변전소용 자동화 네트워크의 구현을 위한 연구

권 욱 현, 정 범 진, 윤 만 철, 김 일 동(한전)

서울 대학교 제어 계측 공학과 및 자동화 시스템 공동 연구소

(Study on a Network for the Protection and Control in Substations)

Wook Hyun Kwon, Beom Jin Chung, Gi Won Lee

Automation and Systems Research Institute, Dept. of Control and Instr. Seoul National Univ.

Abstract

Associated with the protection and control functions in the substations, a new network scheme based on the IEEE 802.4 is proposed in this paper. This network is designed for supporting 3 data classes: 1st, it includes the highly time-critical data for the fault detection function. 2nd, routine data with a period is to served for monitoring the power status. Finally, it contains the control data which is used for reporting an event about protection or tuning some values related with power status. The way to allocate target_token_rotation timer is provided to guarantee the protection and control activities in the suggested network for the substation.

1장. 서론

최근 전력 계통이 대용량화, 다양화, 복잡화됨에 따라 계통 보호 및 제어 면에서 새로운 요구들이 나타나고 있으나, 이들을 기존의 아날로그 형태의 보호,제어 장치들로는 도저히 만족시킬 수 없음으로 인해, 보다 안정적인 전력 공급 및 운용을 보장할 수 없는 상황이 빈번히 발생하고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 1970년대 후반부터 일본을 중심으로 변전소내의 디지탈 보호 제전 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되어 디지탈 보호 제전 시스템은 1980년도 이후 일본에서는 실용화의 단계로 접어들었다. 한편, 이러한 보호 제전 시스템들을 종합하여 변전소를 보호,제어하는 디지탈 종합 보호 시스템은 1978년부터 미국 EPRI의 지원하에 WH, GE에서 처음 연구되어, 18980년 중반부터 WH의 WESPAC 시스템이 실 계통에 적용되어 실험중에 있고, 최근 스위스의 Landis&Gyr 및 일본의 Toshiba - Hitachi등에서 종합 보호, 제어 시스템을 구현하여 적용 실험중에 있다. 이러한 변전소 종합 보호,제어 시스템은 한 변전소내의 각 설비(345KV 선로, 154KV 선로, 22.9KV 선로, 345/154 KV 변압기, 모선, 조상 설비, 차단기 및 단로기)들에 대한 보호 기능의 수행 및 이들의 제어 감시 기능 수행 뿐만 아니라 전력 계통의 운용을 위한 제어 감시기능들을 실시간에 종합적으로수행하는 디지탈 시스템으로, 그림 1과 같이 이 시스템은 일단의 보호 제전 유닛트(field protection unit)와 중앙에서 제어 및 감시를 담당하는 중앙 처리 유닛트(station unit) 및 이들 사이를 연결하는 통신망으로 구성된다.[4] [5]

이러한 종합 보호,제어 시스템에서 수행되는 보호,제어 기능들은 각 보호 제전 유닛트를 상호간의 데이타 통신이 필수적이고 또한 각종 설비들의 전체적인 제어 및 감시를 종합적으로 수행하는 중앙 처리 유닛트와의 실시간 데이타 전송이 유기적으로 이루어져야 하므로 이러한 기능을 지원할 수 있는 전용의 네트워크가 요구된다. 그러나, 이러한 보호,제어용 네트워크는 기존의 표준화된 전송 규약을 그대로 사용하기에는 선로 주변의 전기적 환경의 열악성과 보호용 네트워크가 요구하는 특성상 적합하지 못한 것으로 알려지고있다. 변전소 보호,제어용 네트워크가 갖추어야할 요건을 들면 다음과 같다.[1]

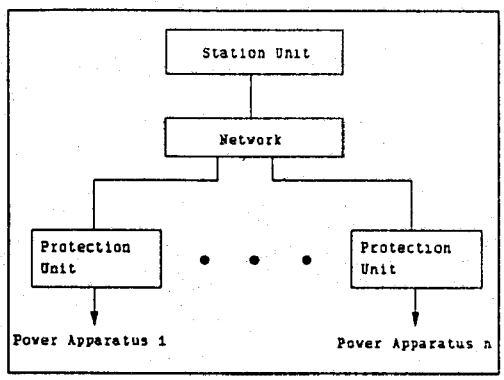

그림 1. 종합 보호,제어 시스템 구성도

1) 고 신뢰도 : 선로상에서 발생할 수 있는 각종 고장에 대한 검출 및 이의 차단 기능은 무엇보다도 우선적으로 안정되게 수행되어야 한다.
2) 확 장 성 : 전력 계통의 확대에 따라 선로 보호용 계전기의 확대 설치가 예상되므로 네트워크의 설치 및 이의 확장이 용이하여야 한다
3) 감시, 보수의 용이성 : 네트워크 시스템내의 설비에 대한 주기적 감시 및 이상 발생시 이의 보수가 용이하여 한다.
4) 타 시스템과의 접속 : 변전소 보호, 제어 네트워크는 단일 독립 네트워크로서의 기능외에 SCADA, EMS등과 같은 원격 제어 시스템과의 접속이 용이하여야 하여야하는데 다른 종류의 네트워크와의 접속을 의미한다.
5) EMC(Eletro-Maganetic Capability) 대책 : 변전소용 보호,제어 네트워크는 선에서 유기되는 각종 노이즈 및 서어지등의 전자기적인 간섭에 대해서 매우 견실한 특성을 갖어야 한다.
6) 다양한 네트워크 서비스 : 보호, 제어 기능의 원활한 수행을 위해서는 다양한 기능의 트워크 서비스 즉, 여러 종류의 데이타 전송, 네트워크 전송 매체에 대 감시 기능, 브로드캐스팅(broadcasting) 기능등을 지원할 수 있어야한다.
7) 네트워크 규약 자체의 안정성 : 네트워크 상에 일어날 수 있는 각종상황에 대해서도 네트워크를 안정적으로 유지할 있어야 한다. 이는 네트워크상의 어느 한 노드(node)에 이상이 생길 경우 이로인하여 전체 네트워크의 기능이 마비되지 않도록 함을 의미한다.

이외에도 네트워크 실제 설치,운용시에 요구되는 경제성등이 고려되어야 한다.

기존 네트워크의 대표적인 전송 규약으로는 CSMA/CD(Carrier Sense Medium Access with Collision Detection), 토큰 링(Token Ring), 토큰 패싱 버스(Token Passing Bus)등을 들 수 있는데, 기존에 사용되고 있는 네트워크 방식이 아닌 독자적인 네트워크 규약을 사용하여 변전소용 보호 네트워크를 개발하는 것보다는 가능하면 이미 널리 사용되고 있는 네트워크 형태를 사용하는 것이 바람직하다. 이는 표준화된 네트워크를 사용하는

경우 여러 네트워크 관련 회사가 변전소용 네트워크 개발에 참여할 수 있을 뿐만 아니라 다른 네트워크 혹은 같은 형태의 네트워크 간의 접속이 용이해지기 때문이다. 이는 변전소 네트워크가 향후 광역 네트워크에 연결될 경우 매우 중요한 의미를 갖게 된다.

현재까지 구현된 종합 보호,제어 시스템에서 사용되었던 네트워크로는 미국 WESPAC 시스템의 경우, 현장 네트워크로는 광 케이블을 사용한 1:1 연결의 1Mbps의 저속 HDLC(High Data Link Control)방식이며 제어용 네트워크로는 다중 전송(Multi-Drop)방식을 채택한 2중 네트워크 구조로 네트워크간의 역할 분담을 하였다. WESPAC 시스템의 경우 현장 보호 기능이 네크워크에 의존하므로 보호 계전 기능의 신뢰성에 문제가 생길 수 있으며, 표준 네트워크가 아닌 독자적인 방식의 네트워크 개발로 인하여 보수, 유지 및 확장이 용이치 못하다.

한편 일본의 Toshiba - Hitachi 등에서 동경 전력의 지원하에 개발한 종합 보호,제어 시스템에서는 50/125um의 광 케이블을 전송 매체로한 IEEE 802.4 토큰 패싱 버스 네트워크를 구현하였다[3]. 반면 단점으로 지적할 수 있는 것은 WESPAC의 경우와 같이 보호용 네트워크와 제어용 네트워크의 분리라는 점을 들 수 있겠다. 이는 비교적 간단하게 네트워크를 구성할 수 있는 장점이 있는 반면 복수의 네트워크를 사용함에 따른 경제적인 부담을 수반하게 된다.[2]따라서 네트워크의 효율성이 떨어지게 된다. 본 논문에서는 기존의 종합 보호,제어 네트워크의 단점을 보완한 표준화된 IEEE 802.4를 채택한 단일 보호,제어 네트워크를 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 변전소용 보호,제어 네트워크의 기본 구조를 제안하며 3장에서는 제안된 보호,제어 네트워크의 세부 설계 사항들을 설명한다. 4 장에서는 제안된 설계 방법에 의거한 보호,제어 네트워크의 성능을 해석하며 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 이에 대한 유효성을 검증해 보이며 5장에서는 제안된 변전소용 보호,제어 네트워크에 대한 결론을 내리고자 한다.

2장. 변전소용 보호, 제어 네트워크의 구조

본 논문에서는 IEEE 802.4를 기본 모델로 하되, 최근의 IEEE 802.4 draft L의 경우에는 정식으로 사양서에 광 케이블에 대한 규정을 포함시키고 있으므로 전송 매체로는 10 Mbps의 광 케이블을 사용하는 것으로 가정한다. 그림 2는 광케이블로 연결된 보호,제어 네트워크용 토큰 버스 네트워크를 나타낸다.

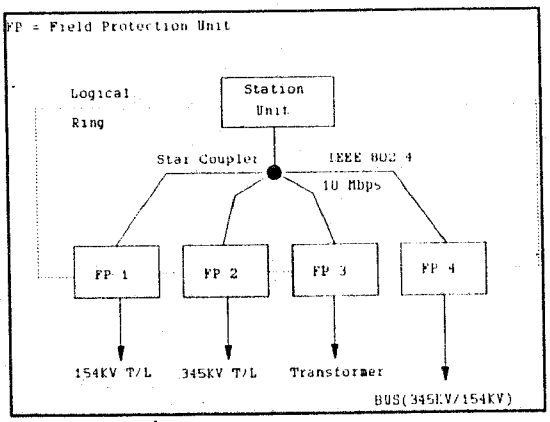

그림 2. 광 접속방식의 IEEE 802.4로 구현된 보호,제어 네트워크

본 논문에서 제안될 보호,제어 네트워크는 크게 다음과 같은 기능을 지원하게 된다.

1) 선로와 모선의 고장 검출 및 이의 차단 기능
2) 중앙 처리 유닛트에 의한 제어 및 조정 기능
3) 보호 계전기에 대한 감시 기능

따라서 이들의 기능을 지원하기 위한 네트워크상의 데이타 프레임(frame) 종류는 3 가지가 된다.

1) 샘플링 프레임
2) 감시용 프레임
3) 제어용 프레임

이들 데이타 프레임들중 샘플링 프레임과 감시용 프레임은 일정한 주기를 가지고서 각 보호 계전 노드로부터 중앙 노드로 전송되어야만 한다. 특히 샘플링 프레임의 경우에는 선로의 고장 검출을 위하여 1.38 msec마다 각 선로에서 샘플링되도록 되어 있어서 모선의 고장 검출을 위해서도 1.38 msec마다 샘플된 데이타가 필요하게 된다. 따라서 각 보호 계전 노드에서는 1.38 msec이내에 샘플링된 데이타를 중앙 노드에 보내야만 한다. 이 기간내에 데이타 전송이 이루어지지 않을 경우에는 고장 검출 알고리듬 수행에 지장을 초래하게 되므로 어떠한 경우에서도 1.38 msec이내에 각 노드의 데이타가 전송 완료되어야 한다. 이러한 이유로하여 샘플링 데이타 프레임은 다른 데이타 프레임에 대하여 최우선 순위를 가지게 된다.

반면, 중앙 노드는 선로상의 전압, 전류치등을 수시로 검사하여 필요한 조정 작업등을 수행하기 위하여 각 노드에서부터 필요한 전압, 전류에 관한 데이타를 수집하여야 한다. 이를 위한 프레임을 감시용 데이타 프레임이라고 부른다. 이러한 데이타 프레임은 샘플링 프레임과 마찬가지로 어느 일정 주기를 가지고서 중앙 노드로 전송되어야 하는데 일반적으로 이 주기는 샘플링 데이타의 주기보다는 매우 큰 값을 갖게 된다. 또한 이 경우에는 주기값을 중심으로하여 어느 정도의 오차 범위가 허용될 수 있다.

샘플링 프레임과 감시용 프레임이 각 보호 계전 노드에서 중앙 노드로 전송됨에 비해 제어용 프레임은 주로 중앙 노드에서 각 노드로 전파되게 된다. 따라서 이 경우에는 브로드캐스팅의 방법을 사용하게 되는 것이 보통인데 이 제어용 프레임은 보호 계전 노드간의 시간 동기를 위한 기준 시간을 제공하는 기능을 수행하며 모선의 고장이 발견될 시, 이의 차단을 알리는 기능등으로 사용될 수 있다.

A) 변전소용 보호,제어 네트워크용 전송 규약으로서의 IEEE 802.4

CSMA/CD의 경우는 자유 경쟁에 의한 전송이 이루어지므로 네트워크 트래픽이 적을 경우 평균적으로 가장 빠른 데이타 처리가 가능하나, CSMA/CD는 확률적인 접근 방법이기 때문에 변전소용 보호,제어기능과 같이 결정론적인 데이타 처리가 요구되는 상황에는 적합하지가 않다. 반면, 토큰 버스의 경우 데이타 전송의 권리를 인정하는 특수한 프레임인 토큰의 유지 및 노드간 전송에 따른 부담이 필연적으로 발생하게 되어 전체적인 성능은 CSMA/CD에 비해서 떨어지는 단점이 있으나, 토큰 패싱 버스 프로토콜의 특성상 제한시간내에 데이타 처리가 보장되는 장점이 있다. 이러한 이유로 토큰 패싱 버스를 변전소용 보호,제어 네트워크의 전송 규약으로 사용하고자 한다.

그러나, 변전소용 보호,제어 네트워크 설계에 있어서 무엇보다 우선적으로 고려되어야 할 사항은 보호 기능의 원활한 지원이다. 이는 곧 샘플링 프레임이 1.38 msec내에 각 보호 계전 노드에서 중앙 노드로 전송됨을 의미한다. 그러나 1.38 msec라는 샘플링 주기는 네트워크 관점에서 볼 때는 매우 빠른 시간내에 데이타 처리가 이루어져야한다는 것을 의미하므로 IEEE 802.4 규약의 한계내에서 최대한으로 이를 보장할 수 있게끔 하여야한다. 따라서 토큰 패싱에 따른 시간적 부담과 각 노드에서의 데이타 처리 또는 그의 응답 시간이 최소가 될 수 있도록 설계하여야 한다. IEEE 802.4의 데이타 프레임은 다음과 같이 전송할 데이타와 전송에 필요한 노드 어드레스(address), 제어 필드(field)등으로 구성된다.

내 용	바이트
Preamle	3 이상
Start Delimeter	1
Acess Control	1
Destination Addr.	2 또는 6
Source Addr.	2 또는6
DATA	1 이상
Frame Check Sequence	4
End Delimeter	1

위의 데이타 프레임 구성에서 볼 수 있듯이 송수신 어드레스는 2 바이트 혹은 6 바이트로 사용될 수 있는데 가능한한 전송에 따른 시간지연을 단축 시킬 필요가 있으므로 어드레스의 길이는 2 바이트로 한다. 따라서 가장 적은 프레임 길이를 갖는 토큰 프레임의 길이는 14 바이트 이상이 된다.

노드간 토큰 전송 시간은 10 Mbps의 전송 속도와 14 바이트의 토큰 길이를 가정할 경우 10.2 usec가 되는데 일반적으로 평균 토큰 패싱 시간은 토큰의 전송 시간외에 전파 지연 시간과 안정 이득의 합으로 예측할 수 있다. 즉,

평균 토큰 패싱 시간 = 14bytes x 8 bit / 10Mbps +
2 usec(safety margin) +
10 usec(transmission delay)
= 22.2 usec

보호 또는 제어에 필요한 데이타의 길이는 일정한데, 본 연구에서는 데이타 길이를 20 - 30 바이트 정도의 작은 양으로 가정하는데 이와 같은 가정은 실제의 경우에도 큰 무리없이 받아들여 질 수 있다.

B) 변전소용 보호, 제어 네트워크의 운용

변전소용 네트워크를 네트워크 관점에서 볼 때 모든 노드들이 네트워크 사용에 있어서 독립적인 권리를 얻을 수 있으나, 실제 운용에 있어서는 하나의 중앙 노드와 여러개의 보호 계전 노드로 구성된 master-slave 형태로 생각할 수 있다. 일반적인 master-slave와 다른 점은 네트워크 사용을 일일이 master인 중앙 노드의 허락을 받을 필요가 없이 자신의 상황 판단에 의해서 결정하게 된다. 이와같이 함으로써 네트워크의 효율성을 기할 수 있으며 네트워크 사용의 허락을 받기 위해서 소요되는 시간을 절약할 수 있다. 단, 중앙 노드는 각 노드로부터의 데이타가 수신될 경우 이의 Acknowledgement 프레임을 보내게 된다. 데이타 프레임에 대한 Acknowlegment 방식은 3장에서 설명하기로 한다. 각 노드에서의 송수신 작업은 다음과 같다.

보호 계전 노드

1) 샘플링 데이타 프레임의 전송

샘플링 데이타의 전송을 완료한 후 다음 샘플링 데이타를 전송하기 위해서는 중앙 노드의 허가를 필요하게 되는데 이는 중앙 노드에 모든 노드로부터의 샘플링 데이타가 수신된 경우에 중앙 노드가 Acknowledgment를 브로드캐스팅함으로써 이루어진다.

2) 감시용 데이타 프레임의 전송

각 보호 계전 노드에서는 자신의 기준 시간에의하여 일정한 주기를 가지고서 선로의 전압,전류등에 대한 정보를 중앙 노드에 전송하게 된다. 단, 이때 각 노드는 샘플링 데이타를 우선적으로 처리하게 되어 있으므로 네트워크상의 데이타 트래픽(traffic)에 여유가 생길 때 전송하게 된다.

3) 제어용 프레임의 전송

- 선로 고장 검출 : 각 계전기에의하여 선로의 고장 검출 알고리듬이 수행되어 고장이 검출된 경우 자체적으로 자신의 선로를 차단하며 이를 네트워크상의 모든 노드에 알려주어야 한다. 따라서 이 경우에도 역시 브로드 캐스팅 기능에 의하여 각 노드에 선로를 차단하였음을 알려주게 된다.

- 네트워크관련 에러 보고 : 샘플링 데이타 또는 감시용 프레임은 일정한 시간내에 처리되어야 하는데 전송매체의 고장 또는 네트워크 인터페이스 처리부의 고장등이 발생한 경우 정상적인 보호,제어 기능을 수행할 수 없는 경우가 발생하므로 이와같은 상황을 중앙 노드에 보고하여야 한다.

중앙 노드

1) 샘플링 프레임 또는 감시용 프레임의 수신 : 이들 프레임을 수신한 경우 중앙 노드는 정상적으로 수신하였음을 송신측 노드에 알려주어야 한다. 이는 IEEE 802.4의 AWAIT-IFM-RESPONSE 상태에 의해서 이루어지는데 이의 자세한 설명은 3 장에서 하기로 한다.

수신된 데이타는 곧바로 스테이션 유닛브에의하여 모선 보호 알고리듬 또는 선로의 전압,전류 조정등의 작업에 사용된다.

2) 제어용 프레임의 전송 :

- 모선 고장 검출 : 보호 계전기의 경우와 마찬가지로 각 보호 계전 노드로부터 수신된 샘플링 데이타를 사용하여 모선의 고장을 검출하며 고장이 인지된 경우 모선을 차단한 후 이를 각 노드로 알려 주어 관계된 선로의 추가 차단이 이루어질 수 있도록 한다.

- 기준 시간 제공 : 모든 보호 계전 노드는 각자의 기준 시간에 의하여 작업을 수행하게 되는데 이 기준 시간이 시간이 지남에 따라서 보호 계전기마다 조금씩의 차이를 보이게되므로 중앙 노드에서는 적당한 시간마다 각 보호 계전 노드의 기준 시간을 동기시켜줄 필요가 있다.

3. 변전소용 보호,제어 네트워크의 설계

토큰 패싱 버스에서는 데이타간의 우선 순위를 부여함으로써 한 노드에서 여러 형태의 데이타 프레임을 처리할 수 있도록 한다. 본 논문에서 제안되는 네트워크의 경우는 다음과 같이 데이타간의 우선 순위를 할당한다.

샘플링 프레임 : priority 6 (최우선 순위)
감시용 프레임 : priority 4
제어용 프레임 : priority 2 (최 하위 순위)

변전소용 보호, 제어 네트워크의 경우 한번 샘플링된 데이타 또는 전압,전류의 측정치들을 중앙 노드로 전송시 이 데이타들이 정확히 전달되었는 지의 여부는 매우 중요한 데 이는 잘못된 데이타를 사용하거나 데이타 전송 에러로 인한 샘플링 데이타의 손실이 발생할 경우 모선 보호를 위한 알고리듬 수행에 지장을 초래할 수 있기 때문이다. 따라서 각 노드로부터 중앙 노드에 수신되는 샘플링 또는 감시용 데이타는 모두 Acknowledgment를 받게 된다. 이 Acknowledgment를 위한 프레임을 ACK 프레임이라고 부르기로 한다. 여기서 한가지 지적할 사항은 ACK 프레임은 오직 중앙 노드에서 발생한다는 점이다. 반면 중앙 노드에서 각 노드로 전송되는 제어용 프레임은 많은 경우 브로드 캐스팅에 의해서 이루어지므로 중앙 노드에 대한 ACK 프레임을 전송하지 않는다. 다음 그림 3은 4개 노드에서의 보호,제어용 데이타 전송 예를 보여준 것이다.

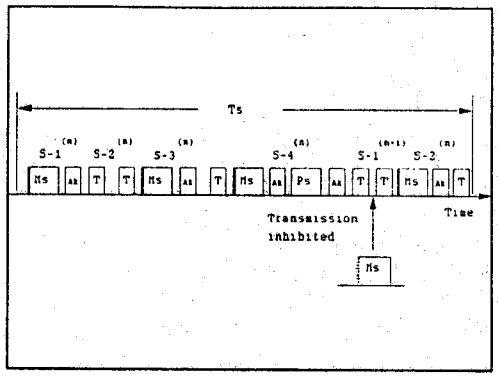

그림 3. 전형적인 변전소용 보호,제어 데이타 프레임 흐름

|| : 샘플링 데이타 전송 가능
:: : 샘플링 데이타 전송 불가
Ns : 샘플링 데이타 프레임
Ps : 감시용 데이타 프레임
Ak : ACK 프레임
Tk : 토큰 프레임
S-i(n) : i번째 보호 계전 노드의 n번째 토큰 수신

(A) ACK 프레임 처리

위의 그림에서 볼 수 있듯이 보호 계전 노드에서의 데이타 프레임은 모두 ACK 프레임을 수신하게 됨을 볼 수 있는데 보호 계전 노드가 ACK 프레임을 받고자 할 때는 데이타를 보낼 때 중앙 노드에 ACK 프레임을 요구할 수 있다. 이는 IEEE 802.4 rev. F에서부터 추가된 규정으로 전송을 하고자하는 모든 노드는 토큰이 있는 경우에만 가능하다는 토큰 패싱 버스 규약의 대 원칙에 예외되는 것으로 상대방 노드에 준비된 데이타를 원할 경우 응답 요구 프레임을 송신할 수가 있다. 이때 수신측 노드는 비록 토큰은 없으나 현재 네트워크상에 데이타를 보내는 노드가 없음을 알 수 있으므로 준비된 응답 프레임을 보낼 수가 있다. 본 변전소용 보호,제어 네트워크의 경우에는 이러한 응답 요구 기능을 사용하여 응답 프레임을 ACK 프레임으로 설정하였다. 이는 각 보호 계전 노드의 데이타가 중앙 노드로 집중되기 때문에 가능하게 된다. 따라서 중앙 노드에서는 항상 ACK 프레임을 자신의 큐(queue)에 준비해두어 어느 노드에서 응답을 원하는 데이타 프레임이 수신된 후, 수신된 데이타가 정상임이 판정될 경우 ACK 프레임을 전송하게 된다. 이 경우 ACK 프레임의 송신에 소요되는 시간은 그 과정이 거의 하드웨어에 의하여 이루어지기 때문에 중앙 노드에서는 수신된 데이타가 정상여부 판정에 따른 시간 지연만이 발생할 뿐이다.

(B) 데이타 전송 에러의 복구

다음의 그림 4-8은 보호 계전 노드에서 중앙 노드로 데이타를 전송시에 발생할 수 있는 에러의 처리 과정을 나타낸 것으로 여기서 한 가지 가정하는 것은 한 노드에서 토큰 순환 시간(Token Cycle Time)내에서 발생하는 전송 에러는 최대 한번을 넘지 못한다고 가정한다. 실제로 IEEE 802.4에서 요구하는 데이타 전송시의 에러 발생율은 10 비트 이하로 규정하고 있으므로 매우 적은 에러의 발생 확률을 갖고 있다.

그림 5와 7은 수신측이 송신 노드 어드레스를 인지한 경우이다. 이는 데이타 영역에 전송 에러가 발생한 것으로 이때 수신 노드인 중앙 노드는 NEG-ACK 프레임을 보내 재전송할 것을 요구한다. 반면 그림 6와 8의 경우는 전송 에러가 어드레스 또는 제어 영역에 발생한 것으로 이 경우 중앙 노드에서는 ACK-프레임을 보낼 수가 없게 된다. 송신측 노드는 데이타 전송시 자신의 타이머를 작동시켜서 일정시간내에 중앙노드로부터 ACK 프레임이 오지않으면 타이머로부터 인터럽트가 걸려 재전송을 하게된다. 이와 같은 에러의 복구 과정을 통하여 보호,제어 기능의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 다음 그림 9는 이상과 같은 에러의 복구과정을 포함시켰을 때의 IEEE 802.4의 상태 다이어그램이다. 단, 일반적인 IEEE 802.4의 경우 논리적 링(ring)의 탈퇴 및 가입의 경우가 발생할 수 있는데 본 네트워크의 경우에는 노드에 고장이 발생하지

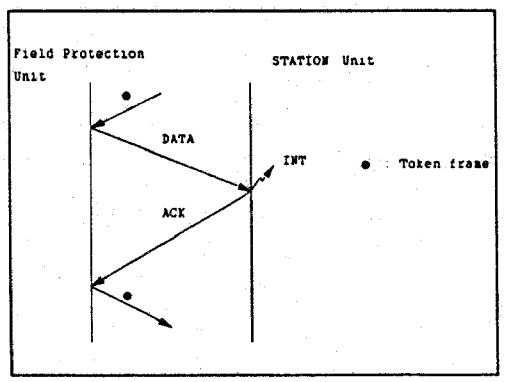

그림 4. 정상 상태의 데이타 전송

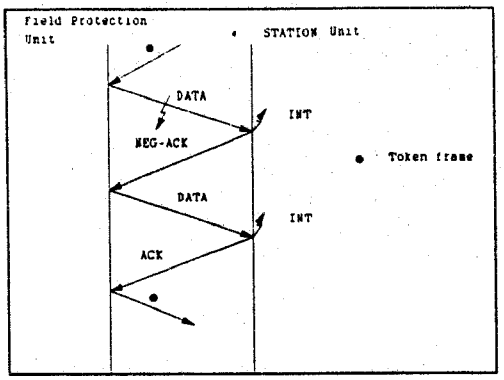

그림 5. 최초 데이타 전송 에러(송수신 노드 인지 가능)

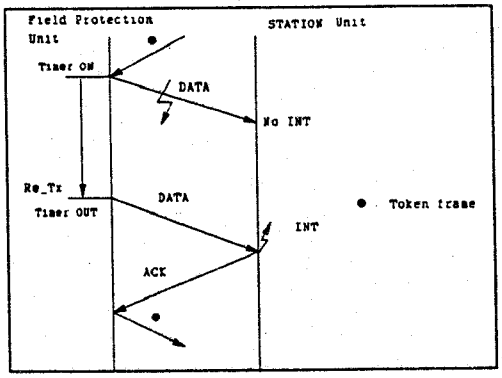

그림 6. 최초 데이타 전송 에러(송수신 노드 인지 불능)

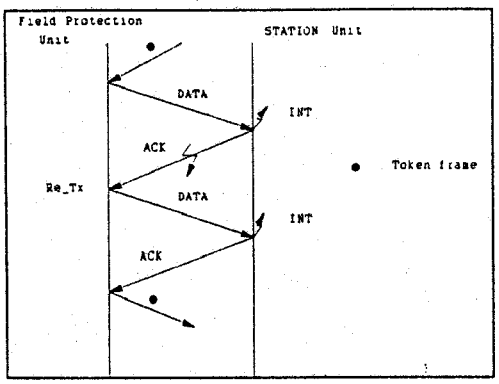

그림 7. 최초 ACK 프레임 전송 에러(송수신 노드 인지 가능)

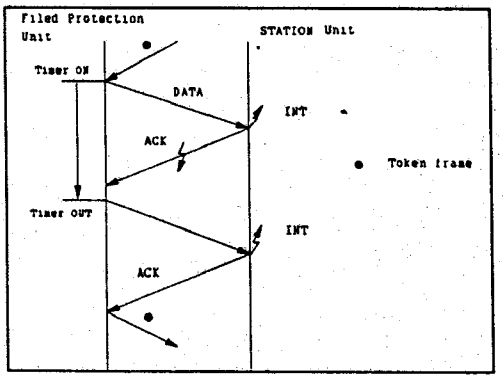

그림 8. 최초 ACK 프레임 전송 에러(송수신 노드 인지 불능)

않는 한 링의 탈피는 생기지 않으며 더불어서 네트워크가 새로 초기화되지 않는 한 정상적인 보호 알고리듬을 수행하는 도중에 새로운 노드의 링 가입은 금지된다. 이와같이 링을 고정시키는 이유는 링의 연결이 변화가 생길 경우 IEEE 802.4에 따르면 링을 재구성하여야 하는데 이 과정에서 상당한 시간적인 지연이 발생하게 되므로 정상적인 보호 기능의 수행에 지장을 주게 되기 때문이다.

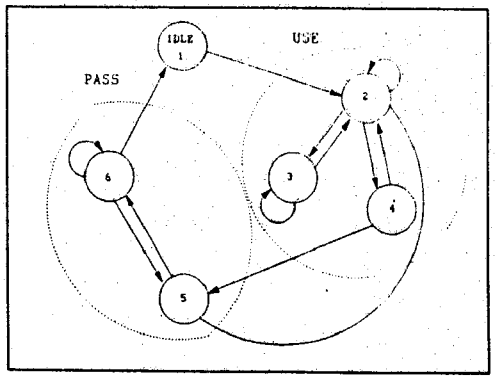

그림 9. 변전소용 보호,제어 네트워크의 상태 다이어그램

1 : IDLE
2 : USE_TOKEN
3 : AWAIT_IFM_RESPONSE
4 : CHECK_ACCESS_CLASS
5 : PASS_TOKEN
6: CHECK_TOKEN_PASS

4장 변전소용 보호,제어 네트워크의 해석

앞의 2장과 3장을 통하여 본 논문에서 제안하는 변전소용 보호,제어 네트워크의 전반적인 구조 및 운용에 대해서 살펴보았다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 네트워크가 변전소용 네트워크에 요구되는 보호,제어 기능을 만족할 수 있도록 네트워크 관련 변수를 조정하며 이때 예상되는 성능을 해석하기로 한다.

(A) 변전소 보호,제어 네트워크의 해석

전술한 바와같이 변전소용 네트워크에 있어서 보호기능은 최우선적으로 이루어져야하는데 이는 곧 보호 계전 노드의 샘플링 프레임을 큐에 한 개이상의 프레임이 동시에 존재해서는 안됨을 의미한다. 따라서 모든 보호 계전 노드에서의 토큰 순환 시간은 샘플링 주기보다 작아야 한다. 이를 위하여 다음과 같이 토큰 순환 시간에 대한 분류를 한다.

$C_{i,k}^{(n)}$: n 번째 노드의 K class 데이타에 대한 i번째 토큰 수신 시각

Cmin : 최소 토큰 순환 시간

Cmax : 최대 토큰 순환 시간

최소 순환 시간인 Cmin은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Cmin = \sum_{i=1}^{N} Tt^{(i)} \qquad (4.1)$$

여기서 N은 전체 노드의 수이며 $Tt^{(i)}$는 i번째 노드에서 i+1번째 노드로 토큰을 전달하는데 소요되는 시간을 나타내며, 이때

의 데이타 전송 속도와 노드간 거리가 일정하므로 토큰 전달 시간의 전체 합은 상수로 볼 수 있다. 반면 최대 토큰 순환 시간인 Cmax는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Cmax(g) = Cmin + N(Tm + Ta) + \max[Tc, g(Tp+Ta)] \quad (4.2)$$

Tm : 샘플링 프레임 서비스 시간
Ta : ACK 프레임 서비스 시간
Tc : 제어용 프레임 서비스 시간
Tp : 감시용 프레임 서비스 시간
Td : 타이머 초기값
g : 네트워크 효율비

프레임 서비스 시간은 프레임의 전송 시간과 노드에서의 이의 처리 시간과의 합을 의미한다. g는 네트워크의 트래픽 효율을 나타내는 상수로 한 토큰 순환 시간에 포함될 수 있는 허용 가능한 감시용 데이타 프레임의 갯수를 의미한다. 따라서 토큰 순환 시간은 다음과 같은 부등식을 만족하게 된다.

$$Cmin \leq C_{i+1,k}^{(n)} - C_{i,k}^{(n)} \leq Cmax(g) \quad (4.3)$$

본 네트워크가 모선 보호 기능을 보장하기위해서는 다음과 같은 관계를 만족해야 한다.

$$Cmax(g) - Cmin \leq Ts \quad (4.4)$$

따라서 네트워크 효율비 g는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$g = \begin{cases} trunc\left[\dfrac{Ts - N(Tm+Ta)}{Tp+Ta}\right], & gTp \leq Tc \\ trunc(Tc/(Tp+Ta)), & gTp \leq Tc \end{cases} \quad (4.5)$$

식(4.5)으로 구해질 수 있는 네트워크 효율비로부터 샘플링 데이타를 우선적으로 처리하고 생기는 시간적 여유를 이용하여 종래 보호,제어기능이 분리된 두개의 네트워크가 하나의 네트워크로 통수할 수 있음을 알 수 있다. 한편 감시용 프레임이 중앙 노드에 모두 전달되는데 소요되는 시간, Tcol은 아래 식으로 표현된다.

$$Tcol \leq trunc\left[\frac{N}{g}\right] \cdot Cmax(g) \quad (4.6)$$

감시용 프레임의 경우 사용자가 원하는 주기,Tpr에서 ±1%정도의 오차는 허용되는데 원하는 시각에서 크게 벗어나지 않도록 하기 위해서는 각 보호 제전 노드에서는 감시용 데이타의 전송 시작 시간을 Tpr의 배수가 되는 시각, t에서 t-Tcol/2로 정하는 것이 바람직한다.

또한 네트워크에서 허용할 수 있는 최대 노드의 수, Nmax는 네트워크 효율비 g = 1에서 결정되므로 다음 식(4.7)과 같게 된다.

$$Nmax = trunc\left[\frac{Ts - \max(Tp,Tc)}{Tm + Ta}\right] \quad (4.8)$$

IEEE 802.4에서는 4개의 데이타 class를 지원할 수 있는데 이는 각 데이타 class마다 타이머를 두어서 이 타이머가 소멸되지 않을 경우 해당 큐에 있는 데이타를 서비스할 수가 있다. 따라서 본 논문에서 제안되는 네트워크의 경우 보호 기능의 수행이 타이머의 초기치에 의존하게 된다. 데이타 class 4,2에 대한 타이머 초기치 TRT4, TRT2는 네트워크 효율비 g로부터 다음과 같이 결정된다.

$$TRT4 = TRT2 = Cmin + gTp \quad (4.9)$$

(B) 시뮬레이션 결과와의 비교

네트워크 시스템의 노드수는 10개로 하였으며 시뮬레이션에서는 데이타 전송시의 에러는 발생하지 않는다고 가정하였다. 시뮬레이션에 사용된 데이타 처리 시간은 다음과 같다.

샘플링 데이타 처리 시간 : Tm = 44 usec
감시용 데이타 처리 시간 : Tp = 54 usec
제어용 데이타 처리 시간 : Tc = 44 usec
ACK 프레임 처리 시간 : Ta = 33 usec

여기서 제어용 데이타의 발생은 평균 Tc의 지수 분포로 가정하였다. 시뮬레이션 시간은 10초로 하였다. 그림 10은 데이타 class 2,4의 타이머 값을 변화시킴에 따른 샘플링 프레임이 시간내 서비스를 받지 못한 빈도를 나타낸 것이고 그림 11.은 감시용 프레임의 평균 수집 시간, Tcol을 나타낸 것이다.

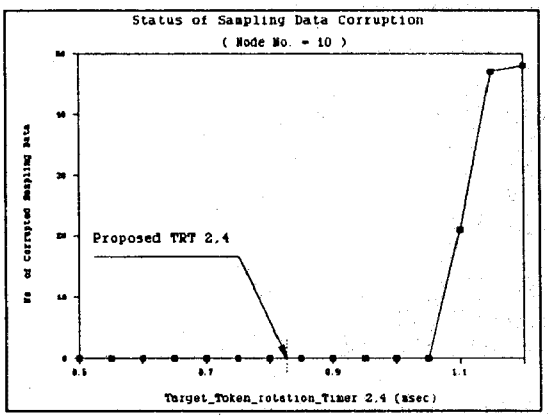

그림 10. 샘플링 프레임 처리 불능 빈도

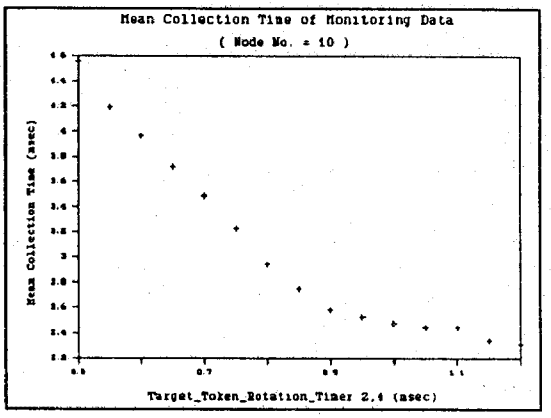

그림 11. 평균 감시용 프레임 수집 시간

위의 그림에서 식(4.8)에의한 타이머 초기치 1.05 msec이상에서부터 샘플링 주기내에 샘플링 프레임이 서비스되지 못하는 경우가 발생하기 시작함을 알 수 있다. 이는 타이머의 값을 증가시킬수록 우선순위 2,4의 데이타들이 송신될 확률이 증가하기 때문에 샘플링 데이타가 제때 처리되지 못하는 경우가 발생한다. 한편, 샘플링 데이타의 처리가 샘플링 주기를 벗어나기 시작하는 것은 계산된 타이머 값 830 usec는 최악의 상황에서도 네트워크이 보호 기능을 원활히 지원할 수 있도록 하였기 때문이다.

5장. 결 론

본 논문에서는 변전소에서의 선로 보호 및 제어기능을 지원할 수 있도록 IEEE 802.4를 기본으로하는 보호,제어용 네크워크를 제안하였으며 이의 성능을 해석하였다. 제안된 네트워크는 지금까지 독립된 개념의 보호, 제어 기능을 하나의 네트워크망으로 통합, 설계하여 보다 효율적이고 경제적인 운용을 기할 수 있도록 하였다.

또한 제안된 보호,제어용 네트워크는 표준화된 네크워크 전송 규약인 IEEE 802.4를 바탕으로 하였기 때문에 네트워크에서 발생할 수있는 모든 제반 상황에 대하여 매우 안정된 대응을 보장할 수 있다. 또한, 본 네트워크에 동종 혹은 이종간 네트워크를 접속시 그 접속이 표준화된 양식을 따르기 때문에 광역화 전력 네트워크망 형성에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 한전 기술 연구원," 차세대 변전소의 보호제어 시스템," 계통고장현상과 보호계전기술, 1990. 3.

[2] 大浦好文," 변전소 보호제어용 광 LAN의 응용," 일본 전기학회지, 1989. 10.

[3] IEEE 802.4, Token Passing Bus Access Method and Physical Layer Specification revision F,1984.12.

[4] EPRI, Substation Control and Protection 1981. 4.

[5] J.S. Deliyamnides & E.A. Udren,"From concepts to reality - the implemetation of an integrated protection and control system," IEE International Conference on Developments in Power-System Protection, London, April 17-19, 1985.