

분산제어시스템 통신망의 소프트웨어 시뮬레이션을 통한 성능 분석

조항신 오응세 박두용 송성일
한국전력공사 전력연구원

The Network Performance Analysis of Distributed Control System using Software Tool

H.S. Jo E.S. Oh D.Y. Park S.I. Song
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - This paper presents the network of Distributed Control System(DCS) considering specification of nuclear power plant. The network is composed of field network, control network and information network. The protocol of control network is ring type and it is compared to ethernet type. This paper proposes the structure of DCS, the protocol of each network and analyzes the network traffic along data capacity of field network, control network, information network and the network performance. Network II.5 is used as traffic simulation tool.

1. 서 론

분산 디지털 제어 시스템은 첨단 디지털 기술의 채택으로 기존의 아날로그 설비의 문제점들을 해결함과 동시에 규모가 크고 다양한 기능을 제어할 수 있으며, 자기 진단 기능 등의 부가기능으로 보다 신뢰도가 높은 제어가 가능하여, 높은 안전성과 신뢰성을 필요로 하는 원자력 발전소에서도 점차 적용하는 추세에 있다. 현 국내 디지털 통신망의 기술은 국외 통신망 기술수준으로 점진적인 발전을 하고 있으나, 여러 가지 제약조건이 요구되는 원전 디지털 통신망의 경우는 현 국내 기술이 국외 기술에 비해 10년이상 뒤떨어지고 있다. 현재 개발중인 디지털 통신망은 개발 완료 후 국외 기술과의 격차를 현격히 줄여줄 것이다. [1] 기존의 분산 제어 시스템(DCS)의 설계에서는 제어 통신망과 정보 통신망이 분리되어 있었으나, 최근의 DCS에서는 제어/정보 통신망을 구분하지 않는 추세이므로, 제어 통신망과 정보 통신망을 통합하여 Fast Ethernet으로 구성하는 방안이 고려되었다. 본 논문에서는 3계층으로 이루어진 통신망과 제어/정보 통신망을 통합한 통신망간의 비교를 해보았으며, 공정제어기(Process Control Unit:PCU)를 이중화하였을 경우의 트래픽을 분석해 보았다.

2. 일반적인 통신망의 구조

2.1 통신망 구조의 의미

통신망 구조란 네트워크를 구성하는 노드와 이들 노드간의 연결 상태에 대한 기하학적 배치를 의미한다. 네트워크 설계자가 통신망 구조를 설계할 때 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 모든 트래픽의 정확한 송수신을 보장하는 최대한의 신뢰도를 제공
- 송신 DTE와 수신 DTE 사이의 경로 중에서 가장 비용이 적은 경로를 통해서 트래픽 송신(신뢰성이 더 중요한 경우 예외)
- 최종 사용자에게는 최적의 응답 시간과 단위 시간당 많은 처리 능력의 제공

2.2 통신망 구조의 종류

일반적으로 널리 알려진 통신망의 구조는 점대점 링크, 멀티포인트 링크, 스타형 네트워크, 링형 네트워크, 버스형 네트워크 등이 있다. 그 중 본 논문에서 사용하고 있는 방식인 링형에 대해서 좀더 자세히 알아보면 다음과 같다.

2.3 링(Ring) 네트워크

각 노드를 링의 모양이 되도록 점대점 방식으로 연결하고, 전달되는 메시지는 링을 돌게 되며, 각 노드는 돌아오는 메시지를 읽게 된다. 노드가 메시지를 읽을 때, 그 메시지가 자신의 것인지 조사해보고 메시지가 자신의 것이 아니면 다음의 노드로 보낸다. 링구조의 일반적인 특성은 다음과 같다.

- 각 노드간의 연결을 최소화하는 데 목적이 있으며 기본적인 링 구조는 여러 대의 노드를 순서대로 배치한 후에 하나의 회선으로 묶는 것이다.
- 하나의 새로운 노드를 삽입하고자 하면, 링의 중간을 잘라서 자신과 연결하여 결과적으로 링의 형태가 그대로 유지하게 한다.
- 각 노드의 전송 지연 시간에 영향을 받는다.
- LAN 환경하에서 비교적 노드 설치가 용이하다.
- 만일 하나의 노드라도 고장이 생기거나, 노드를 연결하는 노드 사이의 전송 회선이 훼손되면 통신망 전체가 작동 불가하여 보통 2중화 링 구조를 가진다.

3. 원자력 발전소용 DCS 통신망의 구조

3.1 원자력 발전소용 통신망의 특성

원자력 발전소의 통신망은 만족스런 성능과 높은 신뢰성을 확보하기 위해 다음과 같은 설계 특성을 가진다. [2]

- 노이즈를 방지해야 하며, 노이즈에 대한 강인성을 지녀야 한다.
- 위험한 환경으로부터 분리시켜야 한다.
- 물리적으로 강인성을 지녀야 한다.
- 오류에 대해서 강인성을 지녀야 한다.
- 오류 발생이 적어야 하며, 발생하더라도 복구 능력이 뛰어나야 한다.
- 하드웨어 유지 보수가 편리해야 한다.
- 통신의 효율성 및 편리성을 가져야 한다.
- 소프트웨어 유지 보수가 편리해야 한다.
- 긴급 데이터는 실시간으로 전달해야 한다.
- 주기적 데이터는 주기적으로 전달해야 한다.
- 입출력 데이터를 전달할 때 일정한 성능이 보장되어야 한다.

3.2 원자력 발전소용 통신망의 구조

현재 개발중인 DCS의 통신망은 그림 1과 같이 필드통신망, 제어 통신망 및 정보 통신망으로 구성되어 있다.

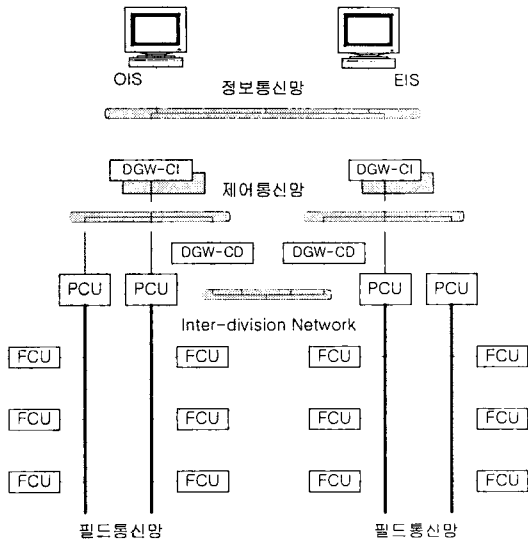


그림 1. 전체 통신망의 구조

필드 통신망의 네트워크는 물리계층으로 RS-485를 사용하였으며, 데이터링크 계층은 HDLC(High level Data Link Control)를 사용하였다. 그리고, 현재 설정된 전송 속도는 2Mbps이다. 제어 통신망은 시스템의 근간을 이루는 통신망으로, 노드들간의 통신과 필드 통신망과의 통신, 정보 통신망과의 통신 등의 역할을 하고 있으며, 토폴로지는 링형이고, 설정된 전송 속도는 100Mbps이다. 정보 통신망은 패스트 이더넷(Fast Ethernet)을 사용하며, 허브를 중심으로 각 노드(OIS, EIS)를 연결하는 스타형으로 하며, 전송 속도는 100Mbps이다. 그리고, 정보 통신망과 제어 통신망을 연결해 주는 게이트웨이(DGW-CI)는 정보 통신망과 제어 통신망 사이의 통신 독립성을 유지하기 위한 역할을 하며, DGW-CD는 각 제어 통신망 사이를 연결한다.

4. 원자력 발전소용 DCS 통신망의 분석

기존의 통신망 분석에서는 제어 통신망의 통신 트래픽만 고려하여 분석하면 되었으나, 네트워크 통합에 따라 정보전송을 위한 트래픽이 중첩되므로 이를 고려한 트래픽의 분석이 필요하다. 특히 정보 통신을 위한 데이터는 속성상 비록 리얼타임의 특성은 크게 요구되지 않으나 대규모의 정보 전송이 이루어지므로 이를 심각하게 고려해야 한다. 또한 정보 통신망에서는 DCS의 제어 통신망의 데이터와 직접 관련이 없는 보호계통 시스템의 정보도 전송되므로 이를 추가로 고려하여야 한다.

4.1 시스템의 용량 분석

4.1.1 FCU의 용량 분석

1개의 FCU에는 12개의 I/O 모듈을 연결가능하며, 각 I/O 모듈은 신호의 종류에 따라 8~64 입출력 포인트의 연결이 가능하다.

1개 FCU의 통신을 위한 공유메모리의 크기는 현재 4Kbyte로 설정되어 있으며 이 메모리에 적체 가능한 데이터는, 아날로그 신호의 경우는 $4000\text{byte} / 21\text{byte} = 190$ 포인트이고, 디지털 신호의 경우는 $4000\text{byte} / 12\text{byte} = 333$ 포인트가 된다.

4.1.2 PCU의 용량 분석

한 개의 PCU에는 PCU와 FCU가 RS-485통신을 이용하므로 일반적으로 32개의 FCU가 연결 가능하다. 1개의 PCU는 128Kbyte의 통신 메모리를 가지며, 각 FCU를 위해 4Kbyte의 메모리 영역이 할당된다.

4.2 통신 속도 분석

4.2.1 필드 통신망의 속도

1개의 FCU가 PCU와의 통신을 하기 위해 할당된 시간은 20msec로, 4Kbyte의 정보가 20msec이내에 전송되어야 한다.

PCU가 최소 32개의 FCU와 연결된다고 하였으므로, 전체 FCU의 정보를 갱신하는데 소요되는 시간은 640msec 이다.

4.2.2 제어/정보 통신망의 속도

제어/정보 통신망에는 최악의 경우 40,000 포인트(아날로그 포인트 20,000+디지털 포인트 20,000)의 정보가 동시에 전송된다고 가정하면, 전송되는 전체 데이터의 양은 660Kbyte가 된다. 이더넷 기본 프레임은 만들기 위해 1,500byte씩 분할하면 440 패킷이 100Mbps로 전송된다. 각 데이터 분할은 26byte의 오버헤드를 가지므로, 전체 전송 데이터의 크기는

$1,526(\text{byte}) \times 440(\text{packet}) \approx 672\text{Kbyte}$ 이다. 전체 데이터가 전송되는데 소요되는 시간은 54msec이며, 아래 식과 같이 구할 수 있다.

$$672\text{Kbyte} / 100\text{Mbps} + \text{packet delimit time} \approx 54\text{msec}$$

5. 원자력 발전소용 DCS 통신망의 시뮬레이션

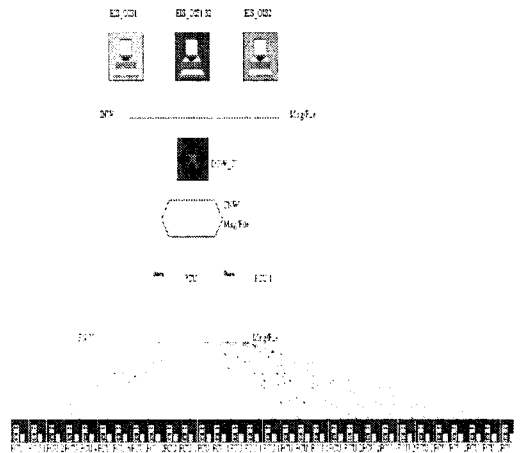


그림 2. 시뮬레이션에 사용된 통신망 구조

본 논문에서 분석한 통신망에 대한 시뮬레이션은 Network II.5를 사용하여 수행하였다. 구조는 그림 2와 같으며, 그에 따른 통신망의 부하율은 그림 3과 같이 나타난다. 필드 통신망의 전송 속도는 1.6Mbps로, 필드 통신망의 전송 속도인 2Mbps 이내이다. 그러나, 이것은 부하율이 80%를 상회하여, 일반적인 통신망의 설계 요건인 40%의 통신 여유를 확보하기가 어렵다. (1) 반면에 제어 통신망과 정보 통신망은 통신 여유가 충분함을 볼 수 있다. 그림 4는 제어 통신망과 정보 통신망을 통합하여 패스트 이더넷으로 구성한 통신망 구조도이다.

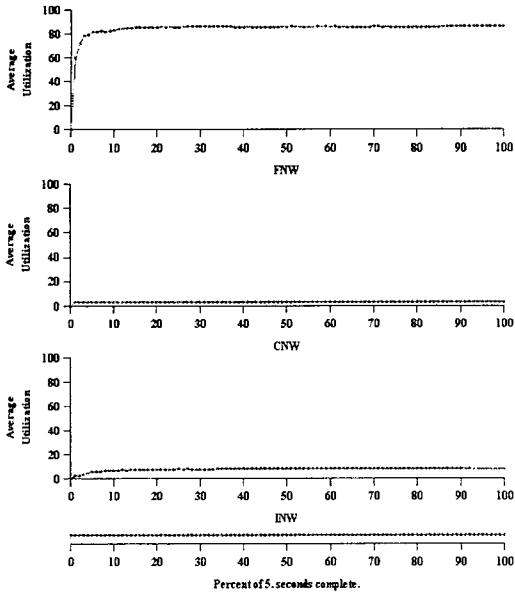


그림 3. 링형 프로토콜을 이용한 통신망의 성능분석

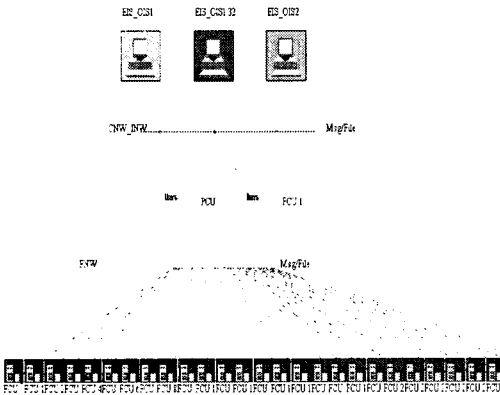


그림 4. 제어/정보 통신망의 통합 구조

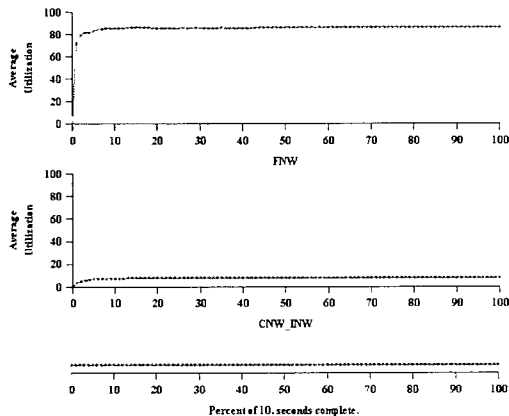


그림 5. 제어/정보 통신망 통합 결과 성능 분석

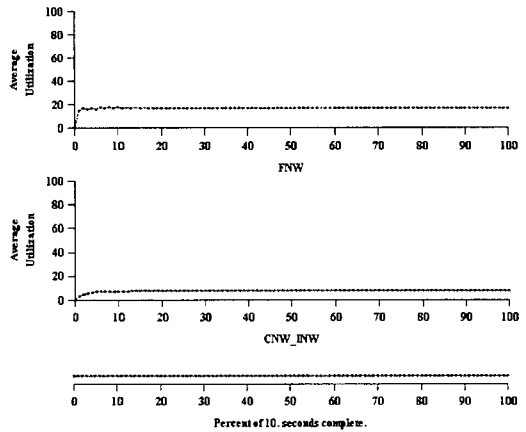


그림 6. 필드 통신망의 전송 속도가 10Mbps인 경우

통합한 구조의 시뮬레이션 결과는 그림 5와 같이 제어/정보망의 통신 부하에 큰 변화가 없다. 그림 6은 필드 통신망의 전송속도를 10Mbps로 증가시켰을 때의 시뮬레이션으로 필드망의 통신 부하가 크게 감소되는 것을 알 수 있다.

3. 결론

현재 설계된 3계층 구조의 통신망 중 제어/정보 통신망을 통합하여도 좋은 응답을 얻을 수 있으므로, 간략화할 필요가 있음을 알 수가 있다. 또한, 필드 통신망의 부하율은 현재로서는 여유를 확보하기 어려우나, 속도를 10Mbps로 높이는 경우 필드 통신망의 부하율도 충분한 여유를 가짐을 알 수 있었다.

(참고 문헌)

- [1] 전력연구원, "원전 자동제어 설비의 디지털화 개발(III) 중간 보고서", 2001.2
- [2] IEEE Std 603 "IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating System"
- [3] CACI Product Company, "Network II.5 User's Manual", 1997.12
- [4] EPRI, "ALWR URD", 1995.Rev.7