

첨단 기술에 앞서야만 하는 전력품질

이은용 / 충남대학교 교수

전력품질의 개선이 요구되는 현실

순간적인 파형이나 전압 변화에도 민감한 IT, Computer, PLC(programmable logic controller) 등 고정밀 제어 및 자동화 설비의 고성능 기기들은 전통적 품질 기준인 정전압 유지율, 호당정전시간, 정격주파수유지율보다 미세한 순간전압의 꺼짐(Sags), 부풀(Swells), 역률저하, 고조파 함유 등으로 평가하는 새로운 품질 개념이 3상 전원에서 평형 상태와 함께 요구되고

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

$$\leq 5 \sim 10\%$$

$$\text{호당 정전시간} = \frac{\text{전수용가수} \times \text{정전지속시간(분)}}{\text{총 수용가수}} \quad [\text{min/호수}]$$

$$\begin{aligned} \text{정격주파수유지율(\%)} &= \frac{\text{유지범위내 운전시간(초)}}{\text{총 운전시간(초)}} \times 100(\%) \\ &= 60(\pm 0.1 \sim \pm 0.3) \quad [\text{Hz}] \end{aligned}$$

있다.

특히 전력산업이 민영화되어 경쟁 체제에 들어가서 수용가의 전력 선택이 가능하게 되면서 발전회사는 전력 품질을 보증할 수 있는 전력을 생산하여야 하고 전력을 수송하는 송·배전회사는 요구 수준에 부응하는 전력 품질을 관리할 수 있어야 하며 수용가는 부하 특성에 맞는 전력 품질을 수전하더라도 부하 운전에서 발생하는 품질 저하 요인을 개선하는 기술이 요구되고 있다.

태양발전, 연료전지, 풍력발전, 열병합 발전 등의 분산 전원 개발이 지향되는 현실은 발전소와 전력 계통의 연계에서 전력 품질이 크게 문제 될 수 밖에 없다. 또한 발전 전력을 전력계통을 거쳐 수전하는 수용가는

정밀화·고기능화기기의 기능과 에너지 절감을 위해 부하의 50% 이상이 전력전자 시스템으로 수전 전력을 변환하여 사용하는데 기능을 창출하는 변환장치에 비선형성 전력반도체 소자의 사용으로 고조파가 발생하고 변환장치 자체는 고조파에 민감한 것에 대한 대책이 필요하다.(2010년대는 80% 이상의 부하가 전력변환 장치를 거쳐 사용하게 되어 35%의 에너지 절감효과가 있을 것으로 예측되고 있다.)

따라서 전력품질에 대한 수용가의 인식이 제고되면 필수적 수용가의 양질의 전력품질 요구는 높아질 수 밖에 없다.

우리나라가 IT산업의 세계 선도국으로 자리매김하려 한다면 전력품질의 각종 저하 요인을 개선하는 기술이 앞서야만 한다. 특히 마이크로 프로세서를 기본으로 하는 정보화 시스템의 코어(core)에 발생하는 고조파는 그 코어에 연결된 모든 분로에 동시에 공급되어 전원 차단이나 정보기기의 고장 및 오동작의 원인이 되므로, 전압 변동률이 개인용 기기는 $\pm 10\%$ 이

표 1 5년간(95~99) 연도별 정전현황

연도	구분	1995	1996	1997	1998	1999	계
고장건수	일시	2,794	2,906	2,233	2,256	2,769	13,138
	순간(점유율)	12,759 (81.1%)	12,129 (80.7%)	10,614 (82.6%)	10,829 (82.8%)	11,543 (80.7%)	57,874 (81.5%)
회선수		4,124	4,375	4,719	4,953	5,529	23,700
선로연자(km)		457,995	482,525	509,472	522,210	534,278	2,506,480
1000km당 일시고장건수		0.65	0.60	0.44	0.43	0.52	0.52

하, 대형기기는 ±5% 이하가 되는 전력품질이 요구된다.

우리나라에서 고조파 함유율은 154kV 이상의 송전선로에서는 극히 미미하나 22.9kV이하의 배전선로에서는 72~90%의 역률로 공급되며 보상용 설치 콘덴서의 36%만 가동되고, 정전도 표 1(1995~1999년의 연도별 정전 현황)과 같이 발생하므로 양질의 전력 품질과는 거리가 있다.

무정전 공급과 함께 송배전 설비의 최대전력이용 운영을 위해 역률을 보상하는 것은 엄청난 초기 투자가 요구되는 발전설비와 송배전 설비를 최대한으로 이용하는 것이 된다.

생산 공장의 구동력을 얻기 위해서 변압기와 유도전동기를 사용하게 되는데, 장거리 고압수전선로에 직결된 대용량 유도전동기의 정격 부하 운전시 발생하는 선로 전압 강하, 경부하 운전시 발생하는 선로의 용량성 임피던스로 인한 선로 전압 상승, 변압기의 무부하시 돌입전류와 차단기의 개폐시 등은 오른쪽 그림과 같이 전력외란 현상이 발생할 수 있어 전력품질을 저하시킨다.

그리고, 배전 계통의 부하불평형은 그대로 수전전압 불평형 상태를 유발하게 되어 역상분 및 영상 전류를 발

생시키며, 변압기의 자기적 포화를 일으켜 맥동전류를 발생시키는 등 전력 품질을 저하시킨다.

새로운 전력품질 정의와 저하 요인

정격 주파수의 정현적 정전압에 나타나는 아래 그림과 같은 순간적인 전력외란을 전압꺼짐(Voltage Sag), 전압부풀(Voltage Swell), 순간정전

(Instantaneous interruption), 고조파(harmonics) 함유, 고조파 왜형(harmonics distortion), 전압 불평형(Voltage unbalance), 플리커(Flicker), 서지(Surge) 등의 새로운 개념의 전력품질로 정의할 수 있고, 이러한 각 현상의 기본 특성 및 발생 요인은 표 2와 같다. 산업용 수용가 설비의 각종 부하에서 측정된 전압 전류의 THD(total harmonic distortion)와 전압 불평형율은 표 3과 같다.

전력품질 저하가 각종 부하에 미치는 영향

각종 품질 저하 현상이 부하에 미치는 영향

- 1) 전압 꺼짐(Voltage Sag)
 - ① 재점등되기까지 수분이 소요되는 방전등이 전압정격치의 85~90% 이하, 1 cycle 미만에서 점멸
 - ② 제어장비는 전압정격치 80~85% 이하에서 오동작하거나 생산라인 정지
 - ③ 전동기는 전압정격치 80~85% 이하에서 갑작스런 속도변동이 일어나거나 마이크로프로세서 기능이 정지

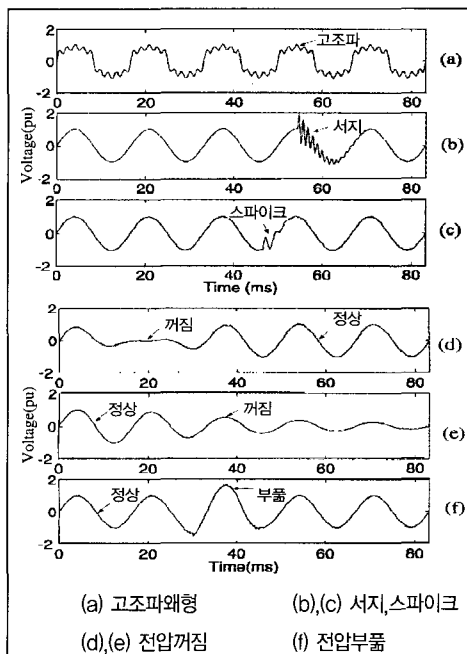


표 2 각종 전력외란의 개념정의와 발생요인

외란형	현상	기본특성			발생요인
		지속시간	전압크기	주파수	
전압꺼짐 (Voltage sag)	순간적 강하가 30 사이클 이하로 지속됨	8[ms] ~3[s]	0.1~0.9pu	-	· 낙뢰, 중부하 이상의 개폐 · 계통의 순간적 부하급증, 보정커패시터의 개폐 · 대형전동기의 기동
전압부풀 (Voltage swell)	순간적 상승이 30사이클 이하로 지속됨	8[ms] ~3[s]	1.1~1.4pu	-	· 갑작스런 부하감소 · 다른 상의 사고 · 부정확한 변압기 설치 · 보정커패시터 개폐 · 느슨한 접속상태로 인한 아크발생
정전 (Interruption or Outage)	순간적 상승이 30사이클 이하로 지속됨	8[ms] ~3[s]	0.1pu이하	-	· 약전후, 전력선사고 · 발전기 변압기고장 · 퓨즈, 차단기작동 · 부정확한 보조협조체계
서지(Surge), 스파이크 (Spike impulse)	전압상승이 [μ s] ~[ms] 동안 지속됨	[μ s] ~[ms]	1.4pu이상	-	· 낙뢰 저력간선개폐 · 대용량전동기의 턴-오프 · 단락이나 계통고장 · 동기발전기의 경미한 구조적 편차
고조파왜형 (Harmonic distortion)	정상 정현파의 60[Hz]~3[kHz] 범위의 연속적인 왜형	정상사용 상태	1.0~1.2pu	-	· 비선형부하(UPS, inverter, SMPS) · 스위칭소자(FACTS) · 철공진(전력변압기)
전기적 소음 (Electrical noise)	5[kHz]이상의 주파수에서 일어나는 정현파의 연속적인 왜형	간헐적	0.1~7%	-	· 형광등의 방전 · 전자식 안정기 · 아크로, 전력전자 컨버터 · 무효전력변동
전압불평형 (Voltage unbalance)	3상 전압전류의 평균치에 대한 최대편차로 나타내는 전압불평형으로 영상분 전류의 영향발생	정상사용 상태	0.5~2%	-	· 단상부하 · 역률, 불평형 3상부하

- ④ 강제전류(轉流)형 인버터의 정류 작용 정지
 - ⑤ 전자 접촉기(MC)에 1~5 cycle 지속되면 트립되거나 소실
 - ⑥ 컴퓨터시스템의 파괴
 - ⑦ 수전설비의 부족전압계전기(UVR) 작동
 - ⑧ 전력 전송량 감소와 손실 증대
- 2) 전압 부풀(Voltage Swell)
- ① 전기설비, 전자소자(electro-nic

- element)에 stress로 작용하여 수명 단축
- ② 제어장비, 가변속 구동장치의 내부 보호장치 작동으로 trip
- ③ 전자장비(electronic devices)의 소손이나 오동작
- ④ 전력계통의 무효전력 보상용 Capacitor Bank의 단락
- ⑤ 자성재 사용기기의 자기 포화로 인한 고조파가 발생하여 절

- 연열화
- 3) 순간정전(Instantaneous Interruption)
- ① 전동기의 속도를 급감시켜 공정 혼란
 - ② 가변속 구동장치의 1cycle~1sec 내의 trip
 - ③ 전자장비가 trip 되거나 blinking-clock의 정지로 수동 reset필요

표 3 산업용 수용가설비의 각종 부하에서 측정된 전압·전류의 THD와 불평형률

부하의 종류	측정결과	비고
선형부하(히터부하) (제지공장, 합성섬유공장 등)	고조파 전류 : THD 5% 전압의 왜형 : THD 3.3% 전압 불평형 : 0.7%	고조파전류 : 공장내 다른 설비로부터 유입되는 고조파 영향으로 추정
정속운전의 전동기부하 (농형유도전동기류)	고조파 전류 : THD 6% 전압의 왜형 : THD 2.6% 전압 불평형 : 0.1%	전류분 고조파는 5고조파 중심으로 발생
인버터에 의한 속도제어 전동기부하 (대다수 산업수용가부하)	고조파 전류 : THD 20% 전압의 왜형 : THD 3.4% 전압 불평형 : 0.3%	전류분 고조파는 5고조파와 7고조파 중심으로 발생하고, 필터설치되지 않은 경우 3의 배수 조파 성분이 크고, THD는 필터설치한 경우의 2배이상 발생함
아크 용접기 부하 (전자부품공장의 부하)	고조파 전류 : THD 102% 전압의 왜형 : THD 132% 전압 불평형 : 1.6%	우수고조파 성분이 크고, 필터 설치되지 않은 경우 3고조파의 영향이 크며, notching 현상 관측
정류기 부하 (산업수용가)	고조파 전류 : THD 68% 전압의 왜형 : THD 3.2% 전압 불평형 : 0.9%	고조파는 3,5,7고조파 중심으로 발생하고, 3의 배수고조파 성분이 THD에 미치는 영향이 크다.
전기로 (반도체 웨이퍼 생산 부하)	고조파 전류 : THD 23.7% 전압의 왜형 : THD 2.6% 전압 불평형 : 0.6%	수용가의 전원측에 필터가 설치된 경우로서 3의 배수고조파가 발생되지 않고, 5고조파 중심으로 발생
UPS에 연결된 Processor 장비	고조파 전류 : THD 21.0% 전압의 왜형 : THD 1.8% 전압 불평형 : 0.4%	12상 정류형 UPS 사용으로 전압파형의 왜곡이 적다.

- ① 전력설비의 이용을 저하
- ② 3상 유도전동기는 3.5% 전압불평형을에서 역상토크 발생으로 15%의 출력 감소와 10% 이상의 온도상승이 일어나며 4%정도의 손실이 발생

7) 전압요동(voltage fluctuation; flicker)

- ① TV의 화면 떨림(flicker)
- ② 조명기구의 빛의 떨림 (flicker)
- ③ 컴퓨터의 오동작
- ④ 정밀 부하에 악영향

전력품질이 사용기에 미치는 영향

1) 정보기기

정보사회의 디지털 문화 확산으로 급증하는 정보통신기기는 전압끼집이나 부품으로 인한 정보 유실, 또는 네트워크 시스템의 교환정보 파괴의료기기

2) 의료기기
안전성과 신뢰성 보장 불가

3) 전력수송계통
전력전송용량 감소와 손실 증가

- ④ PLC 등 마이크로프로세서 등의 trip으로 인한 생산라인 stop
- 4) 고조파 왜형(harmonic distortion)
 - ① 전력휴즈의 소호
 - ② 차단기의 과열
 - ③ 가변속 구동장치의 오동작
 - ④ 전자 계전기의 오동작
 - ⑤ 컴퓨터의 오동작
 - ⑥ 오븐, 전기로의 전압 스트레스

로 인한 절연열화

5) 고조파 전압, 전류

- ① 변압기와 전력케이블로 구성된 수전 계통의 과부하상태
- ② 회전기의 동손, 철손 증가와 효율, 토크 감소
- ③ 유도전동기의 Cogging, Crawling 토오크 발생

6) 전압불평형 (voltage unbalance)

4) 유도전동기

- ① 정지기동시 과전류, 역률저하, 상불평형 등 발생
- ② 성능 저하, 절연파괴, 과열소손
- ③ 전력반도체소자로 구성된 속도 제어 장치의 오동작 및 고조파 발생
- ④ 인근 부하에 고조파 전파
- ⑤ 맥동 토오크 발생으로 소음 및 진동 발생

5) 변압기

- ① 자기 포화로 고조파 발생
- ② 과열

6) 자동화 생산 라인

- ① 설비의 절연파괴와 오동작
- ② 생산 제품 품질 저하
- ③ 생산원가 상승

전력품질 기준

1) IEEE IAS(Industry Application Society)

PES(Power Engineering Society)
SCC(Standards Coordinatory Committee)

- (1) IEEE Std. 519(1992)
 - 전력 계통의 고조파 가이드 라인 제시
 - 계통 전압과 설비 용량에 따른 고조파 전류 왜형 제한
 - 고조파 왜형 측정 분석 방법 제시
 - Flicker 정의, 발생 요인 규명
 - TDD(total demand distortion) 단위 사용
- (2) IEEE Std. 1159, 1250(1995)
 - 전력 외란 지속 시간 1~2분 기준으로 단기·장기 구분
 - 전압 부풀(Swell), 꺼짐(Sag) 정의

(3) CBEMA(Computer Business Equipment Manufacture Association)

산업용 설비에서 발생하는 전압꺼짐의 빈도와 정보를 얻는 측정법제시

2) IEC(International Electrotechnical Commission)

(1) IEC 1000-2-2

전력공급 설비와 사용설비의 주파수 변동 허용 범위를 $\pm 0.5\text{Hz}$ 로 규정

(2) IEC EN(00.3.3)

정상 상태에서 전압 변동 허용 범위를 0.9~1.1 pu로 규정

(3) IEC EN 6100-2-1

· 전력계통, 산업용부하, 주거용부하로 고조파 발생원 구분

표 4 전력품질 정의 예(IEEE Std. 1159)

구 분	지 속 시 간	크 기	비 고
과도(transients) Impulse	5ms(5ns rise) ~1ms(0.1ns rise)		
Oscillatory - 저주파수(<1kHz) - 중주파수(5,500kHz) - 고주파수(0.5~5MHz)	0.3~50ms 20 μ s 5 μ s	0.4 pu 0.8 pu 0.4 pu	과도특성
단주기변동 전압꺼짐(Voltage sags) - 순시(instantaneous) - 순간(momentary) - 잠시(temporary)	0.5~30 cycle 30 cycle ~3초 3초~1분	0.1~0.9 pu	
전압부풀(Voltage swells) - 순시(instantaneous) - 순간(momentary) - 잠시(temporary)	0.3~30 cycle 30 cycle~3ch 3초~1분	1.1~1.8 pu	
장주기변동 - 부족전압 - 과전압	1분	0.8~0.9 pu 1.1~1.2 pu	
정전 - 순시 - 순간 - 지속(sustained)	0.5cycle~3초 3초~1분 >1분	< 0.1 pu < 0.1 pu 0.0pu	
전압불평형	정상 운전	0.5~2%	
왜형 - DC편차(offset) - 고조파 - 간섭고조파 - 노이즈 - Notching	정상운전 0~100차 0~6kHz 광대역	0~0.1% 0~20% 0~20% 0~1%	
전압요동(fluctuations)	간헐적(<25Hz)	0.1~7%	Flicker
전압주파수변동	<10s		

- 전압꺼짐을 계통의 공칭전압의 10~99% 전압강하가 $\frac{1}{2}$ cycle 이내에서 수초 동안의 지속되는 것으로 정의
- 정전은 100% 전압 강하가 지속 (즉, 단전)된 것으로 정의
- 전압 불평형의 한계를 2% 이상으로 규정

(4) IEC EN6100-4-7

- 전력계통의 고조파 왜형측정법 제시
- 고조파 형태 구분

준안정(Quasi-stationary)
요동(fluctuation)
돌발변환(rapidly changing)

- 시간영역과 주파수 영역 고조파 분석법 제시

3) 우리나라

전기사업법 제 18조, 동법시행규칙 제 18조, 제 19조의 규정전압 및 주파수의 유지기준은 표준전압대비 전등부하 6%, 동력부하 10% 범위에서 그리고 정격 주파수 유지율은 60 ± 0.1 [Hz] 범위에서 관리하고 있다.

전기사업법 제 21조, 동법 시행규칙 제 25조에서 전기사업자가 수요자에게 공급하는 전압은 $220 \pm 13V$, $380 \pm 38V$, 주파수 60 ± 0.2 Hz로 유지하도록 규정하였으며 연간 정전 시간은 한국전력공사의 사업 목표로 관리하도록 되어 있으며 선진국보다 우수하게 관리되고 있다. 하지만 새로운 개념의 전력품질에 대한 기준과 법, 규칙은 제정된 바 없고, 다만 참고문헌[6]에 의하면 '97년의 6MVA 이상

의 대형 수용가 400 여개와 일반·상업·주택수용가에 대한 전력품질 실태조사를 수행한 적이 있고, 00년 9월부터 36개월간 "21C 고신뢰, 고품질 배전계통 구축" 연구가 수행되고 있으며 한국전력연구원에서 산업자원부 기반 기술 과제로 '01년 12월부터 국내 전력계통 특성을 고려한 전력품질 향상기기 실증 시험 기술 개발이 추진되고 있다.

그러나, 우리나라 IT 산업선도국으로서 자리매김하려면 전력품질기준제정 및 운영 관리, 기술 개발을 서둘러야만 하는데 아직 그렇지 못함이 안타깝다.

전력품질 개선 방법과 연구분야

개선 방법과 특징

수용가는 전력외란을 측정·평가하여 보상할 수 있어야만 부하와 전력변환 장치에 미치는 영향을 최소화시키고 전력반도체로 만들어진 전력변환 장치에 발생할 수 있는 스위칭 서지가 각종 부하에 미치는 영향을 최소화할 수 있다. 각종 부하의 구조적 불평형 및 공간 고조파 발생과 역률 저하로 인한 비선형성 외란이 발생하여 전력변환장치의 오동작과 수명 저하를 일으킴을 최소화하기 위해 전력품질을 개선하여야 한다.

현재 전력품질 개선을 위해 사용하고 있거나 연구개발되고 있는 각 개선 방법의 특징은 다음과 같다.

1) 동기조상기

- 여자 전류의 크기를 조정해서 역률을 조정한다.
- 손실이 크고 유지보수가 어렵고

- 시간이 필요하다.
- 제어량이 이산적이다.
- 소요 공간이 크다.

2) Capacitor Bank

- 직, 병렬 Capacitor에 의해 역률을 보상한다.
- Capacitor Bank의 잔류 전하의 방전이 발생한다.
- 고조파 발생으로 왜형이 된다.
- 개폐시 과도한 유입전류와 이상 전압이 발생한다.
- 응답이 느리다.
- 신뢰성이 낮다.

3) Thyristor Valve 방식

TCS(Thyristor Control Series Condenser)

TCS(Thyristor Control Shifter)

TCR(Thyristor Control Reactor)

- 무효전력의 진상과 지상 중 한쪽의 보상만 가능하다.
- 응답이 비연속적이다.
- 스위칭 소자와 큰 Capacitor, Inductor Bank 등이 필요하여 비경제적이다.
- 시간별, 부하별 역률 변화에 순응하는 보상 한계가 있다.

4) SVC(Static Var Compensator)

<GTO 소자를 사용하여 무효전력을 보상하는 평형안정전원>

- GTO 스위칭시 발생하는 서지전압을 억제하는 스너버 회로의 설치로 회로가 매우 복잡하다.
- 필터와 리액터 보호 소자가 대용화할 필요가 있다.

5) STATCOM(Static Synchronous Compensator)

SAGCOM(Sags Compensator)

UPFC(Unified Power Flow Controller)

〈스위칭 주파수가 높은 IGBT를 이용한 전력품질보상기〉

- 순방향 전압을 아주 낮게 낮출 수 있다.
- 전압안정도를 개선할 수 있다.
- 위상지연을 보상할 수 있다.
- 고조파 전류의 필터링 기능이 있어 전압의 꺼짐, 부풀이 보상되고 역률이 보상되어 정전압 공급이 가능하다.
- 수전단 전압의 과도 변화시 무효 전력 제어로 필터를 작게 할 수 있고 동특성을 우수하게 할 수 있다.
- 최적 PWM pattern을 이용, 무효전력저장 소자의 크기를 작게 할 수 있다.

전력품질 개선 연구 분야

1) 전력공급시스템 구축

(1) 수용가 특성에 맞는 전력공급 시스템 구축

- 요구되는 전력품질 수준 설정
- 침투 부하 관리 및 에너지 관리 방안
- 대체 에너지 전원(분산전원)의 계통 연계 방안

(2) 전력공급시스템 확립기술

- 전력공급시스템 구조와 운영체제 확립
- 운영, 제어 알고리즘 개발
- 시스템 보호 협조 체제 확립

2) 설계, 제작한 전력공급설비와 시

험 평가 기술

- Digital Power Controller
 - Digital 보호 계전기 kits
 - 운전, 유지보수 software
 - 특고압, 저압별 custom power device
 - 연계설비, 측정설비
 - 시험 평가 기술
- 3) 전력품질 평가, 해석, 진단
- 전력 품질(Sags, Swells, Interruption etc) 평가 지수 확립
 - 측정 시스템과 기구 개발
 - 진단 해석 기술 개발
 - 수용가를 대상으로 한 전력품질 진단 컨설팅 사업망 구축

맺음말

산업 현장의 자동화 설비의 확장과 기기의 고정밀·고기능화, 그리고 사회의 디지털 문화는 무정전, 정전압 정격 주파수를 양질의 전력으로 평가 하던 전통적인 전력품질 보다는 순간적인 전압·전류 변화나 고조파 함유 정전조차도 허용치 않는 새로운 개념의 전력품질을 요구하고 있는 현실을 제시, 강조하였다.

고성능·고기능 기기와 정보통신기기에 요구되는 전원이 발전회사의 초기발전전력을 전력전자소자로 구성되는 변환장치로 변환하여 사용하게 되는데 아이러니컬하게도 변환장치에서 고조파가 발생하고 변환장치 자체는 고조파에 민감하여 전력품질에 영향을 주는 고조파에 대한 대책의 필요성

과 전력품질 저하요인과 새로운 개념의 전력품질 저하현상이 각종 부하에 미치는 영향을 제시하여 강조하였다.

우리나라가 기술 선도국, IT 산업 선도국으로 자리매김하려면 전력품질 기준 마련 개선할수 있는 전력공급시스템, 장치, 시험 기술, 측정 평가 기술 개발 등이 시급함을 강조하였다.

[참고문헌]

1. Math H.J.Bollen, "Understanding Power Quality Problems (Voltage sags and Interruptions", IEEE Press(New York) 2000

2. 이은용, "SVC 시스템을 사용한 무효전력 보상", 한국전력기술인협회지, 전력기술인(서울)9권 12월호, pp.15~20, 1997.12

3. 임수생, 이은용, "전력품질 개선의 필요성과 STATCOM", 대한전기학회지, 제 48권, 4호, pp.56~61, 1999.4

4. 김형준, 허성일, 김성희, 안복신, "Custom Power 기기의 개발현황", 대한전기학회지, 제 47권, 3호, pp.32~36, 1998.3

5. IEEE Std 1159, "Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", IEEE, 1995

6. 황병준, "PQM(Power Quality Monitoring) 시스템 운영 기술의 적용", 전기세계, 제 51권, 8호, pp.26~32, 2002.8