

# PQM(Power Quality Monitoring) 시스템 運營技術의 適用

황 병 준 / 한국전력공사 배전처장

## 序 論

“전력산업 구조개편”과 “배전회사 분할”이라는 거대한 변화의 물결속에서도 우리 한전 배전분야는 주어진 임무인 “안정적 전력공급”을 차질없이 완수하기 위하여 배전선로 자동화시스템의 전국 확대 운용, 열화설비 예지 및 진단기술의 개발 적용, 무정전 By-Pass Cable공법 및 조류공존형 LHC (Length, Height, Cover)공법 등 각종 신공법의 개발 적용, 원격검침망을 이용한 Real Time 정전감지시스템 및 최신형 보호협조 프로그램인 Kedpro2.2의 개발 운용, 고장복구 Simulation프로그램의 개발 등 신개념의 전력설비 운영기술에 대한 현대화 사업을 지속적으로 추진해 온 결과, 오늘날의 전력품질은 선진 외국과 비교해도 손색이 없을 정도로 괄목할만한 성장을 보여왔다.

그러나 최근에 와서는 정보·통신·제어기술의 발달과 기술혁신에 따라 정보통신기기, 정밀제어기기,

사무자동화기기, 전산기기, 자동생산라인 등에 극히 짧은 파형변화나 전압변화에 민감한 Computer, PLC(Programable Logic Controller) 등의 마이크로 프로세서를 기반으로 하는 제어장치가 이용되면서 일반적, 전통적 의미의 전력품질요소인 주파수유지율, 규정전압유지율 및 정전시간 등 3대요소 이외에 기존에는 크게 문제시 되지 않았던 순간전압변동, 고조파 등과 같은 새로운 개념의 전력품질에 대한 관심이 확산되고 있고, 이러한 전력품질에 대한 고객의 욕구도 고급화, 다양화되는 추세에 있다.

이에따라 한전에서는 배전선로의 전압, 주파수 등의 기본적인 전력품질 요소이외에 순간정전(Interruption), 순간전압강하(Sag), 순간전압상승(Swell), 고조파(Harmonics) 등 최근 관심이 증대되고 있는 신개념의 전력품질 요소를 온라인으로 실시간 모니터링할 수 있는 “PQM (Power Quality Monitoring)시스템”의 운용기술을 도입 적용할 예정

이다.

본고에서는 전통적 의미의 전력품질 관리현황 및 Power Quality 기술 동향에 대해 소개하고, 고객과 가장 밀접해 있는 배전분야에서 추진하고 있는 PQM 시스템 운영기술 적용방향에 관하여 기술하고자 한다.

## 傳統的 意味의 電力品質 管理現況

현재 한전에서는 전압, 주파수, 정전시간을 전력품질 3대요소로 관리 운영하고 있다.

### 電 壓

전압은 전기사업법 제18조(전기 품질의 유지) 및 전기사업법 시행규칙 제18조(전기의 품질기준), 제19조(전압 및 주파수의 측정)에 근거하여 저압고객에게 공급되는 전압이 유지범위 내에서 어느 정도 잘 운영되었는지를 백분율로 나타낸 “규정 전압 유지율”로서 관리하고 있다.

$$\text{○ 규정전압유지율(\%)} = \frac{\text{24시간 규정전압 공급개소}}{\text{총 측정개소}} \times 100$$

우리나라의 전압유지기준은, 표준전압 대비 전등은 6%, 동력은 10%이며, 외국의 경우 일본, 미국, 프랑스 등 대부분의 선진국가에서 전압유지 기준을 표준전압의 5~10% 범위로 운영하고 있으나, 미국은 각 주(州)마다 표준전압 및 유지기준이 상이하게 운영되고 있다.

**[표1] 전압 유지기준**

○ 한 국 (전기사업법 제18조)

	표준전압	전압유지기준
전 등	110 볼트(V)	110 ± 6 V (104 ~ 116V)
	220 볼트(V)	220 ± 13V (207 ~ 233V)
동 력	380 볼트(V)	380 ± 38V (342 ~ 418V)

○ 외 국

구 분	일 본	대 만	미 국	영 국	프랑스
표준전압	100V 200V	110/220 220/380V	120/240V 277/480V	240V	230/380V
유지기준	101V ± 6V 202V ± 20V	± 5%	± 5%	± 6%	± 7%
전압변동폭	100V : ± 6V (12V) 200V : ± 20V (40V)	110V : ± 5V (10V) 220V : ± 10V (20V)	120V : ± 6V (12V) 240V : ± 12V (24V)	240V : ± 14V (28V)	230V : ± 16V (32V)

**[표2] 전압 유지율(%)**

구 분	'96	'97	'98	'99	'00	'01
전압 유지율(%)	99.8	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9

**[표3] 호당정전시간 국제 비교**

(기간 : '99~'01)

구 분	미 국	영 국	이탈리아	프랑스	노르웨이	한 국
정전시간(분/호)	40~250	67	120	33~390	300	21

※ 자료출처 : '01. Power Quality Conference 발표자료(Electrotek), '01. 9. 10

**[표4] 인구 1인당 소비전력량, GNP**

구 분	인구 1인당 소비전력량	인구 1인당 GNP
한 국	5,067kWh('00)	10,550\$('01)
일 본	6,602kWh('00)	38,160\$('01)

이러한 전압유지기준을 정하고 있는 이유는 수용가에게 만족스러운 전압을 공급함으로써 전기사용 기기의 효율을 좋게 하기 위한 것으로서, 우리나라의 전압유지율은 '97년이 후부터 99.9%로서 안정적인 추세를 보이고 있다.

**停電時間**

정전시간은 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서 제안한 신뢰도 지수 중 미국, 영국 등 선진 외국에서 적용중인 국제적 범용통계 방법인 SAIDI(System Average Interruption Duration Index)를 적용 관리하고 있다.

SAIDI란 전력공급 총고객의 연간 고객 1호당 평균 정전시간(호당정전시간)을 말한다.

$$\text{○ 호당정전시간} = \frac{\sum(Ry Ny)}{Nt} \text{ [분/호]}$$

Ny : 정전 수용가수

Nt : 총 수용가수,

Ry : 정전 지속시간(분)

현재 우리나라의 호당정전시간 21분('01년)은 일본의 14분('01년)보다는 다소 높은 편이나, 미국, 영국 등 다른 선진국 보다는 우수한 수준이며, 인구 1인당 소비전력량 및 인구 1인당 GNP 등을 감안할 때 세계적인 수준으로 관리되고 있다고 할 수 있다.

**周波數**

주파수도 전압과 마찬가지로 전기사업법 제18조(전기품질의 유지) 및 전기사업법 시행규칙 제18조(전기의 품질기준), 제19조(전압 및 주파수의 측정)에 근거하여 관리되고 있으며, 전력계통의 주파수가 규정주파수(60Hz) 유지범위 내에서 어느 정도 잘 운영되는가를 백분율로 나타낸 "정격주파수 유지율"을 적용 산출하고 있다.

$$\text{○ 정격주파수유지율(\%)} = \frac{\text{유지범위내 운전시간(초)}}{\text{총운전시간(초)}} \times 100$$

여기에서 유지범위내 운전시간은 1일을 4초 단위로 구분, 계통주파수를 측정하여 주파수 유지범위 이내인 시간을 말하며, 측정장소는 전력거래소(구, 한전본사 중앙급전소)이다.

[표5] 정격주파수 유지범위

구 분	한국	일본	미국	프랑스	영국	북유럽	아일랜드
유지범위(Hz)	60 ±0.1	60 ± 0.1 50 ±0.2~0.3	60±0.1~0.2	50±0.1	50±0.2	50±0.1	50±0.15

선진 외국에서는 거의 모든 전력 회사가 내부규정으로 자국계통의 주파수 유지범위를 ±0.1~ ±0.3Hz로 관리하고 있으나, 주파수 유지범위 이내로 운전해야 하는 유지율을 법으로 규제하고 있는 국가는 없는 것으로 알려져 있다.

이는 IEC 1000-2-2, IEEE Std 446 및 기타 국제규격을 통하여 ±0.5Hz 이내의 주파수변동에도 아무런 문제가 없도록 전력공급설비 및 개별기기가 제작되고 있고, 일본 전기학회 기술보고서, 스위스 전기학회 및 North American Power System에서는 ±0.3~±0.5Hz 이내의 주파수 변동시에도 계통부하에는 전혀 파급영향이 없는 것으로 분석되고 있기 때문인 것으로 보인다.

반면에 우리나라에서는 전기사업법(제18조)상 ±0.2Hz의 허용오차를 두고 있으나, 한전에서는 '88년도부터 유지범위를 60±0.1Hz로 관리해 왔으며, 연도별 정격주파수 유지율은 표6과 같다.

### Power Quality 技術 動向

#### 電力會社의 動向

##### 가. 미국

미국에서는 DPQ(Distribution System Power Quality) 프로젝트로서 지난 '93. 6월부터 '95. 9월까지 EPRI(Electric Power Research Institute) 주관하에 전력품질 모니터링 전문회사인 Electrotek과 공동으로 Duke Power Company 등 24

개 전력회사의 4~33kV급 배전계통 100개선로의 277개 Site에서 공급 전력의 품질에 대한 모니터링을 실시하였다.

그 결과 순간전압강하에 대한 계통의 평가지수로 SARFI (System Average RMS Variation Frequency Index)를 제안하는 보고서 'An Assessment of Distribution System Power Quality(RP 3098-1)'를 제출하였다.

##### 나. 프랑스, 영국

프랑스는 국영 EDF(Electricité de France)를 중심으로 현재까지 꾸준히 전력품질에 대한 연구업무를 수행중에 있으며, 140,000개의 수용가중 6,500개 상업 및 산업수용을 대상으로 수용가에게는 특별한 부담을 주지 않으면서 일정수준의 전력 품질을 보장받는 협약인 Emerald 계약을 시범 적용하여 중앙변전소에서 수용가의 전력 품질을 감시중에 있고, 영국 EME (East Midland Electric)에서는 전력품질에 대한 평가와 전력품질에 영향을 미치는 부하특성을 파악하기 위하여 415V~132kV에 이르는 여러지점에 전력품질 감시장치를 설치 운영하고 있다.

[표6] 정격주파수 유지율(%)

구 분	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00
목 표 (%)	98.1	98.1	98.4	98.6	98.8	99.0	99.2	99.2	99.3
실 적 (%)	98.1	98.1	98.6	98.8	99.1	99.1	99.2	99.2	99.3

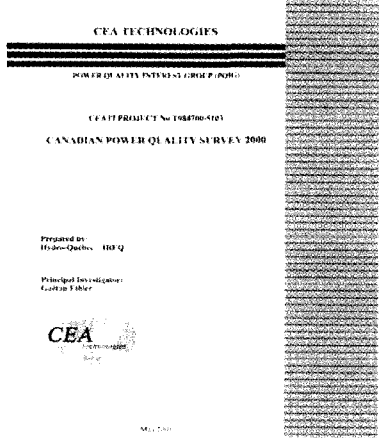
※ 일본 : '97(99.9%), 프랑스 : '97(99.9%), 미국 : '96(99.9%), 대만 : '97(97.2%)

[표7] EPRI DPQ mean magnitude and duration levels

SARFI index	0~0.2sec	0.2~0.5sec	0.5~3sec	3~60sec	Total	비 고
SARFI <sub>90</sub>	41.65	7.74	5.17	2.72	57.28	순간전압강하의 총수를 정하는 기준
SARFI <sub>80</sub>	21.53	3.94	3.12	1.89	30.49	대부분의 민감부하가 문제를 일으키는 전압
SARFI <sub>70</sub>	13.55	3.01	2.31	1.71	20.57	계통의 Performance 레벨을 단일 지수로 사용
SARFI <sub>50</sub>	6.35	1.91	1.54	1.74	11.53	SEMI 2844의 새로운 표준에 추가
SARFI <sub>10</sub>	1.35	0.74	1.43	1.04	4.56	순간정전 평가 기준

##### 다. 캐나다

캐나다에서는 전력회사에서 공급되는 전력품질의 실측확인공급전력의 적정품질 수준을 결정할 목적으로 '96. 8월부터 '00. 12월까지 4년동안 CEA (Canadian Electric Association) 주관으로 캐나다 전역에 걸쳐 9개 전력회사 413개 Site에 대하여 순간전압강하, 순간정전, 주



[표8] 캐나다 PQ 조사결과

구 분	측정결과치	기 준 치	규 격
Voltage Frequency	±0.06Hz	±0.6Hz ±1%	EN-50160
Total Voltage Unvalance	3.66% 3.75%	8% 5%	IEC IEEE519
Voltage Unvalance	1.15%	2% (95% of time 2 hours)	IEC & IEEE
Steady State Voltage	5.37% (95% of time for 10 minutes)	4.2% (nomal condition) 5.8%	CSA
Flicker-P1t	1.31	(nomal condition) 1.0 95% of time 2 hours	EN-50160

파수 등 전력품질 10개항목에 대하여 측정후 '01. 5월 조사결과를 발표하였다.

**라. 한 국**

한전의 경우, '85년에는 순간전압 강하의 해석 및 대책에 대한 보고서를 발간하였고, '97년에는 한전과 연구기관 합동으로 전국 400여개의 대형수용가 (5[MVA] 이상급), 일반 상업, 주택 수용가 등에 대한 전력품질 실태조사와 민감 부하에 대한 실험을 수행한 적이 있으며, '00년 9월부터는 36개월기한으로 "21C 고신뢰, 고품질 배전계통 구축"에 관한 연구를 수행중에 있다.

또한, 산업자원부 기반기술 과제로서 전력연구원 주관으로 LG산전, 서울대, 충북대, 명지대 등이 참여하여 '01.12월부터 36개월 기한으로 "국내 전력계통 특성을 고려한 전력품질 향상기기 실증시험 기술개발"을 추진하는 등 신개념의 전력품질 운영기술의 도입 및 적용방안 마련에 박차를 가하고 있다.

[표9] 전력품질 요소 (IEEE1159)

구 분	지속시간	크 기	비 고
Transients - Impulsive · Nanosecond · Microsecond · Milisecond - Oscillatory · Low Frequency · Medium Frequency · High Frequency	< 50ns (5ns rise) 50ns - 1ms (1 s rise) > 1ms (0.1ms rise)		
Short Duration Variations - Voltage Sags · Instantaneous · Momentary · Temporary - Voltage Swells · Instantaneous · Momentary · Temporary	0.5-30사이클 30사이클-3초 3초-1분  0.5-30사이클 30사이클-3초 3초-1분	0.1-0.9pu 0.1-0.9pu 0.1-0.9pu  1.1-1.8pu 1.1-1.4pu 1.1-1.2pu	과도특성    단주기변동
Long Duration Variations - Undervoltages - Overvoltages	>1분 >1분	0.8-0.9pu 1.1-1.2pu	장주기변동
Interruptions - Momentary - Temporary - Sustained	0.5사이클-3초 3초-1분 >1분	<0.1pu <0.1pu 0.0pu	정전
Voltage Imbalance	정상상태	0.5-2%	전압불평형
Waveform Distortion - DC offset - Harmonics - Inter-Harmonics - Noise - Notching	정상상태 정상상태(0-100th H) 정상상태(0-6KHz) 정상상태(Broad-band) 정상상태	0-0.1% 0-20% 0-2% 0-1%	파형왜곡
Voltage Fluctuations	intermittent(<25Hz)	0.1-7%	Flicker
Power Frequency Variations	<10S		주파수변동

**國際規格의 動向**

미국, 유럽공동체 등에서는 전력 품질에 대한 용어의 정의 및 규격 제정을 위한 노력을 지속적으로 전개해 오고 있다.

과거에는 전력품질을 전압, 정전 시간, 주파수 위주로 규정하여 장시간 정전 및 전압변동에 대한 표준제정에 주력하였으나, 근래에는 고성능, 고정밀 기기의 등장과 함께 단시간의 전력품질 분야에 관심이 집중되어 왔다.

그러나 전력품질에 대한 개념의 정의 및 지속시간, 크기 등이 국가별, 규격별로 다르게 규정하여 운영함으로써 운영상의 혼란이 야기되고, 전력품질 오염원에 대한 책임소재의 규명이 혼란스럽게 되는 등의 문제점이 발생하게 되었다.

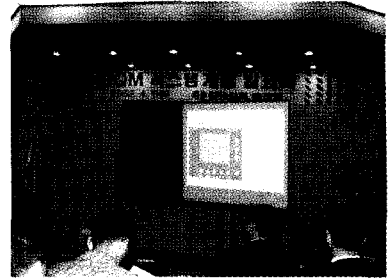
이에따라 최근에는 전력전자 설비 및 기기들에서 발생하는 고조파, 전압변동, 플리커와 같은 순시미소의란에 대한 규제방안 정립과 전력품질의 향상을 위한 기술개발에 주력하는 한편, 전력품질 요소를 적정 범

위로 구분하여 통일된 척도로 규정하고자 하는 노력이 수년전부터 IEC, EN을 중심으로 진행되고 있다.

**Power Quality 모니터링을 위한 韓電의 推進戰略**

**개요**

한전에서는 저렴하고 안정적인 전력공급에서 상품(전기)에 대한 품질을 보증하는 정보통신 사회의 고객 욕구에 부응하는 고품질의 전력공급의 기반구축과 전력품질에 대한 고객 불만족 사항 발생시 오염원에 대한 원인분석 및 진단을 통한 책임소재 규명과 대책강구 등 본격적인 전력품질 관리개념의 도입을 목적으로 '01. 7월 "전력품질 감시용 PQM 추진계획"을 수립 추진한 이래 국내외 기술동향과 제조업체의 PQM 기술 수준 파악 및 경제성 등에 대한 검토를 거쳐 지난 4월에는 한전 본사, 전력연구원, 중앙교육원 등의 전력품질 관계자 50여명이 참석한 가운데 PQM 시스템 시연회를 개최하였으며, 금년 하 반기중에는 공급전력의



PQM 시연회

품질을 실시간으로 측정, 분석할 수 있는 "PQM 시스템" 운영기술의 도입을 추진할 예정이다.

**PQM 시스템**

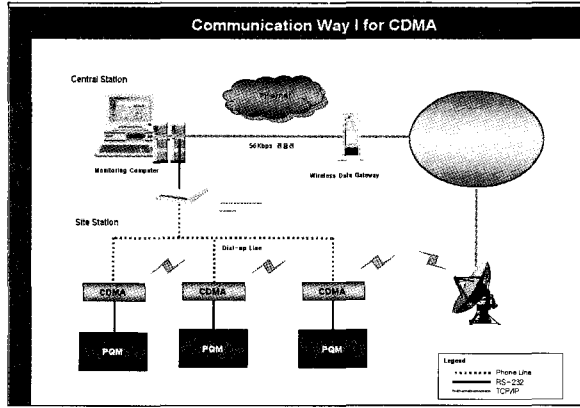
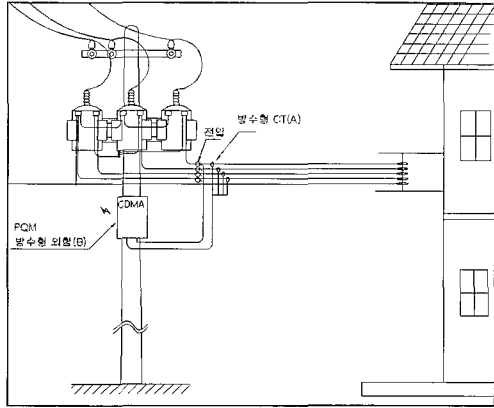
한전이 추진하고 있는 PQM시스템은 배전선로의 저압측에 전력품질 측정장치를 설치하여 배전선로에서 나타나는 고조파, 순간전압변동 등의 전력품질을 실시간으로 측정한 후, 측정 Data를 CDMA(코드분할다중접속방식) 무인통신방식을 이용하여 사업소 배전운영부서 또는 배전사령실의 PC에 전송하면 전력품질 분석프로그램으로 전력품을 분석 및 진단할 수 있도록 구성되어 있다.

이 시스템은 크게 H/W로서 현장에 설치하는 전력품질 측정장치와 측정된 전력품을 분석하는 S/W인 PQAP(Power Quality Analyzer Program, 전력품질분석프로그램)으로 구분할 수 있다.

H/W인 측정장치는, 본체인 PQM Processor와 옥외방수형 Clamp Type의 센서부, 양방향 무선통신이 가능한 모뎀(CDMA)부, 상시·비상시 전원을 공급하는 전원부, 온·습도 조절용 Heater, 각종 Surge의 차단 및 Noise 차폐가 가능한 방

[표10] 전력품질 관련 주요 국제규격 제정기구

규격	제정 기구	비 고
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (미국전기전자학회)	단체규격('84년 미국에서 창설된 전기전자 및 정보통신분야 국제적인 전문기술단체)
ANSI	American National Standards Institute (미국표준협회)	국가규격('69년 미국 공업제품 표준의 통일을 위하여 설립한 협회)
IEC	International Electrotechnical Commission (국제전기표준회의)	국제규격('06년 설립된 최초의 국제표준화 단체)
EN	CEN(European Committee for Standardization, 유럽표준위원회)	유럽규격('61년 유럽표준(EN/ENV) 제정을 목적으로 설립)



수·방진 구조로서 알루미늄 외함에 내장되어 있다.

특히, 본체는 전압, 전류, 역률 등의 기본적인 전력품질 요소외에 순간정전(Interruption), 순간전압강하(Sag), 순간전압상승(Swell), 고조파(Harmonics) 등 총 8개항목 41개 요소의 전력품질 측정이 가능하며, PC급의 Processor가 내장되어 있어 운영환경의 설정과 고속도의 데이터 전송이 용이하다.

또한, Server를 내장하고 있어 CDMA 이외에 RS-232C, RS-485, LAN, Ethernet 등의 다양한 형태의 통신지원이 가능할 뿐만 아니라 LAN 연결시에는 인터넷상의 구현이 가능하므로 웹브라우저상에서 모

니터링을 할 수 있다.

S/W인 전력품질 분석프로그램(PQAP)은 PQ측정장치의 설치현장의 확인이 용이하도록 설치장소가 초기화면으로 구성되어 있고, 초기화면을 선택하면 전력품질 요소별 분석이 용이하도록 현장의 측정장치에서 측정, 전송한 Data로 즉시 연결되며, 기본사항 표시화면인 전압, 전류의 기본요소와 일간 상전압 Trend 그래프 표시로 이어진다.

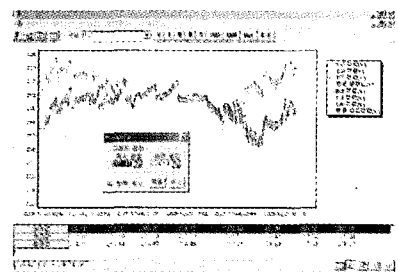
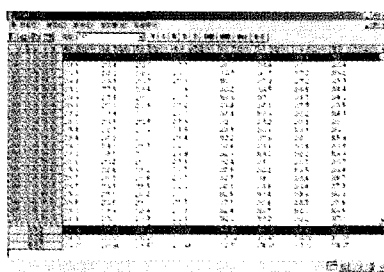
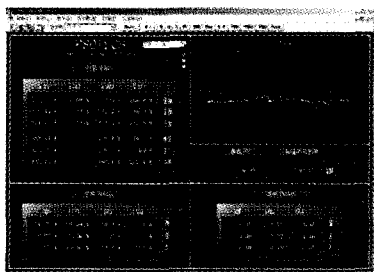
화면상단에 있는 기능성 아이콘을 선택하면 일별, 월별, 연별Data를 엑셀 형식으로 표시하므로 Data의 크기별, 시간대별 Sort가 가능하며, 엑셀형식의 Data는 Trend 아이콘 클릭시 그래프로 Trend를 표시하

로 Data의 시·공간적인 분석이 가능하며, Trend 그래프의 부분 확대가 가능하여 특정부분에 대한 집중분석이 용이토록 하였다.

특히, Sag, Swell, 순간정전, 불평형 등의 주요 품질요소에 대해서는 경보기능을 가미하고 있어 이상발생여부의 확인을 용이하게 하였다.

#### 향후계획

한전에서는 배전선로 전력품질 측정·감시항목을 선별 확정하여 고조파 등 전력품질 장애가 우려되는 개소인 PC방 등이 밀집된 지역을 대상으로 금년 하반기중에 시범적으로 운영한 뒤, 시범운영 결과에 대한 경제성 평가 및 효과분석을 거쳐 본격 적용여부를 확정지을 예정이다.



또한, 시범운영시에는 본사, 전력 연구원, 중앙교육원, 시범운영사업소, 참여업체 관계자 등을 중심으로 전력품질 T/F팀을 구성하여 시범운영의 효율성을 제고할 예정이다.

한편, 지난 4월에는 “Power Quality 기술자료집”을 발간하여 전력품질의 신조류 및 신기술을 전국 사업소에 전파함으로써 전력품질에 대한 인식제고와 배전운영기술의 향상을 도모하고 있다.

### 結 論

실제로 순간정전, 순간전압강하 등의 미소외란에 대한 배전선로에서의 완벽한 대책이 이론적으로는 가능하다 하더라도 현실적으로는 불가능할 수 밖에 없다. 전력설비 대부분

은 전국토에 걸쳐 자연에 노출 시설되어 있고, 낙뢰, 천재지변 등의 불가항력적인 고장이 수반되는 데, 이를 방지하기 위해서는 천문학적인 예산이 투자되어야 하고 결국 수용가의 전기요금 인상요인으로 작용할 수 밖에 없다.

그럼에도 불구하고 한전에서 추진하고 있는 배전선로에서의 PQM시스템 운영기술 적용은 선진외국에 비해서는 다소 늦은 감은 있으나, 과거의 ‘값싼 전력의 안정적 공급’ 차원에서 벗어나 ‘상품(전기)에 대한 품질보증을 요구하는 고객 욕구수준에 부응하는 전력품질 관리 체제로의 전환’이 필요한 시점에서 한 차원 높은 전력품질 관리의 계기가 될 것이다.

### [참고문헌]

1. Power Quality 기술자료집, 한전 배전처, 2002.5
2. 적정주파수 관리방안 및 주파수 유지율이 산업계에 미치는 영향조사, 한전 계통운영처, 1999.11
3. (주)피에스디테크 전력품질측정장치
4. Benchmarking Utility Power Quality Performance, Electrotek, September 10, 2001
5. IEEE Std 1159-1995, Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality
6. IEEE Std p1366, (Draft) Trial Use Guide for Electric Power Reliability Indices