

## The Study of Distributed Disturbance Recording System

朴 鍾 讚<sup>†</sup> · 李 世 仁<sup>\*</sup>  
(Jong-Chan Park · Se-In Lee)

**Abstract** - In this paper, the application of power quality monitoring based on Sampled Value(SV) which is introduced in the IEC61850 International Standard for substation communication are discussed. Firstly, while Merging Unit(MU) is designed as a process level device transmitting sensor data, the practical problems such as time delay compensation and optical fiber communication are encountered. Secondly, the Sampled Value message which is proper to a power quality monitoring system is presented. Because the power quality monitoring system requests less time-critical service compared to protection and control applications, the Sampled Value service message structure is introduced to improve efficiency. Lastly, the power quality monitoring server having various power quality analysis functions is suggested to verify the performance of Merging Unit. With the diverse experiments, it is proved that the process bus distributed solution is flexible and economic for the power quality monitoring.

**Key Words** : IEC61850, Merging Unit, Sampled Value, Power Quality

### 1. 서 론

근래 들어, 화학연료의 고갈에 따라서 수소에너지와 분산발전에 대한 기대가 증가하고 있다. 따라서 전력계통의 모습도 효율성을 높이기 위해서 중앙 집중형 방식에서 분산화된 망 형태로 변화하고 있는 중이다. 미래의 전력계통에서는 송전 분야가 줄어들고 많은 전기사업자들의 경쟁이 치열해질 것이 예상된다.

미래의 전력산업의 주요 과제는 집중화된 구조를 분산시키는 것이기 때문에 분산된 망간의 연결을 해결 수 있는 표준 프로토콜에 대한 관심이 증가되고 있다. 미래의 전력계통은 통신을 통한 제어와 감시가 보편화 될 것이다. 전기 에너지의 흐름 측면에서 본다면, 발, 송, 변 및 배전계통은 하나의 유기체처럼 밀접하게 연계되어야 하는 요구를 통신 인프라를 통해서 가능하게 될 것이다.

현재까지, 통합된 통신 인프라 구축에는 다음과 같은 어려움이 있다. 상호운영이 가능한 통신 프로토콜의 부재, 네트워크 설계 및 관리 분야에 대한 불충분한 표준 그리고 제조사 간의 서로 다른 비전 등이다.

고속프로세서로 구현된 지능화된 IED(Intelligent Electronic Device)는 전력 자동화 분야에 통합 솔루션을 제공할 수 있는 기틀을 마련하였다. 초기 변전소 자동화 프로토콜로 개발되었던 IEC61850은 그 범위를 확장하여 풍력을 비롯하여 분산발전분야의 표준 프로토콜로 확대되었다. 관련된 많은 전문가들은 미래에는 IEC61850의 적용범위가 모든 산업분야로 확대될 것으로 예상하고 있다[1].

지금까지 전력자동화 시장에서는 MODBUS, Field bus, Lonwork, DNP 그리고 IEC-870-5-101와 같은 프로토콜이 시장 확대를 도모하면서 경쟁하고 있었다. 서로 다른 여러 프로토콜간의 인터페이스는 시스템 통합에 문제점이 되었다. 세계적인 표준 프로토콜인 IEC 61850은 이러한 문제점을 해소 시킬 수 있는 대안으로 대두되고 있다[2].

IEC 61850의 범위는 프로세서 버스에서부터 적합성 실험까지 매우 넓은 범위를 다루고 있다. 특히, Merging Unit은 I/O 장치와 센서들로 구성된 프로세서 버스를 대표하는 장치이다. Merging Unit는 계통에서의 전압과 전류를 CT/ VT 센서로 측정된 후에 Sampled Value 통신 패킷에 실어 원격리의 IED에 전송하는 방식이다. 전송방식에 따라서 IEC61850-9-1과 IEC61850-9-2로 구분할 수 있다[7]. 한편 IED는 수신된 Sampled Value 패킷의 내용을 분석하여 제어, 보호, 검침, 사고저장과 전력품질 감시에 사용한다.

본 논문에서 Merging Unit를 이용한 전력품질 감시 시스템을 구축한 예를 소개할 것이다. 기존의 전력품질분석 장치는 계측 데이터를 자신이 저장하고 처리해야하기 때문에 고용량의 데이터저장 장치가 필요했고 품질분석을 위해서 각

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 烏山大學 電氣시스템制御科 教授  
E-mail : jcpark@osan.ac.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 유투에스 研究院 責任研究員

接受日字 : 2007年 12月 4日

最終完了 : 2008年 1月 22日

장치마다 고가의 프로세서를 써야하는 이유로 가격이 매우 높은 문제점을 갖았다. 또한 원격감시를 위해 별도의 프로그램과 시스템을 구축해야하는 불편함이 있었다.

본 연구에서는 Merging Unit에서 데이터 계측부를 처리하고 전력품질감시 서버에서 데이터저장 및 분석기능을 수행하게 기능을 분리하였다. 계측 데이터를 통신으로 전송하는 Merging Unit은 경제적이며 다양한 구성을 가능하며 일반 PC로 구성된 전력품질감시 서버는 기존의 전력품질분석 장치에 비해 대용량의 저장매체와 고속의 프로세서를 사용할 수 있어 경제적이며 고품질의 서비스가 가능하다.

제안된 Merging Unit는 최대 16채널의 계통 센서 정보를 IEC61850-9-2 표준에서 언급한 Sampled Value 형태로 전송한다. 전력품질감시 프로그램을 통해서 통신으로 받은 정보를 수신 받아서 품질을 감시할 수 있게 구성하였다.

## 2. 본 론

변전소 보호, 제어, 감시 등에 사용되는 많은 구리선의 노후와 설치의 어려움을 Merging Unit과 통신 서비스로 극복할 수 있다. 구리선을 통신선으로 대체하면서 시스템의 신뢰성을 증대시킬 수 있으며 설치가 용이하고 관리운영 부담을 줄일 수 있다. 본 연구에서는 IEC61850-9-2표준에서 언급한 Sampled Value 서비스를 Merging Unit에서 구현하였다.

### 2.1 Merging Unit의 필요성

그림 1과 같이 Merging Unit 통신 네트워크는 분산 센서 네트워크와 유사한 형태로 모션 보호(bus protection)과 같이 넓은 지역의 센서정보를 이용해야 하는 응용분야에 적용하면 가장 큰 장점을 가질 수 있다. 기존의 모션 보호는 매우 넓은 지역에 많은 수의 센서 정보를 구리선으로 수집하는 과정에서 센서라인에 유입되는 전자기적인 잡음 때문에 문제를 일으켰으며 긴 센서 라인의 설치와 운영이 경제적인 부담이 되어왔다[3].

IED에 연결하는 Merging Unit의 수는 제한이 없기 때문에 다양한 보호방식을 구현할 수 있다는 장점을 갖는다. 예를 들어 기존의 2권선 변압기용 IED를 운영하는 현장에서 변압기를 3권선으로 바꿀 경우, IED는 하드웨어의 변경 없이 단지 통신 파라미터의 변경으로 설치가 가능하다. 이와 더불어, Merging Unit는 다수의 IED에 정보를 동시에 보낼 수 있기 때문에 변전소 내의 센서 수를 줄일 수 있는 장점 또한 갖고 있다.

Merging Unit을 이용한 응용은 크게 제어 및 보호와 같은 실시간성을 요구하는 분야와 전력품질감시나 고장파형저장과 같이 실시간제약이 없는 분야로 나눌 수 있다. 그림 2와 같이 변전소 내에 중요 감시 포인트에 Merging Unit을 설치한 후 네트워크를 이용해서 감시를 하게 된다. 다수의 Merging Unit의 정보를 취합하기 위한 기준시각으로 GPS(Global Positioning System)를 이용한다.

### 2.2 Merging Unit의 하드웨어설계

Merging Unit은 전자기적 간섭이 많은 계통에서 센서나 차단기 주위에 설치되어야 IEC60044-7에서 명시한 내환경 특성을 만족해야하며 다양한 제조사의 IED에 데이터를 전송

해야 하기 때문에 각각 IEC61850-9-2 표준에 적합해야 한다. Merging Unit구조를 나타내는 그림 3에서 알 수 있듯이 센서부와 신호 처리부 그리고 통신부로 구성된다.

센서부에서는 GPS시각과 동기를 맞추면서 아날로그 신호를 디지털 데이터로 변환시킨다. GPS신호를 참조하는 방법은 두 가지가 있는데 GPS 수신기를 Merging Unit에 설치하여 직접 위성신호를 받는 방식과 외부의 GPS수신 장치의 출력신호를 받아서 동기화 하는 방식이 있다. 도시 내의 변전소는 설치면적의 제한 때문에 옥내식으로 건설되므로 안테나를 이용하여 직접 받는 방식은 불가능한 경우가 많다.

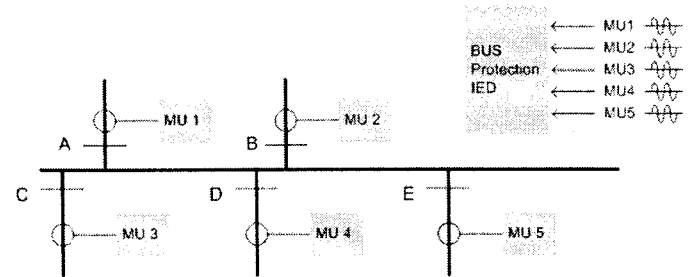


그림 1 Merging Unit을 이용한 모션보호  
Fig. 1 Bus protection with Merging Unit

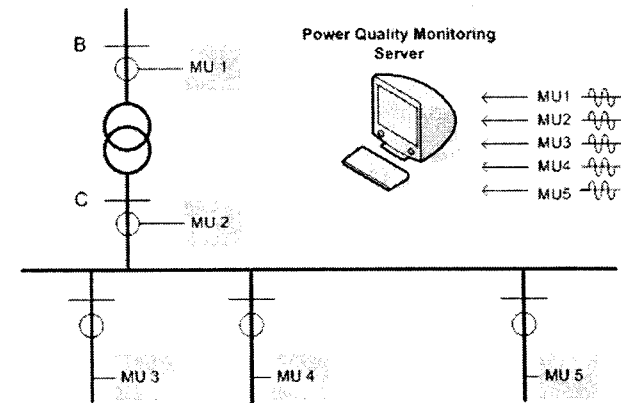


그림 2 Merging Unit을 이용한 전력품질감시  
Fig. 2 Power quality monitoring with Merging Unit

Sampled Value 패킷을 만들고 전송하는 기능은 IEC61850-9-2 표준에 맞추어 통신부에서 담당하게 된다. 센서는 보호와 계측의 목적에 따라서 검출 범위와 정밀도가 달라지기 때문에 두 가지 종류로 나눌 수 있다. 보호용 Merging Unit은 실시간성을 요구되는 반면 비교적 낮은 AD 변환 샘플링을 가져도 되는 반면에 계측용 Merging Unit은 높은 샘플링 주파수를 요구하지만 시급성을 요구하지 않는 응용분야이다. 구현된 Merging Unit은 최대 16개 센서입력을 받을 수 있고 36[sample/cycle]의 A/D변환 샘플링 주기와 1[message/cycle] 통신 전송주기를 갖는다. 설계초기의 예상과는 달리 메인 프로세서인 DSP(Digital Signal Processor)가 Sampled Value 데이터를 통신으로 전송하는 부분에서 지연이 발생하였다. 본 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위해서 소프트웨어를 간결하게 만들어 처리시간을 단축시켰다.

IED와 전력품질감시 서버는 다수의 Merging Unit으로 부터 데이터를 수신한 이후에 시각정보 데이터를 이용하여 시각동기를 수행한다. 따라서 정밀한 제어, 보호 그리고 분석을 위해서는 정밀한 시각 동기는 필수적이다. 표1은 계통 주파수에 따라서 시간지연오류로 기인한 위상오차를 확인할 수 있다. 따라서 분산화된 센서 네트워크가 넘어야 할 기술적인 장벽 중에 하나는 시각정밀도이다.

Merging Unit내에서 발생 가능한 시간지연 요소를 분석하면 CT/VT 센서 자체에서 발생하는 지연, 멀티플렉서(multiplexer)의 지연 그리고 신호처리 과정에서 발생하는 지연으로 나눌 수 있다. 따라서 철심형 센서 대신에 저항 분압형 센서를 사용하고 가능한 멀티플렉서를 사용하지 않고 AD 변환부를 설계하는 것이 바람직하다. 신호처리부분에서 발생하는 지연을 보상하기 위해서는 벡터회전 방식과 스프라인 보간(spline interpolation) 방식이 있는데 벡터회전 방식은 기본파를 제외한 고조파에 대한 보상이 어렵다는 문제점이 있으며 스프라인 보간 방식은 계산량이 많아 CPU에 부담이 되어 결과적으로 Merging Unit에 요구되는 실시간성을 만족하지 못하게 된다. 따라서 본 연구에서는 1차 스프라인 보간법을 이용하여 CPU에 부담을 줄이는 지연보상 방법을 사용하였다.

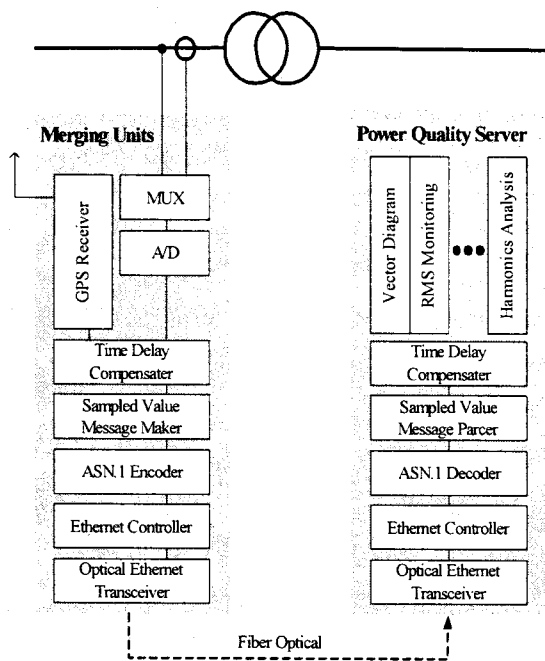


그림 3 제안된 전력품질감시 시스템의 구조  
Fig. 3 Structure of proposed PQ monitoring

표 1 시각 동기 오류에 의한 위상오차

Table 1 Phase error with time deviation

Deviation \ Frequency	1[usec]	10[usec]	100[usec]	1000[usec]
60[Hz]	0.022°	0.22°	2.2°	22°
50[Hz]	0.018°	0.18°	1.8°	18°

표 2 Sampled Value 패킷의 이더넷 패킷

Table 2 Ethernet packet for Sampled Value

Preamble	SFD	Dest. MAC	Src. MAC	Priority tag	Ether type
7	1	6	6	4	2

APPID	Length	Reserved	APDU	FCS
2	2	2+2	729~921	4

표준문서에 따르면 다섯 가지의 시간 분해능을 제안하였다. P1클래스 ( $\pm 1[ms]$ ), P2 클래스 ( $\pm 0.1[ms]$ ), P3 클래스 ( $\pm 25[us]$ ), P4 클래스 ( $\pm 4[us]$ ) 그리고 P5 클래스 ( $\pm 1[us]$ ) 이다. 본 연구에서는 500[ns]의 정밀도를 갖는 GPS RF 모듈을 Merging Unit에 장착하여 P4 클래스의 정밀도를 확보하였다. 제안된 방식을 옥내용에 사용할 경우에는 GPS 위성신호를 옥내로 전달해주는 re-antenna를 부가적으로 설치해야 하는 점을 고려해야 한다.

변전소의 LAN 네트워크를 구성할 때에 고려할 사항 중에 하나는 일반 사무실에서 사용하는 트위스트 페어 케이블(twisted pair cable)은 외부의 전자기적인 간섭(EMI : Electro Magnetic Interference)에 민감하기 때문에 가능한 사용을 피해야 한다는 점이다. 전자기적인 간섭은 네트워크의 대역폭을 감소시켜 결과적으로 실시간성을 요구하는 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)와 Sampled Value 같은 서비스를 불가능하게 한다. 따라서 제안된 Merging Unit에서 발생된 Sampled Value 패킷은 100M [bps]의 광통신 케이블을 통해서 IED나 전력품질감시 서버에 전송된다. 더불어서 고려할 사항은 네트워크 내의 장치의 고장 또는 케이블의 소손으로 발생 가능한 사고를 막기 위해서 이중화된 두 개의 포트를 갖는 것이 바람직하지만 본 연구에서는 우선 하나의 광 포트만 갖게 설계하였다.

### 2.3 Merging Unit의 IEC61850-9-2 통신서비스 구현

IEC61850의 서비스 중에서 스테이션 버스는 많은 량의 데이터를 안정적으로 전송해야 하기 때문에 TCP/IP 전송방식을 기반으로 하지만, 프로세서 버스에 관련된 두 가지 통신방식인 Sampled Value와 GOOSE는 실시간 통신을 위해서 응용층(application layer)에서 직접 데이터 링크층(data link layer)으로 데이터가 전송된다. 이와 같이 Sampled Value 서비스를 위해서 OSI 전 계층을 구현할 필요는 없다. 표2는 Sampled Value 패킷의 구조와 각 필드의 특성을 나타낸 것이다[5][7].

- 목적지 주소(6[byte]): PQ server MAC address
- 발신지 주소(6[byte]): MU MAC address
- 우선순위 태그 / VLAN(4[byte]):  
TPID(Tag Control Identifier): 우선순위 태그 번호(for IEEE 802.1Q Virtual Bridged Local Area Networks) 0x8100로 지정.  
TCI(Tag Control Information): 0x8000으로 고정.
- Ethertype(2[byte]): 프로토콜의 종류를 나타내며 88-BA으로 고정.

- APPID(2[byte]): 0x4000에서 0x7FFF사이의 값.
- Length(2[byte]): APPID에서 APDU필드 까지의 데이터 바이트 수.
- APDU(Application Protocol Data Unit):데이터 바이트 수로 42에서 1496까지의 값을 가짐.

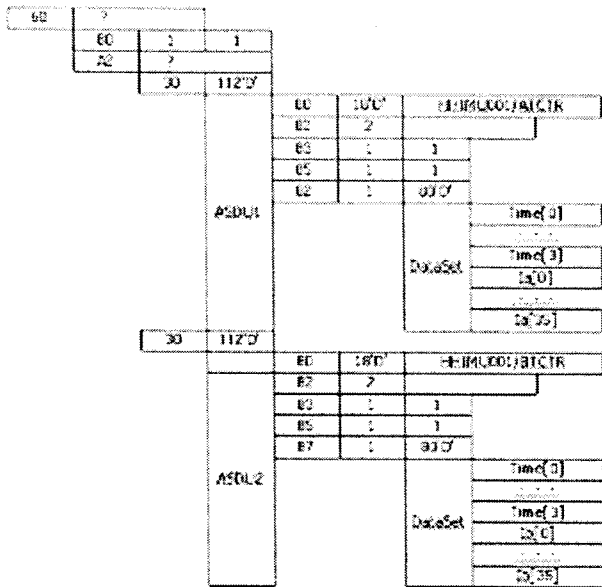


그림 4 Sampled Value의 APDU 구조  
Fig. 4 APDU Structure for Sampled Value

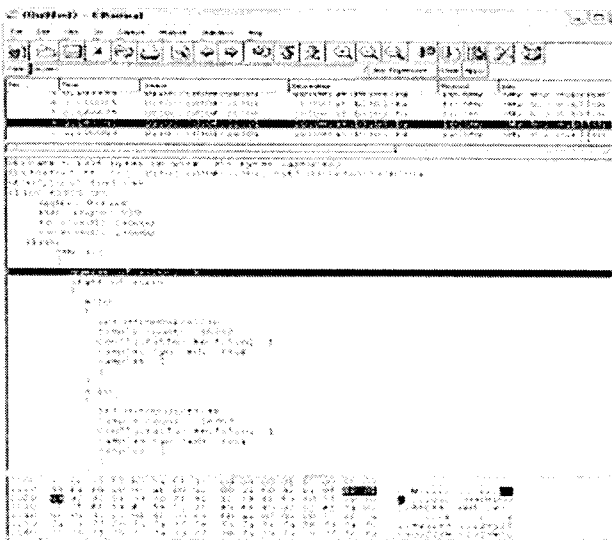


그림 5 네트워크 분석기를 이용한 SV 패킷분석  
Fig. 5 SV packet analysis with network analyzer

본 연구에서 제안된 전력품질감시 장치는 실시간성을 요구하는 분야가 아니므로, Merging Unit내의 8채널 정보를 취합한다. 각 채널당 36 [samples/cycle]개의 정보를 모아서 데이터 셋을 만들고 매 주기마다 데이터 셋을 전송(1 [message/cycle]) 하게 구성하였다. 이와 같은 조건을 기반으로 구성한 이더넷 패킷은 그림 4와 같이 951[byte]이며 만약 샘플링 주기를 64[samples/cycle]로 증가할 경우에 1.399

[byte]로 증가된다.

Sampled Value 정보를 해석하는 과정에서 프로세서의 처리 단위나 비트처리 순서에 따라서 서로 다른 값으로 해석할 수 있다. 즉, 8비트 리틀 엔디안(little-endian) 프로세서와 32비트 빅 엔디안(big-endian) 프로세서가 정수형 데이터를 처리하는 방식은 매우 틀리다. 따라서 Merging Unit이나 IED 또는 전력품질감시 서버의 하드웨어 플랫폼에 무관하게 동일한 정보 처리를 위해서 ISO/IEC 8824와 8825에서 제안한 ASN.1방식의 인코딩 방식을 사용한다[6]. 본 연구에서는 ASN.1 처리시간을 최소화 시켜 Merging Unit에 사용한 내장형 프로세서의 부담을 줄이기 위한 방안을 모색하였다.

### 3. 전력품질서버 구축 및 실험

네트워크 분석 프로그램을 이용하여 Merging Unit으로 부터 발송되는 Sampled Value 패킷이 올바르게 구성되었는지를 그림 5와 같이 매 주기마다 8개의 채널정보로 구성된 Sampled Value 패킷이 전송되는 것과 표준을 만족함을 확인하였다.

전력품질감시 서버는 이더넷을 통해서 Sampled Value 패킷을 수신 받아 데이터 부분을 추출한다. 추출된 정보는 ASN.1 및 Sampled Value 해석기를 거쳐 전력품질감시에 사용될 정보로 변환된다. 전력품질 분석단계에서는 벡터해석, 실효값, 전력량 감시와 같은 계측기능과 더불어서 IEEEStd 1159에서 정의한 정전, 매우 짧은 시간 동안에 발생하는 순간전압강하(sags), 순간전압상승(swells), 전압상승 (overvoltage), 전압강하(undervoltage), 순간정전(interruption), 고조파(harmonics), 전압 불평형(voltage Imbalance), 주파수변동(frequency Variation) 등에서 정의한 항목을 감시하고 HMI(Human Machine Interface)를 통해서 사용자에게 보여준다.

만약 Merging Unit에서 전송되는 Sampled Value 패킷이 두절된다면 그림 6에서 데이터가 불연속적으로 나타내게 되어 통신의 건전성을 확인 할 수 있다. 순시값 감시창에서 감시하려는 채널과 업데이트 주기를 선택할 수 있다. 수신정보의 정밀한 분석을 위해서 수신 패킷을 저장(logging)하는 기능을 갖는다.

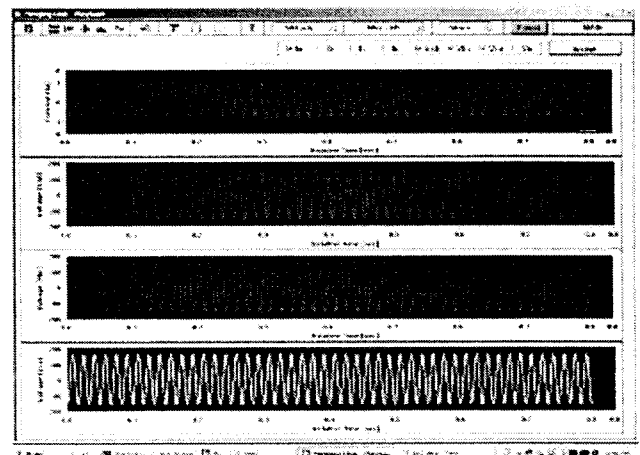


그림 6 Merging Unit으로 부터 순시간 수신  
Fig. 6 Instant value sending from Merging Unit

그림 7은 실시간 데이터 화면에서 원하는 위치로 커서를 이동시켜서 해당 위치의 크기, 위상, 실효값을 확인 할 수 있으며 두 번째 커서를 이용하여 시간과 크기의 차를 정밀하게 분석할 수 있게 고려하였다.

그림 8은 전력품질감시의 주요 목적인 전력품질을 분석하는 화면 중에 고조파와 벡터도 분석을 나타낸 것이다. 앞서와 같이, 사용자는 분석을 원하는 위치에 커서를 이동시켜 분석 결과를 확인 할 수 있다.

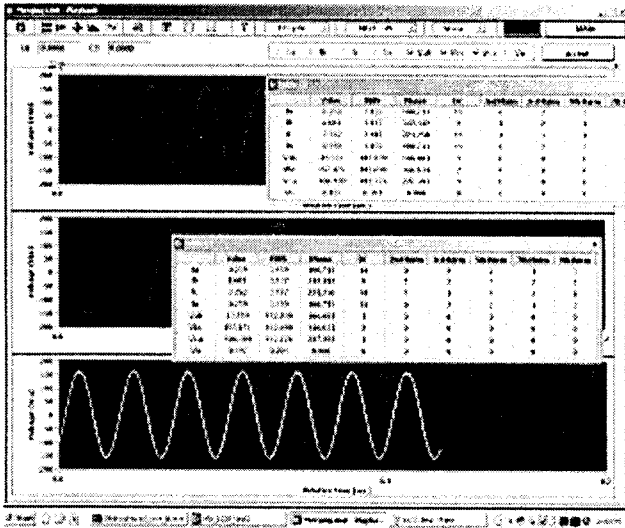


그림 7 상세감시화면  
Fig. 7 Monitoring with detail watching windows

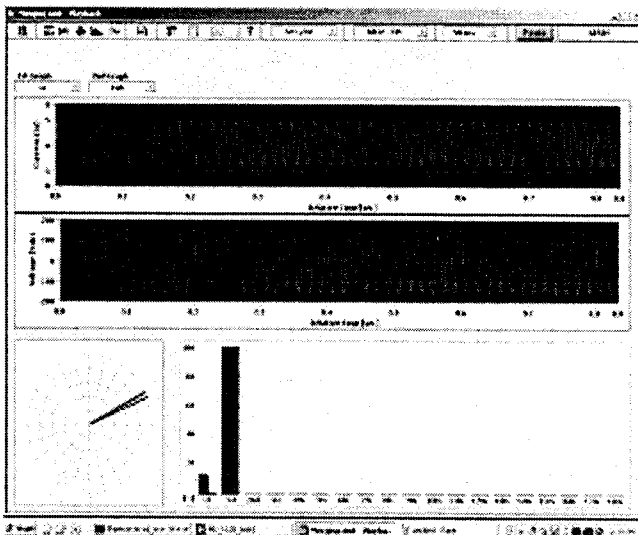


그림 8 벡터 및 고조파 분석  
Fig. 8 Vector and harmonic analysis

#### 4. 결 론

본 연구에서는 변전소 자동화의 국제적 표준 프로토콜로 자리하고 있는 IEC61850에서 제시한 Sampled Value 서비스를 이용한 전력품질감시의 예를 보여주었다. 먼저 센서의 정

보를 전송하는 프로세서 레벨의 장치인 Merging Unit을 설계하였다. Merging Unit을 실제로 구성할 때 필요한 시간비연보상이나 광통신기능에 대해 언급하였다. 이와 더불어 전력품질감시에 적합한 Sampled Value 메시지를 설계하였다. 전력품질감시기능은 보호 및 제어기능에 비해 실시간성이 크게 요구되지 않기 때문에 본 연구에서는 한 Sampled Value 메시지에 총 8개 채널의 한주기 센서정보 전송하는 메시지를 설계하여 효율성을 높였다. 마지막으로 전력품질감시 프로그램을 제작하여 수신된 정보를 분석하고 전력품질을 분석할 수 있는 기능을 제시하였다.

전력품질감시 장치의 주요 목적은 전력품질 저하로 기인한 발생한 사고나 잠재적인 사고의 원인을 찾아내고 해결방안을 결정할 수 있는 정보를 제공한다. 전력품질저하로 기인한 사고나 효율성 저하는 언제, 어디서 문제가 발생하였고 각 정보간의 상관관계를 맺어줄 연관성을 분석하기 힘든 경우가 많다. 그러나 제안된 방식을 통하면 저장 공간의 구애 받지 않고 많은 량의 정보를 시간 정보에 연관하여 분석할 수 있기 때문에 품질 저하의 원인을 찾아내는데 도움이 된다.

Merging Unit과 전력품질감시 서버로 구성된 분산형 전력품질감시장치는 사용자가 원하는 감시 지점에 프로세서 버스 장치인 Merging Unit만 설치하면 전력품질분석이 가능하기 때문에 경제적이며 유연한 구조를 갖는다.

#### 감사의 글

본 논문은 오산대학 교내 학술 지원비에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Tim Tibbals and Dave Dolezilek, 'More Than Communication - the Engineering Approach of IEC 61850', 2007 APAP.
- [2] F. Engler, B. Kruimer, K. Schwarz, "IEC61850 based Digital Communication as Interface to the Primary Equipment," Cigre 2004 Conf., B3-205, 2004.
- [3] Alexander Apostolov, 'IEC 61850 Distributed Analog Values Applications in Substation Automation Systems', PES IEEE, 2005.
- [4] Benton Vandiver and Alexander Apostolov, 'Testing of IEC 61850 Sampled Analog Values Based Functions', CIGRE, B5-103, 2006.
- [5] IEC61850-9-2 LE: Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2', UCA International User Group.
- [6] Herbert Falk (SISCO) and Dr. Martin Burns (Hypertek), MMS and ASN.1 Encodings, SISCO, 2001, p. 3.
- [7] INTERNATIONAL STANDARD IEC 61850 9-2. Communication Networks and systems - 9-2: Specific Communication System Mapping(SCSM) - Sampled values over ISO/IEC8802-3, First edition 2003-05.

저 자 소 개



**박종찬 (朴鍾讚)**

1955年 12月 19日生. 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1988年 同 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002年 同 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992年 ~ 현재 오산대학 전기시스템제어과 교수.

Tel : 031-370-2674

Fax : 031-375-9601

E-mail : jcpark@osan.ac.kr



**이세인 (李世仁)**

1970年 4月 20日生. 1998年 광운대학교 제어계측공학과 졸업. 2000年 同 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1997年~2006年 네이버월드 및 KMData 연구소 근무. 2006年 현재 유투에스 연구소 책임연구원.

Tel : 031-436-0695

Fax : 03-436-0694

E-mail : tpdls70@naver.com