

---

# PLC 오류를 포용하는 이중화 시스템에 관한 연구

고재홍\*

## A Study on Dual System for Fault Tolerance of PLC

Jae-Hong Ko\*

### 요약

본 연구에서는 PLC의 결함을 수용할 수 있는 시스템을 구현하기 위한 방법을 제안하고 실제적인 그 타당성을 찾아보고자 한다. 결함허용 제어시스템은 중단 없이 수리 및 점검을 가능하게 하여 생산손실을 최소화하고 전체 시스템에 대하여 신뢰도를 향상시키게 된다. 이러한 결함허용 시스템을 구현하기 위해서 시스템의 이중화를 제안하게 되는 것이다. 따라서 이러한 시스템을 제안하고, 결함허용 제어시스템의 시뮬레이션 및 실제 소성로(kiln)에 적용 실험을 통하여 확인하고, 아울러 PLC 제어시스템의 신뢰도를 향상시키기 위하여 고장(failure)의 예측 및 결함특성 그리고 시스템 구성에 따른 결함간의 평균 시간을 비교하여 각종 모듈의 이중화로 결함이나 고장을 허용할 수 있는 제어시스템을 구성하였다. 제안한 시스템에서 노드의 표현방법 및 시스템 모드와 운전 모드와의 관계, 에러발견 모드와 이중화 모드의 전환관계, 그리고 PLC의 중앙처리장치를 하나가 아닌 2개를 가진 2채널 방식의 마스터-스텐바이 전환운전 및 연속운전에 관한 알고리즘을 연구하고 이 알고리즘으로 결함허용에 대한 연속운전 방법 및 결과를 도출하였으며 이 결과를 실제 소성로 제어시스템에 적용하여 PLC 결함허용에 대한 연속운전을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this research, wish to suggest method to embody system that can accommodate defect of PLC and find actual propriety. Defect permission control system minimizes production damage because enables repair and checking without discontinuance and improve believability about whole system. Propose duplexing of system to embody this fault tolerant system. Therefore, composed control system that can permit defect or breakdown duplexings of various module proposing this system, and confirms to simulation and actuality kiln of defect permission control system through an application experiment, and compares for mean time between defect by estimate and defect special quality and system configuration of failure(failure) to improve believability of PLC control system together.

In proposed system expression method and system mode and relation with operation mode, error discovery mode and switching tube of duplexing mode, and PLC's central processing unit of node study algorithm about master-standby conversion driving and continuous operation of 2 channels method that have 2 that is not one and deduced continuous operation method and result about defect permission in this algorithm and applies this result to actuality kiln control system and confirms continuous operation about PLC defect permission.

### 키워드

Dual System, Fault Tolerance, PLC, Simatic

---

\* 한국폴리텍V대학 광주캠퍼스 전기제어과(kojh@kopo.ac.kr)

접수일자 : 2011. 03. 25

심사(수정)일자 : 2011. 04. 22

게재확정일자 : 2011. 06. 15

## 1. 서 론

지금까지 PLC(Programmable Logic Controller)가 개발된 이후 기능면이나 응용면에서 많은 변화를 가져왔다. 현재의 산업의 체제는 생산합리화 및 무인화를 위해 생산시스템의 자동화가 많이 추진되고 있다. 컴퓨터 관련기술을 도입함으로써 제어 기술이 더욱 향상되고 생산시스템이 자동화되어 그 생산성을 높이고 있다. 각종 산업현장의 자동화 설비의 대부분이 PLC로, 산업기기의 제어에 사용되고 있으며, PLC의 기술도 다른 변화에 부응하여 발전하고 있다.

PLC를 적용함으로써 각종설비의 제어를 통한 작업 환경 개선이나 작업 능률을 높일 수 있다.

우리가 현재 사용하고 있는 PLC는 초기에는 단순한 순차제어를 위한 목적으로 개발되어 사용되었으나, 현대의 PLC는 순차제어는 기본이며 고수준의 아닐로그 및 디지털제어 능력을 탑재하여 복합적인 제어 목적으로 널리 사용된다. 따라서, 현대의 PLC는 단순한 순차제어기라기보다는 모든 제어요소와, 실시간 제어용 컴퓨터 기술이 복합적으로 연결된 실시간 제어 시스템으로 보는 시각이 타당하다. 이와 같은 관점에서 PLC를 구성하는 요소 기술들이 많이 있는데, 잠시 살펴본다면, PLC의 핵심 장치인 고성능 마이크로 컴퓨터 관련 기술, 분산 PLC를 위한 네트워크 기술, 제어 언어 및 순차 제어 시스템 해석 및 설계기술, 고수준의 안정성을 위한 내결함/내결함성에 관한 기술 등이 포함된다. 이러한 기술들 중에서 본 연구에서 관심을 가지는 것은 내결함에 관한 기술이다.

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

따라서 PLC의 성능도 더욱 진보되는 동시에 적용 분야도 단순하고 비중이 없던 곳에서 복잡하고 비중 있는 곳으로 변화되고 있다. 따라서 PLC내의 단순한 결함이나 고장이 비중있는 응용분야에서는 막대한 영향을 끼치는 것은 당연한 일이다.

예를 들면 화학공정, 발전소, 제련, 제강, 소성로설비, 공항 등과 같은 연속공정 및 위험지역에서의 적용에 있어서 PLC의 결함사고는 중대재해를 유발하게 된다. 따라서 대부분의 생산현장에서는 이러한 문제를

해결하기 위해서 여러 가지 방법을 강구하고 있다. 그러한 방법중에 하나가 결함이나 고장을 허용하기 위한 시스템을 구현하는 것이다.

위에서 말한 고장이나 결함허용 PLC시스템은 시스템의 이중화로써 구현될 수 있다. 이중화 PLC 제어시스템은 가용성과 결함허용에 대한 적응성을 향상시키기 위하여 현재 사용되고 있는 동기화된 마스터와 항시 결함을 위해서 대기하고 있는 스펀바이 시스템인 2채널 구조로 되어 있어서 PLC의 결함이나 고장을 허용, 산업기기제어를 구현할 수 있으며, 따라서 현장의 기기나 플랜트의 연속운전을 실현할 수 있고, 현장의 중대재해를 예방하기 위하여 결함허용 제어시스템을 적용하면 PLC 제어시스템에서 결함이 발생하여도 생산공정의 안정성을 확보할 수 있다. 즉, 다시 말하면 고장이나 결함허용 제어시스템의 사용으로 PLC나 주변요소(입력, 출력)에서 하나 혹은 다수의 결함이 발생한 경우에 전체공정의 중단없이 생산공정을 연속적으로 운전할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 결함허용 제어시스템은 전체 제어시스템의 운용 신뢰도를 향상시키게 된다[4].

여기에서 결함허용 제어시스템을 적용하는 경우는 두 가지 측면에서 고려되어질 수 있다. 첫째, 결함이 발생한 경우에 많은 생산량의 손실을 가져오는 경우(예를 들면 조립 생산라인이나 제철공장 등), 둘째, PLC 결함에 따른 적은 생산손실이라도 주위의 공정에 있어서 막대한 영향을 미치는 경우이거나 또는 복구 및 손실비용이 많이 드는 경우(예를 들면 프로세서 공정 등)로 분류할 수 있다[3][6].

결함허용 제어시스템은 생산공정의 연속적인 운전과 유형/무형의 손실을 방지하고, 결함발생시 시스템의 중단 없이 수리를 가능하게 하고, 제어시스템의 신뢰도를 향상시켜 준다. 본 연구의 구성내용을 살펴보면 다음과 같다.

PLC 제어시스템의 신뢰도를 향상시키기 위하여 제어시스템의 결함과 예측 및 결함특성 그리고 제어시스템 구성에 따른 결함 간 평균 시간을 비교하고, 결함허용 제어시스템을 실현하기 위한 조건(condition)을 적용하여 PLC 제어시스템에서 결함의 유형을 확인하였다. 또한 PLC 결함허용 제어시스템을 구성하기 위하여 각종 모듈의 이중화를 구성하고 시뮬레이션용 PLC 결함허용 제어시스템의 이중화 구성, 2채널 PLC

제어시스템의 이중화 노드 표현방법 및 사용자 프로그램에서 이중화 입·출력 모듈과 스캔타임과의 관계를 설명하고 2채널 PLC의 마스터-스탠바이 전환운전 및 연속운전에 관한 방법 및 시뮬레이션 결과를 도출하였다. 시뮬레이션 결과를 이용하여 실제 결합허용 제어에 필요한 소성로(燒成爐, kiln) 설비에 적용하여 PLC 결합허용에 대한 제어시스템의 연속운전을 실현하는 방법에 대한 타당성을 확인하였다.

## II. PLC 제어시스템의 신뢰도

### 2.1 PLC 동작 추종식 표현

PLC 프로그램에 기록된 모든 입력신호의 변화에 추종할 수 있고, 또한 모든 출력신호에 대응할 수 있다. 이러한 PLC의 동작을 수식으로 표현하면 식(1)·식(2)·식(3)과 같다.

$$Q(k) = P\{Q(k-1), U(k)\} \quad (1)$$

$$Q = (q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (2)$$

여기서,  $n$ 은 상태변수의 개수이다. 그리고,  $Q(k)$ 는  $k$ 번 스캔후의 상태변수들의 값을 나타내고,  $P$ 는 상태변환함수를 나타낸다.

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_i) \quad (3)$$

여기서,  $i$ 는 입력신호의 개수이고  $U(k)$ 는  $k$ 번 스캔후의 입력변수들의 값이다. 그리고,  $k \geq 1$ 이며  $Q(0)$ 는 초기상태로 주어진다.

### 2.2 PLC 제어 시스템의 결합과 예측

신뢰도는 모든 측정에서 결합이 발생되지 않더라도 그것이 100(%)의 신뢰도를 갖는 것은 아니며 결합율( $\lambda$ )은 신뢰도를 나타내는 기준이 된다. 여기서, 결합율은 식(4)와 같이 나타낸다[5].

$$\text{결합율}(\lambda) = \frac{n}{N_0 \times t} \quad (4)$$

여기서,  $n$ 은 시간  $t$  동안의 결합 갯 수 이고,  $N_0$ 는

나머지 구성요소,  $t$ 는 사용시간을 나타낸다.

### 2.3 PLC 제어 시스템의 결합 특성

PLC 부분에서의 일어나는 내부결합(internal failure)은 전체 결합의 5(%) 정도 발생하고 외부결합(external failure)으로는 센서나 단자대 그리고 케이블 등에서 발생된다. 그러나 내부적인 결합은 결합율을 적지만 결합시 엄청난 손실을 가져올 수 있다. 입·출력모듈은 90(%)로써 전체결합의 4.5(%)에 해당한다.

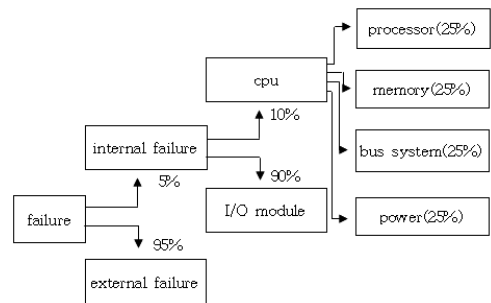


그림 1. PLC 제어시스템에서의 결합 분포도  
Fig. 1 Distribution chart of defect in PLC control system

PLC의 가용성은 임의시점에서 시스템 또는 장치가 효과적으로 동작할 확률이며, 식(5)와 같다.

$$A = MTBF / (MTBF + MTTR) \quad (5)$$

여기서,  $A$ 는 가용성(Availability)을 나타내고,  $MTBF$ (Mean Time Between Failure)는 결합간 평균 시간을 나타내고,  $MTTR$ (Mean Time To Repair)는 평균 수리 복구시간을 나타낸다.

PLC의 신뢰도는 이중화 모듈을 사용하여 결합간 평균시간을 연장할 수 있으며 1채널 시스템(1-out-of-1)을 기준으로 하여 2채널(1-out-of-2) 시스템에 대한 신뢰도를 식 (6)과 같이 나타낼 수 있고, 가용성은 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$MTBF_{12} = \frac{MTBF_{11}^2}{2MDT + 2(1 - dc) \cdot MTBF_{12}} \quad (6)$$

$$A_{12} = \frac{MTBF_{12}}{MTBF_{12} + MDT} \quad (7)$$

여기서  $MTBF_{12}$ 는 2채널(1-out-of-2) 시스템의 결합 평균 시간이고,  $MTBF_{11}$ 는 1채널(1-out-of-1) 시스템의 결합 평균 시간,  $A_{12}$ 는 2채널 시스템에서의 가용성을 나타낸다. 여기서, 진단준비(dc:diagnostic converge)는 일반적으로 약 95%가 되고, MDT (Mean Down Time)는 에러발견시간 및 수리에 소요되는 시간 또는 고장난 모듈의 교체에 소요되는 시간이며, 결국 이중화 시스템의 결합 평균시간은 수리에 걸리는 평균시간에 의해 결정되어 진다.

그리고 PLC 모듈의 신뢰도에 대하여 보통 PLC 구성요소 중 CPU의 결합 평균시간은 약 50년 정도라고 밝혀져 있다.[3]

#### 2.4 PLC 결합 및 결합허용 제어시스템을 위한 조건

결합허용 제어란 어떤 시스템의 기기나 부품이 결합이 발생할 경우에도 신속히 적절한 조치를 취함으로써 전체 시스템을 계속적으로 정상 동작하고 시스템의 신뢰도를 높여서 가용성 및 안전성 그리고 연속운전을 얻는 방법이며, 결합검출과 결합격리 그리고 결합조치 등의 3단계로 구성된다. 즉,

- (1) 결합의 검출 및 진단이 정확하게 실현될 것. (결합진단)
- (2) 결합의 수리 및 복구가 단시간에 확실하게 실행될 것.(결합복구)
- (3) 결합의 영향을 받지 않고 운전이 가능할 것.

#### 2.5 PLC 제어시스템에서 결합의 유형

일반적으로 어떤 공정의 안전운전을 해치는 결합이나 오류의 대표적인 형태는 다음과 같이 분류할 수 있다.

- (1) 물리적 또는 화학적 변화에 의해 야기되는 시스템 구성요소의 결합현상
- (2) 외부에서 공급되는 입력조건의 오류에 의한 결합현상
- (3) 주위 환경에서 발생하는 외란 또는 외부간섭
- (4) 운전자(Operator) 오류
- (5) 정비 실수 및 잘못된 수리로 인하여 발생하는 결합현상
- (6) 제어시스템의 결합현상

### III. PLC 결합허용 제어시스템의 구성

#### 3.1. 프로세서의 이중화

프로세서(CPU) 두 개를 독립된 모듈로 사용하여 고장이나 결합을 대비하고, 하나의 CPU는 스탠바이 상태로 대기하고 있다.

#### 3.2. SYSTEM 이중화

I/O, 프로세서, BUS를 모두 이중화하여 고장난 모듈에 대해 조치하고 대신 운전한다.

#### 3.3. 통신 시스템의 이중화

인터페이스 모듈과 통신 모듈의 이중화, 주변기기와의 연결에 있어서도 고장이나 오류가 발생하면 이중화 모듈을 이용하여 오류에 대처할 수 있다.

#### 3.4. 투표구조

가장 확실한 결합 은닉성을 제공, 3개 이상의 동일한 기능을 하는 모듈을 동시에 동작시켜 출력되는 결과 중 다수를 차지하는 값을 취한다. 제어 모듈이 다중화 되는 경우 모든 연산 결과도 검사되지만 시스템 구성에 비용이 많이 든다는 단점이 있다. 그러나, 항공기 원자력 발전소 등 신뢰성이 대단히 중요한 부분에 쓰이는 센서 입력 부분은 모두 이와 같은 구조가 이용된다.

#### 3.5. Power Modul의 이중화

Remote base에 공급되는 전원을 이중화 함으로써 전원 고장에 대응한다.

### IV. PLC 결합허용 제어시스템의 시뮬레이션

#### 4.1. 시뮬레이션용 PLC 결합허용 제어시스템의 이중화 구성

앞에서 언급한 이중화 시스템을 고려하여 PLC의 결합에 대비한 결합허용 제어용 이중화 시스템의 하드웨어구성은 전원공급 모듈, CPU, 입·출력 모듈, 통신모듈, 프린트, 키보드, 모니터 등으로 Fig 2와 같이 구성하여 시뮬레이션 하였으며, 여기에서 사용한 기종은 SIMATIC S5 PLC 모듈이다. 또한 PLC system의 출력방식은 Fig 3과 같다.



그림 2. SIMATIC S5의 구성  
Fig. 2 Configuration of SIMATIC S5

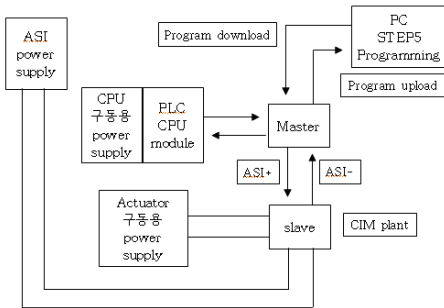


그림 3. PLC system의 출력방식  
Fig. 3 Outline of PLC system

#### 4.2. 결합허용 제어시스템의 개략도

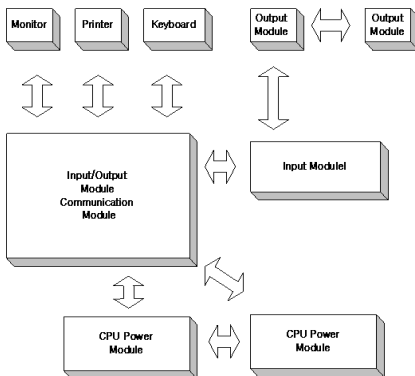


그림 4. 2채널 결합허용 시스템 구성  
Fig. 4 Composition of 2-channel fault tolerance system

PLC 결합허용에 대한 이중화 제어시스템의 하드웨어 구성은 앞에서 제시한 Fig 3.과 Fig 4.와 같이 구성하였고 실험에 사용된 기기와 장비는 다음과 같다.

① PLC : SIMATIC S5

(전원모듈, CPU, 입·출력 모듈, 통신모듈, 인터페이스모듈)

② 프로그래머 : PG 720 프로그래머

③ 시스템 소프트웨어 : COM 115H, STEP 5

④ 실험에 사용된 사용자 프로그램 : OB, FB, DB, PB, SB

OB : organization block

FB : function block

DB : data block

PB : program block

SB : sequence block

#### 4.3. 실험에 사용한 각 블록의 유형

복잡한 작업을 해결하기 위해서는 전체 프로그램을 각각의 독립적인 프로그램 블록으로 분할하여 운영하는 것이 효율적이며 다음과 같은 블록으로 구분하였으며 각 블록에 대해 구체적인 내용은 다음과 같다.

OB(organization block) :

- 운영체제와 제어프로그램 사이의 인터페이스 (3개의 그룹)
- 운영체제에 의해 주기적으로 호출되는 경우, 프로그램의 내용에 따라 구동되거나 시간에 의해 제어되는 경우 그리고 다른 블록에 의해 연산가능 수행

PB(program block) :

- 독립적인 프로그램 부분을 블록내에서 프로그램
- 제어기능은 프로그램 블록내에서 그림으로 표현
- 블록 호출 JU와 JC는 프로그램 블록을 동작시킴
- 데이터(DB) 블록을 제외한 모든 블록 유형에서 이러한 연산을 사용하여 작성가능.

SB(sequence block) :

- 순차 블록으로써 연속제어를 처리하는 특수한 프로그램 블록
- 프로그램 블록과 동일 취급.

FB(function block) :

- 반복해서 사용하거나 복잡한 제어 기능
- 프로그램 할 때 사용하거나 산술 및 레포팅 (reporting)기능을 위한 특수한 블록

DB(data block) :

- 제어프로그램을 처리하기 위한 필요한 데이터를 저장
- 16진수, 10진수, 2진수를 사용
- 실제값, 한계값, 그리고 문자(text)

Fig 5에서는 시스템 프로그램과 OB 블록, PB 블록, SB 블록 간의 프로그램 실행관계를 나타내고 있다.

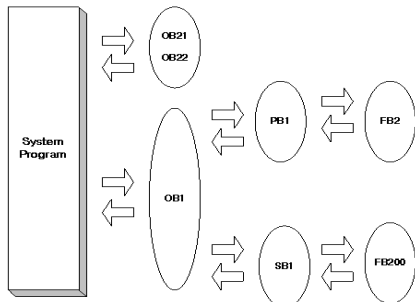


그림 5. PLC 제어 프로그램의 운영 관계

Fig. 5 Relationship of PLC control program operation

#### 4.4. 2-채널 PLC 제어시스템 이중화 node 표현방법

PLC의 이중화노드 표현방법으로는 오동작이 없는 상태 즉 정상적인 운전 상태에서의 네트워크를 구성하는 방법을 사용하여 오동작이 일어나서 결함 허용 제어 노드와 전체결함으로 시스템이 정지되는 모든 과정을 노드로 표현하면 Fig 6-a, Fig 6-b, Fig 6-c,와 같다

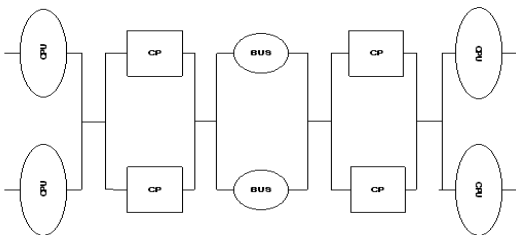


그림 6-a. 결함이 없는 정상상태에서의 관계

Fig. 6-a Composition of normal condition without faults

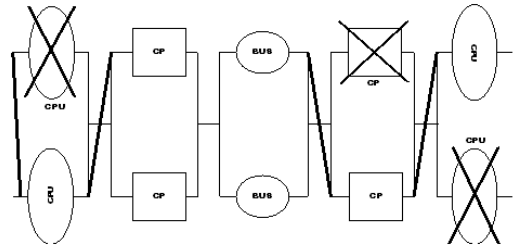


그림 6-b. 2채널 이중화 네트워크에서 결함 발생 후 결함허용 시스템으로 운전되는 상태 노드

Fig. 6-b The state node that operation without faults transfer fault tolerance system in 2-channel dual network

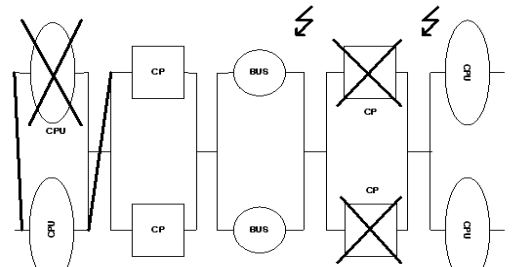


그림 6-c. 2채널 시스템 네트워크에서의 전체 결함 노드

Fig. 6-c Entire fault node in 2-channel system networks

#### 4.5. 이중화 입력력 모듈과 스캔 타임과의 관계

PLC에 입력되는 신호는 신호유지 시간이 최소한 PLC의 최대 스캔타임보다 길어야 한다. 그렇지 않으면 입력이 빠르게 변할 때, 입력신호를 검출하지 못하는 경우가 있을 수 있으며, 이러한 경우는 결함검출로 인식되어서 스탠바이 CPU가 오동작을 일으킬 수 있다. 또한 피드백이 설정되어 있는 출력은 피드백 타임 설정을 고려해야 한다. 그리고 고려해야 할 사항으로는 이중화 운전시에는 단독운전보다 연산처리 시간이 길어지고 마스터에서 스탠바이로 전환 운전시에는 스캔타입이 길어지게 되므로 반드시 설계시에는 이를 고려하여야 한다.



방지함으로써 시스템의 신뢰도를 증가시킬 수 있다.

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

이러한 결합허용에 연속운전 방법은 제어시스템의 결합시 많은 생산량의 손실을 가져오는 경우와 결합시에 다른 적은 생산손실이라도 주위의 공정에 막대한 영향을 미치는 경우 또는 복구 및 손실비용이 많은 경우 그리고 안전상 중요한 설비에는 결합허용에 대한 이중화 시스템을 적용하면 효과적일 것이며 여러 산업분야에서의 응용 및 시스템의 성능향상과 신뢰도를 개선하는데 큰 공헌을 할 수 있을 것이다.

## 저자 소개



### 고재홍(Jae-Hong Ko)

2001년 8월 경상대학교 대학원 졸업(공학석사)  
현재 한국폴리텍V대학 광주캠퍼스 전기제어학과 교수

※ 주 관심분야 : 전기시스템 및 제어

## 참고 문헌

- [1] SIEMEN, SIMATIC, "S5-155 Programmable Controller, "Manual C790000-B8576-C197-05, pp. 9-27, 1989.
- [2] SIEMENS Hans Berger, "Automating with the SIMATIC S5-155U ", pp. 9-15, 1989.
- [3] SIMENS SIMATIC, "S7-400H Programmable Controllers Fault-tolerant Systems," manual 7900-G8276-C508-01, pp. 5-45, 2005.
- [4] SIMATIC S5, "programmable contraller S5-155U " manual, 6ES5998-00M22 Release 04, pp. 18-24, 1993.
- [5] 이상효, 임화영, "S5-155U 프로그래머블 콘트롤러 사용 설명서", 광운대학교 출판부, pp. 5-400, 1995.
- [6] 손원기, 권오규, "이상허용제어에 관한 연구 동향" 대한전기학회지, 48권, 4호, pp. 28-34, 1999.