

김 지용*	한국과학기술원 전기및 전자공학과
정 명진	한국과학기술원 전기및 전자공학과
조 현웅	한국전기통신공사 정보통신 연구실
김 병국	우진계기(주) 연구개발실

1. 서 론

시스템의 신뢰도는 고장(Fault) 발생의 빈도와 정도에 의해서 결정되며, 따라서 신뢰도 향상을 위한 연구는 고장의 원인을 분석, 규명하여 사전에 이를 예방하는 Fault Avoidance 방법과 고장 발생시 그 영향을 최소화하여 시스템이 동작을 계속하도록 하는 Fault Tolerance 방법으로 나누어진다.

일반적으로 Plant 자체의 고장 발생은 그 영향의 중대성으로 인해 중복된 센서의 첨가와 각종 경보를 통해 즉시 알려지며 그 대책에 관한 연구가 많이 진행되었고, 대개는 운전을 정지한 상태에서 보수를 수행한다. 그러나 제어 시스템의 고장에 기인된 운전 정지는 제어 시스템에 Redundancy를 두는 방법등으로 운전정지 없이 고장에 대한 신속한 대책이 가능하다.

본 논문에서는 산업 공정 제어의 신뢰도 향상을 위해 Fault Tolerance 기능을 갖는 제어기의 구성방법과 기존의 제어 시스템의

신뢰도 향상의 방안으로 Add-on 시스템의 구성을 제안한다. 이를 위해 회력발전소를 대상으로 아날로그 회로로 구성된 제어기에 Add-on 시스템으로 디지털 제어기를 Dual-Redundancy 구조로 설치하여 Fault Tolerance 기능을 첨가하는 연구에 대해 기술하였다.

2. Fault Tolerant Control System (FTCS)의 설계

컴퓨터의 대중화와 Hardware Device의 저렴화로 인하여 디지털 컴퓨터의 Fault Tolerance에 관한 연구개발은 높은 수준에 이르렀으나[1], 현재의 Fault Tolerant System은 대부분 주기능이 Hardware Redundancy에 의해 이루어져 있으며, 고장 탐지기능의 유무에 따라 SC(Self-Checking), NSC(Non Self-Checking) 구조로 양분할 수 있다. 대표적 구조로는 TMR(Triple Modular Redundancy), Hot Stand-by, Cold Stand-by의 3종류가 널리 사용되며[2], 항공

우주 산업이나 원자력 발전소와 같이 고도의 신뢰도가 요구되는 곳에는 Highly Redundant System 이 사용되기도 한다. 이상의 방법은 대부분 설계시에 도입하며, 이미 설치, 운전중인 시스템의 보수유지 및 신뢰도 향상의 일환으로 중복 구조를 첨가하는 연구는 거의 없는 상태이다.

산업용 공정 제어 시스템에 Fault Tolerance 기능을 부여하기 위해서는 일반적인 Computing Machine에 적용되는 사항 외에도 주변환경과 프로세스의 특성이 고려되어야 한다. 우선 고장의 원인 및 영향이 어느 정도까지 규명, 방지할 것인가를 고려한다. 즉 출력의 입장에서 단지 Masking만 수행하거나, 고장 발생후 여분의 시스템으로 전환하거나, 즉각적인 수리를 위해 고장 위치까지 확인할 것인가에 따라

- a) 항상 working하는 N Modular Redundancy
- b) 수리가 필요없는 Large Number of Disposable Spares.
- c) 수리후 재접환을 위한 Dual Redundancy 구조가 일반적으로 많이 사용된다.

둘째로 프로세스의 특성을 고려한다. 연속 공정(Continuous Process)은 Batch Process보다 시정수가 짧으므로 제어기의 고장 발생시 즉각적인 대책이 요구되며, 고장 탐지와 자동 전환 시스템의 사양이 중요하게 된다[3].

일반적으로 0.1초 미만의 시정수를 갖는 공정 제어는 a)의 Fault Masking 방법

을 사용하여야 하며 유량, 온도 등의 제어는 C)의 구조가 널리 사용된다. 셋째, 경제성을 고려한다. 시스템의 규모가 커질수록 동일 시스템의 단순복제에 의한 중복 구조시 비용이 상승하며, 이 경우 하나의 Redundant 시스템이 동시에 고장날 확률이 배제된 일군의 시스템을 담당하는 방법이 사용될 수 있다.

본 논문에서는 울산 화력 발전소의 보일러 제어 시스템 CONTRONIC II를 대상으로 Add-on 시스템에 의한 FTCS를 설계하였다.

CONTRONIC II는 70년대 아날로그 IC 기술을 사용한 총 35가지 종류의 모듈을 조합하여 보일러의 온도, 급수, 연료, 연소 공기 등 총 32개의 제어 루프를 형성하고 있다. 이와같은 아날로그 타입의 제어 시스템을 동일한 시스템으로 중복 구조를 형성하는 것은 비용과 물량공급 면에서 거의 불가능하며, 따라서 기존의 제어기와 같은 기능을 갖는 디지털 공정 제어기를 Add-on 시스템으로 사용하였다.

FTCS의 고장 발생시의 기능을 보면, 기존 제어기의 정상 동작중 고장이 발생하면 입 출력 신호 분석에 의해 즉시 이를 탐지하고, 고장이 발생한 제어 루프의 기능을 Back-up 제어기가 담당하도록 Switching을 한다. 이와 동시에 고장 현상을 이용해 고장 모듈의 위치와 고장 정도를 결정하여 보수를 수행하며, 이와 같은 진행도는 (그림1)과 같다. 이 경우 Back-up 제어기와 자동전환 시스템의 성능에 따라 동시에 몇개의 제어 루프의 고

장을 담당하느냐가 결정된다. 이와 같은 기능을 위해 설계한 FTCS의 블록선도는 (그림2)와 같으며 3장에서 소형 prototype에 의한 실험으로 이와같은 중복 구조의 타당성을 보였다.

### 3. 실험 및 검토

소형 FTCS의 구성도는 (그림3)과 같으며 CONTRONIC II 시스템과 보일러는 아날로그 회로로 구성된 시뮬레이터를 사용하였다. Switching 시스템은 기계적 릴레이를 사용하였고, Switching 전후의 신호차에 의한 급격한 변동으로부터 프로세스를 보호하기위해 Bumpless Transfer 회로를 각 Relay 마다 설치하였다. 소프트웨어는 (그림4)와 같은 procedure로 구분하였고 CONTRONIC II 시스템이 여러 종류의 모듈을 조합하여 제어 알고리즘을 구성한것처럼 프로그램의 구성에서도 각 모듈에 해당하는 Subroutine을 사용함으로써 프로그램의 양을 줄이고 다른 제어 알고리즘에 적용이 용이하도록 하였다. 한 예로 연료 및 연소공기의 제어에 쓰이는 PI unit (모듈이름 CT032)의 디지털 PI 알고리즘은 (식1)과 같으며 Anti-reset-wind-up 기능을 첨가하여 Velocity form으로 고쳐서 PASCAL 언어로 구현한 프로그램은 (그림 5)와 같다. 실험은 6개의 제어 루프를 대상으로 CONTRONIC II 시뮬레이터에 임의의 하드웨어 고장을 발생시킨후, 이를 즉각 탐지, Back-up 제어가 수행되는가를 검토하였다. 그중 한 예로 (그림6)은

연소공기 slave section의 제어를 CONTRONIC II 와 Back-up 제어가 운전자의 명령에 따라 Switching을 하여 임의로 담당함을 보였고, (그림7)은 고장 발생시 이를 탐지, Back-up 제어가 수행되고 고장 제거후 원래의 제어기로 Switching-back 함을 보였다.

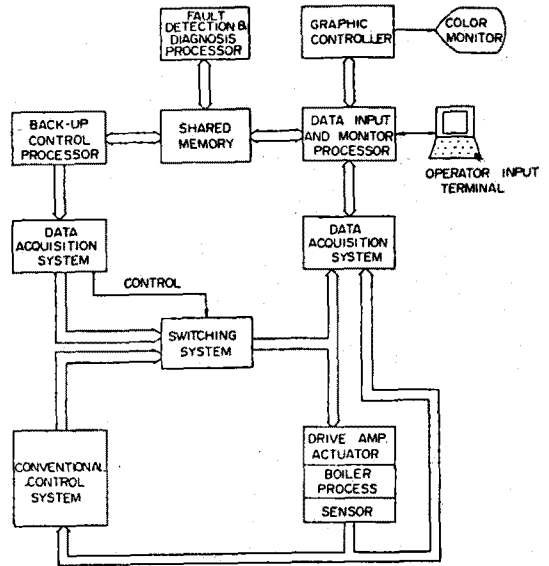
### 4. 결 론

기존 설치, 운전중인 시스템의 보수, 유지 단계에서 고신뢰화를 위한 방법으로 중복 구조에 의한 Fault Tolerance 기능을 부여하였다. 특히 대규모의 아날로그 회로로 구성된 발전소 보일러 제어 시스템에 디지털 프로세스 제어기술을 적용, 종래의 단순 복제 방법보다 비용이 저렴하고 효율적인 Add-on 시스템을 제안하였다. 일련의 연구과제로 전체 제어 루프를 대상으로 Multi-processor 구조를 갖는 FTCS를 제작, 발전소에 직접적용, 운용함으로써 발전소의 신뢰도 향상에 기여하는 연구가 수행될 것이다.

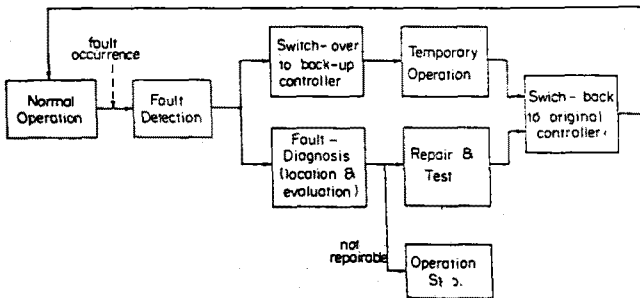
### 참 고 문 헌

1. K.Asami, K.Yanai, T.Ito, "Super-high reliability fault tolerant system NUREC-3000," IECON '84 pp. 1181-1184
2. 이현, "Fault Tolerant Computing System," 전자교환기술 제1권 1호 1985
3. W.F.McGill, S.E.Smith, "Fault tolerance in continuous process control," IEEE MICRO Vol. 4, No. 6, Dec. 1984
4. A.Avizienis, "Fault Tolerant Systems," IEEE Trans. on COMPUTER, Vol. c-25, No. 12, pp. 1304~1311

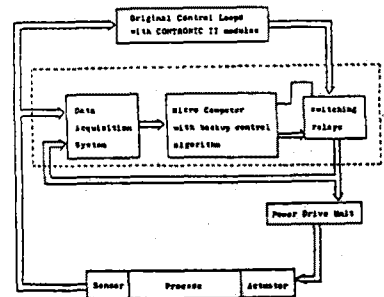
5. P.J.Clelland, P.L.Sauk, "Power Plant Control-an overview," Joint Automatic Control, 1979, WA3-A
6. R.Isermann, "Fault Detection Method for the Supervision of Technical Process," Process Automation, Vol. 1, 1981
7. D.A.Rennels, "Fault Tolerant Computing-Concepts and Examples," IEEE Trans. on Computer, Vol. C-33, No. 12, Dec, 1984
8. 울산화력발전소 4.5.6호기 운전조작설명서, 대우 엔지니어링, 1980
9. 조현용, "화력 발전소를 대상으로한 백업 콘트롤 시스템의 연구," KAIST, 1986.



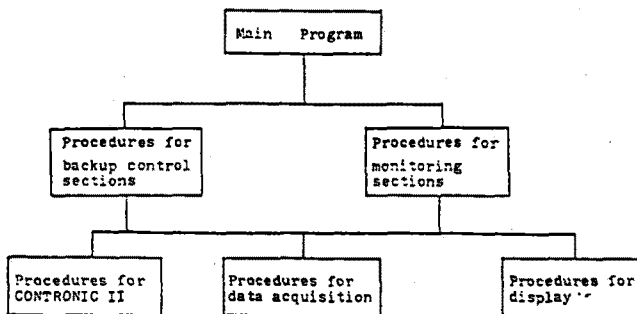
(그림 2) FTCS 의 블록선도



(그림 1) FTCS 의 진행도



(그림 3) 실험용 시스템 블록선도



(그림 4) 소프트웨어 구성도

$$m_n = \frac{100}{X_p} \left( e_n + \frac{T}{T_s} \sum_{k=0}^n e_k \right) + m_0$$

$m_n$  : manipulated variable at step n

$e_n$  : error value at step n

$X_p$  : proportional band [%]

$T_s$  : integral time constant [sec]

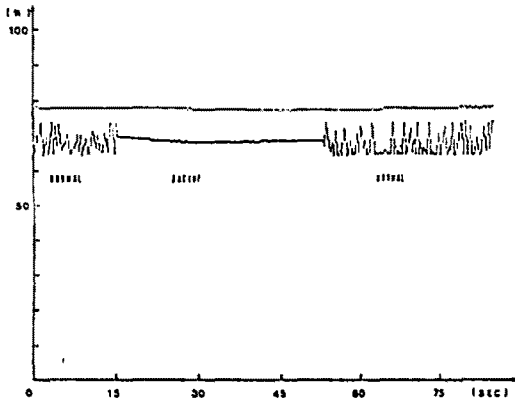
$T$  : sampling period [sec]

(식 1)

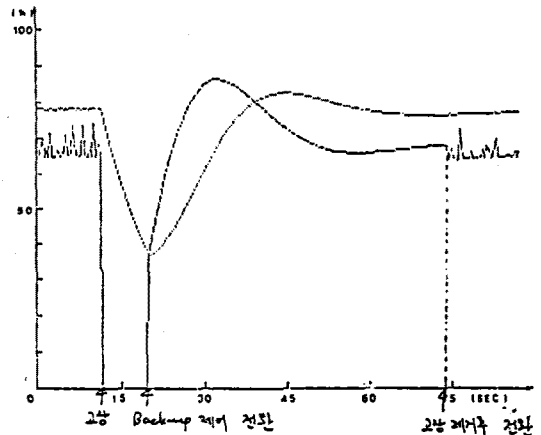
```

procedure PI (v1, v2, v3, v4: real; var py: real);      [PI unit]
var
  pe: real;
begin
  pe := v1 + v2 + v3 + v4;
  py := -py + (100.0/Xp) * (pe - pel + T * pe/Ts);
  if py > 1.0 then py := 1.0 else if py < 0.0 then py := -0.0;
  pel := pe;
end;
    
```

(그림 5) PI unit 프로그램



(그림 6) Air Slave Section의 제어 절환



(그림 7) 고장발생시의 Switching 실험 결과