

## 다채널 전력분석을 위한 데이터 획득시스템에 관한 연구

유재근, 정정채, 이상익  
한국전기안전공사 전기안전연구원

## A Study on the Data Acquisition System for Multi-Channel Power Analysis

Jae-Geun Yoo, Jeong-Chay Jeon, Sang-Ick Lee  
Korea Electrical Safety Corporation

**Abstract** - 전기부하설비의 전압, 전류, 전력, 고조파 등의 분석을 위해서는 수학적 모델링 보다는 실제 계측을 통한 전력분석이 필요하고 이를 통해 전기설비의 효율적인 관리, 에너지 절약 및 사고 예방에 필요한 대책을 수립할 수 있다. 특히 전력 및 고조파 유입·유출 등을 분석하기 위해서는 여러 지점의 전력분석을 위한 다채널 데이터 획득시스템은 매우 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 전압 및 전류를 다채널로 동시에 측정할 수 있는 데이터 획득 시스템을 DSP 기반으로 개발하였다.

## 1. 서 론

최근 지구 온난화와 에너지 자원의 감소로 인해 에너지 절약에 대한 관심이 점점 고조되고 있다. 특히 공장이나 빌딩의 전기에너지의 사용자들은 제품생산과 설비 유지관리에 있어 비용을 최대한으로 억제하기 위해 에너지 절약에 대한 투자는 더욱 활발해지리라 예상된다. 이러한 에너지 절약을 실천하고 전기부하설비의 유지 관리를 위해 전압, 전류, 주파수, 역률 등의 전력관련 데이터의 파악을 통해 대책을 수립하는 것이 필수적으로 필요하다. 전기부하설비의 전압, 전류, 역률 등의 전력분석을 위해서는 계측 및 분석이 가능한 장치가 필요하다. 이러한 장치의 대부분은 Dranetz, Fluke, RPM사 제품이 위주를 이루고 있고 1개의 지점에서 전력분석이 가능하다. 그러나 실제로 전기부하설비에 대한 전력분석의 정확성을 높이기 위해서는 여러 지점에서 동시에 전력을 분석할 수 있는 장치가 필요하다[1,2,3].

따라서, 본 논문에서는 전력분석장치 제작기술의 발전과 다채널 전력분석 관련기술의 저변 확대를 위해 전기설비의 2개 지점에서 전압 8채널, 전류 10채널을 동시에 측정할 수 있는 DSP 기반의 다채널 전력분석 데이터 획득시스템을 개발하였다.

## 2. 본 론

## 2.1 데이터 획득시스템의 설계

본 논문에서 제안한 데이터 획득 시스템은 전압·전류를 측정하는 센서와 입력되는 전기신호의 최대 주파수를 제한하기 위한 필터로 구성되는 신호 입력부, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환부, 연산기능과 주변장치를 제어하는 디지털 신호처리부, 논리연산을 통해 시스템 인터페이스 처리를 수행하는 PLD(Programmable Logic Device)부, S-RAM 및 F-ROM으로 구성되는 메모리부, 시스템 동작전원을 공급하는 동작 전원부로 구성되며 블록 다이어그램과 실제 제작한 보드를 그림 1과 사진 1에 나타내었다.

## 2.1.1 신호입력부

전압신호 입력회로에서 센서에 의해 측정된 전압신호를 시스템에 맞는 신호크기로 바꾸기 위해 용량 3W, 오차율 0.1% 그리고 온도 특성 B급의 고정밀 저항을 이용하여 전압 분배기(Voltage Divider)를 설계하였다. 이는

시스템에 사용된 A/D 변환기의 입력신호에 적합한 전압 범위로 조정하는 역할을 수행한다. 또한 시스템의 서지 보호를 위해 바리스터를 사용하였고 양방향 제너다이오드를 이용하여 과전압으로부터 시스템을 보호할 수 있게 하였다.

A/D 변환과정에서 샘플링 정리에 의해 샘플링 간격(또는 샘플링 주파수)을 정하기 위해서는 연속신호가 갖는 최고의 주파수 성분을 알 필요가 있다. 그러나 센서로부터 입력받은 전압과 전류의 연속신호는 정확한 주파수 대역을 알 수 없다. 따라서 저역통과 필터를 구성하여 신호의 상한값을 설정하고 측정하고자 하는 최고 입력주파수를 제한하여야 한다. 본 논문에서 제작한 시스템에서는 50차 고조파까지의 주파수를 측정할 수 있도록 차단주파수가 3kHz가 되도록 R, C, OP-AMP LM2302를 사용하여 설계하였다.

## 2.1.2 A/D 변환부

데이터 획득 시스템에 입력되는 전압 8채널과 전류 10채널의 아날로그 신호를 동시에 A/D 변환하기 위해 AC레벨의 아날로그 입력이 4채널인 Analog Device사의 14bit A/D 컨버터를 5개 사용하였고 샘플링 주파수는 FFT 알고리즘에 의해 7.68kHz 선택하였고 전압과 전류 신호의 한 주기가 128개의 샘플로 분해된다[4]. 또한 A/D 변환부의 어드레스 및 데이터 버스는 소자에 고장이 발생할 경우 소자의 독립고장으로 국한시키기 위해 DSP와 A/D 변환기 사이에 8bit 양방향 버퍼(Buffer) 74F245를 설치하였다.

## 2.1.3 디지털 신호처리부

디지털 신호처리부의 DSP는 장치 본체의 모든 주변장치를 PLD를 이용하여 제어하며, A/D 변환기에 의해 검출된 불연속 신호는 UART 및 전압 Buffer IC를 이용하여 RS232 방식으로 PC로 측정데이터를 송신하는 역할을 수행하며, FFT·전력량 계산 등을 수행한다. 본 연구에서는 TI사의 32bit 부동소수점 연산방식의 DSP를 사용하였다. 또한 데이터 획득 시스템에서 DSP와 연결하여 동작 오류 및 정전 등의 상황에 대처하여 측정 환경 및 진행 상태 등을 저장할 수 있는 4kByte 용량의 EEPROM 24LC32를 설계·장착하였다. 그리고 시스템 내부의 온도를 측정하여 OP-Amp의 주파수 온도특성을 보정할 수 있도록 IC 디지털 온도 센서를 설계·장착하였다.

이러한 디지털 신호처리부에서 본 시스템에 사용된 DSP가 60MHz의 높은 주파수로 동작하므로 인터페이스 회로가 이에 무리 없이 따라가도록 하기 위해 사용자가 논리회로를 설계하여 프로그램 할 수 있는 PLD를 사용하였다. 또한 DSP의 hardware reset 동작을 위해 외부 스위치로 동작을 제어할 수 있는 reset 전용 IC DS123을 사용하였다.

## 2.1.4 메모리 및 인터페이스부

메모리 부분은 데이터의 저장을 위한 주 메모리인 SRAM (K684008C1C)과 DSP의 프로그램 메모리로 사용되는 F-ROM (Am29F040), DSP와 연결하여 시스템의 동작 오류 및 정전 등의 상황에 대처하여 측정 환경 및 진행 상태 등을 저장하기 위해 사용된 EEPROM(24LC32)으로 구성된다.

시스템 본체의 측정데이터와 PC의 제어데이터의 송·수신을 담당하는 부분으로 RS232C 방식을 사용하여 PC로부터 장

치의 제어명령을 입력받아 전력 등의 각 요소를 측정하고 측정결과를 PC로 전송하는 동작을 수행하도록 설계·제작하였다. 시스템과 PC와의 데이터 송·수신을 위해 데이터의 직·병렬 변환용 소자로 PC16550을 사용하였고 RS232C 인터페이스를 위해 Maxim사의 MAX232를 사용하였다.

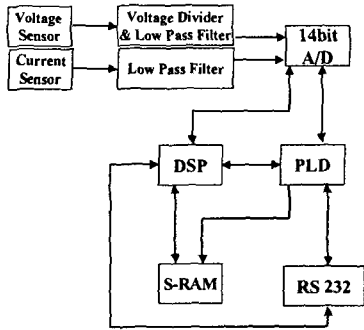


그림 1 데이터 획득 시스템의 블록 다이어그램

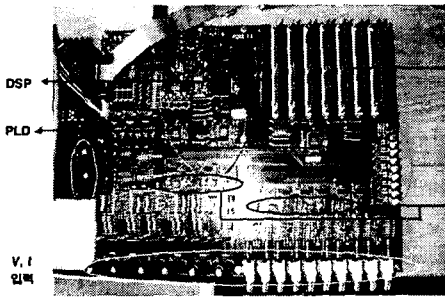


사진 1 개발된 데이터 획득 시스템

## 2.2 전압 및 전류 보정

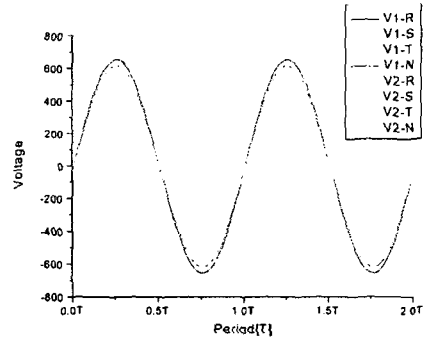
본 연구에서 제안한 데이터 획득시스템을 실제 계통에서 현장적용하기 위해서는 우선 전압, 전류 측정 정확도를 보정하여야 한다. 이를 위해 표준 고정 장비로 사용하고 있는 AC voltage & current standard(YOKOGAWA 2558)를 사용하여 전압 8개와 전류 10개 포트를 각각 측정하여 보정작업을 수행하였다.

### 2.2.1 전압 보정

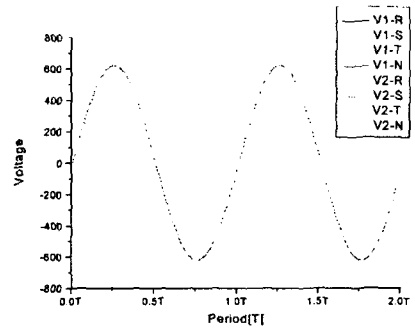
전압을 측정한 결과 voltage divider, voltage-follower, low\_pass-filter에 의해서는 오차가 거의 발생하지 않으며, 가장 큰 오차는 ADC의 gain 오차에 있음을 알 수 있다. 이를 보정하기 위해 채널별로 측정한 전압 순시치를 보간법에 의해 최대 순시치  $V_{pp-max}$ 를 구한 후, 해당하는 채널의 최대값을 이론적인  $V_{pp-max}$ 에 크기를 표준화하는 방법을 취했다. 실제 측정한 데이터값의 오차를 보정하는 방법은 추후에도 연구할 필요성이 있음을 알 수 있다. 표 1에는 본 연구에서 보정한 전압값을 나타내고 있고 그림 2에 대표적인 보정 전·후 그래프를 보여주고 있다.

표 1. 전압채널 보정

Standard Input-Voltage	
Vrms[V]	Vpp-max[V]
110	155.56
220	311.13
380	537.40
440	622.25



(a) 보정 전



(b) 보정 후

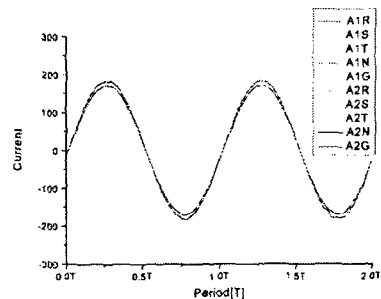
그림 2. 440Vrms 보정

### 2.1.4 전류 보정

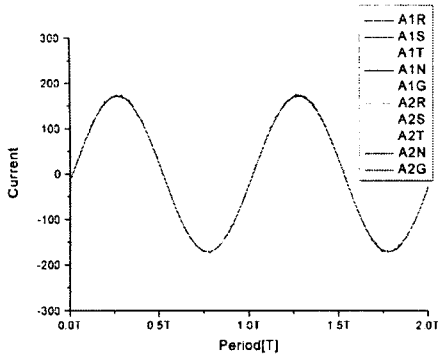
전류를 측정한 결과 전류센서, buffer, low\_pass-filter에 의해서는 오차가 거의 발생하지 않으며, 가장 큰 오차는 ADC의 gain 오차에 있음을 알 수 있다. 이를 보정하기 위해 채널별로 측정한 전류 순시치를 보간법에 의해 최대 순시치  $I_{pp-max}$ 를 구한 후, 해당하는 채널의 최대값을 이론적인  $I_{pp-max}$ 에 크기를 표준화하는 방법을 취했다. 표 2에는 보정한 전류값을 나타내고 있고 그림 3에 대표적인 보정 전·후 그래프를 보여주고 있다.

표 2. 전류채널 보정

Standard Input-Current	
Irms[A]	Ipp-max[A]
30	42.43
60	84.85
120	169.71
180	254.56



(a) 보정 전



(b) 보정 후  
그림 3. 120rms 보정

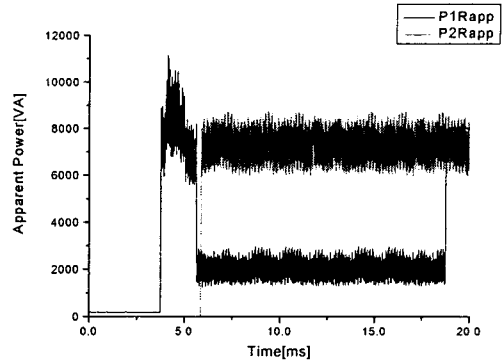


그림 6. 피상전력

### 2.3 데이터 획득시스템을 이용한 측정

본 연구에서 개발한 시스템을 3 $\phi$  200kVA, 22,900/220V의 Delta 결선 변압기로부터 전원을 공급받는 100HP, 75HP의 직류전동기, 압출기, 제단기(항온항습기 부하 연계동작), 콤프레셔 및 환풍기 등의 부하에 고조파 수동 필터를 설치하여 고조파와 역률개선을 수행중인 계통의 부하측과 전원측에 연결하여 전력을 측정하였다. 데이터 획득시스템에 의해 측정된 데이터는 origin tool을 이용하여 그래프로 표시하였다.

그림 4~7까지는 데이터 획득시스템에 의해 부하측과 전원측에서 동시에 측정 및 분석된 대표적인 전압, 전류, 전력, 고조파 스펙트럼 등의 그래프를 보여주고 있다.

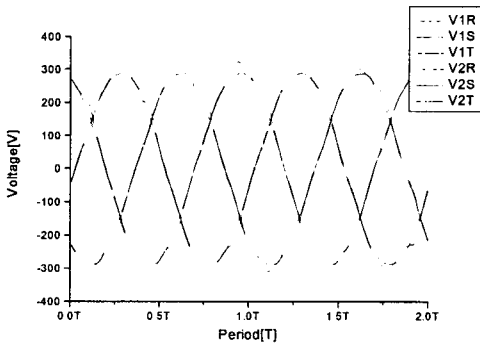


그림 4. 전압파형

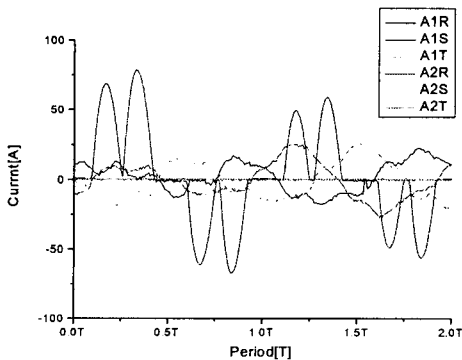


그림 5. 전류파형

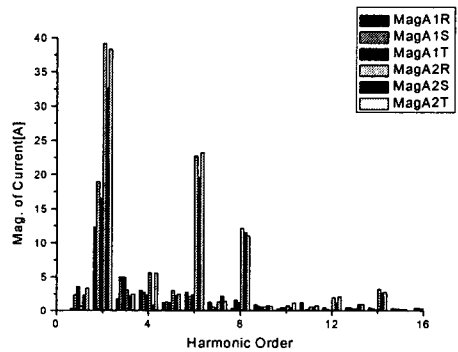


그림 7. 고조파 스펙트럼 분석

## 3. 결 론

본 논문에서는 다채널로 전압, 전류, 전력, 역률 및 고조파 등을 측정할 수 있는 데이터 획득 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템에 대해 전압 및 전류 오차 보정을 수행한 후 실제 계통에 연결하여 측정시험을 수행하였다. 데이터 획득 시스템에 의해 측정된 각종 데이터는 PC를 이용해 각종 그래프 형태로 나타낼 수 있었다. 측정 및 분석 결과 제한된 데이터 획득 시스템은 전기부하설비에 공급되는 전압, 전류, 전력 등을 측정하고 분석하는데 충분히 활용할 수 있음을 알 수 있었다. 본 논문에서 제안된 시스템은 그 구성이 간단하고 저 비용으로 시스템을 구성할 수 있어 관련 장치의 국산화를 통해 외국의 고가장비를 대체할 수 있으리라 사료된다.

본 연구는 전력산업기반기금 전력연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### [참고 문헌]

- [1] Larry D. Jones and A. Foster Chin, "Electronic Instruments and Measurements", Prentice Hall, 1991
- [2] J. Arrillaga, D. A. Bradley, "Power System Harmonics" John Willy & Sons, 1985
- [3] J. Arrillaga, N. R. Watson and S. Chen, "Power System Quality Assessment, WILEY", 2001
- [4] JAMES S. WALKER, "Fast Fourier Transforms", CRC Press, 2000