論 文

論文 80-17-2-6

리액터 시스템을 위한 고장 진단 사전
(Fault-Diagnosis"Dictionary" for Reactor System)

徐 丙 鳥*, 李 敎 允**
(Suh, Byung Suhl and Lee, Kyo Yoon)

要 約

산업프로세스(industrial process)가 점차 복잡하여지고 자동화됨에 따라 계통(system)의 신뢰도를 높이고 인간의 한계능력을 해결하기 위하여 경보분석(alarm analysis)혹은 고장진단(fault diagnosis)의 필요성이 절실화 되어 가고 있다.

본 논문에서는 화학 반응기(chemical reactor)의 고장진단을 위한 방법으로 시이퀀스 콤퓨터 프로그램밍(sequence computer programming)에 의한 "사전(dictionary)" 작성방법이 시도 되었고 실험을 통해 그 유용성이 입증 되었다. 그리고 점차 복잡되어가고 있는 경보 시스템(alarm system)을 단순화 시킬 수 있는 길과 시스템 설계에 대한 제안을 마련하였다.

Abstract

Recent industrial processes have been complicated and automated. In order to improve the system reliability and solve the limitation of human ability, the necessity of alarm analysis or fault diagnosis has been rapidly grown. A "dictionary" made by a sequence computer programming has been developed as one of the mothods for fault diagnosis in the chemical industrial processes and its usefulness has been proved through the experiment. It also suggests a way to simplity the recent alarm system being complex.

1. 序 論

산업프로세스 (industrial process)는 급성장하고 있는 기술개발에 의해 복잡 다양성을 띠게 되었으며 산업경쟁으로 인한 최대의 경제효과를 얻으려는 노력으로 점차 자동화 되어 가고 있으며 콤퓨터, 제어이론, 신뢰도공학의 출범으로 더욱 박차를 가하기 시작하였다. 특히 화학공업에 대한 산업프로세스에서는 콤퓨터제어와 신뢰도공학을 이용하려는 시도와 노력이 지난 60년대 부터 나타나기 시작하여 상당한 효과를 거두면서 성장하여 나가고 있다.[1][2][3]

프로세스 콤퓨터 제어는 프로세스 시스템의 신뢰도를 높이는데 공헌할 상당한 여지를 갖고 있으며 그 프로세스제어 시스템은 흔히 경보(alarm) 시스템으로 구성되어 있다.[4] 여기서 경보기(alarm)의 기능은 종래의 경보시스템과 비교할때 콤퓨터화 하였다는 점이 다르다. 즉 공정 변수(process variable)들이 어떤 특정한 한계점을 가지고 주사(scan)되며 장비들은 어떤 특정한 상태들을 위해 주사하여 ..ty -

* 正會員, ** 準會員 ; 漢陽大學校 工科大學 電子工學科
(Dept. Electronics Engineering Han-yang Univ.)
接受日字 : 1980年 2月 1日

pewriter 나 cathode ray tube에 전시(display) 하는 것을 말한다.

이 프로세스 컴퓨터는 아직은 별로 연구되지 않은 미개척 분야이며 그 이용도가 높은 분야이다. 특히 실용화 시키기까지에는 많은 개척의 여지가 남아 있다. 그러나 여기서 문제점으로 등장하는 것은 공정 변수가 점차 복잡하여 지고 자동화함에 따라 경보기의 수도 급격히 성장하여 오퍼레이터(operator)의 힘으로는 다룰 수 없는 복잡한 경보시스템이 되어 가고 있다는 점이다.[33] 실례를 들면 Oldbury 원자력 발전소에는 약 3,000개의 **핵연료찬넬**(fuel channel)과 약 300개의 온도 측정기기가 있다.[5] 이와 같은 원자로(reactor)에는 수천의 아날로그(analogue) 혹은 디지탈(digital) 입력신호들이 필요하게 되며 이와 동시에 수많은 경보기기가 필요하게 되는 것이다. 이와 같은 상태에서는 아무리 훈련되고 경험이 많은 오퍼레이터라 할지라도 이와 같이 많은 정보를 처리할 수 없으며 이것을 인간의 힘으로만 다룬다면 상당히 위험한 일들이 초래될 것이다. 그래서 원자력 발전소나 대규모 산업 프로세스에서는 고장진단을 위해 콤퓨터에 의한 경보분석(alarm analysis)를 하고 있다.[6]

Duncan[7]은 이미 어떤 특정한 프로세스 경보가 그 프로세스결함(fault)를 말하여 주지는 않는다고 언급하였고 고장진단의 중요성을 시사했다. 이에 대한 연구가 Rasmussen[8]에 의해 처음으로 시작되었다. 콤퓨터에 의한 고장진단은 컴퓨터 정보분석을 통해 오퍼레이터에게 직접 동작된 (signalled)경보기들의 프로세스 결함에 대한 정보를 제공하여 줄 수 있었다. 이와 같은 결과로 오퍼레이터는 장기간에 걸쳐서 많은 정보를 소유할 필요가 없을 뿐만 아니라 종전의 상당한 경험과 훈련을 요구하던 것을 크게 감소시켜 주었다.

시스템의 결함들을 분석 혹은 진단하기 위해서는 일반적으로 3가지 방법이 생각되어 질 수 있다.[9]

(1) 결함들과 이것에 의해 나타내지는 증상(symptom)들 사이의 관계식을 상호발생 확률(mutual Probability of occurrence)인 점에서 표시하여 결함을 진단하는 방법

(2) Fault tree를 이용한 flow chart를 사용하여 증상발생테스트 및 결함진단을 하여 결함을 분석하는 방법

(3) 증상형태인식 (symptom pattern recognition)을 이용한 방법 즉 미리 프로세스 변수들을 경보주사(alarm scan)하고 경험적으로나 혹은 논리적방법에 의해 얻어지는 시이퀀스 순서(sequence order)에 따라 "사전(dictionary)"을 작성하여 놓고 현재의 어떤 결함에 의해 발생된 어떠한 시이퀀스 순서를 "사전"에 있는 것과 비교하여 그 결함을 진단하는 방법이다.

본 논문에서는 제(3)의 방법을 이용할 수 있는 "사전" 작성을 하는데 목적을 두고 있다. 실제로 실험가능한 간단한 화학 반응기(chemical reactor)시스템을 구상하여 수학적 모델링을 하였고 그 시이퀀스 콤퓨터 프로그램밍에 의한 사전을 작성하는 것이 시도되었을 뿐만 아니라 수학적 모델에 상응하는 실제적 실험을 통해 고장진단사전의 합리성을 비교 분석하였고 잡음(noise)분석과 경보한계성(alarm limit)도 조사하였다.

2. 수학적 모델링(mathematical modeling) 및 시이퀀스 프로그램밍 (sequence programming)에 의한 사전(dictionary)작성

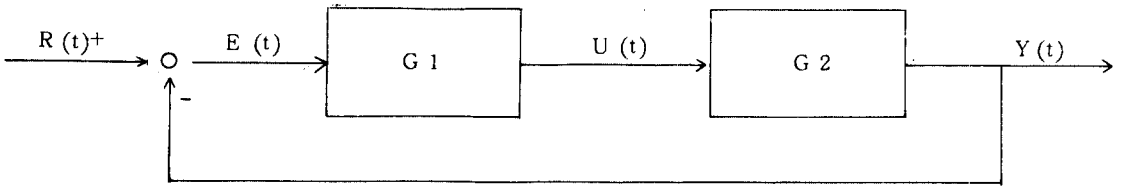
수학적 모델링을 위하여 간단한 리액터 시스템을 고려한 후 리액터 시스템의 각 리액터상의 질량(mass)과 온도를 경보 주사(alarm scan)를 하기 위한 공정변수(process variable)로 선정하고, 시이퀀스 프로그램밍 (sequence programming)을 위해서 질량이동 (mass transfer)방정식과 열역학 방정식을 고려하고 있는 리액터 시스템에 대한 고장진단사전을 작성하기 위해 미분방정식 형태로 수학적 모델링함으로써 콤퓨터 시뮬레이션(simulation)을 가능케 하였다.[11][18] 여기서 어떠한 결함이든지 유일한 시이퀀스 순서를 가지며 리액터상의 모든 조건은 이상적(idealistic)인 상태로 가정하는 것이 중요하다. 그러므로 각 결함들은 제각기 유일한 시이퀀스 순서(sequcnce order)들을 갖게 되며 결함들과 시이퀀스 순서들과의 관계를 사전형식으로 작성한 것이 "고장진단사전"이 된다.

수학적 모델링을 위한 이해를 돕기 위해 다음과 같은 폐환(feed back)시스템을 고려한다.[10]

고려된 시스템의 상태방정식은 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1(t) \\ \dot{X}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E & F \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots (1)$$

이 시스템을 경보주사(alarm scan)를 위한 프로세스변수(process variable)들을 가지고 시뮬레이션(simulation)을 위해 아래와 같은 미분방정식으로 표시한다.[11]



R (t) : 기준입력 (reference input)
E (t) : 오차신호 (error signal) [E (t) = R (t) - Y(t)]
U (t) : 제어입력 (control input)
Y (t) : 실지출력 (actual output)

$$\frac{d[X(1)]}{dt} = A\,X(1) + B\,X(2) + R(1) \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\frac{d[X(2)]}{dt} = C(1) + D\,C(1) + D(2) + R(2) \quad \cdots\cdots(3)$$

여기서 X(1), X(2) 들은 공정 변수 (process variable) 들이고 A, B, C, D, R (1), R (2) 들은 결함가능 변수(possible fault variable)들이라고 가정하면 이 미분방정식을 포함하는 시이퀀스 프로그램에 의해 아래와 같은 시이퀀스 순서(sequence order)를 가진 "사전 (dictionary)" 이 작성 가능하다.

시이퀀스 순서 / 결함	X1 H	X1L	X 2H	X 2L
A	1	3	4	2
B	1	·	2	3
C	1	3	2	4
D	1	2	3	·

본 논문에서는 "고장진단사전" 작성을 위해 고려한 2종의 케미칼 리액터시스템들이 그림1과 그림2에 보여진다. 각 시스템을 수학적 모델링하여 시이퀀스 프로그래밍하면 고유의 시이퀀스 순서를 가진 사전작성이 가능하며 그리고 수학적묘사 (description) 들을 위해서는 매스밸랜스 (mass balance) 와 에너지 밸랜스 (energy balance) 를 세우면 된다.[12][13][14] 이 묘사들은 그림 1과 그림 2에 나타나 있으며 또 그들 변수의 의미는 표 1과 표 2에 설명되어있다. 그림 1에 나타난 미분방정식인 식 (4)(5)(6)(7)에서 F_{01}, F_{12}, F_{21}, F_{20}, Q_1, Q_2 를 결함가능변수 (possible fualt variable)들이고 M_1, M_2, T_1, T_2을 공정 변수 (process variable)들이다. 그리고 공정 (工程) 변수들은 시이퀀스프로그래밍하기 위하여 M_1의 범위의 상한을 M 1H, 하한을 M1L 또 M_2의 범위의 상한을 M 2H, 하한을 M2L 그리고 T_{1A}의 범위의 상한을 T1H, 하한을 T 1L 또 T2 A의 범위의 상한을 T2H , 하한을 T2L로 서분한다. 실지 이 프로세스변수들이 이 범위를 넘어서면 경보가 발생된다고 가정하였기 때문에 분리가 필요한 것이다. 이와 같은 시이퀀스 프로그램의 시뮬레이션에 의해 "고장진단사전" 들이 만들어졌으며 그 사전들을 표 3과 표 4에서 보여진다. 이 프로그램을 하기위한 flow chart 는 그림 3에, 프로그램은 표 5와 표 6에 나타나 있다. 이 프로그램에 사용한 입력데이터를 포함한 모든 데이터는 실험에서 사용한 모든 데이터와 동일시하여 실험의 결과와 대조할 수 있게 하였다.[15][16] 이 데이터를 포함한 변수들의 값을 표 7와 표 8에 나타내었다.

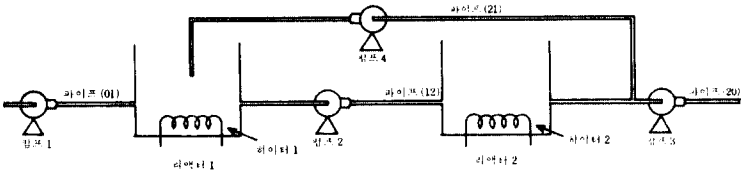


그림 1. 2개의 리액터로 구성된 시스템의 구성도 및 그 수학적 묘사
Fig. 1. Mathematical description and diagram for 2-reactor system.

Mass Balance

$$\frac{dM_1}{dt} = F_{01} + F_{21} - F_{12} + S \cdots (4)$$

$$\frac{dM_2}{dt} = F_{12} - F_{20} - F_{21} + S \cdots (5)$$

Energy Balance

$$M_1 \frac{dT_{1A}}{dt} = F_{01} \times (T_0 - T_{1A}) + F_{21} \times (T_2 - T_{1A}) - F_2 \times (T_1 - T_{1A}) + Q_1 \quad \cdots (6)$$

$$M_2 \frac{dT_{2A}}{dt} = F_{12} \times (T_1 - T_{2A}) - F_{20} \times (T_2 - T_{2A}) - F_{21} \times (T_2 - T_{2A}) + Q_2 \quad \cdots (7)$$

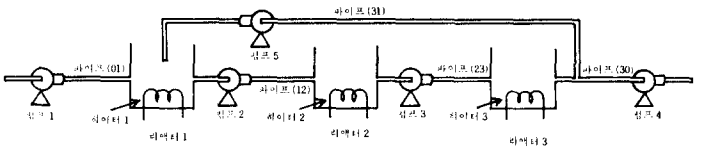


그림 2. 3개의 리액터로 구성된 시스템의 구성도 및 그 수학적 묘사

Fig. 2. Mathematical description and diagram for 3-reactor system.

Mass Balance

$$\frac{dM_1}{dt} = F_{01} + F_{31} - F_{12} + S \quad \cdots (8)$$

$$\frac{dM_2}{dt} = F_{12} - F_{23} + S \quad \cdots\cdots (9)$$

$$\frac{dM_3}{dt} = F_{23} - F_{30} - F_{31} + S \quad \cdots (10)$$

Energy Balance

$$M_1 \frac{dT_{1A}}{dt} = F_{01} \times (T_0 - T_{1A}) + F_{31} \times (T_3 - T_{1A}) - F_{12} \times (T_1 - T_{1A}) + Q_1 \quad \cdots\cdots (11)$$

$$M_2 \frac{dT_{2A}}{dt} = F_{12} \times (T_1 - T_{2A}) - F_{12} \times (T_2 - T_{2A}) + Q_2 \quad \cdots\cdots\cdots (12)$$

$$M_3 \frac{dT_{3A}}{dt} = F_{23} \times (T_2 - T_{3A}) - F_{30} \times (T_3 - T_{3A}) - F_{31} \times (T_3 - T_{3A}) + Q_3 \quad \cdots\cdots (13)$$

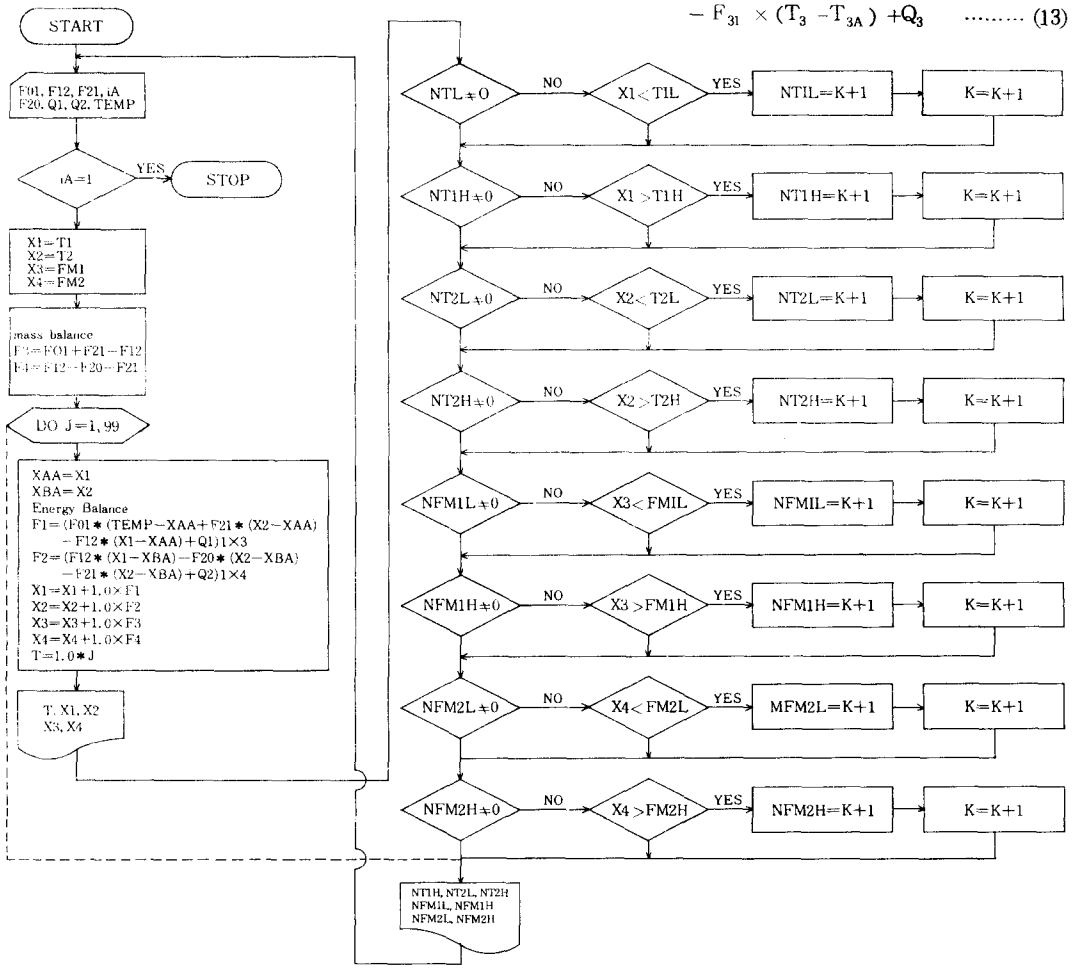


그림 3. 시이퀀스 프로그램을 위한 flow chart

Fig. 3. Flow chart for sequence program.

표 1. 2개의 리액터로 구성된 시스템의 수학적 묘사에 나타난 각 변수의 의미

변수	변수의 의미	변수	변수의 의미
F_{01}	파이프(01)을 통과하는 유량(g/sec)	T_1	리액터1에서 배출되는 유체의 온도(℃)
F_{12}	파이프(12)을 통과하는 유량(g/sec)	T_2	리액터2에서 배출되는 유체의 온도(℃)
F_{20}	파이프(20)을 통과하는 유량(g/sec)	Q_1	리액터1에 공급되는 열량(cal/sec)
F_{21}	파이프(21)을 통과하는 유량(g/sec)	Q_2	리액터2에 공급되는 열량(cal/sec)
T_{1A}	리액터1 내부의 평균온도(℃)	M_1	리액터1의 유체의 량(g)
T_{2A}	리액터2 내부의 평균 온도(℃)	M_2	리액터2의 유체의 량(g)
T_0	리액터1으로 유입되는 유체의 입력온도(℃)	S	sink sourse

표 2. 3개의 리액터로 구성된 시스템의 수학적 묘사에 나타난 각 변수의 의미

변수	변수의 의미	변수	변수의 의미
F_{12}	파이프(12)을 통과하는 유량(g/sec)	T_3	리액터3에서 배출되는 유체의 온도(℃)
F_{23}	파이프(23)을 통과하는 유량(g/sec)	T_{1A}	리액터1 내부의 평균온도(℃)
F_{30}	파이프(30)을 통과하는 유량(g/sec)	T_{2A}	리액터2 내부의 평균온도(℃)
F_{31}	파이프(31)을 통과하는 유량(g/sec)	T_{3A}	리액터3 내부의 평균온도(℃)
M_1	리액터1의 유체의 량(g)	F_{01}	파이프(01)을 통과하는 유량(g/sec)
M_2	리액터2의 유체의 량(g)	T_2	리액터2에서 배출되는 유체의 온도(℃)
M_3	리액터3의 유체의 량(g)	Q_1	리액터1에 공급되는 열량(cal/sec)
T_0	리액터1으로 유입되는 유체의 입력온도(℃)	Q_2	리액터2에 공급되는 열량(cal/sec)
T_1	리액터1에서 배출되는 유체의 온도(℃)	Q_3	리액터3에 공급되는 열량(cal/sec)

표 3. 2개의 리액터로 구성된 시스템의 "고장진단 사진"

결함별 유형 \ 시이퀀스 순서	T1L	T1H	T2L	T2H	M1L	M1H	M2L	M2H
펌프 1의 완전폐쇄		1		2	3			
펌프 2의 완전폐쇄		4	5	1		2	3	
펌프 4의 완전폐쇄	1		2		4			3
펌프 3의 완전폐쇄								1
히이터 1의 고장	1		2					
히이터 2의 고장	2		1					
입력온도(T_0)이상	1		2					
파이프(01) 누수〔13〕		1		2	3			
파이프(12) 누수〔15〕		3		1			2	
파이프(12) 누수〔12〕		3		1			2	
파이프(21) 누수〔5〕	1		2					
리액터 1 누수〔17〕					1			
리액터 1 누수〔25〕					1			
리액터 2 누수〔20〕							1	
리액터 2 누수〔40〕				2			1	
펌프 1의 부분폐쇄		1		2				
펌프 2의 부분폐쇄		4		1		2	3	
펌프 3의 부분폐쇄								1
펌프 4의 부분폐쇄		1						

〔 〕안에 숫자는 누수량〔g/sec〕

표 4. 3개의 리액터로 구성된 시스템의 "고장 진단 사전"

시이퀀스순서 / 결함별유형	T1L	T1H	T2L	T2H	T3L	T3H	M1L	M1H	M2L	M2H	M3L	M3H
펌프 1 의완전폐쇄		2		3		4	1					
펌프 2 의완전폐쇄				3		4		1	2			
펌프 3 의완전폐쇄		4				3						
펌프 4 의완전폐쇄												1
펌프 5 의완전폐쇄	3	6	4	7	5	8	1					2
펌프 1 의부분폐쇄	5	2	6	3		4	1					
펌프 2 의부분폐쇄		5		3		4		1	2			
펌프 3 의부분폐쇄		4		5		3				1	2	
펌프 4 의부분폐쇄												1
펌프 5 의부분폐쇄	3		4		5		1					2
히이터 1 의고장	1		2		3							
히이터 2 의고장	3		1		2							
히이터 3 의고장	2		3		1							
히이터 1 의부분고장	1											
히이터 2 의부분고장			1		2							
히이터 3 의부분고장					1							
파이프(12)의누수〔5〕			4	2	5	3			1			
파이프(23)의누수〔7〕		3		4		2					1	
파이프(31)의누수〔2〕	2	4	3	5		6	1					
리액터 1 의누수〔22〕							1					
리액터 2 의누수〔23〕									1			
리액터 3 의누수〔25〕											1	
입력온도이상(T_0)	1		2		3							
· · ·												
· · ·												
· · ·												

〔 〕에 숫자는 누수량〔g / sec〕

3. 실험 및 실험결과

3－1. 실험장치

시이퀀스 프로그래밍에 의해만들어진 "고장진단사전"의 유용성을 입증하기 위해 실험적으로 시도되었다. 실험장치는 크게 리액터(reactor)와, 유체의 통로인 파이프(pipe)와 유체의 속도를 조절하는 펌프(pump)와 리액터에 열량을 공급하는 히이터(heater)로 구성되어 있는 리액터 시스템(reactor system), 매스검보기(mass detector)와 온도검보기(temperature sensor)로 구성된 경보시스템(alarm system)으로 되어 있다[12][17]이 리액터 시스템의 실체도는 다음에 있다.

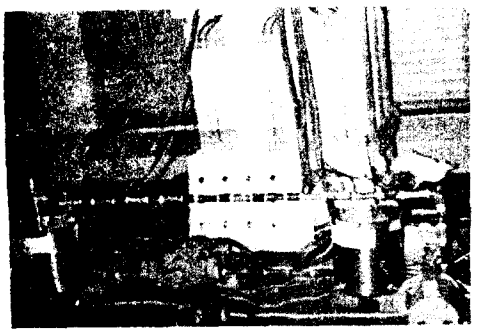


사진 : 리액터 시스템의 실험장치

표 5. 2개의 리액터로 구성된 시스템의 고장진단 사전작성을 위한 시이퀸스 프로그램

```
C     MAKING DICTIONARY FOR FAULT DIAGNOSIS OF REACTOR SYSTE
      T1L=[illegible]
      T1H=[illegible]
      T2L=[illegible]
      T2H=[illegible]
      T1=4.
      T2=6.
      FM1L=[illegible]
      FM1H=[illegible]
      FM2L=[illegible]
      FM2H=[illegible]
      FM1=[illegible]
      FM2=[illegible]
   10 READ(5,11)F01,F12,F21,F20,Q1,Q2,TEMP,IA,B01,B12A,B12B,B21A,B21B,B1
     *,B2
   11 FORMAT(7F6.1,1X,I1,1X,7F7.1)
      IF(IA.EQ.1) GO TO 100
      X1=T1
      X2=T2
      X3=FM1
      X4=FM2
      T=0.
      K=1
      NT1L=0
      NT1H=0
      NT2L=0
      NT2H=0
      NFM1L=0
      NFM1H=0
      NFM2L=0
      NFM2H=0
      WRITE(6,32)F01,F12,F21,F20,Q1,Q2,TEMP
   32 FORMAT(1H1,16X,3HF01,7X,3HF12,7X,3HF21,7X,3HF20,7X,2HQ1,8X,2HQ2,8X
     *,4HTEMP,//,15X,4(F5.1,5X),1X,F5.1,6X,F5.1,4X,F5.1)
      WRITE(6,33)T,X1,X2,X3,X4
   33 FORMAT(1H-,16X,1HT,13X,2HX1,12X,2HX2,12X,2HX3,12X,2HX4,//,16X,F4.1
     *,6X,4(F8.2,6X))
      F01B=F01-B01
      F12B=F12-B12A-B12B
      F21B=F21-B21A-B21B
      F3=F01B+F21B-F12-F1
      F4=F12B-F20-F21-F2
      DO 550 J=1,99
      XAA=X1
      XBA=X2
      F1=(F01B*(TEMP-XAA)+F21B*(X2-XAA)-F12*(X1-XAA)+Q1)/X3
      F2=(F12B*(X1-XBA)-F20*(X2-XBA)-F21*(X2-XBA)+Q2)/X4
      X1=X1+1.0*F1
      X2=X2+1.0*F2
      X3=X3+1.0*F3
      X4=X4+1.0*F4
      T=1.*J
      WRITE(6,34)T,X1,X2,X3,X4
   34 FORMAT(1H ,15X,F4.1,3X,4(F8.2,6X))
      IF(NT1L.NE.0)GO TO 200
      IF(X1.GE.T1L)GO TO 200
      NT1L=K+1
      K=K+1
  200 IF(NT1H.NE.0)GO TO 250
      IF(X1.LE.T1H)GO TO 250
      NT1H=K+1
      K=K+1
  250 IF(NT2L.NE.0)GO TO 300
      IF(X2.GE.T2L)GO TO 300
      NT2L=K+1
      K=K+1
  300 IF(NT2H.NE.0)GO TO 350
      IF(X2.LE.T2H)GO TO 350
      NT2H=K+1
      K=K+1
  350 IF(NFM1L.NE.0)GO TO 400
      IF(X3.GE.FM1L)GO TO 400
      NFM1L=K+1
      K=K+1
  400 IF(NFM1H.NE.0)GO TO 450
      IF(X3.LE.FM1H)GO TO 450
      NFM1H=K+1
      K=K+1
  450 IF(NFM2L.NE.0)GO TO 500
      IF(X4.GE.FM2L)GO TO 500
      NFM2L=K+1
      K=K+1
  500 IF(NFM2H.NE.0)GO TO 550
      IF(X4.LE.FM2H)GO TO 550
      NFM2H=K+1
      K=K+1
  550 CONTINUE
      WRITE(6,35)NT1L,NT1H,NT2L,NT2H,NFM1L,NFM1H,NFM2L,NFM2H
   35 FORMAT(1H-,16X,4HNT1L,4X,4HNT1H,4X,4HNT2L,4X,4HNT2H,4X,5HNFM1L,3X,
     *5HNFM1H,3X,5HNFM2L,3X,5HNFM2H,//,17X,8(I1,7X))
      GO TO 10
  100 STOP
      END
```

먼저 파이프(01)을 통하여 임의의 온도를 가진 유량 F_{01}이 리액터1으로 유입되고 리액터1에서 리액터2로 유량 F_{21} 이 파이프(12)를 통하여 전달되고 다시 리액터2에서 파이프(20)을 따라 유량 F_{20}이 배출됨과 동시에 파이프(21)을 통하여 리액터1으로 유량 F_{21}이 귀환된다. 리액터1과 리액터2에는 각각 열량 Q1, Q2가 공급된다.

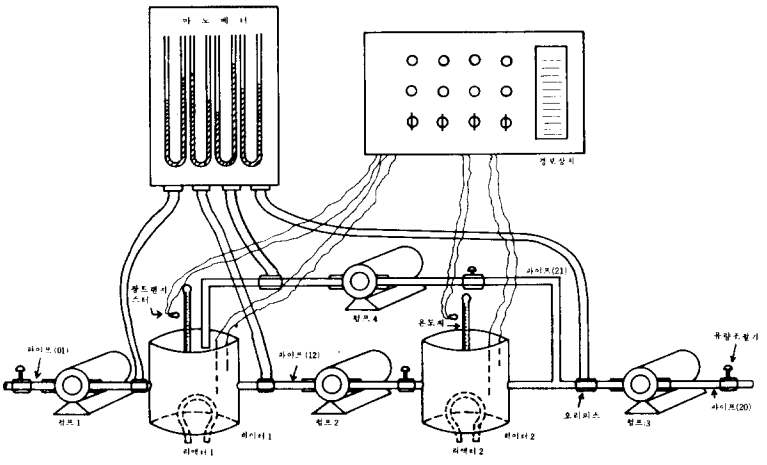
장치의 규격은 리액터가 지름 153㎜, 높이 182㎜

표 6. 3개의 리액터로 구성된 시스템의 고장진단 사전작성을 위한 시이퀸스 프로그램

```
FORTRAN IV (VEC [illegible]) SOURCE LISTING          80/01/23
C     MAKING DICTIONARY FOR FAULT DIAGNOSIS OF REACTOR SYSTEM
[illegible]
```

인 알류미늄 원통형 비이커를 이용했으며 유체의 통로는 내경이 14㎜인 파이프를 연결 사용했다.

리액터 시스템을 위한 고장 진단 사진



2개의 리액터로 구성된 시스템의 실체도

표 7. 리액터 3개로 구성된 시스템에서 입력(input) 데이터를 포함한 모든 변수 값

입력데이터 및 변수	데이터 및 변수값	입력데이터 및 변수	데이터 및 변수값
리액터 1의 초기 물의 량(M1)	50 g	리액터 2의 온도상한선(T2H)	55 ℃
리액터 2의 초기 물의 량(M2)	50 g	리액터 2의 온도하한선(T2L)	45 ℃
리액터 3의 초기 물의 량(M3)	50 g	리액터 3의 온도상한선(T3H)	66 ℃
리액터 1의 내부평균온도(T1A)	40 ℃	리액터 3의 온도하한선(T3L)	54 ℃
리액터 2의 내부평균온도(T2A)	50 ℃	입 력 온 도(T_0)	20 ℃
리액터 3의 내부평균온도(T3A)	60 ℃	리액터 1에 공급되는 열량(Q1)	50 (cal/sec)
리액터 1의 물의 상한선(M1H)	55 g	리액터 2에 공급되는 열량(Q2)	115 (cal/sec)
리액터 1의 물의 하한선(M1L)	45 g	리액터 3에 공급되는 열량(Q3)	115 (cal/sec)
리액터 2의 물의 상한선(M2H)	55 g	파이프(01)을 통과하는 유량(F01)	7 (g/sec)
리액터 2의 물의 하한선(M2L)	45 g	파이프(12)을 통과하는 유량(F12)	11.5 (g/sec)
리액터 3의 물의 상한선(M3H)	55 g	파이프(23)을 통과하는 유량(F23)	11.5 (g/sec)
리액터 3의 물의 하한선(M3L)	45 g	파이프(30)을 통과하는 유량(F30)	7 (g/sec)
리액터 1의 온도상한선(M1H)	44 ℃	파이프(31)을 통과하는 유량(F31)	4.5 (g/sec)
리액터 1의 온도하한선(M1L)	36 ℃		

표 8. 리액터 두개로 구성된 시스템에서 입력(input)데이터를 포함한 모든 변수 값

입력데이터 및 변수	데이터및 변수값	입력데이터 및 변수	데이터및 변수값
리액터 1의내부평균온도(T1A)	44 ℃	리액터 2의내부온도상한선(T2H)	61 ℃
리액터 2의내부평균온도(T2A)	60 ℃	리액터 2의내부온도하한선(T1L)	59 ℃
리액터 1의초기물의량(M1)	2,080 g	입 력 온 도(T_0)	15 ℃
리액터 2의초기물의량(M2)	2,120 g	리액터 1에 공급되는열량(Q1)	440 (cal/sec)
리액터 1의물의량상한선(M1H)	2,560 g	리액터 2에공급되는열량(Q2)	460 (cal/sec)
리액터 1의물의량하한선(M1L)	1,380 g	파이프(01)을통과하는유량(F01)	20 (g/sec)
리액터 2의물의량상한선(M2H)	2,650 g	파이프(12)을통과하는유량(F12)	30 (g/sec)
리액터 2의물의량하한선(M2L)	1,410 g	파이프(20)을통과하는유량(F20)	20 (g/sec)
리액터 1의내부온도상한선(T1H)	45 ℃	파이프(21)을통과하는유량(F21)	10 (g/sec)
리액터 1의내부온도하한선(T1L)	43 ℃		

펌프는 220V, 75W인 모터(motor)가 달린 원심펌프 2개와 100V, 85W 모터가 달린 순환펌프 2개로 구성되어 있고 용량은 초당 0～350 cc의 유량을 공급할수 있다. 히이터는 원형으로 각 1,850 W, 1,930 W를 사용했다. 그 외의 장치로는 유량계와 유량조절기가 있다. 유량계는 마노메터 (manometer)를 사용하였다. 즉 유체가 파이프에 연결된 오리피스(orifice)를 통과할때 오리피스의 두 기둥단자 부위에 U자관의 수은기둥을 붙여서 이 양단의 압력차이로 유량의 측정을 가능케 했다. 경보장치에서 경보의 표시는 그 경보에 해당되는 램프(lamp)가 점등하도록 설계하였다.

즉 매스경보기(mass detector)는 두 리액터의 유체의양이 임의로 지정된 범위를 넘어설 경우 작동되며 그림 4에 그 회로 설계도가 있다. 즉 리액터 1의 유체의 양이 한정된 상한점을 초과했을 경우 램프(M1H)가 점등되며 하한점을 초과 했을 경우 램프(M1L)가 점등된다. 이와 마찬가지로 리액터 2의 경우도 상한점을 이탈했을 경우 램프(M2H), 하한점을 이탈했을 경우 램프(M2L)가 각기 점등 될것이다. 온도경보기(temperature sensor)는 리액터 1, 2의 내부온도가 임의로 정해진 범위를 이탈했을 경우 작동한다.

이 경보기의 회로설계도는 그림 5에 실려 있다. 즉 리액터 1의 내부온도가 상한점을 이탈했을경우 램프(T1H)가 점등되고 하한점을 이탈할 경우 램프(T1L)가 점등된다. 리액터 2의 경우는 상한점을 이탈할 경우 램프(T2H)가 하한점을 이탈할 경우 램프(T2L)가 각각 점등된다. 이 경보기는 일반 수은 온도계에 광트랜지스터(photo transistor)를 장치하여 수은주가 빛을 차단함을 이용하여 구성하였다.

매스경보기와 온도경보기의 경보램프를 한 곳에 조합하여 제어박스(control box)를 형성하였다.

3-2. 실험방법

실험방법은 각 변수와 상수의 값을 프로그램상에서 사용한 값들과 동일하도록 조절한 다음 특정한 부분에 결함(fault)들을 발생케하여 그때 발생하는 경보순서 (alarm sequence)를 4～5회에 걸쳐 반복 실험하여 사전형식으로 실험결과에 나타내었다. 이때 실험에 사용된 유체로서는 물(water)이 사용되었다. (여기서 시행한 각 변수들의 값은 앞에서 지적한 바와 같이 콤퓨터프로그램상의 변수의 값과 동일한 것이다.)

3-3. 실험결과

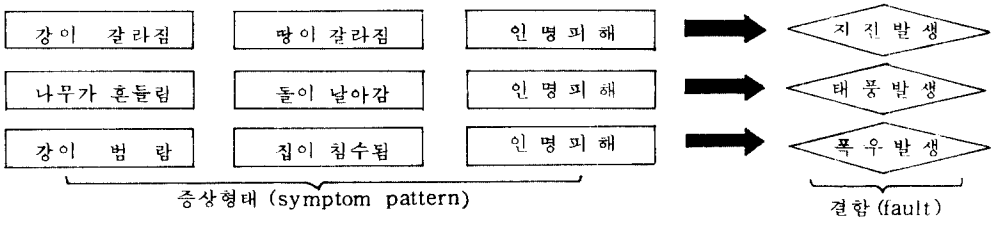
표 9. 실험결과

경보순서 / 결함 및 유형	T1L	T1H	T2L	T2H	M1L	M1H	M2L	M2H
펌프1의완전폐쇄		1		2	3			
펌프2의완전폐쇄		4	5	1		2	3	
펌프3의완전폐쇄								1
펌프4의완전폐쇄	1		2		4			3
히이터1의고장	1		2					
히이터2의고장	2		1					
리액터1의누수					1			
리액터2의누수				2			1	

4. 시이퀀스 분석 (Sequence analysis)

시이퀀스 프로그램을 이용하여 "고장진단사전"이 작성되었고 사전의 합리성이 실험을 통해 입증되었는데 경우에 따라서는 결함에 의해 발생된 시이퀀스 순서는 이미 작성된 사전과 비교 검토하는데 있어서 상당히 복잡성을 띠게 되며 판단하기 어렵게 된다. 이와 같은 문제들을 논리에 맞게 신속 정확하게 처리하기 위해서 시이퀀스 분석(sequence analysis)이 필요하게 된다. 시이퀀스 분석이란 현재 발생하고 있는 결함들 즉 공정(工程)변수들을 주사시키고 그 경보형태(alarm pattern)를 순서처리(sequence processing)하여 만들어진 시이퀀스 순서와 이미 작성된 사전과 비교 검토하여 결함을 분석하고 진단하는 것을 말한다. 이와 같은 시이퀀스 분석은 컴퓨터 프로그래밍(programming)에 의해 처리될 수 있다. 이와 같은 분석방법은 Bristol과 Wade[9]에 의해 구체적으로 생각되었다.

이 분석에 대한 이해를 돕기 위해 아래와 같은 예를 가지고 생각하여 보자.



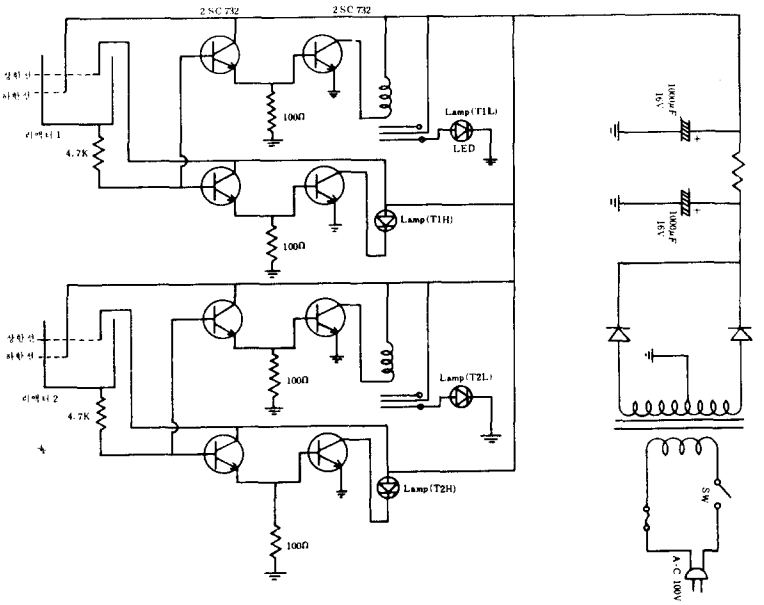


그림 4. 매스 경보장치 (mass detector) 의 회로도

Fig. 4. Network for mass detector.

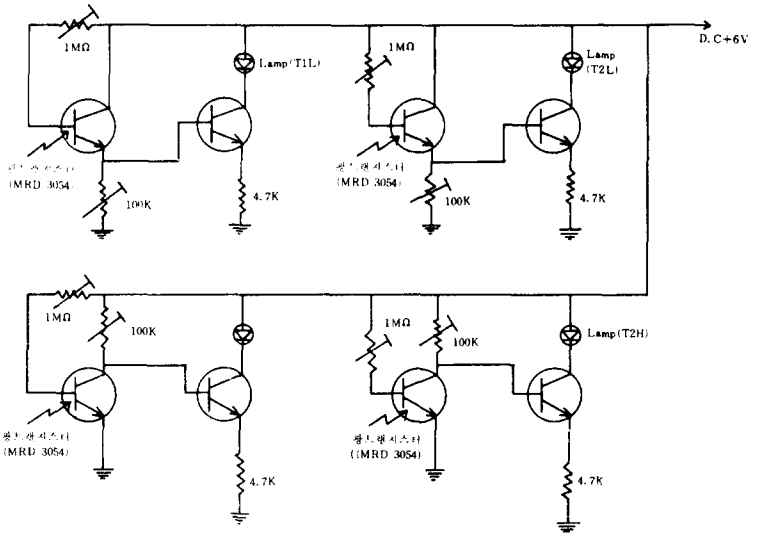
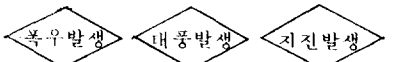


그림 5. 온도 경보장치의 회로도

Fig. 5. Network for thermal detector.



을 일종의 결함(fault)이라 간주하고 각 결함의 증상(symptom) 들은 아래와 같은 관계로 표시할 수 있다.

각 결함(fault)들은 그들 고유의 증상형태를 갖고 있는 각 결함들에 대한 증상형태의 순서적 나열을 "사전(dictionary)" 형식으로 나타낼 수 있다. 이와 같이 실제로 발생하는 경보 시이퀀스와 이미 작성된 증상형태들과의 비교는 고장진단을 가능케 한다.

그러나 경보시이퀀스가 다른 결함(fault)의 증상형태와 혼합되어 발생하거나 그 증상형태가 완전하게 나타나지 않을 때도 결함을 진단할 수 있어야 할 것

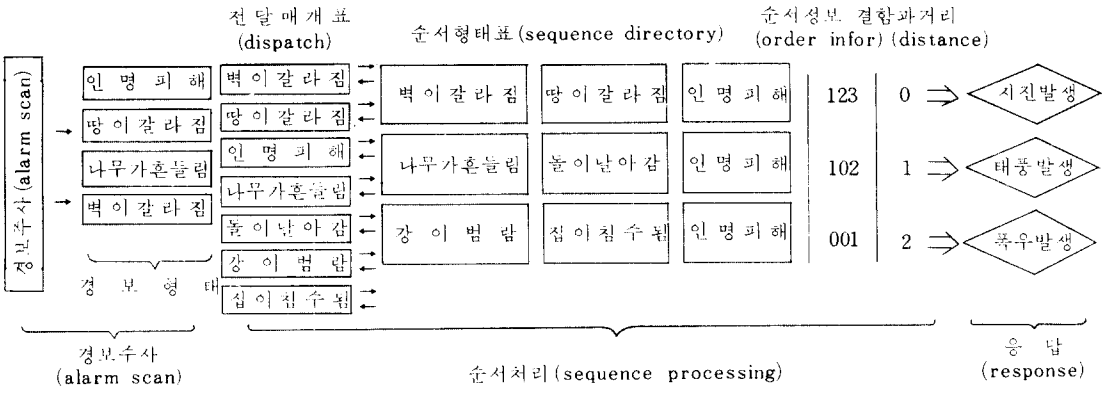
이다. 즉 어떤 시이퀀스가 [집이 침수] [돌이 날아감] [강이 범람] [인명피해] 와 같은 형태로 발생 되었다면 이것은 결함 (fault) 가운데 <폭우발생> 결함의 모든 증상과 <태풍발생> 의 결함 일부 증상이 섞여 있는 것이 된다.

시이퀀스 분석 프로그램은 이와 같은 혼합형태도 분리할 수 있어야 한 것이다. 어느 때라도 새로운 경보 (alarm) 가 발생될 수 있다. 그리고 그 발생된 경보는 이미 작성된 "사전"과 비교하는 매칭 프로세스 (matching process) 가 행하여져야 할 것이다. 이 시이퀀스 분석에는 특별한 순서 코드 (order code) 가 있어서 이 code의 숫자가 "0" 이면 경보가 발생되지 않았다는 것을 나타내고 어떤 양의 수를 가지면 경보 발생을 의미할 뿐만 아니라 증상형태에 있어서 경보들의 상대적인 발생 순서를 나타내는 순서 정보 (order information)가 있을 수 있다. 이 순서 정보는 발생한 경보가 증상형태와의 일치함을 비교하고 발생 순서를 나타내는데 이용된다.

결함 (fault)을 표시하는 증상 형태를 나열한 것이다.

여기서 경보주사의 결과 어떤 경보들이 발생하면 그것은 경보형태로 입력스택(input stack)에 기억된다. 기억된 경보 형태가 [인명피해] [땅이 갈라짐] [나무가 흔들림] [벽이 갈라짐] 으로 표현되면 <지진발생> 이라는 결함의 증상형태와 완전일치된다. 그 결과 순서정보는 123으로 표시된다. <태풍발생> 의 증상형태는 경보형태의 비교결과 먼저 나무가 흔들림 이 발생되고 다음으로 인명피해가 발생되었지만 [돌이 날아감] 이란 경보는 발생되지 않았으므로 순서정보는 102로 표시된다.

경보형태와 각 증상형태와의 일치 (matching)는 일치의 정도를 나타내는 단위인 "distance" 를 사용한다. 이 distance의 계산방법은 증상형태에 포함된 증상의수와 경보형태에 포함된 증상중 증상형태의 증상과 일치하는 증상의 수와의 차이로서 표시된다. 위에 나타난 도표에서 각 결함들의 distance 를 계산하면



경보 주사로 인해 나타나는 경보 형태는 컴퓨터의 입력 스택 (input stack)이나 또는 버퍼 (buffer) 에 기억시키고 순서 형태표 (sequence directory) 작성은 스레디드 리스트(threaded list)에 의한 코딩 (coding)법을 도입하여 작성한다. 그리고 시스템 데이타 베이스 (data base) 는 아래와 같은 두 부분으로 구성되어 있다

(1) 전달매개표 (dispatch table) ; 경보주사 (alarm scan)에 나타나는 모든 증상을 포함하는 리스트 (list)이며 이 배열 순서는 순서 형태표 (sequence directory)에 있는 증상의 발생 순서와 같다.

(2) 순서 형태표 (sequence directory) ; 고유의 <지진발생> 은 증상이 모두 경보형태와 일치함으로 "0"이다. <태풍발생> 은 두개의 증상만 일치되므로 증상 형태수 3과 일치되는 증상수 2의 차이인 1이 된다. <폭우발생> 경우는 1개의 증상만 일치하므로 증상형태의 증상수 3과 일치되는 증상수 1의 차이인 2가 된다. 이와 같이 시이퀀스 분석은 경보주사로부터 얻어진 경보형태가 어떤 결함을 나타내는지를 진단하기 위하여 순서처리 (sequence processing)하여 이미 작성된 사전과 비교하여 각 결함에 대한 distance (결함과의 거리) 를 계산하고 이로써 결함 (fault)들을 찾는 방법이다.

5. 잡음 분석 (Noise analysis)

잡음 분석을 위해서는[19][20] 경보한계성을 조사하는 것이 합당하다. 계장 또는 계측기기에서 발생하는 잡음(noise)과 프로세스 변수들에 있어서 어떠한 격동(fluctuation)에 의해 발생하는 잡음은 경보 한계(alarmlimit)를 변화시키고 또한 경보 순서(alarm sequence)를 변경할 수 있다. 각 결함(fault) 들에 대한 경보 한계성을 조사하여 평균치를 선정한 다음 경보 한계성 분석표에 나타내었다. 이 분석표와 이것을 위한 컴퓨터 프로그램은 표 10과 11에 실려 있다. 이러한 결과를 참조할 때 질량 이동(mass flow)의 잡음허용치(noise tolerance)는 24%, 온도의 잡음허용치는 1.9%로 보는 것이 안전하다.

표 10. 2개의 리액터로 구성된 시스템의 경보한계 분석표

경보한계성 (alarm limit)	
리액터 1의 매스경보한계성 (alarm limit)	24.5%
리액터 2의 매스경보한계성 (alarm limit)	26.4%
리액터 1의 온도경보한계성 (alarm limit)	2.61%
리액터 2의 온도경보한계성 (alarm limit)	1.91%

6. 분석및 토론

실험 결과와 시이퀀스 프로그램에 의해 작성된 "고장진단사전"과는 잘 일치하고 있음을 표 3과 표 9과를 비교함으로써 알 수 있다. 이와 같은 결과와 잡음 분석 결과를 참조할때 "고장진단사전"의 유용성이 실험적으로 입증 되었음을 말해 주며 나아가서는 화학 반응기 플랜트나 발전용 원자로 시스템에 크게 이용될 수 있는 가능성을 시사하여 주고 있다.[21][22][23][24] 또한 본 논문의 수학적 모델링에서 어떠한 결함이든지 그들 유일한 시이퀀스를 갖는다는 가정이 시이퀀스 프로그램을 이용한 고장진단사전을 참조함으로써 입증되어 진다.

고장 진단의 일반성(generalization)을 입증하기 위해서는 3개의 리액터로 구성된 시스템을 고려하여 사전 작성을 하여 보았다. 역시 모든 결함은 유일한 시이퀀스를 나타내 주지만 2개의 리액터로 구성된 시스템에서는 2개의 결함(fault)이 똑같은 시이퀀스를 나타낸 경우가 있다. 이 경우엔 오퍼레이터(operator)의 경험에 의해 그 결함을 진단하여야 할 것이다.

그러나 3개의 리액터로 구성된 시스템에서는 모든 결함이 중복됨이 없이 그들의 유일한 시이퀀스를 가졌다. 이것은 좀더 많은 관계식으로 표현될 수 있으므로 서로 중복되지 않는 시이퀀스를 가져다 줄 수 있음을 말하여 주고 있다. 지금까지 하나의 결함만 발생되었을 경우만 고려하였으나 동시에 여러 개의 결함들이 발생할 경우가 있다. 사실상 동시에 여러 개의 결함이 일어나는 것은 확률상 적은 일이고 실제적으로 통계자료를 볼지라도 매우 적은 일이다.[25][26][32]

그러나 이러한 경우들도 같은 방법으로 쉽게 "고장진단사전" 작성이 가능하다. 여기서 두개의 결함이 동시에 일어났을 경우의 "고장진단사전"이 표 12에 보여지고 있으며 3개 혹은 그 이상이 일어났을 경우에도 같은 방법에 의하여 "사전"작성이 물론 가능하다.

경제적인 측면을 고려할때 경보 시스템에 있어서 경보 조건(alarm condition)들을 주사할 수 있는 변수의 선택은 상당히 중요한 위치에 있다. 일반적으로 경보 시스템이 복잡하여짐에 따라 경보기의 수가 급격히 증가하는 것은 사실이다. 본 논문에서 시도된 고장진단방법에는 공정 변수(process variable)가 많지 않으므로 많은 결함들이 작은 수의 경보기(alarm)에 의해 동작(signalled) 된다. 그러므로 경보기의 삭감등을 포함한 경보 시스템의 구조를 간단히 할 수 있으므로 경보 설계에 있어서 경제적 이점을 가져다 줄 수 있다. 최근에는 공정(工程) 변수 선택에 있어서 감지기(sensor)에 의해 탐지될 수 있는 것에만 국한되어 있지 않다. 간접적 측정(indirect measurment)도[4] 컴퓨터 분석에 의해 사용되어질 수 있으므로 "고장진단사전"은 경보기기의 증가없이 많은 공정(工程) 변수 들을 가질 수 있다.

수학적 모델링과 실험에 있어서 성공적인 결과를 얻었을지라도 앞으로 연구개선되어야 할 많은 문제점들과 연구과제들이 있다. 모델링에 있어서는 모든 것이 이상적인 상태에서만 고려되었지만 모든 변수는 실지의 환경 조건에 맞도록 수정되어야 할 것이며 특히 리액터상의 평균온도(TA)를 온도 측정기기의 온도와 동일시 하였다는 것은 무리한 가정이다. 실험상에 있어서는 온도 측정기기의 반응 속도가 요망되는 속도보다 느렸다. 컴퓨터 프로그램에 의한 "고장진단사전"은 1~2분 이내의 짧은 시간동안 발생하는 시이퀀스를 중심으로 만들어졌기 때문에 측정기기는 짧은 반응 시간을 가질수록 바람직스러운 것이 되므로 이에 적합한 측정기의 개발이 요청된다. 유량속도 측정을 위해서는 마노메터(manometer)를 사용하였으며 실험상에 있어서 P를 오리피스의 두 단자의 압력차이, F를 오리피스를 통과하는 유량이라 할때 $P=\alpha F^2$ 이란 관계식[14]이 잘 성립하였으므로 큰 문제점은 없었으나 좀더 정확한 전자 유량 속도계의 사용이 필요되며 아울러 좀더 정확한 전자식 유량 속도 조절기도 요망된다. 또한 리액터상의 온도는 시시각각으로 변하고 온도 분포에 있어서 크나큰 차이를 보이므로 이것을 해결할 수 있는 스터링 패드(stirring pad)

표 11. 2개의 리액터로 구성된 시스템의 경보 한계 분석을 위한 프로그램

```
FORTRAN IV (V1F0 SE2) SOURCE LISTING                    80/02/09  21 20 28  PAGE 0001

    1 C     NOISE ANALYSIS OF REACTOR SYSTEM=1
    2       DATA YM1,Y1,Y2,XM1,YM2,Y3,Y4,XM2,T1,Y5,Y6,XT1,T2,Y7,Y8,XT2,YM1H,YM
    3      +1L,YM2H,YM2L,T1H,T1L,T2H,T2L/4*2080.,4*2120.,4*60.,2560.,138
    4      +0.,26E0.,1*10.,45.,43.,61.,59./
    5      10 READ(5,221)F01,F12,F21,F20,Q1,Q2,TEMP,TA,R01,R12A,R12B,R21A,R21B,R
    6      +1,R2
    7      221 FORMAT(7F6.1,1X,I1,1X,I1,1X,7F3.1)
    8        IF(IA.EQ.1) GO TO 444
    9        WRITE(6,222)F01,F12,F21,F20,Q1,Q2,TEMP
   10      222 FORMAT(1H1,61X,14H**********,/,61X,14HNOISE ANALYSIS,/,61X,14H
   11      +*********,///,16X,3HF01,7X,3HF12,7X,3HF21,7X,3HF20,7X,2HQ1,8
   12      +X,2HQ2,8X,4HTEMP,//,1EX,4(F5.1,5X),1X,F5.1,6X,F5.1,4X,F5.1)
   13        Y1=YM1
   14        Y2=YM1
   15        Y3=YM2
   16        Y4=YM2
   17        Y5=T1
   18        Y6=T1
   19        Y7=T2
   20        Y8=T2
   21        J=1
   22      777 V1=F01+F12-F21
   23        V2=F12+F21-F20
   24        K=0
   25        K1=0
   26        K2=0
   27        K3=0
   28        K4=0
   29        K5=0
   30        K6=0
   31        K7=0
   32        K8=0
   33        DO 555 L=1,120
   34        YM1=YM1+V1
   35        YM2=YM2+V2
   36        V3=(F01*(TEMP-T1)+F21*(T2-T1)+Q1)/YM1
   37        V4=(F12*(T1-T2)+Q2)/YM2
   38        T1=T1+V3
   39        T2=T2+V4
   40        IF(YM1.LE.YM1H) GO TO 30
   41        IF(K1.NE.0) GO TO 30
   42        K=K+1
   43        K1=K
   44       30 IF(YM1.GE.YM1L) GO TO 31
   45        IF(K2.NE.0) GO TO 31
   46        K=K+1
   47        K2=K
   48       31 IF(YM2.LE.YM2H) GO TO 32
   49        IF(K3.NE.0) GO TO 32
   50        K=K+1
   51        K3=K
   52       32 IF(YM2.GE.YM2L) GO TO 33
   53        IF(K4.NE.0) GO TO 33
   54        K=K+1
   55        K4=K
   56       33 IF(T1.LE.T1H) GO TO 34
   57        IF(K5.NE.0) GO TO 34
   58        K=K+1
   59        K5=K
   60       34 IF(T1.GE.T1L) GO TO 35
   61        IF(K6.NE.0) GO TO 35
   62        K=K+1
   63        K6=K
   64       35 IF(T2.LE.T2H) GO TO 36
   65        IF(K7.NE.0) GO TO 36
   66        K=K+1
   67        K7=K
   68       36 IF(T2.GE.T2L) GO TO 555
   69        IF(K8.NE.0) GO TO 555
   70        K=K+1
   71        K8=K
   72      555 CONTINUE
   73        YM1=XM1
   74        YM2=XM2
   75        T1=XT1
   76        T2=XT2
   77        GO TO (1,2,3,9,5,6,7,8,9),J
   78          1 NS=K1+6**7+K2*6**6+K3*6**5+K4*6**4+K5*6**3+K6*6**2+K7*6+K8
   79        J=2
   80        GO TO 777
   81          2 NA=K1*6**7+K2*6**6+K3*6**5+K4*6**4+K5*6**3+K6*6**2+K7*6+K8
   82        Y1=Y1+10.
   83        YM1=Y1
   84        IF(NA.EQ.NS) GO TO 777
   85        J=3
   86        GO TO 777
   87          3 NA=K1*6**7+K2*6**6+K3*6**5+K4*6**4+K5*6**3+K6*6**2+K7*6+K8
   88        Y2=Y2-10.
   89        YM1=Y2
   90        IF(NA.EQ.NS) GO TO 777
   91        YA=Y1-Y2
   92        XLEE=YA/XM1*100
   93        WRITE(6,223)XM1,Y1,Y2,YA,XLEE
   94      223 FORMAT(1H-,16X,14HMASS NOISE - 1,///,21X,11HNORMAL MASS,2X,F6.1,//
   95      +,21X,9HHIGH MASS,4X,F6.1,//,21X,8HLOW MASS,5X,F6.1,//,21X,9HDEVIAT
   96      +ION,4X,F6.1,///,19X,11HNOISE INDEX,4X,F6.2)
   97        J=4
   98        GO TO 777
   99          4 NA=K1*6**7+K2*6**6+K3*6**5+K4*6**4+K5*6**3+K6*6**2+K7*6+K8
  100        Y2=Y2+10.
  101        YM2=Y3
  102        IF(NA.EQ.NS) GO TO 777
  103        J=5
```

```
104         GO TO 777
105       5 NA=K1*6H**7+K2*6H**6+K3*6H**5+K4*6H**4+K5*6H**3+K6*6H**2+K7*6H+K8
106         Y4=Y4-1D-
107         YM2=Y4
108         IF(NA.EQ.NS) GO TO 777
109         YE=Y3-Y4
110         XKYO=YD/XM2*100
111         WRITE(6,224)XM2,Y3,Y4,YE,XKYO
112       224 FORMAT(1H-,16X,14HMASS NOISE - 2,///,21X,11HNORMAL MASS,2X,F6.1,//
113          +,21X,9HHIGH MASS,4X,F6.1,//,21X,8HLOW MASS,5X,F6.1,//,21X,9HDEVIAT
114          +ION,4X,F6.1,//,19X,11HNOISE INDEX,4X,F6.2)
115         J=6
116         GO TO 777
117       6 NA=K1*6H**7+K2*6H**6+K3*6H**5+K4*6H**4+K5*6H**3+K6*6H**2+K7*6H+K8
118         Y5=Y5+0.05
119         T1=Y5
120         IF(NA.EQ.NS) GO TO 777
121         J=7
122         GO TO 777
123       7 NA=K1*6H**7+K2*6H**6+K3*6H**5+K4*6H**4+K5*6H**3+K6*6H**2+K7*6H+K8
124         Y6=Y6-0.05
125         T1=Y6
126         IF(NA.EQ.NS) GO TO 777
127         YC=Y5-Y6
128         XYON=YC/XT1*100
129         WRITE(6,225)XT1,Y5,Y6,YC,XYON
130       225 FORMAT(1H-,16X,17HTHERMAL NOISE - 1,///,21X,11HNORMAL TEMP,2X,F6.2
131          +,//,21X,9HHIGH TEMP,4X,F6.2,//,21X,8HLOW TEMP,5X,F6.2,//,21X,9HDEV
132          +IATION,4X,F6.2,//,19X,11HNOISE INDEX,4X,F6.3)
133         J=8
134         GO TO 777
135       8 NA=K1*6H**7+K2*6H**6+K3*6H**5+K4*6H**4+K5*6H**3+K6*6H**2+K7*6H+K8
136         Y7=Y7+0.05
137         T2=Y7
138         IF(NA.EQ.NS) GO TO 777
139         J=9
140         GO TO 777
141       9 NA=K1*6H**7+K2*6H**6+K3*6H**5+K4*6H**4+K5*6H**3+K6*6H**2+K7*6H+K8
142         Y8=Y8-0.05
143         T2=Y8
144         IF(NA.EQ.NS) GO TO 777
145         YC=Y7-Y8
146         YCON=YD/XT2*100
147         WRITE(6,226)XT2,Y7,Y8,YD,YCON
148       226 FORMAT(1H-,16X,17HTHERMAL NOISE - 2,///,21X,11HNORMAL TEMP,2X,F6.2
149          +,//,21X,9HHIGH TEMP,4X,F6.2,//,21X,8HLOW TEMP,5X,F6.2,//,21X,9HDEV
150          +IATION,4X,F6.2,//,19X,11HNOISE INDEX,4X,F6.3)
151         GO TO 10
152       444 STOP
153         END
```

의 장치및 시시각각의 평균 온도를 측정할 수 있는 리얼 타임 장치 그리고 리액터들이나 유관들에 있어서 열방출을 최소한 줄일 수 있도록 보온장치와 정확한 열량 조절기를 설치해야 함이 강조된다.

Andow와 Lee는 그의 논문에서 미분 방정식및 ordering, information rate, timelag등의 사용 가능성을 제시하였다[14][27] 본 논문에서는 미분방정식과 ordering의 개념이 도입되었다. 그러나 복잡한 시스템에서는 이러한 미분방정식으로는 표현할 수 없는 시스템도 있다. 이와 같은 경우를 예시하여 본 논문에서는 전 시스템중에서 수학적 묘사가 가능한 부분만을 위해 블록단위 (block unit)중심으로 "고장진단 사전" 을 작성하도록 의도된 것이다.

어떤 플랜트에 전 시스템을 구성하고 모든 일련의 블럭단위 (a series of block unit) 가 미분방정식에 의한 표현이 가능하다면 전 시스템은 필요한 일련의 사전 (a series of dictionaries)들이 작성될 수 있다. 이미 De Jong[28]과 Ranssussen[29]등이 고장진단방법은 경보 시스템의 설계에 있어서 고려하여야 할 중요한 원칙적이라고 지적한 바와 같이 이러한 문제는 플랜트를 설계할때 고장 진단을 위한 수학적 모델링까지 고려하여 전 시스템을 미분방정식으로 표현 가능한 블록단위로써 구성하도록 설계상에 있어서 요청된다.

고장 진단은 미분방정식을 사용하지 않고 경험적인 자료를 근거로한 통계학을 이용하여 작성하는 방법도 있다. Oldbury 원자력 발전소에서 경보 분석을 위해 사용하고 있는 alarm tree 방법은[30][31] 이러한 통계적 개념에 근거를 둔 것이다. 그러나 이 방법의 시도는 정확도 (accuracy)면에서는 본 논문에서 시도된 방법에 비할때 뒤떨어지나 미분방정식으로 표현 불가능한 블럭단위에 활용될 수 있는 잇점을 가지고 있다. 이와 같은 방법으로 고장진단사전작성을 시도해 보는 것도 좋은 연구 분야가 될 것이다.

본 논문의 실험 방법에서 물을 사용하여 유체 상태의 질량이동만 고려하였으나 기체나 고체상태에 대해서도 이러한 컴퓨터 프로그램에 의한 사전작성이 실험과 아울러 시도 되어야 될 것이며 Andow 와 Lee 가 이미 그의 논문에서 언급한 것과 같이 time lag, information rate도 경보 분석(alarm analysis)를 위해 사용할 수 있게 연구되어야 할 것이다. 또한 시이컨스 분석도 본 논문에서는 개념과 방법론만 제시하였으나 구체적인 분석은 하지 않았으므로 시이컨스 분석및 프로그램에 대한 개발이 연구 과제로 남아 있다. 끝으로 본 논문에서 고려된 시스템은 간단한 실험용 모델에 불과했으나 실지로 생산이 가능

표 12. 2개로 구성된 리액터 시스템에서 두개의 결함이 동시에 발생했을 경우 "고장진단사전"

고장별 유형 \ 경보순서	T1L	T1H	T2L	T2H	M1L	M1H	M2L	M2H
펌프1, 펌프4의동시결함		1		3	2			4
펌프1, 히이터1 〃		1		3	2			
펌프1, 히이터2 〃		1	2	4	3			
펌프2, 펌 프3 〃		3		1		2	4	
펌프2, 펌 프4 〃	2			1		3	4	
펌프2, 입력온도(T_0) 〃		4	5	1		2	3	
펌프3, 입력온도(T_0) 〃		1		3				2
펌프3, 히이터2 동시결함	3		1					2
히이터1, 히이터2 〃	2		1					
펌프1, 펌 프3 〃		1		3	4			2
펌프3, 히이터1 〃	1		3					2
펌프4, 히이터1 〃	1		2		4			3
펌프3, 펌 프4 〃	1		3		4			2
펌프4, 히이터2 〃	2		1		4			3
펌프2, 히이터1 〃	2		5	1		3	4	
펌프2, 히이터2 〃						1	2	
펌프1, 펌 프2 〃		1	5	2		4	3	
히이터2, 입력온도(T_0) 〃	2	1						

하며 복잡한 프로세스를 갖는 실지형 모델을 가지고 경보분석을 위한 "고장진단사전" 작성의 시도는 산업용 개발에 중요성을 고려할때 가장 시급히 이어야 할 과제인 것이다.

7. 結 論

고장진단을 위해 수학적 모델링및 컴퓨터 프로그래밍에 의한 "사전" 작성이 시도되었다. 그 유용성및 일반성은 실험및 다각적인 수학적 모델링을 통해 입증되었고 앞으로 계속 연구하여야 할 과제들이 제시되었다.

謝 辭

본 논문을 위하여 연구비를 지급하여 주신 문교부 후원에 감사 드립니다.

參 考 文 獻

1. F. P. Lees, Chem & Ind. 1976, March 6, pp. 195.
2. B. Bellingham and F. P. Lees, Trans. Instn chem. Engrs, Vol. 55, 1977, pp.1~16.
3. B. Bellingham and F. P. Lees, Trans. Instn chem. Engrs, Vol. 55, 1977, pp. 253~264.
4. P. K. Andow and F. P. Lees, Loss Prevention and Safety promotion in the Process Industries, 1974, pp. 299~307.
5. P. C. M Kay and P. W. Heywood, Automatic Control in Electricity Supply, Conf. Pub. No. 16, 1966, (London: Instn. Elec. Engrs.) pp. 295.
6. P. C. M Kay, Ind. Electron., 4 (1966) 50.
7. K. D. Duncan, Strategies for Programmed Instruction: An Educational Technology; 1972. (London: Butter worth), pp. 19.
8. J. Rasmussen, Displays, conf. pub. No. 80, 1971. (London: Instn. Elec. Engrs.).
9. E. H Bristol and H. L Wade, Control Engineering, Feb. 1975.
10. B. S. Suh, Jr. of KIEE, VoL. 6. No. 2, pp. 22.
11. R. E. Kalman, Jr. of Basic Engineering, Mar. 1960, pp. 35~44.
12. N. H. Ceaglske, Automatic Process Control for chemical Engineers, John wiley & sons, Inc., (1956).
13. M. Modell and R. C. Reid, Thermodynamics

an Its Application. Prentice-Hall , Inc. (1974).
14. R. B. Bird, W. E. stewart, and E. N. Light-foot , Transport Phemomena. John wiley & sans, Inc.
15. Phillip C. Semprevivo, system Analysis. science Research Associate Inc. 1976.
16. Geoffrey Gordon, system simulation, Prentice-Hall , 1978.
17. M. S. Peters, and K. D. Timmerhaus, Plant Design and Economics for chemical Engineers, International Student Edition (1968).
18. J. M. Douglas, Process Dynamics and control , Prentice-Hall , Inc. (1972).
19. Robert E. Uhrig Random Noise Techniques in Nuclear Reactor system, The Ronald Press Company, 1970.
20. Joseph A Thie, Reactor Noise , Rowman and Liule field. Inc. 1963.
21. John Graham, Fast Reactor Safety, Academic Press 1971.
22. R. P. Mohler and C. N shen, Optimal Control of Nuclear Reactor, Academic press 1970.
23. W. H. Hamnum, F. X. Garigan, and D. E, Emon, IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-25, No. 3, Aug. 1976. pp. 140~146.
24. F. J. Baloh, etc. IEEE Transactions, on Reliability, Vol. R-25. No. 3, Aug. 1976, pp. 191 ~ 196.
25. S. N. Anyakora, G. F. M. Engel and F. P. Lees, The chemical Engineer Nov. 1971, pp. 396 ~ 402.
26. Willian H. Von. Alen, Reliability Engineering, Prentice Hall, 1964.
27. F. P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, Butlerworths, 1980.
28. J. J. de Jong, Automatic Control in the Chemical Process and Aplied Industries, 1965, (London : Soc. chem, Ind).
29. J. Rasmussen, A, E, C, Res. Est. Riso, Demmark, Rep. Riso-M - 706, 1968.
30. Saul Levin and Willian E. Vesely, IEEE Trans on Reliability. Vol. R-25, No. 3, Aug. 1976. pp. 132-139.
31. David B. Brown, Systems Analysis & Design for Safety, Plentice-Hall Inc., 1976.
32. F. P. Lees, The chemical Engineer, No. 277. Sept. 1977, pp. 418-421.
33. S. N. Anyakora and F. P. Lees, The chemical Engineer, No. 264. Aug. 1972, pp. 304~309.