

### 차세대 원자력 발전소에서의 공학적안전설비작동계통 Prototype 기능의 구현

° 박종범\*, 박현신\*, 장익호\*\*  
\*한국전력공사 전력연구원 \*\*한국전력기술

#### Prototype Development for KNGR Engineered Safety Features-Component Control Systems

° Jong Beom Park\*, Hyun Shin Park\*, Ik Ho Chang\*\*  
\*Korea Electric Power Research Institute \*\*Korea Power Engineering Company.,INC

#### Abstract

Engineered Safety Features-Component Control Systems(ESF-CCS) are those I&C systems that control safety equipment used to maintain the integrity of reactor coolant pressure boundary. This paper illustrates distinctive features and improved design concepts of Korea Next Generation Reactor(KNGR) based on the experience obtained through prototyping of ESF-CCS.

#### 1. 서론

현재 국내에서 운전중인 대부분의 원자력 발전소 보호계통은 아날로그 제어방식을 적용한 관계로 계통설계의 한계성을 갖고 있으며 계통의 유지, 보수시 제품의 생산 중단 혹은 대폭 감소로 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이의 해결 수단으로 최근에는 설계의 표준화, 단순화 및 유지보수에 매우 유리한 디지털 계통의 설계 기술이 산업계는 물론 원전에서도 폭넓게 적용되고 있는 추세이며 디지털 기술이 발전하고 그 신뢰도가 향상됨에 따라 기존의 아날로그 회로로 구성된 원자력발전소 계통의 기능을 PLC(Programmable Logic Controller) 및 디지털 기기를 사용하여 그 기능을 디지털화하고 있다. 차세대 원자력 발전소에서는 디지털 기술과 더불어 DCS(Data Communication System) 기술을 원자력발전소 전 계통에 적용함으로써 계통의 이용도와 신뢰도를 증가시키고 운전원의 발전소운영 편의성을 향상시킬 수 있도록 함을 설계목적으로 한다.

원자력발전소의 안전계통중 하나인 공학적안전작동설비(Engineered Safety Features - Component Control System : ESF-CCS)는 발전소의 이상상태시 원자로심을 냉각시키고 발전소를 안전상태로 운전할 수 있도록 하는 기능을 제공한다. 본 논문에서는 공학적안전설비작동계통 Prototype으로 구현하는 기능과 기존 호기설계와의 비교분석을 통하여 새로이 적용된 기술 및 설계 개선사항등을 논의하고자 한다.

#### 2. 공학적안전설비작동계통 기능 및 성능요건

##### 2.1 공학적안전설비작동계통 기능

공학적안전설비작동계통은 설계기준사고시 그 사고의 결과를 허용치 내로 완화시키기 위해 안전기기의 작동을 위한 신호를 제공해주는 기능을 한다. 공학적안전설비작동계통은 발전소보호계통으로부터 공학적안전설비작동신호를 받아 2/4 논리를 구성한 다음 루프제어기를 통해서 각각의 기기에 동작신호를 제공하게 된다. 각각의 공학적안전설비작동계통은 2개 또는 4개의 디비전(Division)으로 구성되어있으며 각각의 디비전에서는 4개 채널의 발전소보호계통으로부터 자동작동신호를 받으며, 주제어실로부터 공통모드고장을 위한 수동동작신호를 받는다.

##### 2.2 공학적안전설비작동계통 성능요건

발전소 공정변수들이 보호동작을 일으키는 설정치에 도달하게 되면 아래와 같은 작동신호가 발생한다. 아래 그림1은 차세대원전 공학적안전설비작동계통 구성도를 나타내고 있다

- 1) 안전주입작동신호(SIAS)  
안전주입계통은 발전소보호계통 4개의 채널로부터 2/4 논리 안전주입작동신호에 의해 작동된다. 작동계통은 전기적, 물리적으로 분리되어 있고 독립적인 4개의 ESF-CCS 디비전안에 구성되어 있다.
- 2) 격납건물격리작동신호(CIAS)  
격납건물 격리계통은 발전소보호계통 4개의 채널로부터 2/4 논리 격납건물격리작동신호에 의해 동작된다. 작동계통은 전기적, 물리적으로 분리되어 있는 각각의 ESF-CCS 디비전안에 위치해 있다.
- 3) 격납건물살수작동신호(CSAS)  
격납건물살수작동신호는 격납건물 고-고 압력에서 발생된다. 격납건물살수작동신호는 발전소보호계통 4개의 채널로부터 2/4 논리 격납건물살수작동신호에 의해 동작된다. 격납건물살수작동신호는 냉각재상실사고 및 주증기관 파열시에 격납건물살수계통을 작동케 한다.
- 4) 주증기격리신호(MSIS)  
주증기격리신호는 증기발생기 저 압력, 증기발생기 고 수위, 격납건물 고 압력으로 설정치에 도달할 때 발생하게 된다. 또한 주증기관 파열시 주증기관 격리신호는 격납건물로의 에너지 방출을 막고 과압이 되는 것을 방지한다. 또한 증기발생기의 브로우다운을 완전히 막아 노심의 열제거된 상실을 방지한다.

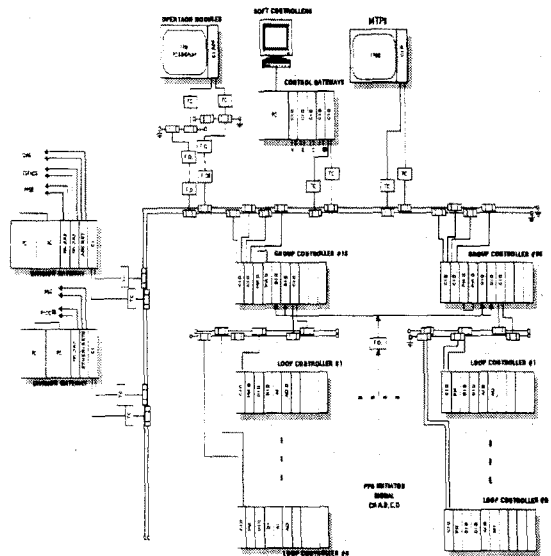


그림 1. 공학적안전설비작동계통 구성도

5) 보조급수작동신호(AFAS)

보조급수작동신호가 나면 증기발생기에 보조급수펌프를 작동하게 되고 보조급수밸브를 열어서 붕괴열 제거에 필요한 최소한의 물을 제공하게 된다.

3. Prototype 설계개선 및 기능구현

3.1 Prototype 설계개선

3.1.1 동시논리 설계

공학적인안전설비작동계통에서 기존에 사용되던 선택적(Selective) 2/4논리대신에 완전(Full) 2/4논리개념의 사용을 고려한다. 선택적 2/4 논리는 기존의 릴레이 기본 논리 구현의 제한점(요구되는 릴레이의 수) 때문에 사용되었다. 다음의 표1은 선택적 2/4논리와 완전 2/4논리의 장단점을 비교한 것이다. 아래의 비교검토표에서 2가지 유형의 논리를 검토한 결과 완전(Full) 2/4논리의 사용을 잠정 결정하였다.

표 1. 선택적 & 완전 2/4 동시논리 비교

	선택적 2/4 동시논리	완전 2/4 동시논리
장점	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 선행호기의 사용으로 인허가 용이</li> <li>2. Nuplex 80+ 선택적 2/4논리사용을 위해 2개의 Multiplexer 사용가능</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 발전소 운전성 높아짐</li> <li>2. 단일 Random 고장시 수동우회하고 2/3논리로 운전가능</li> <li>3. 기술사양서(Tech. Spec.) 요건 개선</li> <li>4. 가격 및 복잡성 면에서 개선효과</li> </ol>
단점	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 단일고장상태의 우회운전이 불가능함으로 발전소 운전성이 낮아짐</li> <li>2. 단일 Random 고장이 선택적 1/2논리운전이 불가피함으로 제2의 고장에 대한 민감도가 증가</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 디비전 사이에 우회상태 전달통신 필요</li> <li>2. 시험요건 증가</li> <li>3. 우회기능을 지원하기위해 MTP가 안전관련 등급이 되어야 함</li> </ol>

3.1.2 공학적인안전설비작동계통 구성을 위한 가정

1) 그룹제어기(Group Controller)

그룹제어기는 광섬유 케이블을 통해 발전소보호계통으로부터 공학적인안전설비작동신호를 받으며 그룹제어기에서 2/4 논리를 구성한 다음 하부 루프제어기에 작동신호를 전달한다. 각각의 그룹제어기는 다른 디비전과는 격리요건을 만족하며 한 개의 공학적인안전설비작동신호는 한 그룹제어기내에서 독립적으로 이루어지며, 각 그룹제어기는 그룹제어기함에 두 개의 주제어기(Primary)와 보조제어기(Standby)로 된 Hot Backup 개념으로 이루어져 있는데 이것은 주제어기 프로세서가 주요기능을 수행하는 동안 보조제어기프로세서가 주제어기프로세서의 기능을 따라하다가 주제어기프로세서가 고장시 보조제어기프로세서가 그 기능을 넘겨받아 수행한다. 또한, 그룹제어기는 각각의 루프제어기와 이중(Redundancy)으로 통신을 수행한다. 각 그룹제어기는 게이트웨이 및 하부 루프제어기와 통신을 수행하며 루프제어기에서 제

공하는 정보를 상위계통에 연계하는 역할을 수행한다. 그룹제어기, 그룹 및 내부디비전(Intradivision) 통신망은 각각의 공학적인안전설비작동을 위한 2/4논리 수행 및 통신망을 통한 많은 양의 정보를 전달 해야 하는 이유로 다중화 설계로 이루어 진다.

2) 루프제어기(Loop Controller)

루프제어기는 비휘발성메모리, 통신연계모듈, 입·출력 모듈 그리고 전원공급기로 이루어 져 있다. 루프제어기는 그룹제어기에서 제공하는 공학적인안전설비작동신호를 받아서 해당 기기(펌프, 밸브)에 동작신호를 제공하며, 발전소 공정변수를 받아서 그룹제어기를 통해 IPS(Integrated Test Processor), QIAS(Qualified Indication and Alarm System)로 제공하는 자료수집(Data Acquisition)기능을 수행한다. 입출력모듈은 크게 두 가지로 나누어지는데 기기제어모듈 및 자료수집모듈이 있으며 아래와 같은 모듈타입이 제공된다.

- 접점(Contact) 입·출력 모듈
- 아날로그 입·출력 모듈
- 열전대(Thermocouple) 입력모듈
- 저항식온도측정기(RTD) 입력모듈

또한, 루프제어기는 각각의 루프제어기에 할당된 기기의 수가 제한되어 있으며 각각에 대한 기능적 배당이 루프제어기의 단일고장을 수용할 수 있도록 설계되기 때문에 다중화가 필요치 않다.그림2는 Prototype 구성도를 나타낸다.

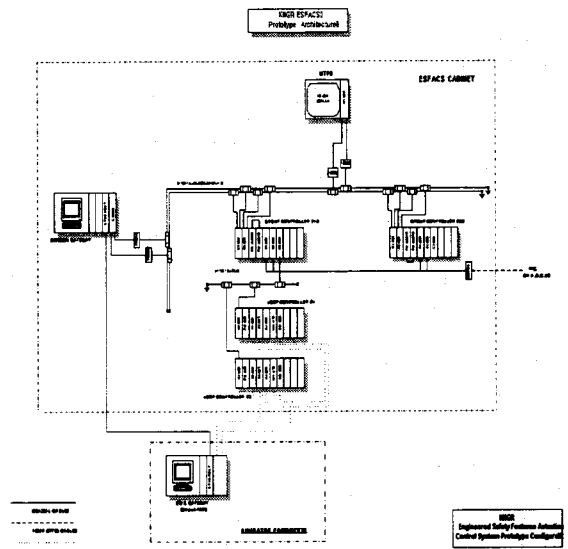


그림 2. Prototype 구성도

3.2 Prototype 기능구현

3.2.1 계통기능(System Function) 검토

차세대 공학적인안전설비작동계통은 감시되는 변수가 미리 설정된 값에 도달할 때 마다 신호를 자동적으로 제공한다. 발생하는 신호들은 2.2장에 있는 성능요건에서 설명되어져 있다.

3.2.2 설계근거(Design Basis) 검토

공학적인안전설비작동계통 설계는 프로그래머블 논리제어기(Programmable Logic Controller : PLC)를 기본으로 하는 디지털설계를 채택하여 높은 정밀도와 신뢰도를 갖는 계통이며, 시험은 모든 트립 및 작동기능에 대하여 연속적인 자동 하드웨어시험 및 수동개시 자동기능시험을 포함한다. 자동시험으로 수행되지 않는 부분에 대하여는 중첩하여 수동시험이 수행된다.

### 3.2.3 응답시간(Response Time) 검토

보호계통동작의 응답시간은 발전소 안전해석 및 가정에 기준하여 정해진다. 전체 허용응답시간은 계통/기기 성능에 바탕을 두고 분석하여 계통에 중요한 기기(Protection, CCC Processor, 등)에 허용되는 응답시간을 만족시켜야 한다. 전체적인 요건은 안전해석에서 주어지는 전반적인 보호응답시간이다. 주어진 보호응답시간에서 설계진행동안에 기기에 대한 실제적인 응답시간을 고려하여 다양한 기기에 대한 고려가 진행되어야 한다. 발전소보호계통의 응답시간은 입력신호에서 출력신호까지 300msec 미만이 되어야 한다.

### 3.2.4 PLC 프로세서에 대한 요건

프로세서요건 그 자체만으로 PLC 장비를 선택하는데 충분하지 않고 계통기능 요건이 프로세서선정에 반드시 고려되어야 한다. 프로세서 선택에 중요한 요점이 아래와 같이 고려 되어졌다.

- PLC 프로세서                   - 장비 물리적/기계적 장점
- 소프트웨어                   - 입·출력 모듈
- 통신요건

위에서의 분석외에도 중요한 장비선정의 요건으로 기존 호기에서의 사용이력등이 요구되어 지는데 올진5&6호기의 발전소보호계통 디지털화에서 사용된 장비들이 참조가 되어졌다. 이와 같은 프로세서 및 통신망에 대한 검토결과 차세대 보호계통에서 사용되는 프로세서로서 잠정적으로 ABB사에서 제공하는 Advant 160로 선정하게 되었다.

### 3.2.5 소프트웨어 디자인 요건

차세대 발전소보호계통에서 소프트웨어설계를 위해 아래와 같은 순서로 진행한다.

- ① 요건단계(Requirement Phase)
- ② 디자인 단계
- ③ 구현단계(Implementation Phase)
- ④ 시험단계
- ⑤ 설치 및 확인단계
- ⑥ 운전 및 보수단계
- ⑦ 제거단계

### 3.2.6 전원 요건

발전소보호계통(Operator's Module..등 포함)에 제공되는 전원은 필수전원공급계통(Vital Instrument Bus Power) 에서 공급되는 120VAC 이다. 한 개의 PLC를 위해 2개(Redundancy)의 24VDC 전원이 공급된다.

## 4. 결    론

차세대원전(KNGR)은 한국형원전(KSNP) 및 ABB-CE Nuplex 80<sup>+</sup> 설계 개념을 활용하고, 차세대원전의 Advanced Design Feature를 반영한 독자적인 개념 설계와 기본 설계를 통합하여 발전소 전체를 디지털 기기를 사용하여 구성하였다. 또한 계통간의 연계 신호도 기존 원전의 실배선에 의한 방법이 아닌 통신망을 사용하여 이루어진다. 기존 원전의 아나로그로 설치된 선택적 동시논리 및 공학적안전설비작동계통 구성을 위한 가정 등을 고려하여 계통들을 PLC(Programmable Logic Controller)로 프로그램화 되어야 한다. 본 논문에서는 차세대원전에서 PLC를 사용하여 프로그램화되어야 할 부분 중 가정되어야 하는 것과 기존원전의 비교를 통하여 정의하였고, 실제 연구원에서 우리기술을 가지고 독자적으로 Prototype을 구현하여 기술자립하려고 노력하고 있다. 향후에 Prototype 구현이 성공하였을 때는 우리나라도 원전 선진국에 진입 할 것으로 생각되며, 또한 Prototype를 수행하며 하드웨어 기능을 분석하여 일부 기능들을 PLC로 프로그램화 하는 등 계통을

재구성하는 작업이 이루어져야 할 것이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] "Criteria for Protection Systems for Nuclear Power Generating Stations", IEEE 279, 1971.
- [2] "Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations", IEEE 323, 1983.
- [3] "Standard Criteria for the Periodic testing of Nuclear Power Generating Station Safety Systems", IEEE 338, 1987.
- [4] "Nuplex 80<sup>+</sup> Advanced Control Complex", ABB-CE, 1993
- [5] "Consulting Report for KNGR Engineered Safety Features Actuation Control System", Work Order No.N-040, ABB-CE, 1997.
- [6] "Consulting Report for KNGR Engineered Safety Features Actuation Control System", Work Order No.N-041, ABB-CE, 1997.
- [7] "한국형 표준원전 계통실무", 한국원자력연구소, 1996.