

## 전기설비의 고조파 진단을 위한 전력품질 측정시스템의 개발

(Development of Power Quality Measurement System for Harmonics Diagnosis of Electrical Equipment)

유재근\* · 이상익 · 전정채

(Jae - Geun Yoo · Sang - Ick Lee · Jeong - Chay Jeon)

### 요 약

고조파에 의한 전력품질저하로 인해 전기설비의 성능저하, 소음, 진동 등의 장애현상이 발생한다. 또한 앞으로 에너지 이용 효율을 높이기 위한 대책으로 반도체 회로를 사용하는 에너지 절약장치가 널리 보급되고, 전동기 속도 제어장치, 에너지 저장장치 등 에너지 변환장치의 사용이 증가될 전망이어서 고조파의 발생은 필연적이며 그 문제점은 심각하게 대두될 것이다. 이러한 고조파에 의한 장애를 해결하기 위해서는 전압, 전류, 전력, 역률, 고조파 차수별 성분 및 고조파 총합 왜형률 등의 정확한 전력품질을 측정하고 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 고조파 관련 전력품질을 측정하고 분석할 수 있는 저가형 측정시스템을 개발하였으며 3상 4선식 계통에서 전력품질을 측정하고 분석함으로써 그 성능을 입증하였다.

### Abstract

Because of falling-off in power quality by harmonics, obstacles like lowering of capability, noise, vibration of power facilities and so on are occurred. Also generation of harmonics is inevitable and the point at harmonics is seriously gathering strength because energy saving installation using semiconductor circuit as countermeasures to enhance energy efficiency will be broadly spread and the use of energy conversion equipment like motor speed control contrivance, energy keeping installation and so on will increase, in the future. In order to eliminate harmonics obstacle, precision measurement and analysis on voltage, current, power factor, the each ingredient of harmonic order, the percentage of total harmonic distortion, and so forth are needed. In this paper, we developed low-cost measurement system to measure and analyze power quality connected with harmonics and verified it's performance by measuring and analyzing power quality in the three-phase and four-wire system.

Key Words : Harmonics, Total Harmonic Distortion, Power Quality, Electrical Equipments

\* 주저자 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 진단연구1팀장  
Tel : 031-580-3160, Fax : 031-580-3111  
E-mail : cameleon@kesco.or.kr  
접수일자 : 2003년 7월 7일  
1차심사 : 2003년 7월 16일  
심사완료 : 2003년 8월 18일

### 1. 서 론

전력변환장치, 전동기 설비, 용접기, 전산설비, 전기 등 고조파 발생설비의 폭넓은 사용에 의한 전원품

질 저하로 인해 콘덴서, 변압기, 직렬리액터, 회전기 등에 오동작, 이상음 발생, 과열, 과부하, 진동, 화상잡음 등을 야기하여 설비사고가 발생한다[1~4].

선진국에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 전원 품질 측정 및 분석장치를 개발하고 이를 이용한 고조파 관련 전력품질의 정확한 측정과 분석을 통해 고조파 관련 기준을 마련하여 고조파 발생을 억제하고 그 대책 수립에 많은 노력을 기울이고 있다[5~7].

국내에서는 1980년대 이후 고조파에 대한 문제점을 인식하기 시작하여 고조파의 분포계산 및 장해 분석에 관한 연구와 고조파 장해 제거를 위한 대책으로 수동필터, 능동필터, 하이브리드형 필터 등에 관한 연구가 이루어져 고조파에 대한 인식 확산과 그 대책기술의 발전 측면에는 많은 기여를 하였다[8~10]. 그러나 고조파에 의한 전기설비사고 예방대책들의 효율성을 높이고 고조파 억제 기준을 정립하기 위해 필요한 고조파 분석 시스템 개발에 관한 연구가 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 전압, 전류, 유효·무효전력, 역률, 전압·전류 고조파 차수별 성분 등의 전력 품질을 측정하고 분석할 수 있는 저가형 시스템을 개발하였고 이를 펌프, 전동 및 보일러 등이 연결되어 있는 3상 4선식 계통에서 전력 품질을 측정 및 분석하여 그 성능을 입증하였다.

## 2. 고조파

전기신호에서 고조파는 일반적으로 왜형파의 구성성분 중 기본파 이외의 항 즉, 기본파에 대해서 2배 이상의 정수배 주파수를 갖는 파를 의미하는데 일반적으로 전력전자 응용기기에 정현파 전압을 공급하면 부하기기에 흐르는 전류파형은 비정현파가 되며, 이 파형은 기본파에 동조하여 주기적으로 연속된다. 이 비정현파는 정현파 공급전압과 같은 주파수 성분(기본파 성분)에 정수배의 주파수 성분이 합성된 것으로서 이와 같이 기본파에 정수배의 주파수 성분이 합성된 것을 총칭하여 고조파라 한다. 이때 비정현파 전류를 발생하는 기기는 고조파 전류를 전력계통측으로 유출시키므로 고조파 발생원이 되며, 이 기기에 의해 전력계통내로 유입되는 고조파

전류는 계통내의 선로나 변압기 등의 임피던스에 의한 전압강하에 의해서 고조파 전압(Harmonic Voltage)을 발생시키므로 공급전압의 파형을 왜형시키는 원인이 된다.

고조파의 발생요인은 크게 두 가지 그룹으로 구분할 수 있는 데 그 하나는 최근 사용이 늘어난 첨단 제어장치, 전력전자기기 등 다양한 반도체 전력변환 설비에 의한 것이며 다른 하나는 변압기, 회전기 등의 기존 전력기기의 비선형 특성영역에서의 운전으로 인한 것을 들 수 있다. 이러한 비선형 부하의 유형이나 양이 증대하면, 전원측에 많은 고조파 전류가 흐르게 되고 전압의 왜형이 발생하여 계통내의 다른 설비까지 악영향을 미치고 무효전력의 증가로 역률이 저하되는 등 심각한 문제가 야기된다[3~5].

## 3. 전력품질 분석 이론식 검토

본 연구에서 개발한 전력품질 측정시스템은 전압과 전류를 입력으로 하여 여러 가지 전력품질 요소들을 계산하여 사용자들에게 그래픽과 데이터로 그 결과를 표시하게 된다.

### 3.1 피상·유효·무효 전력의 계산

기본파에 대한 전력계산을 원칙으로 하므로 실제적으로 전력계산에 쓰이는 전압, 전류는 밴드패스 필터링된 값이 쓰인다. 피상전력을 계산하기 위해 전원측 전압, 전류를 다음과 같이 가정하면

$$v(t) = V\sin(\omega t), \quad i(t) = I\sin(\omega t) \quad (1)$$

와 같고 이를 다시 페이지로 표현하면 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{V} &= Ve^{-j\theta}, & V: \text{전압 실효치}, \\ \vec{I} &= Ie^{-j\theta}, & I: \text{전류 실효치} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)로부터 복소전력  $\vec{S}$  는 식 (3)과 같다.

$$\vec{S} = \vec{V} \cdot \vec{I} = VIe^{j\theta}, \quad S = VI \quad (3)$$

여기서 S를 피상전력이고 복소전력  $\vec{S}$  는

$$\vec{S} = P + jQ = \sqrt{P^2 + Q^2} \angle \theta = S \angle \theta \quad (4)$$

와 같이 표현할 수 있으며 P와 Q는 각각 유효전력과 무효전력에 해당한다. 전압이 0이 되는 위치와 전류가 0이 되는 위치를 잡아서 한 주기의 신호를 추출하고 그 위상차를  $\theta$ 로 놓는다. 또 전압, 전류의 실효치를 구하기 위하여 다음 식과 같은 수치적분을 행한다.

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt}, \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (5)$$

디지털 시스템에서는 아날로그 전압과 전류신호의 한 주기를 128개의 데이터로 샘플링 한 경우 다음 식에 의해 전압과 전류의 순시치를 계산한다.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{128} V_n^2}{128}}, \quad I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{128} I_n^2}{128}} \quad (6)$$

식 (6)으로부터 실제 피상전력을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S_T = V_{rms} \times I_{rms} \quad (7)$$

그리고 실제 유효 전력 ( $P_T$ )은 식 (8)과 같이 각 주기에서 각기 샘플링된 전압과 전류를 곱하여 계산함으로써 구할 수 있고 이 결과는 고조파를 포함하는 실제 전력이 되고 실제 무효전력 ( $VAR_T$ )은 식 (9)에 의해 계산된다. 또한 실제 역률 ( $PF_T$ )은 피상 전력에 대한 유효 전력의 비로 식(10)에 의해 구할 수 있다.

$$P_T = \frac{\sum_{n=1}^{128} V_n \times I_n}{128} \quad (8)$$

$$VAR_T = \sqrt{(S_T)^2 - (P_T)^2} \quad (9)$$

$$PF_T = \frac{P_T}{S_T} \quad (10)$$

### 3.2 THD 계산

THD(Total Harmonic Distortion)는 총 고조파율로서 THD는 기본과 성분과 그 외 파형간의 모양의 근접도를 나타내는 지표이다.

$$\text{전압 THD} = \frac{1}{V_1} \left( \sum_{N=2,3,\dots}^{\infty} V_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$V_1$  : 기본과 전압,  $V_n$  : n차 고조파 전압

$$\text{전류 THD} = \frac{1}{I_1} \left( \sum_{N=2,3,\dots}^{\infty} I_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$I_1$  : 기본과 전류,  $I_n$  : n차 고조파 전류

### 3.3 고조파 전압 왜형률의 계산

배전계통에서 왜형률의 판정은 전압 왜형률로 취급하는 것이 일반적이다. 모선의 전압 왜형률은 고조파 전압을 구하여 다음 식으로서 산출할 수 있다.

$$D_n = \frac{\Delta V_n}{V_1} \times 100(\%) \quad (13)$$

여기서  $\Delta V_n = n$ 차 고조파 전압/상  
 $V_1 =$  기본과 정격 전압/상

즉, 각 차수별 전압 왜형률을 식 (13)으로 가정하면 총합 전압 왜형률은 다음 식과 같이 된다.

$$D = \sqrt{\sum_{N=2}^{\infty} (D_n)^2} = \frac{\sqrt{\sum_{N=2}^{\infty} (V_n)^2}}{V_1} \times 100(\%) \quad (14)$$

전류 왜형률에 대한 계산은 식(13)과 식(14)와 같은 형식으로 구할 수 있다.

## 4. 시스템의 설계 및 제작

본 연구에서 개발한 시스템의 전체 구성은 그림 1과 같다. 그림 1의 시스템은 부하설비에서 발생하는 전압·전류의 고조파 차수별 함유량 및 총합 왜형률, 역률, 무효·유효 전력 등의 측정 및 분석을 주 기능

으로 하고 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

첫 번째는 50차까지의 고조파를 측정 및 연산할 수 있도록 고성능 마이크로프로세서(32비트)를 기반으로 하는 하드웨어 부분으로 현장에서 고조파를 측정하여 디지털 형태로 변환하여 데이터를 획득 및 해석하게 된다. 즉, 센서 연결부분에 연결된 센서(전류 5채널, 전압 4채널)로부터 측정된 아날로그 신호가 저역통과 필터를 거쳐 14bit의 A/D변환기에 전송되어 약 7.68[kHz] 비율로 샘플링되고 사이클 당 128 포인트의 디지털 샘플을 제공한다. 이렇게 샘플링된 데이터는 DSP에 전송되고 전압과 전류의 각 사이클에 대해 50차까지의 고조파에 대해 푸리에 변환을 수행하여 주파수 분석을 하게 된다. 이러한 전력품질 측정시스템의 실제보드를 그림 2에 나타내었다.

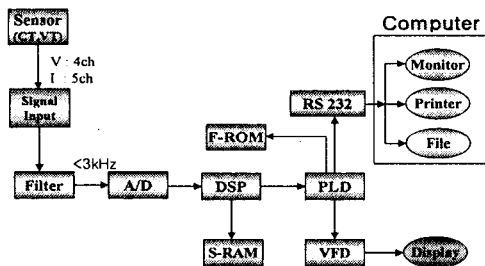


그림 1. 전력품질 측정시스템의 블록선도  
Fig. 1. Block-diagram of power quality measurement system

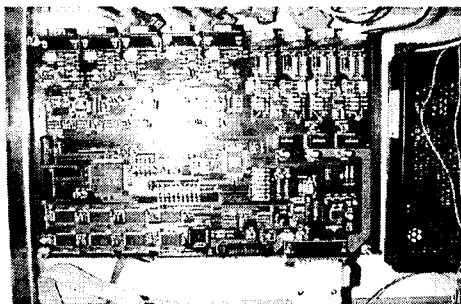


그림 2. 전력품질 측정시스템 보드  
Fig. 2. Power quality measurement system board

두 번째는 소프트웨어 부분으로 사용자가 RS232C 통신을 이용하여 PC 에 보내지고 전용 프로그램에 의해 여러 가지 결과를 출력 및 저장하게 된다. PC

를 이용하여 하드웨어의 측정 데이터를 획득, 저장, 분석, 사용자 인터페이스 및 프린트 출력 등의 기능을 제공하는 모니터 프로그램으로 Borland C++를 이용하여 개발하였고 이를 그림 3에 나타냈었다.

그림 2의 전력품질 측정 시스템 보드의 측정 정밀도를 RPM사의 Power Recorder 시스템과 전압 및 전류 측정데이터 비교시 1% 이하의 확도를 갖는다.

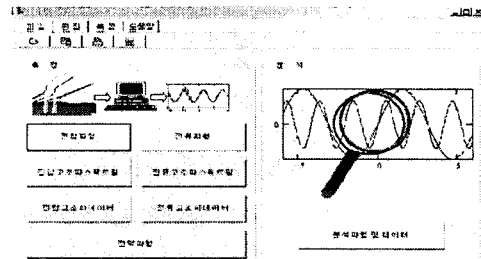


그림 3. 운용 프로그램  
Fig. 3. Operating program

그림 3에서 파일열기, 저장, 프린터 설정, 측정 환경설정 등의 기능은 툴바의 버튼을 실행시켜 사용할 수 있으며, 툴바의 아랫부분은 측정과 분석 부분으로 나누어진다. 측정 부분에서는 전압, 전류, 전력 파형 및 고조파 스펙트럼의 현재 측정결과를 보여주는 스코프 기능이고 분석 부분은 설정시간만큼의 측정이 끝난 후 선택하여 PC에 저장된 데이터를 이용하여 고조파 관련 전력품질의 파형 및 데이터 분석 기능을 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하였다.

### 5. 측정시스템의 적용

본 연구에서 개발한 시스템은 펌프, 보일러, 팬, 전등, 전열기 등 다양한 부하들이 연결되어 있는 3상 4선식 계통에서 1시간 동안 설치하여 고조파 관련 전력품질의 측정과 시스템 동작 시험을 하였다. 이러한 시험에서 측정되는 항목은 전압 및 전류 파형, 전력, 주파수, 고조파 전압·전류, 차수별 고조파 함유율, 총합 왜형률 등으로써 고조파 관련 전력품질의 분석에 필요한 요소들에 대한 결과를 표시하게 된다.

그림 4와 5에는 전압에 대한 차수별 고조파 스펙트럼과 그 데이터를 보여준다. 또한 전압 고조파 차

전기설비의 고조파 진단을 위한 전력품질 측정시스템의 개발

수별 전압 크기 스펙트럼중 대표적인 상과 데이터를 그림 6과 7에 나타내었다. 측정결과 전압 왜형이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 그림 7의 스펙트럼에서 다른 상의 결과를 보기 위해서는 해당하는 상에 대한 아이콘을 선택하여 확인이 가능하다.

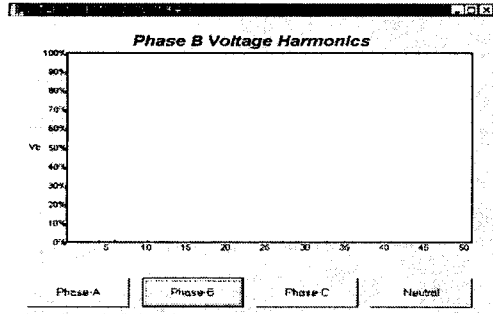


그림 4. 전압의 고조파 스펙트럼(Phase B)  
Fig. 4. Harmonic spectrum of voltage(Phase B)

Har	Phase-A	Phase-B	Phase-C	Phase-N
1	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%
2	0.099%	0.053%	0.060%	5.394%
3	0.079%	0.279%	0.275%	34.797%
4	0.040%	0.030%	0.047%	17.511%
5	0.900%	0.610%	0.893%	13.799%
6	0.080%	0.060%	0.011%	20.071%
7	0.769%	1.134%	0.852%	22.441%
8	0.044%	0.026%	0.025%	16.926%
9	0.141%	0.306%	0.422%	18.745%
10	0.014%	0.085%	0.029%	10.891%
11	0.389%	0.729%	0.688%	23.417%
12	0.036%	0.014%	0.050%	13.361%
13	0.444%	0.727%	0.569%	15.903%
14	0.041%	0.031%	0.028%	12.694%
15	0.135%	0.022%	0.213%	24.129%
16	0.014%	0.036%	0.046%	18.077%
17	0.026%	0.064%	0.246%	42.760%
18	0.020%	0.032%	0.023%	14.734%

그림 5. 전압의 왜형률 데이터  
Fig. 5. Distortion data of voltage

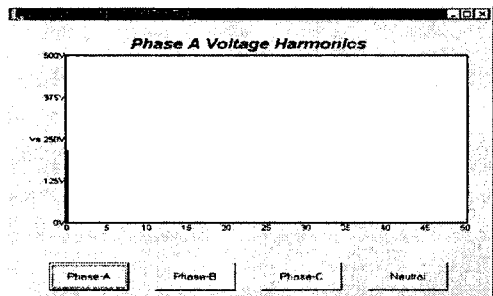


그림 6. 전압의 고조파 크기 스펙트럼(Phase A)  
Fig. 6. Harmonic magnitude spectrum of voltage(Phase A)

Har	Phase-A	Phase-B	Phase-C	Neutral
1	218.049V	218.308V	216.409V	0.086V
2	0.259V	0.173V	0.173V	0.086V
3	0.259V	0.604V	0.518V	0.000V
4	0.173V	0.086V	0.173V	0.000V
5	2.072V	1.381V	1.726V	0.000V
6	0.173V	0.173V	0.086V	0.000V
7	1.726V	2.331V	1.815V	0.000V
8	0.086V	0.086V	0.086V	0.000V
9	0.345V	0.691V	0.691V	0.000V
10	0.086V	0.173V	0.086V	0.000V
11	0.777V	1.209V	1.209V	0.000V
12	0.086V	0.086V	0.086V	0.000V
13	1.381V	1.815V	1.122V	0.000V
14	0.086V	0.173V	0.086V	0.000V
15	0.432V	0.173V	0.345V	0.000V
16	0.086V	0.086V	0.086V	0.000V
17	0.432V	0.518V	0.777V	0.000V
18	0.086V	0.086V	0.086V	0.000V

그림 7. 전압의 고조파 크기 데이터  
Fig. 7. Harmonic magnitude data of Voltage

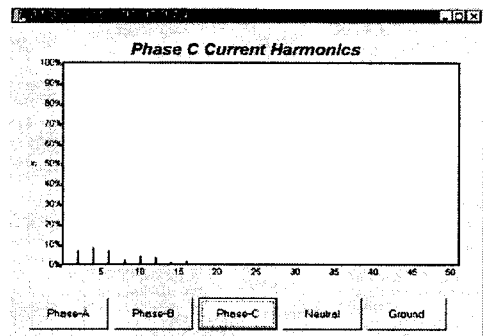


그림 8. 전류의 고조파 스펙트럼(Phase C)  
Fig. 8. Harmonic spectrum of current(Phase C)

Har	Phase-A	Phase-B	Phase-C	Phase-N	Phase-G
1	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%
2	0.180%	0.693%	0.366%	5.264%	4.641%
3	2.276%	3.852%	6.961%	83.954%	12.442%
4	0.291%	0.627%	0.120%	2.917%	3.391%
5	3.702%	6.862%	8.947%	20.829%	3.833%
6	0.097%	0.440%	0.029%	2.116%	3.147%
7	3.360%	7.700%	6.910%	16.899%	9.591%
8	0.140%	0.113%	0.169%	0.705%	6.404%
9	0.941%	3.299%	2.353%	40.821%	2.939%
10	0.203%	0.552%	0.177%	0.994%	2.939%
11	2.225%	5.319%	4.187%	11.551%	4.157%
12	0.313%	0.130%	0.277%	0.252%	1.031%
13	2.241%	4.804%	3.329%	6.149%	5.006%
14	0.269%	0.253%	0.354%	0.491%	3.646%
15	0.716%	0.286%	1.102%	5.074%	5.214%
16	0.190%	0.134%	0.158%	0.693%	4.133%
17	0.150%	0.560%	1.455%	5.265%	3.591%
18	0.137%	0.132%	0.103%	0.192%	0.729%

그림 9. 전류의 왜형률 데이터  
Fig. 9. Distortion data of current

그림 8과 9에는 측정된 차수별 전류 고조파 스펙트럼중 대표적인 한상과 데이터를 나타내었다. 그림

에서 알 수 있듯이 3, 5, 7, 9, 11, 13차 고조파가 발생하고 5차 고조파가 가장 많이 발생함을 알 수 있다.

그림 10과 11에는 1시간 동안 측정된 전류 고조파의 차수별 전류크기 스펙트럼과 그 데이터를 나타내었다. 그림 11에서는 전류 고조파의 각 차수별 크기가 어느 정도인지를 그래픽적으로 확인할 수 있고 그러한 데이터를 사용자가 그림 11에서처럼 확인할 수 있도록 하였다. 이러한 데이터는 고조파 대책을 수립할 때 어떤 차수의 고조파를 제거해야 하는지 판단의 기준이 될 수 있다.

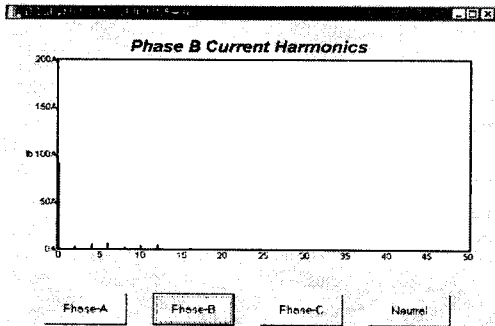


그림 10. 전류의 고조파 크기 스펙트럼(Phase B)  
Fig. 10. Harmonic Magnitude spectrum of current(Phase B)

Har	Phase-A	Phase-B	Phase-C	Neutral
1	91.933A	90.638A	90.638A	18.128A
2	0.647A	0.647A	0.000A	0.647A
3	2.590A	3.237A	5.827A	9.711A
4	0.000A	0.647A	0.000A	0.388A
5	4.532A	5.827A	7.122A	1.683A
6	0.000A	0.647A	0.000A	0.259A
7	3.884A	6.474A	5.827A	1.554A
8	0.000A	0.000A	0.000A	0.129A
9	1.295A	2.590A	1.942A	5.309A
10	0.000A	0.647A	0.000A	0.259A
11	1.942A	3.884A	3.884A	1.295A
12	0.000A	0.647A	0.000A	0.129A
13	3.237A	5.179A	3.237A	1.165A
14	0.000A	0.647A	0.000A	0.129A
15	1.295A	0.647A	0.647A	0.647A
16	0.000A	0.000A	0.000A	0.129A
17	1.295A	1.295A	1.942A	0.259A

그림 11. 전류의 고조파 크기 데이터  
Fig. 11. Harmonic magnitude data of current

그림 12와 13에서는 시간에 따라 변하는 전압과 전류 왜형률에 대한 데이터를 알 수 있도록 하였다. 그림의 데이터에서 알 수 있듯이 전압의 왜형은 거

의 발생하지 않았고 전류 왜형률이 10~13%정도 발생하는 것으로 나타났다.

Phase-A	Phase-B	Phase-C	Total
1.450%	1.750%	1.630%	0.630%
1.430%	1.740%	1.620%	0.630%
1.440%	1.760%	1.620%	0.630%
1.430%	1.760%	1.620%	0.580%
1.480%	1.790%	1.610%	0.580%
1.450%	1.790%	1.620%	0.580%
1.410%	1.730%	1.630%	0.590%
1.490%	1.780%	1.630%	0.580%
1.440%	1.720%	1.620%	0.550%
1.420%	1.720%	1.610%	0.590%
1.420%	1.710%	1.610%	0.580%
1.430%	1.730%	1.630%	0.580%
1.450%	1.740%	1.620%	0.580%
1.430%	1.720%	1.610%	0.550%
1.400%	1.710%	1.600%	0.590%
1.380%	1.720%	1.590%	0.630%
1.380%	1.710%	1.600%	0.630%
1.400%	1.730%	1.600%	0.630%

그림 12. 전압 총합 왜형률 데이터  
Fig. 12. THD data of voltage

Phase-A	Phase-B	Phase-C	Total
6.930%	13.790%	14.350%	5.070%
7.000%	13.690%	14.520%	7.370%
7.310%	14.010%	14.400%	15.680%
7.380%	14.090%	14.650%	5.070%
7.570%	14.270%	14.680%	5.720%
7.570%	14.020%	14.630%	5.400%
7.190%	13.950%	14.740%	5.680%
7.530%	14.200%	14.730%	5.350%
7.420%	14.000%	14.660%	5.720%
7.370%	13.870%	14.670%	5.400%
7.420%	13.860%	14.570%	5.720%
7.630%	14.550%	15.160%	5.930%
7.670%	14.480%	15.140%	5.930%
7.470%	13.990%	14.670%	5.720%
7.090%	13.500%	14.160%	5.260%
7.020%	13.550%	14.140%	5.260%
7.010%	13.550%	14.140%	5.260%
7.140%	13.650%	14.200%	5.260%

그림 13. 전류 총합 왜형률 데이터  
Fig. 13. THD data of current

Phase-A	Phase-B	Phase-C	Total
22.476kW	21.070kW	22.089kW	66.594kW
22.524kW	21.147kW	22.654kW	66.525kW
22.535kW	20.942kW	23.097kW	66.574kW
22.332kW	20.871kW	22.868kW	66.071kW
21.896kW	20.934kW	22.908kW	65.736kW
21.875kW	21.254kW	22.916kW	66.045kW
22.346kW	20.873kW	22.005kW	66.104kW
22.578kW	20.953kW	22.962kW	66.492kW
22.074kW	20.930kW	22.910kW	65.913kW
21.940kW	21.008kW	22.954kW	65.902kW
21.898kW	20.978kW	22.951kW	65.827kW
21.088kW	20.194kW	22.136kW	63.367kW
21.090kW	20.141kW	22.096kW	63.327kW
21.909kW	21.001kW	22.900kW	65.810kW
22.539kW	21.613kW	23.596kW	67.748kW
22.594kW	21.651kW	23.595kW	67.841kW
22.578kW	21.648kW	23.609kW	67.835kW
22.549kW	21.631kW	23.590kW	67.770kW

그림 14. 유효전력 크기 데이터  
Fig. 14. Magnitude data of active power

전기설비의 고조파 진단을 위한 전력품질 측정시스템의 개발

Phase-A	Phase-B	Phase-C	Total
1.651kVar	3.684kVar	4.009kVar	9.544kVar
4.443kVar	7.658kVar	9.162kVar	21.261kVar
10.011kVar	18.646kVar	24.494kVar	56.333kVar
9.654kVar	11.141kVar	5.012kVar	10.964kVar
9.550kVar	3.823kVar	4.274kVar	9.567kVar
9.741kVar	3.812kVar	4.227kVar	9.243kVar
9.464kVar	3.771kVar	4.260kVar	9.453kVar
9.677kVar	3.829kVar	4.276kVar	10.011kVar
10.329kVar	3.771kVar	4.252kVar	9.566kVar
9.994kVar	3.745kVar	4.256kVar	9.602kVar
10.002kVar	3.740kVar	4.227kVar	9.654kVar
10.235kVar	3.749kVar	4.239kVar	9.555kVar
10.118kVar	3.732kVar	4.235kVar	9.717kVar
10.279kVar	3.736kVar	4.249kVar	9.556kVar
10.322kVar	3.747kVar	4.226kVar	9.518kVar
10.218kVar	3.722kVar	4.234kVar	9.888kVar
10.320kVar	3.725kVar	4.231kVar	9.741kVar
10.320kVar	3.769kVar	4.232kVar	9.684kVar

그림 15. 무효전력 크기 데이터  
Fig. 15. Magnitude data of reactive power

Phase-A	Phase-B	Phase-C	Total
22.552kVA	21.390kVA	23.336kVA	67.277kVA
23.664kVA	23.534kVA	26.117kVA	73.315kVA
26.685kVA	28.990kVA	34.740kVA	90.614kVA
22.501kVA	21.282kVA	23.425kVA	67.208kVA
22.001kVA	21.280kVA	23.301kVA	66.582kVA
21.984kVA	21.593kVA	23.303kVA	66.880kVA
22.449kVA	21.211kVA	23.279kVA	66.939kVA
22.686kVA	21.300kVA	23.357kVA	67.342kVA
22.176kVA	21.267kVA	23.301kVA	66.746kVA
22.040kVA	21.339kVA	23.345kVA	66.724kVA
22.003kVA	21.309kVA	23.337kVA	66.648kVA
21.197kVA	20.490kVA	22.536kVA	64.223kVA
21.194kVA	20.484kVA	22.496kVA	64.177kVA
22.019kVA	21.331kVA	23.292kVA	66.642kVA
22.636kVA	21.935kVA	23.973kVA	68.547kVA
22.690kVA	21.978kVA	23.973kVA	68.640kVA
22.676kVA	21.975kVA	23.985kVA	68.636kVA
22.650kVA	21.957kVA	23.967kVA	68.574kVA

그림 16. 피상전력 크기 데이터  
Fig. 16. Magnitude data of apparent power

Phase-A	Phase-B	Phase-C	Total
0.997%	0.985%	0.985%	0.989%
0.961%	0.925%	0.912%	0.907%
0.967%	0.757%	0.707%	0.735%
0.988%	0.981%	0.976%	0.983%
0.988%	0.984%	0.983%	0.987%
0.988%	0.984%	0.983%	0.988%
0.988%	0.984%	0.983%	0.987%
0.988%	0.984%	0.983%	0.988%
0.988%	0.984%	0.983%	0.988%
0.988%	0.984%	0.983%	0.988%
0.988%	0.983%	0.982%	0.987%
0.988%	0.983%	0.982%	0.987%
0.988%	0.985%	0.983%	0.988%
0.988%	0.985%	0.984%	0.988%
0.988%	0.985%	0.984%	0.988%
0.988%	0.985%	0.984%	0.988%
0.988%	0.985%	0.984%	0.988%

그림 17. 역률 데이터  
Fig. 17. Data of power factor

그림 14~17에서는 시간에 따라 변하는 유효, 무효, 피상전력, 역률의 크기변화 데이터를 보여준다.

그림에서 알 수 있듯이 역률은 97% 정도를 유지하고 있으므로 특별한 대책은 필요 없을 것으로 사료된다.

기타 전압 및 전류 파형 및 데이터, 주파수 변동 등은 기본적으로 측정할 수 있는 항목이므로 여기서는 생략하였다.

## 6. 결론

본 연구에서는 신호처리 이론을 바탕으로 전기설비에 공급되는 유효·무효전력, 역률, 전압·전류 왜형률, 주파수 및 고조파 차수별 성분 등의 전력품질 요소를 분석하는 전력품질 분석장치를 기반의 저가형으로 설계 및 제작하였으며 이 장치는 현장에서 전기설비의 고조파를 측정하는 계측기 본체와 이를 제어하기 위해 노트북 등의 컴퓨터에 설치하는 모니터 프로그램으로 구분된다.

이러한 전력품질 측정시스템은 단상 또는 삼상의 모든 결선에서 측정이 가능하고 사용자가 시스템 설치 및 사용을 용이하게 할 수 있도록 설계 및 제작되었고 DSP를 이용해 50차까지의 고조파에 대해 일정 주기의 매 사이클마다 전압과 전류 고조파를 측정하며 RMS 전압·전류, 유효·무효·피상전력 및 역률 등이 계산된다.

본 연구에서 개발한 시스템은 실제 3상 4선식 계통에 접속하여 현장에서 설치하여 고조파 크기 및 왜형률, 전력 등을 측정 및 분석하였다.

본 연구의 결과를 토대로 국내 전력품질 계측기 개발 기술이 발전하고 고조파로 인한 전기설비사고를 예방하고 고조파 대책수립 및 기준마련에 밑거름이 되었으면 한다. 또한 고조파 관련 전력품질의 성능향상을 위한 연구가 더욱 활성화되어 보다 다양한 성능을 가지는 장비 개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

## References

- [1] J. Arrillaga., D. A. Bradley., "Power System Harmonics" John Wiley & Sons, 1985.
- [2] E. J. Borrebach, "The Effect of Arc Furnace Loads on Power Systems", Ninth Annual Meeting of the IEEE Industrial Application Society, Pittsburgh, PA, 1974.

- (3) 한국전기안전공사, "전기사용장소의 고조파 장애분석 연구", 1996.
- (4) 고조파 저감기술 조사전문위원회, "고조파 저감기술 현황과 전망", 대한전기학회, 1993.
- (5) 권동전기보안협회, "고압 자가용 수용가의 고조파 장애 · 억제대책 사례 Q&A", 성안당, 2000.
- (6) Sung-Soo Kim, Yang-Cheol Kang, Soon-Ryul Nam and Jong-Keun Park, "A Method to Estimate the Background Level of Harmonics in Distribution Systems", 1999, 대한전기학회논문지.
- (7) 한국전력공사 기술연구원, "고조파 억제용 Active Filter의 현장 적용 연구", 1991.
- (8) 한국전기안전공사, "고조파 억제용 수동필터의 현장적용화 연구", 1999.
- (9) G. C Jain, "The Effect of Voltage Wave shape on the Performance of a Three Phase Induction Motor," IEEE Trans, vol. PAS-84, 1964.
- (10) W. S. Wood, F. P. Flynn, and A. Poray, "Effects of Supply Voltage Waveform Distortion on Motor Performance," Int. Conf. on Sources and Effects of Power System Disturbances, London, England, April 22-24, 1974.

본 연구는 전력산업기반기금 전력연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## ◇ 저자소개 ◇

### 유재근 (俞在根)

1965년 12월 5일생. 1990년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1992년 건국대학교 대학원 전기공학과(석사)졸. 1992-1996 대우전자 연구소 근무. 현재 건국대학교 대학원 박사과정 수료. 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 진단연구1팀 팀장.

### 이상익 (李尙益)

1968년 12월 9일생. 1994년 호서대학교 전기공학과 졸업. 1996년 호서대학교 대학원 전기공학과(석사)졸. 현재 건국대학교 대학원 박사과정 수료. 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 진단연구1팀 과장.

### 전정채 (全正采)

1971년 6월 8일생. 1997년 원광대학교 전기공학과 졸업. 1999년 원광대학교 대학원 전기공학과(석사)졸. 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 진단연구1팀 연구원.