[그림 35] NPP Staff Morale(common)



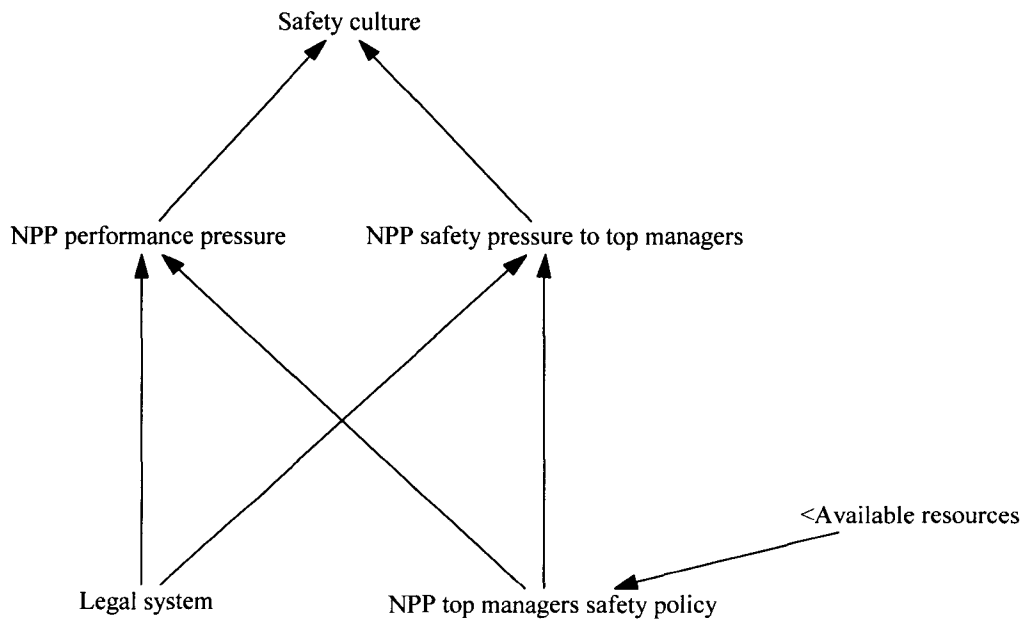
[그림 36] Entry Level Work Quality



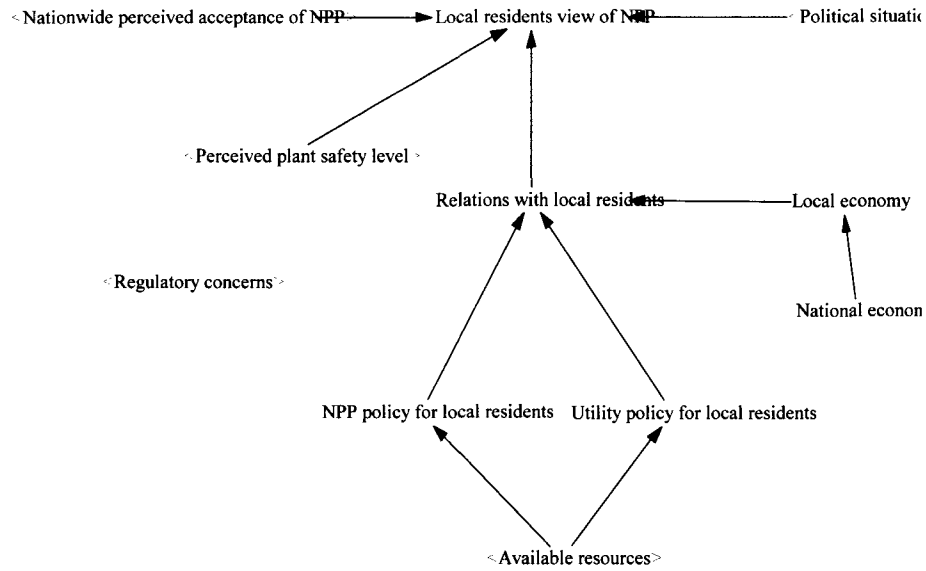
[그림 37] Utility Worker Prestige Level



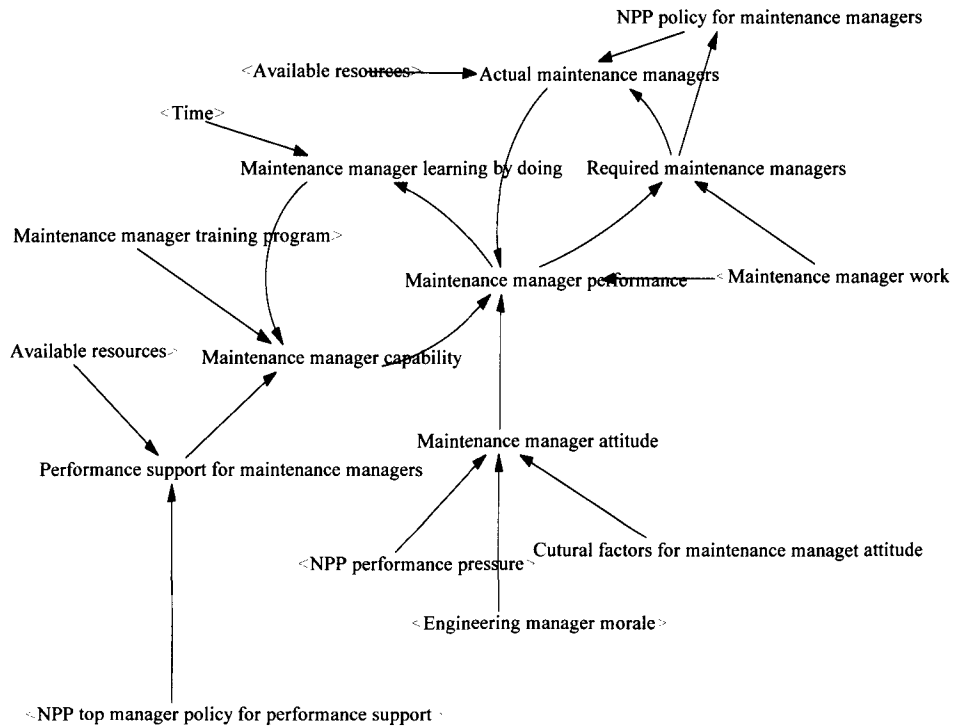
[그림 38] Nationwide Perceived Acceptance



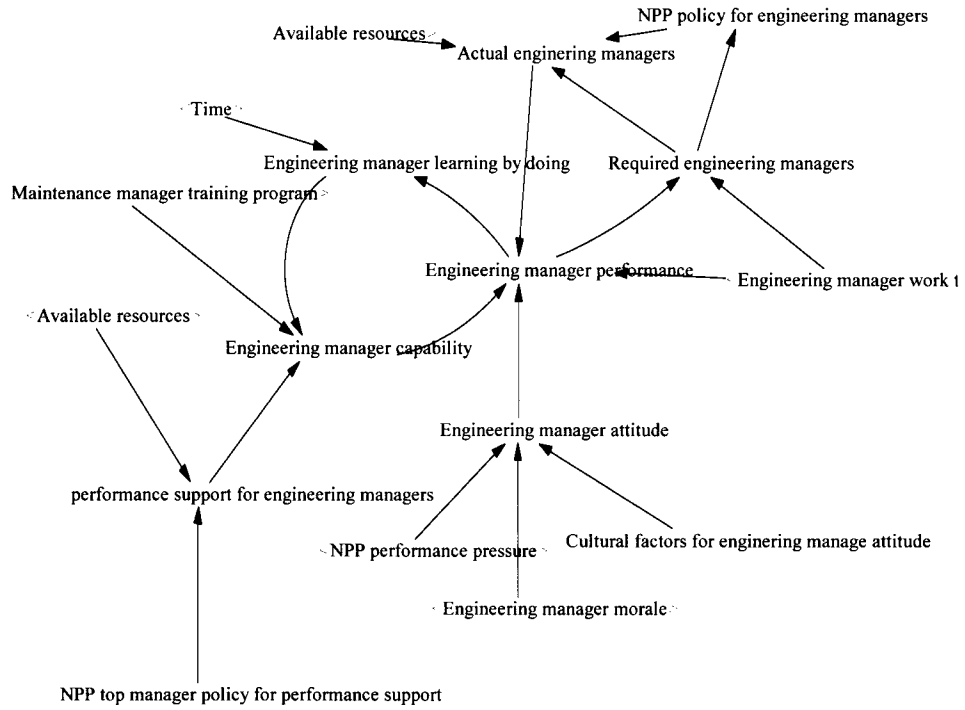
[그림 39] Safety Culture



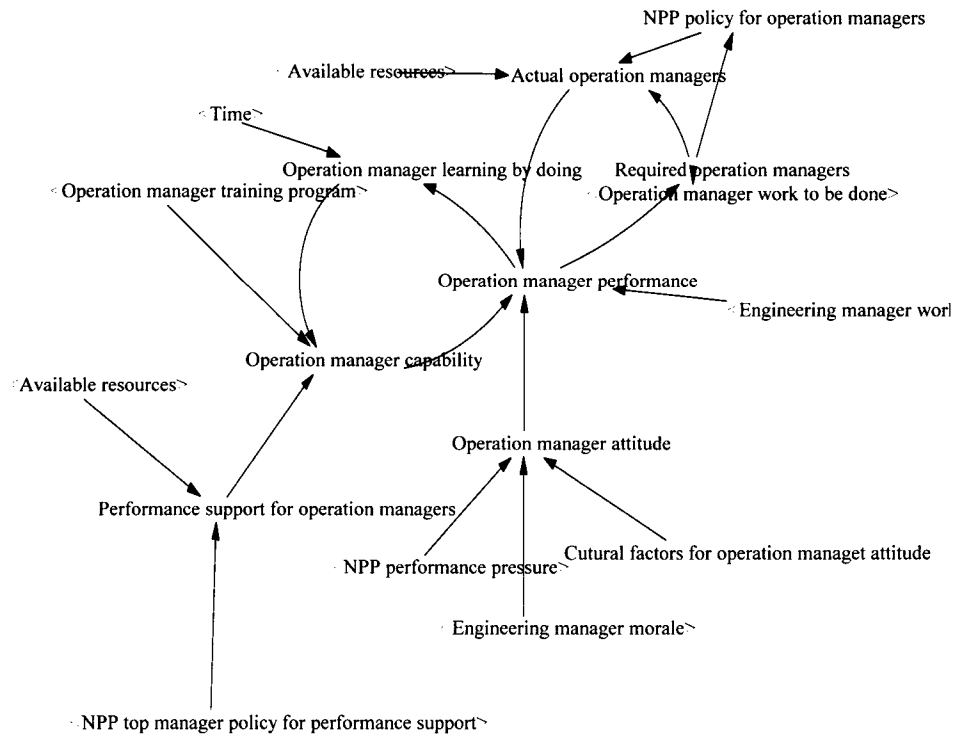
[그림 40] Local Residents



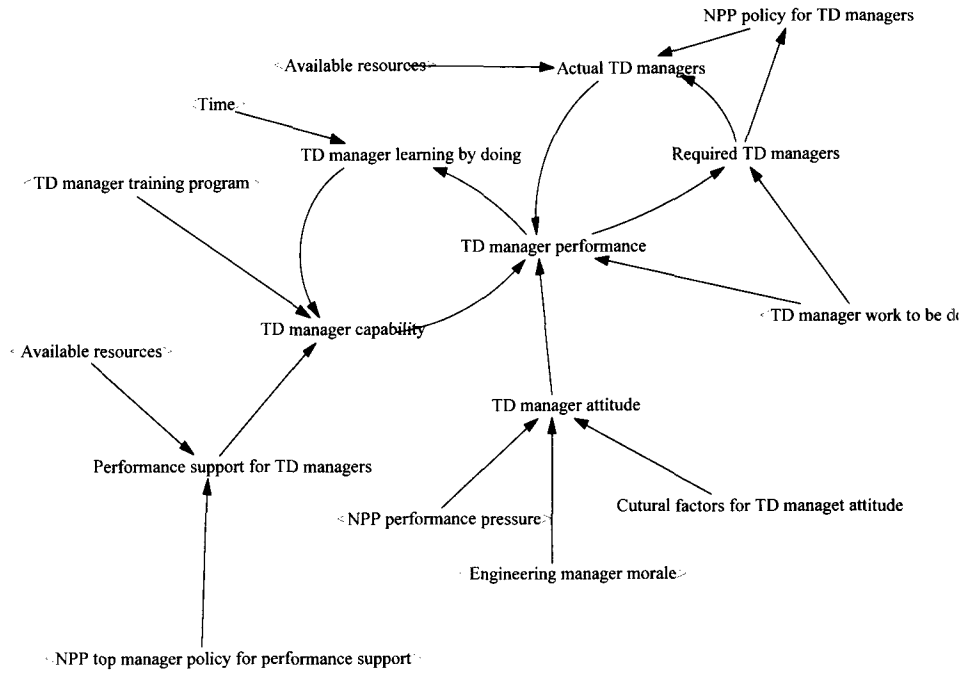
[그림 41] Maintenance Manager Performance



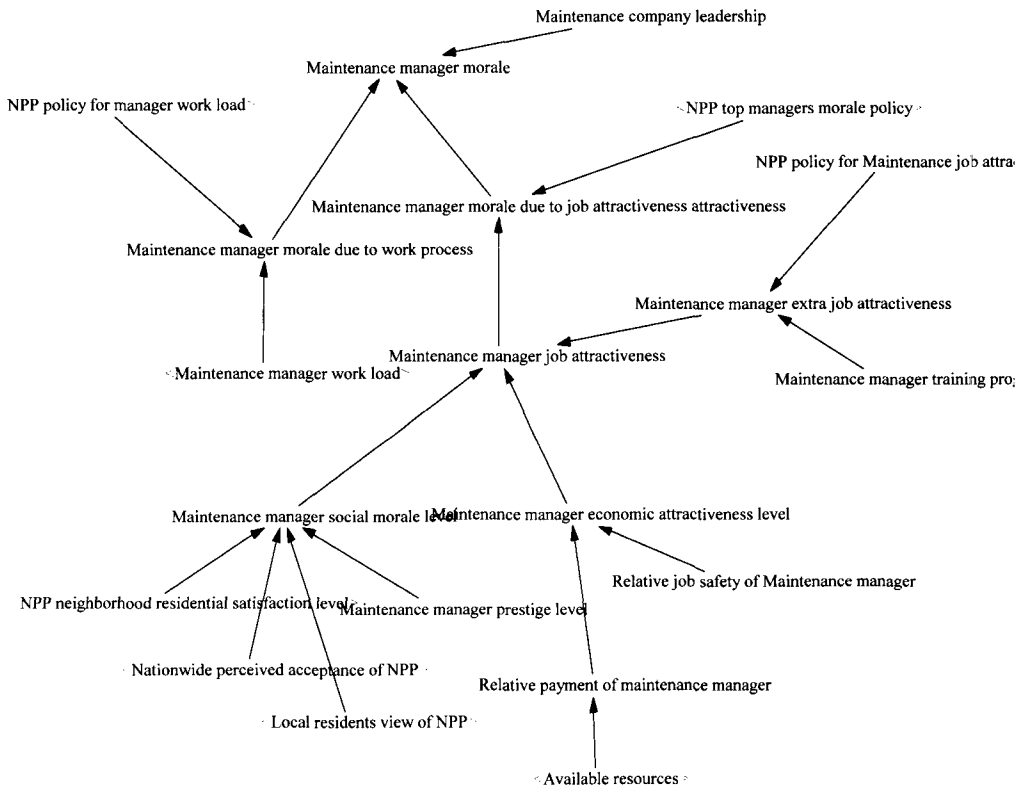
[그림 42] Engineering Manager Performance



[그림 43] Operation Manager Performance

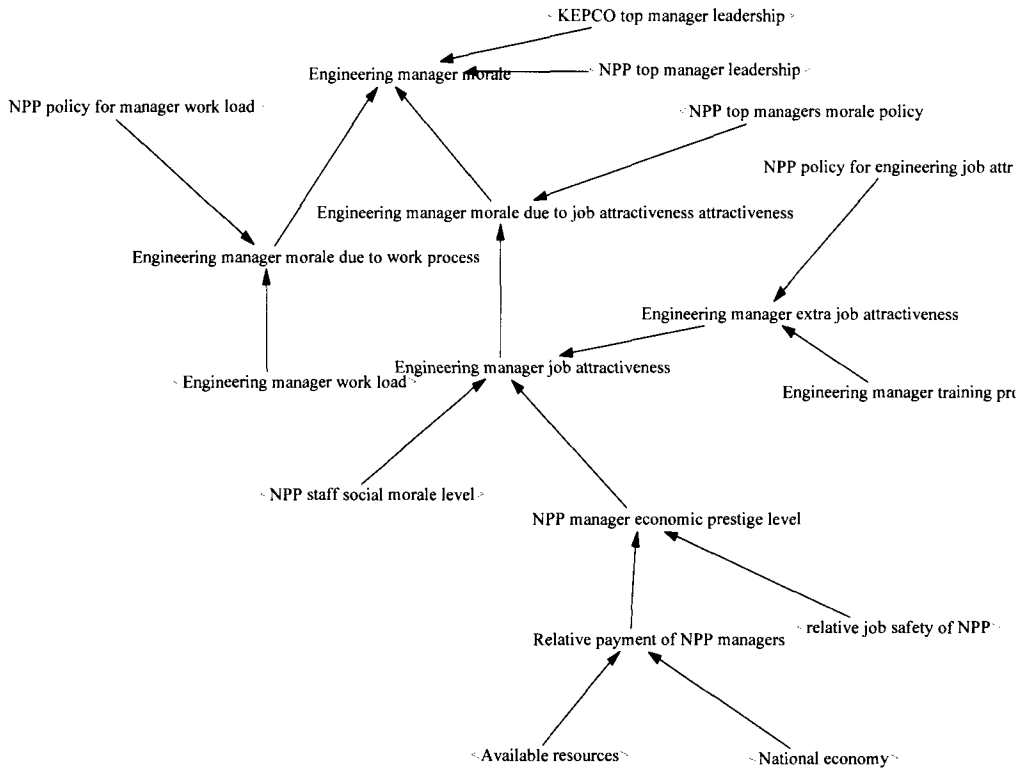


[그림 44] TD Manager Performance

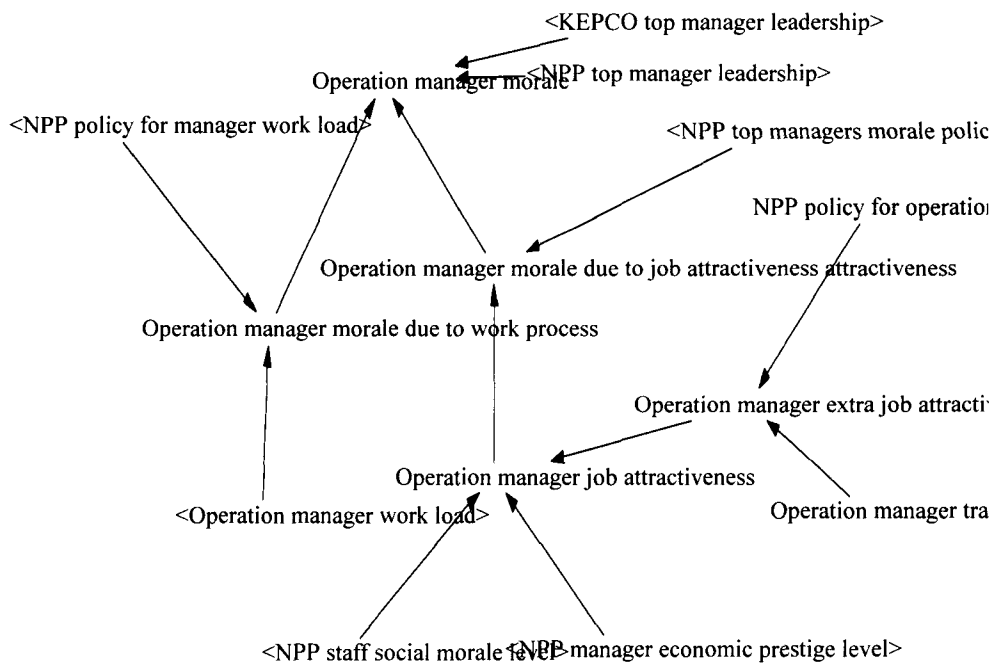


[그림 45] Maintenance Manager Morale

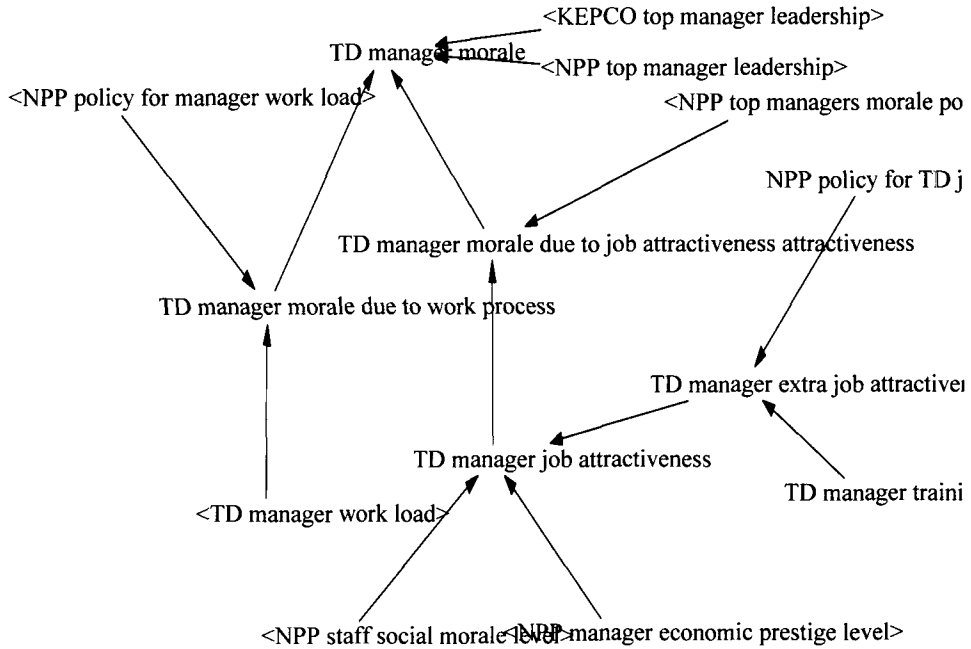




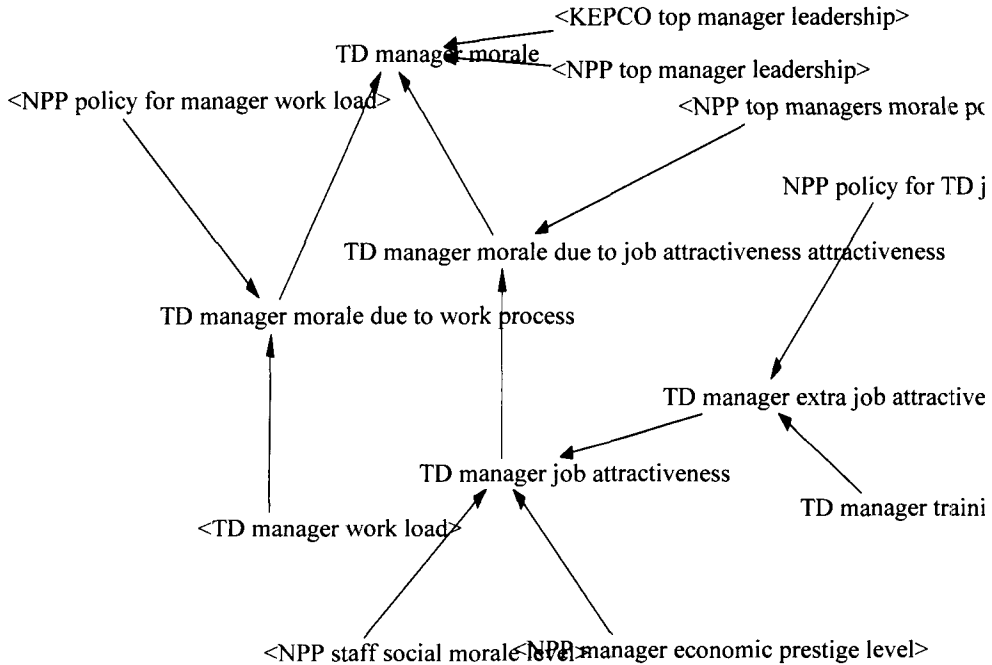
[그림 46] Engineering Manager Morale



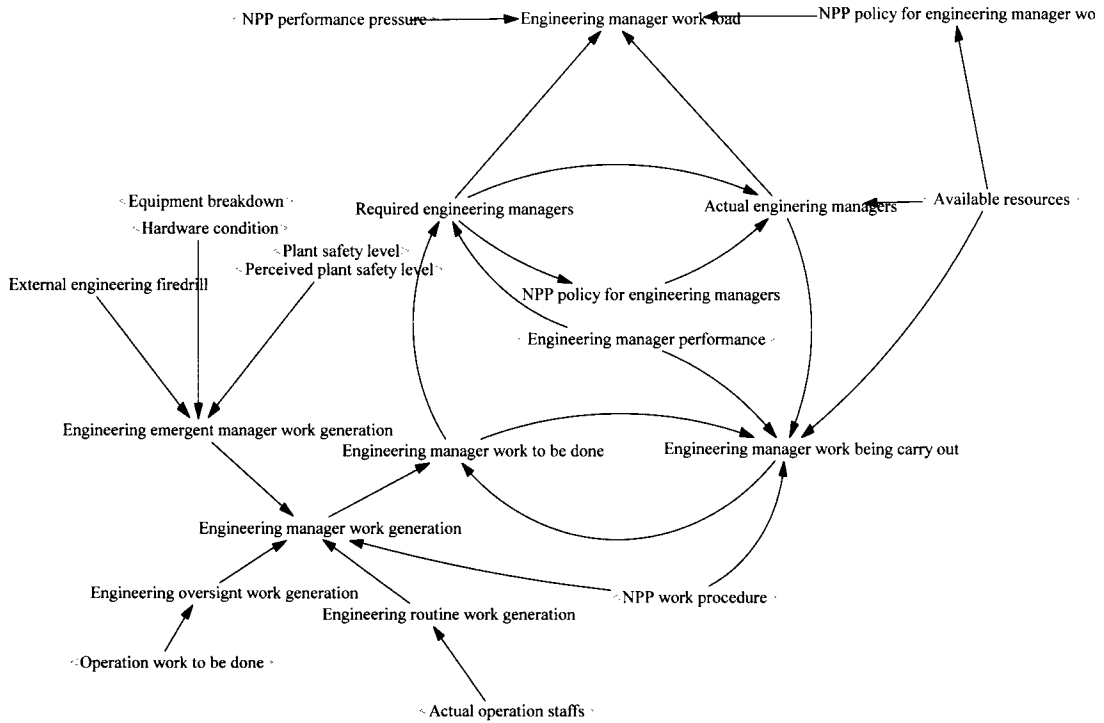
[그림 47] Operation Manager Morale



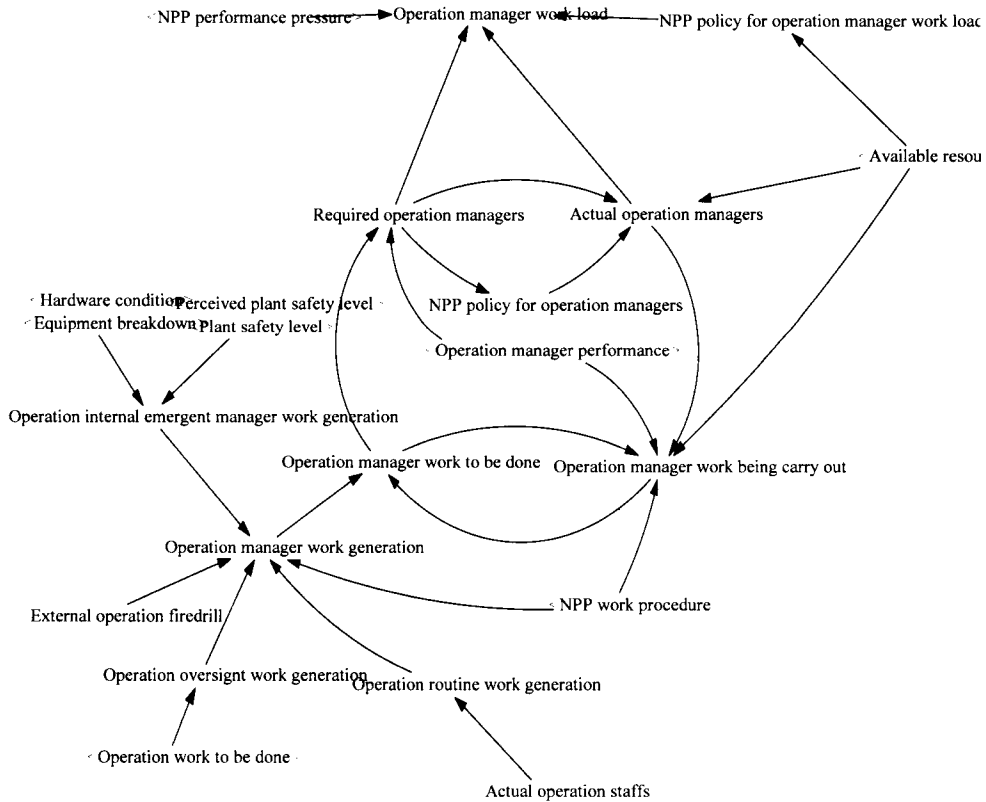
[그림 48] TD Manager Morale



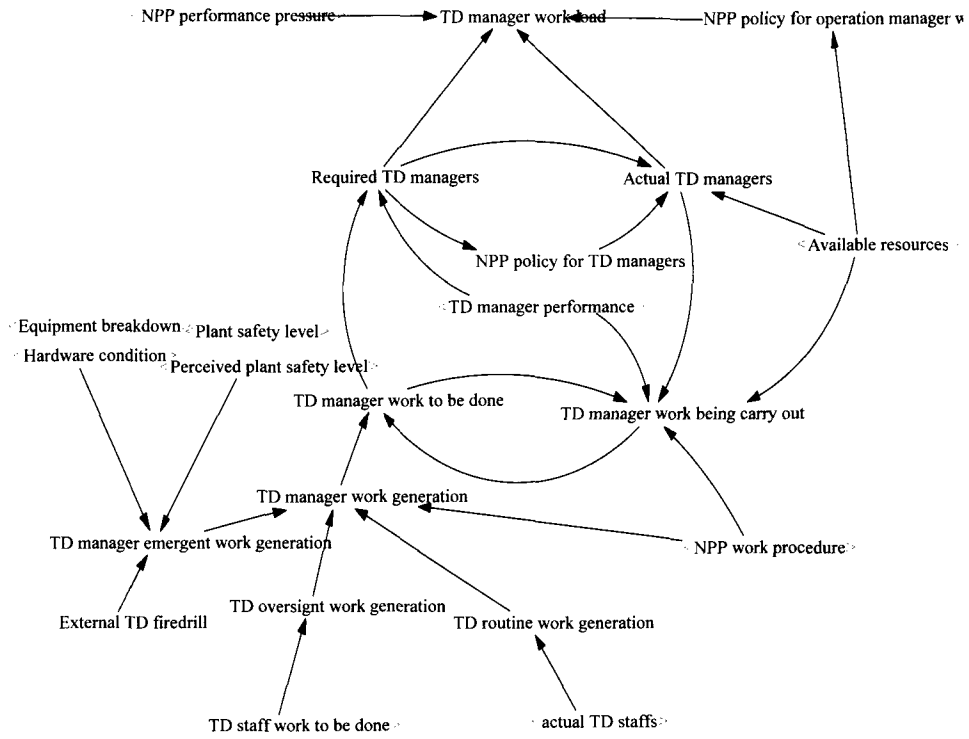
[그림 49] Maintenance Manager Work Load



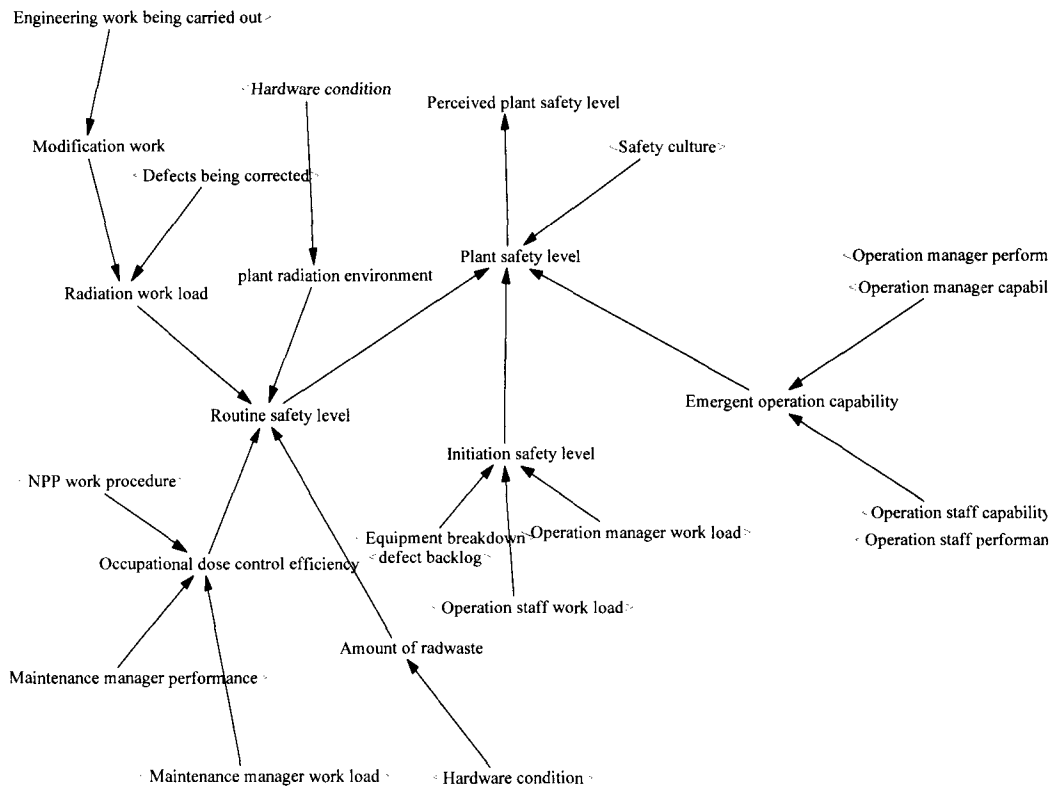
[그림 50] Engineering Manager Work Load



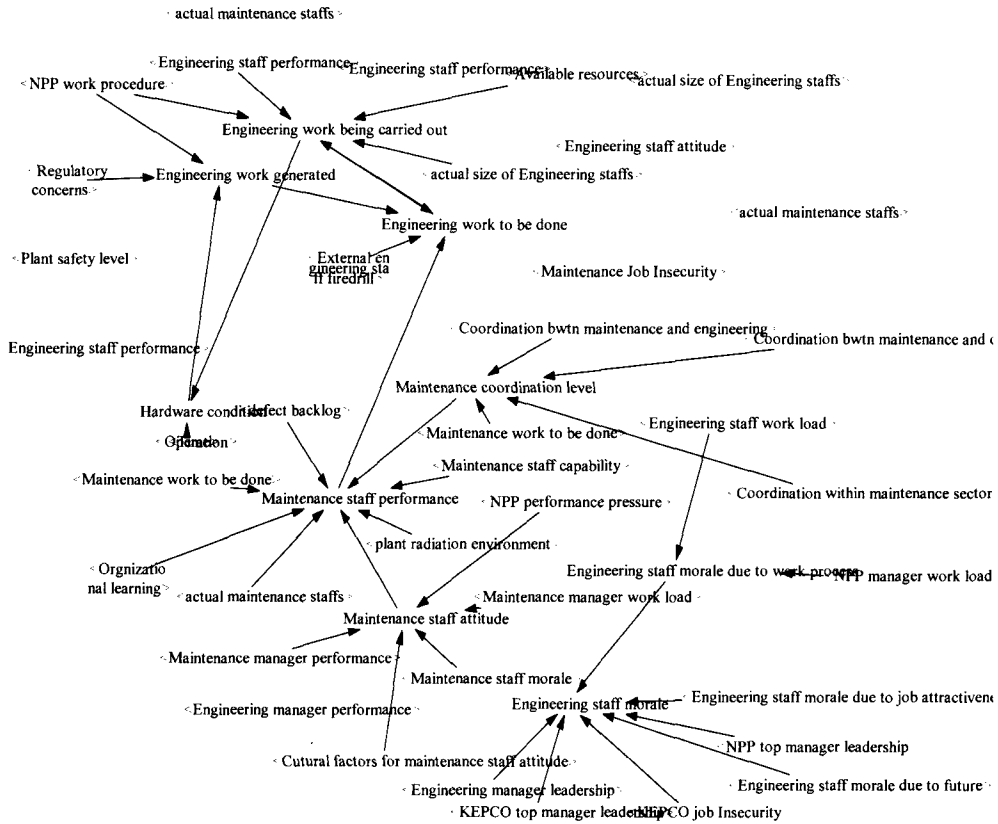
[그림 51] Operation Manager Work Load



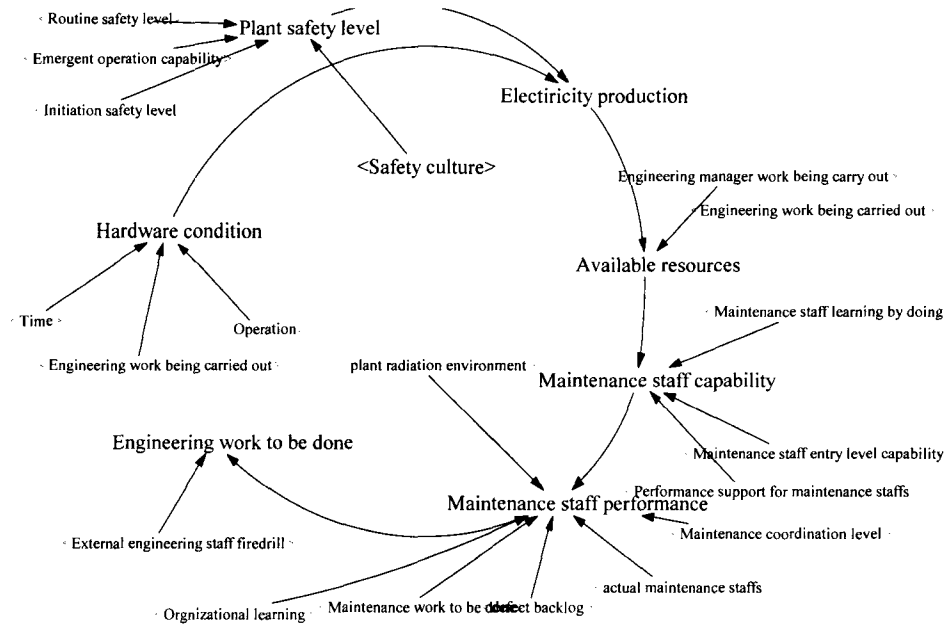
[그림 52] TD Manager Work Load



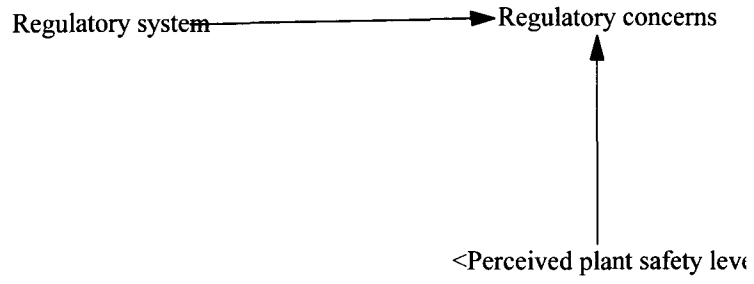
[그림 53] Safety Level



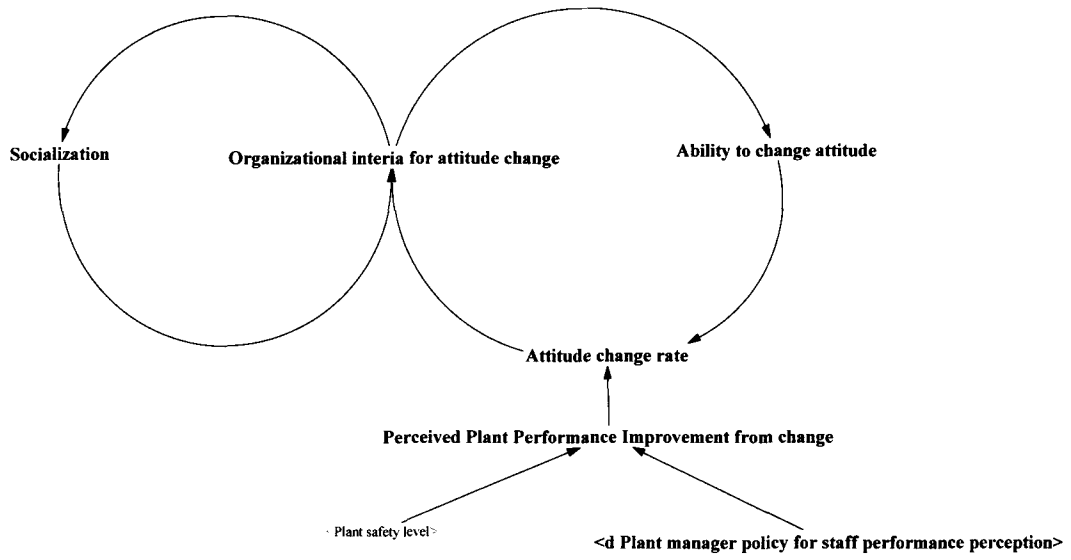
[그림 54] Coordination Overview



[그림 55] Safety Overall



[그림 56] Regulatory System



[그림 57] Attitude의 수정

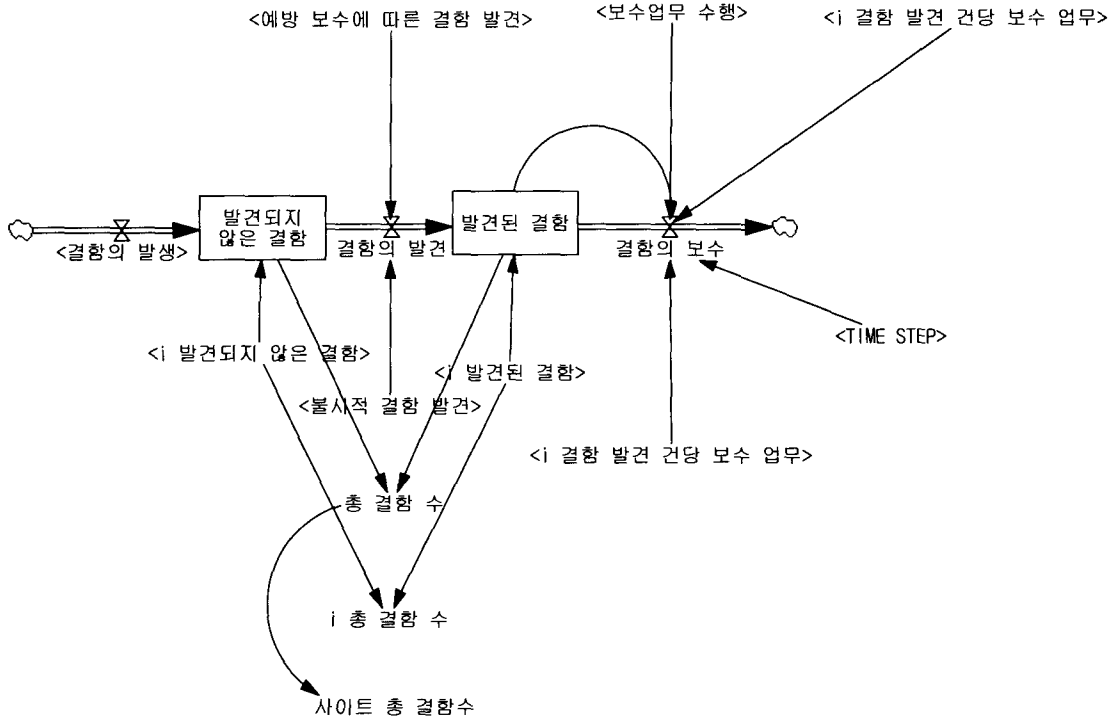
여 백

## 부록 4

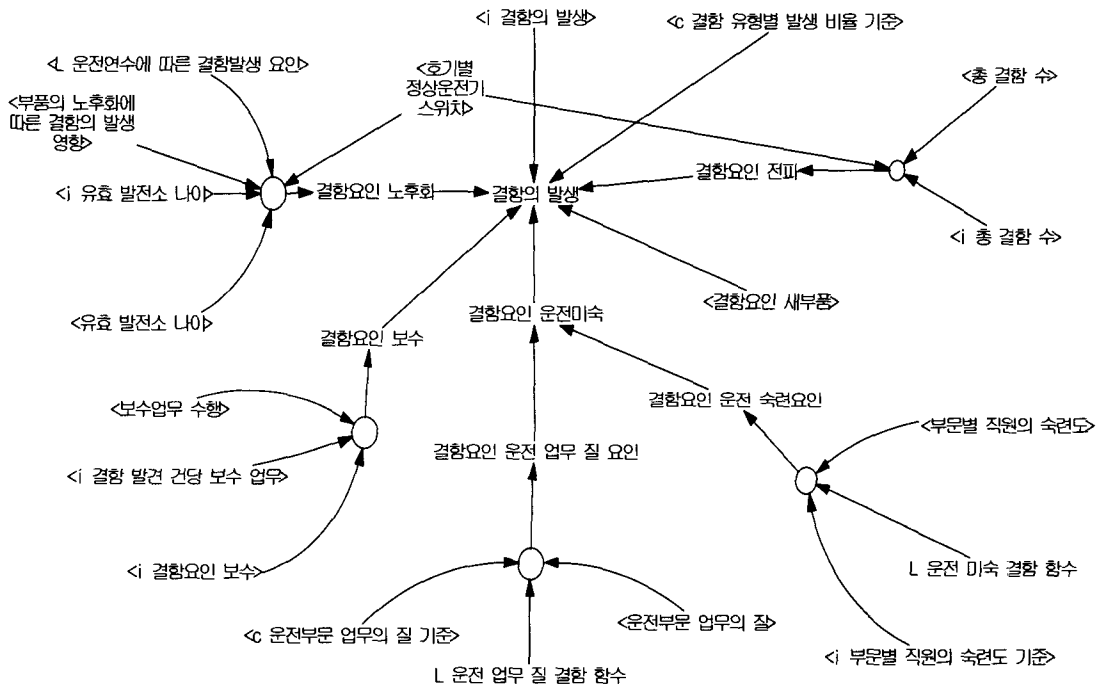
### Stock and Flow Diagram



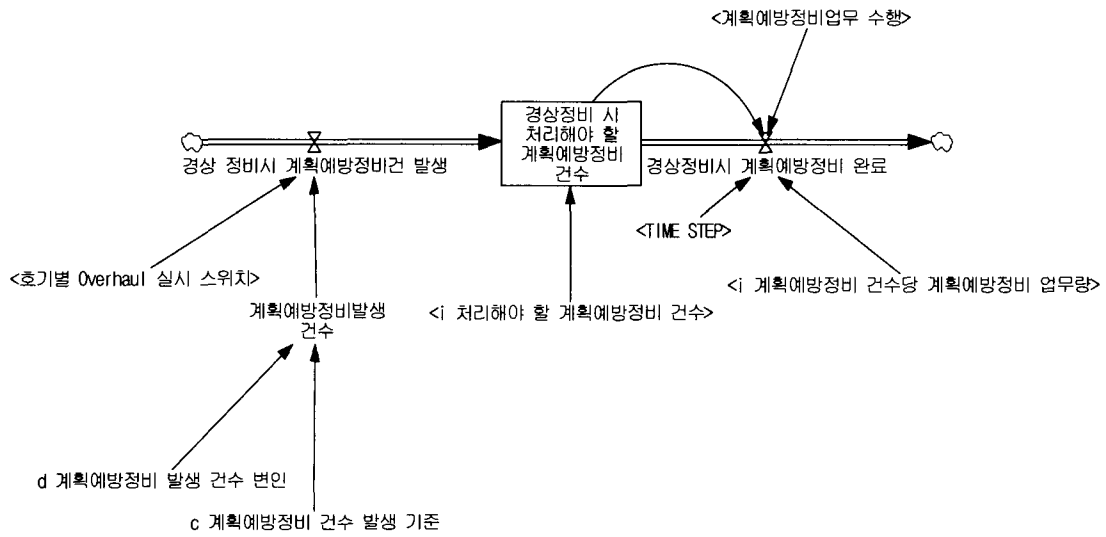
여 백



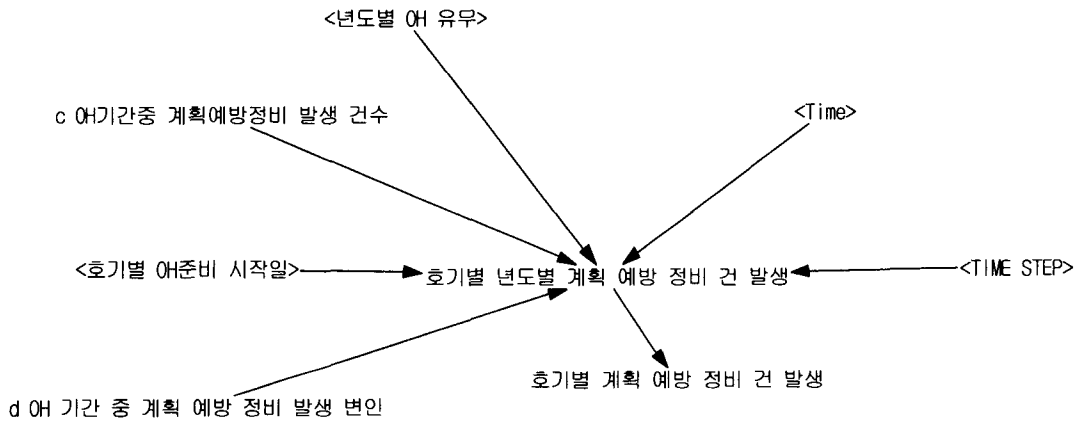
[그림-58] 결함의 발견



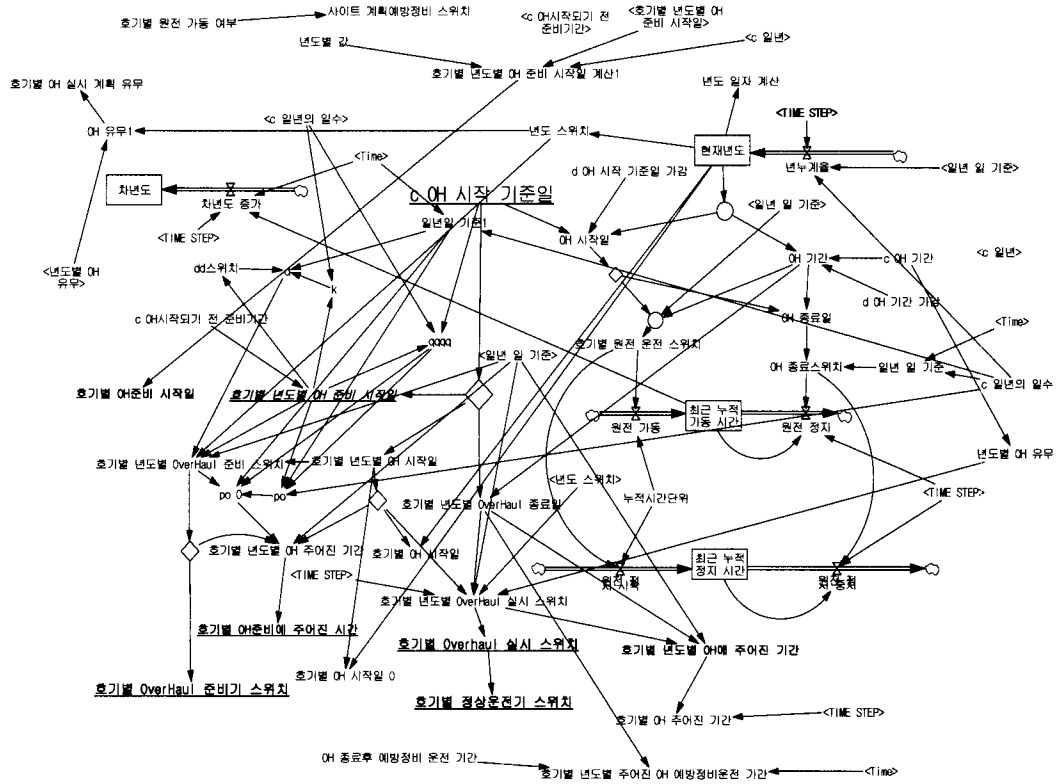
[그림-59] 결함의 발생



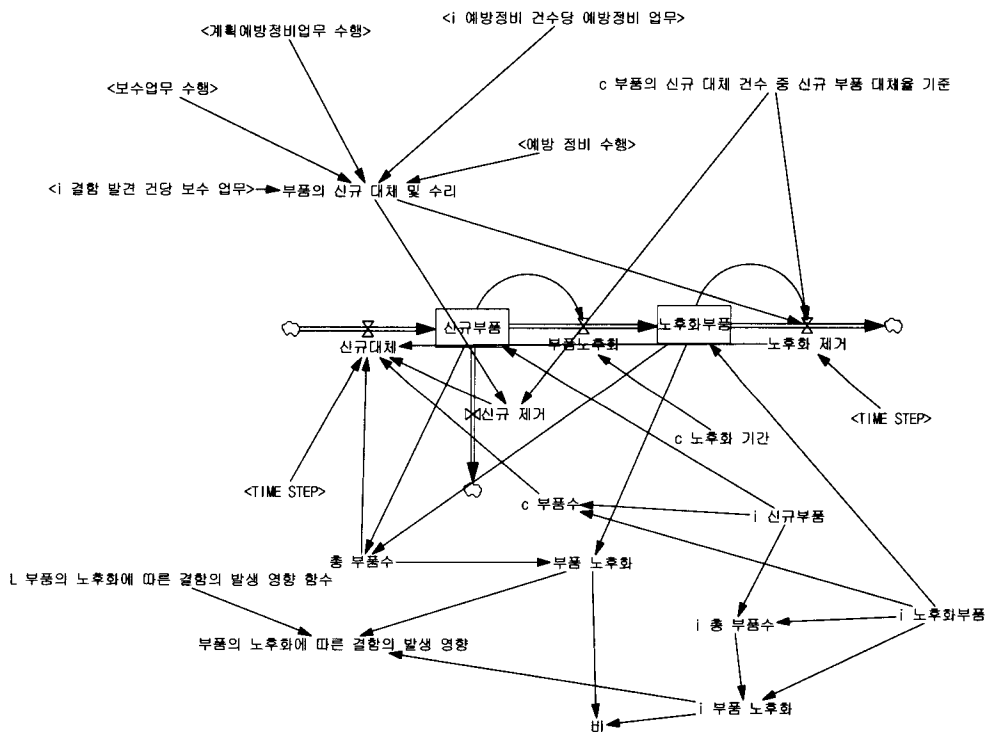
[그림-60] 예방정비의 발생



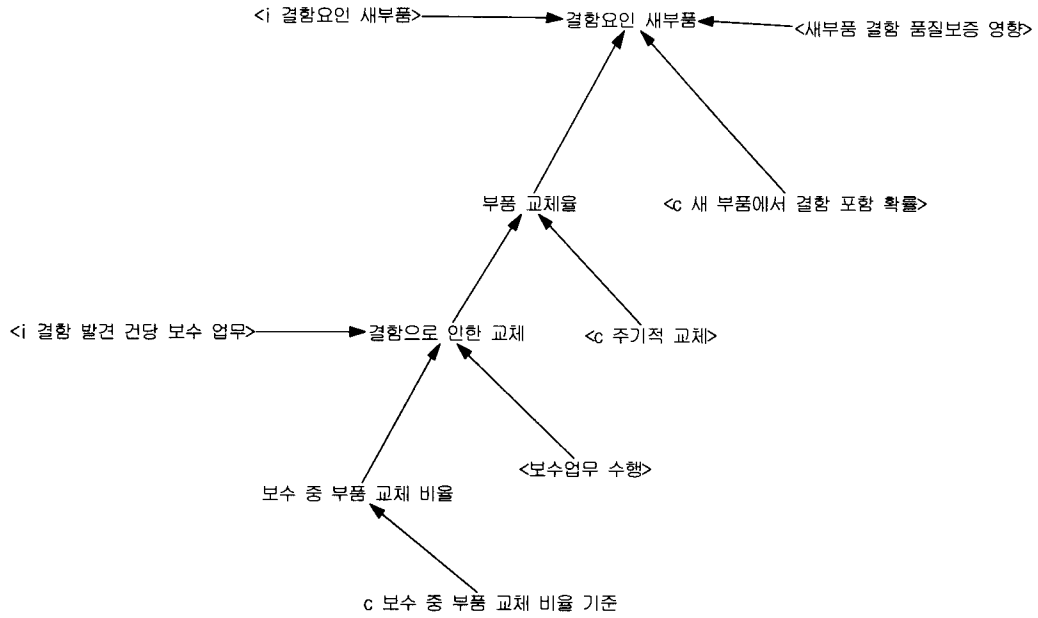
[그림-61] 예방정비건 발생



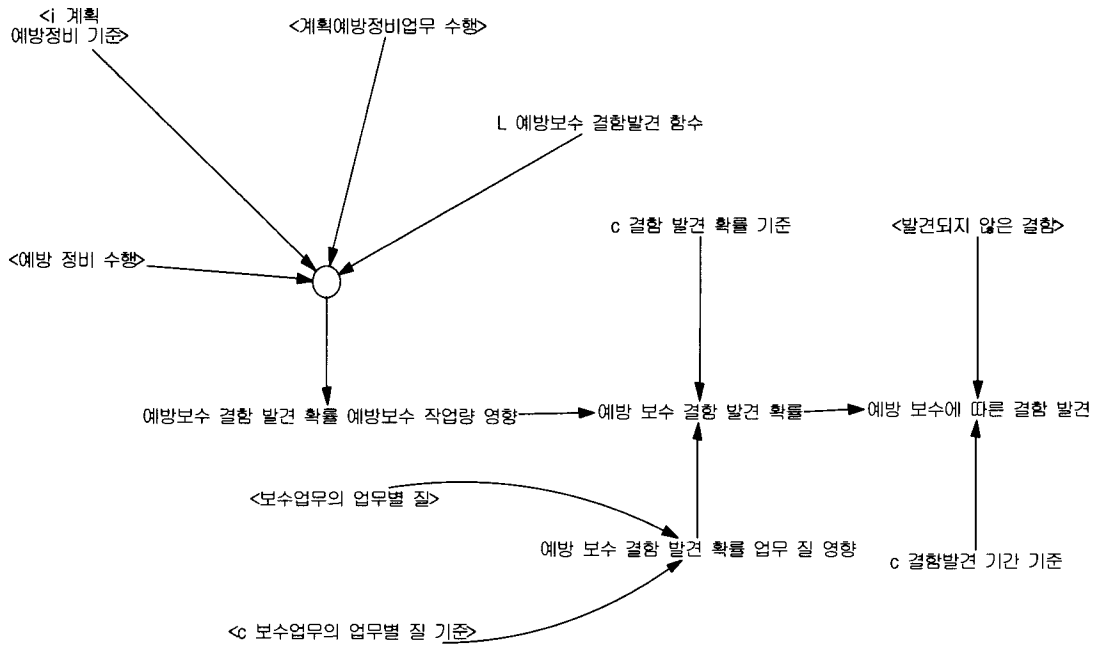
[그림-62] 예방정비



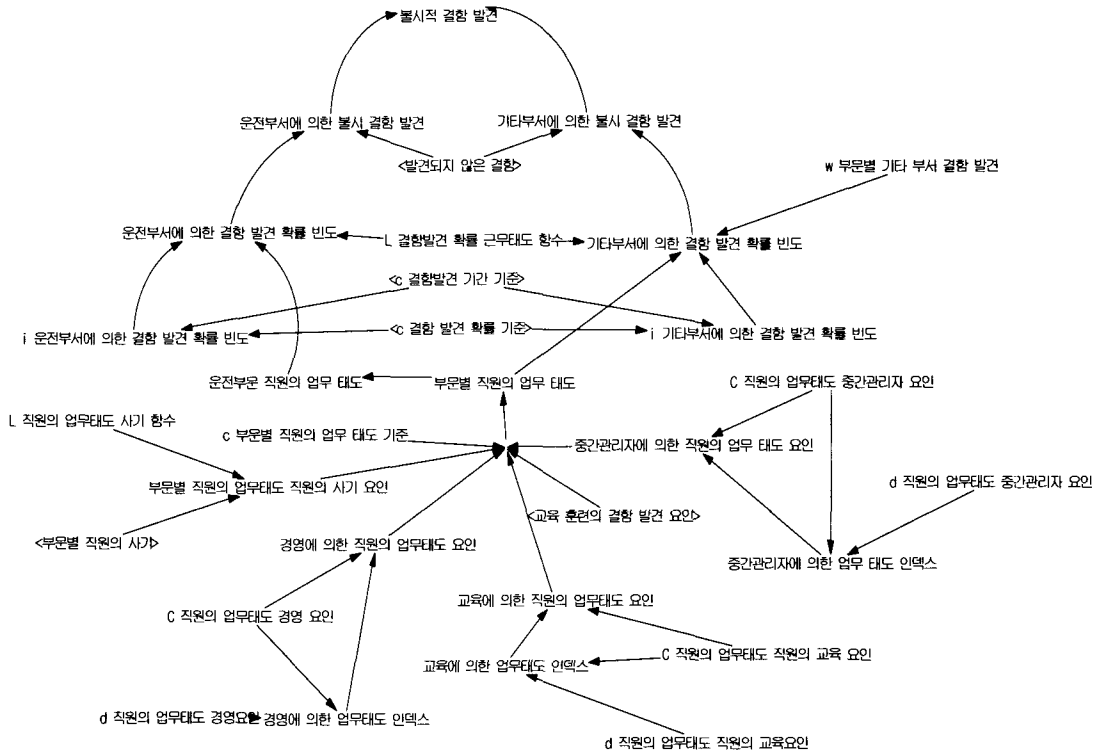
[그림-63] 부품의 노후화



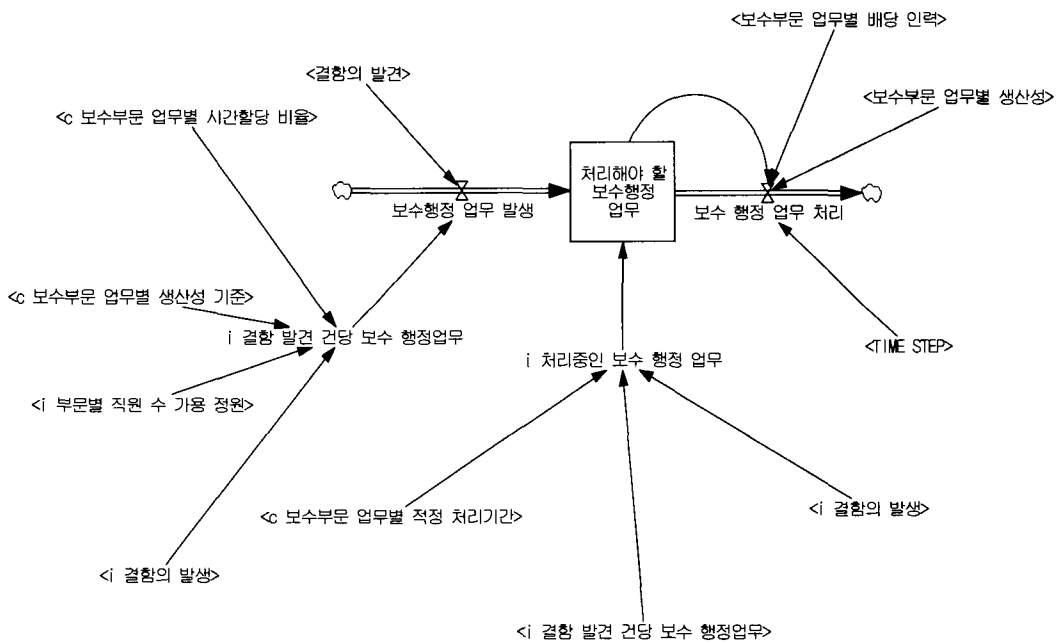
[그림-64] 결합의 발생(부품 교체)



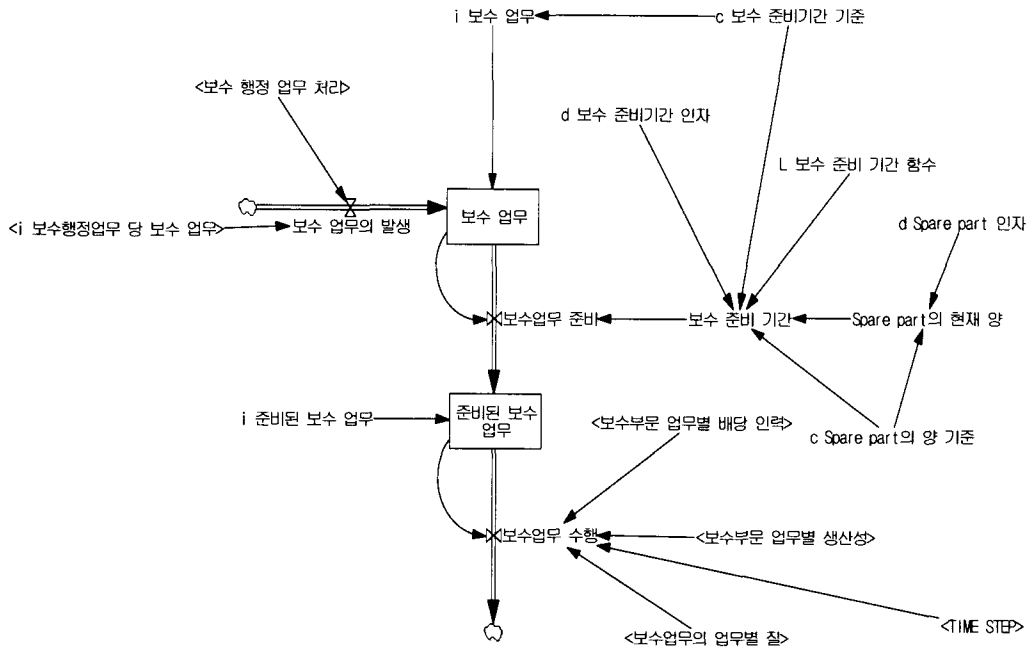
[그림-65] 결합발견(예방보수)



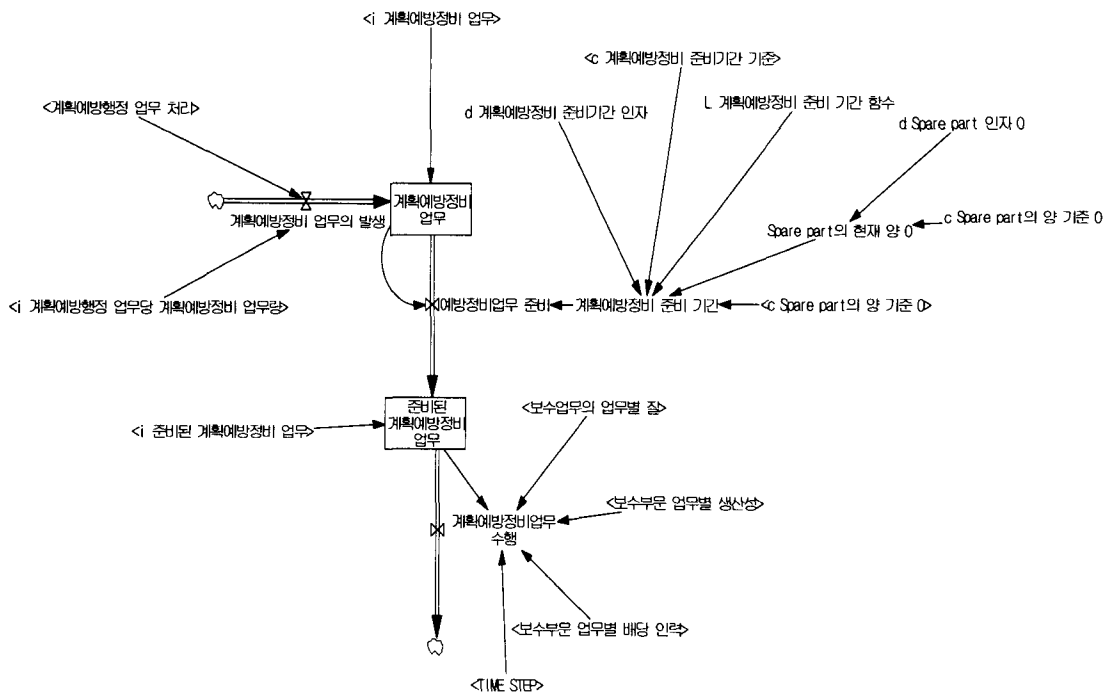
[그림-66] 결함발견(불시)



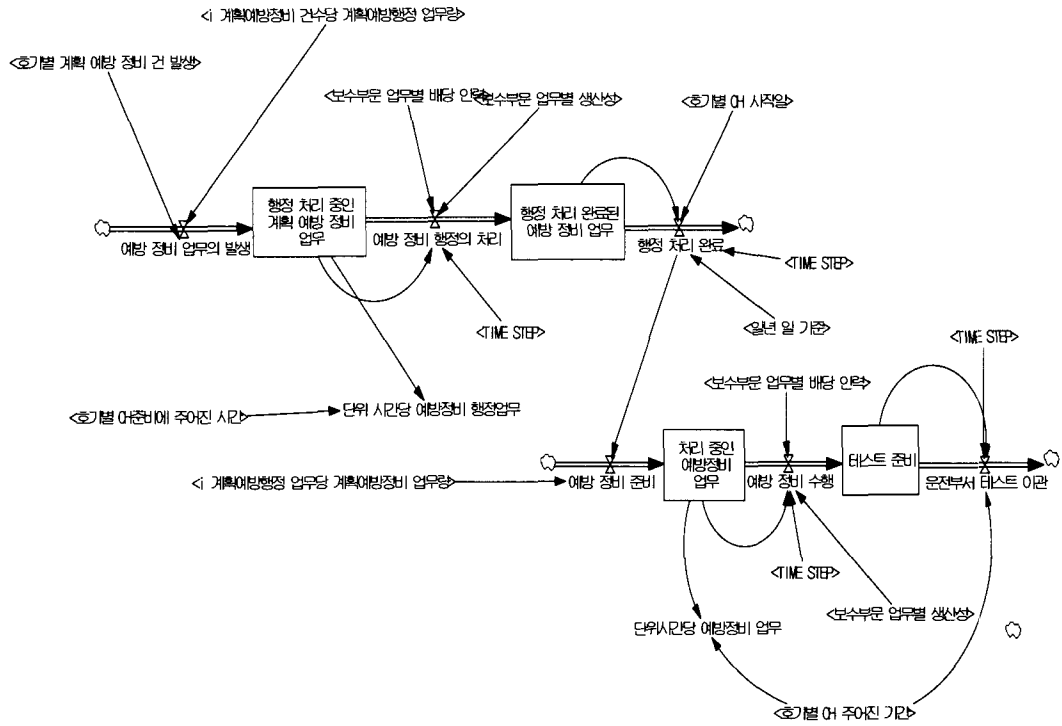
[그림-67] 보수부문 업무(보수행정)



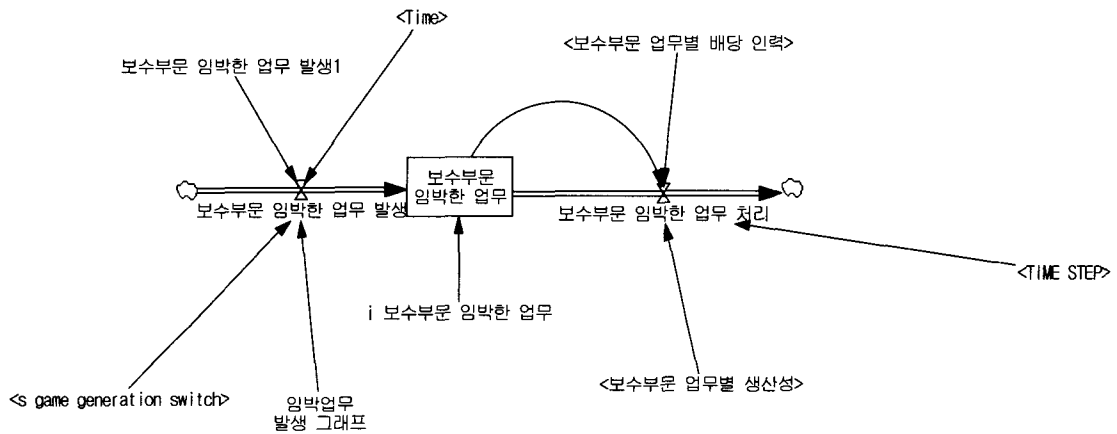
[그림-68] 보수부문 업무(보수)



[그림-69] 보수부문 업무(계획예방정비)

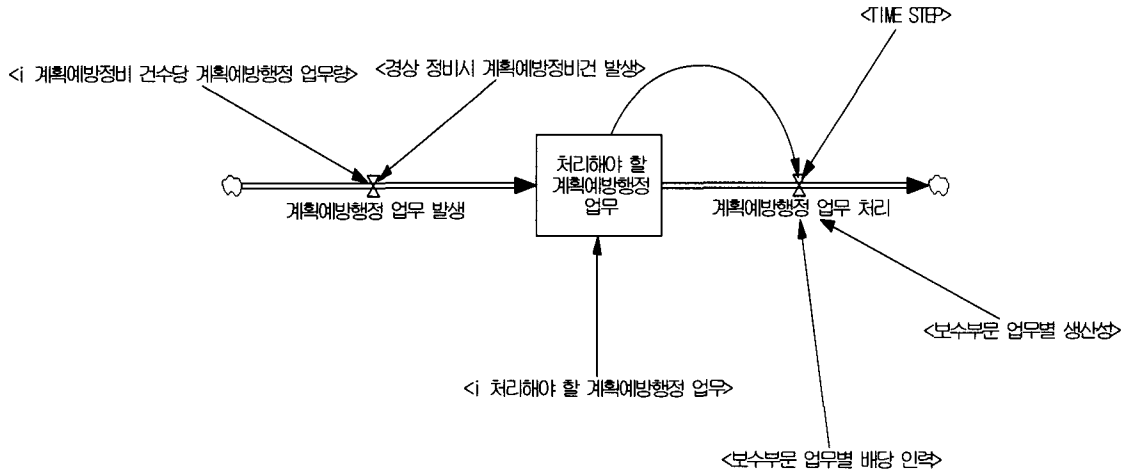


[그림-70] 보수부문 업무(예방정비업무수행)

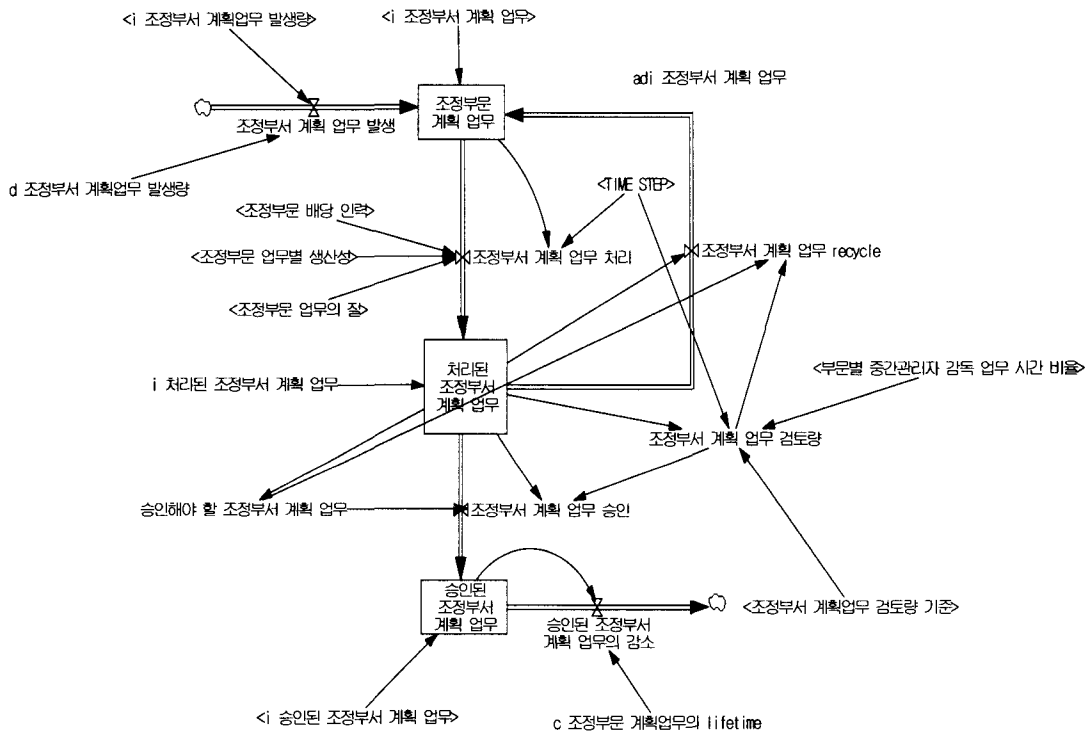


[그림-71] 보수부문 업무(임박한 업무)

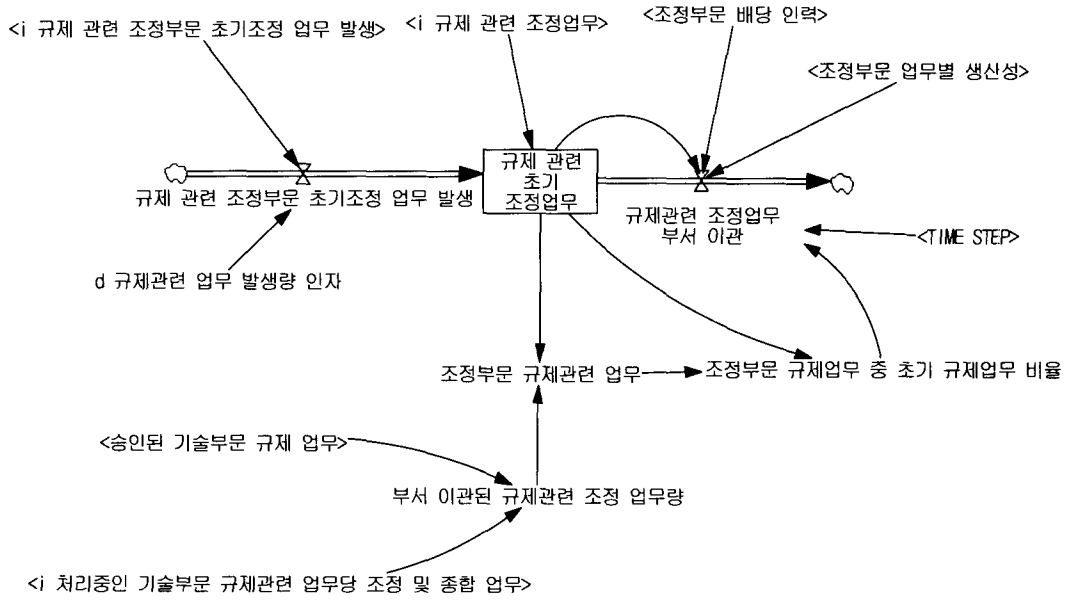




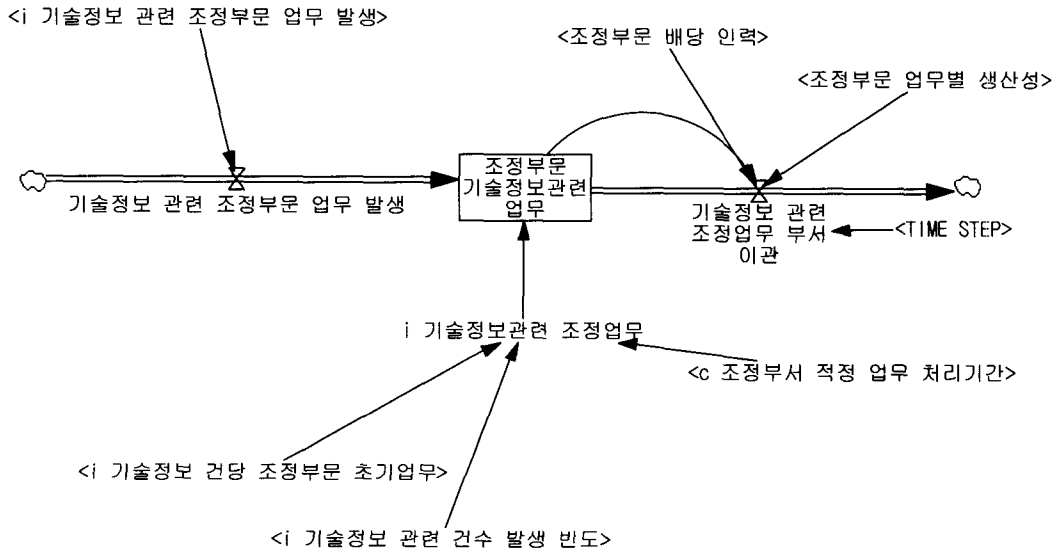
[그림-72] 보수부문 업무(계획예방정비행정)



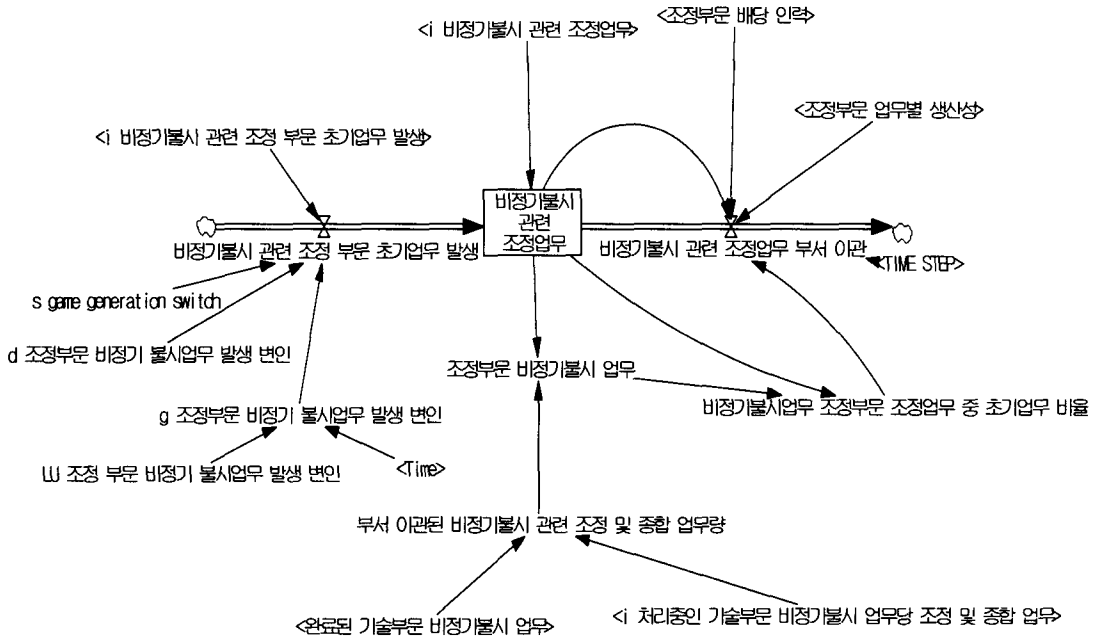
[그림-73] 조정부문 업무(계획업무)



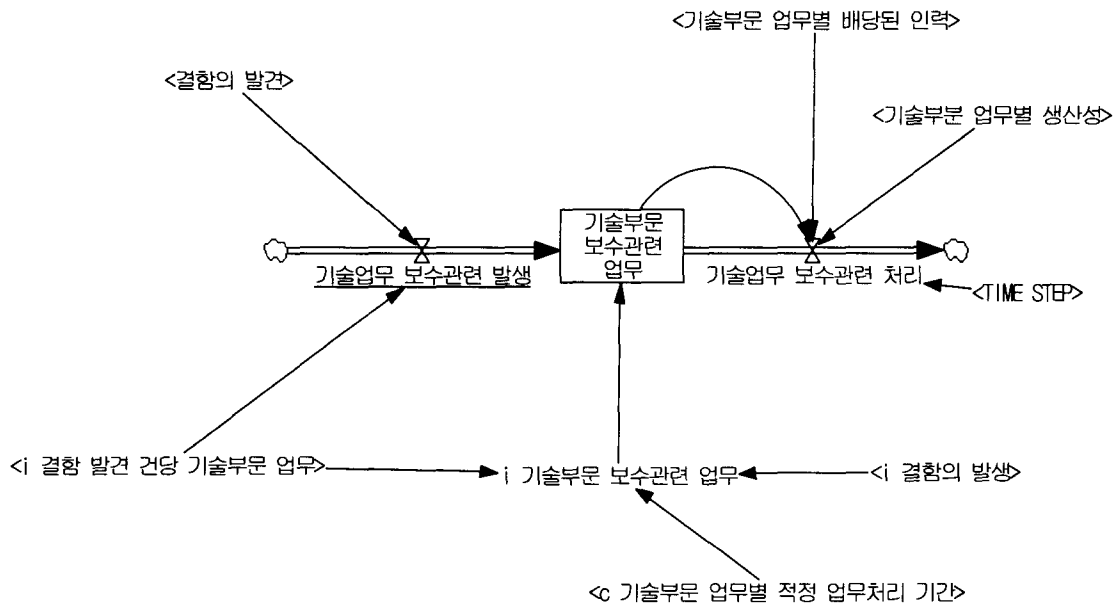
[그림-74] 조정부문 업무(규제 관련 업무)



[그림-75] 조정부문 업무(기술정보업무)



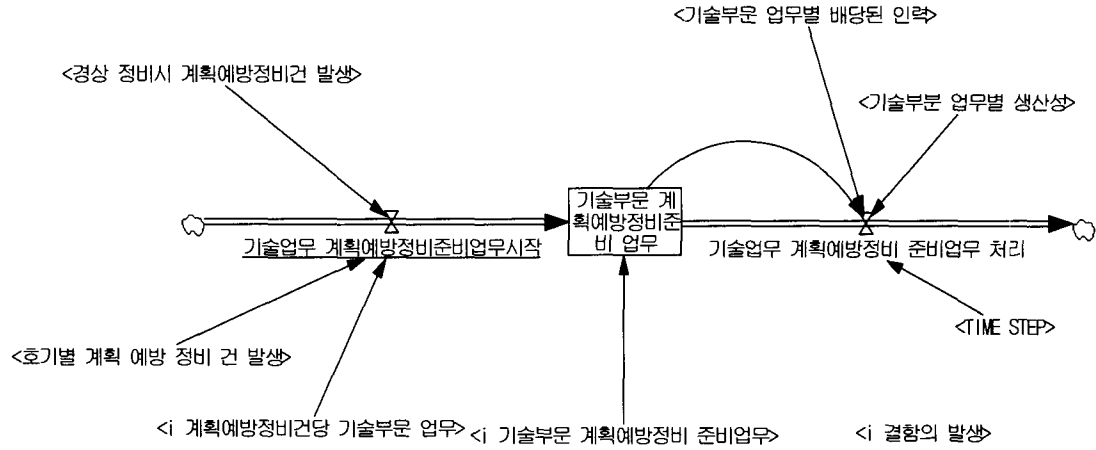
[그림-76] 조정부문 업무(비정기불시업무)



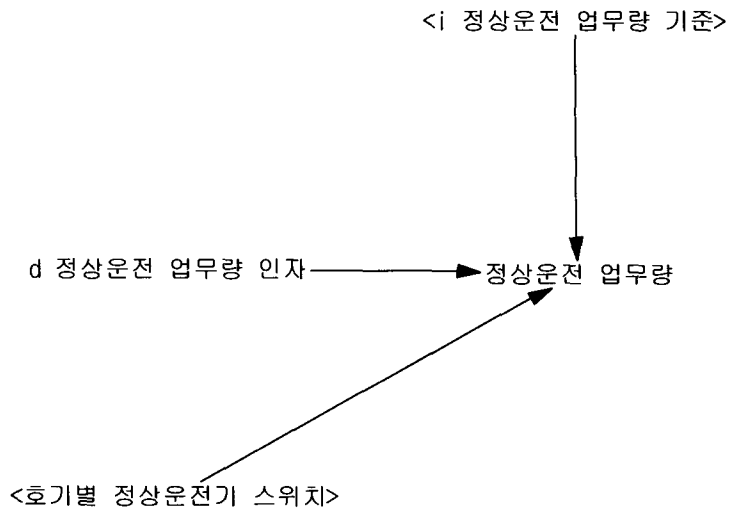
[그림-77] 기술부문 업무(보수관련업무)



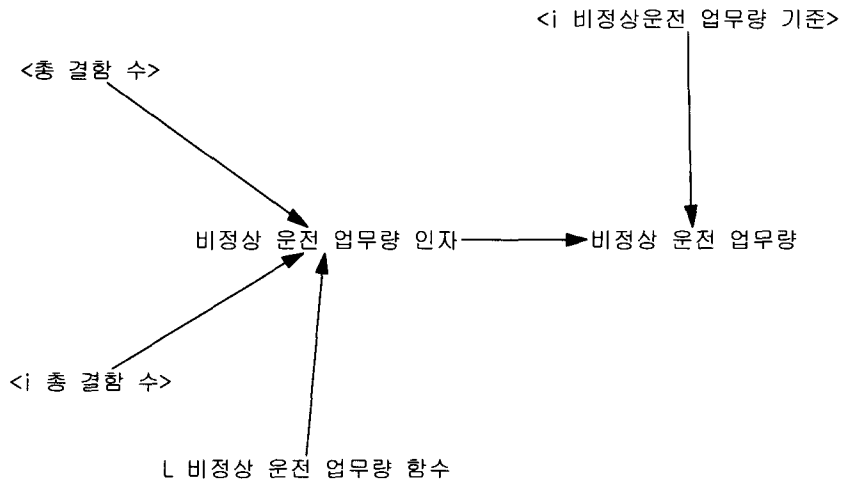




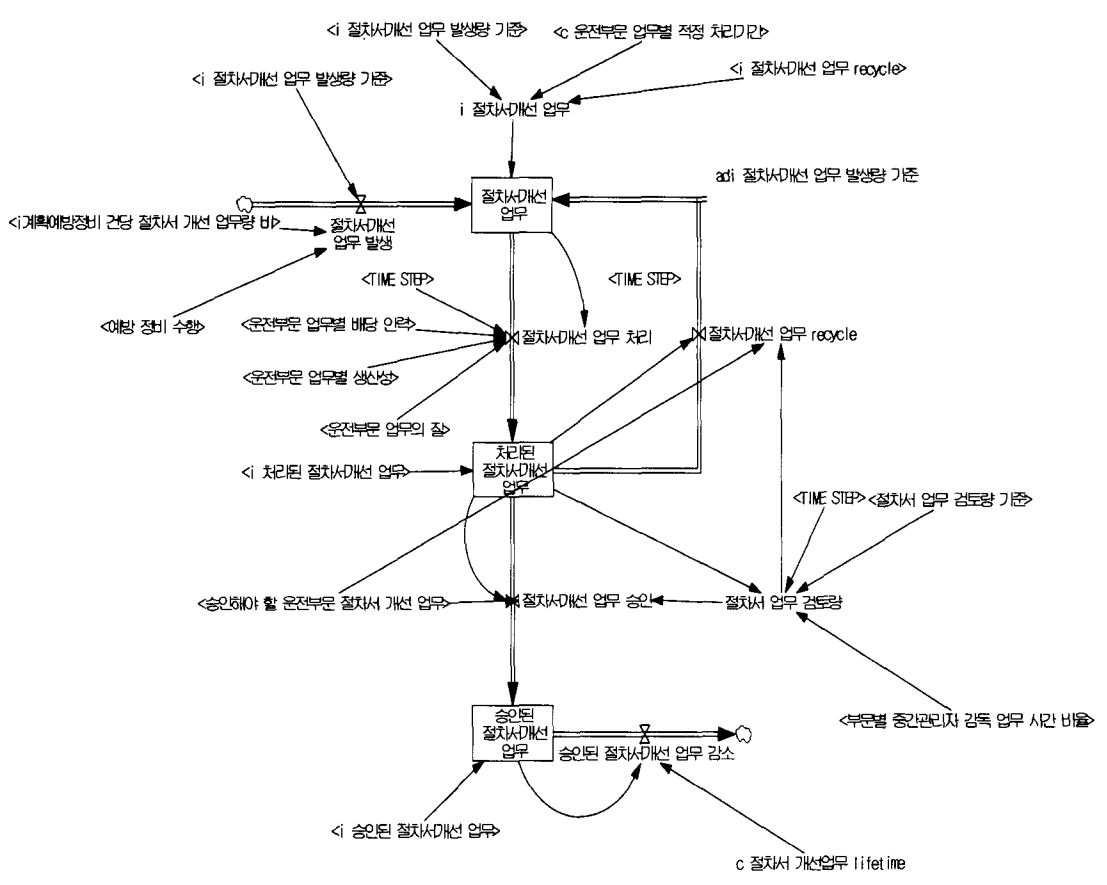
[그림-82] 기술부문 업무(예방정비준비업무)



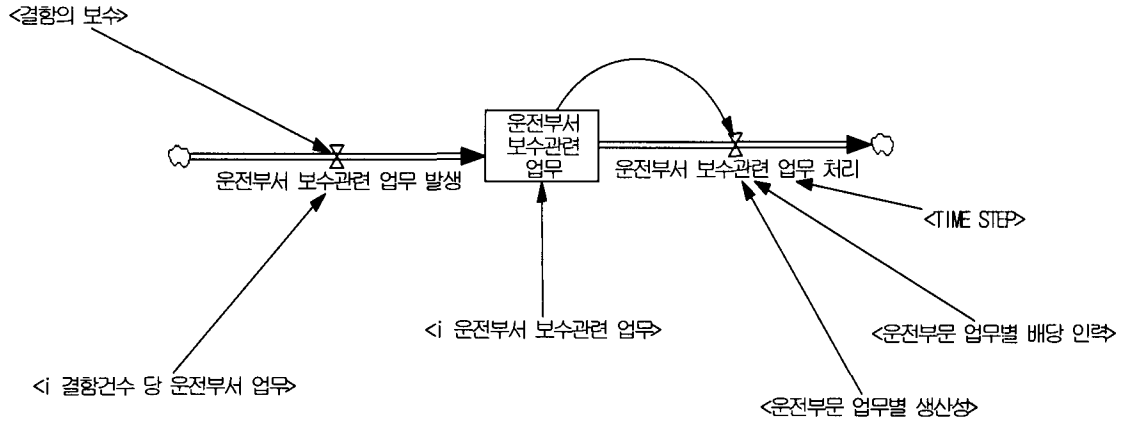
[그림 83] 운전부문 업무(정상운전업무)



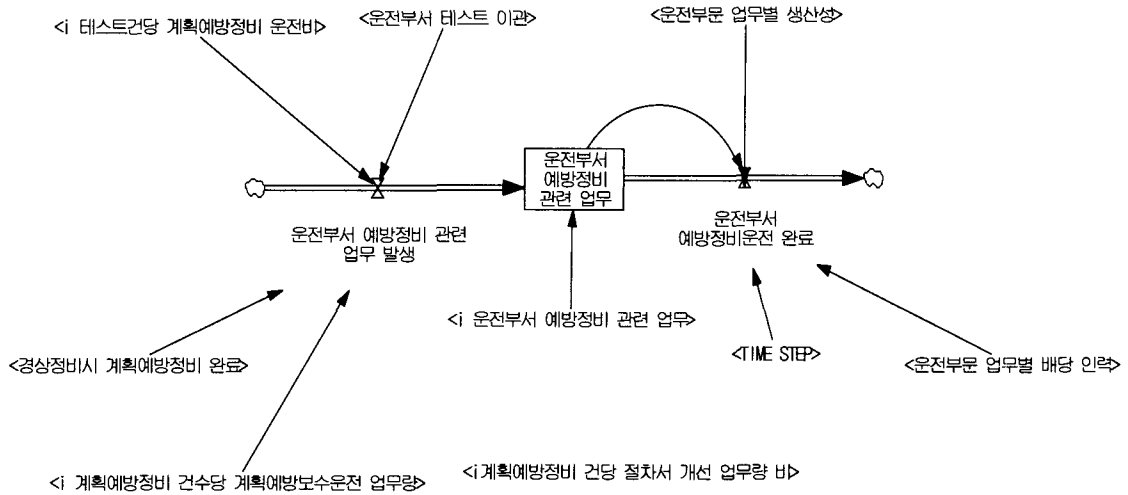
[그림2 : [그림-84] 운전부문 업무(비정상운전업무)]



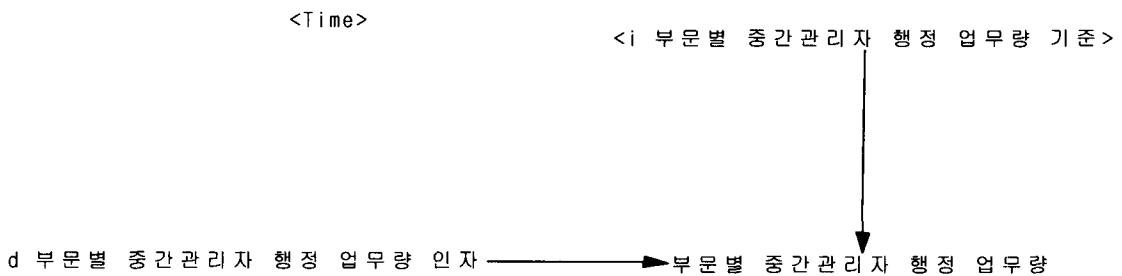
[그림-85] 운전부문 업무(절차서개선업무)]



[그림-86] 운전부문 업무(보수관련업무)

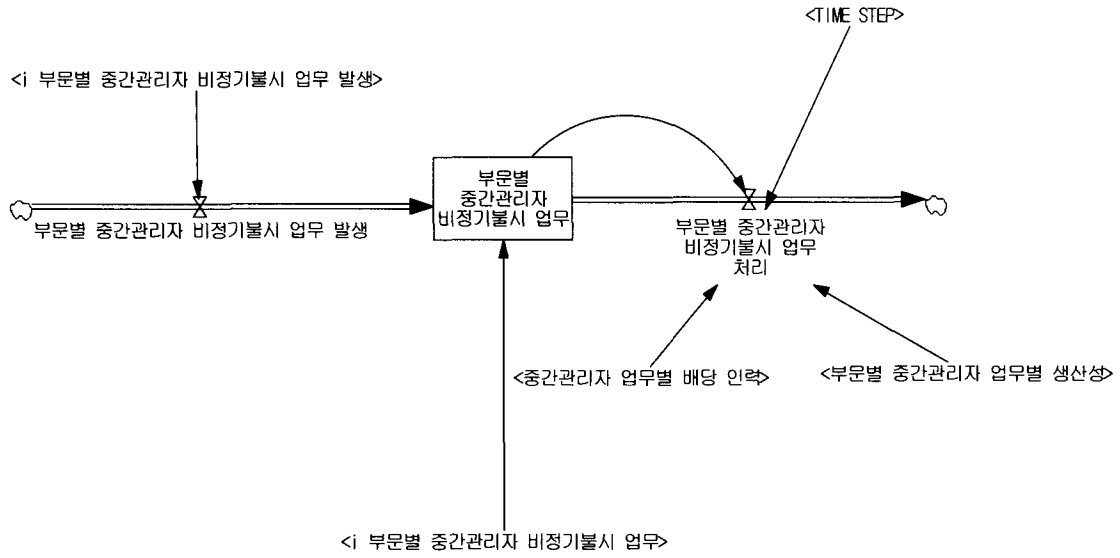


[그림-87] 운전부문 업무(예방정비운전업무)

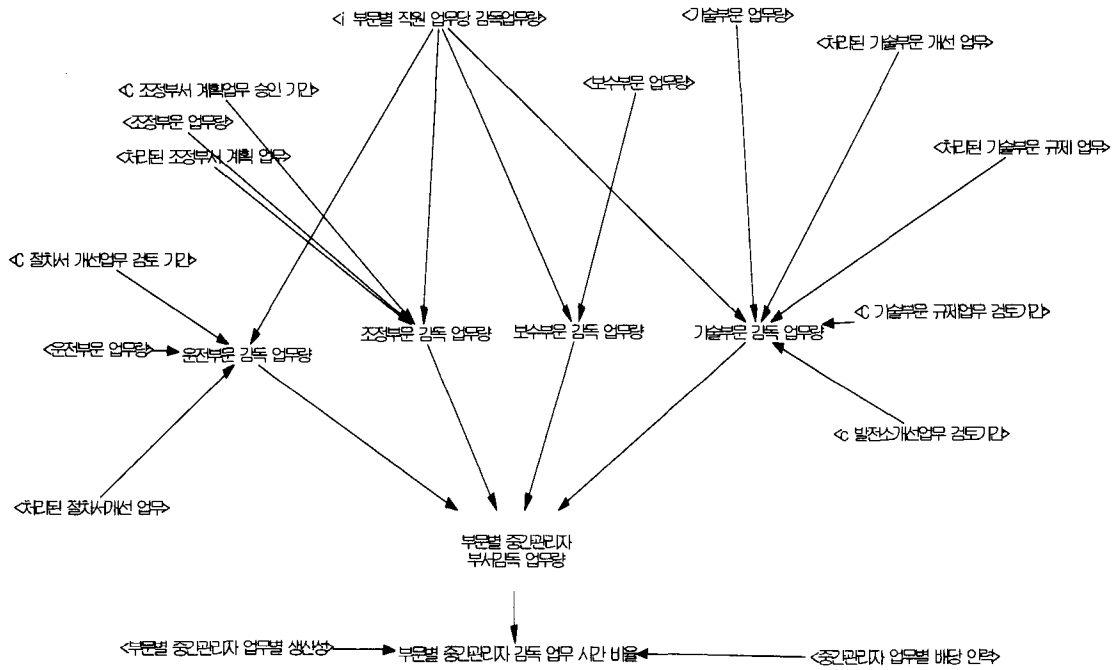


[그림-88] 중간관리자 업무(일반행정)

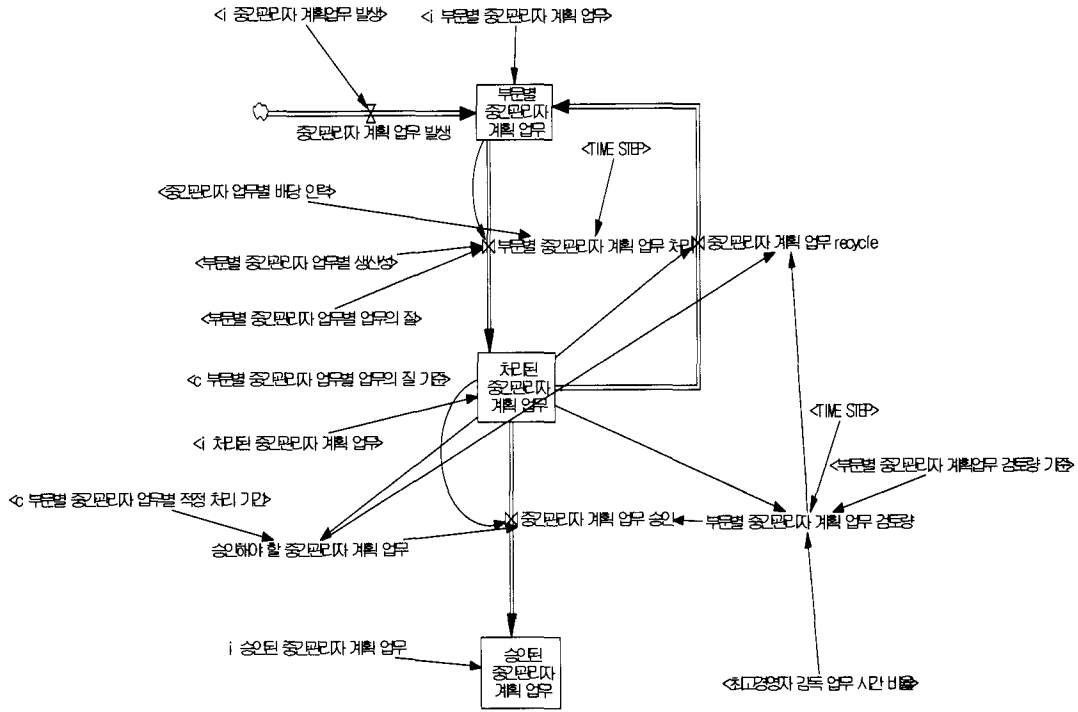




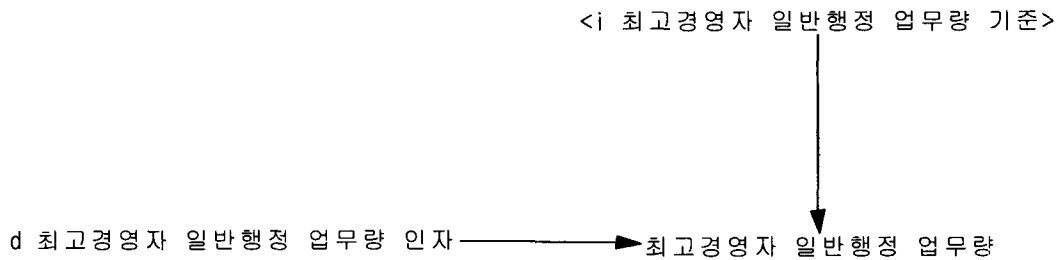
[그림-89] 중간관리자 업무(비정기불시업무)



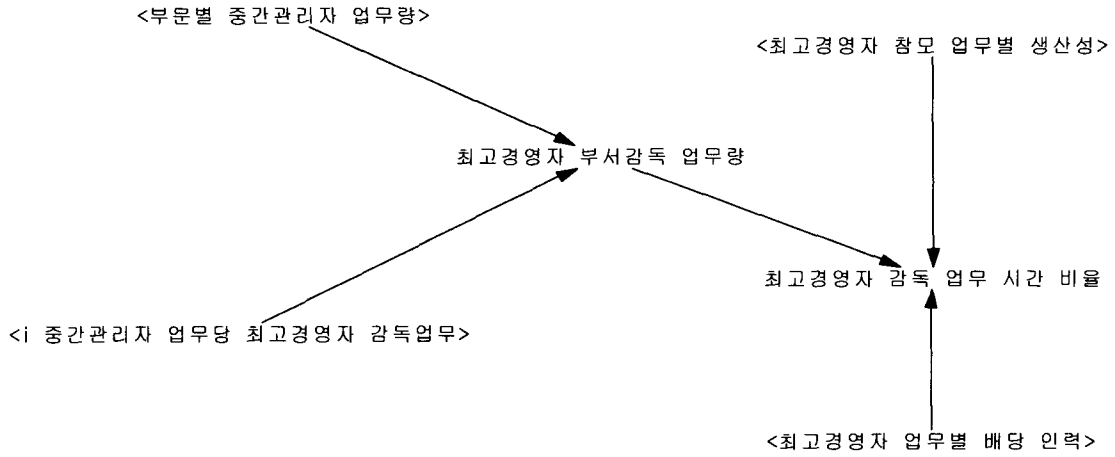
[그림-90] 중간관리자 업무(부서감독업무)



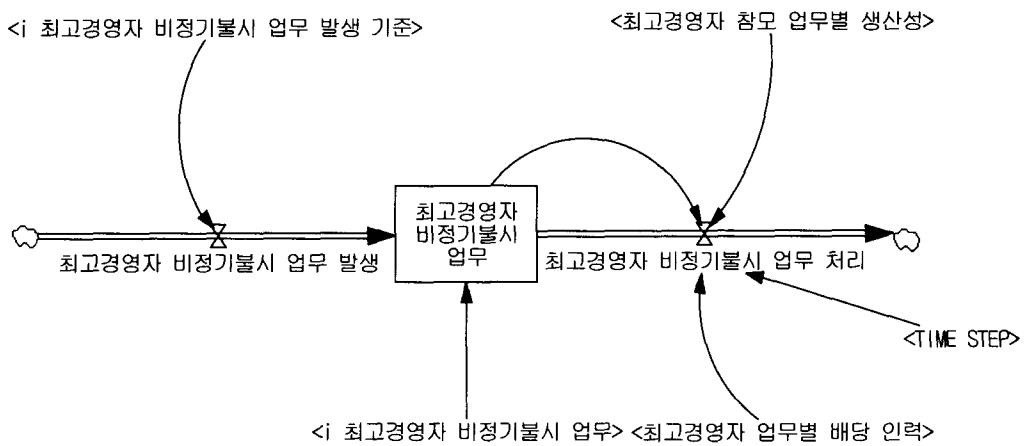
[그림-91] 중간관리자 업무(계획업무)



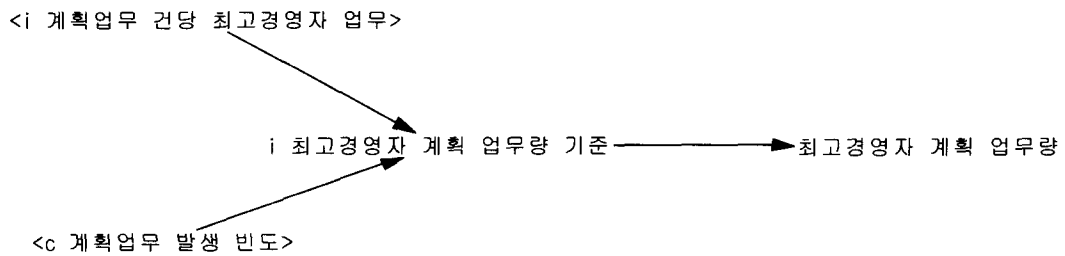
[그림-92] 최고경영자 업무(일반행정)



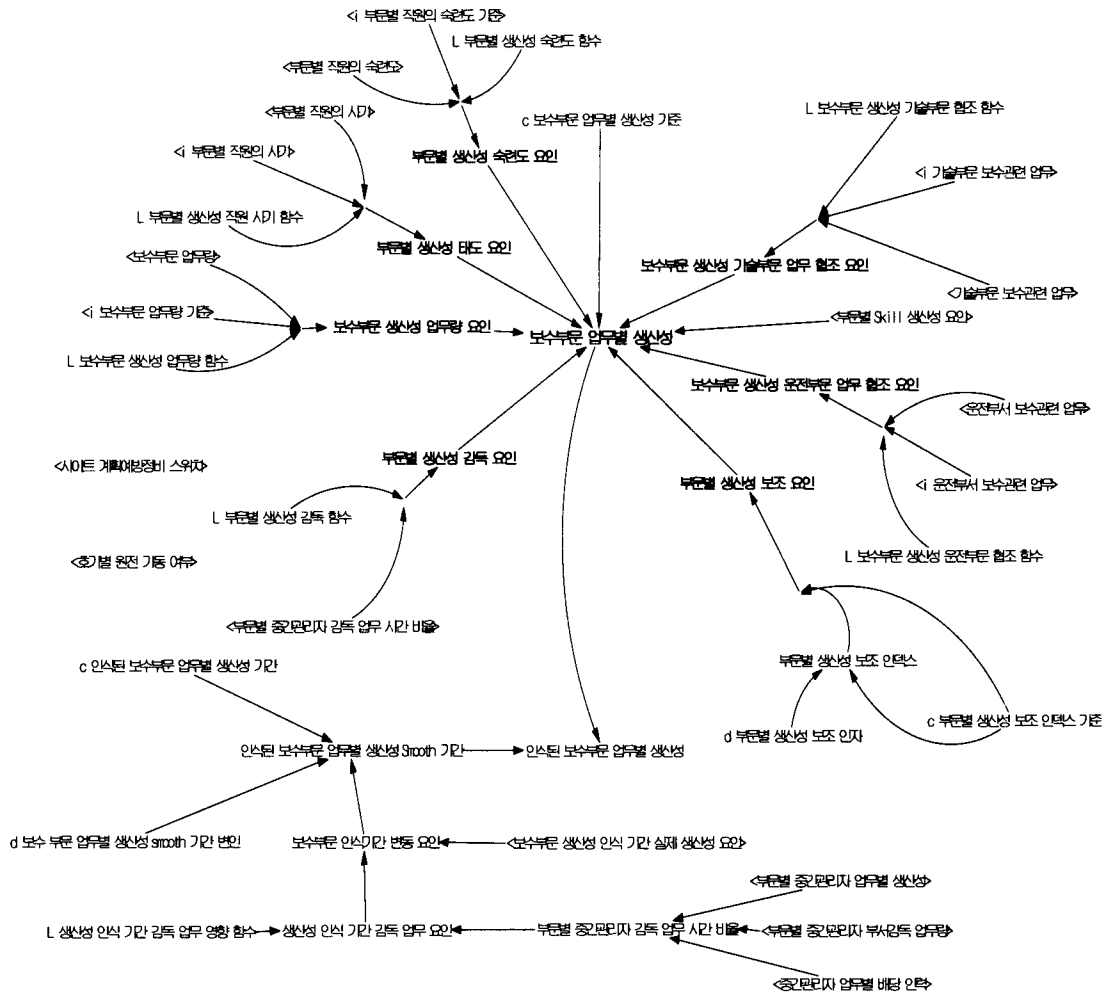
[그림-93] 최고경영자 업무(감독업무)



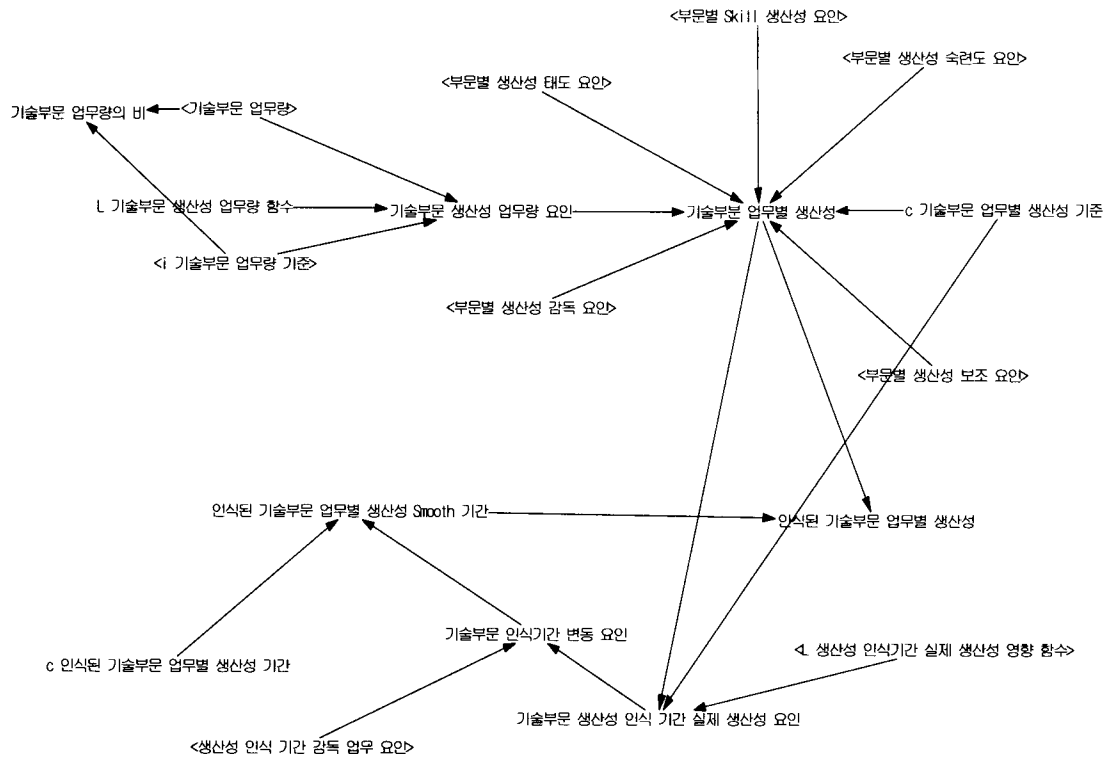
[그림-94] 최고경영자 업무(비정기불시업무)



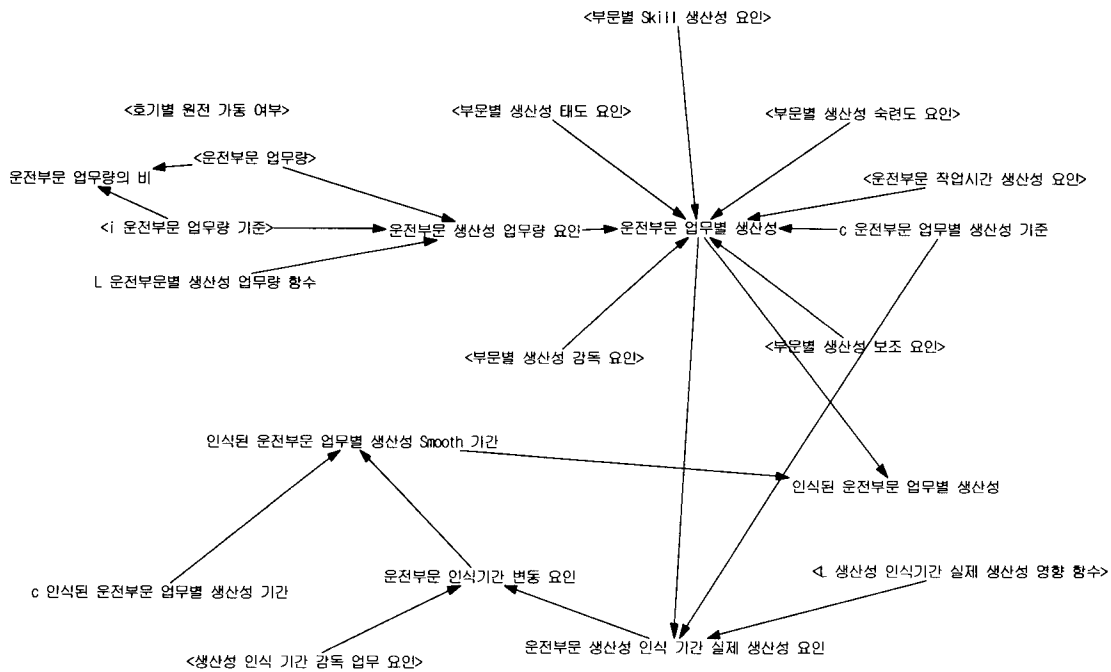
[그림-95] 최고경영자 업무(계획업무)



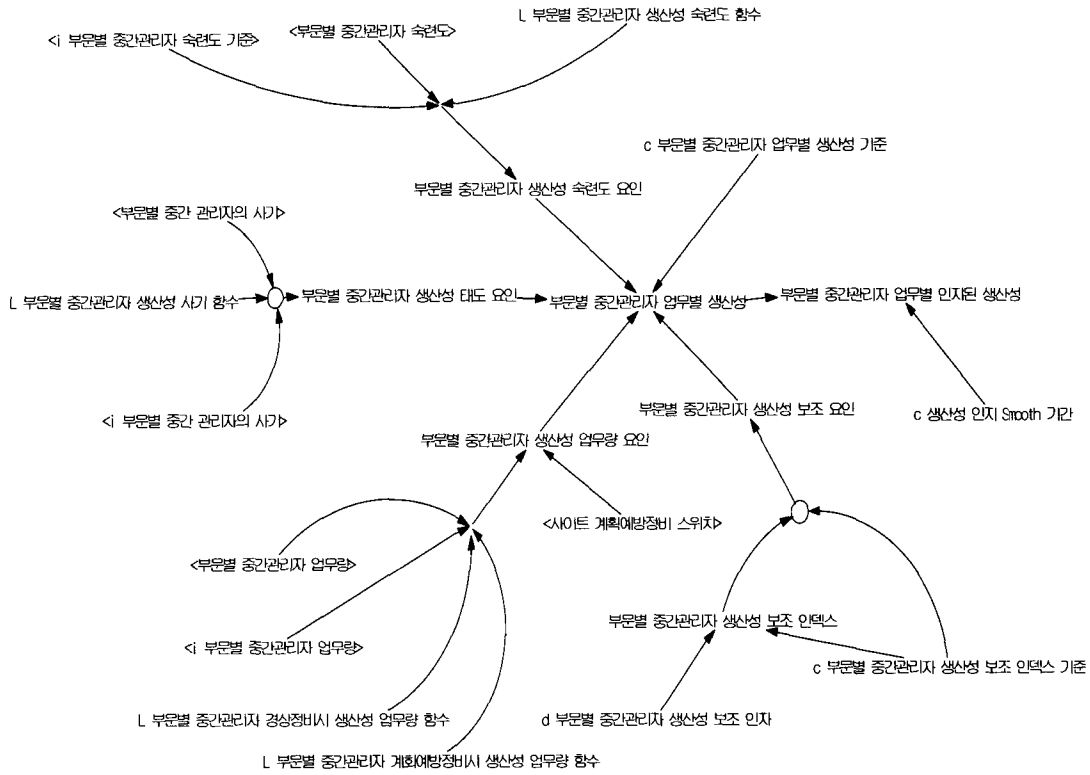
[그림-96] 보수부문 생산성



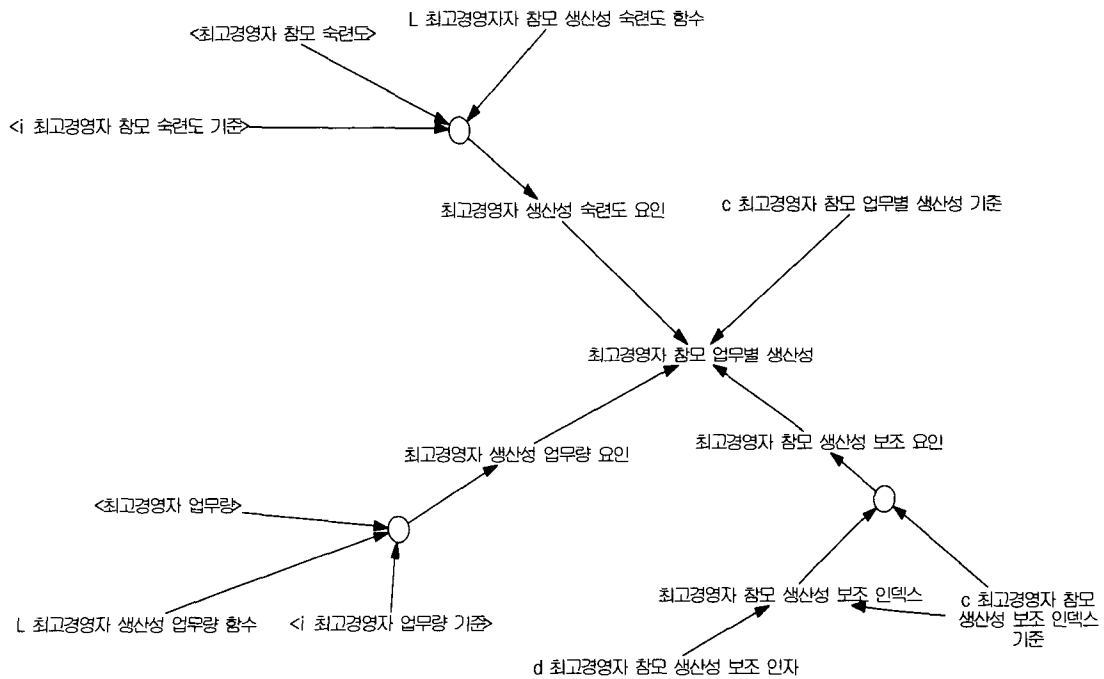
[그림-97] 기술부문 생산성



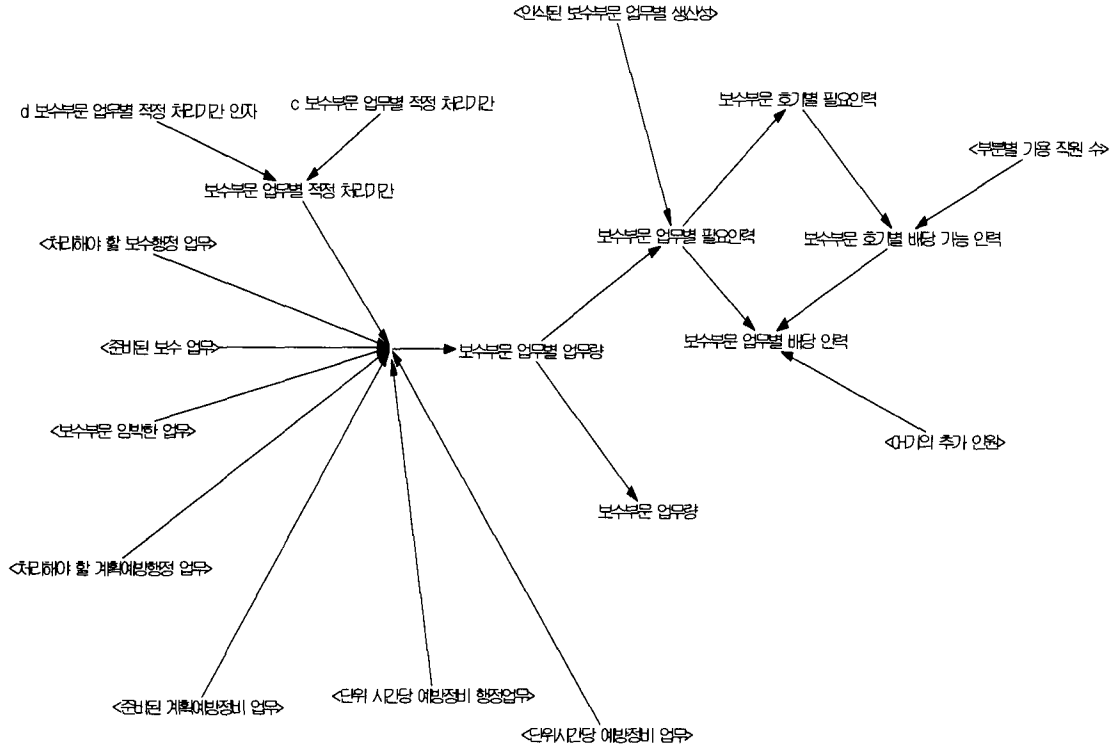
[그림-98] 운전부문 생산성



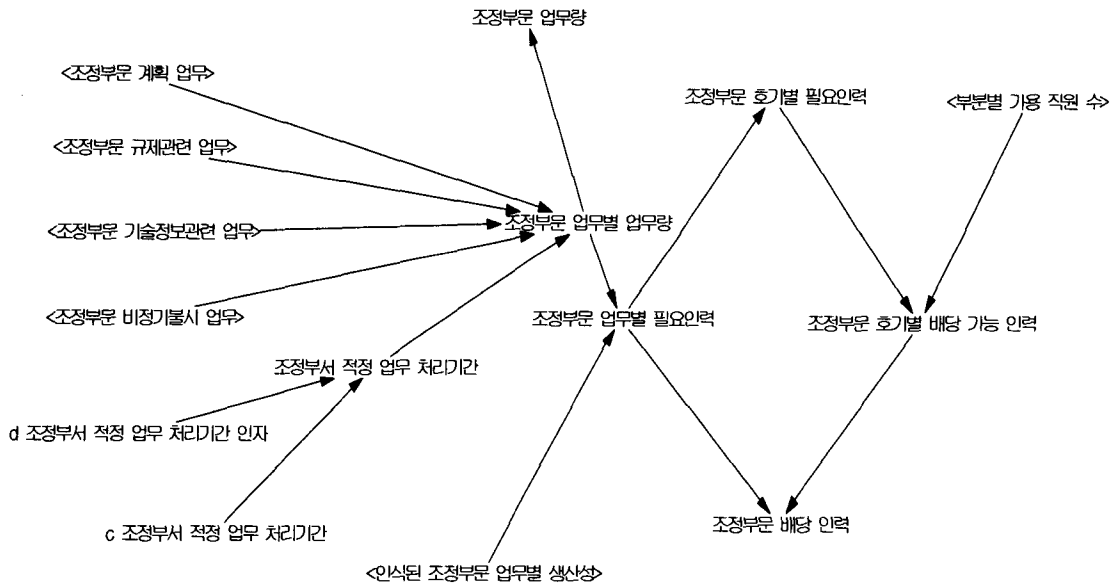
[그림-99] 중간관리자 생산성



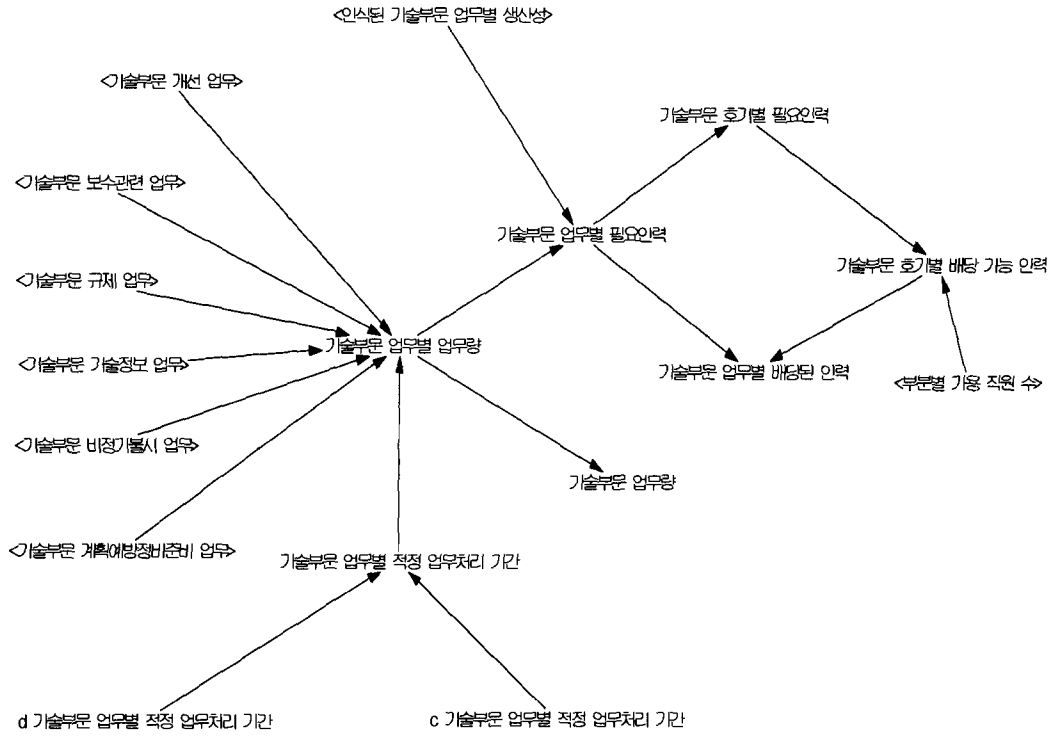
[그림-100] 최고경영자 생산성



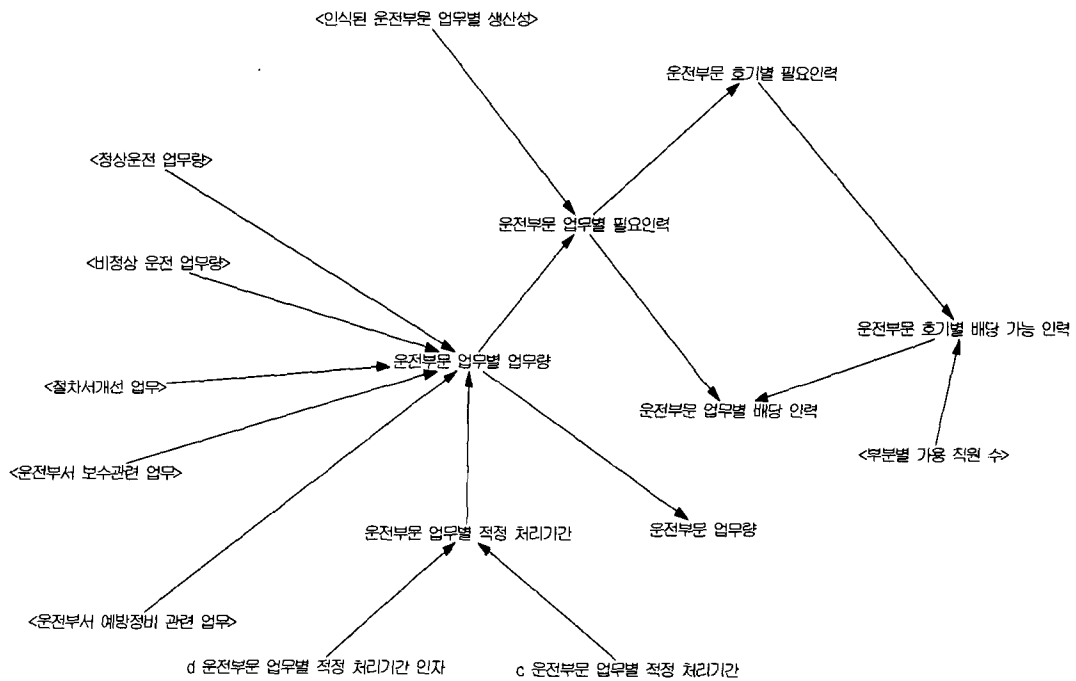
[그림-101] 보수부문 인력배당



[그림-102] 조정부문 인력배당

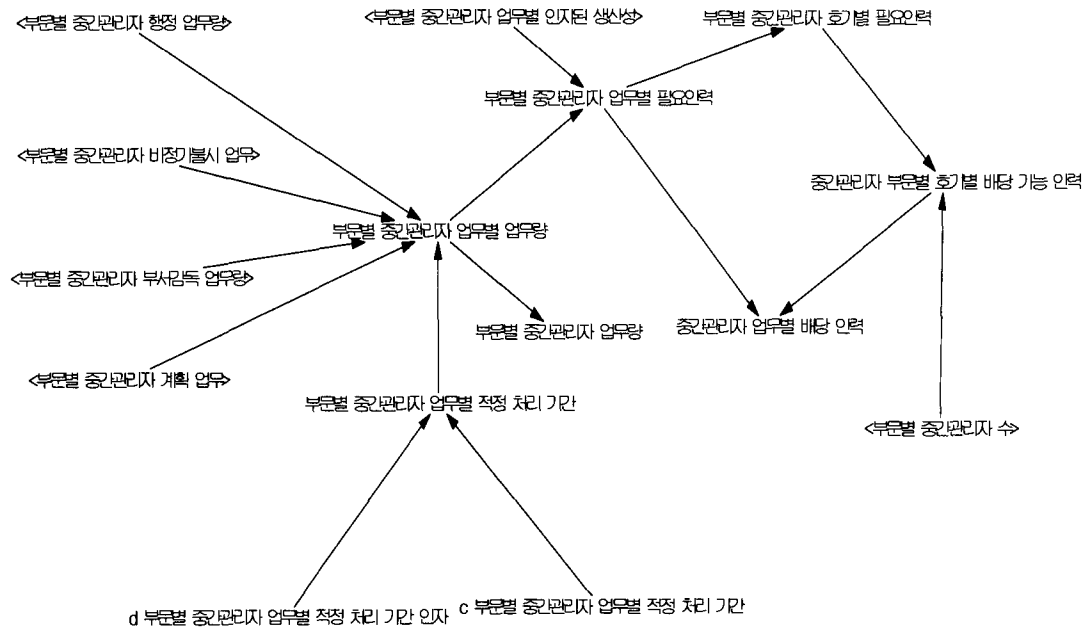


[그림-103] 기술부문 인력배당

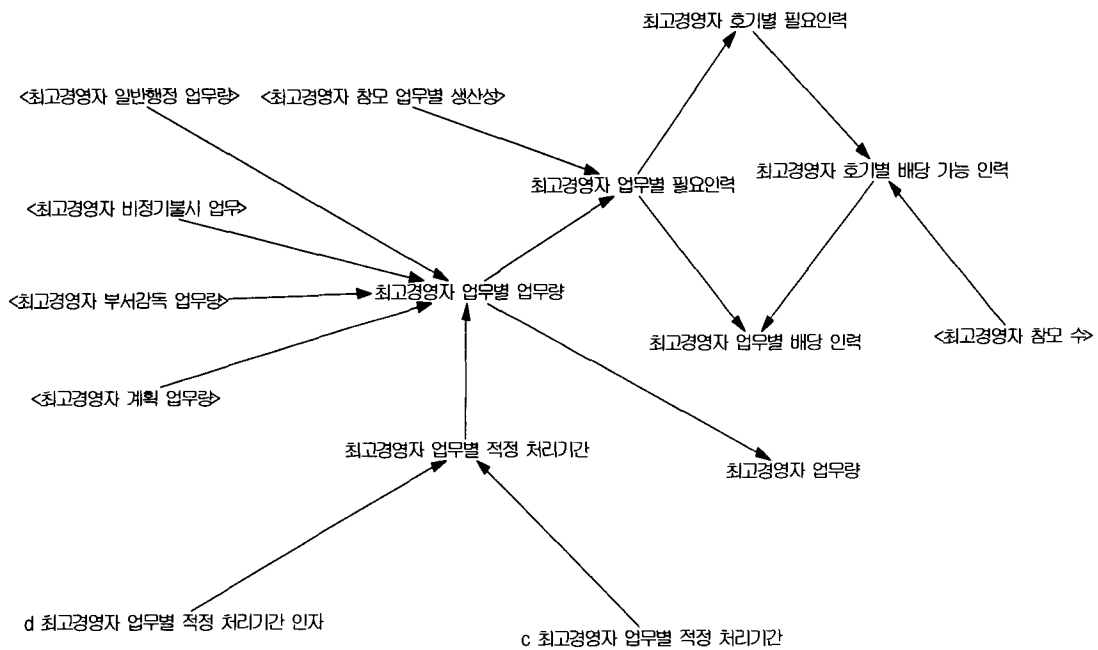


[그림-104] 운전부문 인력배당

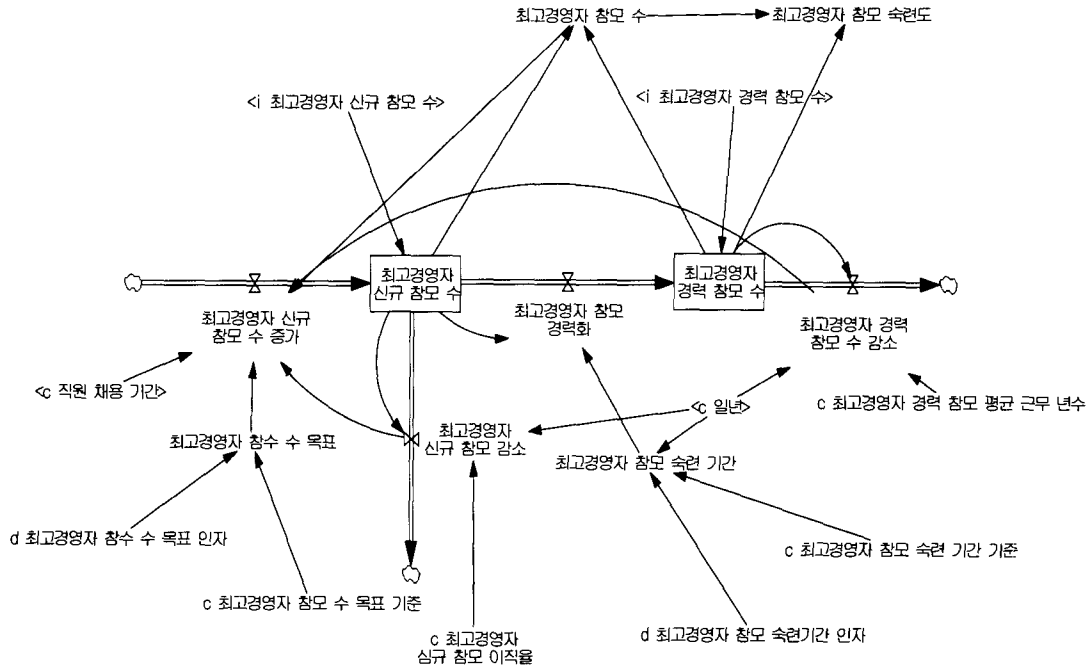




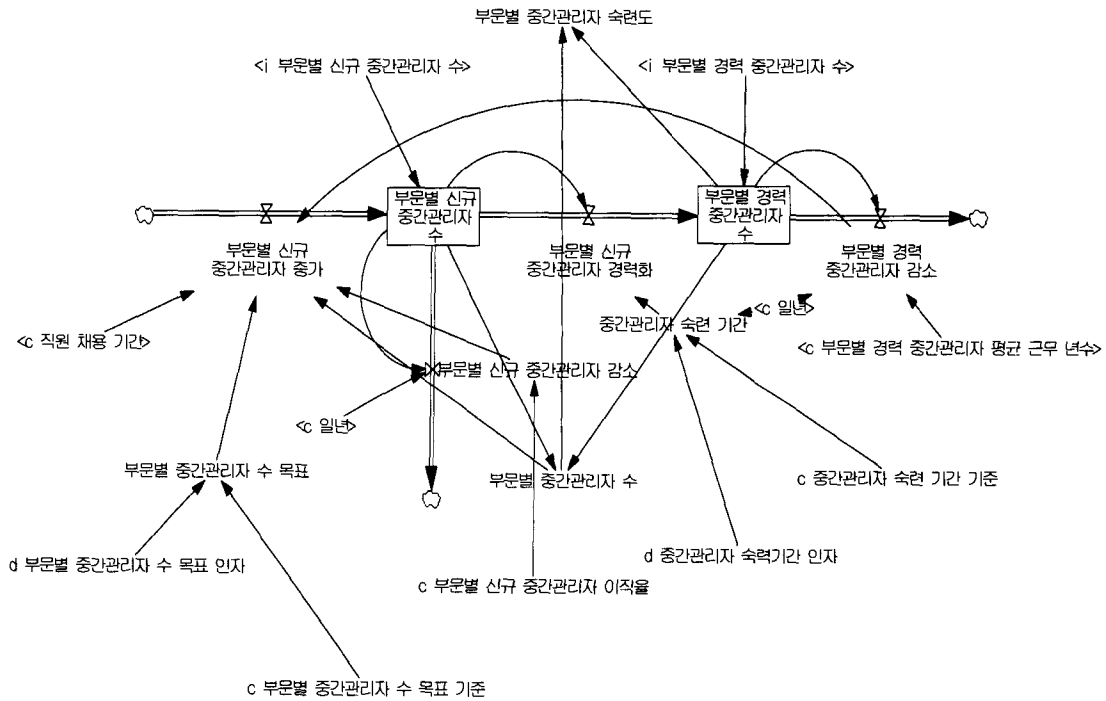
[그림-105] 중간관리자 인력배당



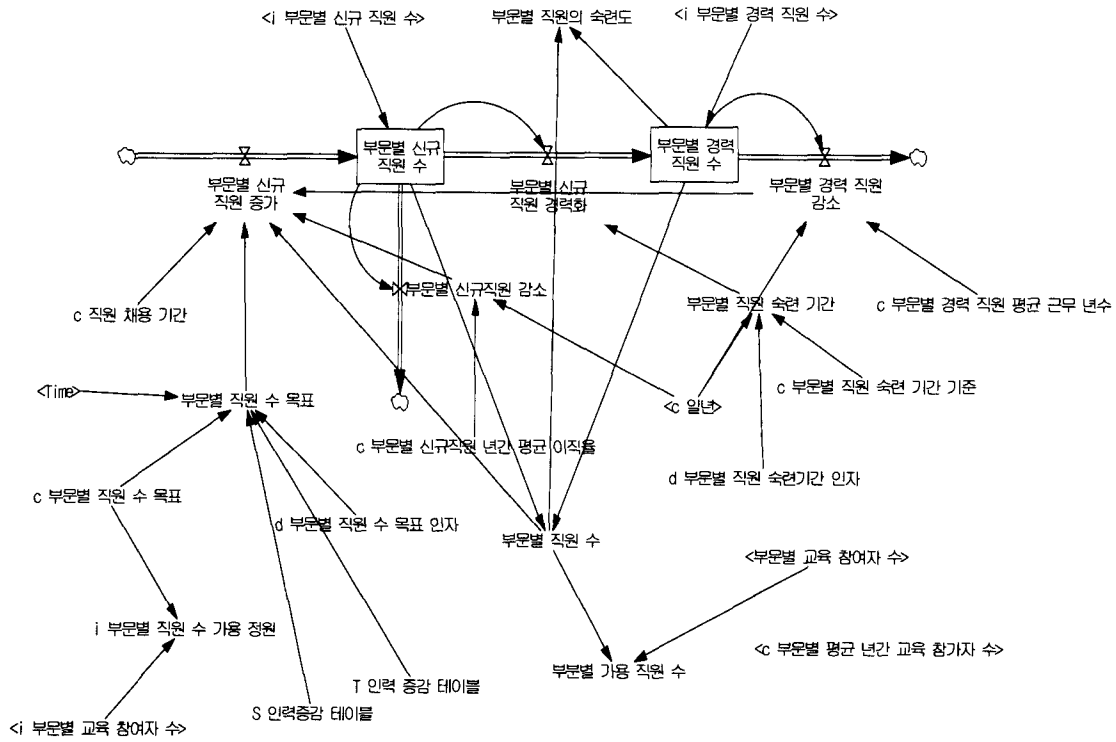
[그림-106] 최고경영자 인력배당



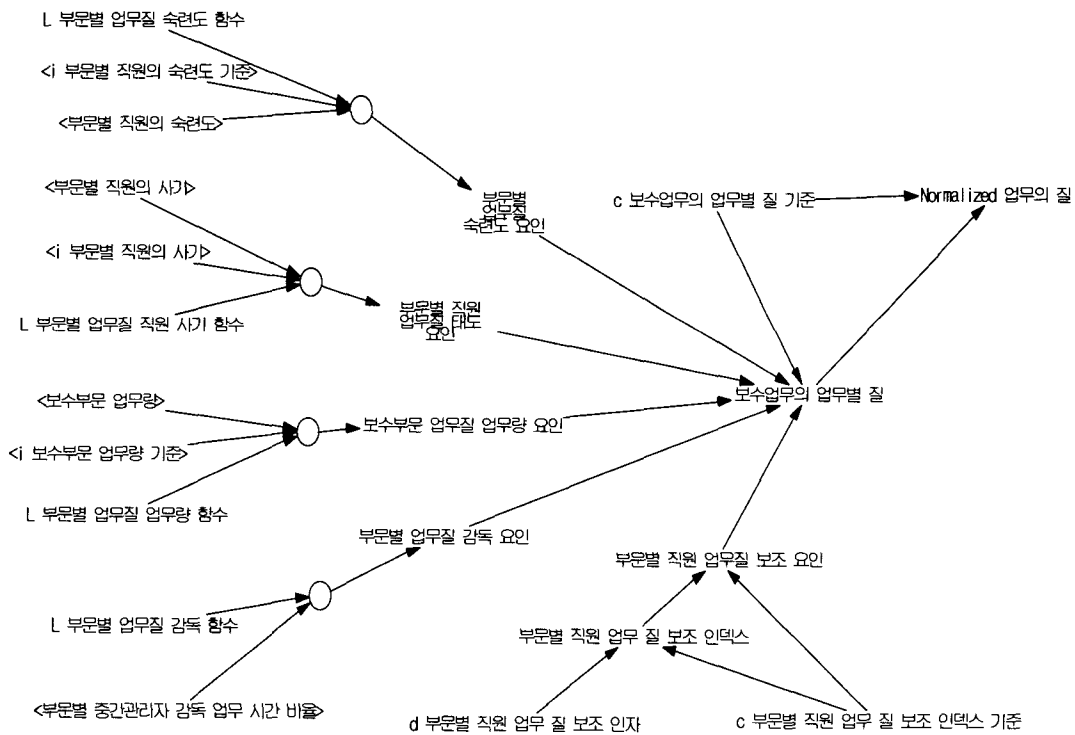
[그림-107] 최고경영자 정원



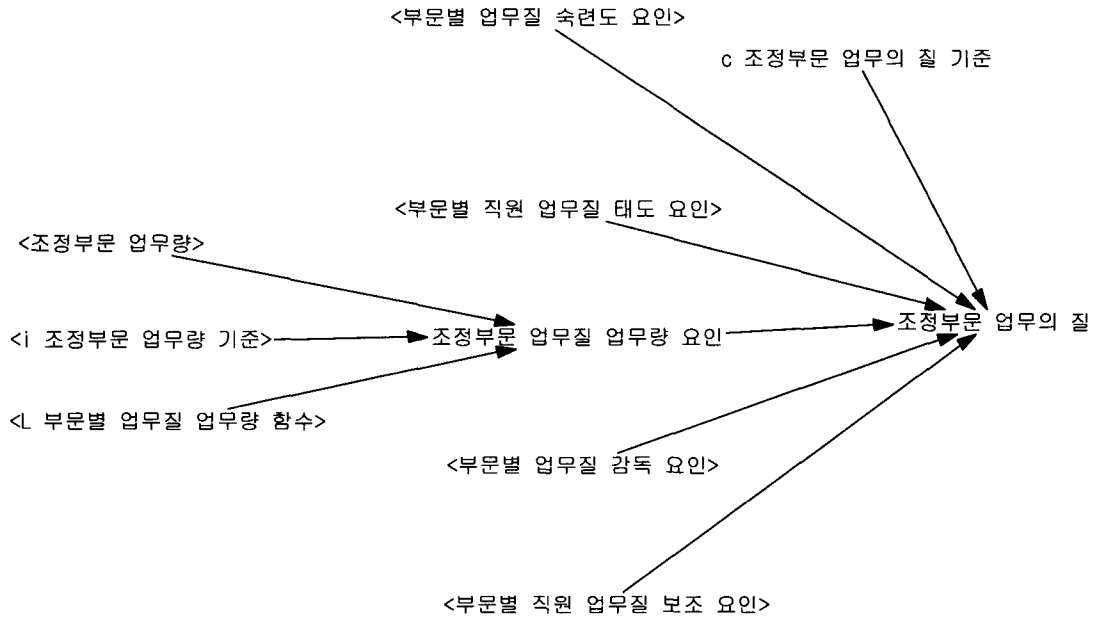
[그림-108] 중간관리자 정원



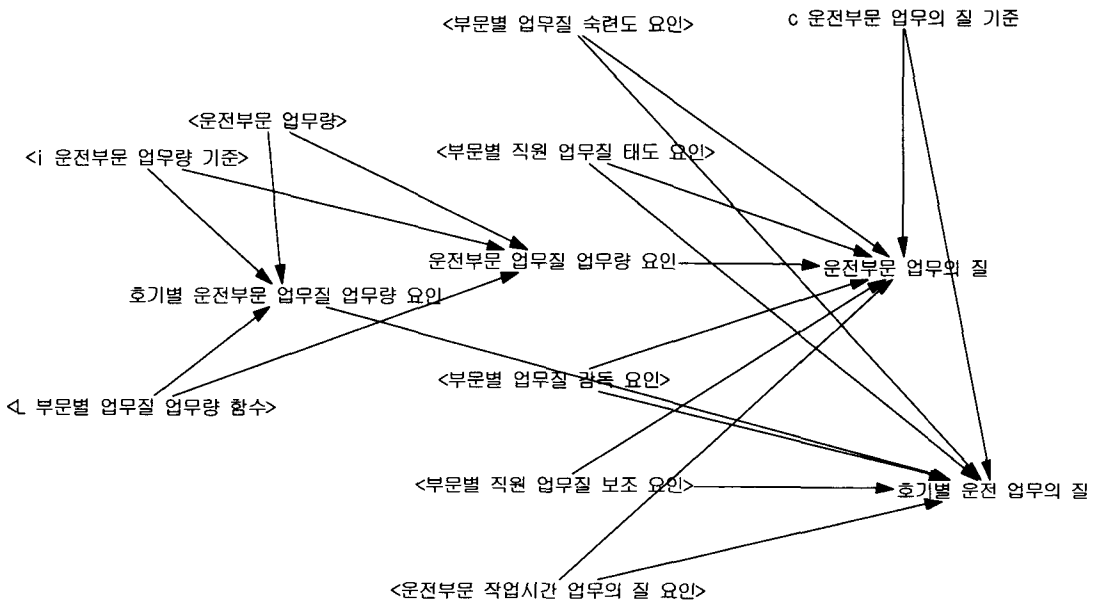
[그림-109] 직원 정원



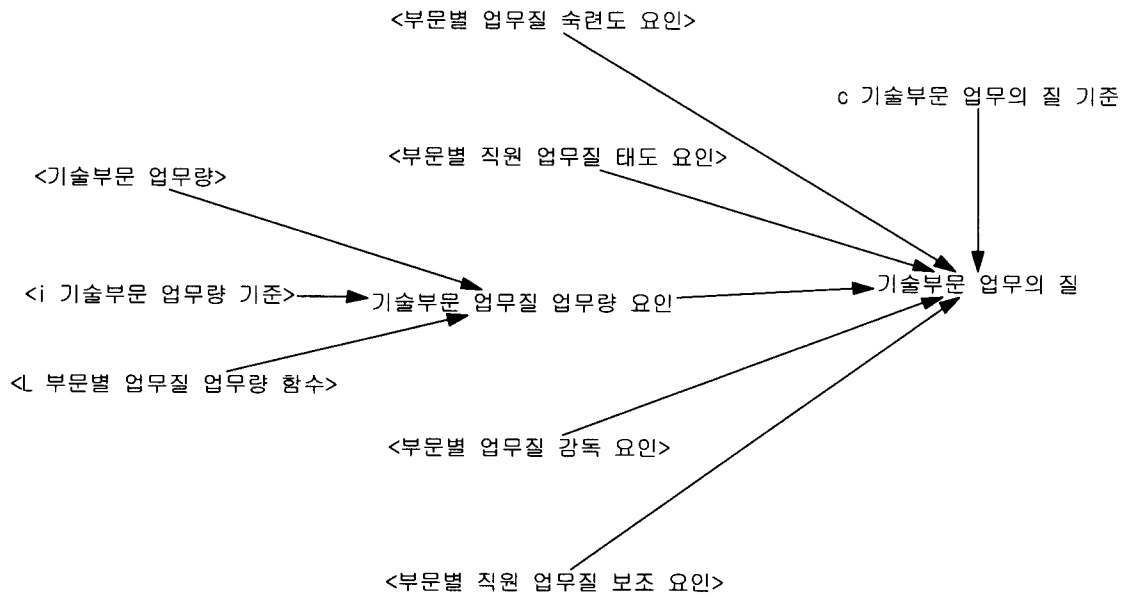
[그림-110] 보수부문 업무의 질



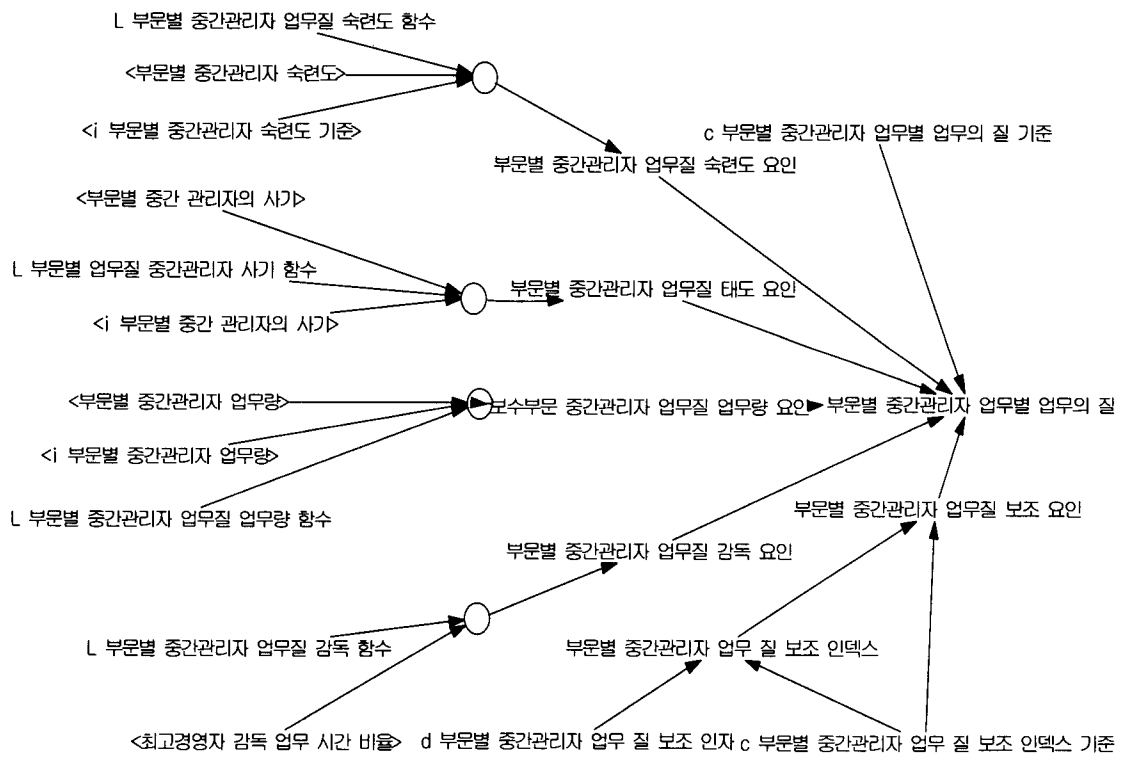
[그림-111] 조정부문 업무의 질



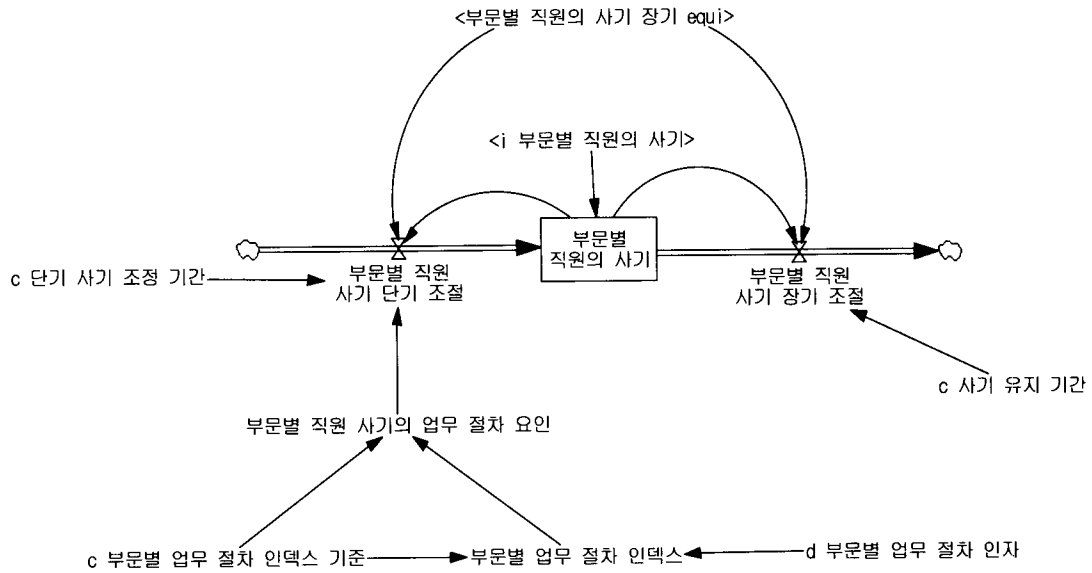
[그림-112] 운전부문 업무의 질



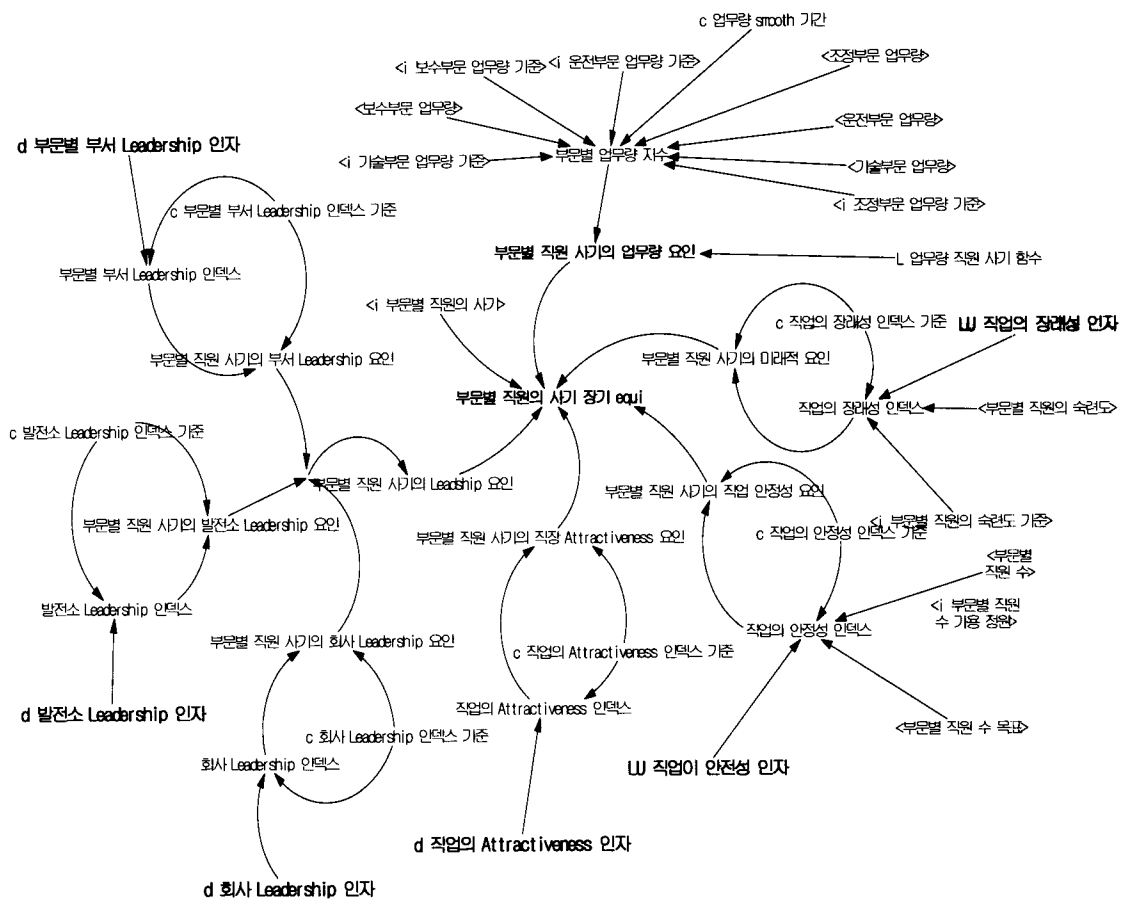
[그림-113] 기술부문 업무의 질



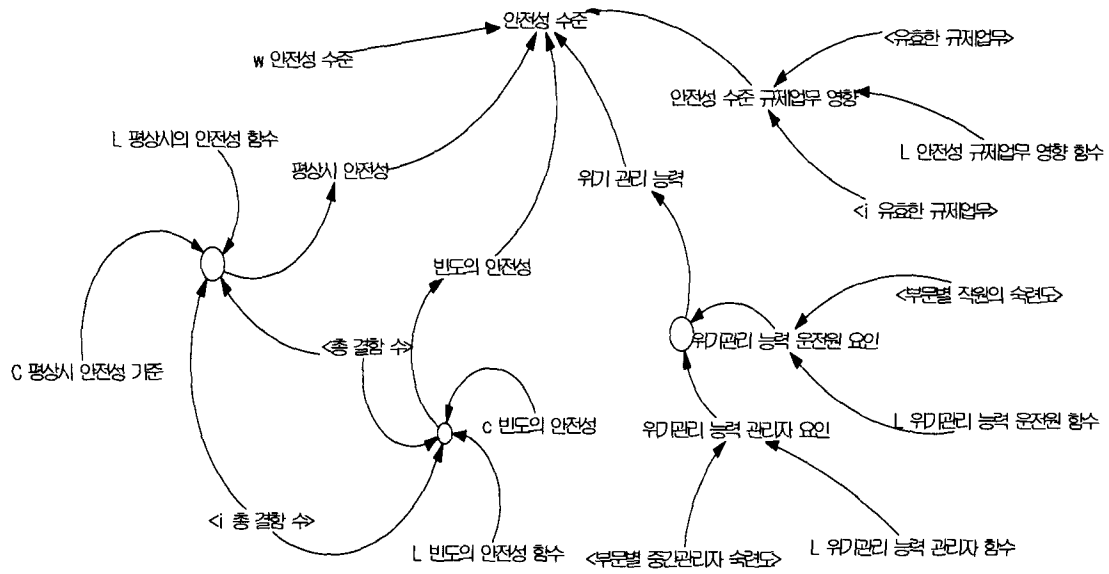
[그림-114] 중간관리자 업무의 질



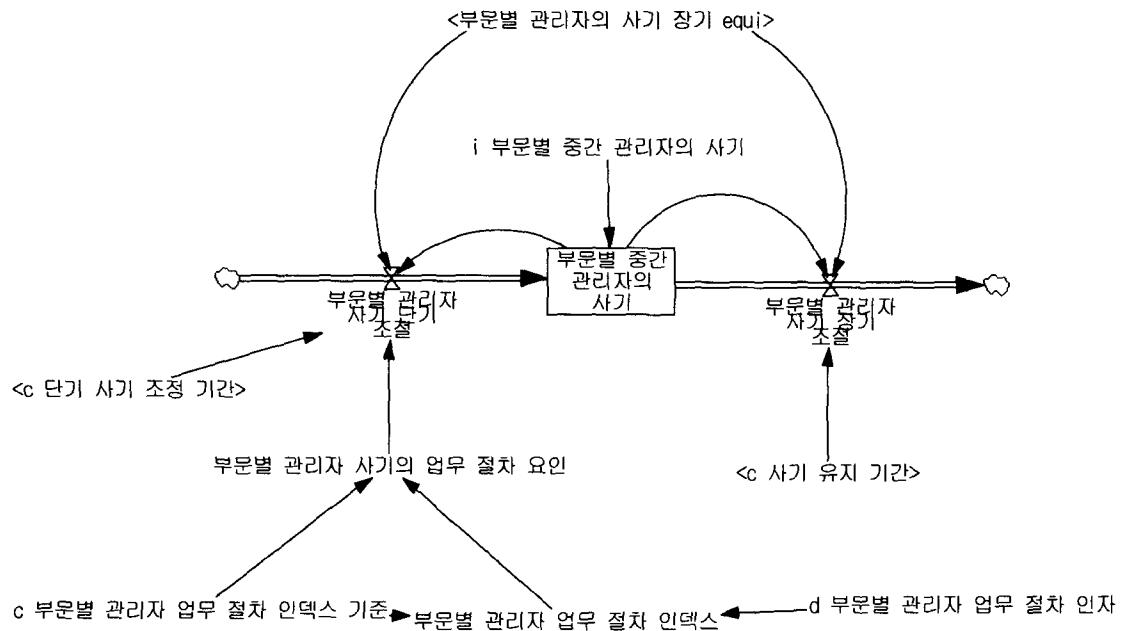
[그림-115] 직원의 사기1



[그림-116] 직원의 사기2



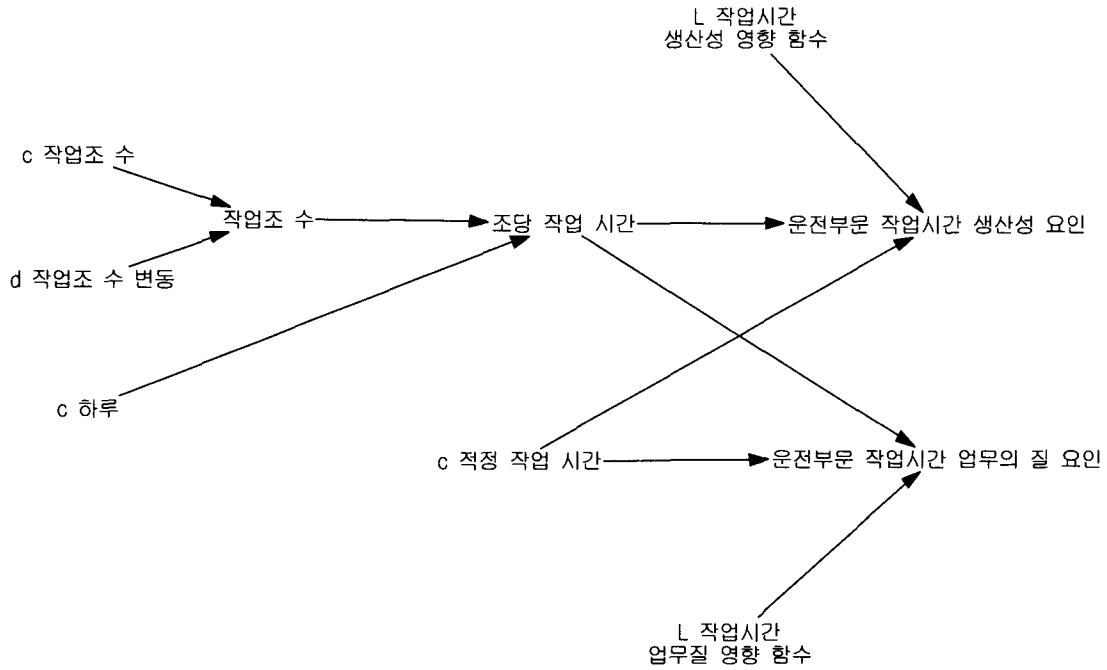
[그림-117] 안전성 지표



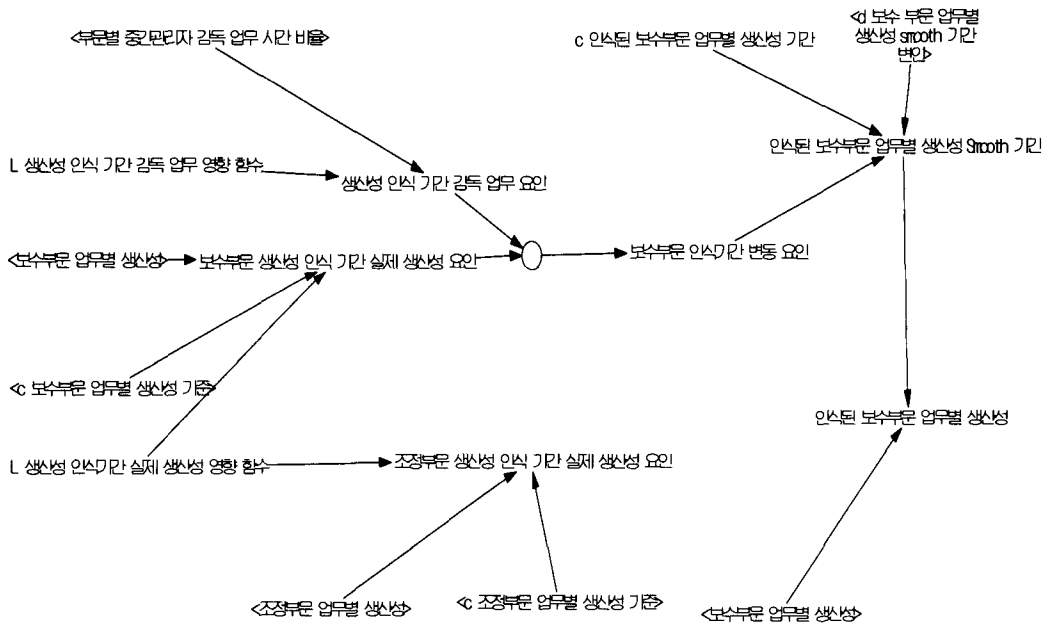
[그림-118] 중간관리자의 사기1



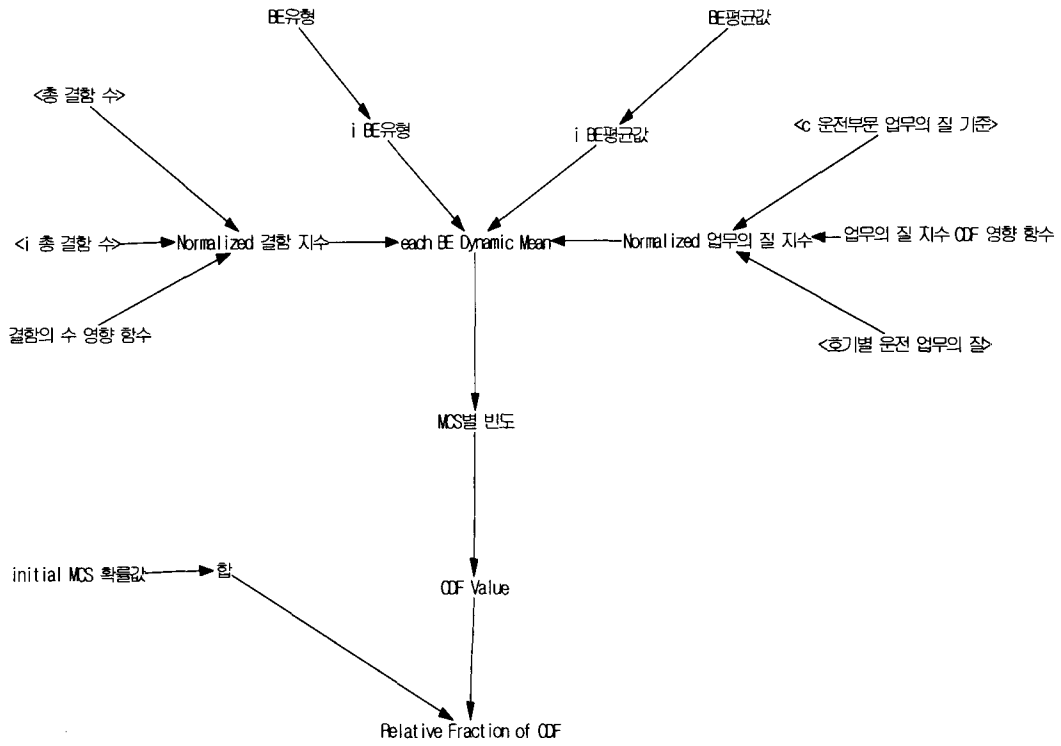




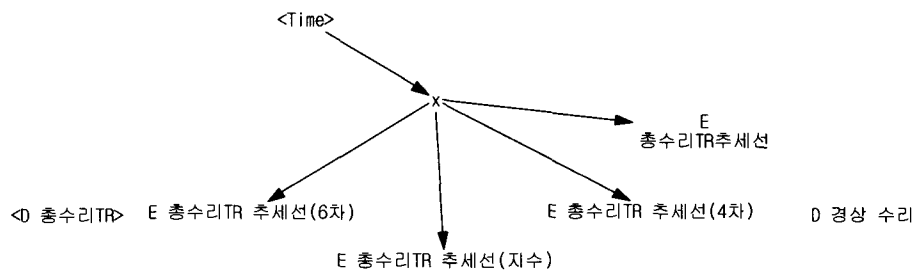
[그림-121] 운전원 작업조



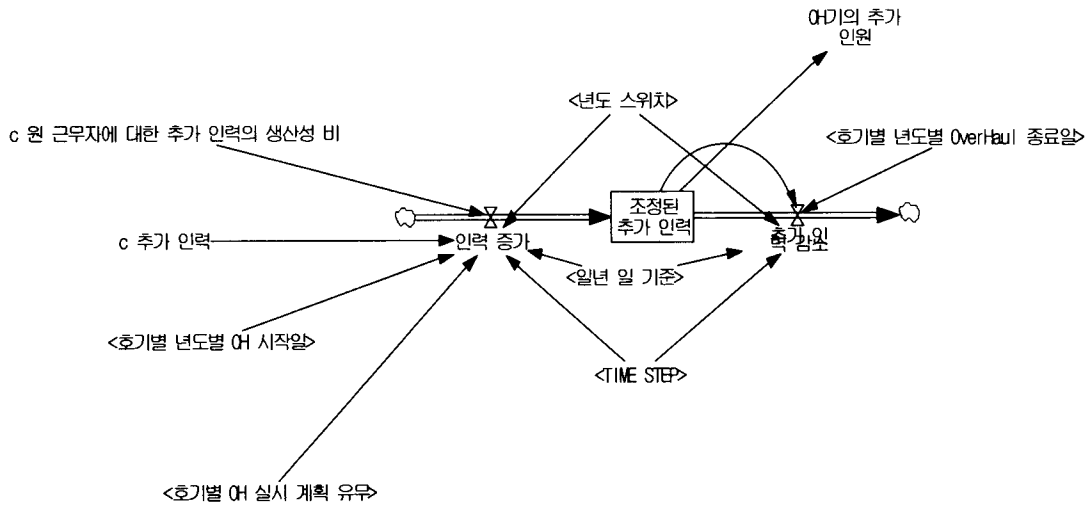
[그림-122] 생산성 인식



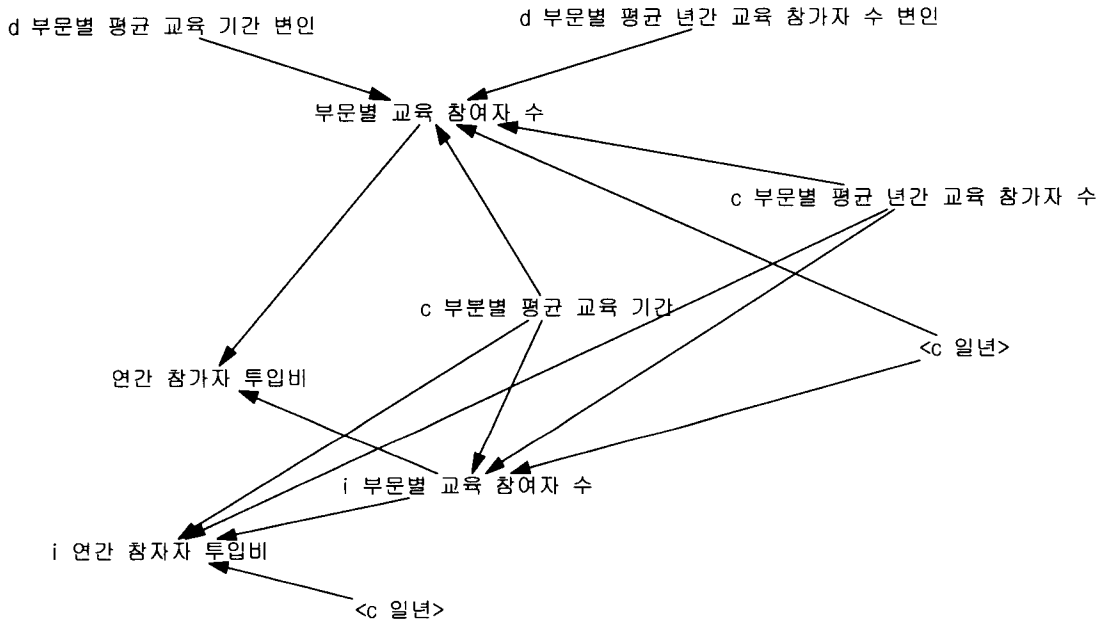
[그림-123] CDF



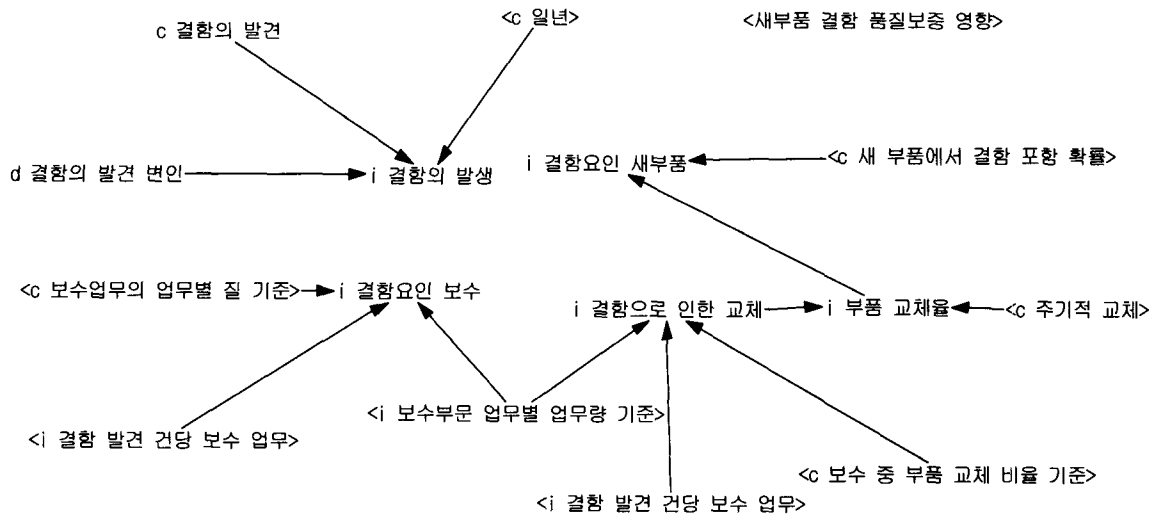
[그림-124] 추세선 작성



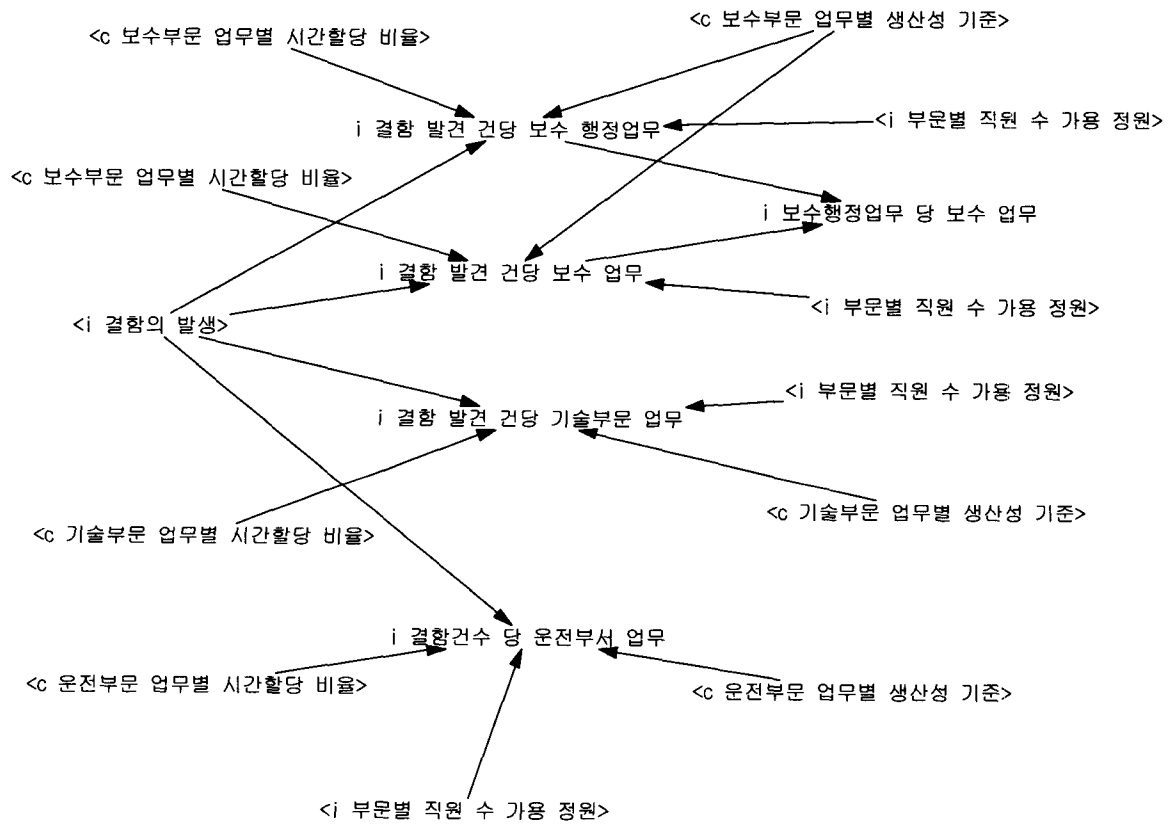
[그림-125] OH 추가 인력



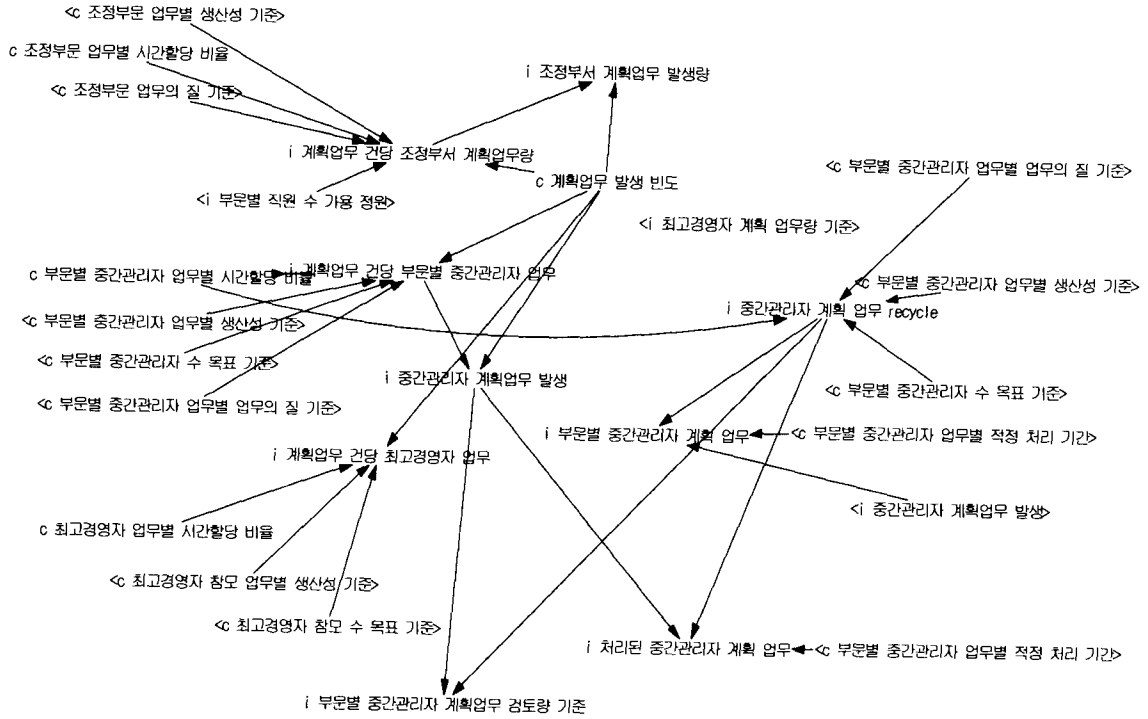
[그림-126] 교육기간 인원



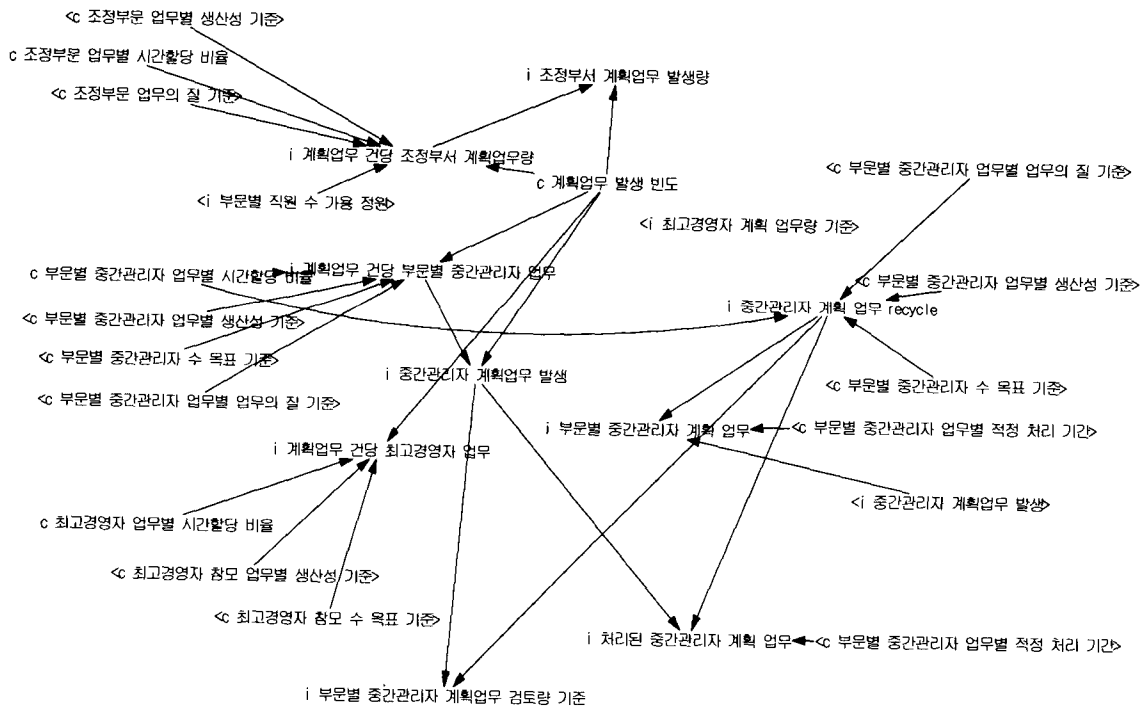
[그림-127] 결함의 발생(초기값)



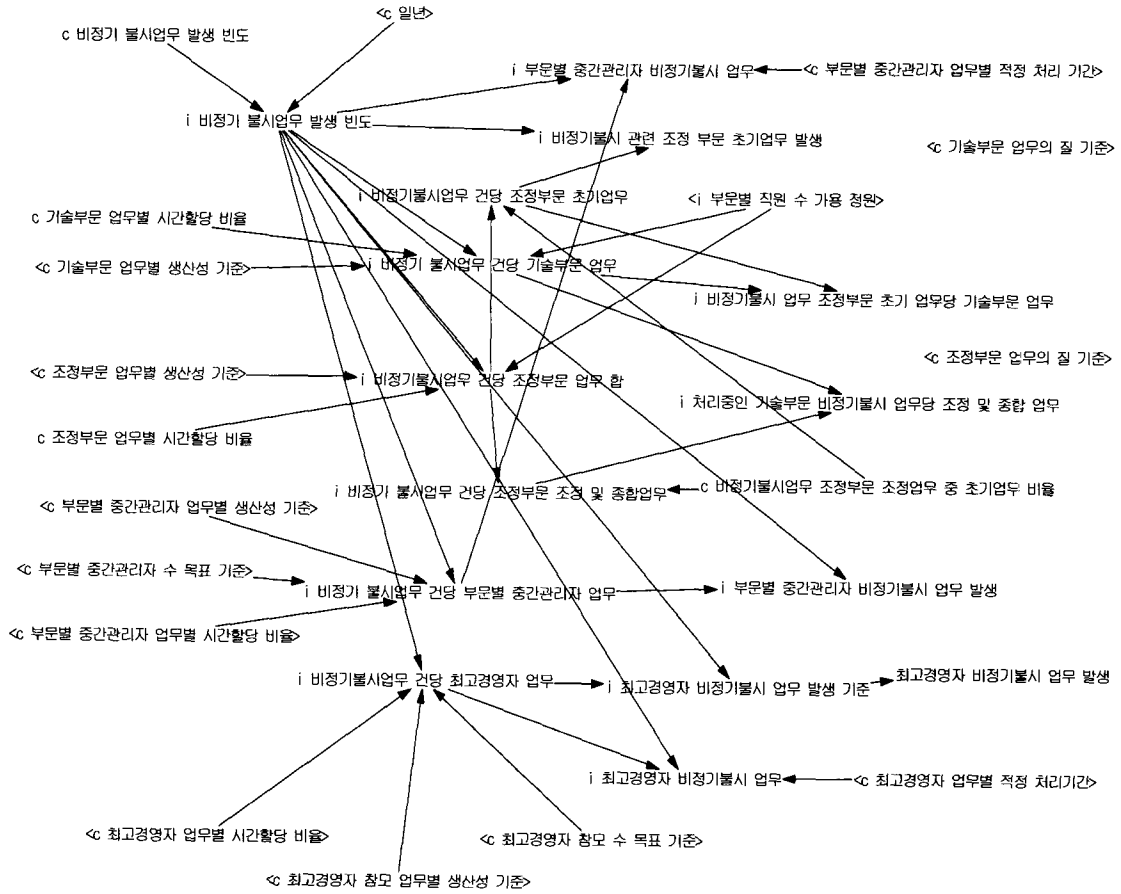
[그림-128] 초기값 계산1



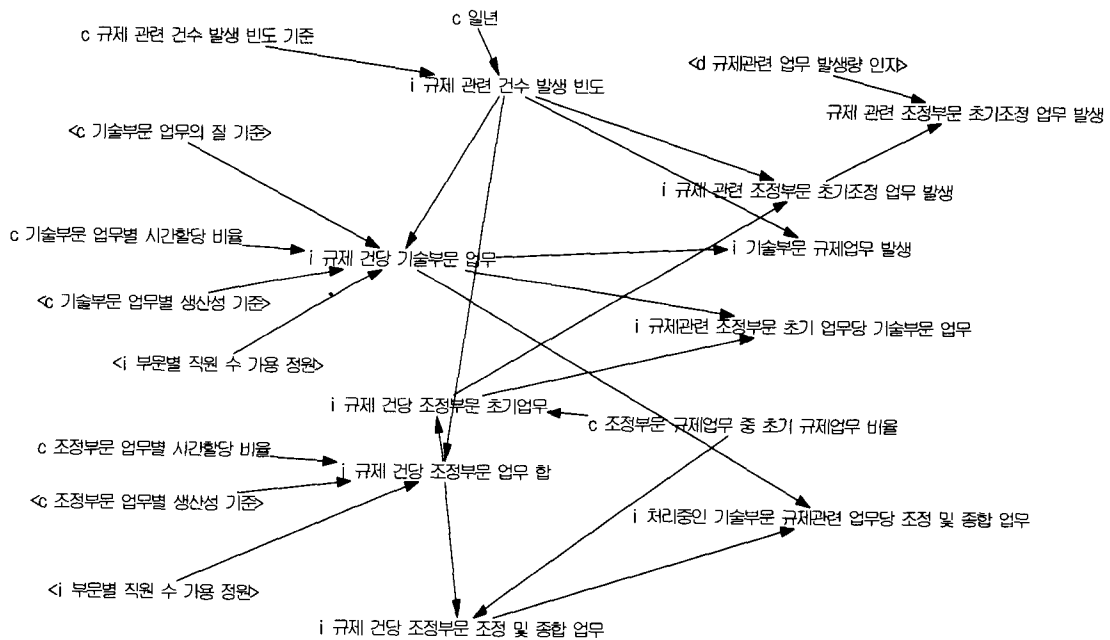
[그림-129] 초기값 계산2



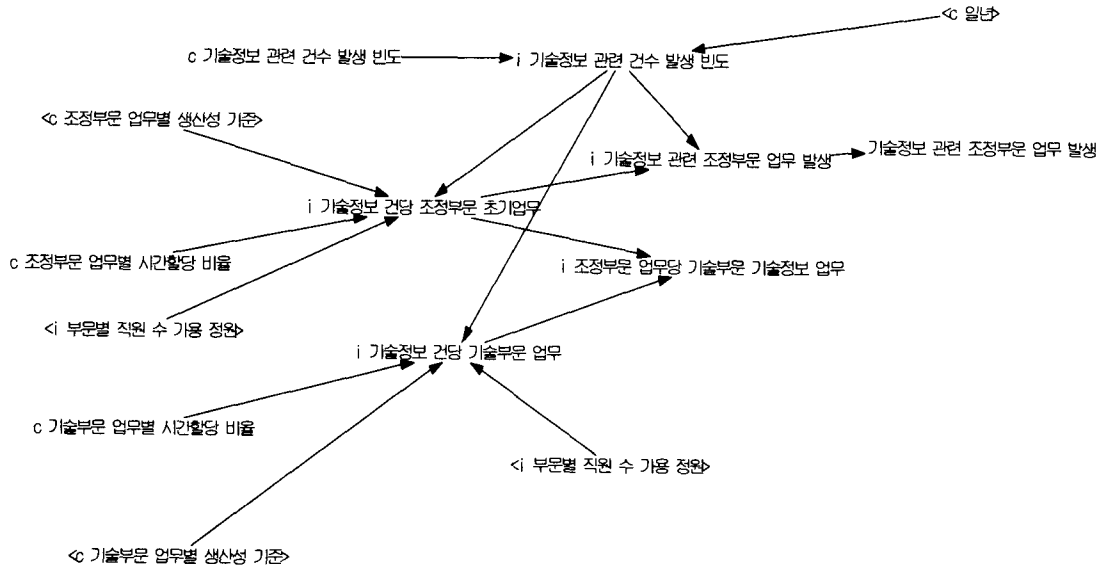
[그림-130] 초기값 계산3



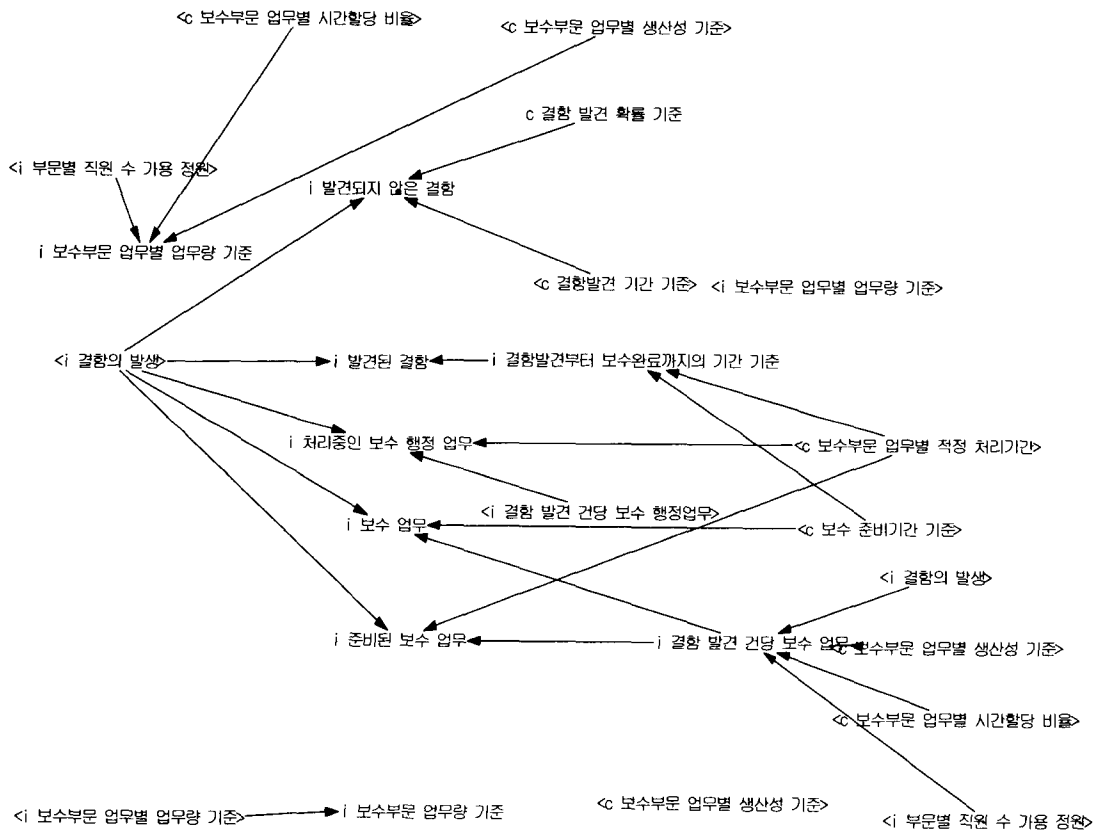
[그림-131] 초기값 계산4



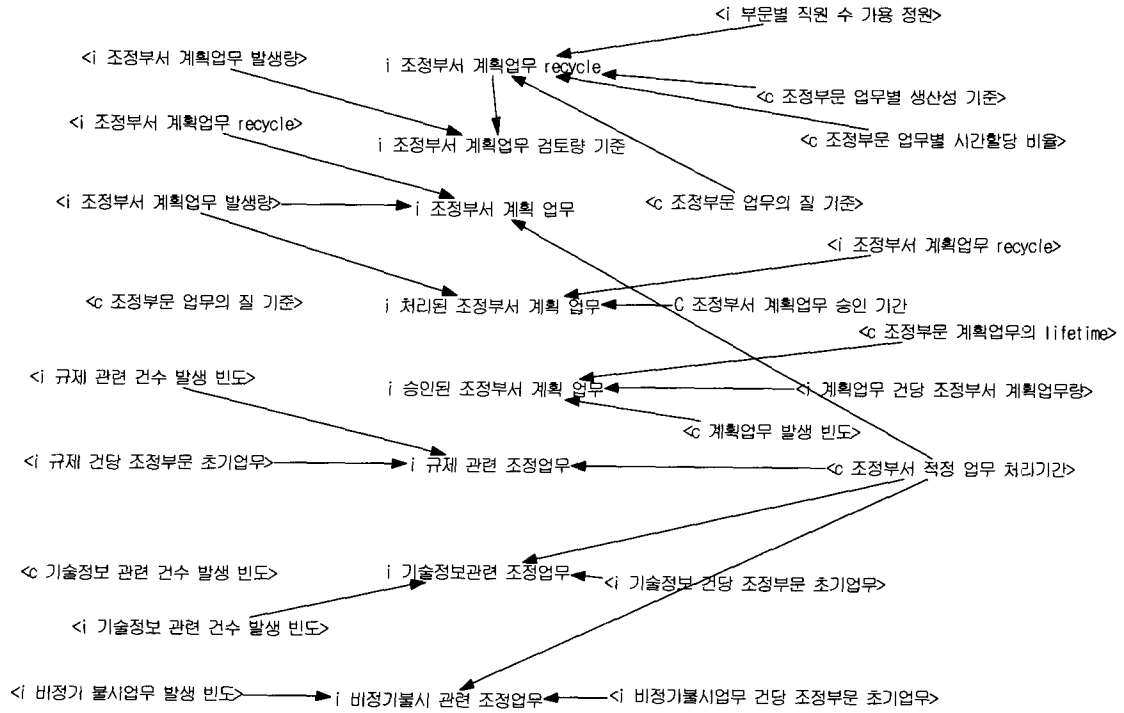
[그림-132] 초기값 계산5



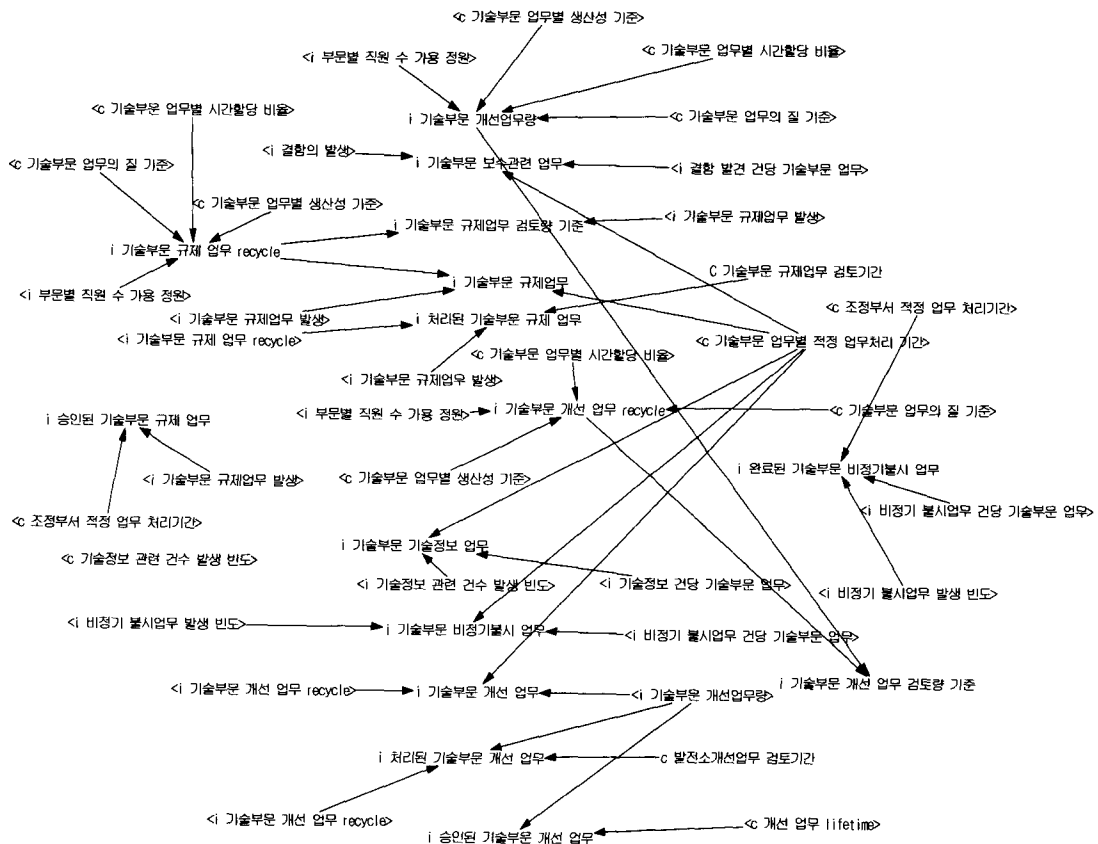
[그림-133] 초기값 계산6



[그림-134] 초기값 계산7

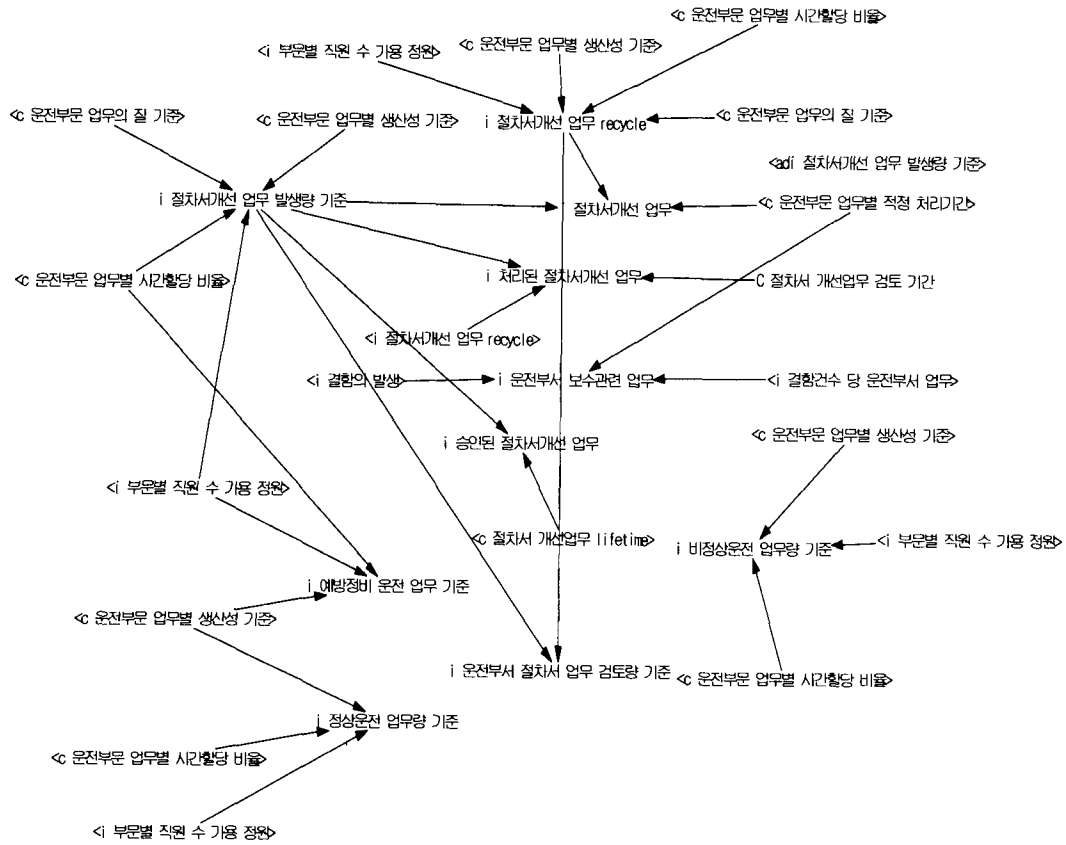


[그림-135] 초기값 계산8

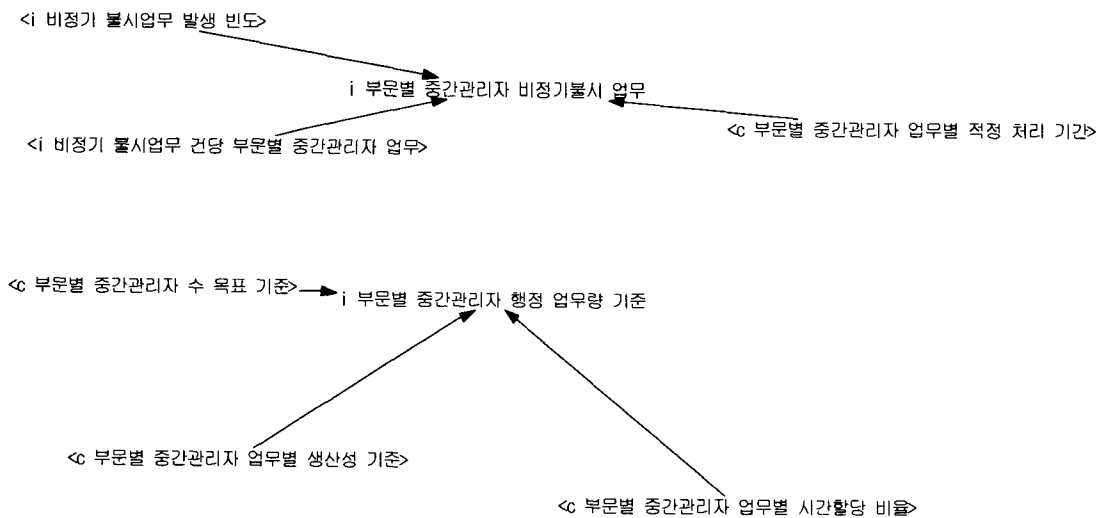


[그림-136] 초기값 계산9





[그림-137] 초기값 계산10



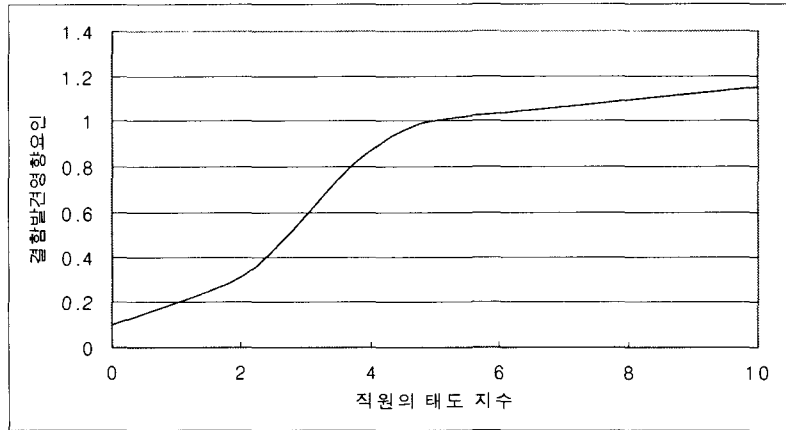
[그림-138] 초기값 계산11



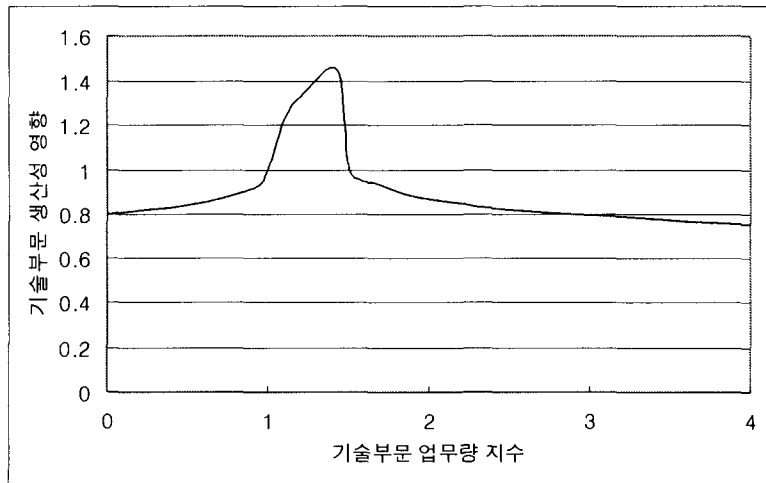


부록 5  
참조함수

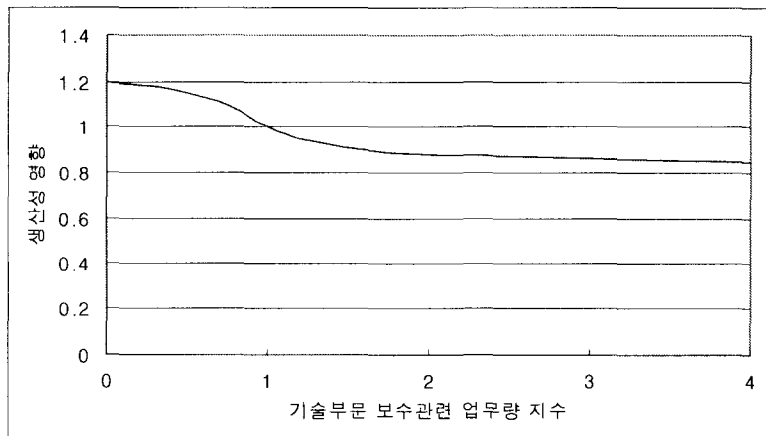
여 백



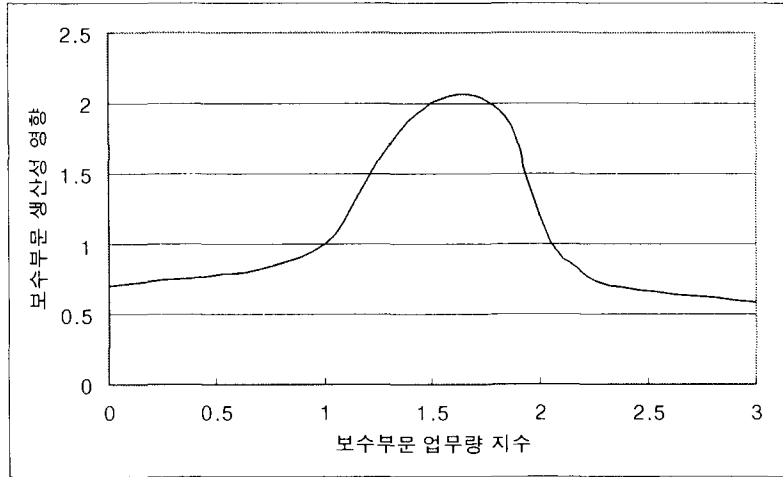
[그림- 1] 결함발견 확률 근무태도 요인



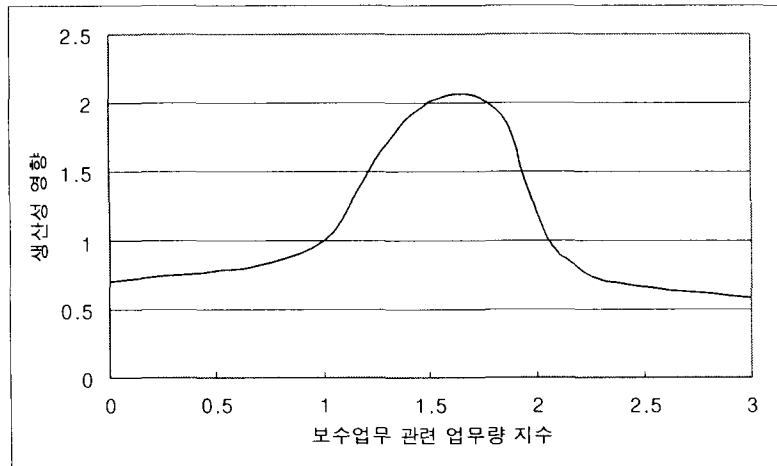
[그림- 2] 기술부문 생산성 업무량 요인



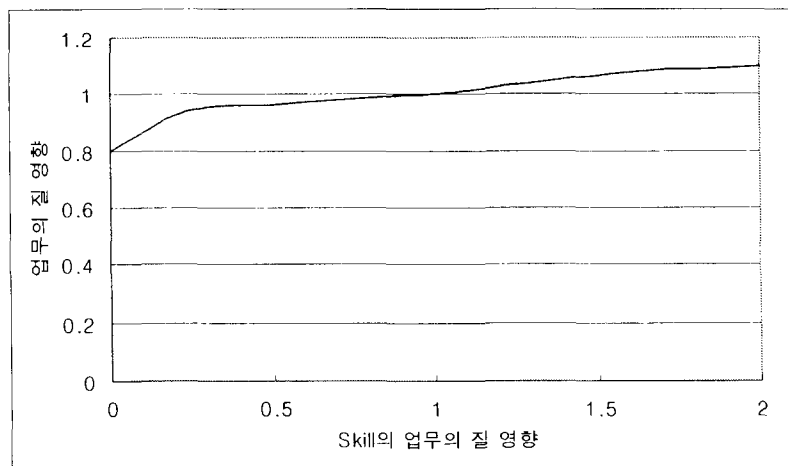
[그림- 3] 기술부문 협조의 보수부문 생산성 영향



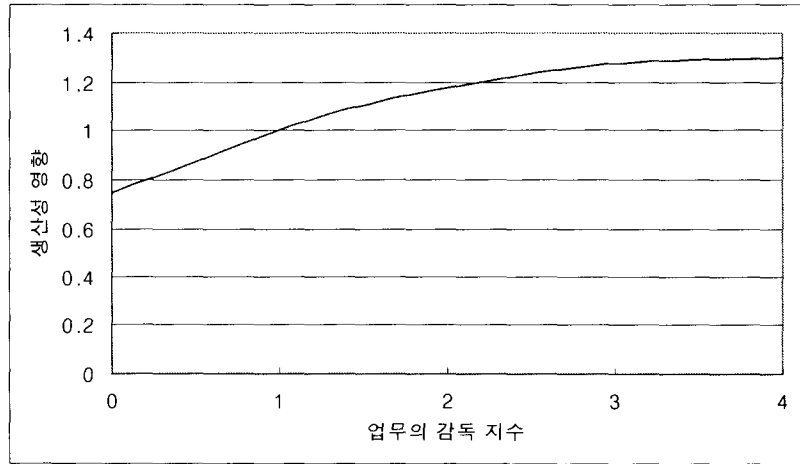
[그림- 4] 보수부문 생산성 업무량 요인



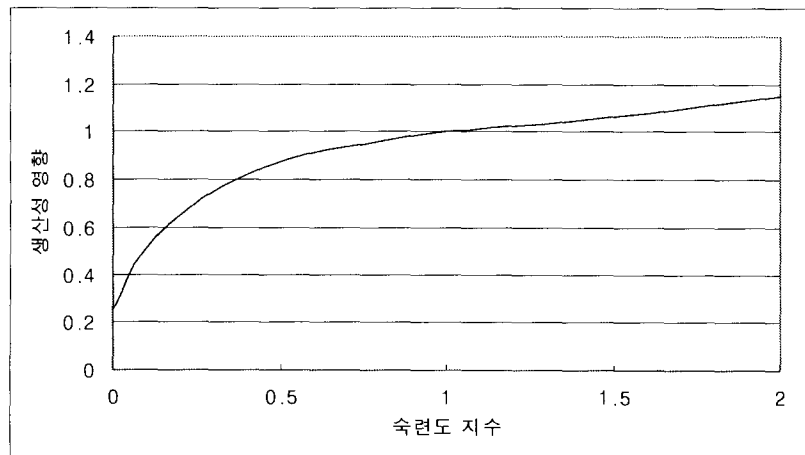
[그림- 5] 운전부서의 협조의 보수부문 생산성 영향



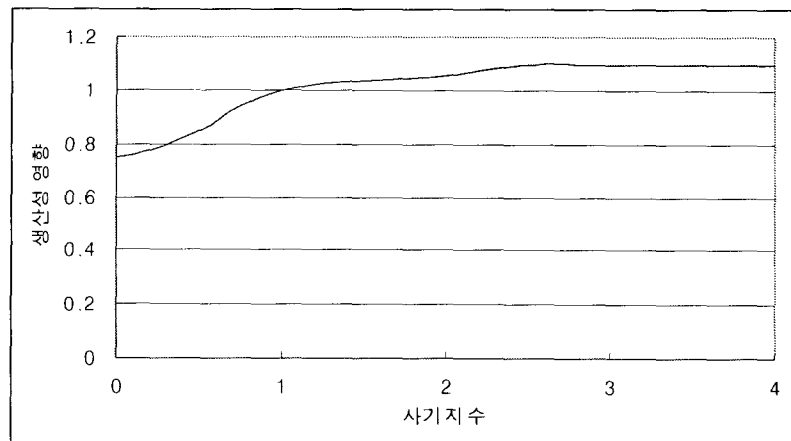
[그림- 6] Skill의 업무의 질 영향



[그림- 7] 업무의 감독의 생산성 영향

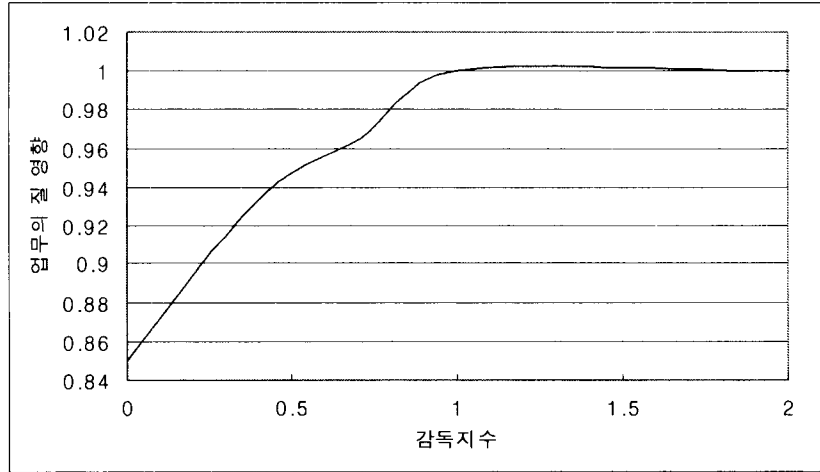


[그림- 8] 숙련도 생산성 영향

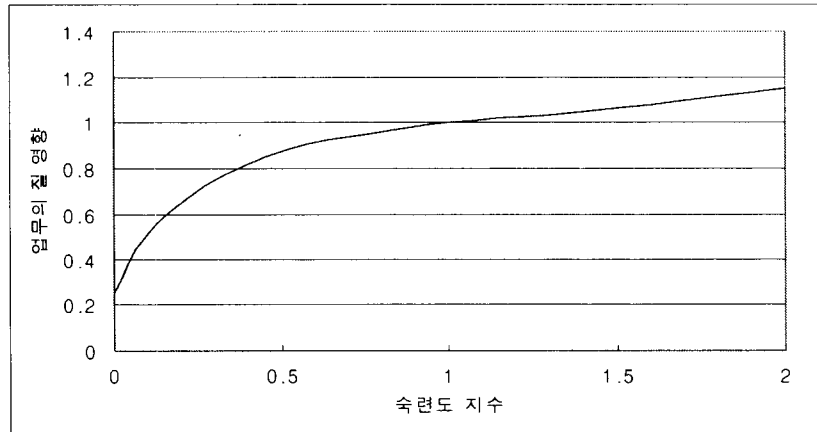


[그림- 9] 사기 생산성 영향

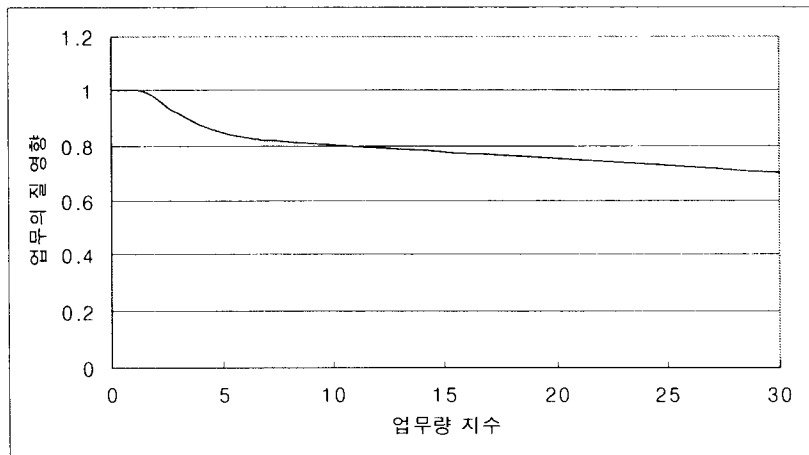




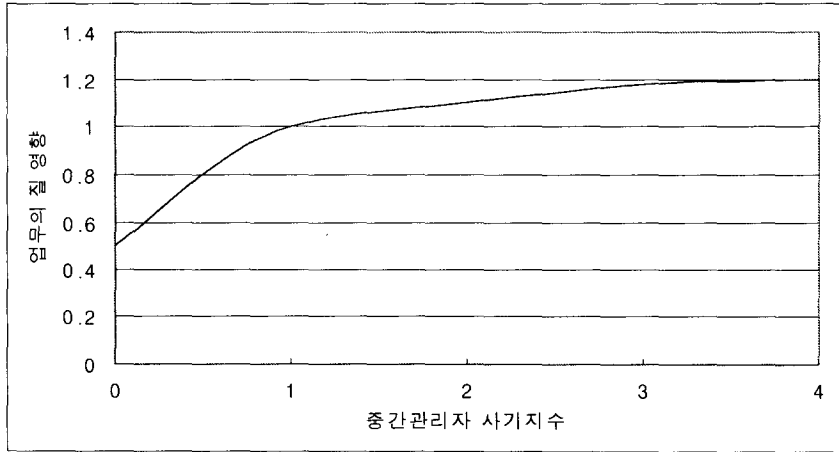
[그림- 10] 감독의 업무의 질 영향



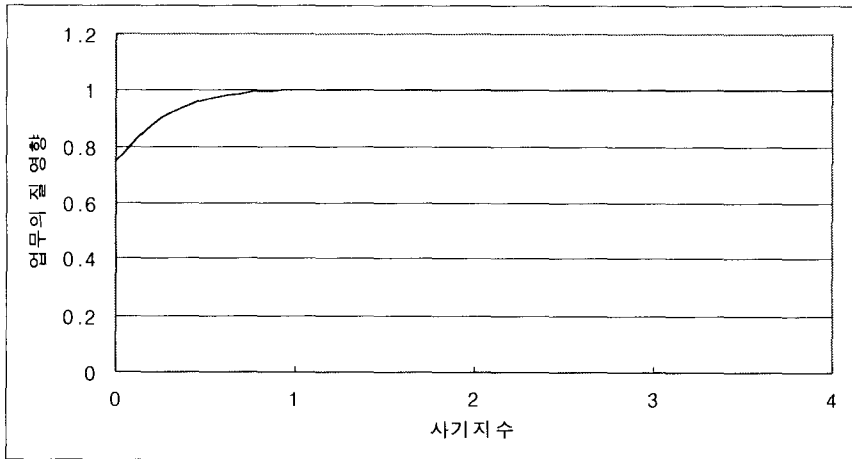
[그림- 11] 숙련도의 업무의 질 영향



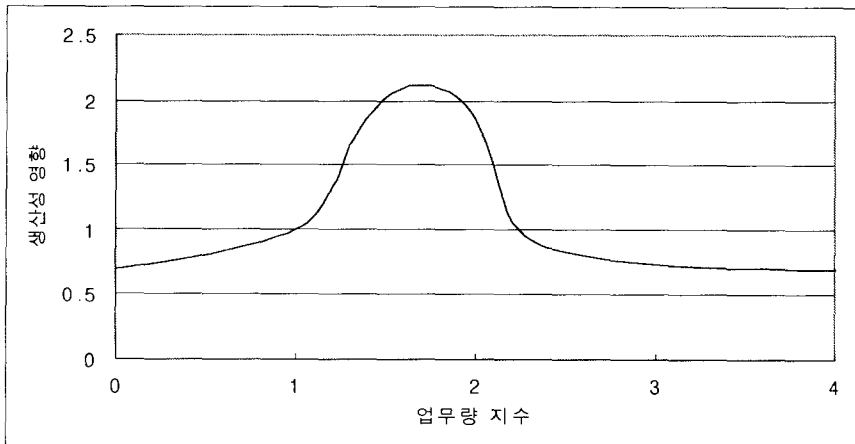
[그림- 12] 업무량 업무의 질 영향



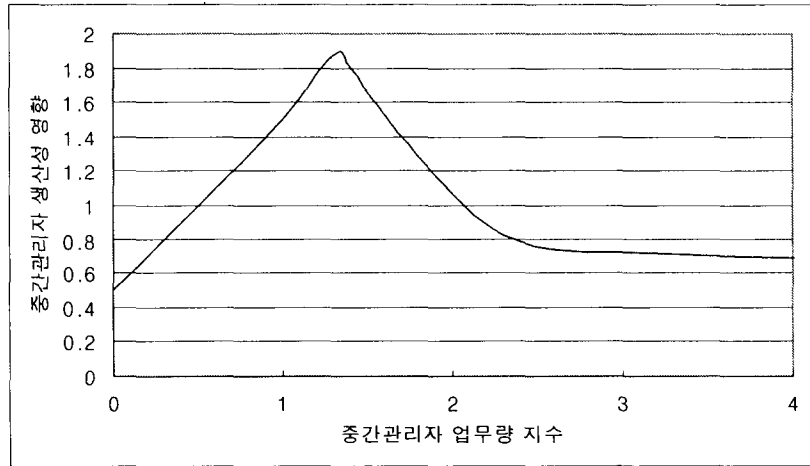
[그림- 13] 중간관리자 사기의 중간관리자 업무의 질 영향



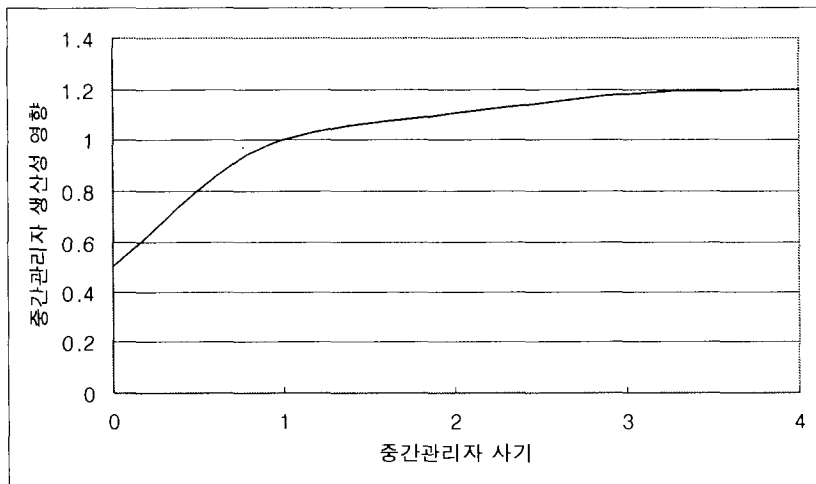
[그림- 14] 사기의 업무의 질 영향



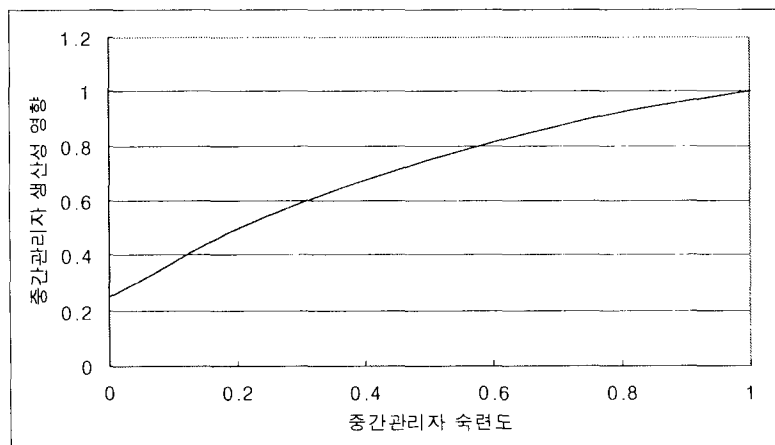
[그림- 15] 중간관리자 업무량 생산성 영향(경상정비)



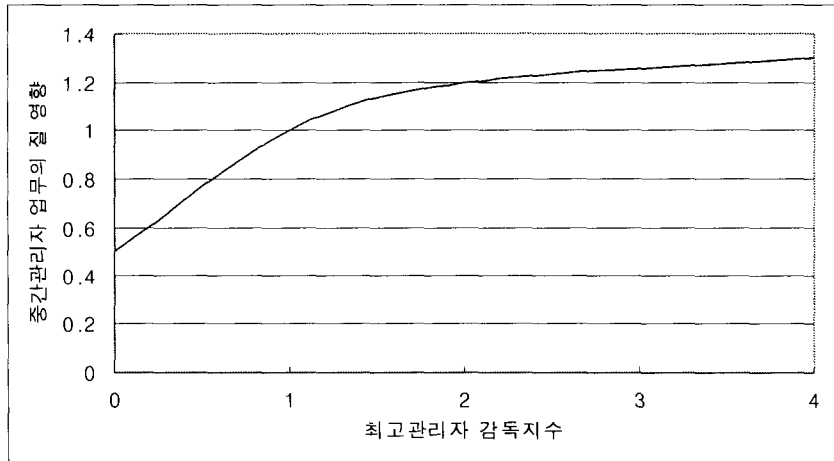
[그림- 16] 중간관리자 업무량 생산성 영향(예방정비)



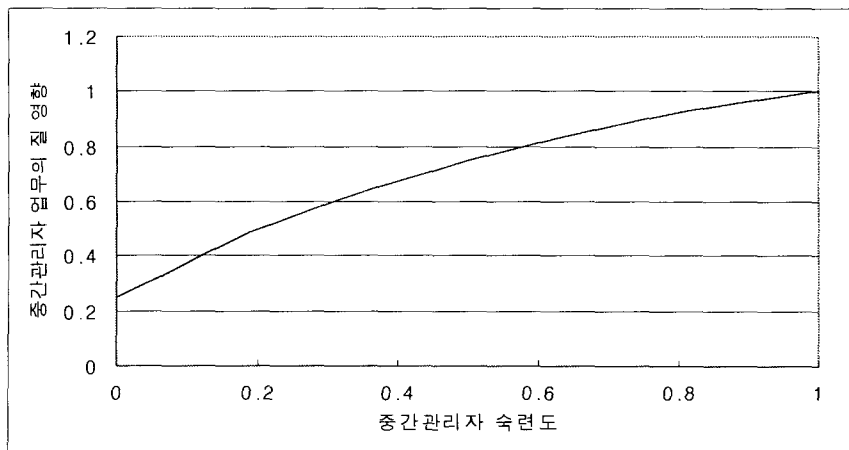
[그림- 17] 중간관리자 사기 생산성 영향



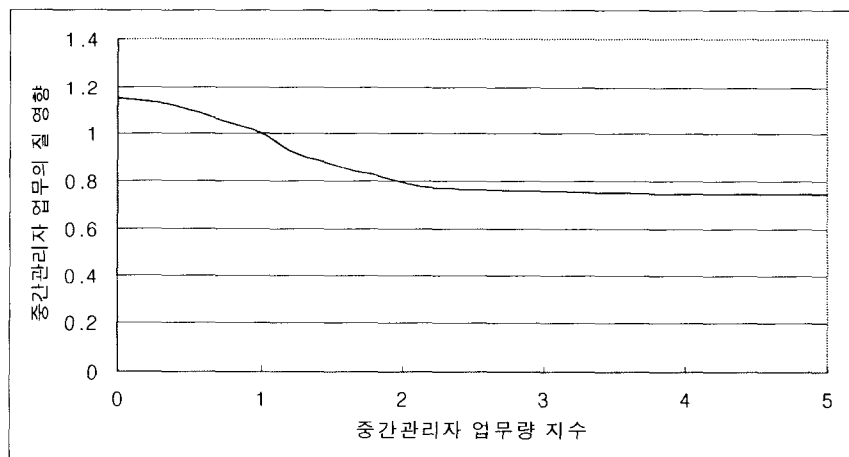
[그림- 18] 중간관리자 숙련도 생산성 영향



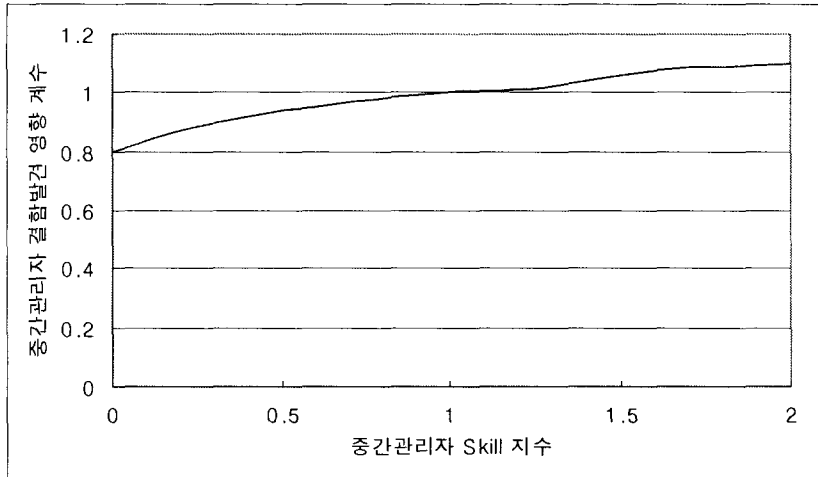
[그림- 19] 최고관리자 감독의 중간관리자 업무의 질 영향



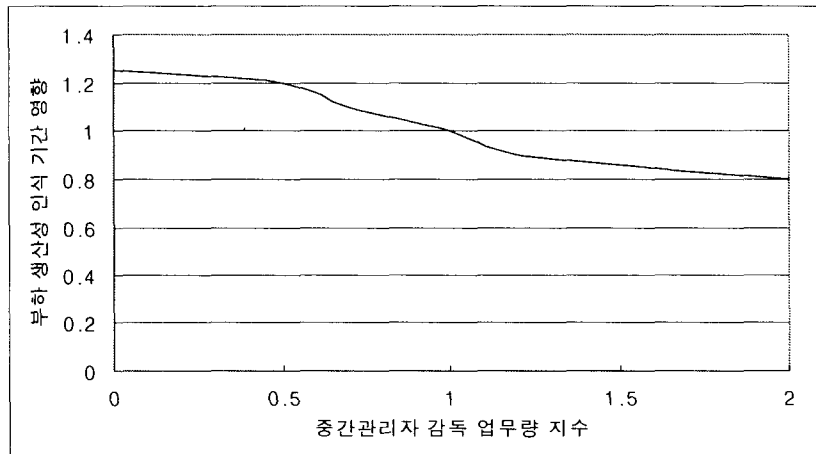
[그림- 20] 중간관리자 숙련도 업무의 질 영향



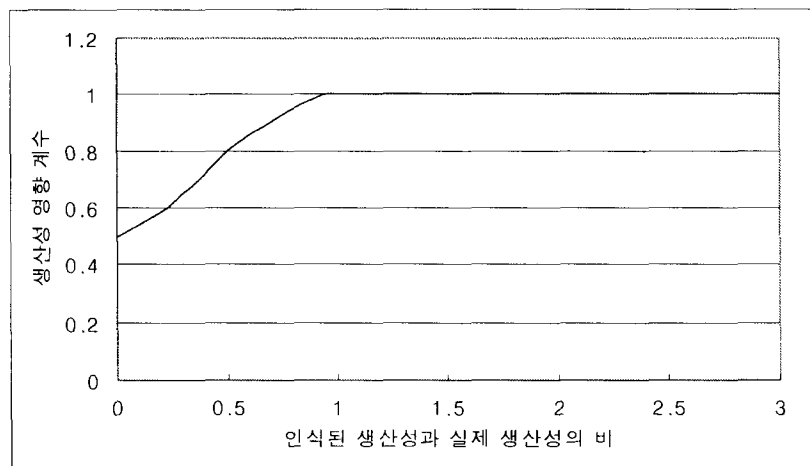
[그림- 21] 중간관리자 업무량 업무의 질 영향



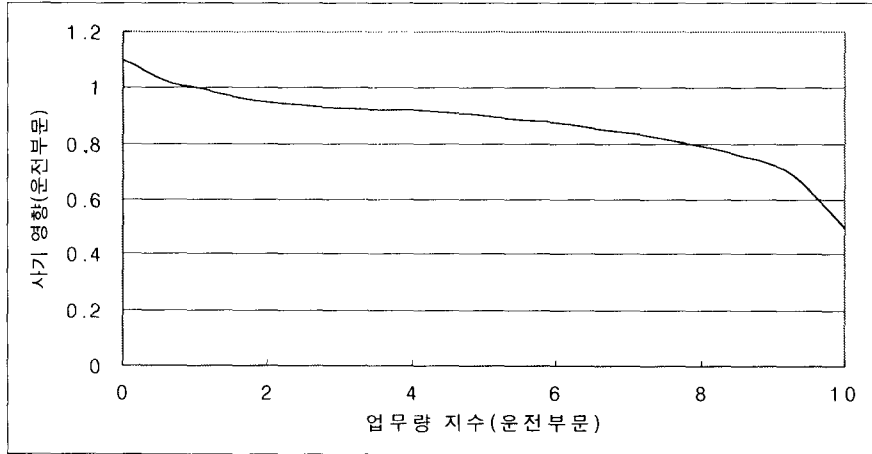
[그림- 22] 중간관리자 Skill 지수의 결함발견 영향 계수



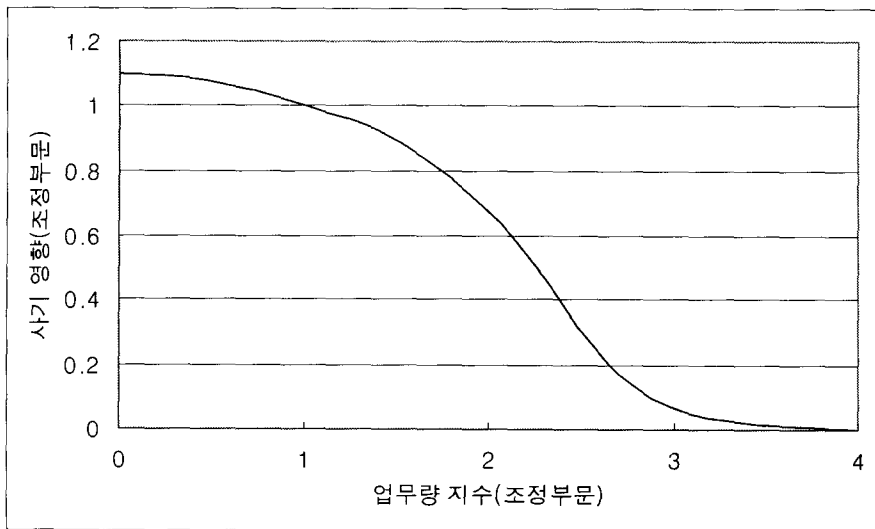
[그림- 23] 중간관리자 감독의 부하직원 생산성 영향



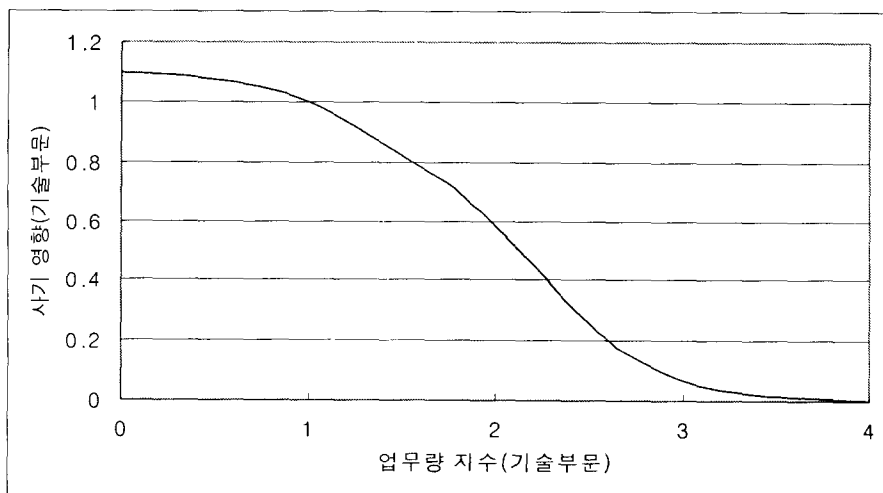
[그림- 24] 상급자 생산성 인식의 부하직원 생산성 영향



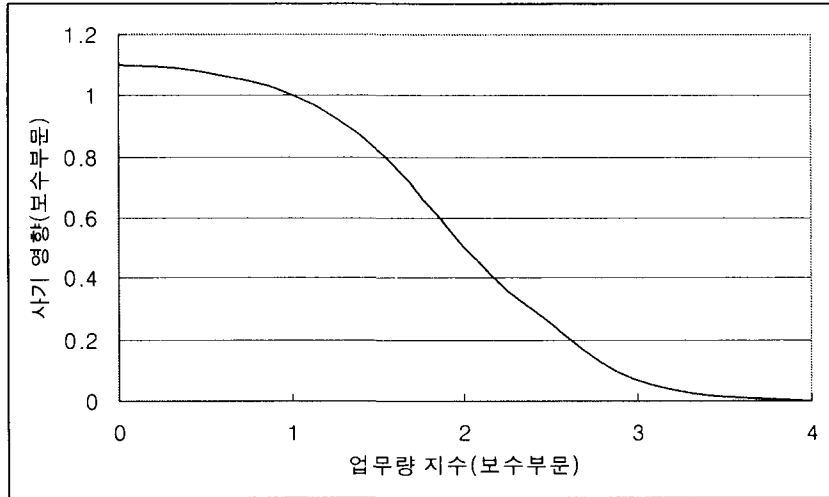
[그림- 25] 업무량의 사기영향(운전부문)



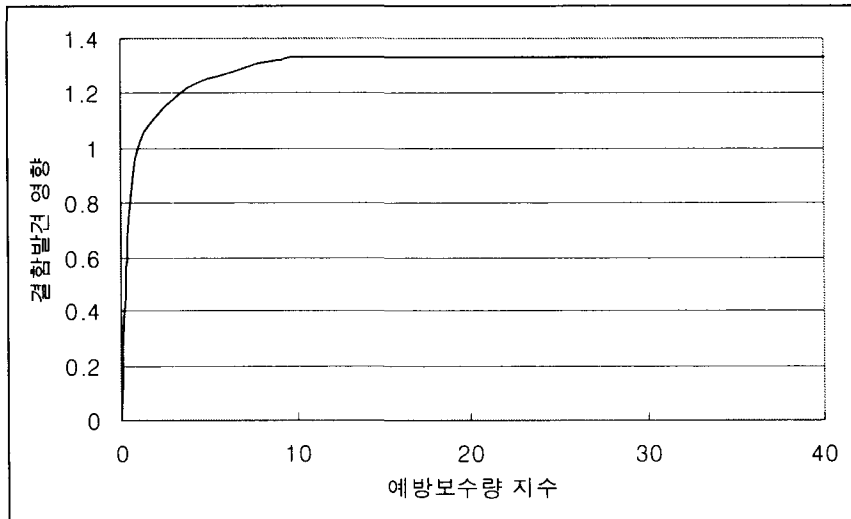
[그림- 26] 업무량의 사기영향(조정부문)



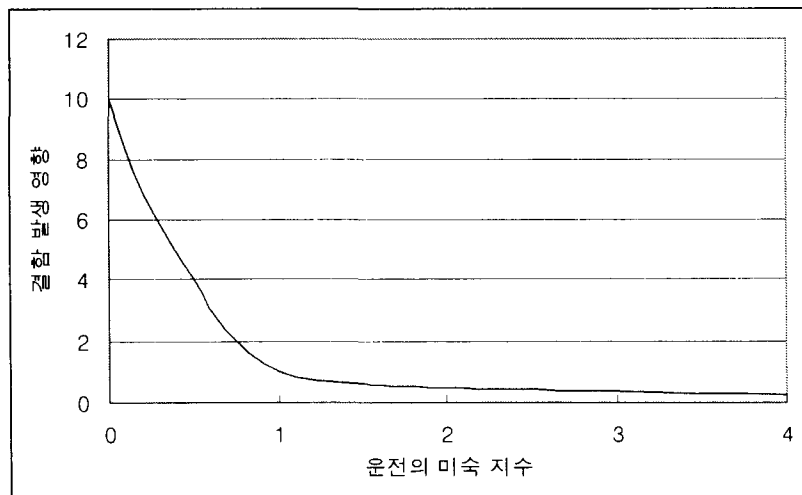
[그림- 27] 업무량의 사기영향(기술부문)



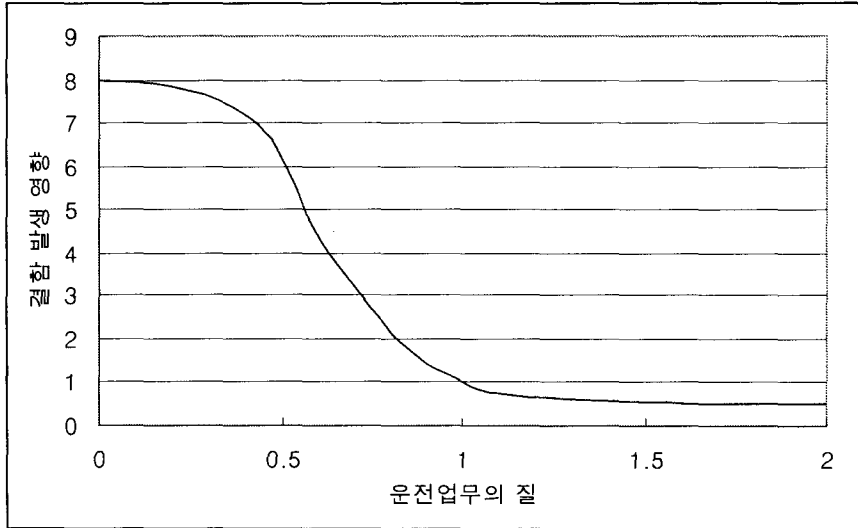
[그림- 28] 업무량의 사기영향(보수부문)



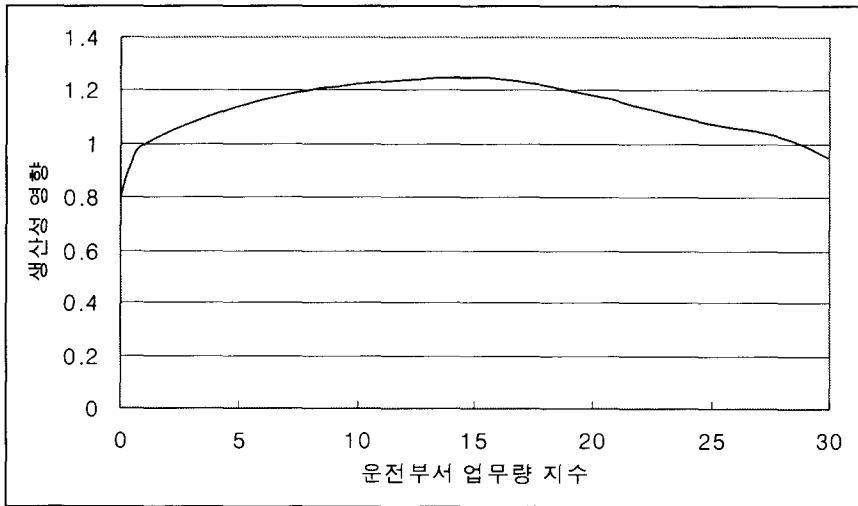
[그림- 29] 예방보수량의 결함발견 영향



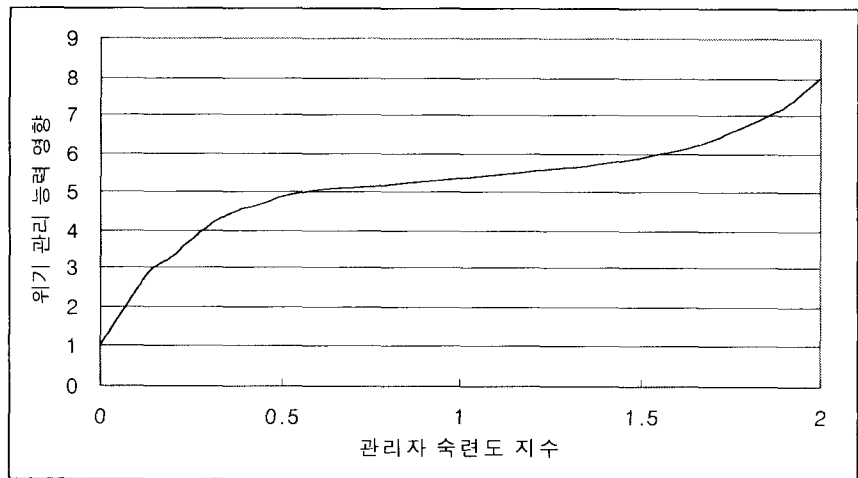
[그림- 30] 운전 미숙의 결함 발생 영향



[그림- 31] 운전업무 질의 결함 발생 영향

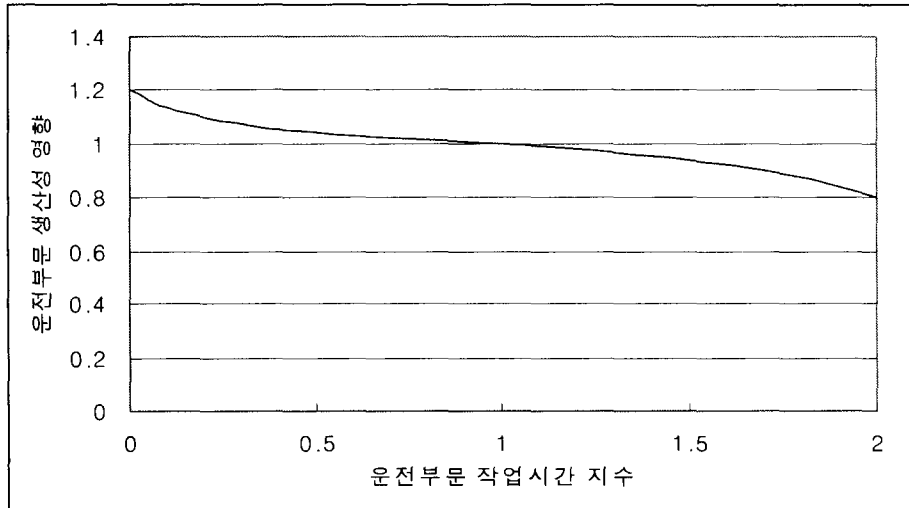


[그림- 32] 운전부서 업무량의 생산성 영향

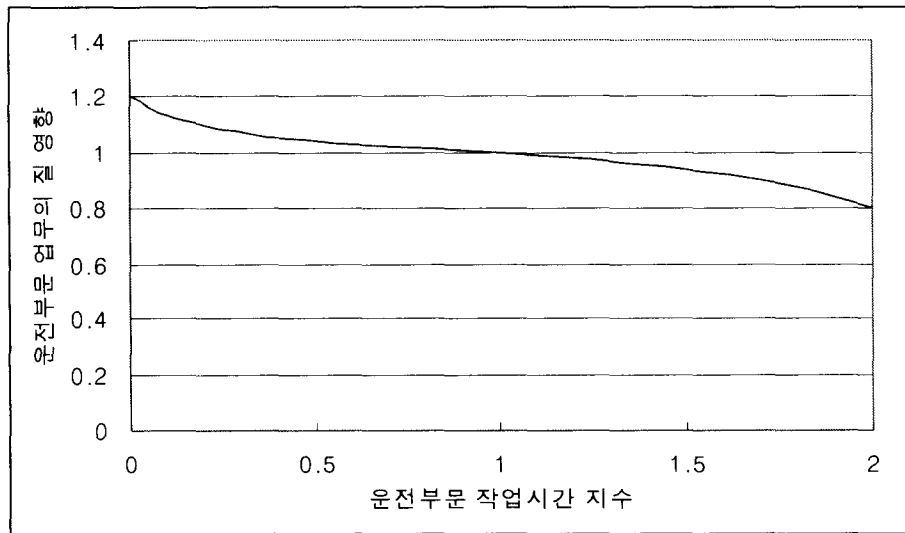


[그림- 33] 관리자 숙련도의 위기 관리 능력 영향

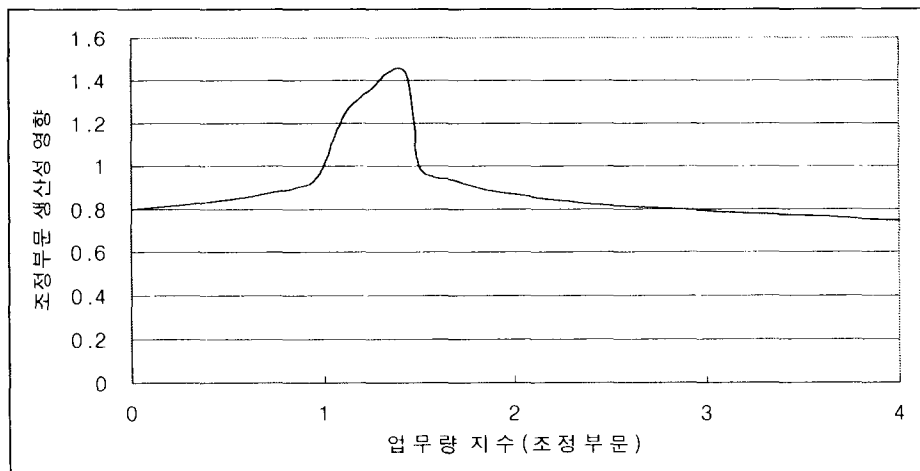




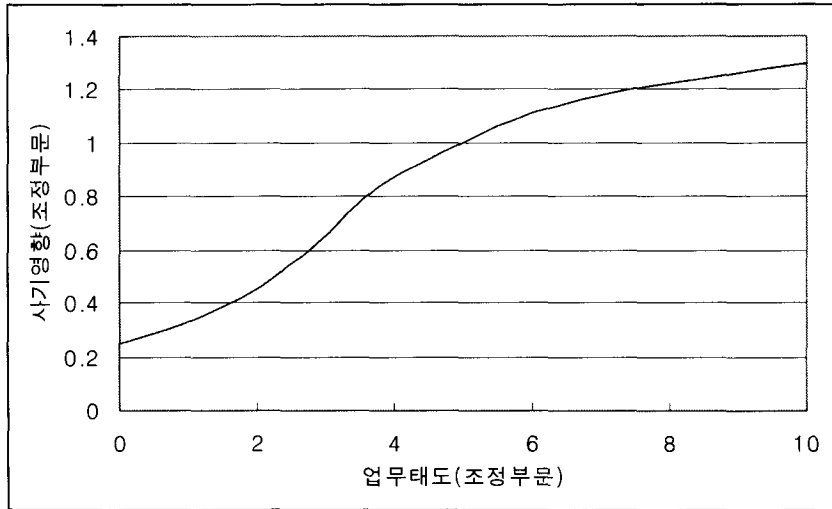
[그림- 34] 운전부문 작업시간의 생산성 영향



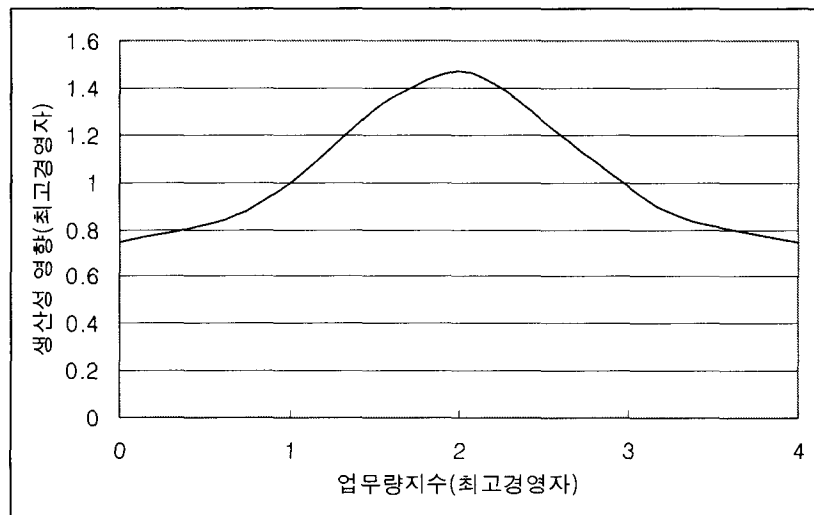
[그림- 35] 운전부문 작업시간의 업무의 질 영향



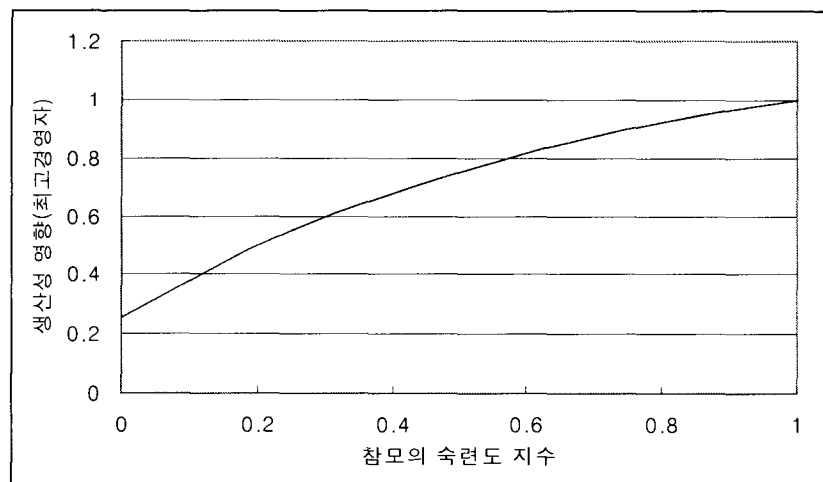
[그림- 36] 조정부문 업무량의 생산성 영향



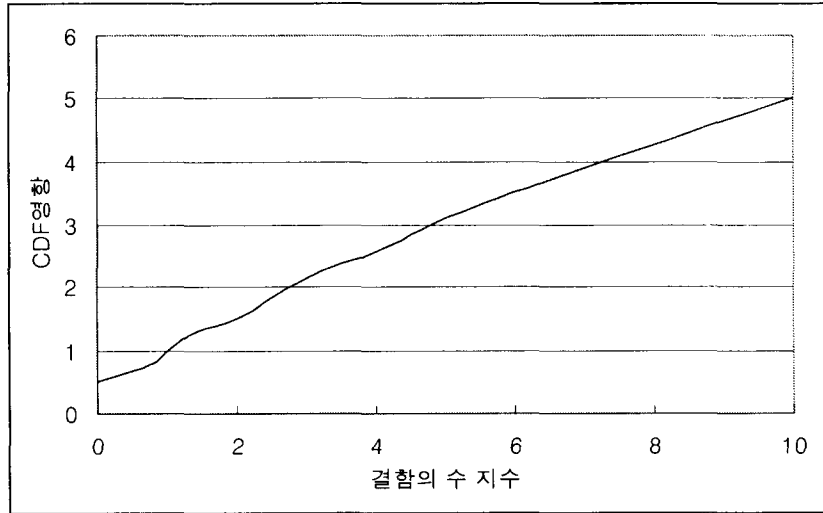
[그림- 37] 조정부문 업무태도의 사기영향



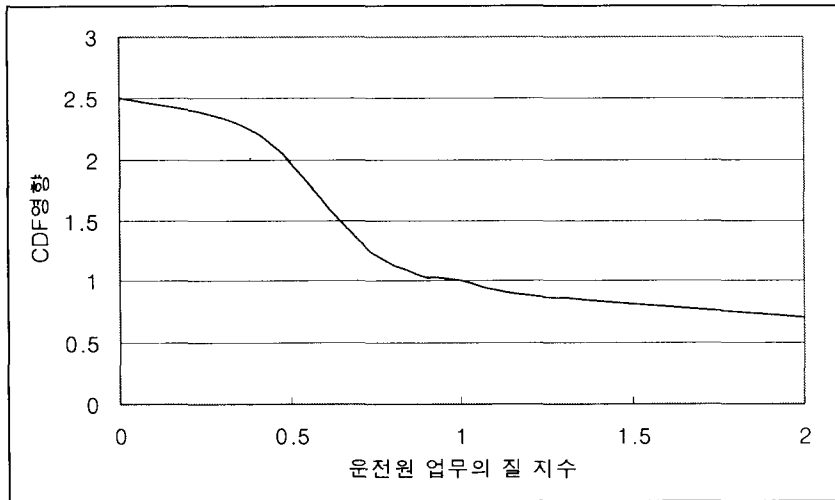
[그림- 38] 최고경영자 업무량의 생산성 영향



[그림- 39] 참모 숙련도의 최고경영자 생산성 영향



[그림- 40] Normalized된 결함의 수의 CDF 영향



[그림- 41] Normalized된 업무의 질의 CDF 영향

부록 6  
위탁연구과제

여 백

## 제 1 장. 서 론

원자력 발전소의 안전성을 확보하고 운전의 효율성을 증대시키기 원전의 주기적 안전성 평가가 필요하다. 주기적 안전성 평가의 11가지 요소 중 한 요에 해당하는 조직인자의 평가는 인적오류의 발생배경으로서 매우 중요하다. 지금까지 가장 널리 사용되는 원전의 주기적 안전성 평가는 설비고장이나 인간오류평가에 제한되어 있었다. 최근에 와서 동일한 유형의 원전에 서로 다른 안전성 평가 결과를 통해서 조직의 질이 설비의 신뢰도와 인적오류 정도에 영향을 주고 있으며, 원전의 안전성에 전반적인 영향을 끼친다는 것을 고려하지 않고 있다는 사실이 지적되기 시작하고 있다. TMI 사고의 경우 경미한 설비고장은 있었으나 중요한 사고원인은 운전원의 오류로서 훈련량의 부족, 절차서의 불명확성, 주제어실의 설계상의 결함 등이 함께 어우러진 안전문화와 관련한 조직오류(Organizational Failure)였다. Chernobyl사고도 전반적인 관리조절(Management Control)의 부족과 운전원의 부적절한 실험 절차서의 검토, 안전 절차서의 위배 등이 함께 연루되어 발생하였다. 따라서 설비의 안전성은 구조적 요인을 고려함으로써 개선되어야 하며 따라서, 조직적 인자가 원전안전성에 중요한 만큼 기존의 원전 안전성 평가방법은 조직적 인자 및 관리 인자를 정량적으로 포함시키기 위해서 모델링, 정보 수집 및 분석, 그리고 정량화 도구를 개발하여야 한다. 이와 관련하여 인적성능(Human Performance)이 사고를 예방하는 중요한 역할을 한다. 지난 수년간 조직인자가 원전의 인적 성능과 나아가서 원전의 안전성에 어떻게 영향을 끼치는가에 대한 이슈가 세계적으로 주목을 받고있는 연구의 대상이 되고 있으며 최근 이슈가 되고있는 원전의 주기적 안전성 평가에 조직인자의 PSA 반영방안 연구는 매우 중요하고 이 시점에서 필요한 연구이다.

이 연구에서는 우선 원전안전성에 기여하는 조직인자의 영향을 정성적, 정량적인 방법론으로 살펴보고, 이에 기초하여 확률론적 안전성 평가에 조직인자의 영향을 어떻게 정량적으로 반영할 수 있을지 대해 새로운 방법론을 제시하였다. 또한 이 방법론을 참조원전에 적용해 보았다.

본 연구에서의 세부적인 내용은 다음과 같다. 2장에서는 조직인자관련한 자료와, 확률론적 안전성 평가에 대한 조직인자의 영향을 검토하였다. 3장에서는 해석적인 계층 방법론과 성공율 지수 방법론, 그리고 새로운 정량적인 방법론을 제시하였다. 4장에서는 정량적인 방법론을 참조원전에 적용하였고, 불확실성 분석을 수행하였다. 5장에서는 이 연구에 대한 결론을 제시하였다.

## 제 2 장 조직인자의 역할

### 1. 논문 검토

안전성 문화의 개념은 Wu에 의해 더 확대되었다. Wu는 원전의 안전한 작동 환경에 영향을 주는 안전성 문화의 네 가지 특징들을 제시하였다. 그 특징들은 기기(Utility)와 원전 직원에 의해 얻어지는 안전성 지식, 발전소 운전에 대한 발전소 직원의 태도, 발전소를 수행하는 목적, 그리고 책임라인과 의사소통 라인의 확립이다. 또한 안전성 문화에서, 여러 조직인자도 원전의 안전한 수행에 영향을 준다.

Marcus는 조직적인 수행과 안전성 사이에서의 관계를 조사하는 연구를 수행하였다. 이 연구는 NRC 수행척도를 거쳐 안전성에 관련된 4개의 중간결과(Intermediate Outcome)를 도출했다. 이 중간 결과들은 유연성(Compliance), 효율(Efficiency), 혁신(Innovation), 그리고 질(Quality)이다. 최근에는, 발전소 위험도에 대한 조직인자의 영향에 대한 조사결과로, 20개의 조직인자 목록을 제시하였다.

최근 몇 년간, 발전소-특정 자료(Plant-specific Data)가 조직인자의 영향을 받는다는 것이 원자력 산업계에서 쟁점으로 논의되고 있다. 우선 하드웨어 고장, 인간오류, 그리고 하드웨어 고장과 인간오류사이에서의 조직적인 의존성 같은 최근의 PSA 방법론을 이해하는 것이 중요하다. 최근의 방법론은 독립된 인간오류와 기기 고장의 모델에만 한정되었다. 그러므로, 앞으로는 기기 고장을 같은 매개변수에 대한, 조직인자의 공통원인효과(Common-cause Effect)를 알아내기 위한 모델들이 집중적으로 개발되어야 한다. 이것은 하드웨어의 공통원인고장을 분석하는 것과 유사하다. Bley는 조직인자의 영향에 대해 조직인자를 검사하는데 실패한 모델은 전체 위험도를 낮게 평가한다고 주장하였다.

조직인자의 공통원인효과를 평가해야 할 필요가 있음이 다른 연구에서도 인정되었다. Bellamy는 고장율에 대한 기록상의 자료가 QRA(Quantified



Risk Assessment)에 이용될 경우, 인간오류가 고장에 기여하는 요소들 중의 하나로 포함됨을 언급하였다. 또한, Pate-Cornell과 Bea는 고장율이, PRA 입력값에 영향을 주는 조직자체의 오류와 잘못된 결정에 영향을 준다고 언급하였다.

발전소 안전성에 대한 조직인자의 영향력을 평가하는데 있어서 두 가지 업무가 수반되어야 한다. 첫째, 원전의 안전성에 영향을 주는 조직인자를 명확히 제시하여야 한다. 둘째, 정량화와 PSA로의 영향을 결합시켜야 한다. 첫 번째 업무를 수행하는데 있어 방법상의 가장 큰 문제는 비공식적인 조직이 공식적인 작업 조직에 자주 포함된다는 사실이다. 달리 말해, 복잡한 조직 안의 대부분의 작업들이 표준화되지만, 조직 안의 개인은 일상적인 업무에서, 이 표준에 어긋나는 적이 있다. 그러므로 비공식적인 조직을 이해하기 위해서는 우선 공식적인 환경을 이해하여야 한다.

NOMAC은 이 공식적인 환경들에 대해 기술하였다. 원전의 조직적인 구조를 묘사하기 위해서 5개의 작업구역을 명시하는데, 그것은 최고경영자(Strategic Apex), 경영자(Middle Line), 기술그룹(Techno Structure), 행정보조원(Support Staff), 노심 운전자이다. 최고경영자는 원전의 최고 관리자를 의미한다. 최고경영자에서 노심 운전자로 연결되는 중간 위치가 경영자이며, 기술그룹은 조직이 환경을 채택할 수 있도록 기술적인 계획을 연구하는 사람을 의미한다. 행정보조원은 간접적으로 노심 운전자를 보조하고, 발전소를 유지하는 것을 돕는다. 마지막으로 노심 운전자는 생산품이나 서비스를 만드는 것에 실제로 종사하는 사람들을 의미한다.

사고인과관계에 대한 Reason의 Types-tokens 모델은 조직 내에서의 다른 그룹들의 태도와 활동 안에 존재하는 습관이 인간오류의 발생을 급격히 증가시킨다고 묘사하였다. 이 모델에서, 유형(Types)은 조직적인 고장의 분류와 개개인의 상황과 연관된 특정한 고장으로서의 “Token”으로 정의된다. Reason의 정의에 의하면, 불안정한 태도는 “Source Types”이라고 명명되는 범주에 속한다. 그리고 특정과제에서의 불안정한 행동은 Unsafe act token으

로 분류된다.

Reason의 모델과 논리적으로 유사한, Hurst에 의해 연구된 사회 기술적인 피라미드(Socio-technical Pyramid)가 있다. 이것은 사고원인의 계층적인 모델을 제안한다. 단계 1은 발전소기기의 설계와 운전범위를 정의하는 공학 신뢰도(Engineering Reliability)에 대한 내용을 포함한다. 단계 2는 운전자수행에서의 인적요소의 역할에 관심을 가지는 운전자 신뢰도에 대한 내용을 포함한다. 단계 3은 의사소통, 정보, Feedback Control을 포함한다. 단계 4는 계통의 관리에 속하는 모든 기능으로 구성된 조직과 관리이다. 피라미드의 가장 밑 부분인 단계 5는 외부의 영향과 상호 작용하는 계통에 대한 System Climate로 구성되어있다.

피라미드를 더 보완하기 위해, Hurst는 주어진 사건의 원인을 세 가지 범주로 분석하는 3차원 행렬을 연구하였다. 첫 번째 범주는 직접적인 실패원인(That of Direct Causes of Failure)이다. 이것은 운전자 오류, 과압이나 진동으로 인한 기기고장을 포함한다. 다음으로 기초적인 원인은 고장의 실제적인 원인을 의미한다. 실험을 한 결과, 기초적인 원인 중 보수와 설계에서의 실수가 가장 많은 부분을 차지하였다. 마지막 범주는 불안정한 조건을 제거·복구하기 위한 예방적인 행동을 하지 못했을 경우를 포함한다.

위에서 명시한 사회기술적인 피라미드와 3차원 행렬을 함께 고려해 볼 때, 사건의 직접적인 원인이 단계 1이나 2에서의 고장으로서 명백하게 나타나더라도, 그것의 기초적인 원인들은 더 낮은 단계의 피라미드 계층에 포함될 것이다. 이런 관점에서 고장의 직접적인 원인은 더 기초적인 고장을 야기시키는 매개체(Carrier)나 징후(Symptoms)로 여겨진다. 이것은 Reason의 “Resident pathogens”와 유사하다.

Modarres는 조직인자와 원전 안전성 사이의 관계를 정립하는 통합된 구조를 형성하기 위해 Onion Model과 Diamond Tree를 결합하였다. Diamond Tree의 머리부분은 조직의 주요한 목표를 나타낸다. 이 경우에 있어 안전성을 위해, Tree 아래로 내려가면서 주요한 목표들을 이루기 위해 수행되어야

만 하는 Goals, Sub-function들이 명시된다. Onion model은 가장 높은 단계에서 Diamond tree로 변형된다.

Wu는 조직인자를 포함시키기 위해, 매개변수의 확률분포의 재평가와 매개변수들 사이의 상호관계에 대한 평가를 PSA에 포함시킬 것을 제안하였다. PSA에서, 주요매개변수는 기기 고장율, 인간오류율, 기기복구시간, 원전기기/계통의 불이용도 관련한 것들을 포함한다. 이 매개변수들은 조직인자의 영향을 고려하여 재평가될 수 있다.

Pate-Cornell과 Bea는 원전 작업자의 결정이나 행동이 PRA에 대한 입력값에 영향을 준다고 언급하였다. 여기서 결정과 행동은 작업자에 따라 특성화된다. Pate-Cornell과 Bea은 실제로 조직인자의 영향을 정량화하고, 경제적 이윤과 손해의 관점에서 위험도-관리 범주를 비교하기 위해, 그 결과들을 이용하였다.

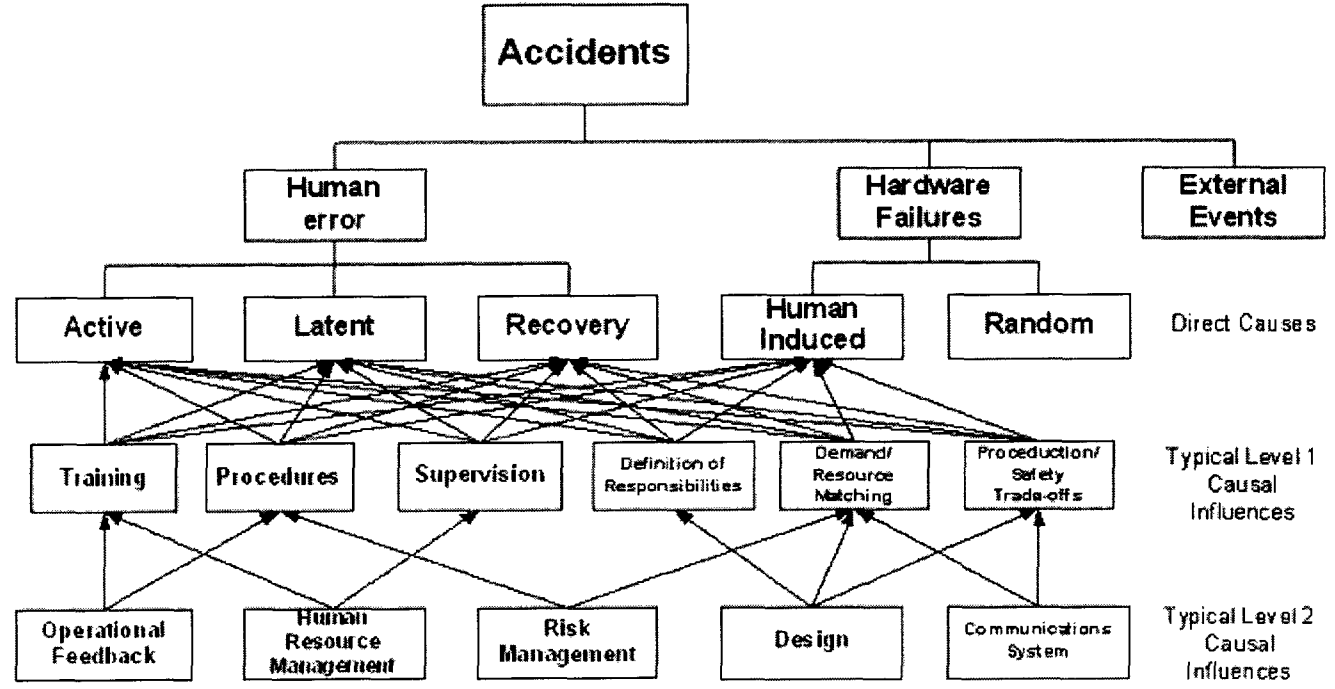
Offshore Platform의 Design Phase에 대해 자세히 알아보면, 저자들은 이 현상(Phase)동안에 발생하는 결정과 오류에 의해 영향을 받을 수 있는 입력값에 대한 PRA 모델을 연구하였다. 오류들은 “전체 오류(Gross Errors)”와 “판단오류(Error of Judgement)”로 구분된다. 이 모델을 이용하여 저자는, 관리에 의한 결정이 어떻게 계통의 고장 확률에 영향을 미칠 수 있는지 보여주었다.

중요한 결론은 이 연구가 조직인자가 전체 위험도에 주요한 기여자라는 것을 확고히 했다는 것과 관리는 앞으로의 업무의 질을 어떻게 개선시킬지를 결정하고, 또한 앞에서 소개되었던 위험도에 대한 주요한 결점의 검출과 교정을 위해 위험도 분석을 이용할 수 있다는 것이다.

W. G. He는 다른 정량화 방법들이 제안하였다. 이 정량화 방법에서는 노심손상빈도(Core Damage Frequency)를 이용하여, 발전소에서 명시한 노심손상빈도와 산업현장에서의 평균적인 노심손상빈도의 비율인 M을 계산함으로써 원전에서의 조직인자의 영향을 측정한다. 발전소에서 명시한 CDF의 계산을 위해서 발전소에서 명시한 인간오류확률(Human Error Probability)을

아는 것이 필요하다. 인간오류확률을 계산하기 위해, 발전소 LER 인간오류와 산업현장에서의 평균적인 LER 인간오류의 비율로 정의되는 인간오류확률 비율을 계산하기 위해, LER의 이용을 제안하였다. 발전소에서 명시한 인간오류확률은 이 비율에 전체 인간오류확률을 곱하므로 구할 수 있다. 마지막으로 발전소에서 명시한 인간오류확률과 기기 고장율이 다 얻어지면, M이 계산되고, M의 구성성분은 노심손상빈도에서의 조직인자의 영향을 결정하기 위해 분석된다.

[부록 6 : 그림 1] 사고 인과관계의 일반적인 모델



## 2 원전 안전성에 대한 조직인자의 영향

### 가. 인간오류에 대한 조직인자의 영향

조직적 요소는 운전원의 의도형성(Intention Formation)과 의도수행(Intention Execution)의 두 측면으로 인적 오류에 영향을 미친다. 의도형성은 주어진 상황에서 어떤 행위가 적절한지를 진단하고 결정하는 인지행위(Cognitive Activities)를 말하고, 의도수행은 결정된 조치를 수행하는 행위(Activities)를 의미한다. 의도형성의 인지행위는 지각장소(Conscious Workspace)와 Knowledge Base로 세분된다. 지각장소는 인지 시스템이 센서를 통하여 외부와 KB로부터 입력을 받고 KB는 특별한 상황에 대처했던 이전의 경험들을 저장함으로서, 인지와 행위의 자동조절을 위한 것으로 이용된다. 저장된 정보를 선별하기 위하여 위에서 기술한 조직의 네가지 요소는 유사사건의 유추검색(Similarity Matching)과 다중발생사건에 대한 유추검색(Frequency Gambling) Mechanism이 바로 조직요소에 의하여 영향을 받는다.

심리학자인 Reason은 SM이 저장된 정보구조의 속성과 현실의 상태사이에서 유사성을 결부시키는 메카니즘이고 FG는 과거에 자주 이용되었던 것을 선호해서 부분적으로 결부되는 조직요소들 사이에서 모순을 해결하는 메카니즘이라고 정의한다. 즉, 조직적 요인은 Similarity Matching과 Frequency Gambling에 근거한 속성과 저장된 정보(Knowledge Base)에 크게 영향을 미칠 수 있으며 가령 안전정보(Safety Knowledge)에 역점을 두는 조직은 비상시에 충분한 정보(Solid Knowledge)를 가지는 운전원을 양성하기 원한다. 지식이 충분치 못한 운전원은 Similarity Matching을 위한 적은 표준패턴(Standard Pattern)을 가지므로 사고 시에 주어진 상황에 대해서 유사모듈을 발견하기가 어려우므로 연결이 가능할 때 까지 Similarity Matching을 연기하다가 보면 Frequency Gambling을 이행하게 된다. 만약 운전원이

Frequency Gambling을 하게 되면 자기에게 가장 친숙한 추론을 하게 되는데 불확실하고 불안정한 추론을 할 수도 있는 것이다. 즉, 최고경영자기 운용목표를 안전성 보다 경제성에 역점을 둘 때 Frequency Gambling의 결과는 Davis Besse Plant에서의 경우처럼 원전의 안전성을 선호하지 않으려고 하는 쪽으로 기울 것이다. 또한 운전원이 사고경위에 대하여 더 많은 정보가 모여지고 사고 경위가 파악될 때까지 기다리다가 Similarity Matching을 연기할 수 있으며 이 경우에 적절한 시간(Timing)과 수단(Resource)을 놓치고 회복할 수 없는 중대한 사고를 초래할 수 있다. 의도수행(Intention Execution)시에도 절차서가 명확하고 쉽게 씌여 졌는가, 운전원이 잘 훈련되어 있는가 하는 등의 조직적 요인에 당연히 영향을 받는다.

나. 기기오류에 대한 조직인자의 영향

비상시 사용되는 공학적 안전 설비는 주로 대기상태(Stand-By)에 있다. 필요 시 제대로 작동하기 위해서는 주기적인 검사(Periodic Test)를 받아야 하고 필요하면 보수(Repair)도 해야 한다. 시스템의 비신뢰성에 유지, 보수를 고려하면 계통 불이용도가 도출된다. 계통 불이용도는 다음 식과 같이 정의된다.

$$q_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T q(t)dt \dots\dots\dots(1)$$

단일 계통의 평균 불이용도는 점검주기(STI)와 테스트시간, 인적오류, 요구고장의 신뢰도값을 대입하면 식(1)이 다음과 같이 유도된다.

$$q_{av} = \frac{\tau_r}{\tau} + \gamma_0 + Q_0 + \frac{1}{2} \lambda_n \tau \dots\dots\dots(2)$$

즉, 식(2)의 각 항은 실험기여도 부분과 ,인적오류기여도 부분, 그리고 요구고장 기여도, 임의사고 기여도로 구분된다. 각 변수의 간략한 설명은 다음과 같다.

$\tau$ : 점검주기(Surveillance Test Intervals)

$\tau_r$ : 검사지속시간(Duration of test)

$\gamma_0$ : 보수에 기인한 고장율

(Probability of failure due to testing maintenance)

$Q_0$ : 요구시 고장율(Probability of failure on demand)

$\lambda_n$  : 고장율(Failure rate)

그러므로, 조직인자는 평균 불이용도에 영향을 준다. 가 공통적으로 절차서의 질(Quality of Procedures), 운전의 질(Quality of Plant Operation)과 보수의 질(Quality of Maintenance)에 영향을 주며, 전체적으로 조직/관리에 의하여 신뢰도가 평가된다. 즉, 보수의 질은 변수 ,,에 동시에 영향을 끼치고, 와 는 운전팀의 질(Quality of Operation Team)에 영향을 받는다. 마찬가지로 조직인자의 질이 n-out-of-m의 여분 계통(Redundant System)에도 동일하게 적용된다.

#### 다. 초기사건에 대한 조직인자의 영향

초기사건파악과, 사고경위의 표본공간(Complete Set) 관련한 Issue는 지금도 중요한 문제 중의 하나이다. 현재의 PSA방법론은 Chernobyl과 같은 초기사건 발단을 고려하지 못하고 있다[4]. 이러한 초기사건으로 야기되는 사고는 기타 초기사건(Other Initiating Events)에 포함하여 분류한다고 할 때, 건전한 조직(High Quality of Organization)은 기타 초기사건의 발생 빈



도는 낮추어 반영하고, 취약한 조직의 원전에서는 조직적 오류와 관련한 초기사건에 대해서는 자세한 분석을 수행함으로써 구조적 인자가 초기사건 규정에 미치는 영향을 정량적으로 반영하여야 할 것이다.

### 제 3 장 방법론과 적용

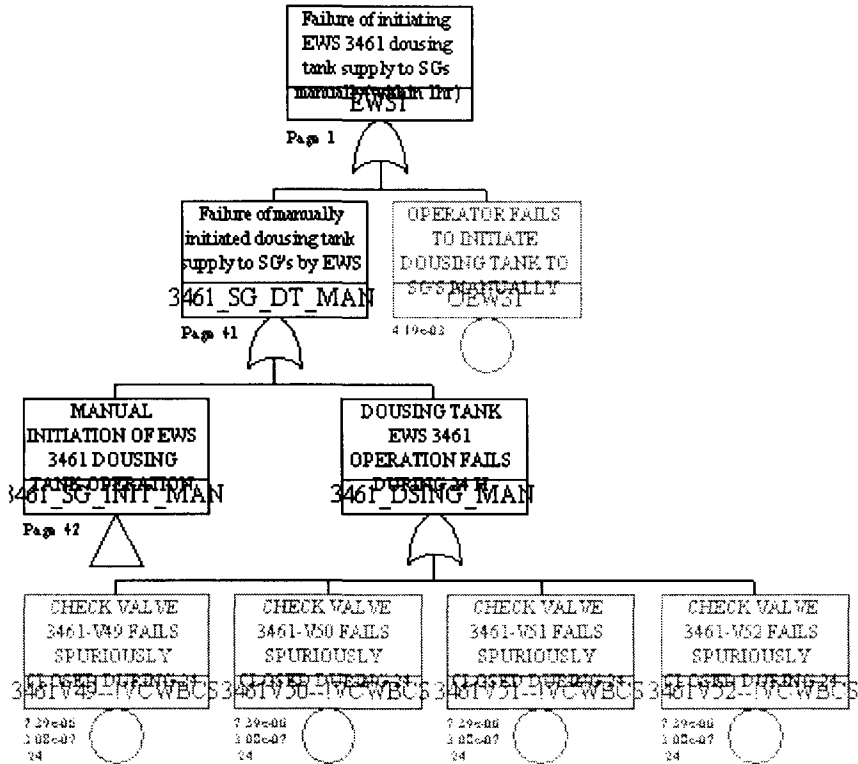
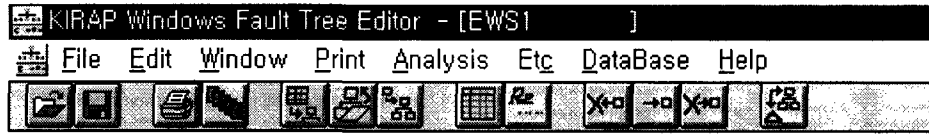
#### 1 새로운 정량적 방법론

해석적인 계층 방법론과 성공률 지수 방법론을 이용한 새로운 방법론을 제시한다. 새로운 방법론의 구체적인 과정은 다음과 같다.

- a. 조직인자와 수행특성인자의 정의
- b. 해석적인 계층 방법론을 이용하여 인간행동에 대한 각 조직인자와 수행특성인자의 가중치 산출.
- c. 성공률 지수 방법론에 가중치와 등급을 적용하여 각 인간행동에 대한 성공률 지수 산출
- d. Table 3-1과 같이 각 성공률 지수에 대한 인자값을 적용하여 비상급 수계통 내의 새로운 인간오류확률 산출
- e. 새로운 인간오류확률을 KwTree(에 대입하여 비상급수계통의 새로운 불이용도 산출

[부록6 : 표 -1] SLI에 대한 인자의 적용

| 성공률 지수    | 설명    | 인자값  | 새로운 인간오류확률      |
|-----------|-------|------|-----------------|
| 0.0 - 0.2 | 매우 나쁨 | 10   | 인자값<br>× 인간오류확률 |
| 0.2 - 0.4 | 나쁨    | 5    | 인자값<br>× 인간오류확률 |
| 0.4 - 0.6 | 보통    | 1    | 인자값<br>× 인간오류확률 |
| 0.6 - 0.8 | 좋은    | 1/5  | 인자값<br>× 인간오류확률 |
| 0.8 - 1.0 | 매우 좋음 | 1/10 | 인자값<br>× 인간오류확률 |



[부록6 : 그림-2] KwTree 예시

## 2 해석적인 계층 방법론의 적용

### 가. 조직인자

조직인자는 원전 내의 조직의 특성을 나타내는 척도이다. 원전의 안전성에 영향을 미치는 조직인자를 다음과 같이 정의한다.

[부록6 : 표 -2] 조직인자

| 조직인자     | 정 의  |
|----------|--|
| 운용목표의 선정 | 상위의 조직 즉, 최고 경영자가 원전의 운용목표를 경제성과 안전성확보 중 어느 쪽에 더 치중하느냐에 따라 운전원의 판단과 처치에 직접적인 영향을 줌 |
| 의사소통     | 명확한 책임과 의사소통라인의 구성은 원전 안전운전에 매우 중요   |
| 안전지식     | 운전원은 원전의 각종 계통설비의 기능을 이해, 중요한 Tech. Spec 즉 Safety Limit 초과시의 예상결과 등에 대한 훈련을 통한 숙지  |
| 작업 태도    | 태만하고 부주의한 자세를 가진 운전원 그룹은 사고 원전을 정상 상태로 환원하기 힘든 상황을 초래                              |
| 작업 환경    | 다른 조직과 구별되는 원전 내에서 직원들이 공유하는 작업환경에 관한 인식을 의미한다. 인원, 업무량, 근무 시간등의 특성을 포함한다.         |

#### 나. 수행특성인자

수행특성인자는 조직 내의 구성원들에 대한 특성을 반영하는 인자로서 조직인자에 영향을 주므로 결과적으로 원전의 안전성에 영향을 준다. 수행특성인자를 다음과 같이 정의한다.

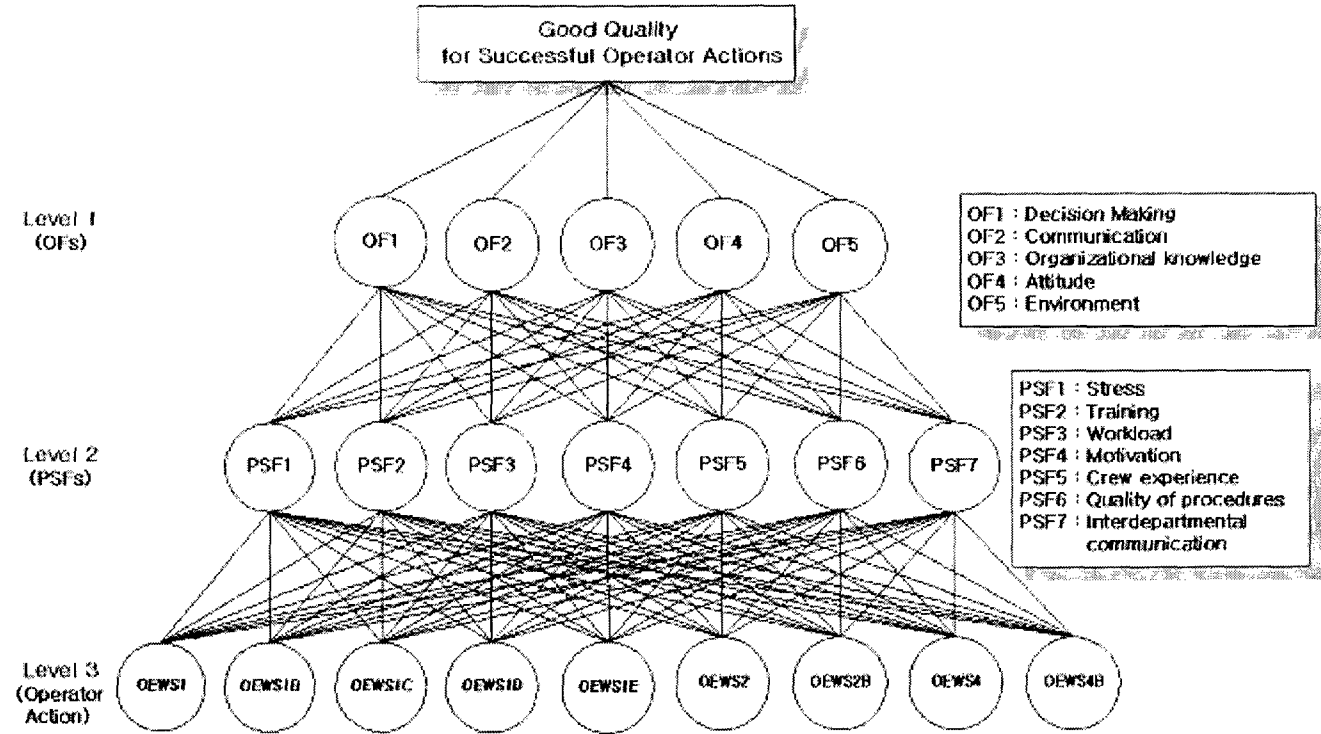
[부록6 : 표 -3] 수행특성인자

| 수행특성인자       | 정 의  |
|--------------|--|
| 스트레스         | 작업의 중요도에 따라 작업자가 느끼는 책임감이나 긴장감을 의미한다.  |
| 훈련           | 안전하고 효과적으로 업무를 수행하기 위한 필수적인 지식과 기술이 발전소 직원에게 제공되어지는 정도를 의미한다.                          |
| 작업량          | 작업자에 주어지는 작업의 많고•적음을 의미한다.   |
| 사기           | 작업을 하고자 하는 작업자의 의욕이나 condition을 의미한다   |
| 작업 지식        | 발전소 설계와 계통과 발전소 안전성에 영향을 주는 현상이나 사건을 고찰하는 발전소 직원의 필수적인 이해도의 깊이와 넓이를 의미한다.              |
| 절차서의 질       | 작업자의 작업을 하는데 있어서 필요한 절차서의 명확성,정보성을 의미한다.   |
| 상호부서 간의 의사소통 | 상호부서간의 의사소통은 발전소내의 다른 부서사이의 (비)공식적인 정보의 교환을 의미한다. 위에서 아래로,아래에서 위로의 의사소통 네트워크를 모두 포함한다. |

#### 다. 해석적인 계층 방법론

해석적인 계층 방법론을 이용하여, 조직인자와 수행특성인자의 가중치를 결정하였다. 다음과 같은 과정을 통해 최종적으로, 5가지의 조직인자가 9가지의 인간오류에 각각 얼마만큼의 가중치로서 영향을 주는지를 정량적으로 결정할 수 있다.

[부록6 : 그림-3] 해석적인 계층 방법론의 체계



\* 조직인자간의 가중치 비교

[부록6 : 표 -4] 조직인자간의 가중치 비교

|     | OF1 | OF2 | OF3 | OF4 | OF5 |         |        |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|--------|
| OF1 | 1   | 5   | 1   | 5   | 5   | 11.1803 | 0.4816 |
| OF2 | 1/5 | 1   | 1/2 | 1   | 1   | 0.3162  | 0.0136 |
| OF3 | 1   | 5   | 1   | 5   | 5   | 11.1803 | 0.4816 |
| OF4 | 1/5 | 1   | 1/5 | 1   | 5   | 0.4472  | 0.0193 |
| OF5 | 1/5 | 1   | 1/5 | 1/5 | 1   | 0.0894  | 0.0039 |
|     |     |     |     |     |     | 23.2136 |        |

[부록6 : 표 -5] 조직인자 #1에 대한 수행특성인자간의 가중치 비교

| OF1  | PSF1 | PSF2 | PSF3 | PSF4 | PSF5 | PSF6 | PSF7 |         |        |
|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|--------|
| PSF1 | 1    | 1/2  | 1/2  | 1    | 5    | 5    | 5    | 4.2426  | 0.1785 |
| PSF2 | 2    | 1    | 1    | 1    | 5    | 5    | 5    | 4.4721  | 0.1881 |
| PSF3 | 2    | 1    | 1    | 1/2  | 5    | 5    | 1    | 3.9370  | 0.1656 |
| PSF4 | 1    | 1    | 2    | 1    | 1    | 5    | 5    | 4.0000  | 0.1683 |
| PSF5 | 1/5  | 1/5  | 1/5  | 1    | 1    | 5    | 1/3  | 2.8166  | 0.1185 |
| PSF6 | 1/5  | 1/5  | 1/5  | 1/5  | 1/5  | 1    | 1    | 1.7321  | 0.0729 |
| PSF7 | 1/5  | 1/5  | 1    | 1/5  | 3    | 1    | 1    | 2.5690  | 0.1081 |
|      |      |      |      |      |      |      |      | 23.7695 |        |

\* 조직인자 #2에 대한 수행특성인자간의 가중치 비교

[부록6 : 표 -6] 조직인자 #2에 대한 수행특성인자간의 가중치 비교

| OF2  | PSF1 | PSF2 | PSF3 | PSF4 | PSF5 | PSF6 | PSF7 |         |        |
|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|--------|
| PSF1 | 1    | 5    | 1/2  | 1/3  | 5    | 5    | 1/3  | 4.1433  | 0.1806 |
| PSF2 | 1/5  | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 5    | 1/2  | 2.9212  | 0.1273 |
| PSF3 | 2    | 1    | 1    | 1    | 5    | 5    | 1/2  | 3.9370  | 0.1716 |
| PSF4 | 3    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 2.9721  | 0.1296 |
| PSF5 | 1/5  | 3    | 1/5  | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 2.4967  | 0.1088 |
| PSF6 | 1/5  | 1/5  | 1/5  | 2    | 2    | 1    | 1/2  | 2.4698  | 0.1077 |
| PSF7 | 3    | 2    | 2    | 3    | 3    | 2    | 1    | 4.0000  | 0.1744 |
|      |      |      |      |      |      |      |      | 22.9400 |        |

[부록6 : 표 -7] 조직인자 #3에 대한 수행특성인자간의 가중치 비교

| OF3  | PSF1 | PSF2 | PSF3 | PSF4 | PSF5 | PSF6 | PSF7 |         |        |
|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|--------|
| PSF1 | 1    | 5    | 1/2  | 1/3  | 5    | 5    | 5    | 4.6726  | 0.1966 |
| PSF2 | 1/5  | 1    | 1/2  | 1/2  | 1/3  | 5    | 5    | 3.5402  | 0.1490 |
| PSF3 | 2    | 2    | 1    | 1    | 5    | 5    | 5    | 4.5826  | 0.1928 |
| PSF4 | 3    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 2.9721  | 0.1251 |
| PSF5 | 1/5  | 3    | 1/5  | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 2.4967  | 0.1051 |
| PSF6 | 1/5  | 1/5  | 1/5  | 2    | 2    | 1    | 1    | 2.5690  | 0.1081 |
| PSF7 | 1/5  | 1/5  | 1/5  | 3    | 3    | 1    | 1    | 2.9326  | 0.1234 |
|      |      |      |      |      |      |      |      | 23.7658 |        |

[부록6 : 표 -8] 조직인자 #4에 대한 수행특성인자간의 가중치 비교

| OF4  | PSF1 | PSF2 | PSF3 | PSF4 | PSF5 | PSF6 | PSF7 |         |        |
|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|--------|
| PSF1 | 1    | 5    | 1/2  | 1/3  | 1/2  | 1/2  | 5    | 3.5824  | 0.1642 |
| PSF2 | 1/5  | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 1/2  | 5    | 2.9212  | 0.1339 |
| PSF3 | 2    | 1    | 1    | 1    | 1/2  | 1    | 1    | 2.7386  | 0.1255 |
| PSF4 | 3    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 2.9721  | 0.1362 |
| PSF5 | 2    | 3    | 2    | 1    | 1    | 1    | 5    | 3.8730  | 0.1775 |
| PSF6 | 2    | 2    | 1    | 2    | 1    | 1    | 1    | 3.1623  | 0.1449 |
| PSF7 | 1/5  | 1/5  | 1    | 3    | 1/5  | 1    | 1    | 2.5690  | 0.1177 |
|      |      |      |      |      |      |      |      | 21.8186 |        |

[부록6 : 표 -9] 조직인자 #5에 대한 수행특성인자간의 가중치 비교

| OF5  | PSF1 | PSF2 | PSF3 | PSF4 | PSF5 | PSF6 | PSF7 |         |        |
|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|--------|
| PSF1 | 1    | 5    | 1/2  | 1/3  | 5    | 5    | 5    | 4.6726  | 0.1998 |
| PSF2 | 0.2  | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 5    | 5    | 3.6102  | 0.1544 |
| PSF3 | 2    | 1    | 1    | 1    | 5    | 5    | 1    | 4.0000  | 0.1710 |
| PSF4 | 3    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 2.9721  | 0.1271 |
| PSF5 | 0.2  | 3    | 0.2  | 1    | 1    | 1/2  | 1/3  | 2.4967  | 0.1068 |
| PSF6 | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 2    | 2    | 1    | 1    | 2.5690  | 0.1099 |
| PSF7 | 0.2  | 0.2  | 1    | 3    | 3    | 1    | 1    | 3.0659  | 0.1311 |
|      |      |      |      |      |      |      |      | 23.3865 |        |



[부록6 : 표 -10] 종합된 가중치 #1

|      | OF1    | OF2    | OF3    | OF4    | OF5    |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PSF1 | 0.1785 | 0.1806 | 0.1966 | 0.1642 | 0.1998 |
| PSF2 | 0.1881 | 0.1273 | 0.1490 | 0.1339 | 0.1544 |
| PSF3 | 0.1656 | 0.1716 | 0.1928 | 0.1255 | 0.1710 |
| PSF4 | 0.1683 | 0.1296 | 0.1251 | 0.1362 | 0.1271 |
| PSF5 | 0.1185 | 0.1088 | 0.1051 | 0.1775 | 0.1068 |
| PSF6 | 0.0729 | 0.1077 | 0.1081 | 0.1449 | 0.1099 |
| PSF7 | 0.1081 | 0.1744 | 0.1234 | 0.1177 | 0.1311 |

\* 수행특성인자에 대한 인간 행동간의 가중치 비교

| PSF1 | OA1 | OA2 | OA3 | OA4 | OA5 | OA6 | OA7 | OA8 | OA9 |         |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| OA6  | 1   | 1/5 | 2   | 2   | 3   | 1   | 5   | 1/2 | 5   | 4.4385  |
| OA1  | 1   | 1/2 | 1/2 | 1   | 1   | 1/2 | 1/2 | 1   | 1   | 2.6458  |
| OA7  | 1   | 1   | 1   | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 2.5690  |
| OA2  | 2   | 1   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 6.1644  |
| OA8  | 1   | 1/5 | 2   | 1   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 3.3466  |
| OA3  | 2   | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 1/2 | 1/2 | 1   | 1   | 2.8636  |
| OA9  | 1   | 1/5 | 2   | 1   | 1   | 5   | 1   | 5   | 1   | 4.0249  |
| OA5  |     |     |     | 1   |     | 5   | 1   | 5   | 5   | 4.4944  |
| OA6  | 2   | 1/5 | 2   | 1/5 | 1/5 | 1   | 1   | 1/2 | 5   | 3.4785  |
| OA7  | 2   | 1/5 | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 3.1937  |
| OA8  | 1   | 1/5 | 1   | 1/5 | 1/5 | 2   | 1   | 1   | 5   | 3.4059  |
| OA9  | 1   | 1/5 | 1   | 1   | 1/5 | 1/5 | 1   | 1/5 | 1   | 2.4083  |
|      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 32.6795 |

| PSF2 | OA1 | OA2 | OA3 | OA4 | OA5 | OA6 | OA7 | OA8 | OA9 |         |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| OA1  | 1   | 1   | 5   | 1   | 5   | 1/2 | 1   | 1   | 1   | 4.0620  |
| OA2  | 1   | 1   | 5   | 1   | 5   | 5   | 1   | 5   | 5   | 5.3852  |
| OA3  | 1/5 | 1/5 | 1   | 1/3 | 5   | 1   | 1   | 5   | 1   | 3.8384  |
| OA4  | 1   | 1   | 5   | 1   | 5   | 5   | 1/2 | 5   | 5   | 5.3385  |
| OA5  | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1   | 5   | 5   | 5   | 5   | 4.6690  |
| OA6  | 2   | 1/5 | 1   | 1/5 | 1/5 | 1   | 5   | 1   | 5   | 3.9497  |
| OA7  | 1   | 1   | 1   | 2   | 1/5 | 1/5 | 1   | 5   | 5   | 4.0497  |
| OA8  | 1   | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1   | 1/5 | 1   | 1/3 | 2.0817  |
| OA9  | 1   | 1/5 | 1   | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1   | 1   | 2.2361  |
|      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 35.6103 |

| PSF3 | OA1 | OA2 | OA3 | OA4 | OA5 | OA6 | OA7 | OA8 | OA9 |         |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| OA1  | 1   | 1/2 | 5   | 1   | 1/2 | 1   | 1/2 | 1   | 1   | 3.3912  |
| OA2  | 2   | 1   | 1/2 | 5   | 1   | 5   | 1   | 1/2 | 5   | 4.5826  |
| OA3  | 1/5 | 2   | 1   | 1   | 5   | 1   | 1   | 5   | 1/2 | 4.0866  |
| OA4  | 1   | 1/5 | 5   | 1   | 5   | 5   | 5   | 5   | 1   | 5.3104  |
| OA5  | 2   | 1   | 1/5 | 1/5 | 1   | 5   | 5   | 5   | 5   | 4.9396  |
| OA6  | 1   | 1/5 | 1   | 1/5 | 1/5 | 1   | 5   | 1/2 | 1   | 3.1780  |
| OA7  | 2   | 1   | 1   | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1   | 5   | 5   | 3.9497  |
| OA8  | 1   | 2   | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 2   | 1/5 | 1   | 1   | 2.7928  |
| OA9  | 1   | 1/5 | 2   | 1   | 1/5 | 1   | 1/5 | 1   | 1   | 2.7568  |
|      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 34.9877 |

| PSF4 | OA1 | OA2 | OA3 | OA4 | OA5 | OA6 | OA7 | OA8 | OA9 |         |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| OA1  | 1   | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5   | 1   | 1   | 1   | 5   | 3.9370  |
| OA2  | 2   | 1   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 1/2 | 5.7879  |
| OA3  | 2   | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1/3 | 1   | 5   | 3.5402  |
| OA4  | 2   | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 5   | 1   | 5   | 1   | 4.1473  |
| OA5  | 1/5 | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 1/3 | 5   | 5   | 5   | 4.3282  |
| OA6  | 1   | 1/5 | 1   | 1/5 | 3   | 1   | 5   | 1/2 | 1/3 | 3.4976  |
| OA7  | 1   | 1/5 | 3   | 1   | 1/5 | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 2.9326  |
| OA8  | 1   | 1/5 | 1   | 1/5 | 1/5 | 2   | 1   | 1   | 1   | 2.7568  |
| OA9  | 1/5 | 2   | 1/5 | 1   | 1/5 | 3   | 1   | 1   | 1   | 3.0984  |
|      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 34.0260 |

| PSF5 | OA1 | OA2 | OA3 | OA4 | OA5 | OA6 | OA7 | OA8 | OA9 |         |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| OA1  | 1   | 5   | 1/2 | 5   | 1   | 1   | 5   | 1   | 1   | 4.5277  |
| OA2  | 1/5 | 1   | 5   | 5   | 1   | 5   | 1   | 5   | 1/2 | 4.8683  |
| OA3  | 2   | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 1/2 | 1/2 | 1   | 1/2 | 2.7749  |
| OA4  | 1/5 | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 5   | 1   | 5   | 1   | 3.9243  |
| OA5  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 5   | 1/2 | 5   | 4.0620  |
| OA6  | 1   | 1/5 | 2   | 1/5 | 1   | 1   | 1/3 | 1/2 | 1/3 | 2.5626  |
| OA7  | 1/5 | 1   | 2   | 1   | 1/5 | 3   | 1   | 1   | 1   | 3.2249  |
| OA8  | 1   | 1/5 | 1   | 1/5 | 2   | 2   | 1   | 1   | 5   | 3.6606  |
| OA9  | 1   | 2   | 2   | 1   | 1/5 | 3   | 1   | 1/5 | 1   | 3.3764  |
|      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 32.9816 |

| PSF6 | OA1 | OA2 | OA3 | OA4 | OA5 | OA6 | OA7 | OA8 | OA9 |         |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| OA1  | 1   | 5   | 1/2 | 1/3 | 5   | 1   | 1   | 5   | 1   | 4.4535  |
| OA2  | 1/5 | 1   | 5   | 5   | 1   | 5   | 1   | 5   | 1/2 | 4.8683  |
| OA3  | 2   | 1/5 | 1   | 1   | 5   | 1/2 | 1/3 | 1   | 1   | 3.4689  |
| OA4  | 3   | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 5   | 1   | 3.7683  |
| OA5  | 1/5 | 1   | 1/5 | 1   | 1   | 1/3 | 5   | 1/2 | 1/2 | 3.1198  |
| OA6  | 1   | 1/5 | 2   | 1   | 3   | 1   | 5   | 1/2 | 1/3 | 3.7461  |
| OA7  | 1   | 1   | 3   | 1   | 1/5 | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 3.0659  |
| OA8  | 1/5 | 1/5 | 1   | 1/5 | 2   | 2   | 1   | 1   | 5   | 3.5496  |
| OA9  | 1   | 2   | 1   | 1   | 2   | 3   | 1   | 1/5 | 1   | 3.4928  |
|      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 33.5333 |

| PSF7 | OA1 | OA2 | OA3 | OA4 | OA5 | OA6 | OA7 | OA8 | OA9 |        |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| OA1  | 1   | 5   | 1   | 1   | 5   | 1   | 1   | 1   | 5   | 4.5826 |
| OA2  | 1/5 | 1   | 5   | 5   | 1   | 5   | 1   | 5   | 1/2 | 4.8683 |
| OA3  | 1   | 1/5 | 1   | 1   | 5   | 1/2 | 1   | 1/2 | 1/2 | 3.2711 |
| OA4  | 1   | 1/5 | 5   | 1   | 1   | 1/2 | 5   | 1   | 5   | 4.4385 |
| OA5  | 1/5 | 1   | 1/5 | 1   | 1   | 1/3 | 5   | 1/2 | 1   | 3.1990 |

\* 종합된 가중치 #2

[부록6 : 표 -18] 종합된 가중치 #2

|     | PSF1   | PSF2   | PSF3   | PSF4   | PSF5   | PSF6   | PSF7   |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OA1 | 0.0810 | 0.1141 | 0.0969 | 0.1157 | 0.1373 | 0.1328 | 0.1362 |
| OA2 | 0.1886 | 0.1512 | 0.1310 | 0.1701 | 0.1476 | 0.1452 | 0.1447 |
| OA3 | 0.0876 | 0.1078 | 0.1168 | 0.1040 | 0.0841 | 0.1034 | 0.0972 |
| OA4 | 0.1232 | 0.1499 | 0.1518 | 0.1219 | 0.1190 | 0.1124 | 0.1319 |
| OA5 | 0.1375 | 0.1311 | 0.1412 | 0.1272 | 0.1232 | 0.0930 | 0.0951 |
| OA6 | 0.1064 | 0.1109 | 0.0908 | 0.1028 | 0.0777 | 0.1117 | 0.1319 |
| OA7 | 0.0977 | 0.1137 | 0.1129 | 0.0862 | 0.0978 | 0.0914 | 0.0764 |
| OA8 | 0.1042 | 0.0585 | 0.0798 | 0.0810 | 0.1110 | 0.1059 | 0.0995 |
| OA9 | 0.0737 | 0.0628 | 0.0788 | 0.0911 | 0.1024 | 0.1042 | 0.0872 |

[부록6 : 표 -19] 종합된 가중치 #3

|     | OF1    | OF2    | OF3    | OF4    | OF5    |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| OA1 | 0.1121 | 0.1138 | 0.1117 | 0.1161 | 0.1122 |
| OA2 | 0.1561 | 0.1548 | 0.1552 | 0.1551 | 0.1557 |
| OA3 | 0.1008 | 0.1003 | 0.1008 | 0.0990 | 0.1004 |
| OA4 | 0.1324 | 0.1312 | 0.1320 | 0.1289 | 0.1315 |
| OA5 | 0.1257 | 0.1222 | 0.1244 | 0.1217 | 0.1239 |
| OA6 | 0.1038 | 0.1057 | 0.1043 | 0.1032 | 0.1048 |
| OA7 | 0.0985 | 0.0965 | 0.0983 | 0.0968 | 0.0978 |
| OA8 | 0.0881 | 0.0913 | 0.0901 | 0.0927 | 0.0903 |
| OA9 | 0.0825 | 0.0842 | 0.0832 | 0.0863 | 0.0833 |

[부록6 : 표 -20] 종합된 가중치 #4

|     | OF1    | OF2    | OF3    | OF4    | OF5    |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OA1 | 0.0540 | 0.0015 | 0.0538 | 0.0022 | 0.0004 | 0.1120 |
| OA2 | 0.0752 | 0.0021 | 0.0747 | 0.0030 | 0.0006 | 0.1556 |
| OA3 | 0.0485 | 0.0014 | 0.0486 | 0.0019 | 0.0004 | 0.1008 |
| OA4 | 0.0638 | 0.0018 | 0.0636 | 0.0025 | 0.0005 | 0.1321 |
| OA5 | 0.0605 | 0.0017 | 0.0599 | 0.0023 | 0.0005 | 0.1249 |
| OA6 | 0.0500 | 0.0014 | 0.0503 | 0.0020 | 0.0004 | 0.1041 |
| OA7 | 0.0475 | 0.0013 | 0.0473 | 0.0019 | 0.0019 | 0.0999 |
| OA8 | 0.0424 | 0.0012 | 0.0434 | 0.0018 | 0.0003 | 0.0892 |
| OA9 | 0.0397 | 0.0011 | 0.0401 | 0.0017 | 0.0003 | 0.0829 |

[부록6 : 표 -21] 종합된 가중치 #5

|     | OF1    | OF2    | OF3    | OF4    | OF5    |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| OA1 | 0.4821 | 0.0138 | 0.4802 | 0.0200 | 0.0039 |
| OA2 | 0.4832 | 0.0135 | 0.4802 | 0.0192 | 0.0039 |
| OA3 | 0.4817 | 0.0136 | 0.4819 | 0.0189 | 0.0038 |
| OA4 | 0.4827 | 0.0135 | 0.4812 | 0.0188 | 0.0038 |
| OA5 | 0.4844 | 0.0133 | 0.4797 | 0.0188 | 0.0038 |
| OA6 | 0.4804 | 0.0138 | 0.4828 | 0.0191 | 0.0039 |
| OA7 | 0.4753 | 0.0132 | 0.4740 | 0.0187 | 0.0189 |
| OA8 | 0.4756 | 0.0139 | 0.4865 | 0.0200 | 0.0039 |
| OA9 | 0.4791 | 0.0138 | 0.4832 | 0.0201 | 0.0039 |

### 3. 성공률 지수 방법론의 적용

해석적인 계층 방법론을 통해 조직인자의 가중치가 결정이 되고, 설문서를 통해 조직인자의 등급이 결정이 되면, 성공률 지수방법론을 이용하여 9가지 인간행동에 대한 성공률 지수를 구한다. 여기서 조직인자의 등급이란 조직인자의 질(Quality)을 의미한다. 이번 연구에서는 조직인자의 등급에 평균적으로 6을 할당한다. 등급은 1에서 10까지의 값을 할당할 수 있으므로, 6을 할당하였다는 것은 조직인자의 질이 평균적으로 보통 이상이라는 것을 의미한다. 이런 과정을 통해, 다음과 같이 9가지 인간행동의 성공률 지수를 산출하였다.

[부록6 : 표 -22] 비상급수계통의 인간 행동에 대한 조직인자의 가중치와 등급

|     | OF1    |     | OF2    |     | OF3    |     | OF4    |          | OF5    |     |
|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|----------|--------|-----|
|     | W      | R   | W      | R   | W      | R   | W      | R        | W      | R   |
| OA1 | 0.4821 | 0.6 | 0.0138 | 0.6 | 0.4802 | 0.7 | 0.0200 | 0.7      | 0.0039 | 0.7 |
| OA2 | 0.4832 | 0.7 | 0.0135 | 0.8 | 0.4802 | 0.6 | 0.0192 | 0.8      | 0.0039 | 0.7 |
| OA3 | 0.4817 | 0.5 | 0.0136 | 0.3 | 0.4819 | 0.7 | 0.0189 | 0.4      | 0.0038 | 0.5 |
| OA4 | 0.4827 | 0.5 | 0.0135 | 0.7 | 0.4812 | 0.9 | 0.0188 | 0.9      | 0.0038 | 0.5 |
| OA5 | 0.4844 | 0.7 | 0.0133 | 0.6 | 0.4797 | 0.5 | 0.0188 | 0.5      | 0.0038 | 0.5 |
| OA6 | 0.4804 | 0.6 | 0.0138 | 0.6 | 0.4828 | 0.7 | 0.0191 | 0.6      | 0.0039 | 0.7 |
| OA7 | 0.4753 | 0.6 | 0.0132 | 0.7 | 0.4740 | 0.6 | 0.0187 | 0.6      | 0.0189 | 0.6 |
| OA8 | 0.4756 | 0.5 | 0.0139 | 0.5 | 0.4865 | 0.5 | 0.0200 | 0.6      | 0.0039 | 0.5 |
| OA9 | 0.4791 | 0.6 | 0.0138 | 0.6 | 0.4832 | 0.5 | 0.0201 | 0.4      | 0.0039 | 0.6 |
|     |        |     |        |     |        |     |        |          |        |     |
|     |        |     |        |     |        |     |        | OA1' SLI | 0.65   |     |
|     |        |     |        |     |        |     |        | OA2' SLI | 0.66   |     |
|     |        |     |        |     |        |     |        | OA3' SLI | 0.59   |     |
|     |        |     |        |     |        |     |        | OA4' SLI | 0.70   |     |
|     |        |     |        |     |        |     |        | OA5' SLI | 0.60   |     |
|     |        |     |        |     |        |     |        | OA6' SLI | 0.65   |     |
|     |        |     |        |     |        |     |        | OA7' SLI | 0.60   |     |
|     |        |     |        |     |        |     |        | OA8' SLI | 0.50   |     |
|     |        |     |        |     |        |     |        | OA9' SLI | 0.55   |     |

## 제 4 장 결과와 토의

### 1 결과

9가지 인간행동에 대한 성공률 지수가 산출되면, 다음의 표를 이용하여 각 지수에 따라 인자값을 적용하므로 새로운 인간오류확률을 얻을 수 있다.

[부록6 : 표 -23] 성공률 지수에 대한 인자값의 적용 #1

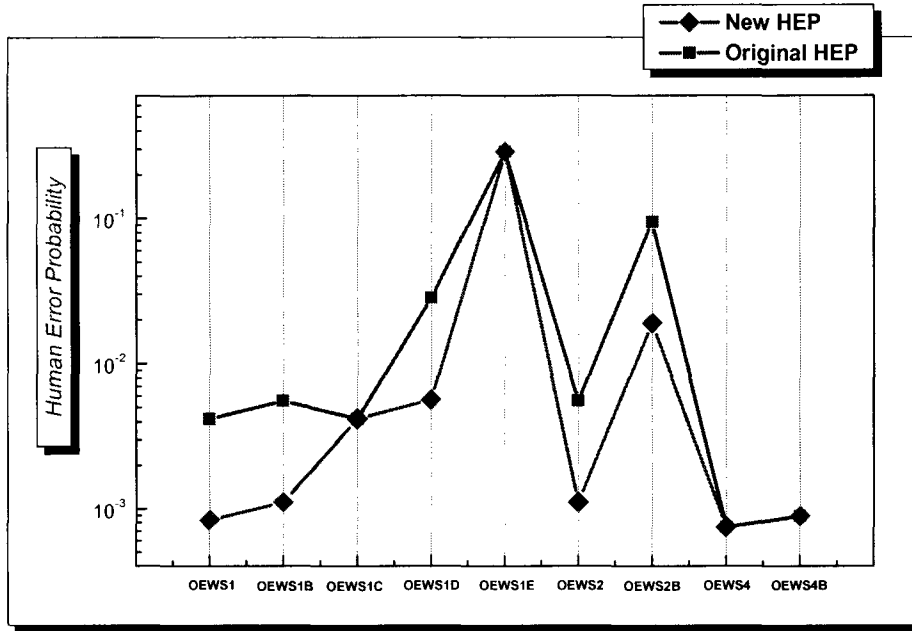
| 성공률 지수    | 설명    | 인자값  | 새로운 인간오류확률   |
|-----------|-------|------|--------------|
| 0.0 - 0.2 | 매우 나쁨 | 10   | 인자값 × 인간오류확률 |
| 0.2 - 0.4 | 나쁨    | 5    | 인자값 × 인간오류확률 |
| 0.4 - 0.6 | 보통    | 1    | 인자값 × 인간오류확률 |
| 0.6 - 0.8 | 좋은    | 1/5  | 인자값 × 인간오류확률 |
| 0.8 - 1.0 | 매우 좋음 | 1/10 | 인자값 × 인간오류확률 |

인간오류확률이 인자값에 따라 어떻게 변했는지 다음 표를 통해 파악할 수 있다. 성공률 지수가 대부분 0.5보다 높았으므로, 그 만큼 인간오류가 발생할 확률은 낮아졌음을 알 수 있다.

\* 인간오류확률의 변화

[부록6 : 표 -24] 인간오류확률의 변화

|             |          |                 |          |
|-------------|----------|-----------------|----------|
| OEWS1' HEP  | 4.19E-03 | New OEWS1' HEP  | 8.38E-04 |
| OEWS1B' HEP | 5.55E-03 | New OEWS1B' HEP | 1.11E-03 |
| OEWS1C' HEP | 4.19E-03 | New OEWS1C' HEP | 4.19E-03 |
| OEWS1D' HEP | 2.83E-02 | New OEWS1D' HEP | 5.66E-03 |
| OEWS1E' HEP | 2.87E-01 | New OEWS1E' HEP | 2.87E-01 |
| OEWS2' HEP  | 5.55E-03 | New OEWS2' HEP  | 1.11E-03 |
| OEWS2B' HEP | 9.48E-02 | New OEWS2B' HEP | 1.90E-02 |
| OEWS4' HEP  | 7.46E-04 | New OEWS4' HEP  | 7.46E-04 |
| OEWS4B' HEP | 8.90E-04 | New OEWS4B' HEP | 8.90E-04 |

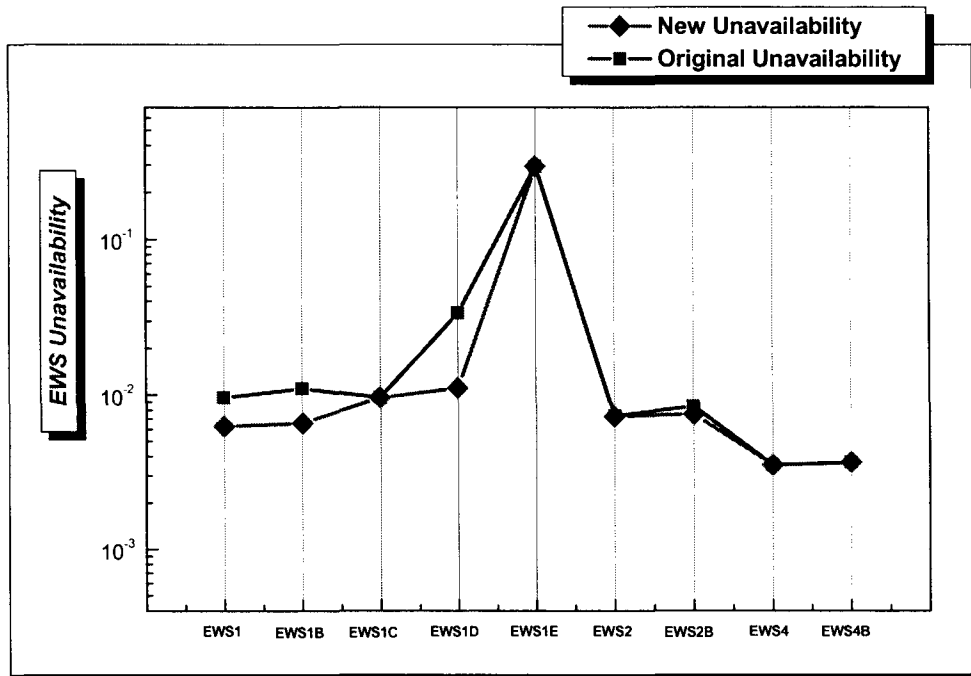


[부록6 : 그림-4] 인자값 #1을 이용한 인간오류확률의 변화

[부록6 : 표 -25] 비상급수계통의 불이용도 변화

|                       |          |                           |          |     |
|-----------------------|----------|---------------------------|----------|-----|
| EWS1' Unavailability  | 9.63E-03 | New EWS1' Unavailability  | 6.28E-03 | 35% |
| EWS1B' Unavailability | 1.10E-02 | New EWS1B' Unavailability | 6.55E-03 | 40% |
| EWS1C' Unavailability | 9.63E-03 | New EWS1C' Unavailability | 9.63E-03 | 0%  |
| EWS1D' Unavailability | 3.37E-02 | New EWS1D' Unavailability | 1.11E-02 | 67% |
| EWS1E' Unavailability | 2.92E-01 | New EWS1E' Unavailability | 2.92E-01 | 0%  |
| EWS2' Unavailability  | 7.32E-03 | New EWS2' Unavailability  | 7.27E-03 | 1%  |
| EWS2B' Unavailability | 8.46E-03 | New EWS2B' Unavailability | 7.49E-03 | 12% |
| EWS4' Unavailability  | 3.51E-03 | New EWS4' Unavailability  | 3.51E-03 | 0%  |
| EWS4B' Unavailability | 3.65E-03 | New EWS4B' Unavailability | 3.65E-03 | 0%  |
|                       |          |                           | Average  | 17% |





[부록6 : 그림-5] 인자값 #1을 이용한 비상급수계통의 불이용도 변화

새로운 인간오류확률을 KwTree에 입력하여, 비상급수계통의 새로운 불이용도를 산출하였다. 인간오류확률이 낮아졌으므로 인간오류가 포함된 계통의 불이용도도 낮아졌다. 불이용도는 평균적으로 이전보다 17%가 낮아졌다.

## 2 불확실성 분석

불확실성 분석을 위해, 성공률 지수에 대한 인자값의 범위를 좁혀 적용하였다. 이번 경우에도 인간오류확률은 낮아졌고, 계통의 불이용도는 평균적으로 14%가 낮아짐을 확인할 수 있었다

인자값의 범위를 다르게 적용하였지만, 두 경우 모두 10% 이상 불이용도가 낮아졌다. 이것을 통해 조직인자의 질이 평균 이상일 경우 계통의 불이용도를 기대 이상 낮출 수 있음을 확인할 수 있었다.

[부록6 : 표 -26] 성공률 지수에 대한 인자값의 적용 #2

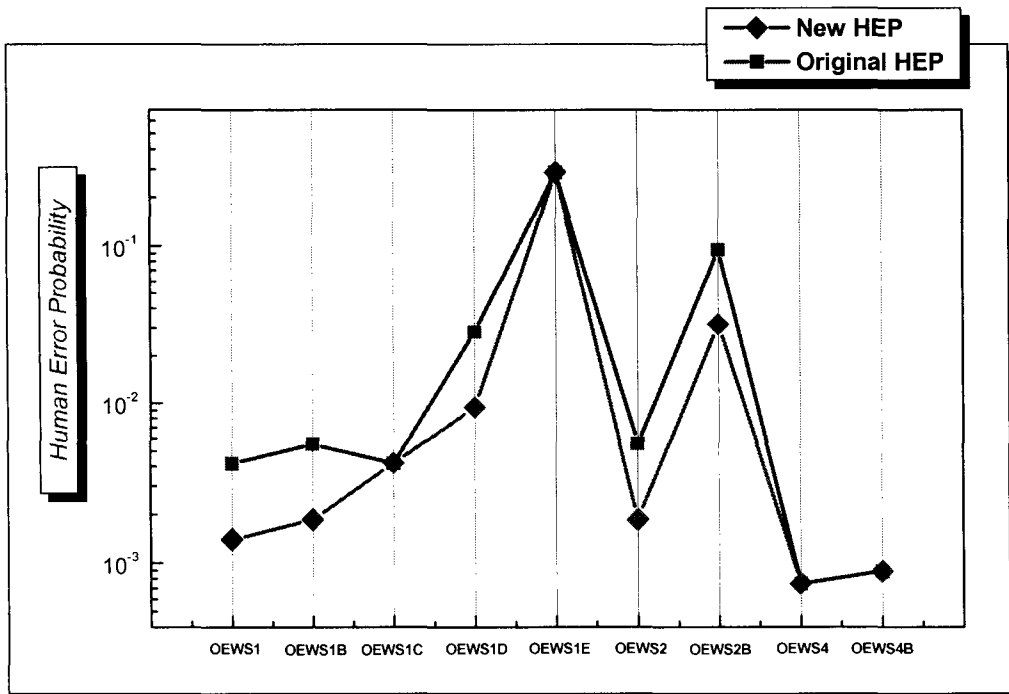
| Index     | Description | Factors | New HEP                |
|-----------|-------------|---------|------------------------|
| 0.0 - 0.2 | Very Bad    | 5       | Factors × Original HEP |
| 0.2 - 0.4 | Bad         | 3       | Factors × Original HEP |
| 0.4 - 0.6 | Moderate    | 1       | Factors × Original HEP |
| 0.6 - 0.8 | Good        | 1/3     | Factors × Original HEP |
| 0.8 - 1.0 | Very Good   | 1/5     | Factors × Original HEP |

[부록6 : 표 -27] 인간오류확률의 변화

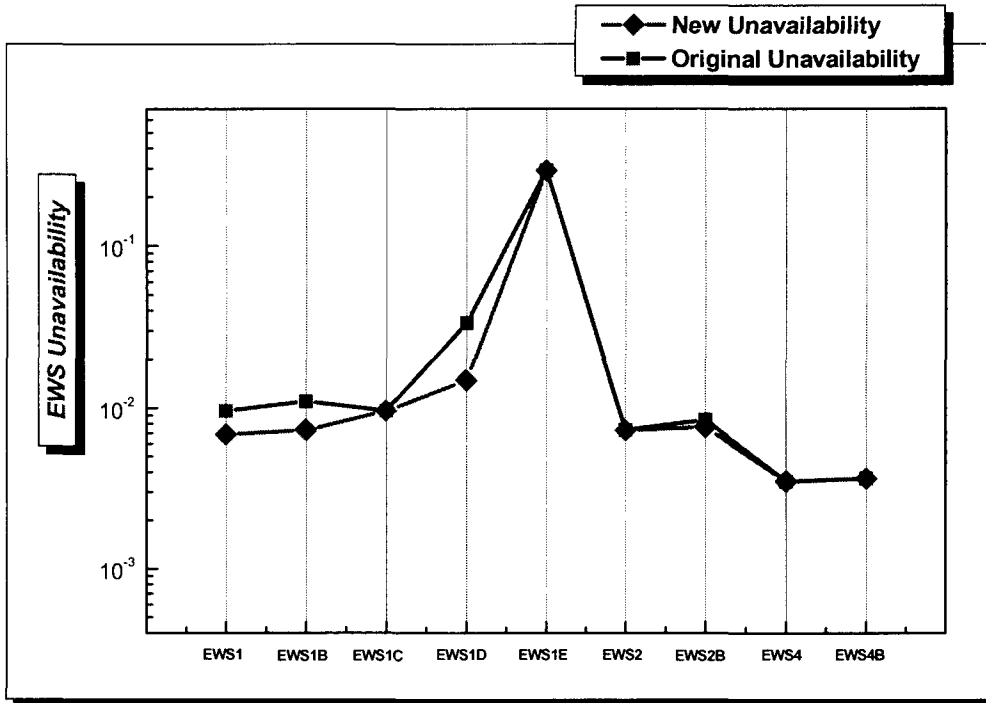
|             |          |                 |          |
|-------------|----------|-----------------|----------|
| OEWS1' HEP  | 4.19E-03 | New OEWS1' HEP  | 1.40E-03 |
| OEWS1B' HEP | 5.55E-03 | New OEWS1B' HEP | 1.85E-03 |
| OEWS1C' HEP | 4.19E-03 | New OEWS1C' HEP | 4.19E-03 |
| OEWS1D' HEP | 2.83E-02 | New OEWS1D' HEP | 9.42E-03 |
| OEWS1E' HEP | 2.87E-01 | New OEWS1E' HEP | 2.87E-01 |
| OEWS2' HEP  | 5.55E-03 | New OEWS2' HEP  | 1.85E-03 |
| OEWS2B' HEP | 9.48E-02 | New OEWS2B' HEP | 3.16E-02 |
| OEWS4' HEP  | 7.46E-04 | New OEWS4' HEP  | 7.46E-04 |
| OEWS4B' HEP | 8.90E-04 | New OEWS4B' HEP | 8.90E-04 |

[부록6 : 표 -28] 비상급수계통의 불이용도 변화

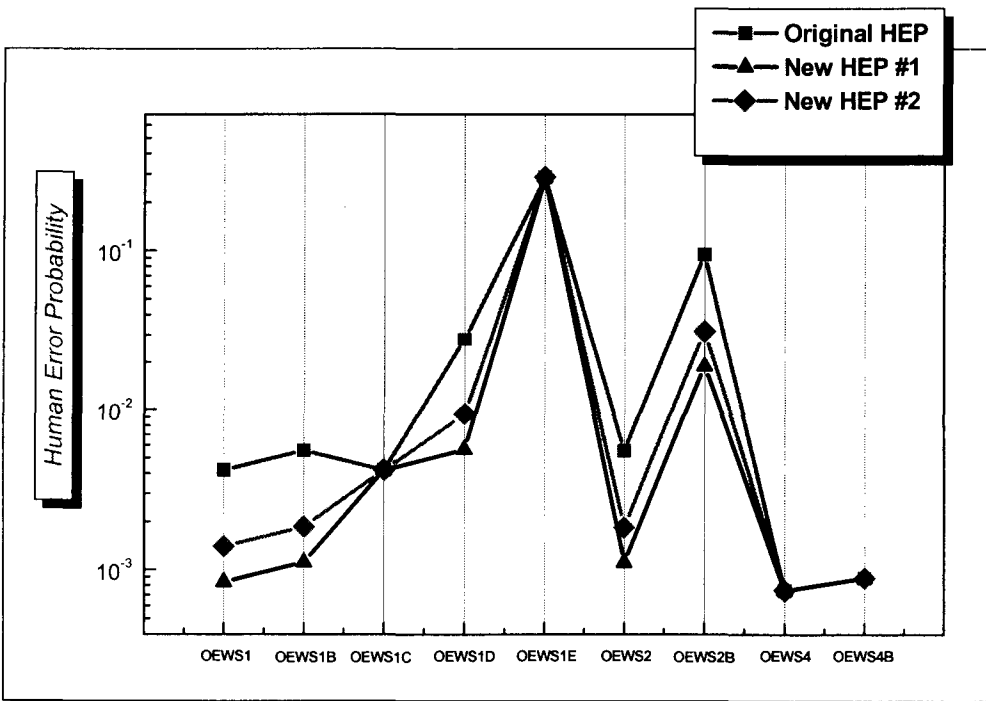
|                          |          |                              |          |     |
|--------------------------|----------|------------------------------|----------|-----|
| EWS1'<br>Unavailability  | 9.63E-03 | New EWS1'<br>Unavailability  | 6.84E-03 | 29% |
| EWS1B'<br>Unavailability | 1.10E-02 | New EWS1B'<br>Unavailability | 7.29E-03 | 34% |
| EWS1C'<br>Unavailability | 9.63E-03 | New EWS1C'<br>Unavailability | 9.63E-03 | 0%  |
| EWS1D'<br>Unavailability | 3.37E-02 | New EWS1D'<br>Unavailability | 1.49E-02 | 56% |
| EWS1E'<br>Unavailability | 2.92E-01 | New EWS1E'<br>Unavailability | 2.92E-01 | 0%  |
| EWS2'<br>Unavailability  | 7.32E-03 | New EWS2'<br>Unavailability  | 7.28E-03 | 1%  |
| EWS2B'<br>Unavailability | 8.46E-03 | New EWS2B'<br>Unavailability | 7.64E-03 | 10% |
| EWS4'<br>Unavailability  | 3.51E-03 | New EWS4'<br>Unavailability  | 3.51E-03 | 0%  |
| EWS4B'<br>Unavailability | 3.65E-03 | New EWS4B'<br>Unavailability | 3.65E-03 | 0%  |
|                          |          |                              | Average  | 14% |



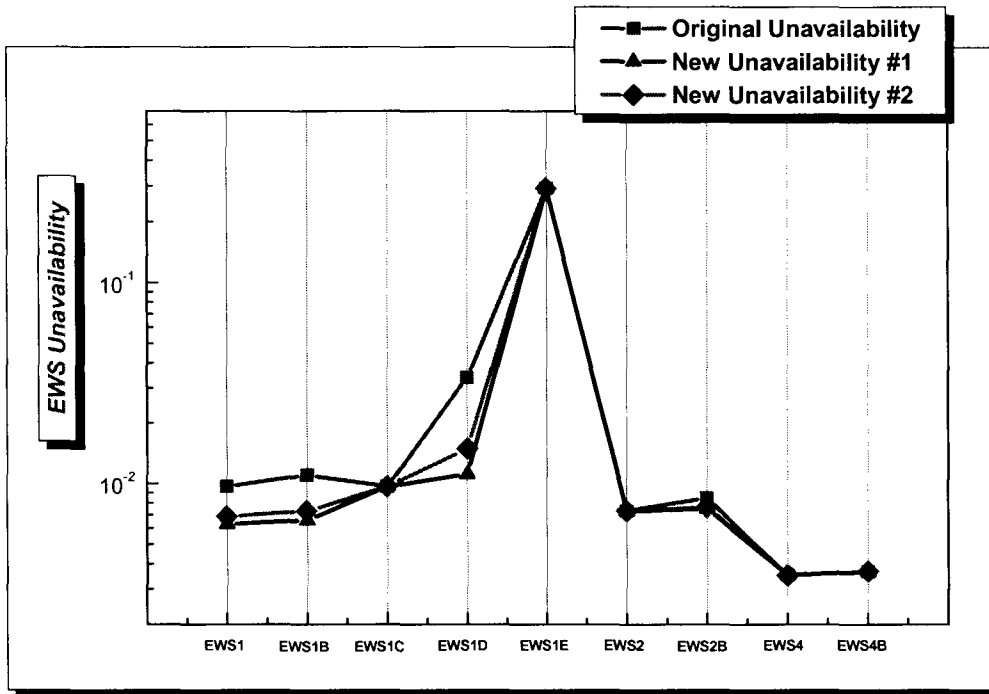
[부록6 : 그림-6] 인자값 #2를 이용한 인간오류확률의 변화



[부록6 : 그림-7] 인자값 #2를 이용한 비상급수계통의 불이용도 변화



[부록6 : 그림-8] 인자값 #1 & 2를 이용한 인간오류확률의 변화



[부록6 : 그림-9] 인자값 #1 & 2를 이용한 비상급수계통의 불이용도 변화

## 제 5 장 결 론

조직인자는 원전 내에서 발생하는 인간 행동, 기기 오류, 초기사건에 영향을 준다. 결과적으로, 조직인자는 확률론적 안전성 평가 시에 영향을 주게 된다. 이번 연구에서는 원전의 안전성에 미치는 조직인자의 영향을 정량적으로 평가하는 방법론을 제시하였다. 또한 이 방법론을 실제 원전에 적용해 보았다. 그 결과 조직인자의 영향에 따라 원전 내의 인간오류확률이 변화하여 이로 인해 계통의 불이용도가 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 관리를 통해 조직인자의 질을 좋게 할 경우 인간오류확률을 줄일 수 있으며 따라서 궁극적으로 원전의 안전성이 증대될 수 있음을 확인할 수 있었다.

이번 연구를 통해 조직인자의 질 향상이 원전의 안전성에 크게 영향을 줄 수 있음을 예상할 수 있었으며, 앞으로의 연구에서는 제시된 정량적 방법론을 확대하고 구체화하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

여 백

## 참 고 문 헌

- [1] INSAG, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants”  
International Nuclear Safety Advisory Group, International Atomic  
Energy Agency, Vienna, (1988).
- [2] G.A. Murphy, Summary of NUREG-1154: Loss of Main and Auxiliary  
Feedwater Event at the Davis-Besse Plant on June 9, 1985,” Nuclear  
Safety, 27, 233-239,(1986).
- [3] J.S. Wu., G. E. Apostolakis, and D. Okrent, On the Inclusion of  
Organizational and Managerial Influences in Probabilistic Safety  
Assessment of Nuclear Power Plants, in The Analysis,  
Communication, and Perception of Risk, B. J. Garrick and W. C.  
Gekler, Eds., Plenum Press, New York,(1991),pp 429-439.
- [4] D. Bley, S. Kaplan, and D. Johnson, The Strengths and Limitations of  
PSA: Where We Stand, Reliability Engineering and System Safety,  
38,3-26, (1992).
- [5] PRA Procedures Guide, NUREG/CR-2300, U.S. Nuclear Regulatory  
Commission, Washington, D.C.,(1983).
- [6] A. Mosleh, Common Cause Failures: An Analysis Methodology and  
Example, Reliability Engineering and System Safety,  
34,249-292,(1991).
- [7] L.J Bellamy, T. A. W. Geyer, M. S. Wright, and N. W. Hurst, The  
Development in the UK of Techniques to take Account of  
Management, Organizational and Human Factors in the Modification of



Risk Estimates, presented at the American Institute of Chemical Engineering Spring National Meeting, Orlando, FL., March 18-22, 1990, American Institute of Chemical Engineers, New York, NY.

- [8] M. E. Pate-Cornell and R.G.Bea, Management Errors and System Reliability: A Probabilistic Approach and Application to Offshore Platforms, Risk Analysis, 12, 1-18, (1992).
- [9] D. Vaughan, Autonomy, Interdependence, and Social Control: NASA and the Space Shuttle Challenger, Administrative Science Quarterly, 35, 225-257, (1990).
- [10] S. Haber, J. O'Brien, D. Metlay, and D. Crouch, Influence of Organizational Factors on Performance Reliability, Vol.1: Overview and Detailed Methodological Development, NUREG\CR-5538, BNL-NUREG-52301,(1991).
- [11] J. Reason, Types, Tokens and Indicators," Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting, pp. 885-889, Orlando, FL., Oct. 8-12, 1990. The Human Factors Society, Santa Monica, CA.
- [12] J. Reason, Human Errors," Cambridge University Press, Cambridge, UK, (1990).
- [13] J. Wreathall and P. AA. D. Swain and H. E. Guttman, Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application," NUREG/CR-1278, U.S.Nuclear Regulatory Commission, Washington D.C.,(1983).
- [14] N. W. Hurst, L. J. Bellamy, T. A. W. Geyer, and J.A. Astley, A Classification Scheme for Pipework Failures to include Human and

Sociotechnical Errors and their Contribution to Pipework Failure Frequencies, *Journal of Hazardous Materials*, 26, 159-186, (1991). Improper Placement Led to AVB Flaw, Says MITI," *Nuclear News*, p. 94, August, (1991).

[15] J. Wreathall, *Organizational Factors Relevant to Safety*, presented at the 2nd Annual Information Exchange Meeting on NRC Organizational Factors Research, State College, PA., May 22-24, (1991).

[16] J. Wreathall, D.L Schurman, M. Modarres, N. S. Anderson, M. L. Roush, and A. Mosleh, *Performance Indicators Integration Project A Summary of Frameworks*, NUREG/CR-5610, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., (1990).

[17] N. S. Anderson, D.L. Schurman, and J. Wreathall, *A Structure of Influences of Management and Organizational Factors on Unsafe Acts at the Job Performer Level*, in *Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting*, pp, 881-884, Orlando, FL., Oct. 8-12, 1990, The Human Factors Society, Santa Monica, CA.

[18] M. Modarres, A. Mosleh, and J. Wreathall, *A Framework for Assessing Influence of Organization on Plant Safety*, *Reliability Engineering and System Safety*, 38, 157-171, (1992).

[19] M. E. Pate-Cornell, *Organizational Aspects of Engineering System Safety: The Case of Offshore Platforms*, *Science*, 250, 1210-1217, (1990).

[20] M. E. Pate-Cornell and P. S. Fischbeck, *Probabilistic Risk Analysis and Risk-Based Priority Scale for the Tiles of the Space Shuttle*,

- Reliability Engineering and System Safety, 40, 221-238,(1993).
- [21] M. E. Pate-Cornell and P. S. Fischbeck, PRA as a Management Tool: Organizational Factors and Risk-Based Priorities for the Maintenance of the Tiles of the Space Shuttle Orbiter, Reliability Engineering and System Safety, 40, 239-257,(1993).
- [22] W. G. He, A Method for Estimating Organizational Impact on Reactor Safety, Thesis Summary, Department of Nuclear Engineering, M.I.T., Cambridge, MA., May (1992).
- [23] D. E. Embrey, Incorporating Management and Organizational Factors into Probabilistic Safety Assessment, Reliability Engineering and System Safety, 38, 199-208, (1992).
- [24] D. E. Embrey, P. C. Humphreys, E.A.Rosa, B. Kirwanm, and K.Rea, SLIM-MAUD: An Approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgment, NUREG/CR-3518, U.S. Nuclear Regulatory commission, Washington, D.C.,(1984).
- [25] D. E. Embrey , SLIM-MAUD : A Computer-based Technique for Human Reliability Assessment, in Proceedings of the International ANS/ENS Topical Meeting on Probabilistic Safety Methods and Applications, San Francisco, CA., Feb. 24-Mar. 1, (1985).
- [26] R. Jacobs, S. Haber, Organizational processes and nuclear power plant safety , Reliability Engineering and System Safety, (1994).
- [27] D. I. Gertman, H. S. Blackman, Human Reliability & Safety Analysis Data Handbook (1994).
- [28] T, L. Saaty, L G. Vargas. Prediction, Projection and Forecasting

(1991).

[29] E, M. Dougherty, Human Reliability Analysis .(1988).

[30] Level II Probabilistic Safety Assessment for PHWR Summary Report  
, KEPRI. Technical Report. (1997).

[31] K. D. Moghaddam The Incorporation of Organizational Performance  
into Probabilistic Safety Assessment (PSA) Methodology via the  
Work Process Analysis Model (WPAM)” (1993).

여 백



- 매우 좋음 ..... ( )
- 좋음 ..... ( )
- 보통 ..... ( )
- 나쁨 ..... ( )
- 매우 나쁨 ..... ( )

원전 내에서 실제 행해지는 작업들의 여러 상호작용에 관한 이해정도는 어  
떻다고 생각하십니까?

- 매우 좋음 ..... ( )
- 좋음 ..... ( )
- 보통 ..... ( )
- 나쁨 ..... ( )
- 매우 나쁨 ..... ( )

현재 자신에게 주어진 업무들로 인한 스트레스(시간, 업무량 등등)는 적절하  
다고 생각하십니까?

- 매우 좋음 ..... ( )
- 좋음 ..... ( )
- 보통 ..... ( )
- 나쁨 ..... ( )
- 매우 나쁨 ..... ( )