

원전용 분산제어시스템을 위한 통신망 요건의 개발

Development of the Requirements of the Communication Network for a Distributed Control System of a Nuclear Power Plant

문 홍주, 이 성우, 박 익수

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요약

본 논문에서는 원전용 분산제어시스템을 위한 통신망의 요건을 제시한다. 원전용 분산제어시스템의 통신망을 계층구조에서의 위치와 역할에 따라 정보통신망, 제어통신망, 필드통신망의 세가지로 구분하여 전체통신망에 대한 일반요건을 제시하고, 주요 제어 기능 등에 관계하는 중위권의 제어 통신망에 대해 중점적으로 논한다.

Abstract

This paper presents the requirements of the communication networks for a distributed control systems of a nuclear power plant. This paper classifies the communication networks of a distributed control systems by the information network, the control network, and the field network in view of their functions and the positions in the distributed control system. The general requirements for these networks are provided and the detailed requirements for the control network is discussed.

1. 서론

1960년대의 프로그램형제어기 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 동시

에 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 집점들을 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 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 [2]. 원자력 발전소의 계측제어 시스템에서도 재래식 시스템의 경직성, 단종 부품의 증가, 유지보수의 어려움 등의 이유로 새로운 디지털 시스템으로의 개선이 강력히 요구되고 있는 실정이다. 현재, 차세대 신형 원전에서는 디지털 기술의 적용을 기본 설계요건으로 하고 있으며, 원전에 적용하기 위한 분산제어시스템의 연구가 국내에서 진행중에 있다 [3][4][5][6].

원자력발전소는 안전성이 가장 중요한 설계 요구사항으로 다중보호 개념의 안전설계, 시공, 운전 및 유지보수를 비롯하여 엄격한 품질검사 및 운전지침등을 통한 고도의 발전소 건전성을 필요로 한다 [5]. 따라서, 원전 계측제어 시스템을 디지털 분산형 제어 시스템으로 구축하고자 할 때, 안정적인 동작의 확보, 신뢰성 및 안전성의 확보 등이 가장 우선적인 요소가 된다. 이를 위하여 하드웨어 및 소프트웨어 까지를 포함하는 구성요소들에 대한 확인 및 검증 (V&V; verificatio & validation)이 필수적인 과정이 된다 [7].

통신망은 디지털 분산제어시스템의 주요구성요소들을 서로 연결하여 주는 중추적인 기능을 담당하고 있는 부분으로 기존의 아날로그형 계측제어시스템에서 디지털 계측제어시스템으로의 변화에 있어서 가장 핵심적인 부분이라고 할 수 있다. 따라서, 디지털 분산제어시스템을 원전 계측제어 시스템에 적용하고자 할 때, 통신망에 대한 집중적인 연구와 분석이 필요하다. 현재, 원전용 디지털 계측제어 시스템의 통신망에 대한 일부 문서나 결과들이 있으나 주로 종래 아날로그 시스템에서의 개념으로 출발한 것이 많으며, 완전 디지털 분산제어시스템으로 개선하고 할 때, 새로운 개념의 정립과 구체적인 요구사항의 수립 및 성능의 평가등이 요구되고 있다.

본 논문에서는 2장에서 원전용 분산제어시스템의 기본적인 구성과 특성을 간단히 살펴보고, 3장에서 통신망에 대한 일반 요건을 제시한다. 4장에서는 제어용 통신망에 대한 상세한 요건에 관해 논한다. 5장에서 결론을 맺는다.

2. 원전용 분산제어시스템의 특성

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 논문에서는 그림 1와 같은 형태로 구분한다. 주요 구성요소는 다음과 같다.

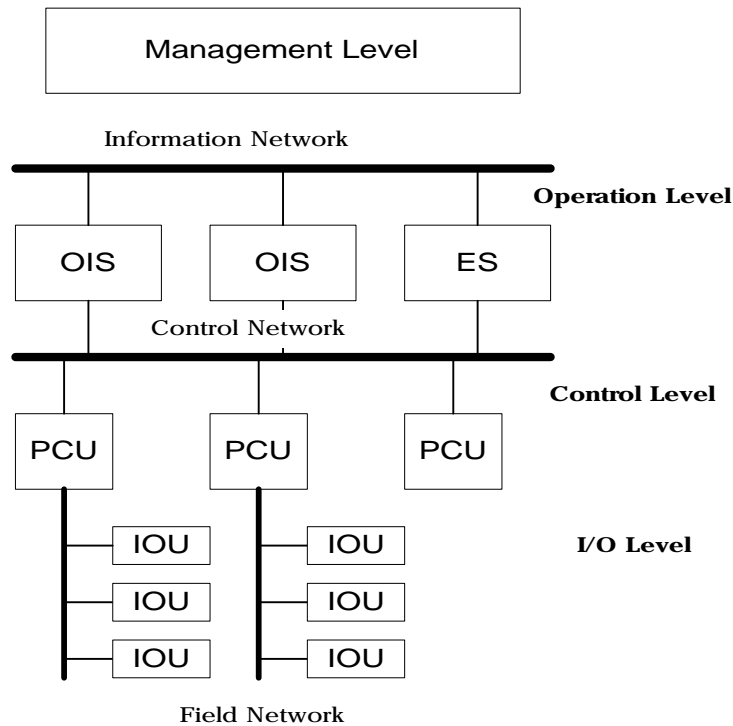


그림 1. 원전 분산제어시스템의 전체 계통 구성.

- 운전원 스테이션 (OIS; Operator Interface Station): 운전 기능, 자료취득 및 저장 기능 제공
- 엔지니어 스테이션 (ES; Engineer Station): 설계 기능, 운전 지원 기능 제공
- 공정제어 유닛 (PCU; Process Control Unit): 제어 기능, 경보발생 및 보호 기능 제공
- 입출력 유닛 (IOU; I/O Unit): 입출력 기능 제공
- 통신망: 각 구성요소들을 연결하여 모든 기능에 관여

이 이외에도 SOE (Sequence Of Event) 등이 별도의 구성요소로 포함될 수 있으며, 분산제어시스템의 기본 구성기기 이외의 기기와 연결하기 위한 게이트웨이나 원격제어를 위한 스테이션 등을 추가로 구성할 수 있다.

이러한 분산제어시스템을 원전에 적용하기 위하여 갖춰야 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. 가능한 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 감시

에서의 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 [6].

3. 원전 분산제어시스템을 위한 통신망

그림 1과 같은 구조를 갖는 원전 분산제어시스템에서의 통신망은 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 1에 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 1에는 각각 필드통신망 (Field Network), 제어통신망 (Control Network), 정보통신망 (Information Network)으로 표시되어 있다. 본 논문에서는 먼저 이러한 세가지의 통신망에 대한 일반 요건을 제안하고, 이 가운데에서 제어 및 보호를 위해 가장 중추적인 기능을 담당하는 제어통신망의 상세 요건에 대해 논의한다.

원전용 분산제어시스템을 위한 통신망의 일반 요건은 적어도 다음사항들을 만족하여야 한다. 다음사항에 언급되는 사용자는 통신서비스를 요구하거나 제공받는 응용 프로세스를 포함한 분산제어시스템의 임의의 구성요소 및 운전원, 엔지니어를 포괄적으로 지칭한다.

가. 기능성

- 1) 통신망을 통하여 연결되는 원전 분산제어시스템 구성 요소간에 발생하는 통신요구를 처리할 수 있어야 한다.

- 2) 원전 분산제어시스템의 제어 및 보호 감시 동작을 위하여 필요한 통신 속도 및 통신 관련 용량을 제공하여야 한다.
- 3) 통신상의 오류발생시 이에 대한 적절한 처리가 있어야 한다. 통신상의 오류발생시 이를 사용자에게 즉시 알려야 하며, 통신상의 어떤 오류의 발생이 새로운 통신요구에 정상적인 동작의 수행에 영향을 미치지 않아야 한다.

나. 동작투명성 및 접속용이성

- 1) 통신망은 사용자에게 대한 동작투명성을 제공하여야 한다. 사용자는 통신망의 기작에 대한 이해없이도 정의된 절차에 따라 제공되는 접속방법을 따름으로써 모든 통신기능을 제공받을 수 있어야 한다.
- 2) 통신망의 동작과 관련된 매개변수들은 통신망에 자동으로 설정하거나, 적절한 매개변수값들을 얻을 수 있는 방법이 제공되어야 한다. 그러나, 운전중에 통신망 매개변수값들이 가변되지 않도록 하여야 한다.

다. 고의존성 및 안전성

- 1) 원전 분산제어시스템용 통신망은 높은 가용성 (availability) 및 높은 신뢰성 (reliability)을 갖추어야 하며, 안전성이 고려되어야 한다. 이를 위하여 필요한 부분에 대하여 결함허용성을 갖도록 한다.
- 2) 원전 분산제어시스템용 통신망은 전체 분산제어시스템의 의존성 및 안전성을 저하시키지 말아야 한다.
- 3) 통신망에서 발생한 오류가 원전 분산제어시스템의 다른 부분에 전파되는 것을 가급적 방지하여야 한다. 이를 위하여 통신망에서 발생한 모든 오류를 감지하여 통신망의 사용자에게 즉시 알려주어야 한다. 통신망의 오류발생시 관련사항을 보고하여 사용자가 적절한 조치를 통해, 통신오류의 다른부분으로의 전파를 통한 안전성의 위협을 방지할 수 있도록 하여야 한다.
- 4) 요구되는 계통 신뢰성을 확보하기 위해 데이터 전송로는 반드시 이중화되어야 한다. 이중화된 전송로간의 전환은 시스템 동작을 교란시키지 않고 자동적으로 되어야 한다. 이중화된 통신망은 운전중 자동적이고 지속적으로 점검이 이루어져야 하며, 고장의 보수후 자동적으로 원상태로 복구가 가능하여야 한다.

라. 단순성, 단위구조성 및 분산성

- 1) 가능하면 단순한 구조를 채택하여 잠재적인 결함발생 요인을 최소화시키고, 구현 및 유지보수성을 높인다.
- 2) 통신망을 구성하는 각 단위 기능 요소들은 잘 정의된 단위구조형태화시키고 단위기능요소간의 불필요한 연관성을 없애도록 한다. 단위구조에서 정의하는 기능성 및 입출력관계에 의해 계층적 또는 분산적인 구조체의 반복에 의해 전체 통신망이 구성되도록 한다.
- 3) 통신망은 가능하면 분산적인 구조를 갖도록 구성하여 한 모듈의 고장에 의한 영향을 최소화시키도록 한다.

마. 안정성

- 1) 통신망의 모든 동작은 통신망에 대한 통신 기능의 요구가 사용자의 기준을 만족하는지의 여부

를 확인할 수 있는 수준까지 예측이 가능하도록 결정론적인 (deterministic) 동작을 하여야 한다.

- 2) 동작중에 발생하는 부하의 변화나 외부 사건의 발생 등에 의해 분산제어시스템의 기본적인 동작에 영향을 주지 않는 수준 이내로 통신기능의 안정적인 동작이 보장되어야 한다. 이를 위하여, 어떠한 악조건 상황에서도 유지될 수 있는 최고부하의 설정이 가능하여야 한다.

바. 견고성

동작중 의도하지 않은 요인에 의해 정의된 기본동작이 영향을 받을 수 있는 가능성을 최소화시키도록 한다. 이를 위하여 통신망을 구성하는 요소들의 불필요한 변동이나 외부요인에 의한 침해 등이 어렵도록 하며, 정상적인 동작을 위하여 정의되어 있지 않은 외부 영향이나 입력에 대해 적절한 대처하도록 하고, 정상적인 동작을 위하여 정의되어 있지 않은 상태에 있을 가능성을 극소화하도록 한다.

사. 유지보수성

통신망의 유지보수에 필요한 기능성이 제공되어야 한다. 시스템의 시동, 정지, 구성의 변경, 상태의 점검, 수리 등에 필요한 기능들을 제공하여야 한다.

아. 시험성 및 분석성

- 1) 시스템의 건전성의 확인, 정의된 동작의 시험 등이 가능하여야 한다.
- 2) 동작중에 결함 발생여부의 감시 및 오류의 검사 등을 위한 기능이 제공되어야 하며, 결함발생요인 및 위치의 검출 등을 위한 기능이 제공되어야 한다.

자. 개방성 및 접근성

- 1) 가능하면 표준적인 기준을 채택하여 널리 검증된 기술을 활용할 수 있도록 하며, 유지보수성을 높이도록 한다.
- 2) 통신망은 가능한 부분에 대해서 본 원전 분산제어시스템에서 정의하고 있지 않은 일반 기기들의 접속이 가능하도록 한다.

차. 확장성

- 1) 통신망은 원전 분산제어시스템이 여러형태로 구성될 수 있도록 유연성을 제공하여야 한다. 예를 들어 통신망에 연결되는 노드들에 대한 전제조건을 최소화시키고 특정한 기능을 하는 노드들이 특정한 형태로 연결되도록 제한하지 않도록 해야한다.
- 2) 통신망은 가능한 범위내에서 필요한 만큼 연결되는 노드의 수나 통신 데이터의 양에 제한을 두지 않고 확장 또는 재구성이 가능하도록 해야 한다.

4. 제어 통신망의 상세 요건

제어 통신망의 상세 요건은 여러 가지 내용을 포함한다. 다음과 같은 항목들이 정의될 수 있다.

- (1) 매체관련 요건: 전송매체 및 전송선로의 종류, 통신망 topology, 전송선로의 길이, 전송률, 통신

- 망에 연결될 수 있는 스테이션의 최대 갯수, 매체제어방식, 매체에서의 에러율
- (2) 처리할 수 있는 통신요구 및 제공되는 통신서비스의 종류 및 정의
 - (3) 통신성능 및 용량: 최대 또는 평균 전송지연, 최대 또는 평균 응답시간, 정의할 수 있는 데이터 종류의 최대 갯수, 동시에 처리 가능한 데이터 용량
 - (4) 오류처리: 대처하는 통신오류의 종류 및 처리 방법, 오류발생률
 - (5) 의존도 및 안전성: 신뢰도, 가용도, 다양성, 채널간의 분리, 다중화 등
 - (6) 사용자 접속
 - (7) 유지보수: 시험 및 분석기능, 수리방법, 초기화를 포함한 구성관리
 - (8) 확장 및 외부기기와의 연결

제어 통신망에서 처리해야 하는 통신요구는 그 특성에 따라 다음과 같이 크게 네가지로 분류할 수 있다.

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

통신요구는 그 중요도에 따라 우선순위를 설정할 수 있어야 하며, 경보보고나 사고조치 등과 같이 중요한 통신요구가 중요하지 않은 일반통신요구에 의해 불필요하게 지연되어 처리되는 일이 발생하지 않아야 한다. 즉, 상위 우선순위의 통신요구는 하위 우선순위의 통신요구에 관계없이 독립적인 기능 및 동작이 보장되어야 한다. 통신망의 전체 bandwidth를 네가지로 구분하여 하위의 우선순위가 상위 우선순위를 침해하지 않도록 해야하며 동시에 네가지 통신요구에 대한 채널을 분리하여야 한다.

5. 결론

본 논문에서 원전용 분산제어시스템을 위한 통신망이 가져야 하는 요건을 제시하였다. 원전용 분산제어시스템은 안정적인 동작 및 안전성이 매우 중요시되므로, 실시간성, 결정론적 동작, 오류처리 등이 중요한 특성들이 된다. 모든 동작, 성능 및 용량 들은 미리 제시되거나 예측 가능한 형태로 제공되어야 한다.

국내의 발전소를 크게 수화력 발전소와 원자력 발전소로 구분하여 볼 때, 수화력 발전소 분야에는 이미 많은 부분에 디지털 분산제어 시스템이 적용되어 있으며, 많은 부분에 대한 국산화 기술 적용 연구가 성공적으로 수행되어 왔다. 원자력 발전소는 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 분산

제어시스템을 적용하고 있는 실정이다. 또한, 원전 계측제어 시스템 관련 문서들도 구형시스템 개념으로 서술되어 있는 경우가 많다.

현재 국내에서는 관련 기술분야 선진 외국과의 기술 격차를 해소하고 기술자립을 이룩하기 위하여 수화력 발전 분야뿐만 아니라 원자력 발전 분야에서의 디지털 분산제어시스템의 개발 및 적용연구도 활발하게 진행하고 있다. 통신망은 디지털 분산제어시스템의 동작 특성을 결정짓는 가장 중요한 요소중의 하나로서 앞으로도 많은 연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] D. Popovic and V. P. Bhatkar, *Distributed Computer Control for Industrial Automation*, Marcel Dekker, Inc., 1990.
- [2] 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, June 1991, pp. 297-301.
- [3] 문봉채, "발전소용 분산제어 시스템의 개발," *전기학회지*, Vol. 41, No. 9, 1992년 9월, pp. 23-37.
- [4] 원전 자동제어설비의 디지털화 개발 (II) - 제2차 중간보고서, 한국전력공사 전력연구원, 1998.
- [5] 권기춘, "원전 개량형 계측제어계통 기술 개발 동향," *제어 자동화 시스템 공학회지*, 제 2 권 제 5 호, 1996년 9월, pp. 34-41.
- [6] 김영백, 홍형표, 한재복, "분산제어방식을 적용한 CANDU형 발전소의 계측제어계통," *제어 자동화 시스템 공학회지*, 제 2 권 제 5 호, 1996년 9월, pp. 56-62.
- [7] 최중인, "원자력 계측 제어 (I&C)의 특징," *제어 자동화 시스템 공학회지*, 제 2 권 제 5 호, 1996년 9월, pp. 5-9.