

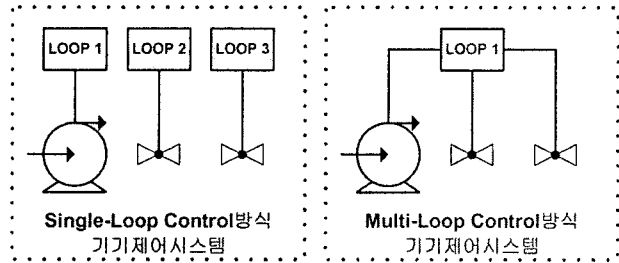
원전기기제어시스템의 위험도 감소 방안

조창환, 김중선, 김양모\*  
 삼창기업(주) 제어기술연구소, \*충남대학교

Risk Decrease Method for Component Control System of Nuclear Power Plant

Chang-Hwan Cho, Jung-Seon Kim, Yang-Mo Kim\*  
 Samchang Enterprise Co., Ltd., \*Chungnam National University

**Abstract** - 디지털기술의 발전으로 원자력발전소의 기기제어시스템은 Single-loop Control과 하드와이어드된 배선을 이용한 제어방식에서 Multi-loop Control과 통신망을 이용한 제어방식으로 변화되고 있다. 이에 따라 기기제어시스템의 단일고장발생시 플랜트 위험도가 증가하게 됨으로 플랜트 위험도 감소를 위한 연구가 필요하다. 위험도 감소를 위한 방안에는 기기제어시스템을 구성하는 기기의 신뢰도를 향상시키는 방법과 제어루프에 작동기기를 적절하게 배치하여 단일고장발생시 플랜트 위험도를 감소시키는 방법이 있다. 본 논문에서는 플랜트 위험도 감소 방안 중 작동기기 할당 방안에 대해 기술하였다.



〈그림 2〉 기기제어시스템의 구성

1. 서 론

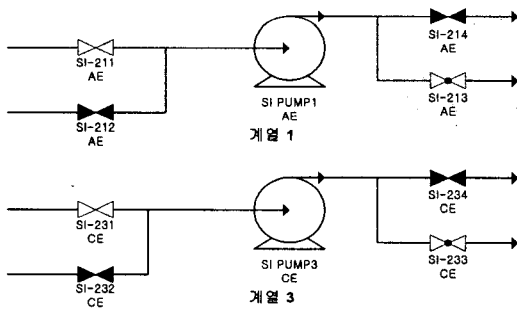
원자력발전소의 기기제어시스템은 디지털기술의 발전으로 Single-loop Control방식에서 Multi-loop Control방식으로 변화하고 있다. 종래의 Single-loop Control방식에 비해 Multi-loop Control방식으로 설계된 기기제어시스템은 콤팩트해지고 현장작동기기와의 연계를 제외하곤 통신망을 사용하므로 배선이 간소화된 장점을 가지고 있다. 하지만 하나의 제어루프에서 여러 개의 기기를 제어하므로 제어루프의 단일고장시 제어루프에 할당된 여러 개의 작동기기가 오작동 할 수 있어 플랜트 위험도 증가를 초래할 수 있다. 그러므로 플랜트 위험도 감소를 위한 방안이 필요하게 되었다. 첫 번째 방안으로, 제어루프의 고장 가능성을 낮추기 위하여 원전기기제어시스템을 구성하는 기기 및 통신망의 신뢰도를 향상시키는 것이다. 두 번째 방안으로, 제어루프에 고장이 발생하더라도 플랜트 안전에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 작동기기를 적절하게 제어루프에 할당하는 것이다.

본 논문에서는 원자력발전소의 안전계통을 분석하여 기능에 따른 원전기기제어시스템의 작동기기 할당 방안을 도출한다.

2. 본 론

2.1 원전기기제어시스템의 구성

원자력발전소의 안전계통은 단일고장에 의하여 안전기능을 상실하지 않도록 다중성 및 독립성을 반영하여 설계되어있다. 그림1과 같이 냉각재상실 사고와 같은 예상치 않은 사고시 원자로냉각재계통에 냉각수를 보충하여 노심 노출을 방지하기 위한 안전주입계통은 100%의 용량을 가진 다중계열로 구성되며 각 계열의 작동기기는 전기 1급의 독립적인 전원공급기로부터 전원을 공급받는다. 또한, 작동기기를 제어하는 원전기기제어시스템은 안전계통의 다중성과 독립성을 유지하기 위하여 다중채널로 구성되고, 각 채널은 물리적, 전기적으로 독립되게 설계되어있다.



〈그림 1〉 안전주입계통

현재 원전기기제어시스템의 채널 내 제어루프는 하나의 프로세서카드에서 하나의 작동기기 제어하는 Single-loop Control방식으로 설계되어있지만 디지털 기술의 발전으로 개발 중인 원전기기제어시스템은 그림2와 같이 하나의 프로세서에서 여러 개의 작동기기 제어하는 Multi-loop Control방식으로 설계되고 있다.

Multi-loop Control방식의 원전기기제어시스템은 기존 Single-loop Control방식의 원전기기제어시스템에서 하드와이어드된 배선을 통하여 제공받던 정보를 통신망을 통하여 제공받으므로 하드와이어드된 배선을 간소화하고, 하나의 프로세서에서 여러 개의 작동기기를 제어하므로 원전기기제어시스템을 크기를 줄일 수 있다.

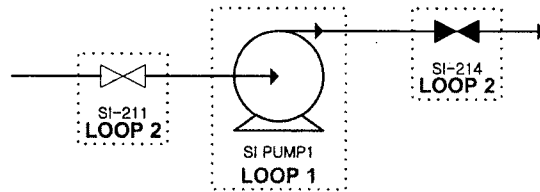
2.2 기기제어시스템의 작동기기 할당 방안

Multi-Loop Control방식에서는 하나의 제어루프에서 여러 개의 기기를 제어하므로 단일고장시 그 제어루프에 할당된 모든 기기들이 오작동 하게 된다. 만약 Multi-Loop Control방식에서는 하나의 제어루프에 그림 1 안전주입계통의 작동기기를 할당하였을 경우 제어루프의 고장으로 안전주입계통이 작동하여 발전소가 트립될 수 있고, 원자로격리밸브를 한 제어루프에 할당하였을 경우 사고시 원자로건물격리밸브가 격리되지 않아 방사능물질의 누출을 초래하여 플랜트 위험도를 증가시킬 수 있다. 따라서 Multi-Loop Control방식의 원전기기제어시스템에서 플랜트 위험도 감소를 위한 작동기기 할당 방안이 필요하다.

본 절에서는 원전기기제어시스템의 채널내 제어루프에 작동기기를 어떻게 할당해야 하는지 기능에 따라 그룹을 지어 살펴보겠다.

2.2.1 동일 기능 위한 작동기기

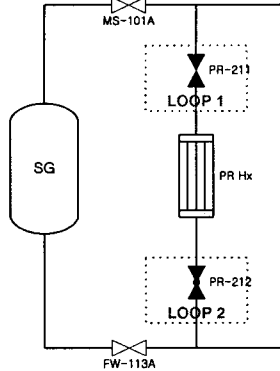
안전주입기능을 수행하기 위해서 그림 2와 같이 직렬로 구성된 밸브(SI-211, SI-214)와 안전주입펌프의 작동이 필요하다. 그림 2에서 안전주입유로가 형성되면 평상시 닫혀있는 밸브 SI-214는 열려야 되고 안전주입펌프는 기동하여야 한다. 만약 이들을 같은 제어루프에 할당하였을 경우 안전주입기능이 요구되지 않았는데 이 제어루프의 고장으로 안전주입유로가 형성되어 플랜트 위험도를 증가시킬 수 있다. 따라서 플랜트 위험도 증가를 방지하기 위하여 밸브 SI-214와 안전주입펌프는 다른 제어루프에 할당해야 할 것 같다. 하지만 밸브 SI-211과 밸브 SI-214를 고려해보면 두 밸브 중 하나의 밸브가 고장으로 닫히게 된다면 안전주입유로가 형성되지 않기 때문에 다른 제어루프에 할당하여 제어할 필요는 없을 것 같다.



〈그림 2〉 동일 기능 위한 작동기기

### 2.2.2 피동계통의 작동기기

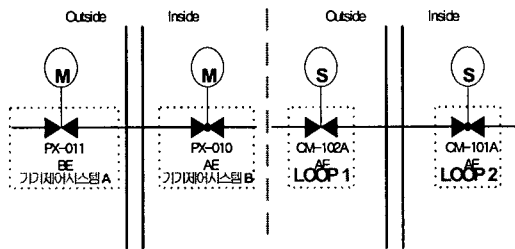
피동계통은 능동기기인 펌프를 작동하여 유로를 형성하는 것이 아니라 펌프 없이 압력차를 이용하여 유로를 형성하는 계통이다. 일체형원자로의 피동계통에는 피동간열제거계통이 있다. 피동간열제거기능을 수행하기 위해서 그림 3과 같이 직렬로 구성된 밸브 PR-211과 PR-212의 작동이 필요하다. 피동간열제거 유로가 형성되려면 밸브 PR-211과 PR-212의 열림 동작이 필요하다. 동일한 기능을 위해 직렬로 설치된 밸브로 가정하여 같은 제어루프에 할당하였을 경우 피동간열제거기능이 요구되지 않았는데 이 제어루프의 단일고장으로 피동간열제거 유로가 형성되어 플랜트 위험도를 증가시킬 수 있다. 따라서 플랜트 위험도 증가를 방지하기 위하여 밸브 PR-211과 PR-212는 다른 제어루프에 할당하여 제어해야 할 것 같다.



〈그림 3〉 피동계통의 작동기기

### 2.2.3 격리 기능을 위한 작동기기

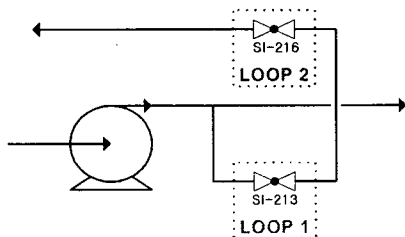
냉각재상실사고, 급수관파단 또는 주중기관파단시 방사능 물질의 누출 완화를 위하여 원자로건물 격리밸브가 원자로건물을 관통하는 공정라인의 내부와 외부에 직렬로 설치된다. 원자로건물격리밸브는 그림 4와 같이 공급전원에 따라 2가지 타입으로 구분할 수 있다. 그림5의 왼쪽과 같이 다른 전원 공급기로부터 전원을 공급받는 작동기기는 각각 다른 원전기기제어시스템의 채널에서 제어된다. 그러나 그림 5의 오른쪽과 같이 동일한 전원공급기로부터 전원을 공급하는 원자로건물격리 밸브(CM-102A와 CM-101A)를 같은 제어루프에 할당하였을 경우 격리가 요구되는데 이 제어루프의 단일고장으로 원자로건물의 관통하는 공정라인이 격리되지 않아 플랜트 위험도를 증가시킬 수 있다. 따라서 플랜트 위험도 증가를 방지하기 위하여 밸브 CM-102A와 CM-101A는 다른 제어루프에 할당하여 제어해야 할 것 같다.



〈그림 4〉 격리 기능을 위한 작동기기

### 2.2.4 서로 보상관계에 있는 작동기기

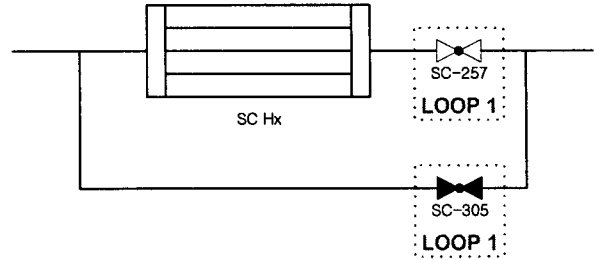
그림 5와 같이 밸브 SI-216은 밸브 SI-213이 닫힘 실패시 유로를 격리하기 위하여 설치된 보상설비이다. 따라서 밸브 SI-216과 밸브 SI-213을 같은 제어루프에 할당하여 제어 할 경우 본래의 기능을 수행할 수 없어 플랜트 위험도를 증가시킬 수 있다. 따라서 플랜트 위험도 증가를 방지하기 위하여 밸브 SI-216과 밸브 SI-213은 다른 제어루프에 할당하여 제어해야 할 것 같다.



〈그림 5〉 서로 보상관계에 있는 작동기기

### 2.2.5 냉각물 및 유량 제어를 위한 작동기기

그림 6과 같이 두 밸브 SC-257과 SC-305는 정기냉각열교환기로 들어가는 유량을 조절하여 원자로냉각계의 온도를 조절한다. 두 밸브 중 하나의 밸브라도 고장 나면 정기냉각열교환기로 들어가는 유량 조절이 불가능하여 원자로냉각계의 온도 조절이 불가능하다. 그렇기 때문에 두 밸브를 다른 제어루프에 할당하여 제어할 필요는 없을 것 같다.



〈그림 6〉 냉각물 및 유량 제어를 위한 작동기기

## 3. 결 론

본 논문은 원전기기제어시스템의 Multi-Loop Control방식을 적용시 플랜트 위험도 감소를 위한 작동기기 할당 방안을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 기기제어시스템의 작동기기 할당 방안을 정리하면 다음과 같다.

- 동일 기능 위한 작동기기는 같은 제어루프에 할당하여야 한다.
- 동일 계열의 밸브와 펌프는 각각 다른 제어루프에 할당하여야 한다.
- 피동계통에서는 동일 계열의 밸브들을 각각 다른 제어루프에 할당하여야 한다.
- 격리 밸브가 같은 채널에서 제어될 경우 각각 다른 제어루프에 할당하여야 한다.
- 같은 계열에 속한 보상설비들은 각각 다른 제어루프에 할당하여야 한다.

본 논문에서 제시한 할당방안을 검증하기 위하여 신뢰도 분석을 통하여 플랜트 위험도가 감소됨을 보일 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 장문희 외, "일체형원자로 기본설계 보고서", KAERI/TR-2142-2002, 한국원자력연구소, 2002
- [2] 구인수 외, "일체형원자로 MMIS설계기술 개발", KAERI/RR-2238-2001, 한국원자력연구소, 2002
- [3] 전력산업기술기준(KEPIC) ENB 3000, "안전계통 단일 고장 기준", 2000