

발전소 적용을 위한 분산제어시스템의 요건과 현황

문 홍 주

한국전력공사 전력연구원 시스템통신연구소

1. 서론

1960년대의 프로그래밍제어기 및 DDC (Direct Digital Control)의 등장을 거쳐, 1970년에 최초로 Honeywell에 의해 분산제어시스템이 등장하게 되었으며 [1], 그후 발전소 및 생산시스템을 비롯한 많은 분야에서 분산제어시스템의 개념이 적용되기 시작했다.

발전소는 다른 분산제어시스템의 적용 분야들에 비해 일반적으로 보수적인 성향이 있고, 발전소의 계측제어 시스템을 구축 및 개보수하는 경우에 다른 유사 시스템에서 충분히 검증된 시스템들을 발전소의 계측제어 시스템에 적용하는 경향이 있다. 발전소는 안정적인 동작이 매우 중요시되는 동시에 전기라는 단일제품을 지속적으로 생산하는 시스템이므로 다른 생산 시스템에서와 같은 빠른 변화가 요구되지 않는다. 또한, 제어 구조가 상대적으로 복잡하게 상호 연관성을 맺는 부분들이 많고 여러 형태의 보호, 경보 및 보조 시스템들을 구축하고 있다.

따라서, 비교적 최근까지도 많은 발전소에서, 입출력 접점들을 일일이 선으로 연결하여 카드형의 아날로그 혹은 디지털 제어기를 사용하는, 재래식의 계측제어 시스템 구성을 갖고 있었고, 현재에도 상당수의 발전소 계측제어 시스템은 이러한 구성을 갖고 있다. 특히, 안전성이 매우 중요시되는 원자력 발전소 계측제어 시스템에서는[2] 현재 대부분의 경우 재래식 시스템으로 구성되어 운영되고 있다.

그러나, 시스템의 노후화와 각종 고기능의 요구, 유지보수에서의 경제성 및 편의성 등의 필요에 따라, 최근에는 발전소 계측제어 시스템에의 디지털 분산제어 시스템의 적용이 활발히 일어나고 있다 [3][4].

본 글에서는 발전소적용을 위한 분산제어시스템의 요건 및 현황을 살펴본다. 2장에서 발전소를 위한 분산제어시스템의 개요를 살펴보고 3장에서 요건을 소개한다. 4장에서 발전소에 주로 적용되는 상용 시스템들의 특징을 알아

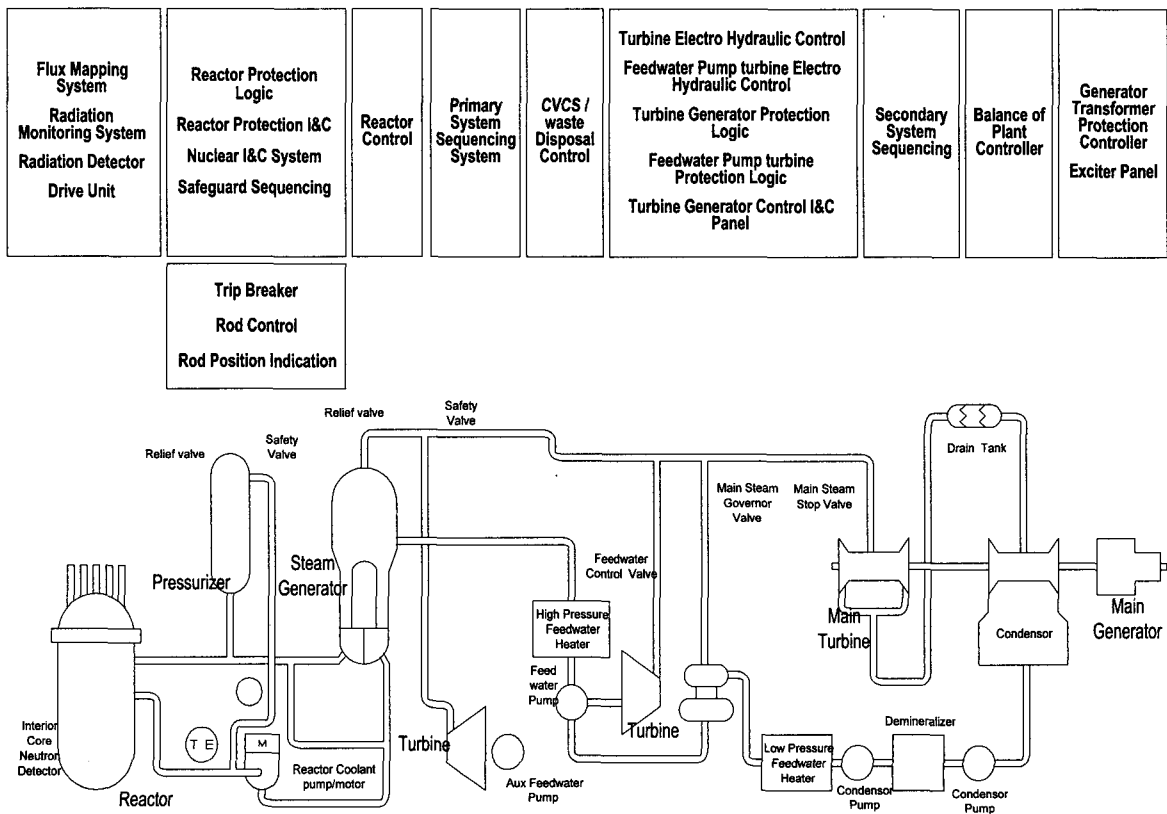


그림 1. 원자력 발전소의 구성과 계측제어 시스템.

보고 5장에서 국내현황을 살펴본다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 발전소를 위한 분산제어시스템의 개요

원자력 발전소의 예를보면 계측제어 시스템은 발전소 제어 계통, 보조 계통 등 이외에도 보호계통, 감시계통, 공학적 안전설비 계통들로 구성된다. 그림 1은 가압형 원자력발전소의 개략적인 구성과 이에 대한 계측제어 시스템을 보여주고 있다. 원자로, 가압기, 증기발생기, 터빈, 발전기 등으로 구성되어 있으며, 각각에 대한 계측제어 시스템이 구성된다 [5][6][7]. 화력발전소도 이와 유사한 구조를 갖고 있으며 원자로 대신 연소로가 구성요소가 되어 연소제어, 급수제어, 온도제어 등의 계통으로 이루어진다[8].

발전소 동작 및 운영을 위한 계측제어 시스템이 제공해야 하는 주요한 기능들을 요약하면 다음과 같다 [4][9][10].

- 운전 기능: 발전소 각 구성요소 및 공정들을 제어하여 발전소를 실시간으로 운전하며 감시할 수 있어야 한다.
- 엔지니어링 기능: 엔지니어 또는 정비자가 발전소를 제어 및 감시하기 위한 프로그램을 작성하고 환경설정 작업을 수행할 수 있어야 한다.
- 공정제어 기능: 입출력 장치로부터 입력값을 받아 미리 구성된 제어 절차 및 방법에 따라 처리 후 해당되는 출력값을 내보낼 수 있어야 한다. 입력값 및 출력값들은 연속변수값 및 논리변수값들이 혼합되어 사용될 수 있다.
- 입출력 기능: 발전소 각 계통에서 입력된 신호를 시스템이 처리할 수 있는 형태의 입력값으로 조정 및 변환하고, 시스템에서 처리되었거나 생성된 출력값을 발전소 현장 기기가 받아들일 수 있는 신호 형태로 변환하여 내보내는 기능이다.
- 자료취득 및 저장기능: 발전소 각 계통으로부터 입력된 자료 및 시스템에서 생성된 자료를 취득하고 저장하여 분석 및 활용할 수 있는 기능이다.
- 기술지원 기능: 발전소의 동작을 위한 설계운전 기능이외에 유지보수를 위한 각종 기능으로, 자기진단 기능, 시험기능 등을 포함한다.

3. 발전소 적용을 위한 분산제어시스템의 요건

발전소 적용을 위한 분산제어시스템이 가져야 하는 기본적인 특성들은 다음과 같다.

- (1) 발전소의 운전을 위해 필요한 각종 기능들을 제공해야 하며 최적의 성능을 유지할 수 있어야

한다. 분산제어시스템의 성능 및 동작이 예측가능하여야 하며 발전소 운전을 위한 요구조건에 맞아야 한다. 또한, 동작중에 발생하는 부하의 변화나 외부 사건의 발생시에도 발전소의 정상적인 운전을 보장할 수 있도록 안정적인 동작 특성을 가져야 한다.

- (2) 발전소의 안전한 운전을 보장해야 하며 이를 위해 필요한 모든 기능들을 제공해야 한다. 가능하면 단순한 형태로 단위구조화하고 분산적인 구조를 갖도록하며, 각 구성요소 및 분산제어시스템의 구조는 견고한 특성을 갖도록 한다.
- (3) 높은 의존성(dependability)이 확보된 설계 및 제작이 되어 여러 운전 조건에서도 제어 및 감시에서의 높은 신뢰성(reliability) 및 가용율(availability)을 제공해야 한다.
- (4) 운전 및 관리에 있어서 용이성과 편리성을 제공해야 하며 발전소의 운전상태 정보를 비롯한 각종 데이터에 대한 접근이 용이해야 한다. 단, 안전운전을 위협할 수 있는 데이터에 대한 접근은 제한할 수 있어야 한다.
- (5) 설치 및 유지 보수의 경제성과 편의성을 제공하여야 한다. 고장이 발생하거나 노후화된 설비의 교체가 용이하여야 하며, 발전소 운전수명 동안의 유지보수성이 보장되어야 한다. 가능하면 표준적인 기준을 채택하여 널리 검증된 기술을 활용할 수 있도록 하며, 구성상의 유연성 및 확장성을 가져야 한다.
- (6) 원자력 발전소의 경우는 특히 시험성, 건전성을 비롯하여 안전성을 보장할 수 있는 방법이 마련되어야 하며, 관련 규제요건들을 만족하는지 확인하여야 한다 [10].

분산제어시스템은 제품 및 특성에 따라 그 구성을 여러 가지 형태로 구분하여 생각할 수 있으며, 대상 시스템에 따라 여러 가지 형태로 구성하여 사용할 수 있다. 본 글에서는 가장 일반적인 구조로 생각되는 그림 2와 같은 형태로 구분한다. 주요 구성요소는 다음과 같다.

- 운전원 스테이션 (OIS; Operator Interface Station)
- 엔지니어 스테이션 (ES; Engineer Station)
- 공정제어 유닛 (PCU; Process Control Unit)
- 입출력 유닛 (IOU; I/O Unit)
- 통신망

이 이외에도 경보 처리 및 사건관리가 주요 구성요소 중의 하나이며, 분산제어시스템의 기본 구성기

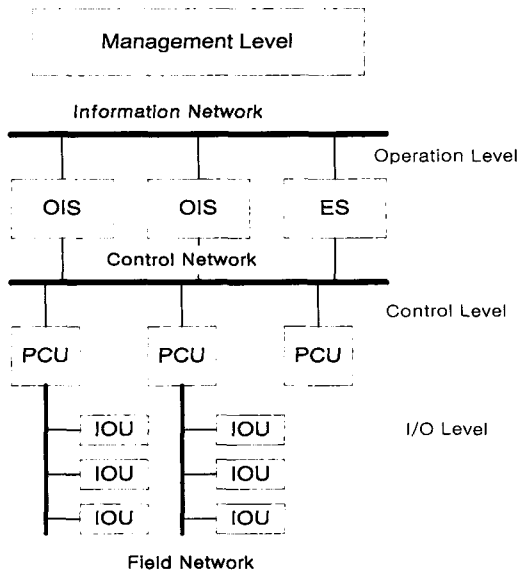


그림 2. DCS의 전체 계통 구성.

기 이외의 기기와 연결하기 위한 게이트웨이나 원격제어를 위한 스테이션 등을 추가로 구성할 수 있다.

그림 2에 나타난 바와 같이 분산제어시스템들은 다시 상위의 관리 시스템과 연계되어 운영될 수 있다. 최근에는 인터넷 등을 통하여 회사전체의 시스템을 통합시키기도 한다.

앞에서 설명한 구성요소 중심으로 발전소 적용을 위한 분산제어시스템의 요건들을 다음에서 설명한다.

(1) 운전원 스테이션

1) 운전원 스테이션은 운전자가 전체 시스템에 대한 제어, 감시 기능을 할 수 있게 하는 장치로서 각종 MMI (Man Machine Interface) 기능을 제공하여야 한다. 운전원 스테이션은 다음의 기능들에 대한 조작 및 수행을 포함한다.

- 시스템 운영과 관련된 각종 운전 조작과 시스템 구성 관리를 포함한 시스템 유지 보수 조작
- 제어 루프 및 로직을 표시하고 제어기 및 스위치를 조작하는 기능
- 프로세스의 상태와 추이(trend) 감시 및 전체 시스템의 감시
- 각종 데이터 수집 및 저장기능을 포함하는 시스템 운전 기록
- 정보 감시 및 처리를 포함하는 시스템 고장 대처 및 분석 조작

* 운전원 스테이션의 일부기능들은 엔지니어 스테이션에서 제공될 수도 있다.

2) 운전원 스테이션은 컴퓨터 유닛, 그래픽 모니터 화면, 조작기, 프린터로 구성되며, 고장요소 및 환

경장애로부터의 영향을 최소화할 수 있도록 하여야 한다. 컴퓨터 유닛은 제어통신망 및 정보통신망과 접속을 가능하게 하는 통신 모듈을 포함한다.

3) 운전원 스테이션은 여러대를 설치함으로써 기능의 분할이나 다중화를 통한 시스템 구축이 가능하여야 한다. 두 대이상의 운전원 스테이션이 설치된 경우 여러 운전원 스테이션의 동작간에 일관성이 유지될 수 있어야 한다.

4) 경보발생시에 간단한 조작으로 사용자의 요구에 맞는 적절한 화면을 부르거나 조치를 시작할 수 있어야 한다.

5) 주요 설정치의 변경이나 주요 명령의 시행 등에 대해 접근 허용도를 설정하고 제한할 수 있는 기능이 제공되어야 한다 (access control).

(2) 엔지니어 스테이션

1) 엔지니어 스테이션은 공정제어 및 감시 관련 설계 자료 및 프로그램을 작성할 수 있는 기능을 제공한다. 엔지니어 스테이션은 다음의 기능을 포함하여야 하며, 이와 같은 작업을 위한 사용자 접속 환경을 제공하여야 한다.

- 각종 입출력 접점들의 정의 및 등록을 포함하는 각종 구성 설정 (각종 데이터베이스 내용의 생성, 편집, 수정, 삭제)
- 제어, 감시, 보호 프로그램작업 (생성, 편집, 수정, 삭제)
- 시스템의 구성에 따라 변경해야 하는 각종 시스템 매개변수들의 추정 및 설정
- 자가진단 및 고장수리를 포함한 유지보수를 위한 각종 기능
- 운전원 스테이션에서 사용할 사용자 정의 접속환경 및 운전환경의 개발 (생성, 편집, 수정, 삭제)

* 상기 기능들의 수행을 위해 필요한 경우 운전원 스테이션 및 공정제어 유닛과 원활한 연계동작을 할 수 있어야 한다.

2) 엔지니어 스테이션은 운전원 스테이션과 같이 컴퓨터 유닛, 그래픽 모니터 화면, 조작기, 프린터 등으로 구성된다.

3) 엔지니어 스테이션은 필요한 경우 두 대 이상을 설치하여 사용할 수 있어야 하며 이 경우 여러 엔지니어 스테이션의 작업내용간에 일관성을 유지할 수 있어야 한다.

4) 시스템 구성을 위한 프로그램은 래더 언어 (ladder language) 및 평선 블록 다이어그램 (function block diagram)과 같은 이해하기 쉽고 널리 사용되는 표준적인 방식을 사용할 수 있어야 한다.

- 5) 시스템은 발전소 적용을 위해 특별히 설계되어 있는, 미리 프로그램된 알고리즘 및 매개변수 설정 방법 등이 제공되어 엔지니어가 손쉽게 시스템의 구성 작업을 할 수 있도록 하여야 한다.
- 6) 특수한 제어 문제 등을 위해 전문화된 알고리즘 등을 엔지니어가 정의하여 사용할 수 있어야 한다.

(3) 공정제어 유닛

- 1) 공정제어 유닛은 입출력 유닛으로부터 신호를 입력받아 제어 및 감시 기능을 수행하고, 처리된 결과를 입출력 유닛으로 전송하는 기능을 갖는다. 공정제어 유닛간의 데이터 교환을 통한 연계동작 및 운전원 스테이션과의 연계동작이 일어날 수 있다. 대상 시스템의 규모에 따라 여러개의 공정제어 유닛이 설치될 수 있다.
- 2) 공정제어 유닛은 연속값을 갖는 프로세스 제어와 논리 제어를 혼합하여 수행할 수 있어야 하며, 제어 이득, 제한 범위, 설정치 등과 같은 제어 변수들을 온라인으로 교정할 수 있는 기능이 제공되어야 한다.
- 3) 공정제어 유닛은 예상되는 환경조건에서 정상동작을 수행할 수 있어야 한다. 또한, 프로그램된 최대부하에서도 실시간 특성을 잃지 않도록 성능 및 자원이 보장되어야 하며 충분한 정도의 여유분을 확보하고 있어야 한다.
- 4) 모든 공정제어 유닛들은 고장이 발생하였을 경우 다른 공정제어 유닛의 고장으로 연결되거나 큰 사고로 확대되지 않도록 설계하여야 한다. 또한, 각 공정제어 유닛들은 필요한 경우 이중화하여 고장발생시 대기중인 예비 공정제어 유닛으로 적절한 전시간 이내에 환하여 연속적인 동작이 가능하여야 한다. 고장발생시 운전원에게 즉시 이러한 상황을 알려야 하며, 고장이 발생한 공정제어 유닛은 정상운전에 영향을 미치지 않고 동작중에 교체가 가능하여야 한다.
- 5) 원자력 발전소에 적용되는 경우에는 특히 다음의 사항을 만족하여야 한다.
 - 모든 성능 및 동작은 예측가능하여야 하며 시스템의 상태의 변화에 따라 동작특성이 크게 변화하지 않고 제한된 범위를 유지하는 안정된 동작을 하도록 설계하여야 한다.
 - 공정제어 유닛의 각 구성요소들은 신뢰도를 향상시키기 위하여 가능하면 검증된 방법을 사용하여 단순한 구성을 갖도록 설계되어야 하며, 다양성, 다중성 및 독립성을 충족하도록 설계되어야 한다.

(4) 입출력 유닛

- 1) 입출력 유닛은 현장에서 수집한 신호를 공정제어기쪽으로 보내거나 공정제어기에서 보낸 신호를 현장으로 출력하는 기능을 수행한다. 입출력 유닛은 공정제어 유닛과 같은 캐비넷 내에 설치될 수도 있고 공정제어 유닛으로부터 원격에 설치될 수도 있다. 입출력 유닛은 단순한 신호의 입출력 기능만을 수행할 수도 있고 간단한 신호의 조정 및 제어기능을 수행하는 경우도 있다. 입출력 유닛이 제어기능 등을 수행하는 경우 입출력 유닛은 단위제어기, 공정제어 유닛은 그룹 제어기 형태의 역할을 담당하게 된다.
- 2) 입출력 유닛은 최소한 아날로그 입력모듈, 아날로그 출력모듈, 디지털 입력모듈, 디지털 출력모듈, 펄스입력모듈 등을 필요에 따라 혼합하여 구성될 수 있어야 한다.
- 3) 입출력 접점들은 전기적으로 격리가 가능하여야 한다.
- 4) 필요에 따라 입력신호를 사전처리하는 기능을 제공할 수 있어야 한다.
- 5) 입출력 모듈들은 최악의 환경조건에서도 내구성이 있어야 하며 접지 및 외란대책이 있어야 한다.

(5) 통신망

- 1) 다음과 같이 크게 구분되는 통신요구발생에 대해 각각의 특성 및 요구사항에 맞게 통신기능 및 성능을 제공하여야 한다. 구분되는 통신요구발생들은 각각 다른 통신망을 통해 처리될 수도 있고, 같은 통신망을 통해 처리될 수도 있다.
 - 운전원 스테이션 및 엔지니어 스테이션들간의 통신
 - 운전원 스테이션 또는 엔지니어 스테이션과 공정제어 유닛간의 통신
 - 공정제어 유닛간의 통신
 - 공정제어 유닛과 입출력 유닛간의 통신
 - 입출력 유닛간의 통신

일반적으로 그림 2에 도시된 바와 같이 공정 제어 유닛과 입출력 유닛간의 데이터 교환을 담당하는 통신망, 공정제어 유닛간의 데이터 교환 및 운전원 스테이션과 공정제어 유닛간의 데이터 교환을 담당하는 통신망, 운전원 스테이션들 사이 및 엔지니어 스테이션 사이의 데이터 교환을 담당하는 통신망으로 구성할 수 있다. 그림 2에는 각각 필드통신망(Field Network), 제어통신망(Control Network), 정보통신망(Information Network)으로 표시되어 있다.

입출력 유닛이 제어기능이 없는 단순 입출력 기능만을 수행하는 경우에는 입출력 유닛간의 통신이 발생하지 않는다. 이 이외에도 기타기기와의 통신 및 상위의 관리 스테이션들과의 통신이 발생할 수 있다.

2) 꼬임쌍선 (twisted-pair cable), 동축케이블 (coaxial cable), 광케이블 등을 필요에 따라 사용할 수 있어야 한다. 특히 전기적 간섭이 우려되는 지역에서는 광케이블을 사용할 수 있어야 한다.

3) 전송속도, 케이블의 최대길이, 통신망에 연결되는 노드의 갯수는 분산제어시스템이 설치되는 발전소의 특성 및 구성에 따라 필요한 범위를 수용할 수 있어야 한다. 예를들어 높은 이용율(utilization)을 제공하는 프로토콜을 사용하여 제어통신망을 구성하는 경우 일반적으로 5Mbps이상의 전송속도를 필요로 하며, 제어통신망에서의 케이블의 길이는 일반적으로 수백미터 이내이면 되나 원거리로 공정 제어 유닛등을 설치하는 경우를 고려하면 리피터나 변환기등을 사용하여 수 km까지 확장할 수 있어야 한다. 제어통신망에 연결되는 노드의 갯수는 일반적으로 수십개 이내이면 되나 공정제어 유닛을 중심으로하여 분산성을 강화할 경우에는 백개이상의 노드연결이 필요할 수 있다.

4) 통신망은 이중화할 수 있어야 하며 자동으로 결합을 감지하여 빠른 시간내에 자동으로 전환하여야 한다. 결합이 발생한 경우 발생위치를 찾아내기 위한 기능이 제공되어야 하며 결합이 발생한 부분을 동작중이 교체 등의 방법으로 수리가 가능하여야 한다.

5) 통신요구발생의 주기/비주기성 및 실시간성/비실시간성을 기준으로 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 실시간성 비주기 통신: 정보, 사고조치 등의 긴급한 통신 등이 이에 해당될 수 있다.
- 실시간성 주기 통신: 주요 공정 제어와 관련한 데이터 교환 등이 이에 해당될 수 있다.
- 비실시간 주기 통신: 대표적인 예로 공정 감시와 관련한 데이터 수집 등이 이에 해당될 수 있다.
- 비실시간 비주기 통신: 프로그램 및 구성정보 등의 다운로드/업로드 등이 이에 해당될 수 있다.

6) 정보보고, 사고조치 등의 긴급한 통신을 실시간으로 처리할 수 있어야 하며 필요한 경우 재전송이 가능하여야 한다. 주요 공정 제어와 관련한 데이터 교환 등은 실시간 주기 통신이 가능하여야 한다. 공정 감시와 관련한 데이터 수집 등을 주기적으로 전송할 수 있어야 하며, 비주기적으로 발생하는 프로그램 및 구성정보 등의 다운로드/업로드 등을 처리할 수 있어야 한다.

7) 통신요구는 그 중요도에 따라 우선순위를 설정할 수 있어야 하며, 정보보고나 사고조치 등과 같이 중요한 통신요구가 중요하지 않은 일반통신요구에 의해 불필요하게 지연되어 처리되는 일이 발생하지 않아야 한다.

8) 통신중에 문제가 발생하면 적절한 조치를 취한 후 사용자에게 정확한 처리결과를 알려주어야 하며, 이상상태나 통신문제발생 등으로 인하여 통신 traffic의 폭주가 일어나지 않도록 해야 한다.

4. 상용시스템의 소개 및 특성 비교

현재 발전소 제어설비에 많이 사용되고 있는 분산제어시스템 제품에는 다음과 같은 것들이 있다. 이 이외에도 다수의 제품들이 발전소 제어설비에 사용되고 있다.

- Westinghouse사의 WDPF II
- Bailey사의 INFI-90
- Foxboro사의 I/A Series
- Siemens사의 Teleperm XP
- Hartmann & Braun사의 Contronic-S
- ABB사의 Advant Controller 160
- Yokogawa사의 Centum CS

위에 나열된 각 상용제품들을 생산하는 업체들은 여러 발전소에 설치되던 시점을 기준으로 한 것으로 현재는 여러 업체들이 인수 및 합병을 통해 많은 변화를 거듭하고 있다. 예를들어 Bailey사와 Hartmann & Braun사의 분산제어시스템 관련부분은 Elsig-Bailey사로 흡수되어 각 사의 제품은 통합된 새로운 분산제어시스템으로의 변신을 꾀하고 있다.

각 분산제어시스템 제품들의 기본적인 특징을 요약하면 표 1과 같다. 분산제어시스템들은 기본적으로 제어모듈 및 통신망 등의 이중화사양을 제공하고 있다. 분산제어시스템의 전체 구조는 제작사에 따라 매우 다양한 구조를 갖고 있으며 매우 수직적인 계층구조를 갖거나 수평적인 분산형태를 갖는다. 분산화의 정도도 제작사에 따라 다양한데, 입출력 유닛에 기본적인 제어감시 기능을 구현하여 필드버스 등으로 연결하는 경우 제어감시 기능에 있어서의 분산성이 매우 강하게 된다. 최근의 분산제어시스템은 대형화, 고분산화, 개방화 등의 특성을 많이 추구하는 추세이다.

5. 발전소를 위한 분산제어시스템 국내 기술

발전소 계측제어 시스템을 위한 디지털 분산제어시스템 분야의 국내 기술 자립은 한국 전력 공사의 적극적인 노력하에 국내 각 관련업체, 연구소, 학계

표 1. 상용 분산제어시스템의 특징.

항 목	WDPF II	INFI-90	I/A Series	Teleperm XP	Contronic-S	Advant Controller	Centum CS
주요 특징	Westnet II 통신망 중심으로 수평적 분산 구조.	Infi-Net을 중심으로 시스템을 통합. Infi-Net에 연결되는 제어유닛은 다시 계층구조	Process LAN 및 필드버스를 통한 기능적, 물리적인 분산구조. 필드버스 모듈들이 필드 제어감시 기능	수직적 계층구조. 운전 레벨의 OM, ES, D S와 제어를 위한 AS로 구성.	수직적 계층구조. 운전 레벨의 CS-M, CS-O, CS-E와 제어를 위한 CS-C등으로 구성.	수직적 계층구조. 운전레벨, 제어레벨, 현장 레벨로 구성.	피라미드형 계층구조로 확장성고려. PCU, plant, domain, system 순의 계층구조화.
통신망	Westnet II Data highway와 Ethernet Information highway	Infi-Net, Control way, Slave bus의 계층구조.	정보통신망, 제어통신망, 필드버스로 구성.	Terminal bus (SINEC HI F O), Plant bus (SINEC HI F O) 및 필드버스 (SINEC LI,2)의 계층구조	Operation을 위한 통신망과 제어를 위한 통신망을 구분 (SO net/SC net, O bus/C bus)	Plant Network, Control Network, Control Bus (AF100)의 계층구조	제어용 Vnet, 운전용 Enet 및 Ethernet. OIS간의 통신은 Enet사용.
통신 특징	Westnet II는 2 Mbaud, 254개까지의 drop 허용, 16,000점의 data가 1초 이내에 주기적 갱신 가능.	Infi-Net은 10Mbps, 250 노드의 Ring 형태로 Buffer Insertion 형식. Controlway는 1 Mbps, 32 기기. Slave bus는 500 Kbps, 64 기기.	노드간 연결을 위한 Node Bus는 IEEE 802.3 방식으로 10Mbps, 64개 스테이션 연결. 필드버스 모듈들은 64개까지 연결.	Terminal bus 및 Plant bus는 10 Mbps Ethernet 방식에 기반하여 구성.	SO net은 10 Mbps Ethernet, T CP/IP. SC net, O bus, C bus는 1 Mbps, token passing, SDLC.	Control bus의 경우 1.5Mbps, 79x4의 노드 연결.	Vnet은 token-passing 방식으로 10Mbps. read/write communication, message communication, link transmission 제공.
결합 허용성의 주요 특징	Westnet II 이중화. 제어 function들의 분산화.	통신망 및 제어 모듈들의 이중화.	각 통신망의 이중화. 각 기능 및 모듈들의 분산화.	Plant bus의 통신 프로세서 이중화. 제어 유닛 및 I/O 모듈들의 이중화 연결 가능.	통신망 및 제어 모듈의 이중화.	통신망 및 제어 모듈의 이중화.	통신망 이중화. PCU는 프로세서 4개가 2개씩 짝으로 이중화하여 결과 비교후 전환.

의 긴밀한 공조로 진행되어 왔다. 아래에 나열된 사례들은 이미 수행되었거나 진행중인 주요한 기술 자립 관련 연구 및 적용 사례들 중의 일부를 소개하는 것이다 [6][10][11]. 이 이외에도 각 발전소 중심으로 수행된 발전 설비의 국산화 교체 및 적용 등의 다수 사례들이 있다. 국내의 발전소를 크게 수화력 발전소 분야와 원자력 발전소 분야로 구분하여 각각에 대한 현황을 소개한다.

수화력 발전 분야

- * 인천화력발전소 3,4호기 데이터 로깅 시스템 개발 및 적용: 한전 전력연구원과 국내업체 공동 개발 (1989.8 - 1991.12). 고기능 MMI 구현.
- * 서울화력발전소 4호기 분산제어시스템 개발: 한전 전력연구원과 국내업체 공동개발 (1990.4 - 1992.12). 주제어반을 포함한 최초의 국산 분산제어시스템의 적용
- * 울산화력 및 삼랑진 양수 발전소 데이터 로깅 시스템 개선: 한전 전력연구원, 울산화력발전소, 삼랑진양수발전소 등이 주관하여 국내업체 참여
- * 평택화력발전소 1,2,3,4호기 보일러 제어 시스템 개발: 평택화력발전소 주관으로 국내업체 참여 (1995-1996). 디지털 제어 모듈을 통합한 형태의 분산형 제어시스템을 개발하여, 기존의 구형 외국 설비를 교체

- * 평택화력발전소 1,2,3,4호기 데이터 로깅 시스템 및 복제주화력발전소의 제어시스템의 개발: 한전 전력연구원 주관으로 국내업체 등 참여 (1992.1 - 1996.5).
- * 여수 화력발전소 디지털 분산제어 시스템 실용화 적용: 한전 전력연구원 주관으로 국내업체 등 참여 (1996.10 - 현재)

원자력 발전 분야

- * 고리원자력발전소 1,2,3,4호기 증기발생기 수위 제어 계통 디지털화 및 적용: 한전 전력연구원 자체 수행 (1989.4 - 1993.5). 상용 분산제어시스템을 사용하여 증기발생기 수위제어 시스템 개발
- * 고리원자력발전소 1호기 소내 감시시스템: 고리원자력발전소 주관으로 국내업체 참여 (1997 - 1998).
- * 차세대 원전 계측제어시스템 기술개발: 한전 전력연구원 주관으로 한국전력기술, 원자력연구소, KAIST 등 참여 (1992.12 - 현재). Off-the-shelf 모듈형제어기에 기반한 분산제어개념의 원전 전체 계측 제어 시스템의 통합, 설계 및 검증 기술 개발. 향후에 건설될 차세대 원전에 적용
- * 원전용 분산제어시스템의 국산화 개발: 한전 전력연구원 주관으로 국내업체 및 학계 참여 (1996.2 - 현재). 원전용 고신뢰성 분산제어시스

템의 실용화 수준의 개발. 차세대 원전을 비롯한 신규건설 원전 및 기존 원전의 설비교체에 적용 목적으로 개발.

발전소의 제어시스템들의 발전단계는 아날로그 제어시스템의 국산화, 외국의 상용 (분산) 디지털 제어 시스템을 사용한 국산화 개발, 디지털 제어 시스템의 국산화 및 이를 사용한 발전소 계측 제어 시스템 개발, 국산화 시스템의 성능 및 신뢰성 향상의 순으로 요약할 수 있다. 현재 상용 디지털 분산제어시스템을 사용한 발전소 계측제어 시스템의 구축 및 운용기술을 확보하고 있으며, 디지털 분산제어시스템에 대한 기술자립 연구를 꾸준히 계속하고 있다. 앞서서도 나열된 바와 같이 여러 국내 업체들이 발전소용 분산제어시스템의 기술을 보유하고 있으나, 감시 분야 뿐만 아니라 제어 및 보호를 포함하는 발전소 시스템에 대한 상용화 수준의 본격적인 적용을 위해서는 아직 개선해야 할 점들이 남아 있다.

현재 국내에서 발전소용 분산제어시스템의 국산화 기술을 확보하고 있거나 제품을 공급하고 있는 주요업체들로 (주) LG 산전, (주) 삼성전자, (주) 우리기술의 3사가 가장 활발한 활동을 하고 있다. 삼성전자는 SPACE 3000의 모델명을 갖는 분산제어시스템 제품을 가지고 있으며, LG 산전은 MASTER P-3000이라는 분산제어시스템을 공급하고 있다 [7]. 각 사들은 성능 및 기본 구조를 개선한 신제품을 개발중에 있으며, 우리기술은 올해 하반기 자체기술로 개발한 분산제어시스템을 출시예정이다 [12]. 현재 LG 산전의 분산제어시스템이 발전소에 가장 활발히 적용되고 있으며, 삼성전자의 신제품 개발과 우리기술의 분산제어시스템 제품 개발로 국산 분산제어시스템 제품의 더욱 활발한 적용이 기대된다. 그외에도 국내의 많은 업체들이 관련 분야의 참여와 연구를 진행하고 있다. 6. 결론

국내의 발전소를 크게 수화력 발전소와 원자력 발전소로 구분하여 볼 때, 수화력 발전 분야에는 이미 많은 부분에 디지털 분산제어 시스템이 적용되어 있으며, 많은 부분에 대한 국산화 기술 적용 연구가 성공적으로 수행되어 왔다. 원자력 발전 분야는 수화력 발전 분야와 달리 높은 신뢰성 및 안전성이 요구되기 때문에 많은 관련 규제요건이 있으며, 충분히 검증된 시스템만을 사용하고 있어서, 디지털 분산제어 디지털 분산제어시스템의 적용이 상대적으로 늦다. 외국에서도 원자력 발전 분야에서는 기존의 아날로그 제어방식을 채택하고 있는 경우가 많으며, 소수의 발전소에서만 디지털 분산제어시스템을 적용하고 있는 실정이다.

현재 국내에서는 관련 기술분야 선진 외국과의 기술 격차를 해소하고 기술자립을 이룩하기 위하여 수화력 발전 분야 뿐만 아니라 원자력 발전 분야에서의 디지털 분산제어시스템의 개발 및 적용연구도 활발하게 진행하고 있다.

수화력 발전소 분야의 디지털 분산제어시스템 실용화 적용 연구 및 원전용 계측제어 시스템 관련 기술 개발 연구가 완료되면 관련 기술분야의 선진국 수준으로의 기술자립이 이루어질 것으로 기대된다.

감사의 글

본 글의 작성하는데 많은 도움을 주신 박익수 처장님을 비롯한 전력연구원 원전 DCS 개발팀의 연구원분들께 많은 감사를 드리며, 국내 발전소 계측제어 시스템 및 분산제어시스템 기술자립을 위해 애쓰시는 한국전력, 학계, 연구소 및 산업체의 관련 연구원분들께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] D. Popovic and V. P. Bhatkar, *Distributed Computer Control for Industrial Automation*, Marcel Dekker, Inc., 1990.
- [2] 최중인, "원자력 계측 제어 (I&C)의 특징," 제어·자동화·시스템 공학회지, 제2권, 제5호, pp. 5-9, 1996년 9월.
- [3] 박익수, "발전소 제어시스템의 기술자립 전략," 제어·자동화·시스템 공학회지, 제2권, 제5호, pp. 42-48, 1996년 9월.
- [4] D. J. Damsker, "Towards advanced concurrency, distribution, integration, and openness of a power plant distributed control system (DCS)," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 6, no. 2, pp. 297-301, June, 1991.
- [5] K. C. Lish, *Nuclear Power Plant Systems and Equipment*, Industrial Press Inc., 1972.
- [6] 제 1 회 원전 I&C Workshop 발표집, 한국전력공사 전력연구원 및 한국 원자력연구소 주최, 서울, 1994년 6월.
- [7] 제1회 디지털제어기술 Workshop 발표집, 한국전력기술주식회사, pp. 2-6, 1996년12월.
- [8] 김은기, "국산개발 DCS의 발전소 적용," 전기학회지, vol. 41, no. 9, pp. 5-11, 1992년 9월.
- [9] 문봉채, "발전소용 분산제어 시스템의 개발," 전기학회지, vol. 41, no. 9, pp. 23-3, 1992년 9 월.
- [10] 원전 자동제어설비의 디지털화 개발 (II) - 제 2차 중간보고서, 한국전력공사 전력연구원, 1998.

- [11] 전력연구원 연간 활동 보고서, 전력연구원, 1997년.
- [12] EXOS 차세대 개방형 분산제어시스템 소개자료, (주)우리기술, 1998.

문 홍 주

1968년 출생.

1991년 - 1993년 서울대학교 제어계측공학과 학사 및 석사.

1998년 2월 서울대학교 제어계측공학과 공학박사.
현재-한국전력공사 전력연구원 시스템통신연구소 선임연구원.

<관심분야>

- 이산 사건 시스템
- 자동화 시스템
- 분산제어시스템
- 산업용 통신망
- 발전소 계측제어 시스템 등