

DCS 통신망의 노드 변화에 따른 트래픽 분석

조항신 오응세 송성일
한국전력공사 전력연구원

The Traffic Analysis of DCS Network with Different Node number

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

Abstract - Distributed Control Systems(DCS) are used in a wide range of process applications such as power plants. This paper presents calculated network capacity of a DCS that developed for nuclear power plant. The network hierarchies are 3 layered of information network, control network and field network. The assumed total node number of maximum DCS network is 64. Worst case network utilization of the DCS is simulated and analyzed.

1. 서 론

분산 제어 시스템은 아날로그 설비가 가지는 기능상의 제약을 극복하고 동시에 규모가 크고 다양한 기능의 제어를 가능하게 한다. 국내 화력발전소에서의 DCS 적용은 성공적으로 평가되고 있으나 원자력 발전소에서의 적용은 상대적으로 미미하다. 원자력 발전소에 DCS를 적용하기 위해서는 높은 운전 신뢰성을 확보하는 것이 우선되어야 하며 이를 위해 자기진단 기능, 이중화 등의 기능이 적용되고 있다[1]. 현재 개발 중인 원전용 DCS의 신뢰도를 향상시키기 위해 최대의 데이터가 전송되는 경우에도 적절한 수준의 통신 여유가 확보되어야 한다. 개발 중인 DCS는 최대 64노드의 제어 캐비닛을 연결할 수 있도록 설계하고 있다. 본 논문에서는 노드 변화에 따른 통신망의 트래픽을 분석해 봄으로써 현재 개발된 시스템의 성능을 유지하면서 연결 가능한 최대한의 노드 개수가 얼마인지, 이때의 통신망 여유가 얼마나 되는지를 알아보는데 중점을 두었다. 본 논문에서는 제어통신망을 통해 전달되는 통신 데이터의 양은 예상 가능한 최대한의 크기로 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 원자력 발전소용 DCS 통신망의 구조

2.1 DCS 전체구조

본 논문의 시스템은 1)운전원 스테이션(OIS; Operator Interface Station), 2) 엔지니어 스테이션(EIS; Engineer Interface Station), 3)공정제어기(PCU; Process Control Unit), 4) 현장제어기(FCU; Field Control Unit), 5) 게이트웨이(DGW-CI; Data Gateway between Control Network and Information Network)로 구성되어 있으며, 통신계통은 1) 정보통신망(Information Network), 2) 제어통신망(Control Network), 및 3) 필드통신망(Field Network)으로 구분된다. 최하위에 입출력을 위한 부분이 위치하고, 그 위에 공정제어기로 구성되는 제어부분이 위치한다. 입출력을 위한 현장제어기들과 공정제어기가 필드통신망을 통해 연계되고, 공정제어기들은 정보통신망으로 연계된다.

그림1은 원전용 DCS 시스템의 전체 구성을 나타내고 있다.

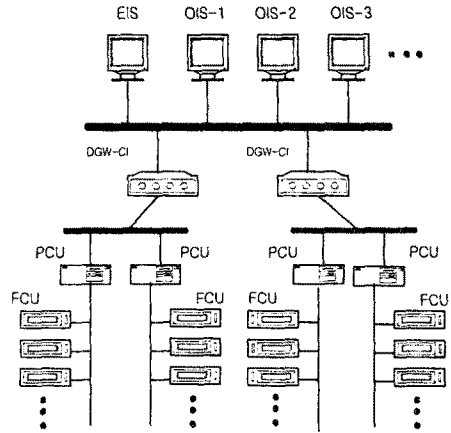


그림 1. 원전용 DCS 전체 구조

제어부분 위에는 운전 및 엔지니어링 등을 위한 부분이 운전원 스테이션과 엔지니어 스테이션들로 구성된다. 그림에서 FCU는 제어 정보를 PCU와 게이트웨이(DGW-CI)를 통하여 OIS 또는 EIS에 전달한다.

2.2. 정보통신망

그림1에서 EIS, OIS와 DGW-CI를 연결시켜주는 부분의 통신망이 정보통신망(Information Network)에 해당된다. 정보통신망은 표준화되어 있고 널리 사용되는 TCP/IP 방식을 사용하였으며, 전송속도는 100Mbps로 설계하였다[2].

2.3 필드통신망

그림1에서 PCU와 FCU를 연결시켜주는 부분에 해당하는 것이 필드통신망(Field Network)이다. 통신은 Ethernet 방식을 이용하여 10Mbps로 통신한다. 1개 세그먼트(Segment)의 필드 통신망에는 최대 48개의 FCU가 연결될 수 있다. 메시지당 데이터 작업능력을 규격화하고 점점, 아날로그, 펄스입력, 다양한 출력점들이 수용될 수 있도록 하며, 통신망을 초기화하고 재구성하고 정지시키는 데 필요한 기능을 제공한다. 그리고 다음과 같이 분류되어지는 통신요구를 처리할 수 있어야 한다. 1) 비 주기적인 실시간 통신요구 2)주기적인 실시간 통신요구 3)기타 통신 요구

2.4 제어통신망

그림1에서 DGW-CI와 PCU를 연결시켜주는 부분의 통신망이 제어통신망(Control Network)에 해당된다. 제어 통신망은 광케이블을 사용하여 2중화 설계되었다. 통신선로의 길이는 리피터 없이 500m이상 보장되며, 확장기기가 있는 경우 3km이상 보장되도록 설계하였다.

링 구조에서는 인접 노드가 점대점 방식으로 연결되고, 전달되는 메시지는 링을 순환하여 각 노드에 전달된다.

링형의 특성은 각 노드간의 연결을 최소화할 수 있고, 새로운 노드를 삽입하고자 할 때에는 링의 중간을 잘라서 자신과 연결함으로써 링의 형태를 그대로 유지할 수가 있다. 그러나 링형의 단점은 각 노드의 전송 지연 시간에 영향을 받으며, 만일 하나의 노드라도 고장이 생기거나, 노드를 연결하는 노드 사이의 전송 회선이 훼손되면 통신망 전체가 작동되지 않는다. 따라서 개발하는 시스템에서는 노드 고장 및 회선의 훼손에 따른 작동 불가 문제를 해결하기 위하여 이중화된 링 구조를 사용하였으며, 전송 지연 시간에 따른 영향을 최소화하기 위하여 링형 속도 개선 장치를 개발하여 전송 지연 시간을 최소로 줄일 수 있었다. 노드의 개수는 최대 64개까지 확장할 수 있도록 설계되어졌다.

2.4.1 제어통신망의 망 구성

제어통신망은 발전소의 넓은 지형과 유지 관리의 편의성을 위해 링형 토폴로지를 사용하지만, 고속으로 데이터를 공유하기 위해 Virtual Ring이라는 새로운 개념의 망을 형성하였다. Virtual Ring이란 것은 고속의 링형 통신망을 구현하기 위해 각 노드별로 bypass 스위치를 구현하고 어느 순간에는 오직 하나의 노드만이 전송권한을 가지게 함으로써 물리적으로는 링이지만, 논리적으로는 버스의 형태를 이용하며 각 노드는 자신의 데이터를 브로드캐스팅함으로써 고속의 통신망을 구현하는 토폴로지를 의미한다[3].

2.4.2 제어통신망의 프레임 구조

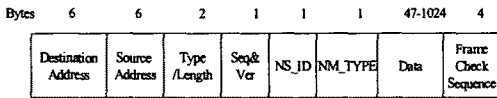


그림 2. 제어통신망 프레임 구조

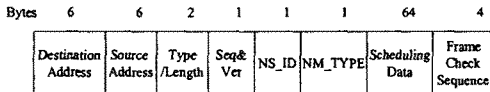


그림 3. 토큰 프레임 구조

그림 2와 3은 모든 스테이션들이 사용하는 제어통신망의 데이터 프레임과 토큰 프레임의 구조를 보여주고 있으며, 이더넷 프레임을 기본 골격으로 하고 몇 개의 필드가 추가되었다. Destination Address는 브로드캐스팅용 주소를 사용하며, Source Address는 송신 노드의 ID를 나타내고, Type/Length는 프레임 타입을 구분하는 필드으로써 프레임의 타입은 데이터와 토큰 두 가지 종류가 있다. Seq&Ver는 프레임의 Sequence Number와 Version 정보를 위한 필드이며, NS_ID는 다음 토큰을 받을 노드 번호를 의미하며, NM_TYPE은 Type/Length에서 토큰을 포함하는 NM 프레임의 경우에만 유효한 필드으로써, NM_TYPE 필드에 의해 역할이 결정된다. NM_TYPE 필드의 종류는 표 1과 같다.

상수값	용도
0xaa	Token frame
0x01	Channel conversion ready frame
0x02	Channel conversion start frame
0x03	Channel check frame
0x04	Node check frame
0x05	Node fail frame

표 1 NM_TYPE 필드의 종류

3. 제어 통신망의 트래픽 분석

본 논문에서는 Network II.5를 사용하여 통신망에 대한 시뮬레이션 및 분석이 수행되었으며, 토큰 순환 주기는 실측값에 근거하여 20ms로 설정하였고, 한 프레임의 최대 크기는 1045Bytes로 하였다. 개발 중인 DCS는 최대 64 노드의 연결을 목표로 하고 있으며, 32노드일 때와 64 및 72노드일 때의 트래픽 여유를 분석 하였다. 그림 4는 제어통신망이 32노드를 갖고 있을 때의 블록도이다.

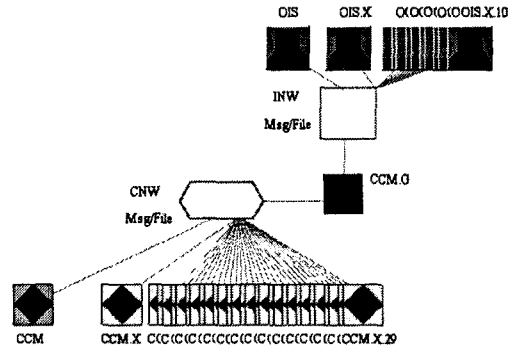


그림 4. 32노드를 갖는 통신망 블록도

그림 5에서 CNW는 제어통신망, INW는 정보통신망의 의미하고, CCM.G는 게이트웨이 부분의 통신을 담당하고 있는 CCM 모듈을 나타내는 것으로, 모든 노드의 정보가 게이트웨이를 통하여 정보통신망과 연결되어진다.

일반적으로 통신망의 이용률은 40%이상의 여유도를 가져야 하지만, 그림 5에서 보면 제어통신망의 이용률이 30%를 넘지 못하고, 정보통신망의 이용률은 10%에도 미치지 못하는 것을 볼 수 있다. 그리고 보통 부하율이 80%를 넘지 못하도록 되어 있는 모듈에 대한 그래프로는 CCM.G라는 모듈의 부하율을 보여주고 있으며, 이것의 부하율은 20%정도인 것을 볼 수 있다.

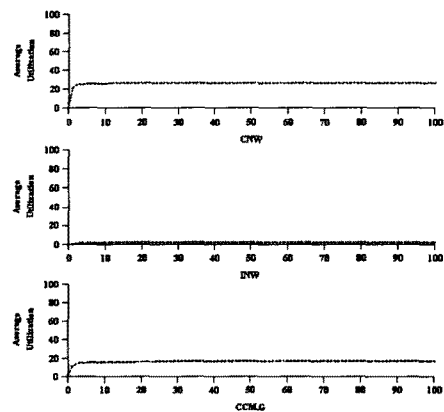


그림 5. 32노드를 가질 때의 이용률

그림 6은 64노드를 갖는 제어통신망의 이용률 그래프이다. 제어통신망의 이용률은 55%정도를 보이고 있으며, CCM.G의 부하율은 35% 정도를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이것으로 볼 때 현재 개발 중인 DCS는 최대 64노드까지를 목표로 설계하였기 때문에 충분한 통신여유를 확보하고 있음을 알 수가 있다.

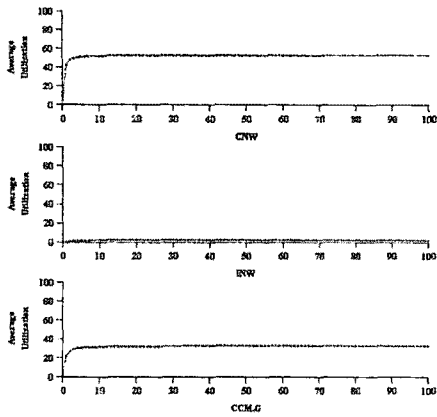


그림 6. 64노드를 가질 때의 이용률

한편 개발 중인 DCS에서 이용률이 60%를 넘지 않는 수준에서 연결할 수 있는 최대 노드의 개수는 어느 정도까지인지 예측해볼 필요가 있다.

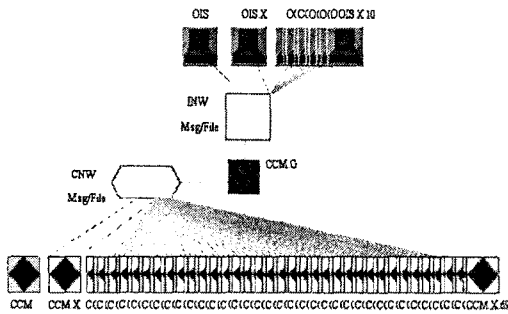


그림 7. 72노드를 갖는 통신망 블록도

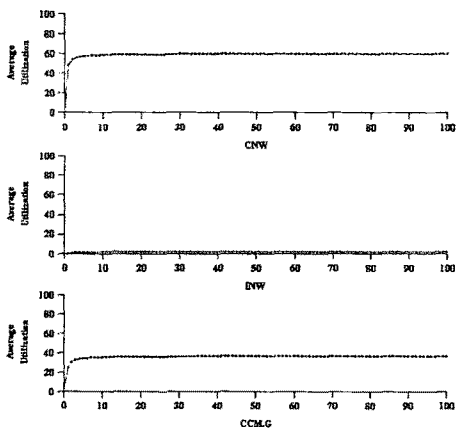


그림 8. 72노드일 때의 이용률

그림 7과 8은 노드의 개수를 64개보다 조금 더 늘린 72개로 잡고 설계한 블록도와 그에 따른 통신망의 이용률을 보여주고 있으며, 그림 9는 threshold를 60%로 놓고 제어통신망과 정보통신망의 이용률을 나타내고 있는 그래프이며, 제어통신망의 이용률이 거의 60%정도인 것을 볼 수 있다.

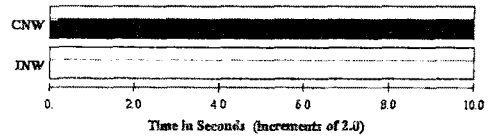


그림 9. Threshold가 60%일때 72노드를 갖는 통신망 이용률

4. 결 론

본 논문에서는 노드 개수의 변화에 따른 통신망의 트래픽을 분석해 보았으며, 시뮬레이션 결과로 볼 때 현재 개발 중인 DCS의 목표 노드 수인 64개는 신뢰성 있는 통신을 유지하는데 문제가 없음을 알 수 있었으며, 본 시스템은 최대 72개의 노드까지도 확장이 가능함을 알 수가 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 전력연구원, "원전 자동제어 설비의 디지털화 개발(III) 중간보고서", 2001.2
- [2] 한국수력원자력(주) "원전 자동제어설비의 디지털화 개발(3단계) 종료보고서", 2001.7
- [3] 제어계측신기술연구소, "원전 디지털 시스템 제어통신망 S/W 설계 명세서", 2003.1
- [4] Jay Shah, "DCS or PLC?", IEEE IAS, pp.121-137, 1995
- [5] 문홍주 외, "분산제어시스템을 위한 타이머 제어형 통신망의 주기 및 실시간 비주기 데이터 전송 방식", 제어·자동화·시스템공학 논문지 제6권 제7호, pp.602-610, 2000.7