

# PLC 고장허용에 대한 이중화 시스템 연구

(A Study on Redundancy System for Fault Tolerance of PLC)

이석용\* · 이홍규\*\*

(Sok-Yong Lee · Hong-Kyu Lee)

## 요 약

이중화 PLC 제어시스템은 높은 유용성과 고장허용을 목표로 사용되고 2채널(1-out-of-2) 구조로 동기화된 마스터, 스탠바이 시스템으로 PLC의 고장허용 제어를 실현함으로써 기계, 플랜트의 연속운전을 실현하며 데이터 링크는 마스터와 스탠바이 제어기로 연결되어 있다.

고장허용 제어시스템은 전체 제어시스템에서 최소한의 고장으로 손실을 감소시키고 고장발생시 공정의 연속적인 운전과 시스템의 중단없이 수리 및 점검을 가능하게 하여 생산손실을 최소화하며 전체 시스템에 대하여 신뢰도를 향상시키는것이다.

## Abstract

Redundant programmable logic controllers are used in practice with the aim of achieving a higher degree of availability or fault tolerance. Redundancy system is fault tolerant programmable logic controller for machine and plant. It is event synchronized master-standby system with a 2 channel(1-out-of-2) structure. A data link connects line the master to the standby controller.

Fault tolerant systems should always be used when it is necessary to keep the probability of a total control system failure to a minimum. The objective of using high availability programmable logic controller is a reduction of losses of fault tolerant system are quickly compensated by the avoidance of loss of production.

## 1. 서 론

현재 생산합리화 및 무인화를 위해 생산시스템의 자동화가 많이 추진되고 있다. 컴퓨터 관련기술을 도입함으로써 제어기술이 발전되고 생산시스템이 자동화되어 왔다. 최근들어 각종 산업현장의 자동화 설비에 대부분 PLC를 사용하여 제어하고 있으며, 기능과 특성이 점차 발전하면서 응용범위도 확대되어 가고 있다.

최근의 자동화시스템에서는 고도화와 복잡화 및 안전화가 요구되고 있으며 자동화와 성력화 및 무인화의 가장 효과적인 수단으로써 PLC가 광범위하게 사용되고 있다[1, 2].

PLC를 적용하여 각종설비의 제어를 통한 작업환경 개선으로 작업 능률을 높이고 생산성의 증대를 가져올 수 있다. 그리고 화학공정, 발전소, 제련, 제강, 소성로설비, 공항 등과 같은 연속공정 및 위험지역에서의 PLC 고장사고는 중대재해를 유발하게된다.

이러한 중대재해를 예방하기 위하여 고장허용 제어 시스템을 적용하면 PLC 제어시스템에서 고장이 발생하여도 연속적인 운전을 할 수 있다. 고장허용 제어시

\*정회원 : 한국기술교육대학교 전기전자공학과 석사과정

\*\*정회원 : 한국기술교육대학교 전기공학과 부교수  
접수일자 : 1999년 10월 8일

시스템의 사용으로 PLC나 주변요소(입력, 출력)에서 하나 혹은 많은 고장이 발생한 경우에 전체공정의 중단 없이 연속적으로 운전할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 고장허용 제어시스템은 전체 제어시스템의 운용에 있어서 신뢰도를 향상시키게 된다[3, 4].

## 2. PLC 고장허용 제어시스템을 실현하기 위한 요건

PLC 제어시스템의 고 신뢰도를 실현하기 위한 기본요건은 고장회피 방법과 고장허용 방법을 사용한다. 본 논문에서는 고장허용 방법을 적용하여 시스템의 기기나 부품에서 고장이 발생한 경우에도 신속히 적절한 조치를 취함으로써 전체시스템을 계속적으로 정상동작하도록 하고 시스템의 신뢰도를 높여서 유용성 및 안전성 그리고 연속운전을 실현하며 고장검출과 고장격리 그리고 고장조치 등의 3 단계로 구성하는 방법을 제안한다.

- (1) 고장의 검출 및 진단이 정확하게 실현될 것(고장진단).
- (2) 고장의 수리 및 복구가 단시간에 확실하게 실행될 것(고장복구).
- (3) 고장의 영향을 받지 않고 운전이 가능할 것.

## 3. PLC 고장허용 제어시스템의 구성 및 시뮬레이션

고장허용 제어를 실현하기 위하여서는 시스템을 이중으로 구성하는것이 필수적이라 할 수 있다. 이 방법을 적용하기에 앞서서 이중화의 타입, 이중화의 수준, 그리고 특별한 상황에 대해 적절한 방법인지 등, 공정의 모든 이중화의 특성과 위치가 결정되어야 한다.

직접 이중화 방법은 동일한 작업을 수행할 시스템 채널에 대해 다수의 선택 스위치를 갖는 서로 독립적인 여러개의 하드웨어채널을 추가적으로 설치하여 고장이 발생한 경우 적절한 스위칭을 통해서 고장에 관계없이 작업수행을 할 수 있도록 하는 것을 의미한다.

비록 많은 경우에 있어서 직접 이중화 방법이 하드웨어의 사본을 이용하여 구현될지라도 고장허용성 및 높은 보전성을 요하는 PLC 제어시스템에 있어서는 소프트웨어와 하드웨어 측면에서 이중화를 고려하여

야 한다[5, 6].

고장허용 제어에 사용되는 이중화 구성은 시스템의 설계 및 시스템을 구현하는데 비용의 증가를 초래하므로 시스템은 많은 여분을 가질 수 없으며 주어진 범위내에서 신뢰도를 극대화 할 수 있는 기법을 사용하여야 한다. 이러한 신뢰도를 높이는 방법으로 PLC 고장허용 제어시스템의 이중화를 구성하고자 한다. 구현방법으로는 CPU 모듈, 입·출력 모듈, 전원모듈, 통신시스템, 네트워크의 이중화를 통하여 이중화 시스템을 구현할 수 있다.

### 3.1 시뮬레이션용 PLC 고장허용 제어시스템의 이중화 구성

앞에서 언급한 이중화 시스템을 고려하여 PLC의 고장에 대비한 고장허용 제어용 이중화 시스템의 하드웨어구성은 전원공급 모듈, CPU, 입·출력 모듈, 통신 모듈, 프린터, 키보드, 모니터 등으로 그림 1과 같이 구성하여 시뮬레이션하였으며, 여기에서는 SIMATIC S5 PLC 모듈을 사용하였다.

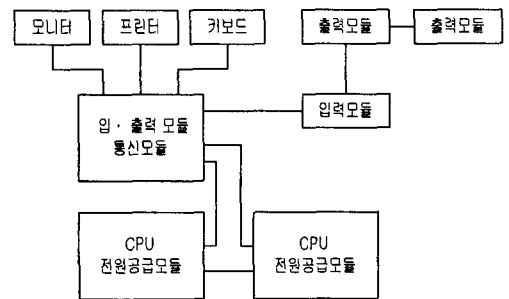


그림 1. 2채널 PLC 고장허용 제어시스템 구성 (하드웨어)

Fig. 1. Configuration on the fault-tolerant control system of 2 channel PLC (hardware).

### 3.2 이중화 시스템의 시스템모드와 운전모드의 관계

PLC의 이중화 시스템에서 마스터 CPU와 스탠바이 CPU 간의 이중화 시스템모드는 전원공급에서 부터 정지, 가동, 단독, 링크업(link-up), 업데이트(up-date), 이중화 모드 등으로 구별할 수 있으며 각 모드에서의 마스터 CPU와의 운전관계는 그림 2와 같이 진행된다.

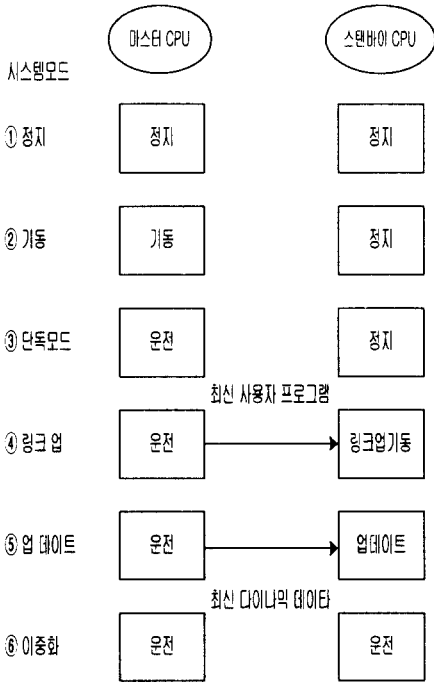


그림 2. 이중화 시스템의 시스템 및 운전모드 관계  
Fig. 2. System and operation modes of the redundant system.

- (1) 이중화 시스템에 전원이 공급되면 두 개의 마스터, 스탠바이 CPU는 정지 모드로 된다.
- (2) 마스터 CPU는 가동되고 OB 100, OB 102로 진행된다. (여기서 OB : organization block)
- (3) 마스터 CPU가 가동이 완료되면 마스터 CPU는 단독모드로 전환되고 운전된다. 스탠바이 CPU가 링크업을 요구하면 마스터 CPU에서 스탠바이 사용자 프로그램을 스탠바이 CPU로 업데이트 한다.
- (4) 링크업이 완료되면 스탠바이 CPU는 스캔사이클(scan cycle) 상태로 운전된다.
- (5) 마스터 CPU와 스탠바이 CPU는 업데이트에 따라 운전상태로 되고 2개의 CPU는 이중화 모드로 동기화 운전을 한다.

### 3.3 에러(error) 발견 모드

자체점검(self test) 동안 마스터 CPU는 스탠바이 CPU의 메모리와 비교하여 상이하면 단독모드로 전환되고 이때 에러발견의 과정은 다음과 같다.

- (1) 자체점검 상태에서 이중화 CPU (마스터와 스탠바이)의 메모리를 비교하여 에러가 발견되면
- (2) 시스템을 이중화 시스템모드에서 단독모드로 전환되며 마스터 CPU는 계속 운전되어지고, 스탠바이 CPU는 에러 발견모드로 전환되며 이때의 통신은 불가능하다.
- (3) 스탠바이 CPU가 완전히 자체점검을 수행한 결과 에러를 발견한 경우에 스탠바이 CPU는 고장모드로 전환되고 마스터 CPU는 계속 운전된다.
- (4) 스탠바이 CPU가 완전히 자체점검을 끝낸 결과 에러를 발견하지 못한 경우에 스탠바이 CPU는 다시 링크업과 업데이트 모드로 전환된다. 그리고 운전시스템은 마스터와 스탠바이 상태로 운전된다.

### 3.4 이중화 모드와 전환관계

이중화 모드의 전환과정은 그림 3과 같으며 운전상태에 따라서 단독모드, 스탠바이 실행, 에러 발견모드, 이중화 모드로 전환된다[1].

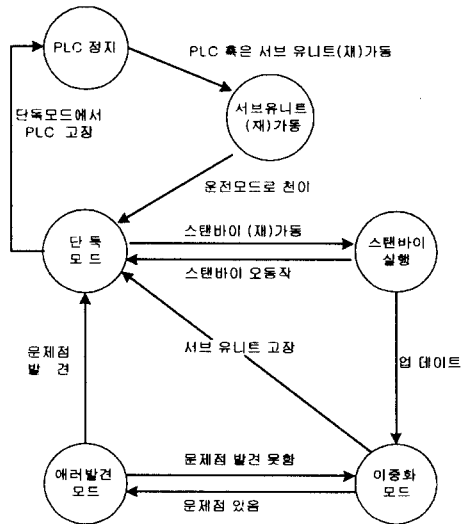


그림 3. 이중화 모드와 전환관계  
Fig. 3. Redundant modes and transitions

### 3.5 사용자(user) 프로그램에서 이중화 입·출력모듈의 전환관계

이중화 입·출력 모듈에서의 고장허용 운전에서 전환관계는 그림 4와 같고 여기에 사용되는 알고

리즘은 다음과 같다[7].

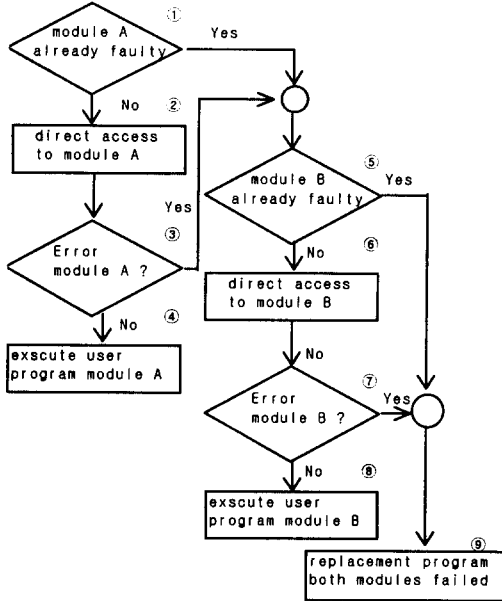


그림 4. 이중화 입·출력모듈에서 프로그램 실행관계  
Fig. 4. Execution of program in the redundant I/O module

- (1) 입·출력 모듈의 이상 유무를 OB 1을 호출하여 체크한다.
- (2) 입·출력 모듈에서 에러가 발생하면 OB 122를 호출한다.
- (3) 모듈에서 에러 발생시 에러 발생이 셋트된다.
- (4) 입·출력에서 DB5. DBX 0.0 와 DB5. DBX 0.1을 호출한다. (DB : data block)
- (5) 만약 모듈에서 고장이 발생한 경우 고장허용 상태 (연속운전상태)에서 모듈을 교체하고자 할 경우에는 OB 83을 호출하여 프로그램을 실행시킨다.

### 3.6 PLC의 마스터-스텐바이 전환운전 및 연속운전에 관한 방법 및 시뮬레이션 결과

- (1) 고장 발생 전 (정상적인 운전상태)
- |              |               |
|--------------|---------------|
| OB1 실행 (마스터) | OB1 실행 (스텐바이) |
| :T QB z      | :T QB z       |
| :L DW x      | :L DW x       |

:L KB 1	:L KB 1
:+F	:+F

여기서 T(transfer), L(load), QB는 출력바이트(byte), DW는 데이터워드(data word), KB는 상수(constant), +F는 가산연산 그리고 누산기(ACCUM)는 적재(Load)와 내부 곱셈 및 계수를 위한 일종의 산술 레지스터이며 비교, 산술 그리고 변환연산이 누산기에서 수행된다.

여기에서 적용 알고리즘을 설명하면 다음과 같다.

먼저 ACCUM 1의 내용이 출력바이트 QB z로 전송된다. 그리고 데이터워드 DW x의 값이 ACCUM 1에 적재되면 상수 1을 ACCUM 1에 적재하고 DW x는 ACCUM 2로 이동된다.

여기서 ACCUM 1과 ACCUM 2가 더해지고 그 결과는 ACCUM 1에 저장된다. 이러한 알고리즘에 의하여 마스터가 기본으로 운전되며 스텐바이와 동기화 운전을 하면서 정상적인 운전을 하고 있다.

#### (2) 고장 발생 (마스터에서 고장발생)

마스터	스텐바이
:T DW x	:T DW x
:AW	:AW
:마스터에서 고장 발생	:L PW y
	:T FW
	:A F xy
	:스텐바이로 운전

여기서, AW는 디지털논리 운전으로 ACCUM 1과 ACCU 2의 AND 운전가능이며 PW는 디지털 그리고 아날로그 입·출력에서 주변장치의 워드(word)이고, FW는 프러그 워드(flag word)이다.

여기에서 적용한 알고리즘을 설명하면 다음과 같다. 정상적인 운전상태에서 고장이 발생되어 마스터에서 스텐바이로 운전되는 과정으로 먼저 ACCUM 1의 결과 내용을 데이터워드 DW x로 전송된다. 그리고 논리 AND를 통해서 각 ACCUM의 내용을 비트(bit) 단위로 합친다. 이 과정을 수행중 마스터에서 고장이 발생되면 입력워드 PW y로 전송되고 ACCUM 1에 적재되어 프러그워드 FW로 전송되면 F x,y의 출력이 발생되어 스텐바이 모드로 운전된다.

또한, 스텐바이 상태에서 고장이 발생하여 마스터로 전환되는 경우도 동일한 결과를 얻었다. 이 경우에 마

스터가 스탠바이 상태로 스캔하고 있는 경우에만 가능하였고 마스터와 스탠바이시스템이 동시에 고장이 발생한 경우는 시스템이 정지되는 것을 확인하였다.

#### 4. 실험결과

##### 4.1 실험에 사용된 PLC 고장허용 제어 시스템의 구성

PLC 고장허용에 대한 이중화 제어시스템의 하드웨어 구성은 그림 1과 같이 실시하였고 실험에 사용된 구성품들은 다음과 같다.

- (1) 실험에 사용된 PLC 제어시스템은 SIMATIC S5 (전원모듈, CPU, 입·출력 모듈, 통신모듈, 인터페이스모듈)를 사용하였고 프로그램의 입력 및 동작상태 확인을 위해서 PG 720 프로그래머를 사용하였으며 실험에 사용된 시스템 소프트웨어는 COM 155H, STEP 5을 사용하였다.

실험에 사용된 사용자(user) 프로그램은 OB, FB, DB, PB, SB 이며 실험 조건에 적합하게 작성하여 사용하였다.[2][4]

- OB : organization block      FB : function block
- DB : data block              PB : program block
- SB : sequence block

##### 4.2. 실제 소성로 시스템에의 적용

시뮬레이션 결과를 확인하여 PLC 고장허용에 대하여 연속운전 상태를 확인한 후 실제 고장허용 제어가 필요한 소성로(燒成爐kiln)의 제어에 적용하여 PLC 고장에 대한 이중화 시스템을 그림 1과 같이 구성하여 실시간 제어시에 발생하는 고장에 대하여 연속운전이 가능한 것을 검증하였다.

여기에서 시스템의 안정적인 운전을 확인하였고 고장허용 제어를 실현하여 설비의 고장으로 인한 가동 중단없이 연속운전을하여 공정중단으로 인한 생산량의 감소 및 경제적 손실을 방지할 수 있는 방법이 되었다.

소성로의 PLC 고장허용 제어시스템의 이외에 공정을 제어하는 사용자 프로그램을 작성하여 기타 공정을 제어하는 전체시스템을 구성하여 앞에서 언급한 시뮬레이션 방법을 동일하게 적용해서 만족한 결과를 얻어 졌으며 본 논문에서 제시한 방법이 직접 대상 시스템에 적용이 됨을 확인할 수 있었다.

마스터가 고장이 발생되었을 때 마스터에서 스탠바이로 전환 되었는데 시뮬레이션 결과와 실제 소성로 제어시스템에서 적용한 결과가 동일하게 얻어졌다.

##### 4.3 실험결과 및 고찰

- (1) 고장 전 즉, 정상적인 운전상태를 실시간 상태에서 나타내고 있으며 마스터와 스탠바이가 동기화 운전을 하고 있는 상태를 나타낸 상태를 그림 5와 같이 실시간 상태에서 모니터링하여 인쇄한 것이다.

OB 1	DB30		
Segment 1	STL status	RLO status/ACCU1	
:C	DB 30	1	
:		1	
:		1	
:JU	FB 21		
Name	:WF#723	1	
:JU	FB 80		
Name	:MULTIPLX	1	
:JU	FB 81		
Name	:TAST-NUM	1	
:JU	FB 116		
Name	:EST ASSI	1	
:AN	F 137.0	1	0
:="	F 136.5	1	1
:JU	FB 190		
Name	:MONITOR	1	
:JU	FB 136		
Name	:BANC/AUT	1	
:JU	FB 170		
Name	:PAG-MAN	1	
:JU	FB 175		

FAddressesF Lib no FSymb. SYMF No com F -> CSF F  
 lDisp symb2Reference3 Search 4Diagnosis5 Seg fct 6

그림 5. 실시간제어로 정상적인 운전상태를 나타낸 상태도

Fig. 5. Status of normal operation at the real time control

OB 1	DB30		
Segment 1	STL status	RLO status/ACCU1	
:C	DB 30	1	
:		1	
:		1	
:JU	FB 21		
Name	:WF#723	1	
:JU	FB 80		
Name	:MULTIPLX	1	
:JU	FB 81		
Name	:TAST-NUM	1	
:JU	FB 116		
Name	:EST ASSI	1	
:AN	F 137.0	0	1
:="	F 136.5	0	0
:JU	FB 190		
Name	:MONITOR	0	
:JU	FB 136		
Name	:BANC/AUT	1	
:JU	FB 170		
Name	:PAG-MAN	1	
:JU	FB 175		

FAddressesF Lib no FSymb. SYMF No com F -> CSF F  
 lDisp symb2Reference3 Search 4Diagnosis5 Seg fct 6

그림 6. 실시간 제어에서 정상적인 운전 상태에서 고장으로 전이(轉移)된 결과를 나타낸 상태도

Fig. 6. Status of from normal operation to fault transitions at the real time control

(2) 그림 5에서 마스터 와 스탠바이가 동기화 운전 중 마스터에서 고장이 발생되면 AN F 137.0의 RLO (논리 회로의 결과)의 값이 "1"에서 "0"으로 전환되며 이때의 상태는 ACCUM 1으로 적재되어 ACCUM 1의 값이 "0"에서 "1"로 전환되고 마스터에서 스탠바이로 전환운전이 되는 결과가 그림 6으로 나타났다.

따라서 마스터에서 고장이 발생하면 스탠바이로의 전환이 되고 마스터를 복구완료하여 정상운전인 경우 스탠바이에서 고장이 발생하면 마스터로 전환되므로 연속운전이 확인되었으며 고장허용 제어가 이루어지고 있다는 것을 검증하였다.

## 5. 결 론

PLC 제어시스템의 고 신뢰화를 위하여 고장개소의 영향이 다른 개소에 미치지 않고 시스템의 연속운전이란 관점에서 고장허용을 고려한 이중화 시스템을 제안하였다. PLC 고장허용에 대한 이중화 시스템을 적용하면 PLC 제어시스템의 고장시 고장부분을 시스템의 정지없이 복구할 수 있는 구조가 가능하다.

본 논문에서는 마스터와 스탠바이 그리고 각종 모듈의 이중화를 적용함으로써 시스템 프로그램, 사용자 프로그램을 작성하여 시뮬레이션을 실시한 결과 고장허용 제어가 실현되었고 이 결과를 바탕으로 실제 고장허용 제어가 필요한 소성로(燒成爐.kiln)설비에 적용하여 PLC 제어시스템의 고장시에 연속운전이 가능한 것을 확인하였다.

이러한 고장허용 제어시스템은 고장 시 많은 생산량의 손실을 가져오는 경우와 고장 시에 따른 적은 생산손실이라도 주위의 공정에 막대한 영향을 미치는 경우 또는 복구 및 손실비용이 많은 중요한 설비에는 고장허용에 대한 이중화 시스템을 적용하면 시스템의 성능향상과 신뢰도를 개선하는데 효과적일 것이다.

## 참 고 문 헌

- (1) SIEMENS SIMATIC "S5-155 programmable controller" manual C79000-B8576 -C197-05.
- (2) SIEMENS Hans Berger "Automating with the SIMATIC S5-155U" 1989.
- (3) SIEMENS SIMATIC "S7-400H programmable controllers fault-tolerant systems," manual C7900-C8276-C508-01
- (4) SIMATIC S5 "programmable controller S5-155U" manual 6ES5998-00M22 Release 04.
- (5) 손원기, 권오규 "이상허용제어에 관한 연구 동향" 대한전기학회지, 제48권, 4호, 1999.
- (6) 이석용, 이홍규 "PLC 외부에서 발생하는 이상현상 검출법" 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 제B권, PP. 646-647, 1999.11.
- (7) 이석용, 이홍규 "PLC 제어시스템의 신뢰도 향상에 관한 연구" 한국조명전기설비학회 학술대회 논문집, PP. 267-272, 1999.11.

## ◇ 저자소개 ◇

### 이 석 용 (李錫容)

1960년 3월 25일생. 1986년 한양대 공대. 전기공학과 졸업. 1999년 전기용용 기술사. 현재 한국기술교육대학교 전기전자공학과 석사과정.

### 이 홍 규 (李弘珪)

1953년 12월 4일생. 1977년 서울대 공대. 전자공학과 졸업. 1979년 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1989년 동대학원 전자공학과 졸업(박사). 1979-92년 국방과학연구소 선임연구원. 1993-94년 독일뮌헨공대 방문교수. 1992년-현재 한국기술교육대학교 전기공학과 부교수.