

화학공장 계측, 제어계통의 신뢰성평가 및 고장원인탐색기법

— 계측, 제어계통의 안전성평가기법 —

1991. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전보건연구원
INDUSTRIAL SAFETY AND HEALTH RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 산업재해예방기술의 연구개발 및 보급사업의 일환으로 수행한 “화학공장 계측, 제어계통의 신뢰성평가 및 고장원인 탐색기법”의 1차보고서(계측, 제어계통의 안전성 평가기법)로서 제출합니다.

1991 년 12 월 31일

주관연구부서 : 산업안전보건연구원
화 학 연 구 실
연구책임자 : 실 장 정동인
연구수행자 : 연 구 원 주종대

목 차

제 1 장 서 론	3
I. 연구목적	3
II. 연구기간	4
III. 연구범위 및 내용	5
제 2 장 이 론	6
I. 신뢰도의 정의	6
II. 정 (靜) 신뢰도	7
III. 동 (動) 신뢰도	13
IV. 고장율	15
제 3 장 계측, 제어기기 사용 실태조사	19
I. 개 요	19
II. 계측, 제어기기 사용 현황	20
III. 문제점 분석 및 대책	24
제 4 장 계측, 제어기기의 고장원인 및 고장율 조사	27
I. 개 요	27
II. 계측, 제어기기의 고장원인	28
III. 계측, 제어기기의 고장율	36
IV. 문제점 분석 및 대책	43
제 5 장 결함수 해석법 (FTA) 을 이용한 안전성 평가방법	50
I. 개 요	50
II. 이 론	52
III. 컴퓨터 프로그램	55
제 6 장 결 론	59

참 고 문 헌	62
부 록	65
I. 계측, 제어기기 보유현황 (제조국가별)	67
II. 계측, 제어기기 고장원인 응답빈도	69
III. 제조원 (국가) 별 고장원인 응답빈도	71
IV. ' A ' 사의 단위공장별 고장을 발생추이	73
V. FT 분석을 위한 컴퓨터 프로그램	77

제 1 장 서론

1. 연구목적

일반적으로 화학제품을 생산하는 화학공장은 대규모 연속공정을 채택하고 있는 경우가 많으며 이들 공정은 설비의 자동화, 무인화가 타업종에 비해 잘 이루어져 있는 상황으로서 상대적으로 노동 집약도가 낮은 특성을 갖고 있다.

특히 근래에는 고임금, 인력난 등의 이유로 인하여 기존 및 신규 설비의 자동화가 가속화되는 추세로서 설비의 많은 부분이 계측, 제어장치에 의해 자동 조작되며 또한 신소재, 정밀화학등 고도의 첨단기술과 까다로운 운전 조건을 요구하는 업종의 경우에도 정확한 작업수행을 위하여 작업자의 기능 보다는 정밀계측, 제어장치에 의존하는 경우가 많다.

이와같이 화학공장의 경우 대부분의 제조공정이 계측, 제어기기에 의해 자동 제어되는 실정을 감안할 때 이들 설비가 안전운전에 차지하는 비중은 매우 높다고 할 수 있으며 따라서 계측, 제어기기의 신뢰성 평가도 중요한 의미를 갖는다.

화학공장에서의 사고는 조업에 직접 영향을 미치거나 작업자의 인명손실을 초래할 수 있는 화재, 폭발사고와 유해 독성물질에 의한 환경오염 및 작업자와 인근 주민에까지 피해를 줄 수 있는 누출사고로 구분할 수 있으나 어느것이나 그 피해정도와 범위가 매우 큰 대형사고인 특징을 갖고 있다.

즉 1988 년과 1989 년에 발생한 중대재해중 화학관련 102 건에 대하여 재해발생 원인별 분석에서 오조작에 의한 사고가 9.8 %, 장치결함 8.8 %를 차지하고 있어 화학공장의 안전작업에 계측, 제어부문의 신뢰성이 매우 중요함을 알 수 있다.

한편 화학공장은 타업종과는 달리 설비의 수명이 짧아서 노후되기 쉬우며 이는 대표적인 화학공장으로서 석유화학의 현황을 보더라도 표 1-1 과 같이 10년이상 가동되고 있는 노후사업장이 전체의 44 %를 차지하는 280 개소로서 이들 노후설비에 대한 안전대책이 특별히 요구된다고 할 수 있다.

표 1-1. 국내 석유화학공장 현황 (단위 : 개소)

지 역	사 업 장	10 년 이 상		10 년 미 만		비 고
		사 업 장	구성비%	사 업 장	구성비%	
계	640	280	44	360	56	
울 산	112	87	14	25	4	
여 천	35	27	4	8	1	
서 산	23	-	-	23	4	3 개 사업장
기 타	470	166	26	304	47	

그러나 이와같이 화학공장의 특별한 안전대책이 요구되는 중요성에도 불구하고 실제 이들 사업장의 안전과 연계하여 계측, 제어설비에 대한 신뢰도나 고장을 자료가 국내에는 전무한 실정이며 몇몇 외국자료도 그 조사대상 및 범위, 기간 등이 극히 제한된 것이어서 이를 적용하기에는 많은 문제점을 가지고 있는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 화학공장의 계측, 제어기기에 대한 고장원인 및 고장율을 조사하고 또한 종류별 사용실태 파악을 통하여 이를 결함수 해석법 (FTA) 을 이용한 안전성 평가방법의 기초자료로 활용함으로써 화학 공장의 안전조업 및 재해예방에 기여함을 목적으로 하였다.

II. 연구기간 및 범위

1 차년도 : 1991년 1월 ~ 1991년 12월 : 계측, 제어시스템의 안전성 평가방법

2차년도 : 1992년 1월 ~ 1992년 12월 : 화학설비 고장원인 탐색기법

Ⅲ. 연구내용

1. 계측, 제어시스템의 안전성 평가방법 (1차년도)

국내 계측, 제어기기의 사용 실태 및 신뢰성 (고장율) 조사를 실시하여 이에대한 자료를 확보하고 계측, 제어기기별 주요 고장원인과 고장율 데이터를 활용하여 결함수 해석법 (FTA) 에 의한 안전성 평가방법에 이용할 수 있도록 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

2. 화학설비 고장원인 탐색기법 (2차년도 예정)

화학공장의 주요 설비 즉 반응기 , 열교환기 , 증류탑 , 저장조 등에 대한 사업장 보유현황 파악과 이들의 주요 고장원인 및 고장발생형태 빈도를 조사하여 단위 화학설비에 대한 안전성 평가에 기초적 자료로서 활용될 수 있도록 하고 컴퓨터 프로그램을 응용, 보완하여 단위 화학설비에 대한 재해예방대책을 연구하고자 한다.

제 2 장 이 론

I. 신뢰도의 정의

신뢰도 (reliability)를 정의하면 “어떤 장비가 의도된 용도에 주어진 기간동안 사용되어 충족하게 가동될 확률”이다. 이 정의속에는 확률이 포함되어 있으며, 이것은 계량적인 척도로 사용하는 것을 나타낸다. 또한 확률적인 면 외에도 신뢰도의 정의에는 세가지 다른 고려사항이 포함되는데 그것은 (1) 충족한 가동, (2) 기간, (3) 의도된 용도이다. 그러므로 어떤 상태가 충족한 가동상태 인가를 정의해야 하며 반드시 장비가 완전히 파괴되어야만 충족하지 않게되는 것은 아니다.

근래에 들어서는 고도의 신뢰도를 갖는 시스템 (System)이나 부품을 만들어야 할 중요성이 점차로 증대하고 있다. 이는 첨단과학의 발달로 인하여 여기에 소요되는 각종 장비 및 부품의 정밀성과 정확도가 요구되며, 경제적인 면에서도 총비용을 줄이기 위해 필요하기 때문이다. 일반적으로 동일 종류의 부품이라 할지라도 사용목적에 따라 신뢰도는 많은 차이를 갖게 되는데 예를들면 항공 , 우주산업분야의 부품은 매우 높은 신뢰도를 요구하나 군용장비는 이보다 상대적으로 낮은 신뢰도의 부품을 사용하고 일반 산업용 및 가정용은 앞의 두 경우보다도 더욱 낮은 신뢰도의 부품이 이용된다. 이는 당해 부품이 이용되는 시스템의 중요도와 이에따른 경제적인 측면이 함께 고려되고 있기 때문이다.

화학공장에서의 사고는 막대한 경제적 손실을 가져오며 특히 폭발, 화재의 경우 사업장에 근무하는 작업자의 생명에 위험을 주고 나아가 독성물질 누출사고의 경우는 인근 주민 및 환경에도 영향을 미칠 우려가 있기 때문에 다른 업종에 비해 신뢰도가 높은 설비 및 시스템이 구비되어야 한다. 따라

서 화학공장의 시스템은 대개 중복 설계로 되어 있으며 이중, 삼중의 안전 장치가 구비되어 있어서 단순한 몇개의 부품이나 장치가 고장나더라도 전체 프로세스의 가동에는 지장이 없는 경우가 대부분이다. 그러나 시스템이 점점 복잡해지고 정밀도를 요구하는 화학공업의 경우 거의 모든 설비가 계측, 제어 장치에 의해 가동되며 따라서 이들의 신뢰도는 생산성 및 안전성 측면에서 매우 심각하게 고려되어야 할 사항으로 인식되기 시작하였다.

II. 정신뢰도 (靜信賴度)

일반적으로 부품의 신뢰도는 시간의 함수로서 시간이 짧을수록 고장없이 임무를 완수하는 확률은 크게 된다. 그러나 시간이 경과하는데 따른 신뢰도 변화 전체보다 그 한 단면만이 요구되는 경우가 많으며 이와같이 시간이 정해진 상태에서의 신뢰도를 정 신뢰도 (Static reliability) 라고 한다.

(1) 품질관리 측면에서 시간 $t = 0$ 에서의 시스템의 신뢰도에 관심이 있는 경우이며 부품의 제작공정에서 생기는 불량률이 주어졌을 때 이런 부품들로 조립된 시스템이 불량 또는 고장일 확률을 구하는 경우와

(2) 이미 임무 자체와 그 지속시간이 결정된 상태에서 $t = t_1$ 에서의 시스템의 신뢰도에 관심이 있을 경우로서 $t = t_1$ 에서의 부품의 신뢰도가 주어졌을 때 시스템이 임무를 성공시킬 확률을 구하는 문제이다.

1. 구조분석

복잡한 시스템의 신뢰도 분석을 할 때에는 그 시스템 전체를 한꺼번에 다루기가 매우 힘들며 따라서 이런 경우에는 시스템을 분해하여 몇개의 하부 시스템이나 부품들로 나누어서 생각하는 것이 합리적인 방법이다. 이렇게 시스템을 세분화 함으로서 이들이 어떻게 상호 연관되어 시스템을 작동시키는

가를 묘사하는 블록 다이어그램 (block diagram)을 그릴 수가 있는데 대개 직렬 (Series)과 병렬 (Parallel) 구조로서 표시되며 때에 따라서는 이들 구조의 조합으로 분석할 수 없는 경우도 있어서 이때에는 특수한 수학적 기법을 사용하기도 한다.

(1) 직렬구조 (Series Structure)

가장 흔히 쓰이는 간단한 신뢰도 구조로서 시스템이 정상가동 하기 위하여는 모든 부품이 다 정상 작동하여야 한다. 이 경우는 항상 가장 약한 부품의 신뢰도보다 시스템의 신뢰도가 낮기 때문에 신뢰도 면에서는 가장 취약한 구조로서 시스템이 정상 가동하는 것을 나타내는 사상 (事象, event)은 각 부품이 정상가동 상태의 합집합으로 표시된다. 즉 n 번째 부품이 정상 가동될 확률을 $P\{①\}$ 로 표시할 수 있고 부품간에 상호작용이 없으며 독립된 고장이라면 시스템이 정상 가동할 확률 (Reliability) R 은 다음과 같이 된다.

$$R = P\{①\} P\{②\} \cdots P\{①\} \quad (2.1)$$

(2) 병렬구조 (Parallel Structure)

이 경우는 원인과 결과를 연결하는 n 개의 경로가 있으며 모든 경로가 차단되기 위하여는 부품 모두가 고장이어야 한다. 이런 신뢰도 구조를 병렬구조 (Parallel Structure)라 하며 이는 원래 시스템의 구조가 이렇게 설계된 경우와, 시스템의 신뢰도를 향상시키기 위하여 중복 설계를 한 결과일 수도 있다. 병렬구조인 경우 n 번째 부품이 고장날 확률을 $P\{\bar{n}\}$ 로 표시할 수 있고, 부품간에 상호작용이 없으며 부품고장이 상호 독립적 이라면 시스템이 정상 가동할 확률 R 은 다음과 같이 된다.

$$R = 1 - P\{\bar{1}\} \cdot P\{\bar{2}\} \cdots P\{\bar{n}\} \quad (2.2)$$

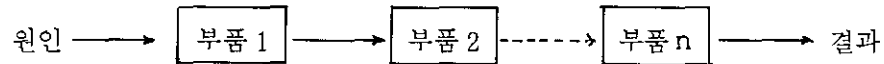
(3) 기 타

앞의 두가지 구조로서는 대개의 신뢰도 구조분석에 그다지 용이하게 사용할 수가 없는데 이는 시스템이 앞의 경우와 같이 단순하지 않기 때문이다. 따라서 실제 신뢰도 구조분석에 사용되는 구조는 직렬과 병렬을 적절히 혼합하거나 특수한 수학적 기법을 사용하는 경우가 많다. 이에 대하여 몇가지만 간단히 언급하면 다음과 같다.

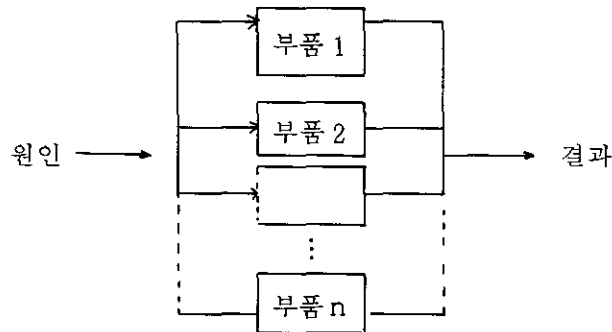
1) n중 k구조 : n개의 부품중 k개만 정상 작동하면 시스템이 정상인 경우

2) 가략구조 (可略構造, Reducible Structure) : 복잡한 시스템의 신뢰도 분석을 위하여 시스템을 분해하여 이들을 다시 몇개의 직렬과 병렬구조로 구성 가능한 경우

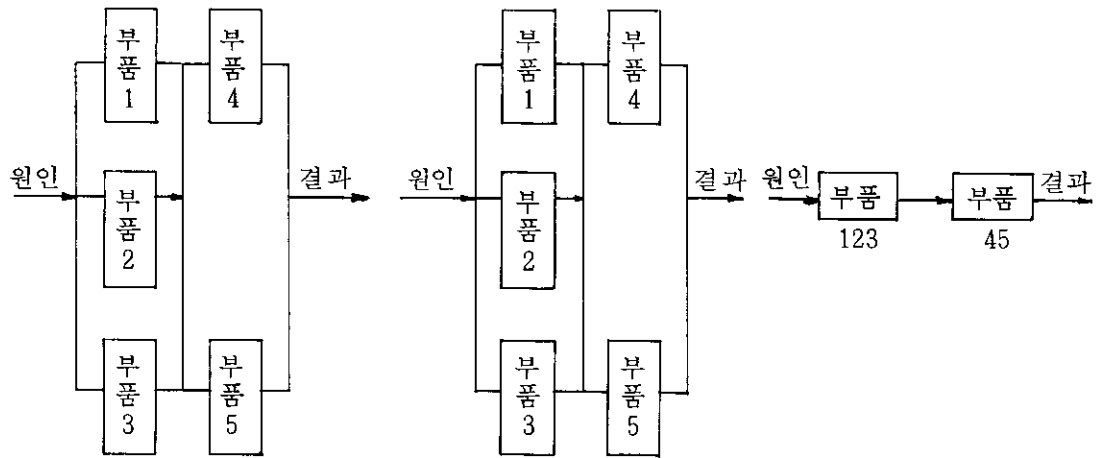
3) 비가략구조 (非可略構造, Irreducide Structure) : 시스템을 분해하였을 때 그 신뢰도 구조가 직렬과 병렬의 반복 구조가 아니기 때문에 더 이상 간단한 구조로 간략화 될 수 없는 경우



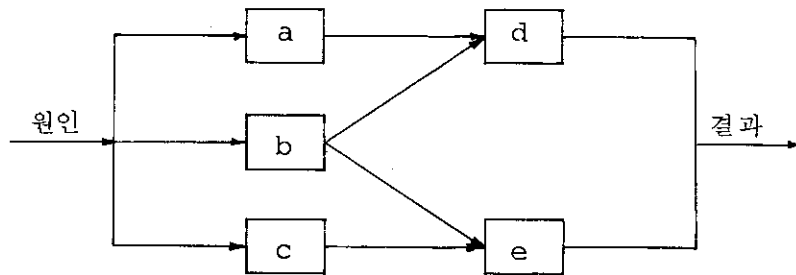
(a) 직렬구조 (直列構造)



(b) 병렬구조 (並列構造)



(c) 가락구조 (可略構造)



(d) 비가락구조 (非可略構造)

그림 2-1. 신뢰도 구조

2. 신뢰도 개선방안

시스템의 신뢰도를 증대시키기 위하여 선택할 수 있는 방법은 여러가지가 있을 수 있다. 우선 단순한 방법으로 고장율이 적은 우수한 부품을 개발, 사용하는 것을 들 수 있겠으나 이는 부피와 용량이 커지며 원가상승이라는 한계에 도달하게 되어 그다지 바람직하다고 할 수 없다. 따라서 대부분의 경우는 중복설계 (redundancy) 에 의하여 시스템의 구조를 변경함으로써 시스템의 근본적인 기능은 계속 유지하면서 신뢰도를 증대시킬 수 있다.

(1) 중복설계 (重複設計)

이는 시스템의 신뢰도를 개선하기 위하여 시스템 구조에 평행 경로를 부가하는 것으로서 체계중복과 부품중복의 두가지 설계방법이 있다. 중복설계시 고려해야 할 기본사항으로는 부품중복설계가 체계중복설계보다 신뢰도가 높으며 이는 부품수 및 부품의 신뢰도가 같지 않을 경우에도 성립된다.

단순한 시스템의 예를들어 설명하면 모든 부품이 동일하고 상호 독립이라면 단일계통 체계중복, 부품중복의 경우 각각의 시스템 신뢰도는 식 (2-3), (2-4), (2-5)와 같이 표시되며 이를 도해하면 그림 2-3 및 2-4와 같다.

$$R_a = P\{x_1\}P\{x_2\} = p^2 \quad (2.3)$$

$$R_b = P\{x_1x_2 + x_1'x_2'\} = p^2(2-p^2) \quad (2.4)$$

$$R_c = P\{x_1 + x_1'\} p\{x_2 + x_2'\} = p^2(2-p)^2 \quad (2.5)$$

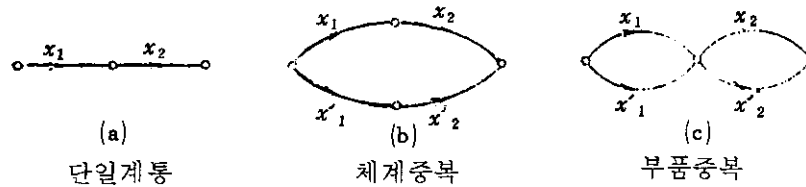
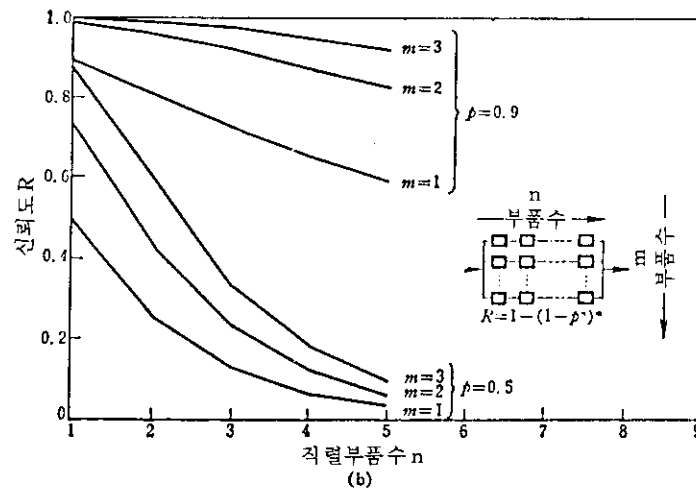
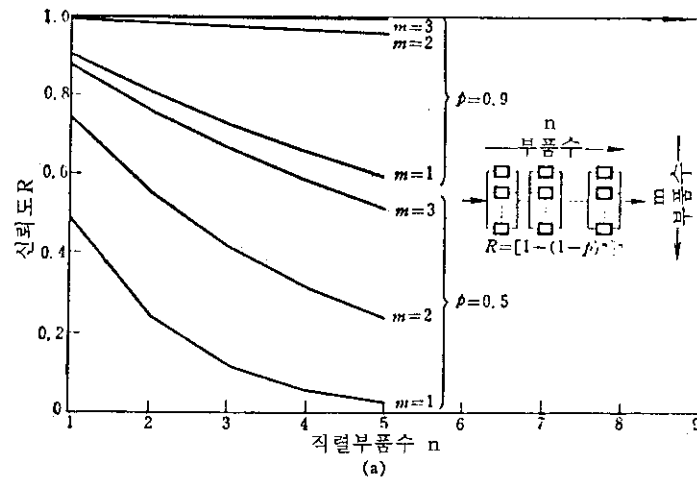


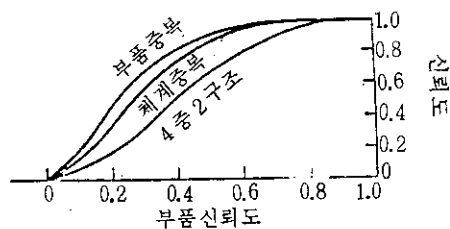
그림 2-2. 세 종류의 시스템



(a) 부품중복

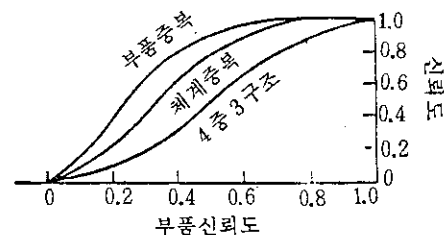
(b) 체계중복

그림 2-3. 중복설계의 비교



(a)

(a) 4중 2구조



(b)

(b) 4중 3구조

그림 2-4. n 중 k 구조에 대한 중복설계의 비교

Ⅲ. 동 신뢰도 (動 信賴度)

정 신뢰도 (靜 信賴度)와 달리 동 신뢰도 (動 信賴度)라 함은 시간의 함수로서의 신뢰도를 말한다. 즉, 고장률에 대한 실제값은 부품의 신뢰도를 지배하는 두가지 주요 요소로서 (1) 생산공정의 불확실성과 (2) 부품의 실제 운용 (運用)에서 견뎌내야 할 부하 (負荷)의 불확실성 때문에 신뢰도 검사와 같은 통계적 절차에 의해서만 얻어질 수 있다.

부품의 동 신뢰도를 구하기 위하여는 많은 양의 수명검사를 해야 하고, 이것이 이루어진 다음에 확률정리에 의해 시스템의 신뢰도를 구할 수 있는 것이다.

1. 구조분석

(1) 직렬구조 (直列構造)

정 신뢰도에서의 경우와 마찬가지로 시스템을 구성하고 있는 부품 중에서 하나라도 고장나면 시스템이 고장나게 되는 것으로서 시스템이 정상 가동하기 위하여 부품 모두가 작동해야 하는 것을 말한다. 가장 간단한 직렬구조의 예를들면 부품의 고장이 상호 독립적이며 각 부품의 고장률이 상수 (常數)인 경우 그 고장밀도 함수 $f(t)$ 는 지수 분포로서 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$f(t) = -\frac{d}{dt} R(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

따라서 직렬구조에서 각 부품의 고장률이 λ_i 일 때는 시스템의 고장률도 상수 λ 로서 지수분포를 갖게 되며 일반적으로 지수분포를 갖는 여러개의 확률변수의 최소치도 지수분포를 따른다는 것으로 알 수 있다.

또한 직렬구조는 모든 신뢰도 구조의 하한 (下限)으로서 같은 수의 부품으로 이루어진 어떤 구조중에서도 가장 낮은 신뢰도와 가장 높은 불신도를 갖게 되며, 주어진 시스템의 구조를 직렬구조로 가정하여 신뢰도를 계산한다

면 이는 그 시스템의 신뢰도 하한을 추정하는 것이 된다. 그러나 시스템을 구성하는 부품수가 증가하게 되면 신뢰도 함수를 구하기가 매우 어렵게 되므로 이런 경우에는 완전한 신뢰도 함수보다는 부품의 평균수명 (MTTF) 만을 사용하기도 한다. MTTF는 장비의 신뢰도로부터 구할 수 있으며 n 개부품의 직렬구조에 대한 평균수명은 다음과 같이 된다.

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\sum_{i=1}^n h_i(t)} dt \quad (2.7)$$

(2) 병렬구조 (並列構造)

이 경우는 시스템을 구성하고 있는 부품중에서 하나만이라도 작동하면 시스템이 정상하는 것으로서 부품의 수명을 T_i 라는 확률변수로 할 때 시스템의 수명 T 는

$$T = \max_i [T_i] \quad (2.8)$$

가 된다. 만약 n 개의 부품이 상호 독립이라면 시스템의 신뢰도 함수는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - e^{-h_i(t)}] \quad (2.9)$$

또한 모든 부품의 고장률이 상수 λ_i 로서 부품의 고장밀도가 $f(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t}$ 이면 부품의 고장밀도 함수는 다음식 2.10 과 같이 표시되며 이는 지수분포가 아니다.

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - e^{-\lambda_i t}] \quad (2.10)$$

즉 병렬구조에서는 시스템의 고장율은 각 부품의 고장율에 따라 상이한 형태를 갖게 되며 일반적으로 지수 분포를 갖는 여러개의 확률변수의 최대치는 지수분포를 따르지 않는다는 것을 알 수 있다.

Ⅳ. 고장을

1. 고장현상

어떠한 부품이나 시스템에 대하여 고유의 절대적인 신뢰도는 존재하지 않는다. 이는 부품이나 시스템의 신뢰도 즉 주어진 시스템이 일정시간 t 동안 고장나지 않을 확률은 그 시스템을 어떻게 사용하는가와 어떤 조건에서 사용되는가에 달려 있다.

한 시스템의 고장을 분석하자면 시스템에 작용하는 부하(負荷, Stress)와 시스템의 내재적인 강도(強度)와의 관계를 파악하여야 한다. 즉 부하가 강도를 넘게되면 시스템의 고장이 발생하는 것으로서 주어진 환경에서 장시간 사용될 경우 시스템의 강도는 저하되어 고장이 발생할 가능성이 높아지는 쇠약곡선을 나타낸다.(그림 2 - 5)

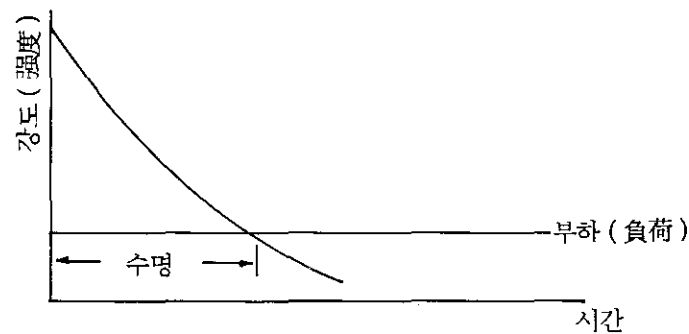


그림 2-5 시간에 따른 강도변화곡선

2. 시간변화에 따른 신뢰도

주어진 장비가 일정시간 t 에 고장나지 않을 확률은 바꾸어 말하면 장비가 t 이후에 고장날 확률이며 결국 장비수명 T 가 t 보다 클 확률을 말한다. 즉 시간의 함수로서 신뢰도 $R(t)$ 는

$$R(t) = \text{Prob}\{T > t\} \quad (2.11)$$

이다. 이를 측정하는 방법은 여러개의 장비를 동시에 가동하여 일정한 시간

간격을 두고 초기와 비교하여 정상 가동하는 장비수를 구하는 통계적인 방법이 사용된다. 이를 식으로 표시하면 실측 신뢰도 $R_d(t_i)$ 는 식 2-12와 같으며 도표로 표시하면 그림 2-4와 같이 단조 감소함수로 나타난다.

$$R_d(t_i) = \frac{n(t_i)}{N_0} \quad (2.12)$$

N_0 : 초기 장비수

t_i : 실측시간

$n(t_i)$: t_i 에서 가동하는 장비수

3. 순간 고장율 (Instantaneous Failure rate)

어느 부품이나 시스템의 장비수명 T 의 밀도함수 $f_d(t)$ 는 식 2-13과 같이 정의할 수 있다.

$$f_d(t) = \frac{[n(t_i) - n(t_i + \Delta t_i)] / N_0}{\Delta t_i}; \quad t_i < t \leq t_i + \Delta t_i \quad (2.13)$$

즉 이는 단위시간당 초기 장비의 몇%가 $t_i < t \leq t_i + \Delta t_i$ 사이에서 고장나는가를 나타내며, 이 밀도 함수의 개념을 연장하면 단위시간당 구간초기에 장비의 몇%가 그 구간내에서 고장나는가 하는 것을 알 수 있다. 이러한 개념을 순간 고장율 혹은 단순히 고장율이라 하여 $h_d(t)$ 로 표시되는 식 2.14와 같다.

$$h_d(t) = \frac{[n(t_i) - n(t_i + \Delta t_i)] / N_0}{\Delta t_i \cdot n(t_i) / N_0} = \frac{f_d(t)}{R_d(t)}; \quad t_i < t < t_i + \Delta t_i \quad (2.14)$$

4. 고장율의 형태

일반적으로 고장밀도 함수는 각 밀도 함수의 가중평균이고 순간 고장율은 각 고장원인에 대한 순간 고장율의 합으로 표시된다고 할 수 있다. 그러나 어떤장비의 고장발생율은 반드시 이 법칙에 따르지 않는으며 오히려 다음과

같은 세가지 유형의 고장원인에 따라 고장곡선 분포를 나타내는 경우가 대부분이다.

(1) 사용초기의 고장

장비나 부품의 사용초기에는 오히려 고장율이 높은 경향을 나타내는데 이는 절연불량, 불량부품, 결함불량, 납땜불량 등의 제작과정에서의 결함때문에 비교적 많은 고장이 발생하게 된다.

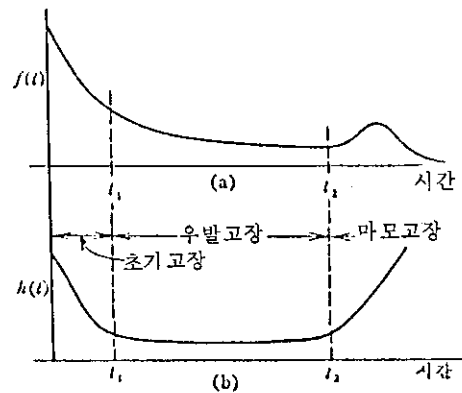
(2) 우발적인 고장 (Random failure)

일정기간 장비를 사용한 후에 발생하는 것으로서 빈도는 줄어드나 고장원인을 발견하기 힘든 경우가 많다. 대개 외부로부터의 부하가 설계된 장비의 강도를 초과할 때 발생하는 것으로서 이를 시간의 함수로서 정확하게 표시하기는 매우 힘들므로 이를 우발적인 고장이라 한다.

(3) 마모고장 (Wearout failure)

장비가 노후되면 구성 부품이 쇠약해져 고장이 많이 발생하여 이렇게 장비의 수명이 오래되어 발생하는 고장을 일컫는다.

이와같이 세가지 고장 형태를 종합하여 도표로 표시하면 그림 2-6과같이 되며 여기에서 알 수 있듯이 고장 형태를 구별하는데는 $h(t)$ 가 훨씬 용이하며 단조증가 혹은 단조감소하는 $F(t)$ 나 $R(t)$ 곡선을 가지고는 고장 형태를 식별하기란 거의 불가능한 것이다.



(a) 고장밀도 (b) 고장율
그림 2-6 전형적인 고장곡선

그림 2-6에 있는 $h(t)$ 곡선은 그 독특한 형태 때문에 욕조곡선(浴槽曲線: bathtub curve)이라고도 한다. 실제적으로도 $h(t)$ 곡선의 이런 형태 때문에 고급장비의 제조업자들은 어느 정도 초기고장을 제거할 수 있는 시간 t_1 까지 시험 사용한 후에 출고하는 수가 많다. 마모고장이 발생하기 시작하는 시간 t_2 에 다다르면 고장율이 빠른 속도로 증가하므로 어떤 장비를 t_2 시간만큼 사용한 후에는 교환하여 주는 것이 경제적인 때가 많다.

그러므로 이상적인 경우에 모든 장비가 그림 2-6에 있는 고장률의 형태를 갖는다면 t_1 까지 시험 운용한 후 남아있는 장비들을 $t_2 - t_1$ 동안 사용한 후 t_1 만큼 시험 운용된 장비들로 교환하여 주면 될 것이다. 이렇게 되면 실질적으로 고장률을 감소시키는 것이 되고 또 신뢰도를 높일 수 있는 길이 되나, 불행하게도 장비에 따라서는 단조 증가하는 고장률 또는 단조 감소하는 고장률을 가질 수도 있다. 그러나 대부분의 경우 전자부품들은 일정한 고장률을 갖고 기계부품들은 마모특성을 갖는 것으로 알려져 있다.

제 3 장 계측, 제어기기 사용 실태조사

I. 개 요

1. 조사목적

본 조사의 목적은 화학공장에서의 계측기기에 대한 아래 사항을 파악함으로써 이에 대한 문제점을 분석하고 그 대책을 연구하는데 기초 자료로 활용하고자 함에 있다.

- (1) 업종별 계측기기 사용실태 파악
- (2) 계측기기 제조원별 사용실태 파악
- (3) 계측기기별 보유수량 및 고장원인 파악
- (4) 계측기기별 고장율 파악
- (5) 단위장치별 고장빈도 파악('92년도 조사예정)
- (6) 단위장치별 고장원인 파악('92년도 조사예정)

2. 조사대상

본 연구의 조사대상 사업장은 화학설비를 운영하는 종업원 50인 이상의 업체중 원료취급 및 제조 공정상 비교적 위험도가 높은 사업장을 대상으로 하였다.

3. 조사방법 및 내용

조사대상 250개 사업장에 설문지를 발송하여 회신을 받은 103개 사업장에서 분석이 가능한 86개 사업장에 대하여 통계 분석을 하였고 이와는 별도로 22개 사업장에 대하여는 현장 방문조사를 실시하였다.

본 설문조사에서는 계측, 제어기기의 제조원별, 종류별 보유수량 및 주요 고장원인과 중요도, 재해사례등 안전관리 전반에 걸쳐 조사하였으나 방문조사에

서는 상기사항 이외에 현장 정비기록을 토대로 분류 가능한 고장빈도, 운전 일수, PM 관계 자료등을 조사하였다.

II. 계측, 제어기기 사용현황

1. 조사사업장 현황

계측, 제어기기 사용실태에 대한 업종별 분포를 살펴보면 표 3-1과 같다. 계측, 제어기기의 특성상 주로 연속공정을 채택하고 있는 석유화학, 섬유, 고분자 업종이 많은 분포를 차지하고 있으며 일부 의약, 정밀화학등 까다로운 조건의 회분식 공정을 채택하고 있는 업종도 조사대상에 포함시켰다.

〈표 3-1〉 조사 사업장 현황

업 종		석유 화학	정밀 화학	섬 유 고분자	의약	페인트 안 료	무기 화학	식품	기타	계
설문 조사	사업장수	22	16	14	4	9	7	6	8	86
	구성비(%)	25.6	18.6	16.3	4.7	10.5	8.1	7.0	9.2	100
방문 조사	사업장수	14	3	2	2	-	1	-	-	22
	구성비(%)	63.6	13.6	9.1	9.1	-	4.6	-	-	100
계	사업장수	36	19	16	6	9	8	6	8	108
	구성비(%)	33.3	17.6	14.8	5.6	8.3	7.4	5.6	7.4	100

2. 계측, 제어기기 보유현황

설문조사 사업장 86개소를 대상으로 분석한 계측, 제어기기 종류별 보유 현황은 표 3-2와 같다. 계측, 제어기기는 계측 부문의 다섯가지 즉 유량, 액위, 농도, 온도, 압력과 제어부문의 조절 밸브등 총 6가지에 대하여 조사하였다. 조사 결과 사업장의 업종에 따라 보유 현황의 차이가 많은 것으로 나타났으며 대개 연속공정을 채택하고 있는 사업장이 계측, 제어기기에 대한 의존

도가 높음을 알수 있다. 종류별로는 유량, 액위, 농도계류는 100개 미만의 보유 사업장이 절반을 넘으며 온도, 압력, 조절 밸브등은 100개 이상을 보유한 업체가 많았는데 이는 유량, 액위 농도계류는 공정의 연속성과 연관되어 있으며 또한 온도, 압력등은 공정의 종류와는 관계없이 대개의 화학반응이 이에 의존하는 것을 말해준다.

〈표 3-2〉 계측, 제어기기 보유현황

계측기기 보유수량		20개이하	21~50개	51~100개	101~500개	500개이상
유량계류	사업장수	41	12	12	18	3
	구성비(%)	47.7	14.0	14.0	20.9	3.4
액위계류	사업장수	37	18	18	13	0
	구성비(%)	43.0	20.9	20.9	15.2	0
농도계류	사업장수	59	17	5	5	0
	구성비(%)	68.6	19.8	5.8	5.8	0
온도계류	사업장수	13	16	6	34	17
	구성비(%)	15.1	18.6	7.0	39.5	19.8
압력계류	사업장수	22	9	10	35	10
	구성비(%)	25.6	10.5	11.6	40.7	11.6
조절밸브	사업장수	19	11	12	28	16
	구성비(%)	22.1	12.8	14.0	32.6	18.5

3. 계측, 제어기기 제조원별 보유현황

본 항목도 설문조사 86개 사업장의 응답내용을 분석한것으로서 동일 사업장에서 여러가지 종류의 계측, 제어기기를 사용하는 경우가 있으므로 사업장수는 중복 합산하였으며, 제조 국가별로는 한국, 일본, 미국, 유럽 및 기타등으로 구분하였다. 계측, 제어기기의 형식별 보유 현황은 부록 I에 별도 첨부

하였고 표 3-3에는 종류별 총괄 사항을 기재하였다.

사업장별 사용현황을 살펴보면 주로 국산과 일본제품이 비슷하게 사용되고 있으나, 보유수량을 기준으로 하면 국산제품이 71.1%, 일본제품이 23.0%를 차지하고 있음을 알수 있다. 그러나 국산제품은 온도, 압력계통의 게이지류가 주요 품목이며 일본제품은 정밀도가 보다 요구되는 유량, 액위, 농도계류 및 조절밸브등으로서 고가, 고부가가치의 계측, 제어기기는 많은 부분이 일본제품으로 사용되고 있는 실정이다.

〈표 3-3〉 제조원별 보유현황

종류	구분 제조원	사용사업장수(개소)					보유수량(개)				
		한국	일본	미국	기타	계	한국	일본	미국	기타	계
유량계류	수 량	18	78	17	4	117	98	7879	1312	86	9375
	구성비 ¹⁾	15.4	66.7	14.5	3.4	100	1.0	84.0	14.0	1.0	100
액위계류	수 량	35	55	21	13	124	1292	2574	725	225	4816
	구성비	28.2	44.4	16.9	10.5	100	26.8	53.4	15.1	4.7	100
농도계류	수 량	23	55	16	10	104	302	941	270	154	1667
	구성비	22.1	52.9	15.4	9.6	100	18.1	56.4	16.2	9.3	100
온도계류	수 량	119	30	5	4	158	58114	4967	397	128	63606
	구성비	75.3	19.0	3.2	2.5	100	91.4	7.8	0.6	0.2	100
압력계류	수 량	77	31	10	2	120	45939	2836	675	25	49475
	구성비	64.2	25.8	8.3	1.7	100	92.8	5.7	1.4	0.1	100
조절밸브	수 량	16	58	18	6	98	3085	16893	3265	901	24144
	구성비	16.3	59.2	18.4	6.1	100	12.8	70.0	13.5	3.7	100
계	수 량	288	307	87	39	721	108830	36090	6644	1519	153083
	구성비	39.9	42.6	12.1	5.4	100	71.1	23.6	4.3	1.0	100

1) 구성비 : %

4. 계측, 제어기기의 공정상 중요도

설문 사업장의 작업환경 및 운전조건등 특성을 고려할때 제어 대상으로서 그 중요도를 조사하였다. 본 설문 항목에는 49개 사업장에서 응답을 하였는데 제어 대상의 중요도를 분석한 결과는 표 3-4와 같다. 즉 표에서 보는 바와같이 사업장의 특성에 따라 다소 차이가 있지만 대개 온도 제어가 공정상 가장 중요한 것으로 나타났고 이어서 압력, 유량 및 조절밸브의 순서로 계측, 제어기기의 중요도가 나타났다. 이는 화학공장의 특성상 여러 화학물질의 혼합, 반응, 분리공정을 필요로 하기 때문에 온도 및 압력이 공정 에 미치는 영향이 매우 커서 이들의 제어가 원활하지 못할 경우 제품의 품질과 생산성은 물론 나아가 안전조업에 지장을 초래하기 때문이다.

일반적으로 화학 반응에서 온도와 압력은 상호 종속적인 변수로서 연속식 이나 회분식에 관계없이 반응에 중대한 영향을 미치나 유량(유속)은 연속 식 공정에만 해당되는 조건이기 때문에 그 중요도는 본 조사에서 비교적 크게 나타나지 않았다. 이는 표 3-2에서도 이미 언급되었듯이 계측, 제어기기의 보유 수량과도 밀접한 관계가 있는 것으로서 공정상 중요도가 높을수록 관련기기의 보유수량도 증가하는 경향을 나타내고 있다.

〈표 3-4〉 계측, 제어기기의 공정상 중요도에 대한 응답빈도(단위:개소)

종류 중요도	온도	압력	유량	액위	농도	조절밸브	기타
매우중요	28	6	6	1	1	7	-
중요	11	16	10	6	1	4	1
보통	4	15	16	5	2	7	-

Ⅲ. 문제점 분석 및 대책

설문조사 결과를 분석한 결과 현재 국내 화학공장의 계측, 제어기기 사용에 대한 문제점을 정리하면 다음과 같다.

1. 관리상의 문제점 및 대책

(1) 계측, 제어기기의 국산화

계측, 제어기기의 상당부분을 일본제품이 점유하고 있었으며 특히 고도의 정밀도가 요구되는 유량, 액위, 농도계류 및 밸브류의 대일(對日)의존도가 높았다. 이는 당해 분야의 계측, 제어기기 국내 제조사들의 기술이 아직 취약한 점도 있겠으나 사용자 입장에서는 화학공장의 특성상 높은 신뢰도를 요구하는 분야이므로 경제성만을 고집하기 어렵기 때문이라고 판단된다. 즉, 화학공장은 순간적인 운전실수로 막대한 경제적, 인적 손실을 초래할 수 있기 때문에 다소 비싸더라도 신뢰도가 높은 부품을 필요로 하는 특성이 있다. 따라서 이와같은 점을 감안할때 국가 정책적 차원에서 당해 분야에 대한 집중적인 연구개발이 요구된다.

(2) 업종에 따른 계측, 제어기기에 대한 의존도 차이

석유화학등 대규모 장치산업의 경우는 대개 연속공정을 채택하고 있기 때문에 계측, 제어설비가 많이 설치되어 있었으나 중·소규모 화학공장의 경우는 상대적으로 극히 제한된 설비를 갖추고 있었다. 그러나 중·소규모 사업장 실태를 감안할 경우 이들 사업장의 기술수준 낙후에 따른 문제점이 있기도 하나, 대부분은 기업규모에 따른 자금상의 문제로 인하여 노후 설비의 적기교체 및 보완등이 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

이와같은 문제점을 고려하여 특히 중속기업에 대한 세제(稅制) 및 금융상의 혜택이 주어질수 있는 제도상의 지원이 요구된다.

2. 운영상의 문제점 및 대책

(1) 이력관리 미비

대개의 화학공장에서 장치류(Equipments)에 대하여는 철저한 이력관리가 이루어지고 있으나 계측, 제어기기류는 특수한 일부 설비를 제외하고는 소모품의 성격을 띄고 있기 때문에 이력관리가 소홀하였다. 일부 이력관리가 행하여지는 사업장의 경우도 특수 장치류에 부속되어 통합관리가 되고 있기 때문에 대개의 계측, 제어기기에 대한 정확한 자료가 불충분한 실정으로서 이에 대한 주요 원인을 분석하면 다음과 같다.

1) 관리대상 수량과다

장치산업의 경우 관리대상 계측, 제어기기류의 수량이 통상적인 정비업무 담당 인원 에 비해 매우 많은 편이다. 따라서 관련부서간의 협의를 통하여 관리대상을 적절히 선별하여 집중적인 관리가 필요하다.

2) 종류 및 형식이 다양

기능에 따른 분류로서 일정 관리항목 및 서식을 준비하여 제조원 및 형식에 구매됨이 없이 필요한 항목에 대하여만 관리를 하되 사양이 아주 독특하거나 중요설비에 대해서는 시스템 또는 루프(Loop)관리를 실시하여야 한다.

3) 관리주체 불분명

일반적으로 이력관리의 주체는 정비 관련부서가 담당하여야 하나 공정의 특수성을 고려할때 관리항목의 선정은 생산부서의 협조가 있어야 한다. 시스템 또는 루프관리의 경우는 생산부서에서 이력관리를 직접 하는것이 이상의 조기에방에 오히려 바람직하다고 할수 있다.

(2) 자료 불충분

국내의 계측, 제어시스템의 종사자나 이용자가 가지고 있는 지식은 주로 외국제품을 사용하면서 얻은 경험적인 내용이 대부분이며 이들 내용도 제품소개책자(Catalog)나 아주 기초적인 일부 문헌을 통하여 얻은 불완전한 것

이다. 또한 이 분야는 컴퓨터 관련기술과 연결되어 매우 빠른 속도로 기술 변화가 이루어지고 있음에도 불구하고 이에 대한 체계적인 교육기관이나 전문 연구기관이 없는 상태로서 선진기술의 모방이나 답습에도 현재의 여건으로는 매우 벅찬 실정이다. 더욱이 대개의 자료들이 외국어로 쓰여진 경우가 많아 실제 현장에서 이를 취급, 정비하는 작업자들이 완전한 이해를 하지 못하고 상식적인 수준에서 업무에 임하기 때문에 이로 인한 오류나 실수가 발생하기도 한다.

이러한 문제점들은 결국 국내 계측, 제어기기의 사용 역사가 짧기 때문이며 또한 사용자들이 외국 제품을 선호해 온 결과이기도 하지만 이를 극복하기 위하여 국내 관련업체를 중심으로 자료의 한글화 작업이 이루어져야 하며 전문 연구기관에 의한 기초 및 응용연구가 활성화되고 사용자는 가급적 국산 계측, 제어기기를 선택 사용하여야 할것이다.

(3) 예방정비 강화

화학공장은 회전기계류를 포함한 주요설비에 대하여 예비 기능을 갖는 설비, 즉 Stand-by의 설비가 구비되어 있어서 유사시 대체 운전이 가능하며, 특별한 고장이나 이상이 발생하지 않더라도 정기적인 교체 작업으로 예방정비가 가능하도록 설계되어 있다.

그러나 계측, 제어기기류는 예비품이 생산현장에 설비로서 준비되어 있는 경우가 드물며 대개 기능 고장시 수동운전 시스템으로 전환 사용토록 설계되어 있어서 정상운전중에는 예방정비 작업이 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 대개는 생산부서의 작업자가 운전중 계측, 제어기기의 이상유무를 파악하여 이상 발생시 정비 부서에 점검을 요구하는 의뢰작업의 형태를 취하게 됨으로서 사고 예방 차원에서 매우 심각한 문제를 안고 있다.

따라서 이와같은 문제점을 해결하기 위하여는 생산 및 정비담당 부서간의 충분한 협의와 토론을 거쳐 합리적인 예방정비 계획을 수립하고 이에 따른 정비, 점검이 충실히 수행되어야 할 것이다.

제 4 장 계측, 제어기기의 고장원인 및 고장율 조사

I. 개 요

1. 고장원인 조사

계측, 제어기기는 고장원인이 매우 다양하게 나타나는 특징이 있다. 이는 동일 종류의 계측기기라 하더라도 사용위치, 운전조건, 주위환경 및 계측기기 제조원에 따라 고장 원인이나 고장부위, 발생율에 큰 차이를 보이기 때문이다.

본 조사에서는 이상과 같은 점을 감안하여 설문 및 방문 실태조사를 병행하고 계측, 제어기기의 종류별, 제조국가별로 고장원인을 분류하였다. 또한 동일 사업장내에서라도 여러가지 종류의 계측, 제어기기를 사용하며 또한 이들의 제조국가도 다양하기 때문에 통계처리는 누적 합산을 하였다.

2. 고장율 조사

대부분의 사업장에서 계측, 제어기기는 장치류(Equipments)와는 달리 이력관리가 제대로 이루어지지 않고 있었다. 이는 극히 일부분의 중요 공정이나 고가의 기기를 제외하고는 대개의 계측, 제어기기가 소모품의 성격을 띄고 있기 때문이다. 따라서 설문조사에 응답된 고장빈도는 추정치인 경우가 거의 대부분으로서 그 신뢰성이 매우 낮아 방문조사에 의한 현장 정비일자로서 구체적인 고장율을 파악할 수 있었던 5개 사업장에 대하여 고장율 조사를 실시하였다.

고장율에 관한 자료는 사업장에 따라 분류방법이 다르므로 종류별 분류는 사업장 분류기준에 따라 실시하였으며 고장율 계산은 단순 평균, 시간 가중 평균, 수량가중 평균, 시간 및 수량가중 평균 중에서 사업장의 보유자료로서 계산 가능한 방법을 택하여 실시하였다.

II. 계측, 제어기기의 고장원인

1. 고장원인 항목

계측, 제어기기의 고장원인은 종류에 따라 각각 다르며 또한 공정조건, 내용물의 물리, 화학적인 성질, 사용위치등에 따라서도 특성이 달라진다.

본 연구조사에서는 계측, 제어기기의 종류에 따라 일반적으로 발생할 수 있는 고장의 유형을 열거하고 이들중 공통사항을 10 가지 선별하여 설문조사에 이용하였다. 계측, 제어기기 종류별 주요 고장원인은 표 4-1에 기록하였으며 본 설문조사에 이용한 고장원인 항목에 대한 세부내용은 표 4-2와 같다.

표 4-1 계측, 제어기기별 주요 고장원인

종 류 별	대 상 계 측 제 어 기 기	주 요 고 장 원 인
온도계류	TG, Thermocouple, Thermometer, Resistance thermometer 등	센서이상, 접촉불량, Converter 불량, 수분침투, 부식, 마모, 제품결함.
액위계류	LG, Float type level transducer, d/p transducer, Electrical type 등	도압관 막힘, 센서이상, 접촉불량, 수분침투, 제품결함.
농도계류	PH meter, Gas detector, Viscometer 등	이물침투, Detector 이상, 수분침투, Converter 불량, 부식, 노후.
유량계류	d/p transducer, Variable area flowmeter, Magnetic flowmeter 등	이물침투, 접촉불량, 센서이상, 동결, 취급불량, 부식, 마모.
압력계류	Pressure Measurement, Vacuum Measurement	접촉불량, 이물침투, 오지시, 누설, 파손, 막힘.
밸브류	Control Valve, Solenoid Valve	누설, Diaphragm 파손, 윤활상태불량, 이물침투.

〈표 4-2〉계측, 제어기기 고장원인 분류

주요 고장 원인		내 용
중 분 류	세 부원인	
초기고장	취급불량	운전조작의 실수나 관리상의 잘못으로 인한 기능고장
	제품결함	제품자체의 결함으로서 제조회사의 귀책사유에 해당하는 기능고장
	접촉불량	조작회로등의 단자접촉 이상으로 인한 기능고장
	부설시공	설치 또는 정비작업시의 부설로 인한 기능고장
	이물침투	계측기 내부 또는 도압관등의 이물침투에 의한 기능고장
우발고장	침 수	공기중의 수분침투, 또는 빗물등의 누수에 의한 기능고장
	동 결	동절기 수분 또는 원료의 결빙으로 인한 기능고장
	노후오차	장기간 사용에 의한 오차 발생등의 기능고장
노후고장	부식,마모	작업환경 및 운전조건으로 인한 부식, 마모등의 기능고장
기 타	기 타	상기 항목 이외의 불가항력(정전등)및 원인불명으로 인한 기능고장

2. 계측, 제어기기의 주요 고장원인 분석

(1) 설문조사에 의한 주요 고장원인 분석

화학공장에서 사용하는 계측, 제어기기는 업종 및 형식과 운전조건등에 따라 고장원인이 다양한 특징을 갖고 있으나 본 조사에서는 표 4-2에서 분류한 10가지 주요 원인중 부설시공을 제외한 9가지 항목에 대하여 분석하였다. 계측, 제어기기 형식에 따른 세분류는 부록Ⅱ에 별도 첨부하고 본문에

서는 종류별, 제조국가별 총괄사항에 대하여 기술하였다.

1) 유량계류의 주요 고장원인

액상 및 기상의 유속이나 적산유량을 측정하는 기기로서 사업장 설문조사 결과 표 4-3 과 같이 이물침투(33.3%), 부식, 마모(22.7%), 노후(10.7%) 등이 주요 고장원인으로 조사되었으며 기타 취급 및 접촉불량등의 원인등이 있었다.

한편 유량계의 형식별 주요 고장원인에 대한 특징을 살펴보면 차압식(Differential pressure), 가변 면적형(Variable area), 지시 가변 면적형(Indicating Variable area)등의 경우는 이물침투, 부식, 마모, 취급불량등의 순서인 반면에 전자식(Magnetic) 유량계는 이물침투 이외에 회로등의 접촉불량에 의한 고장이 자주 발생하는 것으로 조사되었다.

2) 액위계류의 주요 고장원인

저장조에 보관하는 액체상태의 원료 및 제품의 액위를 측정하는 기기로서 분체류의 로드-셀(Load Cell)은 본 조사에서 제외하였다. 액위계류의 주요 고장원인은 이물침투(25.4%), 노후(22.5%), 부식, 마모(19.7%)등이 있었으며 제품 자체결함(11.3%)에 의한것도 상당히 포함되어 있었다.

3) 농도계류의 주요 고장원인

농도계류의 구분은 크게 두가지로 분류하여 화학반응에서 주요 측정대상인 pH측정기와 안전설비로서 사용되는 가스검지기(Gas Detector)에 대한 조사를 하였다. pH 측정기의 경우 이물침투, 노후, 취급부주의 등이, 가스검지기의 경우는 부식, 마모, 접촉불량등이 주요 고장원인으로 파악되었다.

4) 온도계류의 주요 고장원인

온도계류는 고장원인이 고르게 분포되어 있으나 제품자체 결함에 의한 고장(17.5%)이 다른 계측, 제어기기류와 달리 비교적 많은 것으로 나타났다. 이는 다른 계기류에 비하여 국산화가 많이 이루어진 품목으로서 특히 계이

지 (Gauge) 류의 경우 국내 제조업체가 영세한 것과는 연관이 있기 때문이라 생각된다.

5) 압력계류의 주요 고장원인

온도계류와 마찬가지로 이 경우도 국산화가 많이 이루어졌으나 이에 따른 품질개선이 미흡하여 게이지 (Gauge) 류의 경우 제품자체 결함에 의한 고장 (12.8 %)이 많은 것으로 나타났다. 주요 고장원인으로는 노후화에 따른 오차 (28.2 %), 부식, 마모 (21.8 %), 이물침투 (21.8 %) 등이 있다.

6) 밸브 (Valve) 류의 주요 고장원인

밸브 (Valve) 류는 유량제어가 가능한 조절밸브 (Control Valve)와 개폐식의 전자밸브 (Solenoid Valve)로 구분하였다. 조절밸브의 경우는 부식, 마모가 전자식 밸브의 경우 이물침투로 인한 경우가 고장의 주요 원인으로 조사되었다.

7) 제조원 (국가) 별 주요 고장원인

계측, 제어기기의 제조원에 따른 국가별 주요 고장원인은 부록Ⅲ에 상세히 첨부하였고 표 4-4에서는 총괄사항을 기재하였다. 국산제품의 경우 아직 정밀계측, 제어기기 부문은 생산 및 보급실적이 미미하여 주로 게이지 (Gauge) 류를 사용하고 있는 실정으로서 이들의 주요 고장원인은 노후 (25.6 %), 부식, 마모 (19.9 %), 제품결함 (18.2%), 이물침투 (16.5 %) 등이며 일본 제품의 경우는 이물침투 (30.2 %), 부식, 마모 (21.2 %), 노후 (19.6 %)의 순서로 나타났다고 제품결함은 6.1 %로서 국산제품과 많은 차이를 보였다.

〈표 4-3〉 계측, 제어기기별 주요 고장원인 분포

종 류 별	구 분		초 기 고 장			우 발 고 장			노후고장		기타
	세부고장원인		취급 불량	제품 결함	접촉 불량	이물 침투	침수	동결	노후 오차	부식 마모	기타
유량계류	응답빈도		7	4	7	25	4	-	8	17	3
	구성비 (%)	세분류	9.3	5.3	9.3	33.3	5.3	-	10.7	22.7	4.3
		중분류	23.9			38.6			33.4		4.3
액위계류	응답빈도		2	8	7	18	2	2	16	14	2
	구성비 (%)	세분류	2.8	11.3	9.9	25.4	2.8	2.8	22.5	19.7	2.8
		중분류	24.0			31.0			42.2		2.8
농도계류	응답빈도		8	2	5	15	1	1	8	10	2
	구성비 (%)	세분류	15.4	3.8	9.6	28.8	1.9	1.9	15.4	19.2	3.8
		중분류	28.8			32.6			34.6		3.8
온도계류	응답빈도		11	17	15	7	2	-	25	19	1
	구성비 (%)	세분류	11.3	17.5	15.5	7.2	2.1	-	25.8	19.6	1.0
		중분류	44.3			9.3			45.4		1.0
압력계류	응답빈도		7	10	3	17	1	1	22	17	-
	구성비 (%)	세분류	9.0	12.8	3.8	21.8	1.3	1.3	28.2	21.8	-
		중분류	25.6			24.4			50.0		-
밸 브 류	응답빈도		4	6	3	27	-	-	17	22	-
	구성비 (%)	세분류	5.0	7.5	3.8	33.8	-	-	21.3	27.5	-
		중분류	16.3			33.8			48.8		-
계	응답빈도		39	47	40	109	10	4	96	99	8
	구성비 (%)	세분류	8.6	10.4	8.8	24.1	2.2	0.9	21.2	21.9	1.8
		중분류	27.8			27.2			43.1		1.8

〈표 4-4〉 제조원(국가)별 주요 고장원인 분포

제조원별	구 분		초 기 고 장			우 발 고 장			노후고장		기타
	세부고장원인		취급 불량	제품 결함	접촉 불량	이물 침투	침수	동결	노후 오차	부식 마모	기타
한국	응답빈도		17	32	11	29	5	-	45	35	2
	구성 비 (%)	세 분류	9.7	18.2	6.3	16.5	2.8	-	25.6	19.9	1.1
		중 분류	34.2			19.3			45.5		1.1
일본	응답빈도		10	11	22	54	3	2	35	38	4
	구성 비 (%)	세 분류	5.6	6.1	12.3	30.2	1.7	1.1	19.6	21.2	2.2
		중 분류	24.0			33.0			40.8		2.2
미국	응답빈도		4	1	3	22	2	1	9	9	-
	구성 비 (%)	세 분류	7.8	2.0	5.9	43.1	3.9	2.0	17.6	17.6	-
		중 분류	15.7			49.0			35.2		-
기타	응답빈도		-	1	2	4	1	-	5	2	1
	구성 비 (%)	세 분류	-	6.3	12.5	25.0	6.3	-	31.3	12.5	6.3
		중 분류	18.8			31.3			43.8		6.3

(2) 제측, 제어기기 구성부위별 주요 고장원인 분석

본 조사는 사업장의 계전관련 정비작업 내용을 분석해야 하는 문제점으로 인하여 현실적으로 자료수집이 불가능하였지만 A사의 정비작업 관련 자료가 장기간에 걸쳐 상세히 통계 처리되어 있어서 이를 인용하였다.

A사는 석유화학 관련업체로서 제측, 제어기기류는 수량기준으로 약 90%가 일본 제품을 사용하고 있었으며 정비작업 관련자료는 '84~'90까지 7년간의 자료를 인용 분석하였다. 단일 사업장의 통계 자료이기 때문에 화학공장 전체의 평균값으로는 신뢰도가 결여되는 문제점이 있었으나 전반적인 경향 파악에 주안점을 두었다.

본 자료는 분석항목의 추가, 삭제 등에 의한 중도 변경으로 인하여 다소 차이가 있으나 7년간의 누계로서 총괄분석을 실시하였고 계측, 제어기기 구성부는 센서 (Sensor), 조절기 (Controller), 게이지 (Gauge)를 포함한 계기부분, 배선 및 배관부분 및 판넬 (Panel)부위의 조작회로 부분등 세가지로 분류하였다.

표 4-5에서와 같이 조사기간중 계기 부분의 고장발생빈도는 총 8,005 회중 6,833 회로서 계측, 제어기기 고장 전체에 대하여 약 68 %를 차지하며 주요 고장원인으로는 부식, 마모 (32.1 %), 노후 (29.1 %) 등이었다. 한편 배선, 배관부분과 조작회로에 의한 계측, 제어제통의 고장은 총 발생건수에 대하여 각각 5.7 % 및 8.9 %로서 낮은 발생빈도를 나타냈으며 이들의 가장 큰 고장원인은 접촉불량이었다.

〈표 4-5〉 A사의 고장원인 분석 (통계자료: '84 ~ '90년)

구 성 부	세부고장원인 구분		초 기 고 장				우 발 고 장			노후고장		기 타	계
			취급 불량	제 품 결 합	부 실 시 공	접 촉 불량	이 물 침 투	침 수	동 결	노 후 오 차	부 식 마 모	기 타	
센서 계기 부 분	발생빈도(회)		181	233	48	984	786	202	17	1,996	2,196	190	6,833
	구 성 비 (%)	세분류	2.6	3.4	0.7	14.4	11.5	3.0	0.2	29.2	32.1	2.8	100
		중분류	21.1				14.7			61.3		2.8	100
배선 배관 부 분	발생빈도(회)		34	3	54	227	-	17	-	30	91	3	459
	구 성 비 (%)	세분류	7.4	0.7	11.8	49.5	-	3.7	-	6.5	19.8	0.7	100
		중분류	69.4				3.7			26.3		0.7	100
조작회로 부 분	발생빈도(회)		20	52	12	336	-	25	-	92	137	39	713
	구 성 비 (%)	세분류	2.8	7.3	1.7	47.1	-	3.5	-	12.9	19.2	5.5	100
		중분류	58.9				3.5			32.1		5.5	100
계	발생빈도(회)		235	288	114	1,547	786	244	17	2,118	2,424	232	8,005
	구 성 비 (%)	세분류	2.9	3.6	1.4	19.3	9.8	3.0	0.2	26.5	30.3	2.9	100
		중분류	27.2				13.0			56.8		2.9	100

Ⅲ. 계측, 제어기기의 고장율

1. 개 요

본 고장율 조사는 특성상 대상 사업장을 방문하여 공무원 관련 정비일지를 직접 통계, 분석, 처리하였다. 대개의 사업장이 자세한 기록을 보유하지 않고 단순 자료만을 처리하고 있어 고장율 조사에 애로 사항이 있었으나 몇몇 사업장의 경우 다년간에 걸친 상세한 자료를 보유하고 있어서 신뢰할 수 있는 5개 사업장의 기록을 대상으로 하였다.

표 4-6 에는 본 조사에 인용된 사업장의 현황을 참고로 기록하였다.

〈표 4-6〉 고장율 조사대상 사업장 현황

사업장 구분	최초가동년	업 종	주생산품목수	통계기간(일)	단위공장수
A	1972 년	석유화학	2 품 목	6,080	7
B	1982 년	석유화학	3 품 목	650	3
C	1980 년	석유화학	2 품 목	663	3
D	1980 년	석유화학	2 품 목	879	3
E	1976 년	정밀화학	2 품 목	92	2

여기서 조사 대상 업종이 주로 석유화학에 치중된 것은 계측, 제어기기가 연속공정을 채택하고 있는 대규모 석유화학을 비롯한 장치산업에 많이 사용되고 있으며 회분식 공정을 채택하고 있는 중·소규모 사업장의 경우 계측 제어 설비가 매우 적으며 또한 관리, 기록이 미비하여 신뢰할 만한 자료를 입수할 수 없었기 때문이다.

2. 국내 5개 화학공장에서의 평균 고장율

계측, 제어기기의 고장율은 공장의 가동년수, 생산제품, 계기류의 제조원등에 따라 많은 차이가 있었다. 특히 'E'사의 경우 가동년수가 길고 운전조건이

까다로우며 사용원료의 독성등으로 인하여 다른 4개사에 비하여 전반적으로 높은 고장율을 나타내었다.

계측, 제어기기의 종류별 고장율을 살펴보면 가스 검지기를 포함한 분석계류의 고장 발생빈도가 가장 높았으며 이 결과는 외국의 참고자료와도 동일한 경향을 보여 주었다. 이는 대개의 가스 검지기가 옥외에 설치되어 있어 부식, 침수등으로 인한 고장이 많기 때문이며 특히 예민한 검지 범위로 인하여 오작동의 우려가 크기 때문이다.

한편 화학공장에서 제어 대상으로서 중요도가 큰 온도 및 압력계류는 다른 계측, 제어기기보다 고장율이 상대적으로 낮아 관리가 철저함을 알수 있었다. 또한 공정상 운전조건에 직접 영향을 미치는 콘트롤러(Controllor) 및 제어 밸브의 평균 고장율은 약 0.4회/년으로서 다른 분야에 비해 높은 편은 아니라고 할수 있으나 이에 대한 보다 철저한 예방정비가 요구된다.

전반적으로 본 연구 조사의 고장율이 계측, 제어부분의 절대값이라고는 할수는 없지만 화학공장에서 의 평균 고장율로서 예방정비계획 작성이나 나아가 위험도 예측등에 참고자료로서 이용될 수 있을 것이다.

〈표 4-7〉 국내 5개 화학공장 계측, 제어기기의 고장율(회/년)

회 사 명	A	B	C	D	E	평균	Anyakora 등 (1971)	UKAEA (1969)
통계기간(월) 종류	6080	650	663	879	92	-		
온도 계 류	0.1910	0.3694	0.5618	0.1214	0.5143	0.3516	0.35	0.088
유 량 계 류	0.2188	0.0864	0.9175	0.9529	1.8194	0.7990	1.14	0.68
압 력 계 류	0.2715	0.2639	0.2394	0.2133	0.7971	0.3150	1.41	0.76
액 위 계 류	0.3081	0.5816	0.8666	0.1978	3.9977	1.1904	1.70	-
적 산 계 류	0.9836	-	-	-	-	0.9836	-	-

회 사 명	A	B	C	D	E	평균	Anyakora 등 (1971)	UKAEA (1969)
통계기간(일) 종류	6080	650	663	879	92	-		
계 량 설 비	0.5389	-	-	-	-	0.5389	-	-
분 석 계 류	7.1867	3.7470	2.4831	6.5287	261848	9.2261	8.49	2.5
Contraller	0.3058	-	0.4889	-	-	0.3974	0.29	0.38
Control Valve	0.6364	-	0.1560	-	-	0.3962	0.60	0.25
Recorder	0.5237	-	-	-	-	0.5237	-	0.22
방 송 설 비	0.6385	-	-	-	-	0.6385	-	-

3. A사의 고장을 중점분석

수집된 5개 회사의 자료중 통계 자료가 가장 양호한 A사의 경우를 중점적으로 하여 계측, 제어기기의 고장율을 분석하였다. A사는 석유화학 제품을 생산하는 업체로서 '91년 현재 7개의 단위 공장에서 2가지의 제품을 생산하고 있었으며 이들 단위공장의 가동년도 및 운전자료는 표 4-8과 같다.

정비관계 자료는 1984년부터 1990년까지 7년간의 자료를 입수하였으나 본 조사에는 분석 가능한 '86, '87, '89, '90년도 자료를 인용하였으며 온도, 유량, 압력, 액위계류의 통계는 현장 게이지(Gauge)류를 포함하여 분석 하였다.

〈표 4-8〉 A사의 단위 공장별 현황

공 장	1 공장	2 공장	3 공장	4 공장	5 공장	6 공장	7 공장	계
가 동 년 월	72.10	75.10	79.1	84.12	87.4	'88	'89.3	—
생 산 품 목	X	Y	Y	X	X	후처리	Y	—
자 료 수 집 일 수 (일)	1,240	1,045	1,215	1,245	845	235	255	6,080

종류별 \ 총수량	1,702	1,614	1,455	1,318	1,641	322	1,736	9,788
온도계류	145	153	161	104	144	37	165	909
유량계류	310	361	277	308	387	92	438	2,173
압력계류	435	308	318	314	390	75	411	2,251
액위계류	229	212	160	177	199	59	221	1,257
적산계류	19	21	17	10	15	2	12	96
계량설비	17	9	10	14	14	15	15	94
분석계류	67	41	69	29	50	-	45	301
Controller	147	175	130	105	150	12	125	844
Control Valve	180	180	180	145	175	10	180	1,050
Recorder	125	135	105	90	95	13	100	663
방송설비	28	19	28	22	22	7	24	150

(1) 계측, 제어기기 고장율 (총괄)

A사의 계측, 제어부문 정비일자를 참고하여 종류별 정비 횟수를 산출하고 총 보유수량에 대한 고장율 (정비빈도)을 분석하였다. 대개 화학공장의 경우 정비의 종류는 정기유휴시 또는 PM계획에 의한 예방정비등 정기적 점검과 운전중 고장 발생으로 인한 작업의뢰등의 일반정비등을 들수 있다. 본 조사에 인용한 자료는 정기 점검 횟수를 제외하고 작업의뢰분, 즉 일반정비사항만을 사용하였다.

공장 전체에 대한 평균 고장율은 표 4-9와 같이 분석계류 (주로 Gas Detector)의 고장율이 7,187 회 / 년으로 가장 높았으며 온도계류는 0.191 회 / 년으로 가장 낮게 나타났다.

본 조사에서 평균치는 단순평균, 시간가중평균, 수량가중평균 및 시간, 수량동시 가중 평균치를 각각 산출하였으나 이들에 대한 신뢰도는 시간, 수량동시가중 평균치가 가장 높다고 할 수 있다. 즉 본 조사에 이용된 단위공장

별 통계 수집일자 및 계측기기 보유수량이 각각 다르기 때문에 전체 공장의 평균값으로 가장 신뢰도가 높은 시간, 수량 동시가중 평균치를 택하였다.

〈표 4-9〉 A사의 계측, 제어기기 평균 고장율(회/년)

구 분	총보유수량	총고장횟수	① 평균고장율	시간 ② 가중평균	수량 ③ 가중평균	시간, ④ 수량가중평균
온도계류	909	438	0.1721	0.1865	0.1875	0.1910
유량계류	2,173	1,164	0.1896	0.2149	0.1986	0.2188
압력계류	2,251	1,555	0.2601	0.2677	0.2780	0.2715
액위계류	1,257	978	0.3033	0.2994	0.3143	0.3081
적산계류	96	258	0.8043	0.9342	0.9345	0.9836
계량설비	94	117	0.5311	0.5795	0.4920	0.5389
분석계류	301	6,376	8.9866	7.7040	8.4241	7.1867
Controller	844	683	0.4532	0.3147	0.4194	0.3058
Control Valve	1,050	1,755	1.3324	0.7924	0.7512	0.6364
Recorder	663	899	0.5974	0.5274	0.5164	0.5237
방송설비	150	249	0.6187	0.6493	0.6047	0.6385

$$\textcircled{1} \text{ 평균고장율} = \frac{\text{고장발생횟수}}{\text{총보유수량}} \times \frac{365}{\text{총운전일}}$$

$$\textcircled{2} \text{ 시간가중평균고장율} = \frac{\sum \{ (\text{공장별 평균고장율}) \times (\text{공장별 운전일수}) \}}{\sum (\text{공장별 운전일수})}$$

$$\textcircled{3} \text{ 수량가중평균고장율} = \frac{\sum \{ (\text{공장별 평균고장율}) \times (\text{공장별 보유수량}) \}}{\sum (\text{공장별 보유수량})}$$

$$\textcircled{4} \text{ 시간, 수량가중평균고장율} = \frac{\sum \{ (\text{공장별 평균고장율}) \times (\text{공장별 운전일수}) \}}{\sum \{ (\text{공장별 운전일수}) \times (\text{공장별 보유수량}) \}} \times (\text{공장별 보유수량})$$

(2) 제조공정별 고장율

A사는 총 7개의 단위공장으로서 제품은 2가지를 생산하고 있으며 'X' 제품 생산공장 3개소 'Y'제품 생산공장 3개소 및 'X', 'Y' 제품의 후처리 공정만을 별도로 전담하는 1개소의 공장으로 구성되어 있다.

앞에서 언급한 바와같이 고장율이란 어느 특정 부품이나 시스템에 대하여 고유의 절대적인 값을 갖지 않으며, 이는 동일 부품이나 시스템이라 할지라도 사용조건, 주위환경, 조작자의 숙련도등에 따라 많은 차이를 나타내기 때문이다. 따라서 본 항목에서는 제조공정(제품별)에 따른 고장율 차이를 분석하였다.(표 4-10, 4-11)

일반적으로 제조공정에 따라 부품의 고장율은 차이를 나타내는 것이 원칙이나, A사의 경우는 두가지 제품이 거의 비슷한 공정을 거치며 다만 운전조건 및 생산규모에서만 차이가 나는 까닭으로 고장율에서는 큰 차이를 보이지 않는다. 다만 동일제품의 경우 각각의 단위공장별로 설치 가동년수에 따라 그림 2-5에서와 같은 육조곡선의 형태를 나타내는 경향을 보였다.

즉 부품의 수명이 오래 될수록, 공장의 가동년수가 길수록 동일부품에 대하여 노후고장이 급격히 증가하는 것을 알수 있으며, 이와같은 결과로 미루어 볼때 현재 국내 화학공장의 대부분이 10년 이상의 노후된 설비로서 안전사고의 잠재적 위험이 점점 증가하고 있다고 말할 수 있다.

〈표 4-10〉 'X' 제품 생산공정에서의 고장율(회/년)

구분 종류별	단위공장별 평균고장율①			평 균 고 장 율			
	1 공장	4 공장	5 공장	단순평균	시간 가중평균	수량 가중평균	시간수량 가중평균
온도계류	0.3045	0.1466	0.2550	0.2354	0.2329	0.2446	0.2431
유량계류	0.2706	0.1609	0.1886	0.2091	0.2088	0.2054	0.2077
압력계류	0.2626	0.3641	0.2603	0.2957	0.2999	0.2898	0.2935

구분 종류별	단위공장별평균고장율①			평 균 고 장 율			
	1 공장	4 공장	5 공장	단순평균	시 간 가중평균	수 량 가중평균	시간수량 가중평균
액위계류	0.4075	0.1772	0.3560	0.3136	0.3083	0.3232	0.3192
적산계류	1.5802	0.9088	0.8063	1.0985	1.1328	1.1638	1.2071
계량설비	0.4675	0.5026	0.4011	0.4571	0.4638	0.4578	0.4640
분석계류	8.4221	8.0067	7.5765	8.0017	8.0522	8.0500	8.1078
Controller	0.3224	0.2429	0.2749	0.2767	0.2781	0.2802	0.2822
Control Valve	0.6198	0.4266	0.7751	0.6072	0.5870	0.6181	0.5982
Recorder	0.5534	0.4984	0.4956	0.5158	0.5182	0.5197	0.5223
방송설비	0.8936	0.6530	0.3731	0.6399	0.6715	0.6612	0.6920

$$\textcircled{1} \text{ 단위공장별 평균고장율} = \frac{\text{고장발생횟수}}{\text{총보유수량}} \times \frac{365}{\text{총운전일}} ; \text{년 / 회}$$

〈표 4 - 11〉 ‘Y’ 제품 생산공정에서의 고장율 (회 / 년)

구분 종류별	단위공장별평균고장율			평 균 고 장 율			
	2 공장	3 공장	7 공장	단순평균	시 간 가중평균	수 량 가중평균	시간수량 가중평균
온도계류	0.1849	0.0896	0.1822	0.1522	0.1386	0.1519	0.1377
유량계류	0.3067	0.1985	0.1177	0.2076	0.2353	0.2019	0.2370
압력계류	0.3107	0.1540	0.3448	0.2698	0.2385	0.2762	0.2406
액위계류	0.2982	0.2723	0.3498	0.3067	0.2909	0.3104	0.2937
적산계류	0.7485	0.7510	0.8350	0.7782	0.7585	0.7701	0.7554
계량설비	1.2419	0.4206	0.4771	0.7132	0.7676	0.6629	0.7335
분석계류	10.5466	2.3501	17.1074	9.9714	7.2430	8.7765	6.1103
Controller	0.3473	0.1340	1.2138	0.5650	0.3321	0.5347	0.3310
Control Valve	0.9217	0.3371	1.1212	0.7934	0.6595	0.7934	0.6595
Recorder	0.5640	0.4034	0.4724	0.4799	0.4771	0.4875	0.4864
방송설비	0.9743	0.3541	0.4175	0.5820	0.6182	0.5415	0.5658

IV. 문제점 분석 및 대책

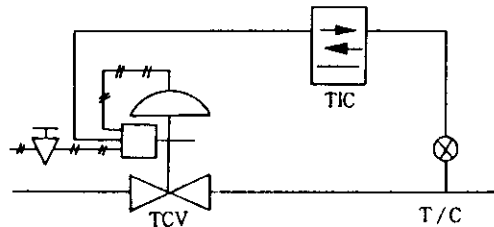
1. 제어 시스템의 구성

모든 제어 시스템은 센서 (Sensor), 콘트롤러 (Controller), 밸브류 (Control Valve)의 세가지가 기본으로 되어 루프 (Loop)를 구성한다. 이 제어 루프 (Control Loop)는 온도, 압력, 유량, 액위 등 어떠한 제어에서도 기본으로 적용되며 보조 부속기기로서 Signal Converter, Power Supply, Distributor, Totalizer 등이 사용될 수 있다.

일반적으로 Controller는 입출력이 거의 일정하여 Scale range에 따라 제조될 수 있고 Control Valve는 유체 및 운전조건에 따라 재질 및 크기가 결정되나 센서는 제어 목적에 따라 선택되어 진다. 제어 시스템의 구성에 대하여 몇가지 예를들면 다음과 같다.

(1) 온도제어시스템 (Temperature Control System)

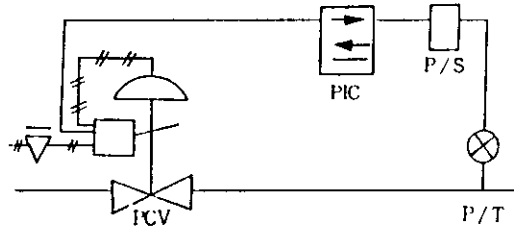
- Thermocouple & Resistance bulb 등 : T/C
- Temperature Indicating Controller : TIC
- Temperature Control Valve : TCV



[그림 4-1] 온도제어 시스템 구성도

(2) 압력제어 시스템 (Pressure Control System)

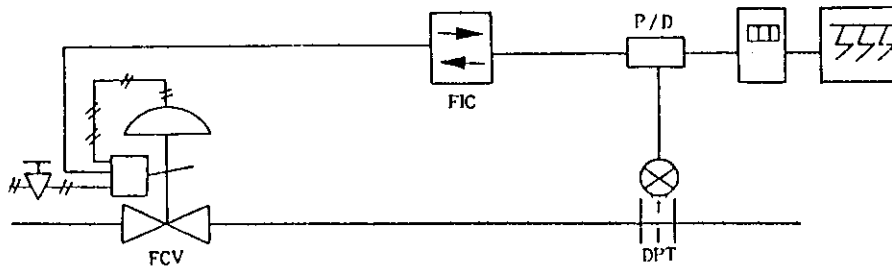
- Pressure Transmitter : P/T
- Power Supply : P/S
- Pressure Indicating Controller : PIC
- Pressure Control Valve : PVC



[그림 4-2] 압력제어 시스템 구성도

(3) 유량 제어 시스템 (Flow Control System)

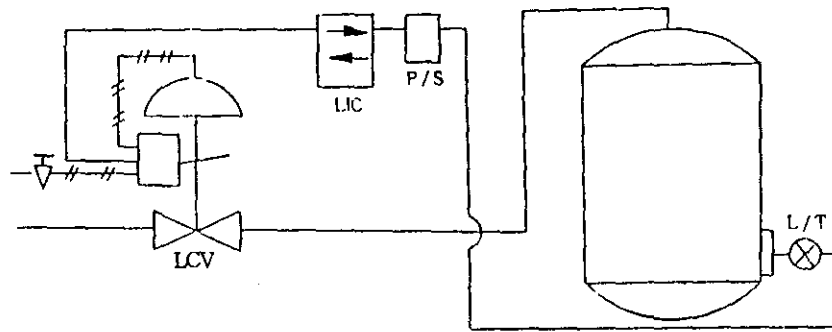
- Flow meter or ΔP transmitter with orifice plate : DPT
- Power Distributor : P/D
- Flow Indicating Controller : FIC
- Flow Control Valve : FCV
- Totolizer & Recorder



[그림 4-3] 유량제어 시스템 구성도

(4) 액위 제어 시스템 (Level Control System)

- Level Transmitter : L/T
- Power Supply : P/S
- Level Indicating Controller : LIC
- Level Control Valve : LCV



[그림 4-4] 액위제어 시스템 구성도

2. 고장원인 분석 및 대책

(1) 노후기기의 관리

계측, 제어기기의 고장원인 분포를 살펴보면 전체 고장원인의 43.1%가 노후화에 따른 고장으로 나타났다. 이는 현재 국내 화학관련 사업장의 약 44%가 10년이상 노후된 공장이며 특히 본 조사 대상 사업장의 대부분이 가동기간 10년이상으로서 노후화가 심하였기 때문이다. 화학공장에서의 노후화 문제는 계측, 제어기기 뿐만아니라 장치류의 경우도 해당되며 이는 전반적인 안전도 문제와 연결하여 볼때 매우 심각한 사고의 위험성을 잠재적으로 가지고 있는 것으로서 노후기기에 대한 집중적인 관리가 필요하다. 특히 일반 화학장치는 정기적으로 진단 및 검사를 실시하기 때문에 사전에 사고예방이 어느정도 가능할 것이나, 계측기기류는 작업자에 의해 평소 관리되어 오히려 소홀하기 쉬운점이 있을 수 있으므로 작업자와 정비관련 담당자가 중복점검을 실시하여야 하며 중요기기에 대하여는 주기적인 PM작업을 실시해야 한다.

(2) 국산 기기류의 품질

계측, 제어분야의 국내 기술기반이 아직 취약하고 또한 이들 기술의 발전속도가 매우 빠르기 때문에 국산제품의 시장 점유율이 극히 저조하며 특히

고가의 정밀기기는 거의 외국산이 사용되고 있었다. 더욱이 국산제품의 경우 제품자체 결함으로 인한 초기고장 발생율이 높아 이들 제품의 신뢰도가 낮은 결점이 있었으며 이로 인하여 사용자의 선택과정에서 제외되는 경우가 많았다. 또한 노후고장 발생율도 외국산에 비해 상대적으로 높아 국산제품의 신뢰도와 더불어 제품 수명에서 경쟁력이 매우 약하였다.

따라서 국산제품의 품질향상을 위하여 국내 관련업체들의 종류별 전문화가 이루어지고 전문 연구기관에 의한 기초 및 응용연구가 활성화되어야 하며 대개의 생산업자들이 중·소규모의 사업장이므로 이들에 대한 특별한 지원 대책이 요구된다.

(3) 예방정비

계측기기 사용시 초기 및 노후고장을 제외한 운전중의 우발적 고장원인으로서 이물침투에 의한 오지시, 오작동등의 기능고장이 전체 고장발생의 24%를 나타내었다. 이와같이 운전중의 우발적인 고장은 예측하기 어려운 문제점을 가지고 있으며 이를 방지하기 위하여는 예방정비를 강화해야 할 것이다.

이물침투를 사전에 방지하기 위하여는 공정상 주요 흐름(Flow)부분에 스트레이너(Strainer)를 반드시 설치해야 하며 이들의 주기적인 점검과 청소가 병행되어야 한다. 또한 도압관 부분은 공정상 지장을 주지 않도록 블록 밸브를 설치하여 운전중에도 점검, 수리가 가능하도록 설계되어야 한다.

예방정비를 보다 합리적이고 체계적으로 수행하기 위하여 최근에는 근거리 통신망(LAN)을 이용한 종합적 예방정비 관리시스템이 개발되어 일부 사업장에 이용되기 시작하였다. 예방정비 관리 시스템이란 사업장의 규모나 실정에 따라 조금씩 차이가 있기는 하지만 대개 자재관리(부품재고, 인출, 반납 등), 작업관리(작업내용, 작업공수, 고장원인)를 포함하여 PM관계 이력 및 정기운휴 정비이력등도 종합적으로 관리할 수가 있어 설비의 안전운전을 도모할뿐 아니라 사업장의 인건비나 재고보유를 절감하는 부수적인 효과도 거

둘수 있다.

3. 고장을 분석 및 대책

(1) 현장 계측, 제어기기의 관리

계측, 제어 시스템은 크게 세가지 부분으로 구분할 수 있으며 이중 센서 계기부분을 포함하는 현장의 계측, 제어기기 고장율이 배선 또는 조작회로부분에 대한 고장율보다 월등히 높았다.(표 4-5 참조) 이는 제어실과 비교하여 작업현장의 환경이 온도, 습도, 진동등의 원인으로 인하여 매우 열악한 상태로서 정밀계측 기기일수록 영향을 받기 쉬운 까닭이다. 따라서 현장에 설치되어 있는 이 부분에 대한 정비점검 빈도를 자주하여 집중적인 관리를 실시함으로써 고장발생 빈도를 감소시킬수가 있다.

(2) 평균고장율

국내 5개 사업장에서의 계측, 제어기기 평균 고장율은 외국의 자료와 비교할때 그다지 높은것은 아니었으나 외국 자료의 경우는 1970년대 초반의 자료가 대부분으로서 그 당시의 계측, 제어분야는 주로 아나로그(Analog) 형식과 공압식(pneumatic)의 것이었으므로 이를 비교하는 것은 그다지 의미가 없다고 할 수 있다. 즉, 국내 계측기기의 평균 고장율이 외국에 비해 상대적으로 낮은 것은 현재의 계측, 제어분야가 주로 전자식으로서 컴퓨터의 발달과 더불어 종합적인 DCS, CIM 등의 제어방식을 취하고 있기 때문이기도 하다. 물론 국내 사업장의 경우도 10년이상된 노후 설비들은 아직도 아나로그, 공압식의 계측기기를 사용하는 사업장이 대부분으로서 'E'사의 경우와 같이 이들 설비의 고장율은 상대적으로 높았다.

(3) 사용기간에 따른 고장율

'A'사의 경우를 보면 가동초기의 고장발생 빈도가 매우 높은 현상을 보였는데 이는 초기 사용시 운전미숙, 운전조건의 불확실성 및 제품결함, 접촉

불량등이 주요 원인으로서는 가동 초기를 지나면서 고장율이 현저하게 저하되는 것으로서도 알수 있었다.

그러나 계측, 제어기기의 노후로 인한 고장이 A사의 경우 58.8%(표 4-5), 국내 설문조사의 경우 평균 43.1%(표 4-3)로서 매우 심각한 안전상의 문제를 지니고 있는 것으로 나타났다. 특히 석유화학공장과 같은 대규모 장치산업의 경우 이로인한 화재, 폭발등의 사고발생시 재산손실, 재해규모 및 사회적 파급 영향이 매우 크며, 또한 이들 공장은 공단지역에 밀집되어 있는 상황으로서 재해가 확산되면 국가 기간산업에도 막대한 영향을 미칠수 있는 잠재적 위험이 높다고 할수 있다.

따라서 정부에서는 매년 화학공장을 대상으로 노동부와 산업안전공단에서 합동으로 특별 점검을 실시하고 있으나 근본적으로 사업주의 자율적인 개,보수가 이루어져야 할 것이다.

4. 계측, 제어분야의 향후 전망

최근에는 과학기술의 눈부신 발전으로 자동화, 컴퓨터, 로봇틱스 분야를 포함하여 이들의 제어 이론에 이르기까지 매우 빠른 속도로 변화하고 있는 실정이다.

제조업체에서는 조직, 절차, 정보, 기술, 사람, 자동화설비 등과 같은 자원을 통합관리하기 위한 CIM(Computer Integrated Manufacturing)의 도입을 적극 추진하는 상황으로서 자동화의 단계를 구분하면 표 4-12와 같다.

이는 화학공장에서의 계측, 제어분야도 궁극적으로 통합적 관리체계의 일부분으로서 인식되어야 함을 이미하며 최근에는 DCS(Distributed Control System)도입등을 통하여 다양한 주변환경에 대응하려는 경향이 뚜렷하다.

〈표 4-12〉 자동화 단계구분 (한국산업은행 [조사월보] 1988년 5월)

단 계	구 분
1 단계	단체기계 (NC, ROBOT,), PLC
2 단계	Cell (Group Technology, FMS, CAD) → 자동화의 섬
3 단계	인터페이스 형태의 자동화 시스템 연결 (NRP, CAD/CAM, 자동창고, GT, CAPP)
4 단계	컴퓨터를 기반으로 한 공장의 통합(Integration)

분산형 제어 시스템 (DCS)이란 제어기술(Control), 계산기술(Computer) 통신기술(Communication)의 기술요소를 결합하여 개발된 것으로서 CIM의 최전선이며 정보 발신기지의 중요한 기능을 담당한다. 분산형 제어 시스템의 원활한 구축을 위하여는 이와 관련된 주변분야 즉, 서브 시스템 (Sub-System)과의 조화와 융합이 이루어져야 하며 이 과정에서 계기 (Instrument) 전기 (Electric), 계산기 (Computer)와의 I.E.C통합이 중요한 과제이다. 또한 서브 시스템 (Sub-System)의 통합관점에서 PLC, 분석제, 계기류에 대한 관리로부터 향후에는 이상진단, 보전관리, 시뮬레이터 (Simulator)등의 분야까지 관리의 범위가 확대될 것이며, 이런 과정을 거쳐 DCS에서의 계장부문의 중요도는 더욱 증대될 것이다.

제 5 장 결함수 해석법 (FTA) 을 이용한 안전성 평가방법

I. 개 요

1. FTA의 특성

FTA는 시스템 안전공학의 발달과 함께 1962년 벨 연구소의 Watson에 의해 미사일발사 제어 시스템 연구와 관련하여 처음으로 고안되었으며 이후 컴퓨터를 이용한 Simulation이 가능해지면서 항공, 우주산업에 이용되며 개량과 진보가 이루어졌다.

이후 FTA는 원자력 플랜트의 위험성 평가에도 대규모로 활용되었고 나아가 일반 산업안전 분야에서 과학적인 재해예방활동의 일환으로 폭넓게 사용되어 화학 플랜트등과 같이 복잡한 시스템의 결함 진단에도 적용할 수 있게 되었다.

일반적으로 FTA는 그 목적이나 시간 및 비용등을 고려하여 정성적으로 FT를 작성하고 이에 따라 재해발생 확률을 정량적으로 구하는 방법으로서 이의 장점을 열거하면 아래와 같다.

- (1) 고장의 원인을 밝히는 분석의 조작이 가능
- (2) 어떠한 고장이 시스템내에서 갖는 중요도의 지적이 가능
- (3) 질적 또는 양적인 시스템 신뢰도 분석에 선택권을 제공
- (4) 도식적 해법을 통한 시스템 특성 파악이 용이
- (5) 연역적이고 정량적인 해석 가능
- (6) 선택성 및 융통성이 풍부

본 연구에서는 화학공장의 계측, 제어기기에 대한 고장원인 및 고장율을 조사하여 이를 토대로 계측, 제어기기의 평균 고장율을 계산함으로써 FTA에 필요한 기초자료로 활용할 수 있게 되었다. 또한 일반 사업장에서 부분적인 공

정이나 장치에 대한 FT를 할수 있도록 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

2. FTA의 순서

시스템 안전도 분석을 위한 FTA의 방법과 순서는 다음과 같다.

- (1) 해석하려는 시스템의 공정과 작업 내용을 파악한다. 이것 때문에 필요하면 시스템의 정상운행을 나타내는 그래프나 배치도 등을 준비한다.
- (2) 예상되는 재해를 과거의 재해 사례나 재해 통계를 기초로 가급적 폭넓게 조사한다.
- (3) 재해의 위험도를 검토하여 해석할 재해를 결정한다. 이것 때문에 필요하면 예비사고 해석(pHA)을 실시한다.
- (4) 재해의 위험도를 고려해서 재해 발생 확률의 목표값을 정한다.
- (5) 재해에 관계하는 기계의 불량 상태나 작업자의 에러에 대해 그 원인과 영향을 가급적 상세히 조사한다. 이것 때문에 필요하면 pHA나 FMEA를 실시한다.
- (6) FT(Fault Tree)를 작성한다.
- (7) 작성한 FT를 수식화해 불 대수를 사용해서 간소화한다. 간소화는 FT 자체의 그림 안에서 해도 좋다.
- (8) 기계 불량 상태나 작업자 에러의 발생 확률을 조사나 자료에 의해 정하고 FT에 표시한다.
- (9) 해석하는 재해의 발생 확률을 계산한다.
- (10) 계산 결과를 과거의 재해 발생 확률 또는 중간 사고의 발생률과 비교한다.
- (11) 비교 결과과 틀리면 (5)로 되돌아간다.
- (12) 완성된 FT를 해석해서 재해의 발생 확률이 목표값을 넘는 경우에는 가장 효과적인 안전 수단을 검토한다.

(13) 코스트나 기술등 여러 조건을 고려해서 가장 유효한 재해방지 대책을 세운다.

(14) 이들 각 수준에 따라 FTA의 규모가 클 때는 컴퓨터를 사용할 수 있도록 데이터를 정리한다.

II. 이 론

1. 정상사상(Top Event)발생 확률의 평가

FT를 수식으로 표현하거나 간소화하기 위하여 Boolean대수가 사용된다. Boolean 대수는 논리 계산의 한 방법으로서 어느 집합을 구성하는 부분 집합들의 논리곱과 논리합을 사용하여 표현하고, 이들의 확률현상을 계산식을 사용함으로써 FT의 정상사상, 즉 구하고자 하는 재해의 발생 확률을 계산하는 방법을 말한다.

이때 주의를 요하는 것은 FT내에 2개소 이상에 동일 기본사상이 포함되는 경우의 확률 계산은 Boolean 대수에 의한 정리를 행한 후에 실시하지 않으면 전혀 다른 결과가 나올수도 있다는 점이다.

한편 FT가 수많은 기본사상으로 구성된 경우가 많은데 이때는 그것을 몇 개의 부분 FT로 분해하여 각부분 FT를 해석한 후 전체의 FT를 해석하는 것이 효율적이다.

이와같이 부분 FT를 하나의 기본사상으로 취급하는 방법을 모듈(Module)분할이라 한다. 이와같은 방법으로 구성된 FT는 AND와 OR 게이트로 이루어지며 이들의 해석적 수법에 의한 정상사상 발생확률은 다음과 같이 표시할 수 있다.

(1) 기본사상이 상호 독립적인 경우

FT의 정상사상 발생 확률 g 는 식 5-1과 같이 표시되며

$$g = Pr\{\phi(x) = 1\} \quad (5-1)$$

이때 기본사상이 상호 독립적인 경우 g 는 q 의 함수로서 다음과 같다.

$$g = g(q) \quad (5-2)$$

즉 AND Gate로만 구성된 FT의 경우

$$g(q) = \prod_{i=1}^n q_i \quad (5-3)$$

OR Gate로만 구성된 FT의 경우는

$$g(q) = \prod_{i=1}^n q_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i) \quad (5-4)$$

로 표시할 수 있어 이들의 조합된 계산으로 정상사상의 발생 확률을 해석적 수법을 이용하여 계산이 가능하다.

(2) 기본사상이 상호 독립적이 아닌 경우

FTA에서는 기본사상이 서로 통계적으로 독립되어 있다고 가정하는 것이 일반적인 접근방법이만 몇가지 부품이 어떤 부하(負荷)를 분담하고 있는 경우에는 그중 하나의 부품이 고장나면 나머지 부품에 가해지는 부하의 분담이 증가하고 결국은 나머지 부품들도 고장나기 쉬운 상태로 되므로 이 경우는 상호 독립적이 아니라고 할수 있다.

따라서 이와같은 경우에는 기본 사상간의 상호 의존성을 표현하는 통계적 모델로서 다음의 어소시에이션(Association)개념을 도입할 필요가 있다.

즉, 확률 변수 $T_1, \dots, T_n$ (2치는 아니더라도 좋다)은 임의의 모든 2치 증가 함수 Γ 와 Δ 의 조에 대해

$$Cov\{\Gamma(T), \Delta(T)\} \geq 0 \quad (5-5)$$

가 성립할 때 어소시에이트한다고 한다.

기본사상이 어소시에이트하는 경우에는 정상사상의 발생 확률을 엄밀하게 평가하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 그 상한 또는 하한을 평가하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 그 상한 또는 하한을 평가할 수 있으면 그것만으로도 충분히 유용하다.

가장 간단한 상한과 하한의 평가식은

$$\prod_{i=1}^n q_i \leq Pr\{\phi(x)=1\} \leq \prod_{i=1}^n q_i \quad (5-6)$$

이다.

구조 함수 ϕ 의 최소 컷 AND 구조와 최소 패스 OR 구조를 사용한 표현과 식 5,6에서

$$\prod_{j=1}^p Pr[p_j(x)=1] \leq Pr\{\phi(x)=1\} \leq \prod_{j=1}^p Pr[k_j(x)=1] \quad (5-7)$$

라는 상하한의 평가식을 얻을 수 있다.

식 5,7에 의해 정상사상의 발생 확률을 평가하려면 $p_i(x)=1$ 과 $k_i(x)=1$ 이 되는 확률을 구해야 한다. 그렇지만 기본사상이 어소시에이트하는 경우에는 특수한 경우를 제외하고 이것은 곤란하다. 다음의 평가식에 따르면 그러한 일 없이 상하한을 구할 수가 있다.

$$\max_{1 \leq i \leq k, i \in K_c} \prod q_i \leq Pr\{\phi(x)=1\} \leq \min_{1 \leq r \leq p, r \in P_c} \prod q_i \quad (5-8)$$

기본사상이 어소시에이트하는 경우에는 반드시

$$\prod_{i=1}^n q_i \leq \max_{1 \leq i \leq k, i \in K_c} \prod q_i \leq \min_{1 \leq r \leq p, r \in P_c} \prod q_i \leq \prod_{i=1}^n q_i \quad (5-9)$$

가 성립하므로 식 5,8는 식 5,6보다 반드시 더욱 좋은 정상사상 발생 확률의 평가값을 부여한다.

2. 최소 컷트와 최소 패스(minimal Cut and minimal pass)

FTA에서 어느 기본사상이 정상사상 발생에 큰 영향을 주는가를 찾아내는 방법으로서 컷트란 그 속에 포함되어 있는 모든 기본사상(통상, 생략사상을 포함)이 일어났을때 정상사상을 일으키는 기본사상의 집합을 말하며, 최소 컷트는 정상사상을 일으키기 위한 최소 필요사상을 일컫는다. 즉, 최소컷트는 어떤 고장이나 실수를 일으키면 재해가 일어나는가 하는것을 나타내는 시스템의 위험성을 표시하는 것이고, 최소 패스는 어떤 고장이나 실수가 없으면 재해가 일어나지 않는다는 시스템의 신뢰성을 표현하는 것이 된다.

FT에서 시스템이 복잡하게 되면 그 FT는 수백, 수천의 사상과 게이트가 있어서 해석이 용이하지 않기 때문에 최소 컷트와 최소 패스를 사용한 근사 계산법에 의해 재해의 발생경로 조사와 재해에 대한 결합사상의 영향을 찾는등 FT에서의 최소 컷트와 최소 패스는 매우 중요한 역할을 갖는다.

(2) Fussell 알고리즘

FTA에 사용되는 프로그램으로서 현재까지 개발된 것으로는 MOCUS, WAMCUT, KITT 등이 있고 FT분석에 이용된 알고리즘으로는 Semanderes 및 Fussell 알고리즘이 있다.

Semanderes 알고리즘은 최소 컷셋을 구하는 것으로서 FT의 각 중간사상을 기본사상의 곱과 합으로 나타낸 것이다. 이 조작은 하위의 중간사상에 대하여 먼저 행하여진 후 차례로 상위의 중간사상으로 계속되는 방법으로서 Bottom-up 방식이다.

한편 Fussell 알고리즘은 MOCUS 프로그램 등에 사용된 것으로서 Semanderes 알고리즘이 Bottom-up 형식인데 반하여 정상사상에서 순차적으로 하위단계의 사상을 탐색하는 Top-down 방식을 취하고 있는 특징이 있으며 A-ND 게이트는 컷셋구성 기본사상수를 증가시키고 컷셋수를 증가시키는 것은 OR 게이트 뿐이라고 하는 성질을 이용한 특징이 있다.

Fussell 방법에서는 최소 컷셋을 구하기 전에 BICS(Boolean Indicated Cut Sets)라 불리는 컷셋을 구할 필요가 있으며 개개의 BICS는 $\Delta x, y$ 행렬의 각행으로부터 구할수 있다.

III. 컴퓨터 프로그램

1. 개 요

본 연구에서 FTA를 실행하기 위한 컴퓨터 프로그램은 C언어 (Turbo-C)

를 사용하여 개발하였다.

FTA 컴퓨터 프로그램을 수행하기 위한 컴퓨터는 PC-AT급을 기준으로 하였으나 분석하고자 하는 FT구성의 복잡정도에 따라 메모리 영역이 초과 하는 경우도 있기 때문에 간단한 FTA에 이용하는 것이 바람직하고, 복잡한 FT의 경우는 몇개의 FT로 분할하여 프로그램을 수행하여야 한다.

프로그램상 하나의 게이트가 분할되는 하부 게이트의 수를 최대 10개 이내로, 게이트명의 스트링은 8자 이내로, 또한 기본사상을 제외한 게이트수를 30개 이내이거나 기본사상의 총수가 30개 이내로 수행할 수 있도록 제한하였으나 이는 분석하고자 하는 FT의 복잡성과 사용 컴퓨터의 기종에 따라 수정 변경이 가능토록 설계하였다

프로그램에 이용된 알고리즘은 FTA에 많이 사용되는 Fussel알고리즘으로서 BICS(Boolean Indicated Cut Sets)를 구하여 이로부터 미니멀 컷 셋트와 패스 셋트를 얻는 방법을 택하였다.

2. 프로그램의 작성

본 연구에서 개발한 컴퓨터 프로그램의 세부내용은 부록 V에 별도 첨부하였으며 정상사상의 발생확률, BICS, 미니멀 컷 셋트 및 패스 셋트를 구하는 알고리즘은 다음과 같이 수행하였다.

(1) 데이터 파일

- 각 게이트에는 형식, 입력 수, 그리고 i번째 게이트의 이름이 있다.
- 기본사상은 X로 시작한다.
- 기본사상의 확률

(2) 확률의 계산

$$\text{논리곱의 확률 } q(A \cdot B \cdot C \cdot \dots \cdot N) = q_A \cdot q_B \cdot q_C \cdot \dots \cdot q_N$$

$$\text{논리합의 확률 } q(A+B+C+\dots+N) = 1 - (1-q_A)(1-q_B)(1-q_C) \dots (1-q_N)$$

데이터 파일에 입력된 트리(Tree) 구조를 참조하여 각 게이트(Gate)의 확율을 구한다.

이를 위해서 DEPTH FIRST SEARCH 방법을 사용하였다.

• 알고리즘

1) DEPTH = 0

2) 현재 게이트의 $i = 0$

3) 현재 게이트의 i 번째 하위 게이트(Gate)가 기본사상인지 판별한다.

4) 기본 사상이 아니면 DEPTH를 증가시키고 STEP 2)로 돌아간다.

5) 만일 기본사상이면 확율을 구한다.

6) i 를 증가시킨다.

7) 만일 i 가 입력 게이트 수와 같으면 현재 게이트에 대한 확율을 계산하고 DEPTH를 감소시킨다.

8) DEPTH = 0이 아니면 3)으로 간다.

9) 끝낸다.

(3) BICS의 행수 계산(X_{max})

i 번째 게이트의 j 번째 입력에 대한 파라미터 : $X_{i,j}$

i 번째 게이트의 파라미터 : X_i

i 번째 게이트의 j 번째 입력이 기본사상이면 $X_{i,j} = 1$

i 번째 게이트의 j 번째 입력이 게이트 K 이면 $X_{i,j} = X_K$

$$X_i = \begin{cases} X_{i,1} X_{i,2} \dots X_{i,j} \max & i \text{가 AND 게이트 일 때} \\ X_{i,1} + X_{i,2} + \dots + X_{i,j} \max & i \text{가 OR 게이트 일 때} \end{cases}$$

(4) BICS의 열수 계산(Y_{max})

i 번째 게이트의 입력에 대한 파라미터 : $Y_{i,j}$

i 번째 게이트의 파라미터 : Y_i

i 번째 게이트의 j 번째 입력이 기본사상이면 $Y_{i,j} = 1$

i 번째 게이트의 j 번째 입력이 게이트 k 이면 $Y_{i,j} = Y_k$

$$Y_i = \begin{cases} y_{i,1} \cdot y_{i,2} \cdot \dots \cdot y_{i,j \max} & i \text{가 AND 게이트 일 때} \\ \max(y_{i,1}, y_{i,2}, \dots, y_{i,j \max}) & i \text{가 OR 게이트 일 때} \end{cases}$$

(5) BICS의 계산

1) BICS i,j 가 AND 게이트인 경우 입력 게이트로의 치환

- i,j 번째 게이트의 입력 게이트 수(k)를 읽는다.
- i 번째 행의 $j+1$ 부터 있는 게이트를 $j+k+1$ 로 옮긴다.
- i 번째 행의 $j+1$ 부터 $j+k$ 까지 입력 게이트로 치환한다.

2) BICS i,j 가 OR 게이트인 경우 입력 게이트로의 치환

- i,j 번째 게이트의 입력 게이트 수(K)를 읽는다.
- $i+1$ 번째 행부터 현재까지 계산된 최대행 ($i \max$) 까지를
- $i+k+1$ 번째 행부터 $i+k+i \max$ 행으로 옮긴다.
- $i+1$ 번째 행부터 현재까지 계산된 최대행 ($i \max$) 까지를
- i 번째 행과 같이 만든다.
- $i+1$ 번째 행부터 현재까지 계산된 최대행 ($i \max$) 까지의 j 번째열을
- i,j 번째 게이트의 입력게이트로 치환한다.
- $i \max = i \max + K$

(6) 미니멀 컷 셋트 (Minimal Cut Set)

- 1) BICS 행열에서 같은 행에 반복되는 기본사상을 제거한다.
- 2) 각 기본사상에 숫수를 지정한다.
- 3) 행에 있는 기본사상에 대응하는 숫수들을 곱하여 행에 대한 값을 구한다.
- 4) 다른 행에서 구한 값으로 나누어지는 행이 있으면 BICS에서 제거한다.
- 5) 나누어지는 행이 없으면 이것이 미니멀 컷 셋트이다.

제 6 장 결 론

화학공장에서의 사고 유형은 대개 화재, 폭발 및 이로인한 유독성 물질 누출등이 있으며 이들 사고는 재해 규모나 재산손실이 타업종에 비하여 매우 크고 사회적 파급 영향이 심각하다. 또한 이들 공장은 일부 중·소규모의 사업장을 제외하고 거의 공업단지에 밀집되어 있어 재해가 확산될 우려가 있으며, 재해 발생시 국가 기간산업에도 막대한 영향을 미칠수 있는 잠재적 위험이 상존한다고 할수 있다.

특히 화학공장의 경우는 타업종과는 달리 대부분의 공정이 계측, 제어기기에 의해 자동제어 되는 실정을 감안할때 이들 설비가 안전운전에 차지하는 비중이 매우 높다고 할수 있으나 이런 중요성에도 불구하고 실제 이들 사업장의 안전과 연계하여 계측, 제어설비에 대한 신뢰도나 고장을 자료가 국내에는 전무하고 외국의 자료도 빈약한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 화학공장의 계측, 제어기기 사용 실태와 이들의 고장원인 및 고장율을 조사하고 결함수 해석법(FTA)을 이용한 안전성 평가방법에 이용할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였는바 이에 대한 중요 사항은 다음과 같다.

1. 계측, 제어기기의 국산화 비율이 점차 증가되는 추세이기는 하지만 아직도 고부가가치, 고정밀도의 제품은 외국 제품이 주로 사용되고 있는 상황으로서 특히 유량계류, 액위계류, 분석계류 및 밸브류의 대일(對日) 의존도가 높았다. 국산 계측, 제어기기류는 주로 압력, 온도측정의 현장 게이지류가 대부분을 차지하여 수량으로는 전체의 약 71%를 점유하고 있으나 유량계 1.0%, 밸브류 13%등에 지나지 않고 이들 제품의 일본제품 점유율은 각각 84%, 70%로서 화학공장의 계측, 제어기기 분야의 국산화가 매우 심각

하였다.

2. 화학공장의 대표적인 석유화학공업의 경우 가동기간 10년 이상인 노후 사업장이 전체의 약 44%로서 장치 및 기기류의 노후화에 따른 특별한 안전대책이 요구된다. 화학공장에서의 가장 중요한 계측, 제어기기의 고장 원인중 약 43.1%가 노후화에 따른 오지시, 오작동이나 부식, 마모등이 차지하고 있으며 특히 노후설비의 경우는 제어방식이 아날로그, 공압식인 경우가 대부분으로서 신뢰도가 낮고 고장이 잦아서 이들 설비의 교체 또는 전면적인 개, 보수가 요구된다.

3. 화학공장에서의 주요 계측, 제어 대상인 온도계류, 압력계류를 비롯한 총 11개 설비에 대한 국내 5개 사업장의 평균 고장율을 산출하였다. 가스 검지기를 포함한 분석계류의 년평균 고장율은 9.2회로서 가장 고장빈도가 높았으며 액위계류 1.2회, 적산계류 0.98회 등으로 외국의 자료와 차이를 보였으나 외국의 경우는 1970년대 자료로서 계측, 제어방식의 차이 때문이라고 판단된다. 본 연구조사에서 구한 계측, 제어기기의 평균 고장율은 상대적인 값으로서 각 사업장에서 이를 참고하여 예방정비계획등에 반영하면 매우 유용하게 쓰일 것이다.

4. 화학공장에서의 예방정비를 보다 합리적이고 체계적으로 수행하여야 할 것이다.

대개의 사업장에서 계측, 제어부문의 이력관리가 이루어지지 않고 있었으며, 소모품의 성격을 지닌채 고장 발생시에 사후 정비의 개념으로 관리되고 있었다. 근거리 통신망(LAN)을 이용한 종합적 관리 시스템을 개발하여 원,부자재의 자재관리로 부터 작업관리, PM 및 이력관리를 체계적으로 운영함으로써 설비의 안전을 유지할 수 있을 뿐아니라 비용절감의 효과도 거둘 수

있다.

5. 결합수 해석법 (FTA)을 수행하기 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

프로그램에 이용된 알고리즘은 Fussell 알고리즘으로서 BICS를 구하여 이로부터 미니멀 컷 셋트와 패스 셋트를 얻는 방법을 택하였고 사용 언어는 Turbo-C를 사용하였으며 대상 기종은 PC-AT급을 기준으로 하였다. 프로그램 상 하나의 게이트가 분할되는 하부 게이트 수를 최대 10개 이내로, 게이트 명의 스트링은 8자 이내로, 또한 기본사상을 제외한 게이트 수를 30개 이내이거나 기본사상의 총수가 30개 이내로 수행할 수 있도록 제한하였으나 이는 분석하고자 하는 FT의 복잡성과 사용 컴퓨터의 기종에 따라 수정변경이 가능토록 설계하였다. 분석하고자 하는 FT가 위의 사항을 초과하는 경우에는 몇개의 FT로 분할하여 프로그램을 수행한다면 컴퓨터 기억 용량에 큰 제한을 받지 않을 것이다.

참 고 문 헌

1. 이영섭 외, “FTA를 이용한 재해예방 모델 개발연구,” 국립노동과학연구소 (1987).
2. 이근철 역, FTA 안전공학, 기전연구사, PP118 ~ 125 (1990).
3. 박경수, 신뢰도 공학 및 정비이론, 탑출판사, PP 5 ~ 344 (1978)
4. 박재현, “황화수소 흡착장치에 대한 FT 분석,” 한양대학교 석사논문 (1988)
5. 박수열, “Stretford Process의 안전도분석,” 한양대학교 석사논문 (1989)
6. 문고영, “FT방법에 의한 가스정제 공정의 안전도분석,” 한양대학교 석사 논문 (1991)
7. 김병석, “FTA기법을 이용한 LPG 저장탱크 폭발원인분석,” 동국대학교 석사 논문 (1989)
8. 김제훈, “Control Valve Damage,” 자동제어계측, 1, 158 (1992)
9. 조인구, “종합제어 시스템의 새로운 전개,” 자동제어계측, 1, 9 (1992)
10. H. Ulrich and Y. Javier, “FT Evaluation by Monte Carlo Simulation”, Chem. Eng., Jan., 91 (1983)
11. D. Singer, “FTA Based on Fuzzy Logic”, Computers Chem. Eng., 14, 259 (1990)
12. A. Shafaghi, P.K. Andow and F.P. Lees, “FT Synthesis Based on Control Loop Structure”, Chem. Eng. Res. Des., 62, 101 (1984)
13. H.J.S. Petersen and H. Palle, “FT Evaluation Shows Importance of Testing Instruments and Controls”, Chem. Eng., 26, 85 (1984)
14. R.W. Prugh, “Application of FTA”, CEP, JUL., 59 (1980)
15. H. Ulrich, “FTA of a Proposed Ethylene Vaporization Unit”, Ind. Eng. Chem. Fundam., 20, 304 (1981)

16. D.J.Allen and M.S.Madhava Rao, "New Algorithms for the Synthesis and Analysis of FT", Ind. Eng. Chem. Fundam., 19, 79 (1980)
17. D.J.Allen, "Digraphs and FT", Ind. Eng. Chem. Fundam., 23, 175 (1984)
18. M.A.Grolmes, J.C.Leung and H.K.Fauske, "Large Scale Experiments of Emergency Relief Systems", CEP, AUG., 57 (1985)
19. H.Kumamoto and E.J.Henley, "Automated FT Synthesis by Disturbance Analysis", Ind. Eng. Chem. Fundam., 25, 233 (1986)
20. H.K.Fauske and J.C.Leung, "New Experimental Technique for Characterizing Runaway Chemical Reactions", CEP, AUG., 39 (1985)
21. H.Ulrich and S.Herminio, "Safety Analysis of a Plant for Production of Vinyl Acetate", J. of Chem. Eng of Jap., 17, 165 (1984)
22. F.D.Stevenson, S.T.Maher, D.R.Sharp and B.D.Sloane, "Process Safety Management of a Fuel Gas Conditioning Facility Using FTA", Can.J. of Chem. Eng., 64, 848 (1986)
23. G.A.Martin-Solis, P.K.Andow and F.P.Lees, "FT Synthesis for Design and Real Time Analysis", Trans. IChemE., 60, 14 (1982)
24. 化学工学協会(日), 化学 プラントの 安全設計, 丸善, 東京 pp 190 - 196 (1979)
25. 川崎義人, 信頼性 設計, 日科技連出版社 東京, pp 13 - 107 (1985)
26. 鹽見 弘, FMEA, FTAの活用, 日科技連出版社, 東京, pp 163 - 188 (1985)

여 백

— 부 록 —

- I. 계측, 제어기기 보유현황 (제조국가별)
- II. 계측, 제어기기 고장원인 응답빈도
- III. 제조원 (국가) 별 고장원인 응답빈도
- IV. 'A'사의 단위공장별 고장을 발생추이
- V. FT 분석을 위한 컴퓨터 프로그램

여 백

부록 I, 계측, 제어기기 보유현황 (제조국가별)

구 분 종류 형 식		사용사업장수 (개소)					총 보 유 수 (대)				
		한국	일본	미국	기타	계	한국	일본	미국	기타	계
유 량 계 류	Differential pressure transducer	5	14	2	0	21	23	1427	377	0	1827
	Variable area flowmeter	8	25	1	1	35	43	1961	60	30	2094
	Magnetic flowmeter	1	34	12	3	50	1	4188	765	56	5010
	Others	4	5	2	0	11	31	303	110	0	444
	소 계	18	78	17	4	117	98	7879	1312	86	9375
액 위 계 류	Differential pressure transducer	1	30	11	3	45	4	1458	258	152	1872
	Float type level transducer	19	20	6	1	46	414	742	143	5	1304
	Electrical conductivity probes	13	4	4	6	27	805	359	324	37	1525
	Others	2	1	0	3	6	69	15	0	31	115
	소 계	35	55	21	13	124	1292	2574	725	225	4816
농 도 류 계	PH meter	9	33	9	4	55	48	486	89	21	644
	Gas Analyzer	14	17	5	4	40	254	431	176	124	985
	Others	0	5	2	2	9	0	24	5	9	38
	소 계	23	55	16	10	104	302	941	270	154	1667
온 도 류 계	Thermometer	44	11	0	0	55	6463	1532	0	0	7995
	Thermocouple	39	10	2	2	53	7675	1841	14	96	9626
	Resistance thermometer	36	8	1	2	47	43976	446	238	32	44692
	Others	0	1	2	0	3	0	1148	145	0	1293
	소 계	119	30	5	4	158	58114	4967	397	128	63606

구 분		사용사업장수 (개소)					총 보 유 수 (대)				
종류	형식 제조국가	한국	일본	미국	기타	계	한국	일본	미국	기타	계
압 력 계 류	Pressure Measurement	43	20	7	1	71	44029	2630	628	16	47303
	Vacuum Measurement	34	11	3	1	49	1910	206	47	9	2172
	소 계	77	31	10	2	120	45939	2836	675	25	49475
밸 브 류	Control Valve	11	32	14	1	58	2338	10330	1600	356	14624
	Solenoid Valve	5	26	4	5	40	747	6563	1665	545	9520
	소 계	16	58	18	6	98	3085	16893	3265	901	24144
총 계	총 계	288	307	87	39	721	108830	36090	6644	1519	153083
	구 성 비 (%)	39.9	42.6	12.1	5.4	100	71.1	23.6	4.3	1.0	100

부록Ⅱ, 계측, 제어기기 고장원인 응답빈도 (회)

종류	구 분	초 기 고 장			우 발적 고 장			노 후 고 장		기 타
	세 부 고 장 원 인 형 식	취 급 불 량	제 품 결 합	접 촉 불 량	이 물 침 투	침 수	동 결	노 후 오 차	부 식 마 모	기 타
유 량 계 류	Differentiøl pressure transducer	1	2	1	4	—	—	2	1	2
	Variable area flowmeter	4	1	—	7	1	—	2	5	—
	Magnetic flowmeter	2	1	6	11	3	—	3	7	1
	Others	—	—	—	3	—	—	1	4	—
	소 계	7	4	7	25	4	—	8	17	3
액 위 계 류	Differentiøl pressure transducer	1	2	2	9	—	1	6	8	1
	Float type level transducer	1	3	4	5	1	1	7	6	—
	Electrical conductivity probes	—	3	1	3	1	—	3	—	1
	Others	—	—	—	1	—	—	—	—	—
	소 계	2	8	7	18	2	2	16	14	2
농 도 계 류	pH meter	6	2	2	12	1	1	6	3	1
	Gas analyzer	2	—	3	2	—	—	2	6	—
	Others	—	—	—	1	—	—	—	1	1
	소 계	8	2	5	15	1	1	8	10	2
온 도 계 류	Thermometer	7	6	3	2	—	—	10	8	1
	Thermocouple	2	6	6	2	1	—	9	7	—
	Resistance thermometer	2	4	6	2	1	—	6	4	—
	Others	—	1	—	1	—	—	—	—	—
	소 계	11	17	15	7	2	—	25	19	1

종류	구 분	초 기 고 장			우 발적 고 장			노후고장		기타
	세부고장원인 형식	취급 불량	제품 결함	접촉 불량	이물 침투	침수	동결	노후 오차	부식 마모	기타
압 력 계 류	Pressure Measurement	4	5	3	11	1	1	14	12	—
	Vacuum Measurement	3	5	—	6	—	—	8	5	—
	소 계	7	10	3	17	1	1	22	17	—
밸 브 류	Control Valve	2	4	1	12	—	—	8	17	—
	Solenoid Valve	2	2	2	15	—	—	9	5	—
	소 계	4	6	3	27	—	—	17	22	—
총 계	총 빈 도 수 (회)	39	47	40	109	10	4	96	99	8
	세 부 구 성 비 (%)	8.6	10.4	8.8	24.1	2.2	0.9	21.2	21.9	1.8
	중분류구성비 (%)	27.8			27.2			43.1		1.8

부록Ⅲ 제조원 (국가) 별 고장원인 응답빈도

종류	구 분	초 기 고 장			우 발 고 장			노후고장		기타
	세부고장원인 국가	취급 불량	제품 결합	접촉 불량	이물 침투	침수	동결	노후	부식 마모	기타
유 량 계 류	한 국	-	1	2	3	-	-	2	-	-
	일 본	3	2	5	19	1	-	2	10	2
	미 국	3	1	1	4	1	-	1	1	-
	기 타	-	-	1	-	-	-	-	-	-
액 위 계 류	한 국	1	4	4	3	2	-	8	5	-
	일 본	1	2	4	8	1	-	6	-	-
	미 국	-	-	1	5	-	-	2	1	-
	기 타	-	1	1	1	-	-	2	-	1
농 도 계 류	한 국	-	2	1	2	-	-	1	3	1
	일 본	5	2	3	7	-	-	6	3	-
	미 국	1	-	1	4	-	1	1	3	-
	기 타	-	-	-	1	-	-	-	-	-
온 도 계 류	한 국	9	14	4	6	2	-	18	15	1
	일 본	-	-	6	2	-	-	4	3	-
	미 국	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	기 타	-	-	-	1	-	-	1	-	-
압 력 계 류	한 국	6	9	2	12	-	-	14	8	-
	일 본	1	1	1	3	-	2	6	7	-
	미 국	-	-	-	2	1	-	2	1	-
	기 타	-	-	-	-	-	-	-	-	-

종류	구 분	초 기 고 장			우 발 고 장			노후고장		기타
	세부고장원인 국가	취급 불량	제품 결합	접촉 불량	이물 침투	침수	동결	노후	부식 마모	기타
벨 브 류	한 국	1	2	-	3	1	-	2	2	-
	일 본	-	4	3	15	-	-	11	16	1
	미 국	-	-	-	7	-	-	3	3	-
	기 타	-	-	-	1	1	-	2	2	-
총 괄	한 국	17	32	11	29	5	-	45	35	2
	일 본	10	11	22	54	3	2	35	38	4
	미 국	4	1	3	22	2	-	9	9	-
	기 타	-	1	2	4	1	-	5	2	1

부록Ⅳ A사의 단위공장별 고장을 발생추이

1. 제 1 공장

구 분		1) 총 고장 발생건수(회)	년도별고장율 (회 / 년)				2)평균 고장율	비 고
계 기 명	보유수량		'86	'87	'89	'90		
온도계류	145	150	0.4013	0.2169	0.2420	0.3410	0.3045	1) '86 ~ '90('88 제외)기간중의 고장발생건수
유량계류	310	285	0.2355	0.3695	0.2400	0.2317	0.2706	
압력계류	435	388	0.3235	0.3227	0.2969	0.1028	0.2626	
액위계류	229	317	0.2664	0.4806	0.5517	0.4113	0.4075	2) $\frac{\text{총고장발생건수}}{\text{총보유수량}}$ $\times \frac{365}{\text{총운전일수}}$
적산계류	19	102	1.8932	2.1870	0.6650	1.3633	1.5802	
계량설비	17	27	0.4979	0.9249	0.2477	0.1385	0.4675	
분석계류	67	1,917	5.9688	7.1575	12.4670	9.0854	8.4221	3)년도별운전일수 '86 : 345 일 '87 : 325 일 '89 : 260 일 '90 : 310 일
Controller	147	161	0.3886	0.5653	0.2005	0.0961	0.3224	
Control Valve	180	379	0.4173	0.7861	0.6005	0.6868	0.6198	
Recorder	125	235	0.6009	1.1231	0.2808	0.1319	0.5534	
방송설비	28	85	1.3602	0.8844	0.8022	0.4625	0.8936	

2. 제 2 공장

구 분		1)총 고장	년도별 고장율 (회 / 년)				2)평균	비 고
계 기 명	보유수량	발생건수(회)	'86	'87	'89	'90	고장율	
온도계류	153	81	0.3309	0.1212	0.1166	0.1346	0.1849	1) 상동
유량계류	361	317	0.2870	0.2857	0.3820	0.2852	0.3067	2) 상동
압력계류	308	274	0.3440	0.3461	0.2791	0.2370	0.3107	3) 년도별
액위계류	212	181	0.3388	0.3279	0.2678	0.2207	0.2982	운전일수
적산계류	21	45	1.2335	1.1587	0.0770	0.0891	0.7485	'86 : 210 일
계량설비	9	32	1.5699	2.0600	0.3605	0.4159	1.2419	'87 : 315 일
분석계류	41	1,238	9.3045	8.7894	11.5534	14.1982	10.5466	'89 : 225 일
Controller	175	174	0.4104	0.4966	0.2039	0.1711	0.3473	'90 : 195 일
Control Valve	180	475	0.8242	1.0686	0.8922	0.8735	0.9217	
Recorder	135	218	0.6192	0.8755	0.1802	0.4159	0.5640	
방송설비	19	53	1.7971	0.8538	0.3415	0.5910	0.9743	

3. 제 3 공장

구 분		1) 총 고장	년도별 고장율 (회 / 년)				2)평균	비 고
계 기 명	보유수량	발생건수(회)	'86	'87	'89	'90	고장율	
온도계류	161	48	0.1667	0.0394	0.0588	0.0872	0.0896	1) 상동
유량계류	277	183	0.2170	0.2559	0.1952	0.1014	0.1985	2) 상동
압력계류	318	163	0.1789	0.1730	0.1403	0.1104	0.1540	3) 년도별
액위계류	160	145	0.2952	0.2446	0.4140	0.1316	0.2723	운전일수
적산계류	17	45	1.3893	1.1202	0.0795	0.3303	0.7510	'86 : 340 일
계량설비	10	14	0.7515	0.4232	0.2704	0.1404	0.4206	'87 : 345 일
분석계류	69	1,017	5.1343	4.5232	4.1731	3.6419	2.3501	'89 : 270 일
Controller	130	58	0.2147	0.1790	0.0832	0.0216	0.1340	'90 : 260 일
Control Valve	180	202	0.3519	0.2468	0.4731	0.2964	0.3371	
Recorder	105	141	0.7055	0.4836	0.1416	0.1738	0.4034	
방송설비	28	33	0.6901	0.3401	0.1448	0.1504	0.3541	

4. 제 4 공장

구 분		1)총 고장 발생건수(회)	년도별 고장율 (회 / 년)				2)평균 고장율	비 고
계 기 명	보유수량		'86	'87	'89	'90		
온도계류	104	52	0.3510	0.1063	0.0739	0.0351	0.1466	1) 상동
유량계류	308	169	0.1580	0.1831	0.2370	0.0671	0.1609	2) 상동
압력계류	314	390	0.3628	0.3346	0.6648	0.1124	0.3641	3) 년도별
액위계류	177	107	0.1321	0.2312	0.2677	0.0825	0.1772	운전일수
적산계류	10	31	1.2167	1.4379	0.6403	0.2433	0.9088	'86 : 330 일
계량설비	14	24	0.7900	0.5530	0.5489	0.0869	0.5026	'87 : 330 일
분석계류	29	792	6.7126	9.2299	9.3624	6.7965	8.0067	'89 : 285 일
Controller	105	87	0.4424	0.2528	0.2561	0.0	0.2429	'90 : 300 일
Control Valve	145	211	0.2670	0.4653	0.6271	0.3692	0.4266	
Recorder	90	153	0.7742	0.6882	0.2561	0.2163	0.4984	
방송설비	22	49	1.3574	0.6536	0.2911	0.2212	0.6530	

5. 제 5 공장

구 분		1)총 고장 발생건수(회)	년도별 고장율 (회 / 년)				2)평균 고장율	비 고
계 기 명	보유수량		'86	'87	'89	'90		
온도계류	144	85		0.7005	0.0332	0.0478	0.2550	1)'87,'89,'90
유량계류	387	169		0.4081	0.0989	0.0641	0.1886	년도 총고장
압력계류	390	235		0.5717	0.1166	0.1024	0.2603	발생건수
액위계류	199	164		0.8070	0.1804	0.0900	0.3560	2) 상동
적산계류	15	28		2.2121	-	0.2755	0.8063	3) 년도별
계량설비	14	13		0.6636	0.4274	0.0984	0.4010	운전일수
분석계류	50	877		11.3349	5.3374	6.2532	7.5765	'87 : 275 일
Controller	150	92		0.7433	0.0558	0.0092	0.2649	'89 : 305 일
Control Valve	175	314		1.3273	0.6018	0.4014	0.7751	'90 : 265 일
Recorder	95	109		1.3133	0.1134	0.0870	0.4956	
방송설비	22	19		0.6636	0.2720	0.1878	0.3731	

6. 제 6 공장

구 분		1)총 고장 발생건수(회)	년도별고장율 (회 /년)				2)평균 고장율	비 고
계 기 명	보유수량		'86	'87	'89	'90		
온도계류	37	1			0.0939	-	0.0420	1) '89, '90 년도 총고장 발생건수
유량계류	92	5			0.1889	-	0.0844	
압력계류	75	6			0.1854	0.0749	0.1243	
액위계류	59	10			0.4713	0.0952	0.2633	2) 상동
적산계류	2	-			-	-	-	3) 년도별 운전일수 '89 : 105 일 '90 : 135 일
계량설비	15	2			-	0.3743	0.2071	
분석계류	-	-			-	-	-	
Controller	12	5			0.5794	0.7019	0.6472	
Control Valve	10	33			1.0428	8.4231	5.1255	
Recorder	13	10			2.1392	0.4319	1.1948	
방송설비	7	3			0.9932	0.4011	0.6657	

7. 제 7 공장

구 분		1)총 고장 발생건수(회)	년도별고장율 (회 /년)				2)평균 고장율	비 고
계 기 명	보유수량		'86	'87	'89	'90		
온도계류	165	21			0.2141	0.1327	0.1822	1) '89, '90 년도 총고장 발생건수
유량계류	438	36			0.1398	0.0833	0.1177	
압력계류	411	99			0.3667	0.3108	0.3448	
액위계류	221	54			0.3197	0.3964	0.3498	2) 상동
적산계류	12	7			0.3925	1.5208	0.8350	3) 년도별 운전일수 '89:155 일 '90:100 일
계량설비	15	5			0.4710	0.4867	0.4771	
분석계류	45	535			10.4126	27.2533	17.0174	
Controller	125	106			1.8273	0.2628	1.2138	
Control Valve	180	141			1.1774	1.0342	1.1212	
Recorder	100	33			0.0859	0.5840	0.4724	
방송설비	24	7			0.3925	0.4562	0.4175	

V. FT 분석을 위한 컴퓨터 프로그램

```
#include <alloc.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <conio.h>
#include <ctype.h>
#include <dos.h>

void read_data_file(void);
void panic( char *str );
void display_bics(void);
int search_bics(int *x, int *y);
int search_bips(int *x, int *y);
int find_gate_form( char *gate_name, int *gate_num );
void replace_and_gate_bics(int x, int y, int gate_num);
void replace_or_gate_bics(int x, int y, int gate_num);
void replace_and_gate_bips(int x, int y, int gate_num);
void replace_or_gate_bips(int x, int y, int gate_num);
void goto_xy( int x, int y );
int eval_x_range_bics( int level );
int search_previous_x_bics( char *name );
int eval_y_range_bics( int level );
int search_previous_y_bics( char *name );
int eval_x_range_bips( int level );
int search_previous_x_bips( char *name );
int eval_y_range_bips( int level );
int search_previous_y_bips( char *name );
double calc_prob(int level);
double find_prob(char *name);
void write_prob_data(void);
void write_bics_set(void);
void write_bips_set(void);
void make_minimal_cut_set(void);
void make_minimal_path_set(void);
void eliminate_repeat_bics(void);
void eliminate_repeat_bips(void);

#define AND 1
#define OR 2
#define TRUE 1
#define FALSE 0
#define MAX_INPUT 10
#define NAME_SIZE 8
#define MAX_GATE 30

typedef struct {
    char name[NAME_SIZE];
    int form;
    double probability;
    int input_num;
    char input_name[MAX_INPUT][NAME_SIZE];
} GATE;
```

```

typedef struct {
    char        name[NAME_SIZE];
    double      probability;
} BASE;

static BASE base[MAX_GATE];

static GATE gate[MAX_GATE];

static char far ***bics;
static char far ***bips;

int x_max, y_max, max_base_num, max_gate_num;

main()
{
    int x, y;
    int i;
    int finished;
    int gate_num;

    clrscr();
    read_data_file();

    printf(" TOP GATE PROBABILITY = %le\n",    calc_prob(0) );
    write_prob_data();

    /*      BOOLEAN INDICATED CUT SETS CALCULATION */

    x_max = eval_x_range_bics(0);
    y_max = eval_y_range_bics(0);
    bics = (char far ***)farcalloc( x_max ,sizeof(char far **));
    if( bics == NULL ) panic(" MEMORY ALLOCATION FAIL");
    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        bics[i] = (char far **)farcalloc(y_max, sizeof(char far *));
        if( bics[i] == NULL ) panic(" MEMORY ALLOCATION FAIL");
    }
    bics[0][0] = gate[0].name;

    do {
        finished = search_bics(&x,&y);
        if( finished == FALSE ) {
            switch(find_gate_form(&bics[x][y][0], &gate_num) ) {
                case AND:
                    printf("\n AND GATE");
                    replace_and_gate_bics(x,y, gate_num);
                    break;
                case OR :
                    printf("\n OR GATE");
                    replace_or_gate_bics(x,y, gate_num);
                    break;
                default :
                    printf("\n THE END ");
            }
        }
    } while( !finished );
}

```

```

        break:
    }
}
) while( finished == FALSE );
write_bics_set();

/* MINIMAL CUT SETS CALCULATION */

eliminate_repeat_bics();
make_minimal_cut_set();
for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    farfree(bics[i]);
}
farfree(bics);

/*      BOOLEAN INDICATED PATH SET CALCULATION */

x_max = eval_x_range_bips(0);
y_max = eval_y_range_bips(0);
bips = (char far ***)farcalloc( x_max ,sizeof(char far **));
if( bips == NULL ) panic(" MEMORY ALLOCATION FAIL ");
for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    bips[i] = (char far **)farcalloc( y_max,sizeof(char far **));
    if( bips[i] == NULL ) panic(" MEMORY ALLOCATION FAIL ");
}
bips[0][0] = gate[0].name;
do {
    finished = search_bips(&x,&y);
    if( finished == FALSE ) {
        switch(find_gate_form(bips[x][y], &gate_num) ) {
            case AND:
                printf("\n AND GATE");
                replace_or_gate_bips(x,y, gate_num);
                break;
            case OR :
                printf("\n OR GATE");
                replace_and_gate_bips(x,y, gate_num);
                break;
            default :
                printf("\n THE END ");
                break;
        }
    }
} while( finished == FALSE );
write_bips_set();

/*      MINIMAL PATH SET CALCULATION */

eliminate_repeat_bips();
make_minimal_path_set();
for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    farfree(bips[i]);
}

```

```

    farfree(bips);
}

void make_minimal_cut_set()
{
    int far *prime_set, far *bics_val;
    int i, j, k, max_set, devided;
    FILE *fp;
    prime_set = farcalloc(max_base_num, sizeof(int));
    bics_val = farcalloc(x_max, sizeof(int));

    prime_set[0] = 2;
    max_set = 1;
    i=2;

    while( max_set < max_base_num ) {
        devided = FALSE;
        for( j=0; j<max_set; j++ ) {
            if( i % prime_set[j] == 0 ) devided = TRUE;
        }
        if( devided == FALSE ) {
            prime_set[max_set] = i;
            max_set++;
        }
        i++;
    }

    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        bics_val[i] = 1;
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            for( k=0; k<max_base_num; k++ ) {
                if( strcmp(base[k].name, bics[i][j]) == 0 ) {
                    bics_val[i] = bics_val[i] * prime_set[k];
                }
            }
        }
    }

    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        if( bics_val[i] > 0 ) {
            for( j=i+1; j<x_max; j++ ) {
                if( bics_val[j] > 0 ) {
                    if( bics_val[i] > bics_val[j] ) {
                        if( bics_val[i]*bics_val[j] == 0 ) {
                            bics_val[i] = 0;
                        }
                    }
                    else {
                        if( bics_val[j]*bics_val[i] == 0 ) {
                            bics_val[j] = 0;
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }
  }
}

fp = fopen("MCS.DAT", "w+");
fprintf(fp, "MINIMAL CUT SETS\n");
for(i=0; i<x_max; i++) {
  if( bics_val[i] != 0 ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
      if( bics[i][j] == NULL ) {
        fprintf(fp, "%8s", "\0");
      }
      else {
        fprintf(fp, "%8s", bics[i][j]);
      }
    }
    fprintf(fp, "\n");
  }
}
fclose(fp);
farfree(bics_val);
farfree(prime_set);
}

void make_minimal_path_set()
{
  int far *prime_set, far *bips_val;
  int i, j, k, max_set, devided;
  FILE *fp;
  prime_set = farcalloc(max_base_num, sizeof(int));
  bips_val = farcalloc(x_max, sizeof(int));

  prime_set[0] = 2;
  max_set = 1;
  i=2;

  while( max_set < max_base_num ) {
    devided = FALSE;
    for( j=0; j<max_set; j++ ) {
      if( i % prime_set[j] == 0 ) devided = TRUE;
    }
    if( devided == FALSE ) {
      prime_set[max_set] = i;
      max_set++;
    }
    i++;
  }

  for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    bips_val[i] = 1;
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
      for( k=0; k<max_base_num; k++ ) {
        if( strcmp(base[k].name, bips[i][j]) == 0 ) {

```

```

        bips_val[i] = bips_val[i] * prime_set[k];
    }
}

for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    if( bips_val[i] > 0 ) {
        for( j=i+1; j<x_max; j++ ) {
            if( bips_val[j] > 0 ) {
                if( bips_val[i] > bips_val[j] ) {
                    if( bips_val[i]*bips_val[j] == 0 ) {
                        bips_val[i] = 0;
                    }
                }
            }
            else {
                if( bips_val[j]*bips_val[i] == 0 ) {
                    bips_val[j] = 0;
                }
            }
        }
    }
}

fp = fopen("MPS.DAT", "w+");
fprintf(fp, "MINIMAL PATH SETS\n");
for(i=0; i<x_max; i++ ) {
    if( bips_val[i] != 0 ) {
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            if( bips[i][j]== NULL ) {
                fprintf(fp, "%8s", "\0");
            }
            else {
                fprintf(fp, "%8s", bips[i][j]);
            }
        }
        fprintf(fp, "\n");
    }
}

fclose(fp);
farfree(bips_val);
farfree(prime_set);
}

void write_bics_set()
{
    FILE *fp;
    int i, j;
    fp = fopen("BICS.DAT", "w+");
    if( fp == NULL ) panic(" BICS.DAT FILE OPEN ERROR");
    printf(" BICS.DAT FILE OPENED");
    getch();
}

```

```

fprintf(fp, "BICS SETS");
for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
        if( bics[i][j] != NULL ) {
            fprintf(fp, "%8s", bics[i][j]);
        }
    }
    fprintf(fp, "\n");
}
if( fclose(fp) == EOF ) panic(" BICS.DAT CLOSE ERROR");
}

void write_bips_set()
{
    FILE *fp;
    int i, j;
    fp = fopen("BIPS.DAT", "w+");
    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            if( bips[i][j] == NULL ) {
                fprintf(fp, "%8s", "\0");
            }
            else {
                fprintf(fp, "%8s", bips[i][j]);
            }
        }
        fprintf(fp, "\n");
    }
    if( fclose(fp) == EOF ) panic(" BIPS.DAT CLOSE ERROR");
}

void eliminate_repeat_bics()
{
    int i, j, k, l;

    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            for( k=j+1; k<y_max; k++ ) {
                if( bics[i][j] != NULL ) {
                    if( strcmp( bics[i][j], bics[i][k]) == 0 ) {
                        for( l=k; l<y_max-1; l++ ) {
                            bics[i][l] = bics[i][l+1];
                        }
                        bics[i][y_max-1] = 0;
                        k--;
                    }
                }
            }
        }
    }
}

void eliminate_repeat_bips()
{
    int i, j, k, l;

```

```

for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
        for( k=j+1; k<y_max; k++ ) {
            if( bips[i][j] != NULL ) {
                if( strcmp( bips[i][j], bips[i][k] ) == 0 ) {
                    for( l= k; l<y_max-1; l++ ) {
                        bips[i][l] = bips[i][l+1];
                    }
                    bips[i][y_max-1] = 0;
                    k--;
                }
            }
        }
    }
}

void write_prob_data()
{
    FILE *fp;
    int i;
    fp = fopen("PROB.DAT", "w+");
    if( fp == NULL ) panic(" PROB.DAT OPEN ERROR");
    fprintf(fp, "PROBABILITY \n");
    for( i=0; gate[i].name[0] != 0; i++ ) {
        fprintf(fp, "%8s %le\n", gate[i].name, gate[i].probability);
    }
    if( fclose(fp) == EOF ) panic(" PROB.DAT CLOSE ERROR");
}

double calc_prob(int level)
{
    int i, j;
    double tmp_prob, previous;

    tmp_prob = 1.0;
    previous = 0.0;
    for( i=0; i<gate[level].input_num; i++ ) {
        if( gate[level].input_name[i][0] == 'x' ||
            gate[level].input_name[i][0] == 'X' ) {
            previous = find_prob(gate[level].input_name[i]);
        }
        else {
            for( j=0; j<max_base_num; j++ ) {
                if( strcmp(gate[j].name, gate[level].input_name[i]) == 0 ) {
                    previous = calc_prob(j);
                }
            }
            if( previous == 0.0 ) panic(" CAN'T FIND THE PREVIOUS PROBABILITY!");
        }
        if( gate[level].form == AND ) {
            tmp_prob=tmp_prob*previous;
        }
    }
}

```

```

        else if( gate[level].form == OR ) {
            tmp_prob=tmp_prob*(1.0-previous);
        }
        else {
            panic(" PROBABILITY EVALUATION ERROR !");
        }
    }
    if( gate[level].form == OR )    gate[level].probability = 1.0 - tmp_prob;
    else                            gate[level].probability = tmp_prob;
    printf(" %8s = %1e \n", gate[level].name, gate[level].probability);
    return(gate[level].probability);
}

double find_prob(char *name)
{
    int i;
    for( i=0; i<max_base_num; i++ ) {
        if( strcmp(base[i].name, name) == 0 ) {
            return(base[i].probability);
        }
    }
    printf(" %8s ** ", name);
    panic(" CAN'T FIND BASIC GATE PROBABILITY");
}

int eval_y_range_bics( int level )
{
    int i, maxy, yval, y_range;

    if( gate[level].form == AND ) y_range = 0;
    else                            y_range = 0;

    for( i=0, maxy = 0; i<gate[level].input_num; i++ ) {
        if( gate[level].form == AND ) {
            y_range = y_range+search_previous_y_bics( gate[level].input_name[i] );
        }
        else if( gate[level].form == OR ) {
            yval = search_previous_y_bics(gate[level].input_name[i]);
            if( maxy < yval ) maxy = yval;
        }
        else {
            panic(" Y_RANGE EVALUATION ERROR !");
        }
    }
    if( gate[level].form == OR ) y_range = maxy;
    return(y_range);
}

int search_previous_y_bics( char *name )
{
    int i;
    if( name[0] == 'x' != name[0] == 'X' )    return(1);
    for( i=0; i<max_gate_num; i++ ) {

```

```

        if( strcmp(gate[i].name,name) == 0 ) {
            return(eval_y_range_bics( i ));
        }
    }
    panic(" SEARCH FAIL IN Y ");
}

int eval_y_range_bics( int level )
{
    int i, maxy, yval, y_range;

    if( gate[level].form == OR ) y_range = 0;
    else y_range = 0;

    for( i=0, maxy = 0; i<gate[level].input_num; i++ ) {
        if( gate[level].form == OR ) {
            y_range = y_range+search_previous_y_bics( gate[level].input_name[i] );
        }
        else if( gate[level].form == AND ) {
            yval = search_previous_y_bics(gate[level].input_name[i]);
            if( maxy < yval ) maxy = yval;
        }
        else {
            panic(" Y_RANGE EVALUATION ERROR !");
        }
    }
    if( gate[level].form == AND ) y_range = maxy;
    return(y_range);
}

int search_previous_y_bics( char *name )
{
    int i;
    if( name[0] == 'x' || name[0] == 'X' ) return(1);
    for( i=0; i<max_gate_num; i++ ) {
        if( strcmp(gate[i].name,name) == 0 ) {
            return(eval_y_range_bics( i ));
        }
    }
    panic(" SEARCH FAIL IN Y ");
}

int eval_x_range_bics( int level )
{
    int i, x_range;

    if(gate[level].form == AND ) x_range=1;
    else x_range=0;
    for( i=0; i<gate[level].input_num; i++ ) {
        if( gate[level].form == AND ) {
            x_range = x_range * search_previous_x_bics( gate[level].input_name[i]
);
        }
    }
}

```

```

        else if( gate[level].form == OR ) {
            x_range = x_range + search_previous_x_bics( gate[level].input_name[i]
);
        }
        else {
            panic(" X_RANGE EVALUATION ERROR !");
        }
    }
    return(x_range);
}
int search_previous_x_bics( char *name )
{
    int i;

    if( name[0] == 'x' || name[0] == 'X' )        return(1);
    for( i=0; gate[i].name[0] != 0; i++ ) {
        if( strcmp(gate[i].name, name) == 0 ) {
            return(eval_x_range_bics( i ));
        }
    }
    printf(" %8s ", name);
    panic(" SEARCH FAIL IN X ");
}

int eval_x_range_bips( int level )
{
    int i, x_range;

    if(gate[level].form == OR ) x_range=1;
    else x_range=0;
    for( i=0; i<gate[level].input_num; i++ ) {
        if( gate[level].form == OR ) {
            x_range = x_range * search_previous_x_bips( gate[level].input_name[i]
);
        }
        else if( gate[level].form == AND ) {
            x_range = x_range + search_previous_x_bips( gate[level].input_name[i]
);
        }
        else {
            panic(" X_RANGE EVALUATION ERROR !");
        }
    }
    return(x_range);
}
int search_previous_x_bips( char *name )
{
    int i;

    if( name[0] == 'x' || name[0] == 'X' )        return(1);
    for( i=0; gate[i].name[0] != 0; i++ ) {
        if( strcmp(gate[i].name, name) == 0 ) {
            return(eval_x_range_bips( i ));
        }
    }
}

```

```

    }
}
printf(" %8s ", name);
panic(" SEARCH FAIL IN X ");
}

void replace_and_gate_bics(int x, int y, int gate_num)
{
    int i, j;
    char far ***new_bics;

    new_bics =(char far ***)farcalloc(x_max, sizeof(char far **));
    if( new_bics == NULL ) {
        panic(" MEMORY ALLOCATION FAILED");
    }
    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        new_bics[i] =(char far **)farcalloc(y_max, sizeof( char far *));
        if( new_bics[i] == NULL ) panic(" MEMORY ALLOCATION FAIL");
    }
    for( i=0; i<x; i++ ) {
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            new_bics[i][j]= bics[i][j];
        }
    }

    for( j=0; j<y+gate[gate_num].input_num; j++ ) {
        if( j<y ) new_bics[x][j]=bics[x][j];
        else      new_bics[x][j]= gate[gate_num].input_name[j-y];
    }
    for( j=y+gate[gate_num].input_num; j<y_max; j++ ) {
        new_bics[x][j]=bics[x][j-gate[gate_num].input_num+1];
    }

    for( i=x+1; i<x_max; i++ ) {
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            new_bics[i][j]=bics[i][j];
        }
    }

    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            bics[i][j]=new_bics[i][j];
        }
    }
    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        farfree(new_bics[i]);
    }
    farfree(new_bics);
}

void replace_or_gate_bics(int x, int y, int gate_num)
{
    int i, j;

```

```

char far ***new_bics;
new_bics = farcalloc(x_max, sizeof(char far **));
if( new_bics == NULL ) {
    panic(" CAN'T ALLOCATION ");
}
for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    new_bics[i] = farcalloc(y_max, sizeof(char far *));
    if( new_bics[i] == NULL ) {
        panic(" MEMORY ALLOCATION FAIL");
    }
}

for( i=0; i<x; i++ ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
        new_bics[i][j]=bics[i][j];
    }
}
for( i=x; i<x+gate[gate_num].input_num; i++ ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
        if( j==y ) new_bics[i][j]=gate[gate_num].input_name[i-x];
        else      new_bics[i][j]=bics[x][j];
    }
}

for( i=x+gate[gate_num].input_num; i<x_max; i++ ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
        new_bics[i][j]=bics[i-gate[gate_num].input_num+1][j];
    }
}
for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
        bics[i][j]=new_bics[i][j];
    }
}
for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    farfree(new_bics[i]);
}
farfree(new_bics);
}

void replace_and_gate_bips(int x, int y, int gate_num)
{
    int i, j;
    char far ***new_bips;

    new_bips = farcalloc(x_max, sizeof(char far **));
    if( new_bips == NULL ) {
        panic(" MEMORY ALLOCATION FAILED");
    }
    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        new_bips[i] = farcalloc(y_max, sizeof(char far *));
        if( new_bips[i] == NULL ) panic(" MEMORY ALLOCATION FAIL");
    }
}

```

```

for( i=0; i<x; i++ ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
        new_bips[i][j] = bips[i][j];
    }
}

for( j=0; j<y+gate[gate_num].input_num; j++ ) {
    if( j<y ) new_bips[x][j] = bips[x][j];
    else      new_bips[x][j] = gate[gate_num].input_name[j-y];
}
for( j=y+gate[gate_num].input_num; j<y_max; j++ ) {
    new_bips[x][j]=bips[x][j-gate[gate_num].input_num+1];
}

for( i=x+1; i<x_max; i++ ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
        new_bips[i][j]=bips[i][j];
    }
}

for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    for( j=0; j<y_max; j++ ) {
        bips[i][j] = new_bips[i][j];
    }
}
for( i=0; i<x_max; i++ ) {
    farfree(new_bips[i]);
}
farfree(new_bips);
}

void replace_or_gate_bips(int x, int y, int gate_num)
{
    int i, j;
    char far ***new_bips;
    new_bips = farcalloc(x_max,sizeof(char far **));
    if( new_bips == NULL ) {
        panic(" CAN'T ALLOCATION ");
    }
    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        new_bips[i] = farcalloc(y_max, sizeof( char far * ) );
        if( new_bips[i] == NULL ) panic(" MEMORY ALLOCATION FAIL");
    }

    for( i=0; i<x; i++ ) {
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            new_bips[i][j]=bips[i][j];
        }
    }
    for( i=x; i<x+gate[gate_num].input_num; i++ ) {
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            if( j==y ) new_bips[i][j] =gate[gate_num].input_name[i-x];
            else      new_bips[i][j] = bips[x][j];
        }
    }
}

```

```

    }

    for( i=x+gate[gate_num].input_num: i<x_max: i++ ) {
        for( j=0: j<y_max: j++ ) {
            new_bips[i][j]=bips[i-gate[gate_num].input_num+1][j];
        }
    }
    for( i=0: i<x_max: i++ ) {
        for( j=0: j<y_max: j++ ) {
            bips[i][j]=new_bips[i][j];
        }
    }
    for( i=0: i<x_max: i++ ) {
        farfree(new_bips[i]);
    }
    farfree(new_bips);
}

```

```

int find_gate_form( char *gate_name, int *gate_num )
{
    int i;
    for( i=0: i<max_gate_num: i++ ) {
        if( strcmp(gate_name, gate[i].name) == 0 ) {
            *gate_num = i;
            return(gate[i].form);
        }
    }
    printf("\n %s ", gate_name);
    panic(" CAN'T FIND THE GATE FORM");
}

```

```

int search_bics(int *x, int *y)
{
    int i, j;
    char a;
    for(j=0: j<y_max: j++ ) {
        for( i=0: i<x_max: i++ ) {
            if( bics[i][j] != NULL ) {
                a = bics[i][j][0];
                if( !(a == 'x' || a == 'X' || a == 0 ) ) {
                    *x = i;
                    *y = j;
                    return(FALSE);
                }
            }
        }
    }
    return(TRUE);
}

```

```

int search_bips(int *x, int *y)
{

```

```

int i, j;
char a;
for(j=0; j<y_max; j++ ) {
    for( i=0; i<x_max; i++ ) {
        if( bips[i][j] != NULL ) {
            a = bips[i][j][0];
            if( !(a == 'x' || a == 'X' || a == 0 ) ) {
                *x = i;
                *y = j;
                return(FALSE);
            }
        }
    }
}
return(TRUE);
}

```

```

void display_bics()
{
    int i,j;
    for(i=0; i<x_max; i++ ) {
        for( j=0; j<y_max; j++ ) {
            goto_xy(i,j*NAME_SIZE);
            printf("%s", bics[i][j]);
        }
    }
}

```

```

void goto_xy( int x, int y )
{
    union REGS r;

    r.h.ah = 2;
    r.h.dl = y;
    r.h.dh = x;
    r.h.bh = 0;
    int86(0x10, &r, &r);
}

```

```

void read_data_file()
{
    FILE *fp;
    char fname[30];
    char form[10];
    int cnt, end, i;
    double val;

    printf("ENTER THE FILE NAME : ");
    scanf("%s", fname);
    if( (fp = fopen(fname,"r+")) == NULL ) {
        panic("INPUT FILE OPEN ERROR ");
    }
}

```

```

end = FALSE;
cnt=0;
do {
    fscanf(fp, "%s", gate[cnt].name);
    if( strcmp(gate[cnt].name, "END") != 0 ) {
        fscanf(fp, "%s", form);
        if( strcmp(form, "AND") == 0 ) gate[cnt].form = AND;
        else if( strcmp(form, "OR") == 0 ) gate[cnt].form = OR;
        else panic(" INVALID GATE FORM ");
        fscanf(fp, "%d", &(gate[cnt].input_num));
        for( i=0; i<gate[cnt].input_num; i++ ) {
            fscanf(fp, "%s", gate[cnt].input_name[i]);
        }
    }
    else {
        end = TRUE;
        gate[cnt].name[0] = 0;
        max_gate_num = cnt;
    }
    cnt++;
}while( end == FALSE );

end = FALSE;
cnt = 0;
do {
    fscanf(fp, "%s", base[cnt].name);
    if( strcmp(base[cnt].name, "END") != 0 ) {
        fscanf(fp, "%le", &val);
        base[cnt].probability = val;
    }
    else {
        end = TRUE;
        base[cnt].name[0] = 0;
        max_base_num = cnt;
    }
    cnt++;
}while( end == FALSE );
}

void panic( char *str )
{
    cprintf("%s", str);
    getch();
    exit(1);
}

```

화학공장 계측, 제어시스템의 신뢰성평가 및 고장원인탐색기법

- 계측, 제어시스템의 안전성평가기법 - (화학 91-081-13)

발 행 일 : 1991.12.31

발 행 인 : 원장 김 원 갑

연구책임자 : 실 장 정동인

연구수행자 : 연 구 원 주종대

발 행 처 : 한국산업안전공단
산업안전보건연구원
화학연구실

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-4

TEL : (032) 518-6484/6

인쇄 : 학림사 : 267-3676

(비매품)

