

중소규모 배전자동화시스템의 통신프로토콜 정립에 관한 연구

*김명수, 김용팔
전력연구원

A new Communication Protocol for a medium/small scale Distribution Automation System

* Myong-Soo Kim, Yong-Pal Kim
Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

Abstract - For a medium/small scale DAS, which using the PCS network as the system communication network, we developed the scheme of communication protocol of DAS between master and remote terminal. This paper presents advanced protocol which has basic frame format and data flow for the medium/small scale DAS, and the procedure of the developing sequence.

1. 서 론

향후, 중소규모 배전자동화시스템은 유선과 무선이 혼재되어 사용되어질것으로 예상되므로 통신매체에 대하여 자유로운 선택이 가능해야 한다. 현재 연구개발중인 중소규모 배전자동화시스템의 무선망으로는 WLL, TRS, PCS등에 대한 장,단점을 여러측면에서 검토한 결과 PCS(Personal Communication System)망을 적용하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. [1]. 배전자동화시스템의 통신프로토콜을 설계하고 표준화하기 위해서는 다양한 평가와 모델링 과정이 필요하다. 먼저, 기존의 프로토콜을 분석하여 기준으로 삼아야 할 프로토콜을 선정 한 후, 그들의 장단점들을 면밀히 평가한다. 이때, 평가요소로서는 다양한 매체에 대하여 자유로운 통신, 자동화기기에 대한 주소부여, 에러검출능력 등 다양한 요소가 제시되고 있다. 프로토콜의 설계시, 적합한 평가요소를 선정하여 검증하는 절차는 프로토콜의 확장성 및 표준화를 위하여 당연히 필요한 절차 중의 하나이다.

본 논문에서는 중소규모 배전자동화시스템 프로토콜의 상세 프로토콜 설계를 하기 전 단계로서, 프로토콜의 기본 프레임과 기본 데이터 흐름을 제시하였으며, 11개 평가요소를 통한 검증과 다른 프로토콜과의 비교 평가를 하였다.

2. 프로토콜 개발시 고려사항

2.1 자동화시스템용 프로토콜의 요구조건

자동화시스템(감시제어시스템)의 프로토콜은 일반 데이터 통신 네트워크와는 몇 가지 차이점이 있다. 일반 데이터 통신 네트워크에서는 하나의 네트워크와 다른 네트워크간의 연결을 위하여 경로설정(routing) 등을 중요시한다. 그러나, 감시제어 시스템의 경우, 통신망 자체가 하나의 큰 네트워크를 구성하는 것은 아니며, 라우팅 및 end-to-end 제어 등은 필요하지 않다. 또한, 시스템 특성상, 점대점(point-to-point) 방식의 통신방식이 일반적이다. 감시제어시스템에서 중점을 두고 있는 것은 높은 데이터 무결성과 데이터 일치성, 짧은 데이터 전송시간이다. 특히, 배전자동화시스템과 같이 시스템의 이상으로 인한 파급효과가 큰 시스템은 보다 높은 데이터 무결성과 일치성을 만족하여야 하므로 에러검출에 대하여 보다 강력한 코드를 채용하여야 한다.

2.2 다양한 표준 프로토콜 고려

현재 가장 많이 사용되는 자동화용 프로토콜은 IEC(International Electrotechnical Commission)에서 제정한 IEC 870 series(T101)와 이를 기초로 상용화한 DNP(Digital Network Protocol), 미국 EPRI(Electric Power Research Institute)에서 표준으로 정착시킨 UCA(Utility Communication Architecture)가 있다[2]. 이 외에 노르웨이의 ELCOM/EDC, 독일의 VDEW등 다양한 프로토콜이 존

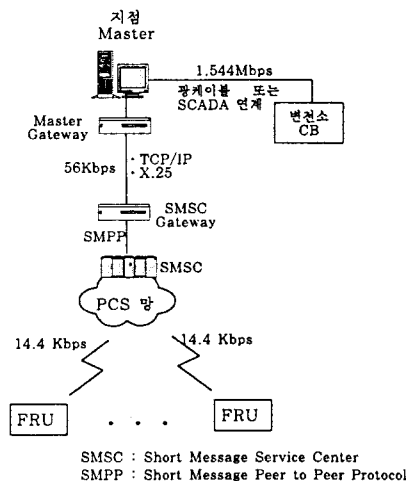
재하지만 그 사용이 한정되어 있다. 각 프로토콜마다 장단점 및 특징이 있으므로 각 프로토콜을 면밀히 비교·분석하여, PCS를 이용한 배전자동화시스템의 최적 데이터 프레임의 구성 및 호환성을 고려한 프로토콜을 구성하여야 한다. 또한, 프로토콜 구성시 11개의 평가요소를 반영하여야 한다.

2.3 배전자동화시스템 프로토콜의 기본 목표

중소도시용 배전자동화시스템의 프로토콜은 PCS 망을 통하여 중앙장치와 배전제어 단말장치(FRU: Feeder Remote Unit)를 제어하여 DAC(Data Acquisition & Control)기능을 수행하기 위한 시스템 프로토콜이다. 향후 시스템의 upgrade, 확장성, 개발자의 변경 등에 대비하여 배전자동화시스템의 베어러(Bearer)계층으로서 배전자동화시스템 프로토콜의 표준규격을 제시하여야 한다. 또한, 설계되는 배전자동화시스템의 프로토콜은 무선을 위주로 작성되지만, 향후 통신매체에 상관없이 자유로운 통신이 가능하도록, 유선망과의 혼합망을 고려하여 통신제어장치에서 무선과 유선으로 전송되는 데이터를 구분하게 하여, 중앙제어장치에서는 투명한 통신이 가능하도록 설계하여야 한다.

3. 자동화시스템의 프로토콜 개발 적용 방안

현재까지, 자동화용으로 사용되는 프로토콜은 각각의 특성에 맞게 설계되어 사용되어왔으나, 최근 들어 표준화의 거센 물결이 일어나고 있다. 국내에서는 SCADA 등의 제품이 산업표준을 따르는 DNP를 사용하며 자리를 잡고 있으나, 배전자동화시스템은 전 세계적으로 표준화된 프로토콜이 아직 없다. 더욱이 배전자동화시스템의 구축에 PCS를 이용하는 것은 전세계적으로 처음 시도되는 것으로써, 구축완료시 상당한 경쟁력 및 기술을 확보 할 것으로 기대된다.



〈그림 1〉 PCS를 이용한 배전자동화시스템 구성도

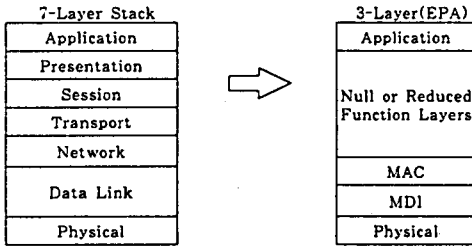
3.1 무선망을 이용한 배전자동화시스템 구성도

새로 구성될 중소규모 배전자동화시스템의 구성 및 운용방안을 〈그림 1〉에 도시하였다. 배전제어 단말장치와 PCS망 사이는 국제 표준 프로토콜인 IS-95 Upbanded CDMA를 사

용하며, SMSC(Short Message Service Center)와 SMSC Gateway간은 SMPP(Short Message Peer to peer Protocol)를 사용한다. 지점 Master에서 외부와 연계하여 처리되는 프로토콜은 어떤 통신매체를 이용하더라도 똑같은 기능을 할 수 있도록 구성하여야 한다. 프로토콜 프레임 포맷은 새롭게 구성하여 작성하되, 기존의 강동지점 배전자동화시스템, UCA, DNP와 최대한 호환 가능하도록 구성하기로 한다.

3.2 자동화시스템에서 본 OSI 7 Layer

배전자동화시스템의 경우, 통신망 자체가 하나의 큰 네트워크를 구성하는 것은 아니며, 라우팅 및 end-to-end 에러제어 등은 필요하지 않다. 그래서, 7계층을 3계층으로 단순화시킨 EPA(Enhanced Performance Architecture) 모델이 제시되었다(그림 2). 이러한 모델로 전환되면서, 자동화시스템에서 요구하는 데이터 무결성 및 일치성, 특히, 짧은 전송시간 등을 만족하기 위하여 프로토콜 구현에 좀더 쉽게 접근할 수 있다.



〈그림 2〉 3계층으로의 단순화

이 모델에서는 통신매체의 정의와 프레임 포맷 및 데이터 전송방식 등의 단순하고 기초적인 정의만 해주면 된다. Data Link 와 Physical 계층은 Point-to-Point link-oriented 이고 Session, Transport, Network 계층은 End-to-End Connection Oriented 개념이 들어간다. 본 연구에서 구축할 배전자동화시스템은 Point-to-Point 개념이므로 Data Link 와 Physical 계층을 구현하여 Application 계층과 연동할 수 있도록 된다. Data Link 계층은 무선 및 유선통신의 다양한 통신매체를 수용할 수 있는 MDI(Medium Dependent Interface) 기능과 그 위에서 작동하는 확장된 MAC 기능을 구현하여 다양한 통신매체에 적용할 수 있는 배전자동화용 프로토콜을 구성한다. IEC 에서는 EPA 모델에 일치하는 표준안을 발표하였으며, Harris 사의 DNP는 Data Link 계층과 Application 계층사이에 Pseudo Transport 계층을 두어 응용시스템을 폭넓게 지원 가능하게 하였다. EPRI의 UCA는 각각 7-layer와 3-layer의 두 종류의 프로토콜을 제시하여 선택의 폭을 넓게 하여주었다(2)(3).

3.3 프로토콜 설계 절차

배전자동화용 프로토콜을 설계시, 먼저 기존에 존재하는 자동화네트워크에 사용되는 다양한 프로토콜을 면밀히 조사하여, 여러 가지 조건을 분석하므로, 공통된 표준과 확장에 대비할 수 있다. 자동화프로토콜로 적당한가에 대한 평가는 〈표 1〉의 11가지 요소로 분석할 수 있다(4).

이러한 조건을 만족하며 현존하는 프로토콜은 PG&E 11, LONWORKS, JEM3, IEC-870-5-T101, MODBUS RTU, CEBUS, DNP 3.0, IEC/ISA SP50 Fieldbus 의 8 개이며, 이중에서, 1994년 'Recommended Practice' 로 DNP 3.0과 IEC 870-5-T101이 선정되었다. 또한, 최근 공업표준으로 UCA 2.0이 발표되어, 표준화를 주도하고 있다.

프로토콜에 대한 분석을 마치고, 표준 프로토콜로 DNP3.0, T101, UCA2.0을 채택한 후, 이에 대한 분석을 면밀히 하여, 11개의 평가요소 중 앞의 3개의 요소(중요도가 큰 요소: media independent, Addressable, Secure)에 초점을 두어 국내 실정에 맞는 배전자동화용 통신프로토콜을 구성한다. 구성시에는 기존의 프로토콜과 향후 확장시의 프로토콜변화를 고려하여, 쉽게 구현이 가능하도록 설계하여야 한다.

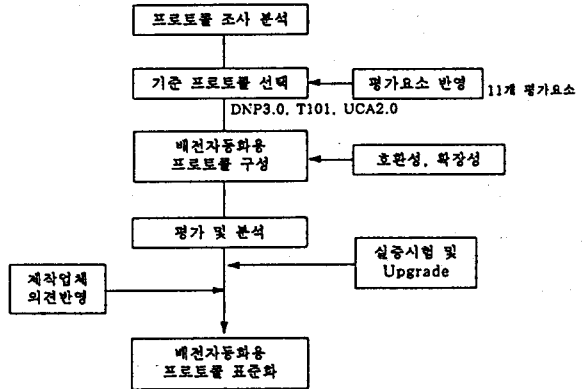
배전자동화용 프로토콜을 구성할 때, 현존하는 모든 프로토콜을 수용할 수 있는 프로토콜을 구성하기란 쉽지 않다. 모든 프로토콜을 수용할 수 있는 프로토콜을 구현한다는 것은 각 프로토콜에 대한 모든 기능을 가지고 있어야 한다는 의미이다. 호환성의 문제는 새로운 부가 필드를 요구하게 되고 배전자동화시스템에 부하를 가중시키는 문제를 발생시킨다. 이를 위한

해결책으로 프로토콜의 소프트웨어 구현시, 유지보수 및 확장성을 고려한 코딩 및 설계를 하는 방법이 있다.

〈표 1〉 자동화프로토콜의 평가 요소 및 설명

| 평가 요소 (Evaluation Criteria) | 설명 |
|------------------------------|--|
| 1. Media independent | 일반 트랜시스트 페어, 광섬유, 무선통신 등을 사용하여 모두 쉽게 구현이 가능해야 한다. |
| 2. Addressable | 변전소 및 자동화기기 등, 모든 기기에 쉽게 적용할 수 있어야 한다. |
| 3. Secure | 해당 프로토콜은 다양한 에러를 검출해 내는 데 용이해야 한다. |
| 4. Data Selectable | 다양한 데이터에 대하여 요구/전송/변환(request/send/mapping)이 가능하여야 한다. |
| 5. ISO/OSI Compliant | OSI 7계층 참조모델에 의한 구조를 가져야 한다. |
| 6. LAN(vs. point-to-point) | 해독할 수 있는 구조를 갖고 동작 가능하여야 한다. |
| 7. Duplex | 두 기기 간에 명령과 응답을 정의할 수 있어야 하고, 이를 통해 양방향 통신이 가능하여야 한다. |
| 8. Documentation | 구현을 위하여 충분한 documentation(Spec)이 존재해야 한다. |
| 9. Easy to Interface | 쉽게 인터페이스가 가능한 물리 계층의 하드웨어와 인터페이스 방법이 존재하여야 한다. |
| 10. Multiple source Hardware | 다양한 업체(vendor)의 하드웨어와 연계할 수 있는 기본적인 하드웨어가 존재하여야 한다. |
| 11. Public domain | 프로토콜이 특허나 법으로 규제없이 공개되어야 하고, 자유롭게 사용 가능하여야 한다. |

프로토콜의 구성후, 실증시험 및 국내개발업체의 의견을 반영하여 프로토콜을 향상시키는 작업을 한 후, 표준화에 이르는 절차를 밟아야 한다. 〈그림 3〉에 이에 대한 절차를 그림으로 나타내었다. 타 프로토콜과 구성하는 프로토콜간의 비교와 평가는 5장에서 다루기로 한다.



〈그림 3〉 표준화 프로토콜 선정 절차

4. PCS를 이용한 전송데이터

4.1 배전자동화시스템의 프레임 구성

프레임은 데이터의 종류에 따라 8, 16, 32비트로 나뉜다. 전체 프레임은 header, information, error 검출부로 구분되며 헤더는 주소부(address part), 제어부(control part)로 나뉘고, 각각 프레임의 앞과 뒤에 시작 플래그(SOF SYN), 정지플래그(EOF SYN)가 첨가된다. 아래의 프레임 구조는 HDLC의 프레임 구조와 일치한다.

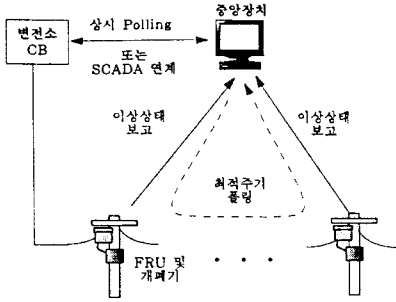
| SOF SYN | Address 부 | Control 부 | information(data) | Error 검출부 | EOF SYN |
|---------|-----------|-----------|-------------------|-----------|---------|
| 1 Byte | 3 Bytes | 2 Bytes | 0, 9 또는 25Bytes | 2 Bytes | 1 Byte |

1 Byte 3 Bytes 2 Bytes 0, 9 또는 25Bytes 2 Bytes 1 Byte

4.2 운용 방안

배전선로의 고장을 감시하기 위해 배전선로에 설치된 보호기기의 동작 상태를 감시하며 이를 위해 변전소 차단기를 상시 폴링으로 감시한다. 배전선로에 설치된 FRU로부터는 이상상태보고를 받아 통신의 최소화를 도모하며, 배전선로 운용데이터로 활용할 수 있다. 또한, FRU의 이상상태를 확인하기 위해 최적의 주기로 폴링명령을 사용한다.

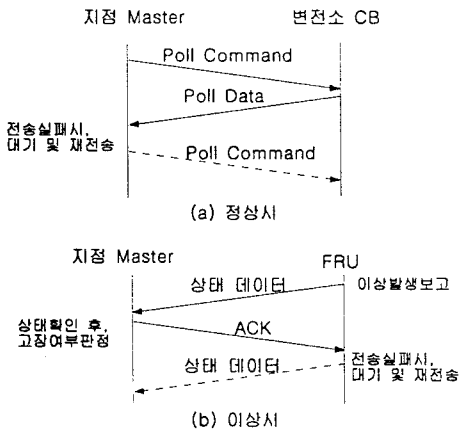
5. 기존 프로토콜과의 비교



〈그림 4〉 PCS망을 이용한 배전자동화시스템의 운용방안

4.2.1 정상시 운용

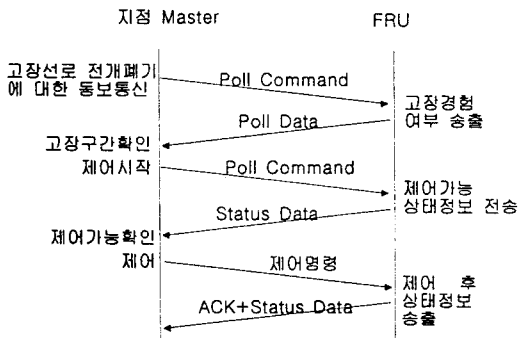
변전소 차단기의 전압, 전류 및 ON/OFF 의 데이터를 읽어 변전소 자체의 고장을 수시로 미리 진단한다. 또한, 배전선로에 설치된 FRU의 이상정보(과부하, 가스압력, 상불일치 등)를 보고 받아 고장사고에 대비할 수 있다. 변전소의 차단기가 동작하거나, 특정개폐기의 상태가 바뀌었을 경우, 중앙장치는 변경상태의 위험수준을 파악하여 해당 절차를 수행한다.



〈그림 5〉 일반 운영시 명령 및 데이터의 흐름

4.2.2 고장시 운용

변전소 차단기가 트립되거나 자동화개폐기 이상동작(ON/OFF) 신호를 수신하면 신호 해독 후 이상유무 판단 및 고장구간을 판단하여 고장이라고 판단되면, "Urgent Message"를 사용(Priority 적용)하여 비상시 채널을 확보한 후, 고장선로의 전개폐기에 대하여 동보통신으로 개폐기의 고장경험 여부를 읽어 들이고 만약, 상태를 읽지 못한 개폐기가 있다면 해당 개폐기에 대하여 개별통신을 한다. 각 FRU는 ACK신호가 일정시간 내에 오지 않으면 재전송한다. Master는 개폐기의 고장경험유무를 분석하여 고장구간을 찾아내어 고장복구 명령을 전송하게 된다.



〈그림 6〉 고장시 명령 및 데이터의 흐름

UCA와 DNP는 헤더의 길이가 10바이트로 너무 길고, 기존의 강동지점 DAS 프로토콜의 헤더는 3바이트로 다양한 처리를 하기에 너무 짧았다. 본 논문에서 구성한 프로토콜의 헤더는 총 5바이트로 적정한 오버헤드(overhead)를 유지하게 설계되었다. 또한, DNP와 UCA의 경우 다양한 응용프로그램을 실행하기 위하여 데이터프레임을 가변적으로 설정하여, 헤더 내에 'Length 필드'를 두거나, 사용하지 않는 데이터의 필드도 불필요하게 전송해야 하는 단점이 있다. 배전자동화시스템의 프로토콜은 짧은 전송시간을 갖는 것이 특징으로 불필요한 데이터의 전송은 배제되어야 한다. 본 논문에서의 데이터 필드는 25바이트 및 해당 Control 부에 내용에 따라 데이터의 크기가 고정되어 length 필드의 전송이 필요 없어진다. 그러나, 향후 필요시, 데이터 필드를 확장하여 사용 가능하다.

자동화시스템에서의 어려운 정확한 정보전달은 중요한 요소이다. 본 논문에는 2바이트의 CRC-16코드를 사용하여 16비트 이상의 연립에러(Burst error)를 검출할 수 있도록 하였다. 실제로 이 코드는 모든 에러에 대하여 99.99847%의 에러 검출능력을 갖고 있다. 현재의 통신매체는 에러에 강한 특성을 갖고 있고, 특히, 랜덤에러보다는 연립에러가 많은 특성을 지니고 있으므로 연립에러의 검출이 무엇보다도 중요하다. 특히, 강동지점의 경우, 1비트의 에러정정 및 3비트의 에러검출능력을 보유하고 있었다. 또한, 비동기에 의한 전송률의 낭비를 막을 수 있도록 동기식의 전송방식을 채택하였다. 각 프로토콜의 특징을 비교하여 〈표 2〉에 나타내었다. 본 논문에서 구성한 배전자동화용 통신프로토콜은 적절한 오버헤드, 고정길이의 데이터 필드, 동기식 전송방식을 채택하여 효율적인 전송을 가능하게 한다[5].

〈표 2〉 타 프로토콜과의 비교

| | DNP | UCA | 강동지점 DAS | 본 보고서 | 비고 |
|------|-------|-------|-----------|---------------|-----------------|
| 헤더 | 10바이트 | 10바이트 | 3바이트 | 5바이트 | 적절한 오버헤드 |
| 데이터 | 가변 | 가변 | 0 또는 4바이트 | 0, 7 또는 23바이트 | 전송속도 향상 |
| 에러정정 | 2바이트 | 2바이트 | 5~6비트 | 2바이트 | 에러검출력 향상 |
| 동기방식 | 비동기 | 동기 | 비동기 | 동기 | 비동기에 비해 전송효율 향상 |

6. 결 론

본 논문에서 구성한 배전자동화용 통신프로토콜은 적절한 오버헤드, 고정길이의 데이터 필드, 강력한 에러검출능력, 동기식 전송방식을 채택하여 기존에 설치된 배전자동화시스템의 통신프로토콜보다 효율적인 전송을 가능하게 한다. 또한, 시스템 운용측면에서 이상발생보고(Exceptional Report)를 채택함으로써 기존의 전력설비자동화시스템의 운용구조, 형태와는 다른 구조로 빠르게 문제점을 찾을 수 있으며, 효율적으로 운용이 가능하다. 향후 프로토타입을 제작하여 실제통에 설치하여 성능시험을 하여, 이상발생보고의 최적응용조건 등을 위한 성능시험을 통하여 다양한 문제점들을 도출해내고 해결할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김명수 외, "배전자동화용 적정 무선방식 선정보고서", 전력연구원 TM.97EJ07.R1998.53, 1998. 2.
- [2] A.J.Dick, "Review of Communications Standards for Distribution Automation Applications", Half day colloquium on Methods of Substation Automation (Digest No. 1996/163), 1996. 5.
- [3] R.Ball, K.Hill, "A Generic Communications Language-Four years of experience", Proceedings of 6th international Conference on Developments in Power System Protection, 1997. 5.
- [4] Ken Jackson, "Communication Protocols for Electric Utilities-an IEEE Task Force Perspective", Automation Operations Conference '95, 1995. 10.
- [5] 김명수 외, "중소규모 배전자동화용 통신프로토콜 정립", 전력연구원 TM.97EJ07.R1998.317, 1998. 6.