

배전자동화 시스템의 서비스 향상을 위한 P2P 기반의 분산형 통신망 구조

論 文

56-3-1

A Distributed Communication Architecture Based on the Peer-to-Peer Model for Enhancing Distribution Automation System Services

林一亨[†] · 洪錫源^{*} · 崔勉松^{**} · 李承宰^{***} · 河福男[§]

(Il Hyung Lim · Sug Won Hong · Myeon Song Choi · Seung Jae Lee · Bok Nam Ha)

Abstract - We overview the current distribution automation system in Korea and point out the limitations of the distribution services which can be provided by the current system. In this paper we propose a new distribution system architecture which is based on the peer-to-peer communication model. In this decentralized architecture the intelligent FRTUs can initiate data transmission without any interruption of a central server, and can exchange data with other FRTUs as peers. In order to support the peer-based distribution system, we specify the requirements for new communication network and suggest a way of improving the current distribution network where we adapt an intelligent module for protection and restoration, called MASX, and utilize the open communication network protocols. We also show how the new architecture can enhance major distribution services such as protection, automatic restoration, and equipment management.

Key Words : 배전자동화, 배전 통신망, 분산형 구조, P2P(peer-to-peer) 통신, 배전계통 서비스, 보호협조, 복구자동화, FRTU, MASX

1. 서 론

국내 배전자동화 시스템은 전력계통 운영기술과 IT 기술을 이용하여 원거리에 산재해 있는 배전선로용 자동화 개폐기(FRTU : Feeder Remote Terminal Unit)를 배전사령실에서 원격으로 감시·제어하고, 고장 구간 자동인식 및 전압, 전류, 파형 등의 선로 운전 정보를 자동으로 수집하는 시스템으로서 배전계통을 효율적으로 운영할 수 있는 종합제어 시스템이다.[1]

배전계통을 운영하는데 있어 중요한 요소를 크게 세 가지로 나누어본다면 보호협조, 고장복구, 설비운영이다. 이러한 배전 계통 운전지원 서비스를 제공하기 위한 국내 배전자동화 시스템은 중앙집중 방식의 구조에 기반을 두고 있다. 중앙에 위치한 서버는 주기적인 폴링(polling)에 의해서 FRTU로부터 정보를 수집하고 감시제어 기능을 수행한다. FRTU들은 자율성을 갖고 있지 않고 서버에 종속되어 동작을 한다.

현재 배전자동화 시스템은 이러한 중앙집중적 구조의 특성상 계전기들끼리의 상호정보교환을 통한 보호협조 기능은 제공하고 있지 않다. 그리고 복구 서비스는 FRTU로부터 고장 정보를 중앙 서버에서 수집하여 이를 분석한 후 FRTU

를 직접 제어하는 방식으로 운영되고 있기 때문에 수분에 걸친 복구 시간이 소요되고 있다. 또한 설비 운영은 실시간 감시에 기반을 두고 있지만 중앙 집중 구조의 특성상 약간의 지연 시간을 감수하면서 배전 계통을 운영하고 있다.

따라서 보호협조, 고장복구, 설비운영의 모든 서비스를 보다 효율적으로 배전자동화 시스템에서 제공하기 위해서는 중앙집중 방식이 아닌 분산형의 구조로 배전계통의 각 단말장치 간에 필요한 정보들을 교환하여 FRTU들이 능동적으로 동작하도록 해주는 Multi-Agent 단말장치(MASX)[2]의 적용이 요구되며 이러한 분산형 구조를 효율적으로 지원할 수 있는 배전자동화 시스템 통신망 구조변화의 필요성이 요구된다.[3-8]

본 논문에서는 현재 배전자동화 시스템의 성능향상을 위한 방안으로 분산형 구조의 배전자동화 시스템을 제안하고 이러한 분산형 구조의 시스템을 지원하기 위한 새로운 배전자동화 시스템 통신망의 요구사항과 구조를 제시한다. 또한 현재 국내 배전계통의 통신망 개선을 위한 현실적인 방안으로 MASX를 이용한 배전통신망의 구조를 제안하고 이를 이용한 보호 및 복구서비스의 성능개선에 대한 방향을 제시한다.

2. 국내 배전자동화시스템

2.1 배전자동화 시스템의 구성

배전자동화 시스템의 목적은 원거리에 산재하는 배전선로용 개폐기들 간에 전압과 전류 등의 계통 운전 정보를 자동으로 수집하여 중앙에서 개폐기를 제어할 수 있도록 하며, 고장 구간을 자동으로 검출하여 자체적으로 이에 대응할 수

† 교신저자, 學生會員 : 明知大學 工大 電氣工學科 碩士課程
E-mail : sojoo2jan@mju.ac.kr

* 非會員 : 明知大學 工大 電算工學科 教授 · 工博

** 終身會員 : 明知大學 工大 電氣工學科 教授 · 工博

*** 正會員 : 明知大學 工大 電氣工學科 教授 · 工博

§ 正會員 : 韓電 電力研究院 首席研究員 · 工博

接受日字 : 2006年 11月 6日

最終完了 : 2006年 12月 25日

있는 시스템을 구축하는 것이다. 이를 위해서 배전 자동화 시스템은 현장에 설치된 개폐기에 연결된 FRTU와 중앙 배전 서버 간에 데이터를 상호 교환 할 수 있는 통신망의 구축이 필수적으로 요구된다.

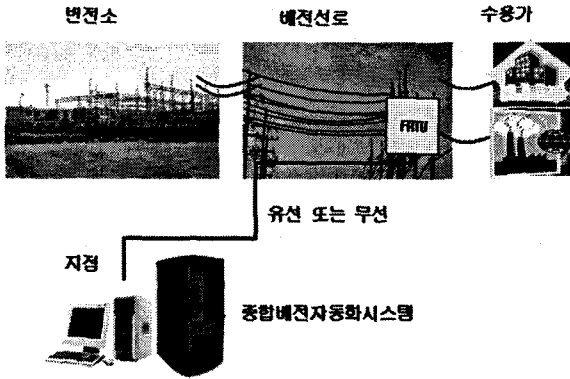


그림 1 배전자동화 시스템의 기본 구성
Fig. 1 General structure of distribution automation system

배전자동화 시스템에서 중요한 역할을 하고 있는 FRTU 들은 지역적 특성에 따라서 대략 100개에서 500개의 FRTU 들로 이루어진 그룹으로 독립된 시스템을 구성한다. 하나의 배전자동화 시스템은 배전사업자인 지점 혹은 지사를 단위로 하여 구성되는데 동일한 배전자동화 시스템 내의 FRTU 들은 대략 최대 20km의 범위 안에 위치한다. 그림 1은 배전 자동화 시스템의 기본 구성을 보여주고 있다. 배전계통의 각 단위 그룹에는 중앙 제어실 내에 배전자동화(Distribution Automation System: DAS) 서버가 존재하며 DAS 서버는 각 그룹 내의 FRTU로부터 데이터를 수집하고 필요한 제어 정보를 FRTU에 전송한다.

2.2 배전자동화 시스템의 통신망

현재 국내 배전자동화를 위한 통신망은 다양한 전송 매체와 전송 방식에 기반을 두고 구축되어 있다. 표 1은 현재 배전자동화 통신망을 구성하는 통신 매체의 현황을 보여주고 있다. 현재 국내 배전망은 광선로의 구성이 40% 이상을 차지하고 있는데 점차 광선로 구간의 증대에 따라 이 비율은 높아질 것이다.

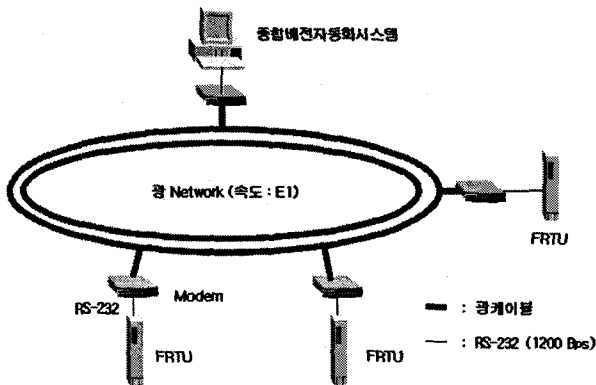


그림 2 국내 광전송로 기반의 배전자동화 통신망 구성
Fig. 2 Communication structure of Korean DAS

그림 2는 광선로를 기반으로 하는 현재 배전자동화 통신 망을 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 광선로에 DAS 서버와 FRTU가 광모뎀을 통하여 접속하고 있으며 광 모뎀은 E1(2Mbps)으로 광선로에 연결되어 있다. 그리고 DAS 서버는 광모뎀에 이더넷(Ethernet) 방식으로 연결되어 있으며, FRTU는 광모뎀에 RS-232 방식의 직렬(serial) 통신 방식으로 접속하고 있다.

이와 같은 현재의 배전계통에서는 각각의 FRTU는 DAS 서버를 통해서 주변 FRTU에 대한 필요한 정보를 수집하여 계통운영 및 복구 기능을 수행할 수 있다. 그러나 현재의 직렬통신 기반의 중앙집중 방식의 시스템 구조에서는 서버를 통하지 않고 FRTU간에 직접 필요한 정보교환을 할 수가 없어 고효율의 분산형 서비스를 제공할 수 없다. 따라서 새로운 형태의 배전계통 분산형 서비스를 제공하기 위해서는 FRTU간에 직접 통신이 가능한 분산형 시스템을 지원할 수 있는 통신망구조로 구조변화가 요구된다.

표 1 국내 배전자동화 통신망 추진 현황 (2004년 12월-KEPCO)

Table 1 Promotion status of Korea DAS communication network

구분	유선방식		무선방식			합계
	광방식	전화선	TRS	무선Data	CDMA	
망제공자	파워콤	KT	한전	에어미디어	SKT	-
시설개소	11,101	6,735	4,125	3,804	290	26,055
점유율 (%)	41.9	26.1	16.2	14.6	1.2	100%
모뎀단가 (원)	272,480	473,000	1,284,600	553,488	900,637	-
요금체제	정액제	정액제	-	정액제	종량제	-
월요금 (평균, 원)	54,000	49,400	0	18,000	17,000	-
연간요금 (원)	71.9억	39.9억	0	8.2억	0.6억	120.6억

3. 통신망 기술의 현황

3.1 액세스망 기술로서의 이더넷

이더넷(Ethernet)은 LAN을 대표하는 기술로서 최근 기가비트 이더넷(Gigabit Ethernet) 보급이 확대되고 10 기가(10 Gigabit) 이더넷의 등장으로 초고속 데이터 전송 기술로서 확고한 위치를 차지하고 있다. 또한 이더넷 스위치의 사용과 광케이블의 사용으로 근거리 망 기술로서의 거리에 대한 제약은 극복하고 MAN/WAN의 범위까지 그 응용 범위를 확대하고 있다.

현재의 망은 초기에는 기존 전화망 인프라를 기반으로 하여 구축되었다. 하지만 최근에는 고속 가입자의 접속 서비스에 대한 수용증대에 따라 여러 종류의 고속 가입자 망 기술이 이용되고 있다. 현재 가입자 액세스망 기술로서 DSL(Digital Subscriber Line), 케이블 모뎀 기술이 주류를 이루고 있으며 향후 광 케이블을 이용한 고속 가입자 서비스와 고속 무선 가입자 서비스가 등장할 것으로 전망된다.

하지만 가입자와 핵심망을 연결하는 메트로 전송망의 경우 기존의 TDM(Time Division Multiplexing) 기반의 SONET/SDH 망으로 되어 있어 데이터 트래픽을 전송하는

데 비효율적인 구간으로 남아 있다. 최근 기가비트 이더넷과 10G 이더넷의 등장으로 시도되고 있는 메트로 이더넷(Metro Ethernet)은 메트로 전송망 구간을 데이터 트래픽에 적합한 구조로 대체하기 위한 시도라고 볼 수 있다.

이와 같이 LAN/MAN 기술로서 이더넷이 지속적으로 각광을 받고 있는 이유는 다음과 같은 이더넷의 장점에서 비롯된다고 할 수 있다.

첫째, 이더넷은 패킷 교환 방식으로 링크 대역폭을 공유함으로써 링크 사용 효율을 높일 수 있으며 이에 따라 대역폭 당 비용이 저렴하다.

둘째, 이더넷은 LAN 시장에서 성공한 기술로서 이미 대량 생산되고 있기 때문에 관련 칩과 장비의 가격이 다른 기술의 장비와 비교하여 상대적으로 저렴하다.

셋째, 이더넷은 이미 오랜 기간 동안 사용된 검증된 기술로서 망 운영자 및 관리자들에게 매우 익숙한 기술이다.

3.2 IP 기반의 통합망 서비스

인터넷의 보편적인 이용과 함께 IP 중심의 통합화는 계속 진행될 것으로 예상된다. IP 중심의 통합화는 두 가지 관점에서 언급할 수 있다.

첫째, IP 중심의 전달망으로의 진화이다. 백본망을 비롯하여 전송망이 점차적으로 IP 트래픽을 전달하는데 유리한 구조로 통합되어 간다는 점이다.

또 다른 관점에서 IP 중심의 서비스 통합화를 말할 수 있다. 다양한 서비스가 점차 IP 기반에서 동작하는 서비스로 이행되어 갈 것이라는 전망이다. 기존의 음성 서비스도 Voice over IP로 대변되는 패킷 기반의 서비스로 이행되어 가고 있으며 비디오 서비스도 IP 기반에서 제공하는 방향으로 발전되어 갈 것이다.

이러한 IP 중심의 통합화라는 추세에서 볼 때 배전 자동화 통신망도 TCP/IP 프로토콜 기반에서 동작하는 방향으로 나가는 것을 고려할 필요가 있다. 이 점은 현재의 IP 기반 기술을 용이하게 이용할 수 있다는 장점과 함께 현재의 TCP/IP 기반의 SCADA 망과 공통된 네트워크 프로토콜 기반에서 통합이 가능하다는 이점이 있다. 또한 웹 기반에서 운영되고 있는 전력자동화 시스템의 서버와 동일한 플랫폼에서 서비스를 제공할 수 있다.

3.3 전력선 통신(PLC) 기술 현황

현재 전력분야의 통신기술은 계통운영의 상단측인 EMS 및 SCADA 쪽에서는 이미 이더넷(E1) 망으로 사용하고 있으나 말단측인 배전계통의 통신망의 경우 기술수준 및 신뢰도 등의 이유로 직렬통신방식을 이용하고 있다.

근래들어 기술이 발달하면서 전력분야 통신망으로 관심을 모으고 있는 것이 전력선 통신기술(PLC : Power Line Communication)이다.

전력선을 이용한 통신 기술(PLC)은 이미 시험화의 단계를 넘어 상용화 단계에 있으며 여러 응용 분야에서 가능성을 보여 주고 있다. 전력선 통신의 가장 큰 장점은 이미 구축되어 있는 전력선을 사용하기 때문에 저가의 투자비와 운영비가 요구된다는 것이다.

PLC의 응용은 적용 구간에 따라서 22.9kV의 고압선 구간, 220V의 저압선 구간, 그리고 옥내의 세 구간으로 구분할 수 있다. 액세스 망에 해당하는 부분은 고압선 구간과 저압선 구간이며, 옥내 구간에서 PLC 통신은 홈 네트워킹에 이용할 수 있다. 특히 저압선 구간의 통신은 PLC 모델과 FRTU의 연결을 통해서 기기의 제어 정보의 전달에 활용될 수 있다.

하지만 PLC는 정전구간이 발생되었을 때 정전구간 내에서는 통신이 되지 않는다는 단점이 있다. 따라서 배전자동화 시스템 통신망에 적용을 하기에는 복구기능을 적용하기에 적합하지 않다고 판단되며, 지금의 기술 수준으로 AMR(Automatic Meter Reading)과 인터넷망이 적합한 응용 분야로 예상되며 추후 연구에 따라 응용 범위가 확대될 것으로 전망된다.

4. 새로운 배전자동화 통신망의 요구사항

4.1 노드간 정보교환이 가능한 분산형 구조

앞으로의 배전계통에는 많은 지능화된 기기들이 도입될 것이다. 기기의 지능화는 배전자동화의 효율을 극대화하고 새로운 서비스를 제공하기 위해서는 필수불가결한 요소이다. 이러한 기기들은 배전자동화 시스템에서 통신망을 구성하는 노드로서 동작하게 된다. 향후 배전 자동화 통신망이 지향할 모델은 다음과 같다.

첫째, 노드간의 통신은 스스로의 필요에 의해 이루어지도록 할 필요가 있다. 각 노드들은 자신의 정보를 가지고 필요요청을 판단하여 스스로 필요한 자료를 해당 노드에 요청해서 즉시 정보를 수신할 수 있어야 한다.

두 번째로, 모든 노드는 필요에 따라 클라이언트 혹은 서버로서 동작할 수 있도록 한다. FRTU 간에 정보의 교환이 필요할 경우 반드시 DAS 서버를 통하지 않고 직접 FRTU 간에 서버와 클라이언트 구조를 모두 포함하여 다:다 통신이 가능한 분산형 통신망 구조를 가지는 P2P(Peer-to-Peer)로서 통신을 할 수 있도록 해야 한다. 이러한 피어 모델(Peer Model)은 앞으로 배전자동화 시스템을 통해서 제공될 수 있는 서비스의 범위를 확대할 수 있으며 분산형 서비스의 제공이 가능하게 된다. 또한 현재 운영되고 있는 배전자동화 시스템의 효율을 훨씬 더 향상시킬 수 있다.

세 번째로, 배전자동화 시스템의 모든 노드는 자신을 인식할 수 있는 고유의 주소(Address)를 가져야 한다. 고유한 주소를 갖는 것은 노드 간에 피어 모델에 의한 통신이 가능하도록 하기 위한 필요조건이다. 노드의 주소는 별도의 주소 체계를 적용할 수도 있지만 현재 보편적인 망 주소로 사용되고 있는 인터넷 네트워크 프로토콜(IP)의 주소를 사용하는 것이 자연스런 해결책이 될 수 있다. 모든 노드가 고유의 주소를 갖는 것은 노드 간 정보의 교환이 가능해질 뿐 아니라 배전 계통 구조를 하나의 통신망으로 관리 통제할 수 있도록 한다.

노드의 지능화와 분산형 구조의 가장 큰 이점은 새로운 서비스 수용이 용이하게 이루어질 수 있다는 점이다. 보호와 복구의 이점은 물론이고 설비 운영 측면에서도 이점을 갖는다. 예를 들면 배전 설비에 센서를 내장하여 온라인 상

태를 감시할 경우 센서 노드가 하나의 통신망 내에서 고유한 노드로서 인식될 수 있기 때문에 여러 종류의 응용 서비스가 수월하게 적용될 수 있다. 이러한 점에서 분산형 구조는 향후 배전자동화 통신망이 유비쿼터스 망(Ubiquitous Network)으로 발전할 수 있는 기반이라고도 할 수 있다.

4.2 통신 프로토콜

배전자동화 기술의 주요한 목표 중의 하나는 변전소에서 배전 계통을 포함하여 수용가까지 이르는 전기 설비의 실시간 제어(Real-time Control)라고 할 수 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 변전소, 배전계통 그리고 수용가에 이르는 통합망의 설계와 구성이 요구된다.

통합망의 구성은 다음과 같은 점이 고려되어야 한다. 먼저 다양한 통신 매체 위에서 투명하게 응용 서비스를 제공할 수 있는 공통된 네트워크 프로토콜이 요구된다. 공통된 네트워크 프로토콜은 특정 집단에서 폐쇄적으로 사용하는 프로토콜이 아니라 모든 망에서 현재 공통적으로 사용하고 있으며 용이하게 사용자가 접근할 수 있는 개방형 프로토콜(Open Protocol)을 지향해야 할 것이다.

그리고 변전망, 배전망, 수용가를 포함한 전체 전력계통의 구성 요소들 간에 실시간 제어를 위한 정보를 상호 교신할 수 있는 공통된 응용 프로토콜이 요구된다. 이것은 다양한 기능의 시스템 요소들 간의 정보의 전달 뿐 아니라 서로 다른 벤더(Vendor)들의 제품 간에 상호 호환을 위해서 필요한 요구사항이라고 할 수 있다.

현재 이더넷 기반의 TCP/IP 프로토콜은 모든 망을 통합하는 프로토콜로서 자리 잡고 있으며 이러한 추세는 앞으로도 지속될 것이다. 또한 망 서비스는 점차 웹(Web) 기반의 서비스로 점차 발전되어 가고 있다. 향후 IPv6의 도입과 함께 모든 장치는 IPv6 주소를 가질 수 있기 때문에 IP 프로토콜은 더욱 보편적인 네트워크 프로토콜로서 자리 잡게 될 것이다.

배전자동화 통신망을 TCP/IP망으로 이행할 경우 송배전망의 SCADA 망을 포함한 통합 전력망의 구축이 가능해진다. 또한 다양한 통신방식 위에서 통일된 프로토콜에 의한 망의 구축과 배전 통신 프로토콜의 적용이 가능하게 된다.

그림 3은 이더넷 상에서 TCP/IP 기반의 DNP 3.0 프로토콜 스택을 보여주고 있다. 이와 같은 통신 프로토콜 스택을 기반으로 할 경우 응용 프로토콜로서 DNP 3.0 외의 IEC의 통신 프로토콜의 사용도 검토해볼 필요가 있다. 이는 향후 연구와 검토를 통해서 결정할 문제이며 본 논문에서 제안하는 통신 구조 기반에서는 향후 사용할 수 있는 다양한 프로토콜을 수용할 수 있다.

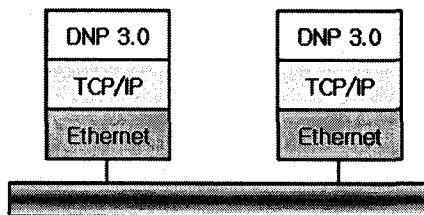


그림 3 Ethernet과 TCP/IP 기반의 DNP 3.0 프로토콜 스택
Fig. 3 DNP 3.0 protocol stack base on TCP/IP and Ethernet

4.3 보안(Security)

현재의 배전자동화 시스템의 통신망은 폐쇄적인 망으로서 물리적인 침입에 의한 공격 이외에 네트워크를 통한 공격의 가능성은 극히 미약하다고 할 수 있다.

하지만 개방형 프로토콜 기반의 망으로 발전할 경우 네트워크 공격의 가능성이 존재하며 이러한 위협을 해결하기 위한 네트워크 보안 문제를 반드시 고려해야 한다. 네트워크 보안 기술은 현재 인터넷 망에서 많이 적용되고 있다. 현재 사용되고 있는 대부분의 보안 기술은 대칭키 혹은 공개키 기반으로 메시지의 내용의 암호화와 전자 서명을 통한 인증 방식에 기반을 두고 있다.

배전망에서 먼저 고려해야 될 점은 보안 기술이 적용되는 지점이다. 현재 배전망의 관점에서 볼 때 데이터의 교환이 이루어지고 있는 서버와 FRTU에 적용할 필요가 있다.

두 번째로 고려되어야 할 점은 보안 기술을 적용하는 프로토콜 계층이다. 적용할 수 있는 계층으로는 응용 계층, TCP, IP, 그리고 링크 계층이 존재하는데 각 계층에서 상이한 방식의 보안 프로토콜을 사용하고 있다. 그리고 어떤 계층에서 메시지를 암호화하는가에 따라 상위 계층에 영향을 줄 수 있다.

세 번째로 고려되어야 할 점은 보안 알고리즘의 선택이다. 보안 알고리즘은 공격의 유형과 보안 요구사항을 분석하여 전체 시스템에 보안 알고리즘을 수행하는데 요구되는 부하를 최소화하며 보안 목표를 달성할 수 있는 알고리즘을 선택하도록 한다.

보안의 어려운 점은 항상 새로운 형태의 공격이 발생할 수 있다는 점이며 이러한 공격이 이루어지기 전에는 이에 대한 방어책이 수립되기 어렵다는 점이다. 특히 배전망에서 특별한 공격이 존재할 수도 있기 때문에 이에 대한 예측을 하기가 쉽지 않다. 이러한 점에서 침입탐지시스템 IDS (Intrusion Detection System)의 도입을 추진하는 것도 고려해 볼 수 있다.

4.4 통신 서비스 품질

현재의 배전망에서 FRTU와 DAS 서버는 산발적이고 적은 양의 데이터를 교환하기 때문에 서비스 품질에 대해 고려할 필요가 없었다. 현재 통신망에서 FRTU는 직렬 통신 기반의 저속의 통신을 사용하더라도 데이터 전송 지연에 대한 문제점은 거의 없다고 볼 수 있다. 하지만 향후 통합망으로 발전하면서 FRTU의 증가와 함께 새로운 서비스를 제공할 경우 데이터의 전송량도 증가할게 될 것이다.

여기서 서비스 품질(QoS)을 “사용자의 서비스 요구사항을 충족시킬 수 있는 망의 능력(capabilities)”으로 정의한다. 이 정의에 의하면 배전망의 사용자, 즉 서버와 FRTU의 첫 번째 요구사항은 통신망의 안정성과 신뢰성이다. 두 번째 요구사항은 원격 제어, 원격 측정, 원격 감시, 원격 설정 등을 실시간(real time)으로 수행하기 위한 지연시간의 보장이다. 이러한 요구사항을 충족하기 위해서 배전 통신망이 제공해야 할 능력은 다음과 같다.

먼저, 통신망은 안정적으로 동작해야 하며, 장애 발생 시 자체 복구 능력을 가져야 한다. 그리고 데이터의 전송 오류는 극히 낮아야 하며, 통신 프로토콜은 전송 오류를 처리하

여 신뢰성 있는 데이터의 전송을 보장해야 한다.

또한 실시간 감시 제어의 기능을 수행하기 위해서는 데이터 전송 지연 시간에 대한 보장이 요구된다. 즉, 한 노드에서 전송된 데이터는 일정 시간 안에 목적노드(destination node)에 도착할 수 있도록 해야 한다.

5. 새로운 배전자동화 통신망 구조의 단계적 적용방안

5.1 배전자동화 시스템 통신망의 이더넷 적용

앞서 3.1절에서 살펴본바와 같이 이더넷의 장점은 여러 분야에 적용되어 입증된 바 있으며, 현재 가장 널리 사용되고 있는 보편적인 데이터 통신망 구조로서 경제성을 고려하였을 때에도 매우 유리하다고 할 수 있다.

또한 세계적인 추세가 전력계통 프로토콜의 표준화에 따른 CIM(Common Information Modeling)과 IEC 61850(변전소 자동화 프로토콜) 등의 출현과 같이 LAN 기반의 통합운영 시스템을 구축하려는 세계적인 추세에 따라 우리 배전자동화 시스템도 세계로 뻗어나가기 위해서는 이러한 추세에 발맞추어 나아갈 필요가 있다.

따라서 계통의 전체적인 통합감시망을 구축하기 위해서도 EMS 또는 SCADA에서 사용하고 있는 이더넷망에 맞추어 배전계통과 같은 하단 측에서도 이더넷 구조로 배전계통의 통신망 구조를 바꾸는 것이 통합운영 시스템을 구축하는데 있어 바람직하다.

5.2 단계적 적용의 필요성

2.2절에서 설명한 현재 국내에 널리 설치되어 운영되고 있는 광 전송망 기반의 배전 통신망을 모두 단시간 내에 이더넷 기반으로 대체하는 것은 경제적인 측면에서 볼 때 실현 가능성이 거의 없다고 할 수 있다.

2006년 기준으로 약 3만대의 직렬 포트(serial port)만 지원되는 자동화 개폐기가 배전계통에 설치되어 있다. 따라서 이더넷 방식의 배전자동화 시스템 통신망 구조로 한꺼번에 바꿀 경우 3만대의 FRTU를 모두 교체해야 하므로 경제적인 비용부담이 매우 크기 때문에 불가능에 가깝다고 할 수 있다.

또한 현재 유사동기식 혹은 동기식 전송 방식(PDH/SDH) 기반의 광 전송망의 변경은 망 사업자의 영역에 속하는 과제이며 전력 회사는 단지 이 망을 FRTU 간의 통신에 사용하고 있다. 이러한 점에서 배전 통신망의 발전은 액세스 망의 구축 정도에 의존하게 되며 배전 통신망의 발전은 이러한 현실적인 제약 조건을 고려하여야 한다.

5.3절에서는 현재의 광 전송망을 기반으로 하는 경우와 메트로 이더넷 기반의 액세스 망으로 이행하는 경우를 구별하여 배전 통신망의 구조를 제시한다. 전자의 경우 현실적인 여건을 고려하면서 새로운 서비스를 제공할 수 있는 배전 통신망의 개선 방안으로 MASX 단말장치의 적용을 통한 방안을 제시한다.

5.3 MASX 기반의 배전 자동화 통신망의 구조

MASX는 배전 계통 서비스로서 요구되는 보호협조, 복구

자동화, 설비운영의 기능을 수행할 수 있는 기기이다. MASX를 장착한 FRTU는 중앙 DAS 서버를 통하지 않고 FRTU 간의 P2P 통신을 할 수 있다.

MASX를 현재의 배전 통신망에 적용할 경우 MASX는 이더넷 인터페이스로서 광모뎀에 접속을 하게 되며, MASX가 FRTU의 일부 기능으로 동작하기 때문에 자연스럽게 FRTU는 이더넷 인터페이스를 통해서 광 모뎀에 접속하도록 한다.

광 전송망에 접속하는 FRTU는 광모뎀의 PDH/SDH 인터페이스를 통해서 광 전송망에 접속한다. 따라서 FRTU 간의 이더넷 속도를 충분히 활용하기 위해서는 광 전송망에 접속하는 광모뎀의 인터페이스를 고속의 인터페이스로 변경할 필요가 있다.

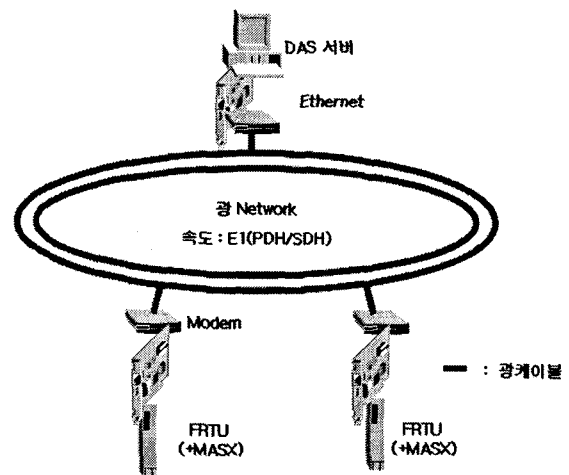


그림 4 이더넷 적용을 위한 MASX의 적용 구조
Fig. 4 Network structure for applying Ethernet

그림 4는 MASX를 적용하여 이더넷 인터페이스를 사용한 광 전송망 기반의 배전 자동화 통신망을 보여주고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 MASX 간에 데이터의 교환은 Ethernet-E1-Ethernet의 단계를 통해 이루어진다.

이러한 망 구성은 단순히 MASX가 이더넷 인터페이스를 통해서 광모뎀에 연결된다는 점 이외에는 특별한 특징은 없지만, 현재 배전자동화 시스템에 분산형 구조를 적용하여 지능화된 FRTU 간에 직접 연결을 통하여 P2P 통신이 가능하도록 한다. 이러한 통신망을 통하여 보호협조와 복구 자동화의 새로운 배전 자동화 서비스가 제공될 수 있다.

5.4 향후 배전 자동화 통신망의 구조

현재와 같이 광모뎀을 통하여 광 네트워크에 접속하여 통신을 할 경우 FRTU간에 이더넷 기술의 장점을 활용하고 있다고 볼 수 없다. 광 네트워크를 통한 통신은 광모뎀의 직렬 통신에 의해서 제약을 받는다.

따라서 이러한 제약을 극복하기 위해서는 FRTU에서 DAS 서버로 연결되는 액세스 망을 이더넷 기반으로 변경할 필요가 있다. 이것은 현재 10G 이더넷을 지원하는 이더넷 스위치로 구성되는 메트로 이더넷망을 통해서 가능하다. 메트로 이더넷은 기가비트 혹은 10G 이더넷 링크를 통하여

FRTU에서 DAS 서버까지 완전한 이더넷 기반의 통신이 가능하도록 한다.

향후 배전 통신망은 이러한 완전한 이더넷 기반의 망 구성과 함께 IP 기반의 서비스 망으로 발전하게 되며 따라서 TCP/IP 기반의 SCADA 망과 통합망을 구축하고 NDIS(약자) 서버와 전력 관리 웹 서버와 동일한 플랫폼에서 통합된 서비스를 제공할 수 있도록 한다.

6. 새로운 통신망을 이용한 배전자동화 서비스

6.1 보호협조 성능향상

현재 배전계통에서 과전류 보호기기들의 정정협조 과정은 먼저 말단 보호기기의 최대부하를 고려하여 정정하고 그 상위단의 보호기기가 하위단의 보호기기와 협조할 수 있도록 최소동작전류 탭을 정하고 동작시간차가 나는 T-C(Time-Current) 커브를 선택한다.

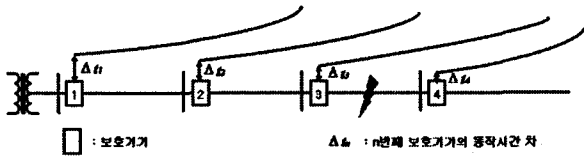


그림 5 보호기기 간의 보호협조 방식
Fig. 5 Protection and cooperation method among protective equipments

예를 들어 그림 5의 2번 기기와 3번 기기는 서로 협조를 이룬다. 3번 기기의 보호구간에서 고장이 일어나면 동작시간이 빠른 3번 기기가 주보호로 동작하여 3번 기기 전원측의 부하에는 지장 없이 전력을 공급한다. 그러나 특별한 사유로 3번 기기가 제대로 동작하지 못할 경우 후비 보호로써 최소 Δt_2 만큼의 시간 뒤에 2번 기기가 동작하여 변압기 등의 전력설비를 고장전류로부터 보호한다. 여기서 동작협조시간 Δt_2 는 계통의 보호계전방식에서 정해진 시간차이다.

하지만 이러한 보호협조 방식이 배전선로의 모든 고장을 100% 보호해주지 못할 경우도 발생할 수 있으며, 또한 Δt 도 수초 이내가 아닌 수십 초에 이를 수도 있다. 그러나 보호기기간에 P2P 통신으로 정보를 교환할 수 있다면, 보호협조의 이와 같은 문제는 쉽게 해결될 수 있다.

그림 5에서 보호기기 3번과 4번 사이에서 고장이 발생하면, 고장발생으로 인한 고장표시기 정보는 1,2,3번 보호기기로부터 감지될 것이다. 이때 P2P 통신으로 고장전류를 감지한 보호기기가 보호협조를 이루어야 할 하위단 보호기기에 고장표시기 동작 유무 정보를 묻고 주고받는 정보를 통해 고장구간을 찾아내는 판단기능을 갖는다면, 쉽게 고장 발생구간을 찾을 수 있으며, 이를 기반으로 적절한 주 보호 및 후비보호 기능을 할 수 있다.

그림에서는 1번이 2번에게, 2번은 3번에게 고장표시기 동작 정보를 확인하고, 3번이 고장표시기 정보가 발생되었다면 1번이나 2번은 주보호역할을 할 필요가 있으므로 후비보호 기능을 대비하고 있어야 한다. 반면에 3번이 4번에게 고장표시기 동작정보를 문의하였을 때, 답변이 없거나 고장전류를 감지하지 못했다는 답변을 들으면, 3번은 바로 주보호기

능을 수행하여 고장을 제거해야 하며, 4번에게도 개방하라는 신호를 보내고, 고장제거 후에는 상위단 보호기기들에게 고장제거 성공이라는 정보를 전달하여 후비보호동작을 수행하지 못하도록 할 수 있다. 그리고 P2P 정보전달을 이용한 보호협조 방법이 현장에서 직접 쓰일 때에는 통신장애 또는 보호기기의 다중고장에도 적절하게 보호기능을 수행할 수 있도록, 기존의 시간협조 방식과 병행하여 사용할 수 있도록 좀 더 세부적인 보호협조 알고리즘이 고안되어 사용된다면, 통신장애가 발생해도 기존과 마찬가지로 동작시간에 의한 보호협조가 이루어질 수 있고, 통신장애가 없고 보호협조를 위한 통신시간이 기존의 시간협조보다 빠르다면, 더 빠르게 주보호 또는 후비보호를 할 수 있어 보호협조의 성능이 향상될 수 있을 것이다.

6.2 복구자동화 성능향상

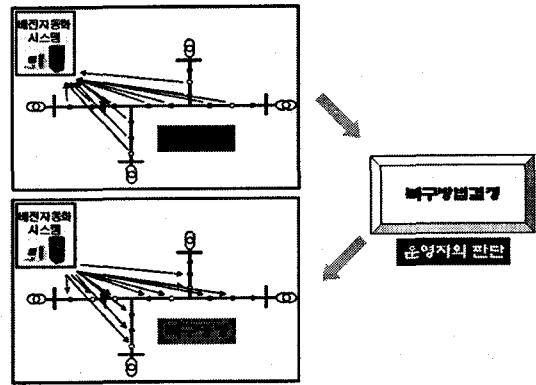


그림 6 현재 배전자동화 시스템의 복구 과정
Fig. 6 Service restoration process in DAS

현재 배전자동화 시스템 방식은 그림 6과 같은 방식으로 중앙에서 모든 정보를 받고 판단한 후에 복구와 관련한 제어명령을 일일이 내리고 있다. 하지만 그림 7과 같은 계통에서 현재의 배전자동화 시스템이 그림 8의 결과와 같은 정전복구를 한다면 정확한 고장구간 검출을 위해 계통으로부터 중앙으로 올라오는 통신지연 또는 유실을 고려하여 모든 node와 통신을 해야 한다. 따라서 통신 횟수는 각각의 정보 취득을 위해 14개의 노드와 한번 씩 통신을 한 후 복구해를 계산하고, 복구동작을 위해 8개의 node가 스위칭 동작을 하므로 8번의 통신을 해야 한다. 따라서 총 22번의 통신이 필요하며 통신 소요시간도 1:1 통신구조인 관계로 22번의 통신 소요시간이 필요하다.

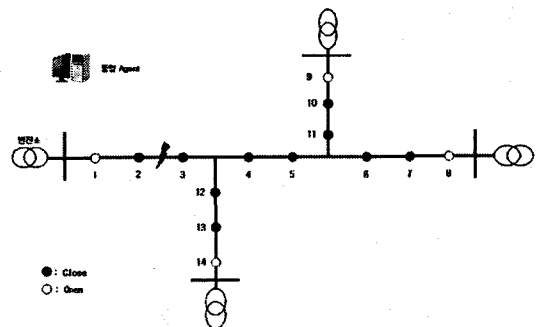


그림 7 예제 배전계통
Fig. 7 Four feeders example distribution system

하지만 그림 8과 같은 분산형 복구 시스템은 그 효율이나 시간 면에서 매우 차이가 난다. 중앙으로 전송해야 하는 14번의 통신은 각 node들이 스스로 FI 발생에 따라 인근 node와 분산형 통신망을 통하여 상호간에 정보교환을 하고, 신속하게 고장구간을 검출하여 분리하므로 통신 우선순위에서 밀리게 된다. 따라서 복구동작에서 14번의 통신 횟수는 상호간에 정보교환을 위한 최대 2번의 통신 횟수로 줄일 수 있다. 또한 각 node들이 고장구간을 검출하게 되면 분산형 통신구조로 인하여 상호간에 정전복구 명령을 전송하게 된다. 같은 예제계통이므로 스위칭을 해야 하는 node가 8개이지만 다다 통신이 가능하므로 병렬적 통신이 가능하기 때문에 동일한 통신 횟수가 필요하더라도 통신 소요시간은 8회의 소요시간에서 3회의 소요시간으로 표 2에서 보여주는 바와 같이 정전복구가 완료된다.

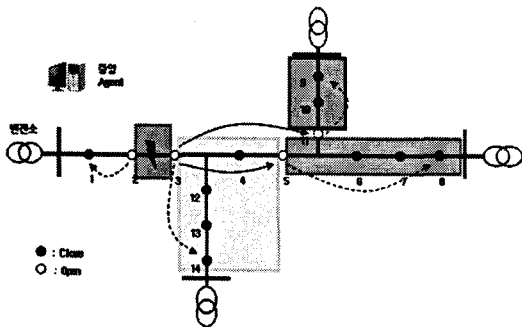


그림 8 분산형 복구 과정
Fig. 8 Distributed restoration process

복구동작에 있어서 연계구간과의 구분을 지어주는 상시연계점을 우선순위로 Close 할 경우 이중 전원이 발생할 수 있으므로 복구명령에서 Open 명령을 우선으로 해야한다. 따라서 그림 8에서의 점선은 Open 명령을 나타내며 실선은 Close 명령 전송을 나타내고 있다.

표 2 중앙집중형과 분산형의 복구동작 통신소요시간 횟수 비교

Table 2 Comparison of the necessary time for restoration of center and distributed type

구분	중앙집중형	분산형
스위칭 동작개수	8개 (Close : 1, 8, 9, 14 Open : 2, 3, 5, 11)	8개 (Close : 1, 8, 9, 14 Open : 2, 3, 5, 11)
통신 전송 횟수	1	D-2 : Open
	2	D-3 : Open
	3	D-1 : Close
	4	D-5 : Open
	5	D-11 : Open
	6	D-8 : Close
	7	D-9 : Close
	8	D-14 : Close

복구 소요시간 또한 분산형 복구 시스템을 PC 기반으로 Visual C++를 이용하여 꾸민 결과 차단기 동작시간을 제외한 소요시간이 LAN의 경우 1초 정도, CDMA의 경우 43초 정도가 소요됨을 알 수 있다. 이는 한전의 일시고장 복구시

간(5분)에 비하여 1분 이내로 줄어든다는 것을 그림 9와 같이 데모시스템을 꾸며 입증하였다.

7. 결 론

현재의 배전자동화시스템은 배전계통 운영에 있어서 여러 서비스들을 제공하고 있으나 배전자동화 서비스의 가장 중요한 보호협조와 복구 서비스는 현재 시스템의 중앙집중식 구조와 통신환경으로 인하여 많은 제약을 갖는다. 본 논문은 이와 같은 문제점을 분석하여 해결책으로 배전자동화 시스템의 FRTU 간에 직접 통신이 가능하도록 하는 P2P 기반의 구조를 제시하였다. 또한 P2P 구조를 현재 배전자동화 시스템에 적용하기 위한 배전자동화 통신망의 요구사항을 제시하고 이러한 요구사항을 반영할 수 있는 배전 통신망의 구조를 제안하였다. 이러한 통신망의 구조는 현재의 배전 통신망의 현실적인 여건을 고려한 실질적인 방안으로 향후 외부 환경의 변화에 따라 좀 더 고도의 통신망 구조로서 발전해 나갈 수 있을 것이다.

그리고 이와 같이 새로운 분산형 구조의 배전 통신망을 이용할 경우 얻을 수 있는 배전자동화 시스템에서 제공하는 두 가지 중요한 서비스 즉, 보호협조와 복구 자동화에서 성능 향상을 이룰 수 있음을 예제계통을 기반으로 데모시스템을 구성하여 그 결과를 확인하였다.



그림 9 예제 배전계통 대상 분산형 복구 데모시스템
Fig. 9 Distributed restoration demo system by example distribution network

감사의 글

본 연구는 R-2005-1-394 전력산업연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] 하복남, 박신열, 신창훈, 박소영, “배전지능화 시스템 개발”, 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 429-430, 2006
[2] 임일형, 최면송, 이승재, 하복남, 권성철, “Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템”, 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 52-53, 2006

- [3] Kwang-Ho Jung, Myeon-Song Choi, et, al, "A Service Restoration Algorithm for Power Distribution Networks Applying the Multi-Agent System", KIEE International Trans., Vol. 5-2, pp. 125-131, 2005
- [4] Murty Yalla, Mark Adamiak, et. al, "Application of Peer-to-Peer Communication for Protective Relaying", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17, No. 2, 2002
- [5] Yun-Seok Ko, Dae-Seung Hong, et, al, "멀티 에이전트 개념에 기반한 배전계통의 분산 자율적 고장구간 분리 기법", Vol. 55, pp. 227-235, 2006
- [6] Phil Whitehead, "communications aspects of distribution network control", IEE Savoy Place WC2R OBL, 1995
- [7] DNP Users Group, "DNP3 Basic 4 Documentations", www.dnp.org, 1998
- [8] DNP Users Group, "Transporting DNP V3.00 over Local and Wide Area Networks", www.dnp.org, 1998
- [9] grouper.ieee.org/groups/802/3/ae/index.html
- [10] grouper.ieee.org/groups/802/3/ah/index.html
- [11] Ralph Santitoro, "Metro Ethernet Services-A Technical Overview," Metro Ethernet Froum, www.metroethernetforum.org/metro-ethernet-services.pdf, Dec. 2003
- [13] Sam Halabi, Metro Ethernet, Cisco Press 2003
- [14] Ralph Santitoro, "Bandwidth Profiles for Ethernet Services," Metro Ethernet Froum, www.metroethernetforum.org/PDFs/WhitePapers/Bandwidth-Profiles-for-Ethernet-Services.pdf, 2004
- [15] Next Generation Network Global Standards Initiative (NGN-GSI), www.itu.int/ITU-T/ngn/index.phtml
- [16] A. Rayes and K. Sage, "Integrated Management Architecture for IP-Based Networks," IEEE Communications, April 2000
- [17] K.-H. Mak and B. Holland, "Migrating electrical power network SCADA systems to TCP/IP and Ethernet networking," Power Engineering Journal, Dec. pp. 305-311, Dec. 2002

저 자 소 개



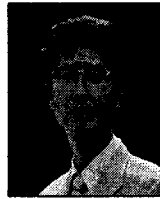
임 일 형 (林 一 亨)
 1979년 4월 13일생. 2005년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정
 Tel : 031-336-3290
 E-mail : sojoo2jan@mju.ac.kr



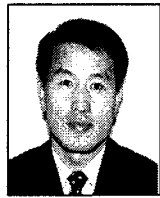
홍 석 원 (洪 錫 源)
 1957년 1월 7일생. 1979년 서울대 물리학과 졸업. 1986년~1988 North Carolina State Univ. 전산학과(석사) 1988년~1992 North Carolina State Univ. 전산학과(박사) 1995년~현재 명지대학교 컴퓨터 소프트웨어학과 교수.
 Tel : 031-330-6777
 Fax : 031-336-6476
 E-mail : swhong@mju.ac.kr



최 면 송 (崔 勉 松)
 1967년 4월생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 전기공학과 졸업(공학). 1995년 Pennsylvania State Univ. 방문 연구원. 1992년 기초전력공학 공동연구소 전임연구원. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.
 Tel : 031-336-3290
 Fax : 031-330-6816
 E-mail : mschoi@mju.ac.kr



이 승 재 (李 承 宰)
 1955년 11월 30일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공학). 1994년 Univ. of Washington 교환 교수. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.
 Tel : 031-336-6362
 Fax : 031-330-6816
 E-mail : sjlee@mju.ac.kr



하 복 남 (河 福 男)
 1958년 1월 10일생. 1994년 충남대 대학원 전기공학과(석사). 2004년 충남대 대학원 전기공학과(공학), 1978년 한국전력공사 입사 이후 대전전력관리처, 광주전력관리처, 전력연구원 근무, 1988년~현재 한전 전력연구원 배전연구소 배전 IT 그룹장.
 Tel : 042-865-5902
 E-mail : bnha@kepri.re.kr