

# 배전계통 전기품질 및 공급신뢰도 관리기준

오재형 | 한국전력공사 배전처장

## 1. 추진배경

국내 유일의 전기사업자인 한국전력은 전력산업 구조개편과 경쟁체제의 도입 등 급격한 경영환경의 변화 속에서 신속하게 대처하면서 끊임없는 성장을 지속하고 있다. 한국전력은 전력의 양적인 공급이 절실했던 1970년대까지는 전력수요 증가에 대응한 전원개발과 전력설비 증설을 주도하였고, 1980년부터는 전기품질의 주요소인 ‘호당 정전시간’을 본격적으로 관리하는 등 질적인 면에서도 안정적인 전력공급을 위한 노력을 지속하여 왔다.

현재 우리나라의 전기품질은 전기사업법에 근거하여 전압유지율, 정전시간, 주파수유지율에 대한 목표를 설정하여 관리되고 있으며 주요 선진국과 비교하여도 떨어지지 않은 우수한 실적을 유지하고 있다. 그러나 정보·통신·제어기술의 발달에 따른 정보통신기기, 정밀제어기기, 사무자동화기기 등의 확대보급은 극히 짧은 시간동안의 전기품질 저하에도 민감하게 작용하여 생산활동 등의 기회비용 증가를 가져오면서 전기품질에 대한 고객의 요구는 고급화, 다양화되는 추세에 있다.

이에 따라 한전은 전통적 의미의 전기품질요소인 정전시간, 전압 및 주파수 이외에 순간전압변동, 고조파 등 신

개념 전기품질에 대한 고객의 요구에 부응하고 IT 기술의 발달 및 국민생활 수준의 향상에 따른 전기품질의 고급화 요구에 적극 대처하기 위하여 국제흐름에 부합한 전기품질 신뢰도 지수 도입 및 순간전압변동 등 신개념 전기품질 추진계획을 수립하게 되었다.

## II. 전기품질 및 공급신뢰도 현황

### 1. 전기품질 개요

배전계통의 성능에 대한 지표, 즉 공급서비스의 평가기준은 크게 공급신뢰도(Reliability) 및 전기품질(Power Quality)로 구분되며 일반적으로 공급신뢰도는 1분이상의 정전(Interruption)현상을, 전기품질(Power Quality)은 1분미만의 정전 및 미세전압변동에 대하여 규정한다. IEC 기준에 의하면 전기품질을 ‘통상의 운전상태에서 고객에게 공급되는 전력의 특성을 정의하는 패라미터의 집합으로 공급의 연속성과 전압의 특성에 관한 것’이라 정의하고 있으며, IEEE 기준에는 ‘전력설비의 동작과 구내 설비계통 및 다른 접속기기에 적합하도록 하는 민감한 설비의 전력공급과 접지의 개념’으로 정의하고 있다.

[표1] 전기품질(Power Quality) 관리항목

용어(Terms)	정의(Definition)	지속시간	크기(P.U.)
단시간 전압변동 (Short Duration Variation)	Instantaneous : 0.5~30 cycles Momentary : 30cycles~3초 Temporary : 3초~1분 ※ Sustained : 1분 이상	0.5Cycle~1분	0.1 미만
순간전압강하 (Voltage Sag)	교류전압 실효치의 순간적 감소 현상	0.5cycle~1분	0.1~0.9
순간전압상승 (Voltage Swell)	교류전압 실효치의 순간적 증가 현상	0.5cycle~1분	1.1~1.8
전압 불평형 (Imbalance)	3상전압, 전류의 평균에서 최대편차값을 평균값으로 나눈 것	정상상태	
고조파 (Harmonics)	정현파전압, 전류 기본주파수의 정수배의 주파수	정상상태	0~20%
플리커 (Flicker)	부하전류의 크기가 변동을 나타낼 때 전 등의 밝기가 전압동요로 깜박이는 것	간헐적임	0.1~7%

출 처 : IEEE 1159(IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality)

세계적으로 대부분의 전력회사는 전압, 정전시간, 주파수를 전기품질의 3대 관리요소로 설정하여 운영하고 있으며, 한국의 경우 정전시간 및 규정전압 유지율은 한전의 배전계통에서 관리하고 있고, 주파수는 전력거래소에서 일괄 관리하고 있다.

전기품질에 대한 평가는 주로 공급전압에 대한 유지, 크기, 왜곡의 정도, 주파수의 변동으로 평가하고, 공급신뢰도는 호당 정전시간·횟수, 공급 가용율 등으로 평가할 수 있으며, 과거에는 정전시간·횟수 등 전력공급을 중시하는 ‘량의 시대’ 이었던 것이 최근에는 미소외란도 용납하지 않고 전기품질의 良, 否를 따지는 ‘質의 시대’ 로 패러다임이 전환되고 있다.

전기품질에 영향을 미치는 외란은 크게 ‘전압’ 에 관련된 것과 ‘파형(Waveform)의 왜곡’ 에 관련된 것으로 구분할 수 있다. 이중 전압에 관련된 것은 그 크기와 지속시간에 따라 순간전압강하, 순간전압상승, 순간정전 등으로 나누어 진다.

IEEE 1159에서는 전력품질 요소를 과도특성(Transient characteristics), 단주기 변동(Short duration variations), 장주기 변동(Long duration variations) 및 파형왜곡(Waveform distortion) 등의 4가지 주요 특성

**[표2] 공급신뢰도(Reliability) 관리지표**

용어(Terms)	정의(Definition)	적용분야
SAIDI (호당정전시간)	System Average Interruption Duration Index $\text{SAIDI} = \frac{\text{연정전호수의 정전시간}}{\text{전체 고객호수}}$	고객의 호당정전시간을 관리하는 가장 보편적 지수
SAIFI (호당정전횟수)	System Average Interruption Frequency Index $\text{SAIFI} = \frac{\text{연정전호수}}{\text{전체 고객호수}}$	일정지역내의 고객 정전빈도 관리용
CAIDI (정전고객 평균 정전시간)	Customer Average Interruption Duration Index $\text{CAIDI} = \frac{\text{연정전호수의 정전시간}}{\text{연 정전호수}}$	고객당 평균 고장복구 소요시간 관리
MAIFI (호당순간정전횟수)	Momentary Average Interruption Frequency Index $\text{MAIFI} = \frac{\text{연순간정전호수}}{\text{전체 고객호수}}$	일정기간내의 고객정전 빈도 관리
ASAI (공급 가용율)	Average Service Availability Index $\text{ASAI} = \frac{\text{고객 공급 유효시간}}{\text{고객 공급 수요시간}}$	고객의 연간 전기공급 지속을 관리를 위한 지수

출처 : IEEE 1366(IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices)

과 전압 불평형(Voltage imbalance), 전압 변동(Voltage fluctuations), 전력 주파수 변동(Power frequency variations) 등으로 표준화하여 다음과 같이 분류하고 있다.

## 2. 공급신뢰도 개요

전력계통에 있어서 배전계통은 고객에게 직접 전력을 공급하는 특성을 가지므로 배전계통에서 발생하는 각종 외란은 수용가에게 직접적인 영향을 미친다. 이에 따라 세계 각국의 전력회사(기관)은 전기품질 및 공급신뢰도의 효율적인 관리를 위하여 다양한 평가지수를 연구 개발하여 왔다.

전기품질에 대한 관심도가 낮았던 과거에는 일반적으로 SAIFI, SAIDI, CAIDI 등 일시정전(Sustained Interruption)과 관련된 지수를 중심으로 관리하여 왔다. 일시정전과 순간정전(Temporary Interruption)의 구분은 우리나라를 비롯하여 대부분의 국가에서는 5분을 기준으로 하고 있으며 IEEE가 제안한 대표적인 공급신뢰도 지수는 다음과 같다.

## 3. 우리나라의 전기품질 관리현황

우리나라를 비롯하여 대부분의 국가에서는 전기의 품질과 관련하여 전압과 주파수를 법령에 의거하여 규제를 해오고 있으며 우리나라의 경우에도 전기사업법에 의거하여 전기사업자인 한전으로 하여금 전압, 주파수 이외에 정전시간을 추가하여 전기품질 3대 주요요소로 관리하고 있다.

전압은 전기사업법 18조(전기품질의 유지), 19조(전압 및 주파수의 측정)에 근거하여 저압고객에게 공급되는 전압이 유지범위 내에서 어느정도 잘 운영되는지를 백분율로 나타내는 '규정전압 유지율'로서 관리하고 있다. 우리나라의 전압유지기준은 전등은  $\pm 6\%$ ( $220 \pm 13V$ ), 동력은  $\pm 10\%$ ( $380 \pm 38V$ )로 운영하고 있으며 일본, 미국, 프랑스 등은 표준전압의  $\pm 5 \sim \pm 10\%$  범위로 운영하고 있다. 우리나라의 전압유지율은 '97년부터 99.9% 이상을 유지하고 있다.

- 전압적정율(규정전압유지율) : 
$$\frac{\text{24시간 동안 규정전압을 공급한 개소}}{\text{총 측정개소}} \times 100(\%)$$

주파수도 전압과 마찬가지로 전기사업법 18조(전기품질의 유지), 19조(전압 및 주파수의 측정)에 근거하여 관리되고 있다. 전력계통의 주파수가 규정주파수(60Hz) 유지범위 내에서 어느정도 잘 운영되는가를 백분율로 나타낸 '정격주파수 유지율'을 적용 관리하고 있으며 대부분의 선진 외국에서는 내부규정으로 주파수 유지범위를  $\pm$

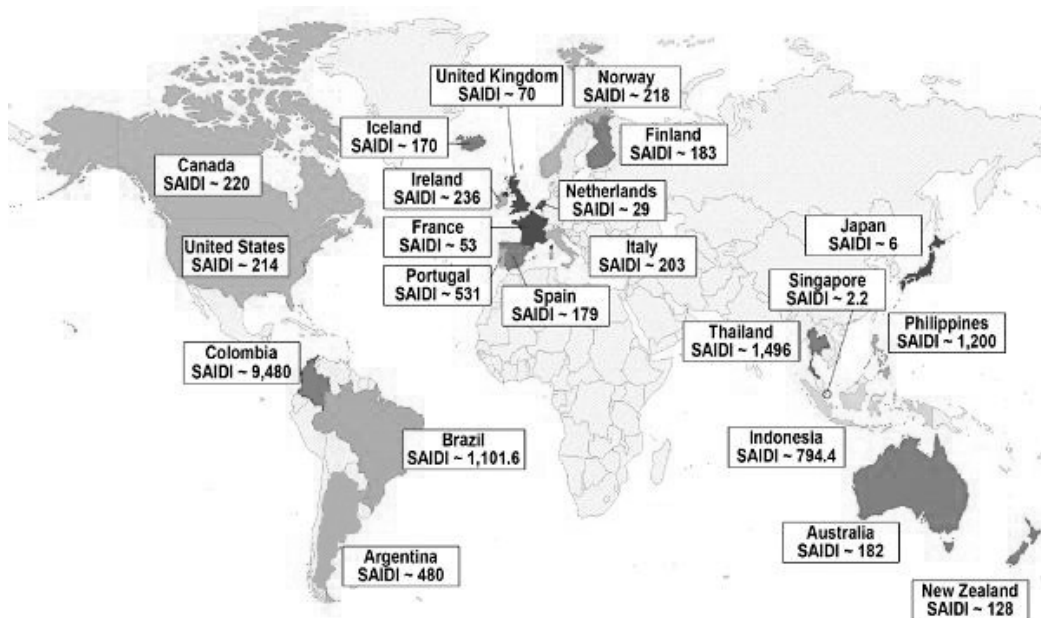
0.1~0.3Hz로 관리하고 있다. 반면에 우리나라는 전기사업법(제18조)상  $60 \pm 0.2\text{Hz}$ 의 허용오차를 두고 있으나, 한전에서는 '88년도부터 유지범위를  $60 \pm 0.1\text{Hz}$ 로 강화하여 관리해 오고 있다.

- 정격주파수유지율(%) :  $\frac{\text{유지범위내 운전시간(초)} \times 100(\%)}{\text{총 운전시간(초)}}$

배전계통 공급신뢰도에 영향을 미치는 정전은 배전계통의 유지보수 작업을 위한 '계획정전(Planned Interruption)' 과 배전계통의 이상발생에 따른 '불시정전(Unplanned Interruption)' 으로 나누며, 정전의 지속시간에 따라 5분이상의 일시정전과 5분 미만의 순간정전으로 구분 관리하고 있다. 또한, 배전계통의 공급신뢰도 평가는 고객의 호당정전시간을 관리하는 보편적인 국제적 범용통계 방법인 호당정전시간(SAIDI)과 일정지역내의 정전 빈도를 관리하는 신뢰도 지수인 호당정전횟수(SAIFI)로 평가하고 있다.

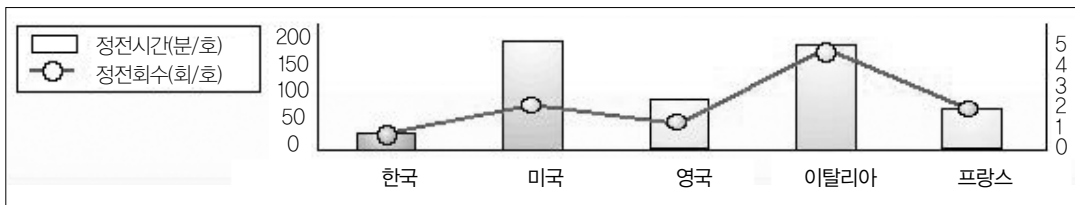
현재 우리나라의 호당정전시간 18.82분('06)은 일본보다는 다소 높은 편이나 미국, 영국, 프랑스 등 다른 선진국 보다 우수한 수준이다. 참고로 [그림1]은 주요국가별 호당정전시간 비교자료이며 [표3]은 우리나라의 주요 전기 품질 운영실적이다.

[그림 1] 호당정전시간 국제비교



[표3] 우리나라의 전기품질 3대 관리지표 운영실적

구 분	'01년	'02년	'03년	'04년	'05년	'06년
규정전압유지율(%)	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	<b>99.9</b>
호당정전시간(분/호)	21	20	19.7	18.9	18.56	<b>18.82</b>
정격주파수유지율(%)	99.4	99.4	99.7	99.7	99.7	<b>99.8</b>



### III. 선진 전력회사 공급신뢰도 관리기준 Benchmarking

한전은 전통적 의미의 전기품질 요소인 정전시간을 보다 과학적, 체계적으로 관리하고 순간전압변동, 고조파 등 전기품질의 고급화 요구에 적극 대처하기 위하여 국제흐름에 부합한 전기품질 신뢰도 지수 도입, 공급신뢰도 관리기준 제정, 순간전압변동 등 신개념 전기품질 추진계획을 수립하게 되었다. 다음은 주요 외국 전력회사의 공급신뢰도 관리기준 운영현황에 대한 조사결과이다.

- ▶ 호당정전시간(SAIDI)의 일시/순간정전 구분은 유럽의 경우 3분을, 미국은 대부분 5분을(일부 전력회사의 경우 1, 2분) 기준으로 하고 있음.
- ▶ 국가별 공급신뢰도 지수는 미국, 유럽의 경우에는 SAIDI, SAIFI, MAIFI 위주로 관리(일부 전력회사는 순간전압변동(SARFI) 지수도 관리)하고 있었으며, 일본은 우리와 같이 SAIDI, SAIFI로 평가하고 있음.
- ▶ 신뢰도지수의 정확도 평가 및 검증을 위하여 유럽 전력회사는 외부기관에 의뢰하여 통계정확도를 조사하고 있으며 사업소 내부평가는 SAIDI, SAIFI 등을 종합적으로 평가하여 인센티브/페널티를 부과하고 있음.
- ▶ 호당정전시간의 재해기준은 대대수 전력회사에서 IEEE 기준에 따라 전력계통에 설비피해 15% 이상의 대규모 피해가 있는 경우, 10% 이상의 고객이 동시에 정전된 경우, 정전이 24시간 이상 계속된 경우에는 천재지변으로 간주하며 정전통계상 별도로 관리하고 있음

## IV. 배전계통 전기품질 및 공급신뢰도 추진내용

### 1. 정전고객평균정전시간(CAIDI) 지수 도입

현재 한전에서 전력계통의 공급신뢰도를 평가하기 위하여 적용하고 있는 호당정전시간(SAIDI) 지수는 정전을 경험하지 않은 고객을 포함하여 정전시간을 산출하고 있으므로 실질적인 정전 복구시간을 관리하기 어렵고 호당정전시간·횟수(SAIDI, SAIFI) 만으로는 공급신뢰도의 정확한 비교분석 및 평가가 어려운 실정이다. 따라서 고객의 정전체감도 개선을 위해 정전을 경험한 고객의 평균정전시간 관리지표인 정전고객평균정전시간(CAIDI) 도입하였다.

#### ○ CAIDI(Customer Average Interruption Duration Index) 지수

용어(Terms)	정의(Definition)
CAIDI (정전고객평균정전시간)	$CAIDI = \frac{\text{연정전호수의 정전시간}}{\text{연정전호수}}$

#### ○ SAIDI / CAIDI 산출방법 예시

정전시간	0분	2분	4분	6분	8분	10분
정전호수	100호	100호	100호	100호	100호	100호
SAIDI	$(0+2+4+6+8+10) \times 100 / 600 = 5\text{분/호}$					
CAIDI	$(0+2+4+6+8+10) \times 100 / 500 = 6\text{분/호}$					

☞ SAIDI 산출은 전체 고객을 대상으로 하며 CAIDI는 정전을 경험한 고객을 대상으로 하게 되므로 정전경험고객의 실질적인 정전복구시간 산출이 가능함.

### 2. 일시/순간정전 기준 개선

우리회사는 5분 이상의 정전을 일시정전으로 관리하고 있으나 유럽의 경우 3분을 기준으로 일시/순간고장을 구분하고 있으며 미국의 경우에는 전력회사별로 상이하나 대부분 3~5분을 기준으로(일부 전력회사의 경우 1, 2분으로 구분) 관리하고 있다.

현행 한전의 일시/순간정전 구분기준은 배전자동화 시스템 도입이전에 설정된 기준이므로 계통 운영여건 변동사항을 반영하여 국제흐름에 부합할 필요가 있다. 또한, 공급신뢰도 관련 IEEE 기준에도 1분을 기준으로 일시/순간정전으로 분류하고 있으므로 현재 적용하고 있는 일시/순간정전 구분기준 5분을 외국 전력회사, 국제규격의 적

용기준 등 글로벌 스탠다드에 부합하게 단계적으로 1분으로 조정할 예정이다.

[표4] 일시/순간정전 구분기준 조정계획

단 계	단 계	적용년도	비 고
1단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>일시정전 : 5분 이상</li> <li>순간정전 : 1~5분</li> <li>순시정전 : 1분 미만</li> </ul>	2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>공급신뢰도 기준(잠정) 시범적용</li> </ul>
2단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>일시정전 : 3분 이상</li> <li>순간정전 : 1~3분</li> <li>순시정전 : 1분 미만</li> </ul>	2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>유럽기준으로 신뢰도기준 상향조정</li> </ul>
3단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>일시정전 : 1분 이상</li> <li>순간정전 : 3초~1분</li> <li>순시정전 : 30Cycle~3초</li> </ul>	2001~	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 기준 부합</li> </ul>

또한, 현재의 정전분류는 일시, 순간, 작업정전으로 되어 있어 작업정전에 대비되는 '예고되지 않은 정전'에 대한 개념정립이 필요하고 배전계통의 정전원인별 분류체계를 명확화·체계화 할 필요가 있어 정전시간 구분을 기존의 일시, 순간정전에서 아래와 같이 일시, 순간, 순시정전으로 세분화하였다.

[표5] 배전계통 정전(Interruption) 분류체계

계통구분	전압구분	특성구분	시간구분
전원측 정전 (Source Side)			
배전측 정전 (Load Side)	고압정전 (Primary)	불시정전 (Unplanned)	일시정전(Sustained)
	저압정전 (Secondary)	계획정전 (Planned)	순간정전(Temporary)
			순시정전(Momentary)

### 3. 호당평균순간정전횟수(MAIFI) 지수 도입

IT산업의 발달로 일시정정보다는 순간정전이 더 중요한 시대가 도래하고 있으며 2006년의 경우 순간정전 점유율이 전체정전의 약 78%로 정전건수의 대다수를 차지하고 있다. 또한 IEEE에서 각국의 65개 전력회사 조사결과



약 22%의 전력회사가 순간정전관리지표인 MAIFI 지수를 사용하고 있었다.

따라서, 한전에서 그 동안 상대적으로 덜 중요하게 여겨진 순간정전에 대하여 집중관리하고 고객만족도 개선을 위하여 순간정전관리지수인 MAIFI 지수를 도입하기로 하였으며, 향후 MAIFI 지수 도입으로 일시정전뿐 아니라 5분 미만의 짧은 순간정전의 획기적 개선을 기대하고 있다.

## ○ MAIFI(Momentary Average Interruption Frequency Index) 지수

용어(Terms)	정의(Definition)
MAIFI (호당평균순간정전횟수)	$MAIFI = \frac{\text{연순간정전횟수}}{\text{전체 고객호수}}$

## 4. 배전계통의 순간전압변동 본격관리 및 전기품질 감시시스템 구축

일반적으로 고객은 정전보다는 순간전압강하를 더 많이 경험하고 있고 제조업체의 경우 전압이 70% 이하로 떨어지면 생산공정에 지장을 주는 등 순간전압강하로 인한 피해는 날로 증가할 것으로 예상되지만 우리나라의 경우 순간전압강하 발생 횟수 및 파급범위 등에 대한 현황 파악 등 기본적인 연구조사가 제대로 이루어지지 않고 있다. 미국 EPRI(Electric Power Research Institute)에서는 순간전압강하에 대한 평가지수로 SARFI 지수를 개발하였고 일부 국가에서도 순간전압변동에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

### ○ SARFI(System Average RMS Variation Frequency Index)

$$- SARFI_{\%V} = \frac{N_i}{N_T} \quad (\text{전압강하 고객 } N_i / \text{전체 고객호수 } N_T)$$

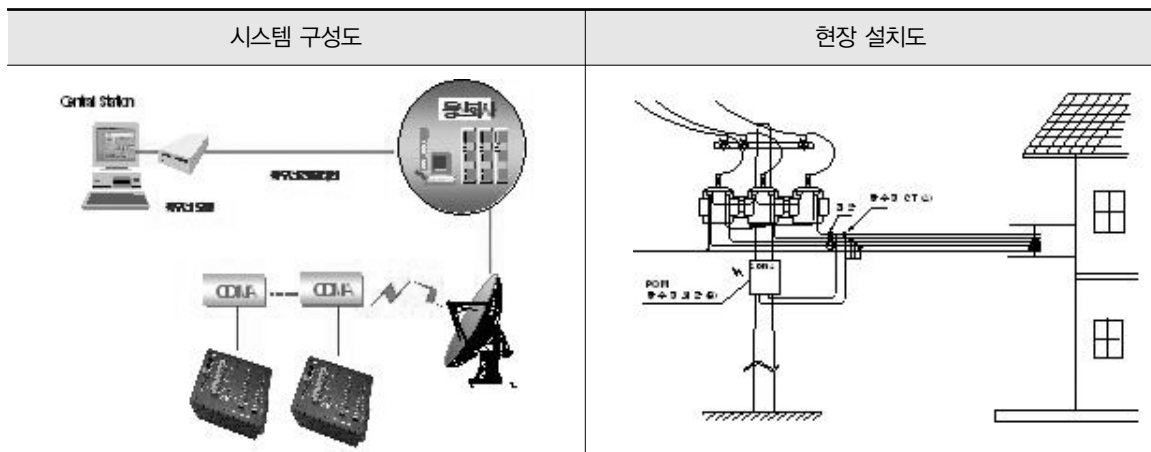
- %V : 전압한계(140, 120, 110, 90, 80, 70, 50, 10)
- SARFI<sub>%</sub>: 계통의 Performance 레벨을 평가하는 지수로 사용

SARFI 지수를 관리하기 위하여는 배전계통의 사고 기록 및 고객 기기의 특성, 순간전압강하의 발생가능 조건 등을 바탕으로 추정될 수 있으나, 특정 사이트의 정확한 평가를 위해서는 고객측 계량장치(AMR) 또는 인입구에서 전기품질 측정(모니터링)이 필요하다.

또한, 전기품질에 민감한 정밀기기의 보급이 확산된 근래에는 고객의 문제로 인하여 전력회사에서 공급중인 전기의 품질이 영향을 받게 되므로 전기품질의 오염원에 대한 원인분석과 공급자측의 대책을 강구할 목적으로 공급 전력에 대한 분석과 진단이 필요하다.

한전의 경우에도 순간전압강하 문제를 본격적으로 연구하기 위하여 2007년부터 2년간 전력연구원 주관으로 순간전압강하 피해사례 및 현황조사, 순간전압강하 방지대책 수립 및 순간전압강하·고조파 등 신개념 전기품질 측정을 위한 PQM(Power Quality Monitoring) 시스템을 구축할 예정이다.

[그림 2] PQM 시스템 구성도



## V. 향후계획

한전 배전처는 배전계통의 신뢰도 향상을 위하여 신개발 기자재 적용, 배전계통 유지보수 업무의 과학화, 배전계통 자동화 운영시스템 도입, 배전계통의 정보관리 전산화 등 다양한 노력을 경주해 왔으며 그 결과로 세계최고 수준의 '호당정전시간(SAIDI)' 운용실적을 나타내었다.

그러나 이에 만족하지 않고 IT 기술의 발달 및 국민생활 수준의 향상에 따른 전기품질의 고급화 요구에 적극 대처하기 위하여 국제흐름에 부합한 전기품질 신뢰도 지수 도입 및 순간전압변동 등 신개념 전기품질 추진계획수립 등 배전계통의 공급신뢰도 향상을 위한 종합 관리기준을 제정하게 되었다.

앞으로도 한전은 전통적 의미의 전기품질요소인 정전시간, 전압 및 주파수 뿐 아니라 순간전압변동, 고조파 등 신개념 전기품질 업무를 적극 추진하기 위하여 전기품질 종합 감시시스템(PQM) 구축, 순간전압강하 및 플리커 관련연구 시행, 배전계통 고조파 관리기준 제정 등을 통하여 국민기대에 부응하도록 최선의 노력을 다할 예정이다.



- 고려대학교 학사(전기공학)
- 고려대학교 석사(경영학)
- 한국전력 전력연구원 배전연구소장
- 한국전력 송변전처장
- 한국전력 배전처장(현)