

전력품질과 전원대책

김 호 성

(공주대 전기전자공학부 교수)

1. 서론

현대사회의 복잡다양한 전원환경에서 전력품질에 관련된 문제가 상용전원의 일반 수용가 및 산업체에 물리적 경제적인 손해를 끼치는 사실이 밝혀지면서 전력품질은 최근들어 중요한 이슈로 부각되고 있다. 그림 1에 보이는 것과 같은 다양한 분산발전 계통에 따른 전원의 규정약화 및 비선형부하의 증가 등에 의한 비이상적인 회로 조건들은 현대사회의 배전계통망에서 전력 품질을 더욱 나쁘게 하고 있다. 한편 가변속구동(ASD; adjustable speed drive), 프로그래머블제어기(PLC; programmable logic controller), 산업용 로봇(industrial robot) 등의 현대의 전기/전자장비들은 전원전압의 품질에 매우 민감하게 동작한다. 더욱이 현대의 프로세스 제조업 계통은 위와같이 전원전압에 민감한 전기/전자 장비들에 깊이 의존하고 있다. 따라서 이와 같은 전력품질문제에 대처하기 위한 적절한 전력품질제어장비가 요구되고 있는 실정이다.

전력품질분야를 구성하는 기본주체로서는 전기공급자, 전기사용자 및 전력품질제어장치 제조업자의 3 주체를 생각할 수 있다. 전기공급자는 적은 생산비용으로 안정되고 좋은 품질의 전력을 사용자에게 공급하고자 한다. 이에 반하여 전기사용자는 가능한 적은 비용을 지불하여 안정된 고급품질의 전력을 사려고 할 것이다. 두 주체는 모두 가격에 관심이 있으나, 전기공급자는 전체전력의 안정도와 품질을 유지하면서 공급전력의 제조원가를 낮추는 것이 주요 관심사일 것이고, 전기사용자는 원하는 수준의 품질을 유지하는 전력을 사용하면서 전기공급자에게 지불하는 비용을 낮추는 것이 주요 관심사

가 될 것이다.

통상적으로 전력의 품질과 가격은 비례의 관계가 있으므로, 시장에서 물건을 구매 하듯이 전력을 구매할 수 있다면 일반적인 시장의 원리에 따라 각종 품질의 전력을 다양한 가격으로 구매하는 시장이 형성될 수 있을 것이다. 그러나, 일반적으로 전기공급자와 전기사용자는 1:n의 관계를 갖으며, 소수의 전기공급자는 제한된 계통망 내에서 다수의 전기사용자들의 모든 요구조건을 일일이 만족하는 다양한 품질의 전력을 공급하기에 어려운 면이 있다. 다시 말해, 전기사용자들은 전기공

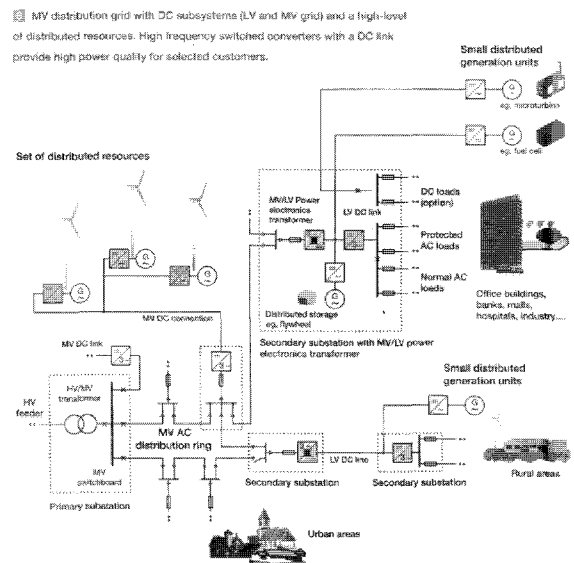


그림 1 분산발전계통을 포함하는 현대의 배전계통의 개념도

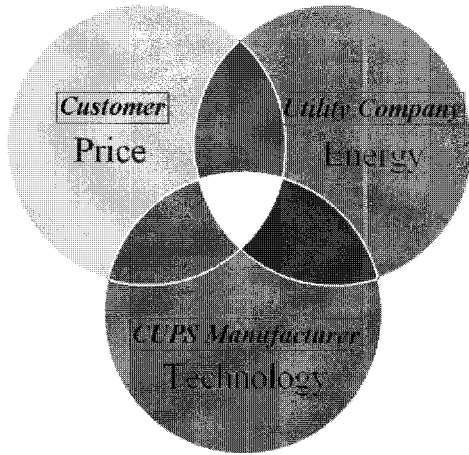


그림 2 전력품질 분야를 구성하는 3대 주체요소

급자가 제공하는 몇가지 제한된 종류의 전력상품만을 선택할 수 있을 뿐이며, 아무리 추가적인 비용을 지불한다고 해서 그에 걸맞는 높은 품질의 전력을 선택적으로 구입할 수는 없는 경우가 있다는 것이다.

이러한 시장상황에서 전력품질제어장치 제조업자의 역할이 필요하게 된다. 전력품질제어장치 제조업자는 수전점(point of common coupling; PCC)에서 공급되는 기본적인 전력의 품질과 특정 사용자가 원하는 전력품질의 차이를 기술에 의하여 극복하여 줌으로써 해당 특정 사용자로부터 기술비용을 받는다. 이때 보상된 전력품질과 그에 따른 기술비용은 비례의 관계에 있고, 전력품질제어장치 제조업자는 각각의 전기 사용자가 요구하는 전력품질 요구조건을 개별적으로 처리하여 줄 수 있으므로 자연스러운 시장원리에 의하여 전력품질 제어장치의 시장과 가격이 형성될 수 있다.

한편, 현대의 전력계통은 각종 비선형 부하 등, 비이상적인 부하조건에 의하여 전력품질이 영향을 받는다. 이에 대한 대책으로 전기공급자는 전기사용자 측의 부하조건에 계약역율 등의 규정을 두기도 하며, 때로는 규정에 위배된 전기사용자에게는 높은 범칙금(penalty)을 부과하기도 한다. 만일 전력품질보상장치 제조업자가 어떤 특정 전기사용자가 지불할 것으로 예상되는 범칙금보다도 적은 비용으로 수전점에서 해당 전기사용자 측의 부하조건을 개선시킬 수 있는 기술을 제공할 수 있다면, 해당 전기사용자는 기꺼이 전력품질보상장치 제조업자에게 기술비용을 지불하게 될 것이다. 이렇게 전기사용자 측의 전력 품질을 개선 시키거나 부하환경을 개선시키는 기기를 총칭하여 custom power system(CUPS)라고 부르기도 한다.

다른 한편, 현대에 들어서는 특정 수준의 전기사용자 그룹에게 보다 좋은 품질의 전력을 공급하기 위하여 전기공급자

가 자체적으로 전력품질제어기기를 설치하는 연구도 적극적으로 진행중이고, 취약한 전원그리드를 보상하기 위하여 자체적으로 전력품질보상기기를 설치하여 운영하기도 한다. 본 란에서는 전력품질의 개선에 관련한 이러한 기기들을 총칭하여 전력품질기기로 부르기로 한다.

전력품질은 전류품질과 전압품질로 분류하여 생각할 수 있다. 전압품질이 기본적으로 전기공급자가 전기사용자에게 확보해 주어야 할 전원환경의 과제라고 한다면, 전류품질은 전기사용자가 타 전기사용자나 전기공급자에게 불필요한 영향을 주지 않기 위하여 취해야 할 전원환경의 과제라고 할 수 있을 것이다. 그러나 전압품질의 책임이 항상 전기사용자에게만 있는 것은 아니며, 반대로 전류품질이 항상 어떠한 특성의 전기사용자에게만 있는 것이 아니라는 점이 수전점에서 전력품질의 책임을 가리기가 어려운 면이기도 하며, 전력 품질을 개선하는 기술의 적용에 있어서 신중히 고려해야 할 점이기도 한다.

2. 전력 및 전력품질의 정의

전력품질이라는 용어는 상당히 모호하고 쓰는 사람마다 의미가 다를 수 있으며, 때론 잘못 사용되기도 한다. 전력품질이란 무엇인가? 전력품질의 어떤현상이 중요하며 그 이유는 무엇인가? 전기사용자와 전기공급자에게 미치는 전력품질의 영향은 무엇인가? 전력품질기에서 성취해야 할 기술적 수준은 어떠한 것들이며, 그 중에 꼭필요한 것들과 그렇지 않은 것들은 무엇인가? 이러한 질문에 대한 실마리를 찾기 위하여 전력 및 전력품질에 관련한 정의의 역사에 대하여 살펴보는 것이 도움이 될 것이다.

Budeanu⁽¹⁾가 처음으로 주파수영역에서 단상 정현적 전압 전류의 조건에서 유효전력과 무효전력을 정의한 이래 무효전력은 전력계통에서 전력손실을 가져오는 무익한 전력요소로 간주되어 왔다. 반면에 유효전력은 정현적인 단상 계통에서 전압과 전류의 순시곱의 평균값으로서, 수전점에서 실제의 전력전달을 가져오는 유익한 전력요소로 인식되어 왔다.

단상계통에서 피상전력은 정현적인 전압과 전류의 실효값(RMS)의 산술곱으로 정의되었고, 무효전력은 피상전력으로 부터 유효전력을 기하학적 뺄셈에 의하여 정의 하였다. 이러한 정의는 무효전력이 에너지의 전달에 기여하지 못하며, 수전점에서 계통의 전압과 전류의 실효값만을 증가시키는 역할을 한다는 의미를 내포한다. 만일 무효전력이 제로가 된다면 계통의 피상전력은 유효전력값으로 최소화될 것이다.

이러한 정의가 정현적인 단상계통에서는 수식적으로 명백하며 물리적 의미를 갖지만, 전원계통이 다상화되고, 비정현적인 왜곡, 불평형, 비선형 부하 등의 비 이상적인 회로조건을 만나게 되면 더 이상 수식적으로 명백하고 물리적으로 의

미를 갖지 못하게 된다^(2,3). 이러한 현대의 비이상적이고 다상화된 전력계통에서 전력 품질을 정의하고, 그에 따른 보상 전력을 계산하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 전력 품질을 정의하는 연구는 에너지 전달에 기여하는 유효 전력을 기준으로 하여 전력 전달에 기여하지 않는 전력 성분들을 주파수 영역에서 직교적으로 정의하며, 그렇게 정의된 직교적 성분의 무효 전력 항들이 회로의 비이상적 조건들을 정성적 정량적으로 대표할 수 있도록 하는 것이었다. 그러나 많은 연구자들의 시간과 노력에도 불구하고 아직까지 국제적으로 인정된 무효 전력의 정의는 Budeanu의 정의 수준을 넘지 못하고 있어서, 다상화 되고 비이상적인 현대적 전원 환경에서의 전력의 정의에는 한계가 있는 실정이다⁽⁴⁻¹²⁾.

이와 달리, 보상 전력을 계산하여 수전점에서 유효 전력만을 공급받도록 하는 연구에는 많은 발전이 있어왔다. 보상 전력의 계산에 관한 연구는 크게 나누어서 주파수 영역에서의 계산 방식과 시간 영역에서의 순시적인 계산 방식으로 연구가 진행되어 왔다. 주파수 영역에서의 보상 전력 계산 방식은 시간지연 문제에 따른 제어동특성의 저하가 문제가 되었으나⁽¹³⁻¹⁵⁾, 시간 영역에서 순시적으로 보상 전력을 계산하는 방식은 우수한 제어 특성이 확보되어 연구에 많은 발전이 있었다⁽¹⁶⁻¹⁸⁾. 본 글의 필자는 PQR 변환에 의한 순시 전력 이론을 통하여 시간 영역에서의 보상 전력 계산과 주파수 영역에서의 전력 품질의 정의를 모두 포괄하는 이론을 발표한 바 있다⁽¹⁹⁾.

PQR 변환에 의한 순시 전력 이론에 의하면 일반적인 3상 전력계통은 그림 3과 같이 시간 영역에서 3개의 단상화된 전력 회로의 합으로 등가화 되므로, 단상과 3상에 걸쳐 일관된 전력의 정의 가능하며 3의 자유도로 전력 보상을 할 수 있다. 또한 주파수 영역에서는 단상이나 3상에서 일관되게 그림 4와 같이 유효 전력(active power), 상호 전력(interactive power), 교번 전력(alternating power) 으로 3개의 직교적인 전력 성분으로 구분하여 전력을 정의 할 수 있으며, 비이상적

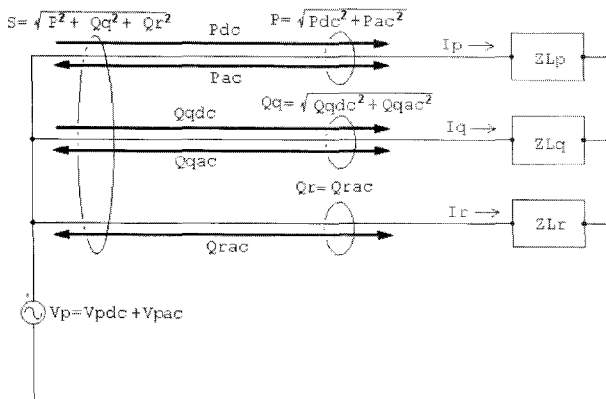


그림 3 PQR좌표계에서 구성되는 3상 계통의 회로 모델

인 회로 조건에 따라 좀더 세부적인 전력 성분들을 정의 할 수 있어서 수전점에서 전력 품질의 책임 문제를 평가할 수 있는 가능성을 제시하고 있다^(20,21). 표 1은 PQR 변환에 의한 순시 전력 이론에 의하여 정의 될 수 있는 다양한 전력 품질 평가 함수의 예를 보인다.

결론적으로 볼 때, 전 세계적으로 공감할 수 있는 전력 품질의 정의를 위하여는 많은 연구자들의 노력이 더욱 요구 되며, 아직까지는 전력계통의 현상들을 물리적으로 계량화 할 수 있는 전력 품질의 정의 대하여는 결론이 나지 않은 상태

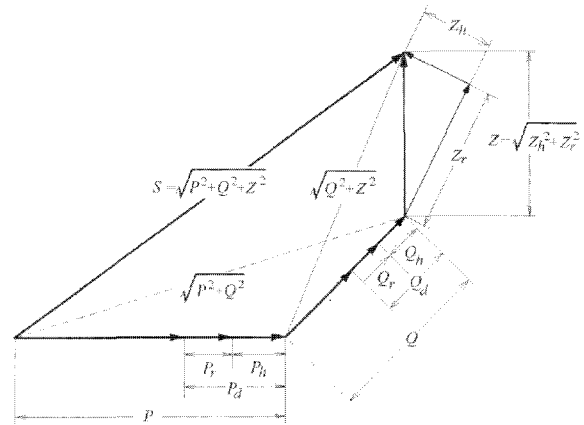


그림 4 PQR 좌표변환에 의하여 정의되는 전력요소들

표 1 PQR 좌표변환에 의하여 정의 가능한 전력 품질 평가 인수의 예

Definition	Description
$DISF \equiv P_f / \sqrt{P_f^2 + Q_f^2}$	Fundamental displacement factor in three-phase systems.
$DISF \equiv \frac{P_{1f}}{E_{p1} \cdot I_{p1}} = \cos \Phi_{p1}$	Fundamental displacement factor in single-phase systems.
$APDF \equiv P_d / P_f$	Active power distortion factor.
$APRF \equiv P_r / P_f^*$	Active power reverse factor.
$APHF \equiv APDF - APUF$	Active power harmonic factor.
$TPDF \equiv \sqrt{P_d^2 + Q_d^2 + z^2} / S$	Total power distortion factor.
$TPUF \equiv \sqrt{P_r^2 + Q_r^2 + z_u^2} / S^*$	Total power unbalance factor.
$TPHF \equiv \sqrt{P_h^2 + Q_h^2 + z_h^2} / S$	Total power harmonic factor.
$FPTF \equiv P_f / S$	Forward-seq. power transfer factor.
$TPTF \equiv P / S$	Total power transfer factor.

* : This factor is not defined in single-phase systems.

이다. 따라서, 전력품질문제를 다룰 때 현재로서는 전압에 의한 현상과 전류에 의한 현상을 따로이 접근 할 수 밖에 없다고 사료된다^[22].

A Power Quality problem is "any power problem manifested in voltage, current, or frequency deviations that results in failure or misoperation of customer equipment."

지금까지 수립되어 온 전력품질에 관련된 기준이나 규정도 전압의 품질과 전류의 품질에 관한 규정으로 양분되어 있는 것을 인식할 필요가 있다. 또한 현대의 전자기기 및 전력변환 장치로부터 발생하는 높은 주파수 대의 노이즈에 따른 전력 품질 문제에 대하여는 EMI/EMC 규정 등과 같은 별개의 규정이 수립되고 있다.

3. 전력품질의 배경

3.1 전력품질조사

전력품질문제는 최근 반세기 동안에 주요한 이슈로 대두하였다. 가장 초기의 전력품질 조사로는 1969년부터 1972년 사이에 IBM에 의하여 수행된 조사가 있었고^[23], 이어서 1977년부터 1979년 사이에 AT&T에서 수행한 조사가 있다^[24]. 매우 제한된 성능을 가진 4대의 전력품질 측정장비를 사용하여 29개 사이트의 전력 품질을 조사한 IBM에 비하여 AT&T에서는 24대의 측정장비를 사용하여 24사이트의 전력 품질을 조사하였다. 그후 1984년부터 1988년까지 5년간 미국의 인디애나주의 산업체를 대상으로 수행한 전력품질 조사에서는 정격전압의 85%~90%에 해당되는 순시전압저하(voltage sags)가 전원사고를 야기하는 주요 요인으로 분석되었다^[25].

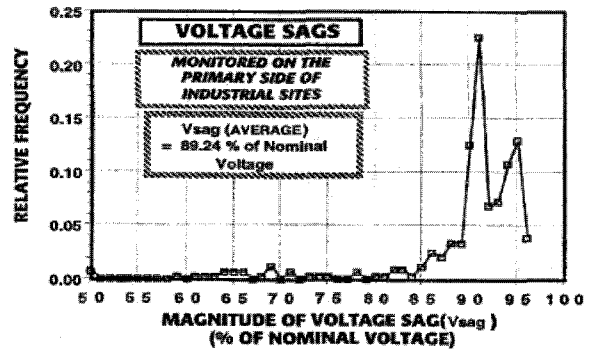
1990년부터 1994년까지 5년간 북미의 112사이트에서 1057 사이트-월(site-month)에 걸친 전력품질 조사는 ANSI C84.1-1989와 Computer and Business Equipment Measurement Association(CBEMA) 커브로 분석되었으며, 매 사이트의 년중 사고 시간은 6.17 시간으로 분석되었다. 이 조사에서 전원사고는 low RMS events, high RMS events, Transients, 그리고 Interruptions으로 분류되었다. Transients가 전체 사고의 60%를 차지한 반면 Interruptions는 전체 사고의 1%정도였다. Transients는 대부분 보상용 커패시터를 고전압측에 접속할 때 발생하는 capacitive switching operations에 의하여 야기되었다. 전체 사고의 26%는 low RMS events에 의하여 야기되었으며 13%의 사고는 high RMS events에 의하여 발생되었다. 대부분의 low RMS events(90%)는 1분 이내에 종지된 반면, 4%의 low RMS events 사고 만이 30분 이상 지속되었다.

1991년부터 1993년까지 3년간 Canadian Electrical Association(CEA)는 22 사이트를 대상으로 "캐나다 국가 전

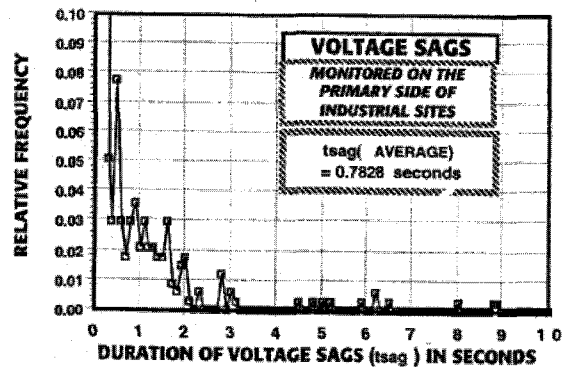
력품질 조사"를 수행 하였다^[26]. 이 조사에서는 순시전압저하와 서지가 가장 빈번히 발생하는 전원고장이었다. 전원고장은 수전점의 1차측 보다는 2차측에서 더욱 빈번히 발생하였다. 발생된 순시전압저하의 크기 및 지속시간의 발생 빈도는 그림 5와 같은 특징을 보였다.

미국의 Electric Power Research Institute(EPRI)는 1993년부터 1995년에 걸쳐 24곳의 배전간선의 277대의 측정장비를 설치하여 전력 품질을 조사하였다^[26]. 측정된 자료는 Std. 1159-1995, Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality에 따라 sags, swells, interruptions, under-voltages, 및 over-voltages 의 5가지의 고장으로 분류 되었다. 이 조사에서 순시전압저하의 발생빈도와 크기는, $Sag\ rate = V/10(1-V)^{1.25}$ (단 $0.10 < V < 1.90$), 로 분석이 되었다. 표 2에 EPRI의 전력품질 조사에서 정리한 순시전압저하 자료를 보인다.

1996년부터 1998년에 걸쳐 덴마크의 ELFOR전기회사는 200곳의 배전계통에서 전력 품질을 조사하였다. 조사된 자료는 EN50160 및 IEC 1000-3-2, 그리고 CBEMA3 커브로



(a)



(b)

그림 5 Canadian Electrical Association(CEA)에 의하여 수행된 조사에서 나타난 순시전압강하와 지속시간의 발생빈도; a) 크기, b) 지속시간^[26]

표 2 EPRI의 전력품질 조사에서 정리한 순시전압저하 통계(Adapted from IEEE Standard 1346: 1998)

Magnitude	Duration time in seconds					Total
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	0.8<	
80%~90%	35.9%	5.6%	2.4%	1.0%	4.2%	49.0%
70%~80%	15.3%	1.4%	0.8%	0.4%	1.0%	18.9%
60%~70%	7.8%	1.2%	0.4%	0.2%	0.4%	10.0%
50%~60%	4.6%	0.8%	0.2%	0.2%	0.2%	6.0%
40%~50%	2.8%	0.4%	0.2%	0.2%	0.2%	3.8%
30%~40%	2.0%	0.4%	0.2%	0.0%	0.2%	1.9%
20%~30%	0.8%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	1.2%
10%~20%	0.8%	0.2%	0.2%	0.0%	0.2%	1.4%
0%~10%	2.0%	0.6%	0.2%	0.0%	4.2%	7.0%
Totals	71.9%	10.8%	4.8%	2.0%	10.6%	100.0%

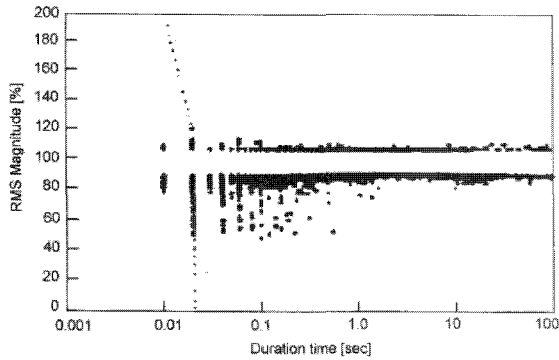


그림 6 1996년부터 1998년간 덴마크의 200 곳의 배전망에서 측정 한 전력품질 자료의 CBEMA³ (ITIC) 커브 분석 결과^[31]

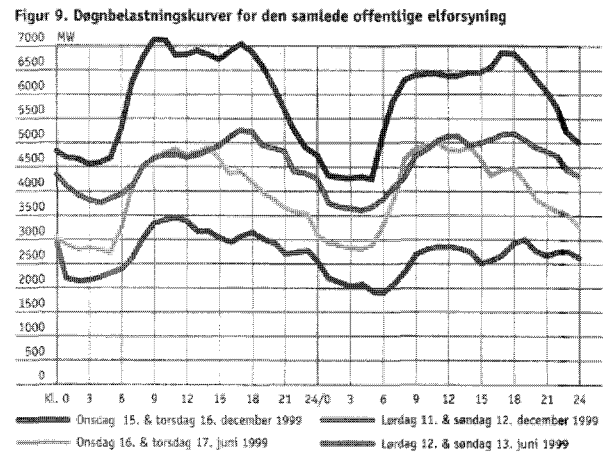


그림 7 1999년도 덴마크의 일일전력 사용량

분석되었다. 전원품질은 flicker, total harmonic distortion (THD), sag and swell, unbalance, dc voltage, 그리고 transients로 분류 되었으며, 그 중 순시전압저하가 가장 빈번히 발생된 문제였다. 그림 6에 덴마크의 Elfor사에서 조사한 전력품질 자료의 CBEMA³ (ITIC) 커브에 따른 분석 결과를 보인다^[31].

그림 6의 덴마크의 배전망에서 발생하는 전압품질 분석결과를 보면 아주 특징적인 면이 있다. 즉 약 80%~90%사이의 저전압 현상이 두드러지게 많이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 풍력발전 및 열병합 발전 등의 분산발전 계통이 전체 소비 전력의 40%이상을 차지하는 덴마크 전력계통의 특수성에 있다. 덴마크는 풍력발전, 열병합발전 등 분산발전형태의 재생 에너지 발전을 장려하는 정책을 쓰고 있어서 분산발전계통을 소유한 개별 전기사용자는 자체적으로 사용하고 남은 잉여전력을 임의의 시간에 계통에 접속하여 고가에 판매한다.

그림 7은 1999년도 덴마크의 일일전력 사용량 자료를 보인다^[32]. 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이, 각 전기사용자의 분산발전계통은 요구전력이 피크인 기간에는 자가발전으로 운전되며, 요구전력이 적은 시점에서 임의로 주 전원계통에 접속하여 전력을 판매할 것으로 예상된다. 다시 말해, 분산 발전계통은 하루에 두 번에 걸쳐 주전원 계통에 접속을 시도할 것이며 그에따라 순시전압 상승 및 순시전압 저하 현상이 발생될 것으로 예측된다. 이와 같은 상황은 분산발전이 확산되고 있는 현대의 전력환경에서 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

3.2 전압품질 규정

2장의 결론에서 언급한 바와 같이 현재로서는 계통에서 발생하는 전압현상과 전류현상간의 상호연관된 현상이 전력품

질에 미치는 영향에 관하여는 명백한 분석이 어려운 기술적 수준에 있으며, 그에 따라 전력품질의 규정도 전압에 관한 규정과 전류에 관한 규정으로 나뉘어 수립되어왔다. 전압품질 문제는 순시전압저하 및 상승(voltage sags/swells), 저전압 및 과전압(under/over voltage), 정전(interruption), 과도 현상(transient), 고조파 왜곡(harmonic distortion), 그리고 노이즈(noise) 등 전압파형의 변형에 따른 사용자 장비의 오동작이나 고장을 야기시키는 원인들을 다룬다. 전압품질 규정은 미국과 유럽에서 주도적으로 주창되고 수립되어 왔으며 그 내용은 거의 비슷하다 할 수 있다. 표 3에 유럽의 CENELEC에서 제정된 전압품질 규정인 EN50160을 간추린 내용을 보이며^[33], 이는 미국 IEEE 표준 위원회에서 규정한 내용과 거의 일맥 상통함을 알 수 있다^[34].

3.3 전류품질규정

전기에너지에 대한 의존도가 급격히 증가하는 현대에 들어서서 전기사용자 측의 비선형 부하가 증가함에 따라, 배전망에서 전기사용자의 전류왜곡에 따른 전압의 왜곡 등 전원 장애 문제가 증가하게 되었다. 비선형 부하는 교류전원계통에 펄스형태의 전류를 흐르도록 함으로써 배전망의 선로임피던스 등과 결부하여 펄스형태의 전압강하를 유도함으로써, 정현파 형태의 전류만을 공급하던 기존의 배전망에서는 볼 수 없었던 전압의 왜곡이나 공진 등의 전압품질 문제를 일으키

게 된다.

전압이 왜곡된 버스에 컴퓨터나 programmable logic controller(PLC) 등과 같이 전압파형에 민감한 부하가 접속되어 있는 경우, 불의의 트립사고나 오동작으로 인한 중대한 사고의 파급이 일어날 수 있다. 배전용 변압기의 경우 왜곡된 전압은 운전 손실의 증대를 가져와서 변압기를 과열시키고 수명을 줄이는 원인이 되기도 한다. 경우에 따라서는 배전계통에서 발생한 5차 및 7차 전압고조파가 이웃의 배전계통에 공진을 야기하여 배전용 변압기를 파괴시키는 일이 발생하기도 한다.

그러나 수전점에서 부하측으로 인입하는 전류 파형의 왜곡에 대한 책임이 모두 해당 수전점의 전기사용자에게만 있는 것은 아니며, 공통 버스 상에 있는 이웃의 다른 전기사용자의 비선형부하로 인하여 왜곡된 전압이 원인이 될 수도 있다. 또한 이웃의 전기사용자가 전류의 왜곡을 야기시키더라도 배전망의 회로조건에 따라 공통 버스에 미치는 전압왜곡에는 매우 큰 차이가 있을 수 있다. 따라서 수전점에서 전기사용자가 지켜야 할 전류왜곡에 대한 규정을 일률적인 값으로 정하는 것은 합리적이지 않다고 할 수 있다.

전기사용자가 지켜야할 부하전류의 품질에 대한 규정도 미국과 유럽에서 주도적으로 주창되고 수립되어 왔으나 전력계통의 여러가지 회로조건에 따른 체계적인 책임의 분석은 아직 이루어지지 않고 있으며, 다만 배전망에서 전류의 왜곡의

표 3 EN50160 규정의 요약

Items		Typical spectrum	Typical duration	Typical voltage magnitude	Standard IEEE EN
Transients	Impulse	5ns-0.1 ms	50ns-1 ms	<6kV	9
	Oscillating	<5k-5MHz	0.3-50 ms	0-4 pu	
Variations (short)	Interruption		0.5-30cycle	<0.1 pu	6
	Dip(sag)		0.5-30cycle	0.1-0.9 pu	5
	Swell		0.5-30cycle	1.1-1.8 pu	8
Variations (medium)	Interruption		3 s-3 min	<0.1	6
	Dip(sag)		3 s-1 min	0.1-0.9 pu	5
	Swell		3 s-1 min	1.1-1.2 pu	8
Variations (long)	Under voltage		>1 min	106-120%	3
	Over voltage		>1 min	80-90%	
Voltage unbalance			Steady	0.5-2 %	10
	Harmonics	2-40 th	Steady	0-20 %	11
	Interharmonics	0-6 kHz	Steady	0-2 %	12
	Noise	Broad band	Steady	0-1 %	
Voltage fluctuation(flicker)		<25 Hz	Intermittent	+ -5 %	41
Frequency variation		50 Hz	<10 s	1 %	1

표 3 IEEE Std. 519-1992에 따른 전류품질 규정

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc} / I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD = I_H / I_L
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

I_{sc} = Maximum short-circuit current at PCC

I_L = Maximum demand load current(fundamental frequency component) at PCC

$$I_H = \sqrt{\sum_{h=2}^{25} I_h^2}, I_h : h_{th} \text{ order harmonic current}$$

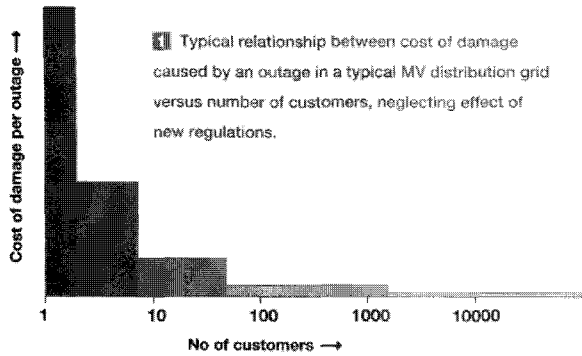


그림 8 MV급 배전망에서 전원장애에 의한 피해를 당한 사용자의 숫자와 피해액의 관계^[38]

크기를 일률적이고 정량적으로 제한하는 정도이다. 표 4는 수전점에서 전기사용자가 지켜야할 전류왜곡에 대한 미국의 IEEE 규정 예를 보인다^[35].

4. 전력품질 대책

4.1 전원사고에 따른 비용

저질의 전력으로 인하여 발생하는 사회적 비용은 물리적 손상, 혼란, 그리고 경제적인 손실의 형태로 나타난다. MV급 배전망에서 전원장애에 의한 피해를 당한 사용자의 숫자와 피해액의 관계는 반비례적인 특징을 갖는다^[38]. 미국의 대형 제조업체에서 순시정전 사고에 따른 피해는 최대 약 10만불 정도에 이르는 것으로 추산되며^[39,40], 프랑스의 경우 순시정전 사고를 당한 사용자 중의 약 17%가 10만프랑 이상의 경제적 피해를 당한 것으로 보고되었다^[41]. 표 4에 전압품질에 민감

표 4 전압품질에 민감한 공정분야^[39]

Industry Class	Industrial Process
Continuous Process	Paper, fiber and textile factories
	Plastics extruding or molding plant
Precision machining	Automobile parts manufacturing
	Large pump forging factories
High-technology products and research	Semiconductor manufacturing
	Large particle physics research centers
Information technology	Data processing centers
	Bank
	Telecommunications
Safety and security related	Broadcasting
	Hazardous process
	Chemical process
	Hospital and health care facilities
	Military installations
	Power plant auxiliaries
	Large transmission substations

한 공정분야를 보이며, 표 5는 전압품질에 주도적인 영향을 미치는 순시전압저하에 민감한 기기들의 안정운전조건을 보인다^[42]. 표 5에 의하면 80%의 크기를 갖는 순시전압저하가 약 1~2사이클 동안만 발생해도 민감한 기기들은 오동작 할 가능성이 있다.

4.2 전력품질 대책의 기본개념

전력품질 대책에는 두 가지 접근 방식이 있다. 한 방식은 사용자의 장비가 전력품질에 덜 민감하도록 하여 외란에 견디

표 5 순시전압저하에 민감한 기기의 안정 운전 조건(최대정전시간, 최소전압)
(Source: IEEE Standard 1346: 1998)

Equipment	Voltage Tolerance		
	Upper Range	Average	Lower Range
PLC	20ms, 75%	260ms, 60%	620ms, 45%
PLC Input Card	20ms, 80%	40ms, 55%	40ms, 30%
5 Hp ac Motor Drive	30ms, 80%	50ms, 75%	80ms, 60%
Ac Control Relay	10ms, 75%	20ms, 65%	30ms, 60%
Motor Starter	20ms, 60%	50ms, 50%	80ms, 40%
Personal Computer	30ms, 80%	50ms, 60%	70ms, 50%

도록 하는 것이다. 다른 한 방식은 전력품질기기를 설치하여 외란을 억제하거나 외란에 대응하도록 하는 것이다. 두 가지 방식의 경우에 있어서 성능의 평가는 모두 전력품질 규정에 근거하게 된다. 전력품질 대책에 대하여 이해하기 위하여 외란에 대한 규정의 수립과정을 다음과 같이 설명할 수 있다.

양립(Compatibility) 외란수준 : 전력계통망 전체에 걸쳐서, 모든 외란발생(emission)과 이를 견디어야 하는 모든 장비의 외란내력(immunity) 양쪽에 대하여 통계적으로 전자파 적합성(EMC)을 맞추어주기 위하여 전체적인 관점에서 계통 전체에 대하여 양쪽의 통계적 자료로 조정된 기준이 필요하다. 이러한 외란의 수준은 계통의 모든 공간 및 시간에 대하여 확실적인 분포가 양쪽 모두 95% 이상이 되는 수준으로 정해야 한다. 이러한 전체적인 관점에서의 통계적인 허용수준은 전기공급자가 임의의 시간에 전력망의 모든 장소의 외란을 일일이 통제할 수는 없기 때문에 필요하다. 양립외란수준이 실제로 간섭을 일으키는 외란의 수준과 얼마나 일치하는지 정확히 평가하는 것은 전력망 전체를 대상으로 해야 하기 때문에 물리적으로 거의 불가능하다. 따라서 양립외란수준에 따른 실제적인 평가방법은 없으며, 다만 계통의 전체적인 기준으로 가늠해 볼 뿐이다.

전압특성 : 예를 들어, 표 3에 보인 바와 같이 EN50160 규정에서는 유럽의 전기사용자측에서 관찰되는 공급전압의 외란 특성을 기술하고 있다. 이러한 특성 중의 일부는 계통전체에 걸쳐 적용되는 실질적인 전압규정이 되고있다. 이러한 전압의 외란 수준들은 양립적 외란수준보다 조금 더 높거나 같다. 전력망의 임의의 점에서 계통전압의 실제 특성을 평가하기 위하여는 시간통계적 자료가 필요하다. 예를 들어 고조파 전압의 경우, 1주일의 측정 기간중에 매 10분마다 측정된 실효값의 95%가 기준값을 넘지 않아야 한다.

설계(Planning) 외란수준 : 설계외란수준은 전력계통망에 연결되어 있는 모든 전기사용자들에게 미치는 영향을 평가하기 위한 설계에 사용된다(IEC publications 61000 36 and

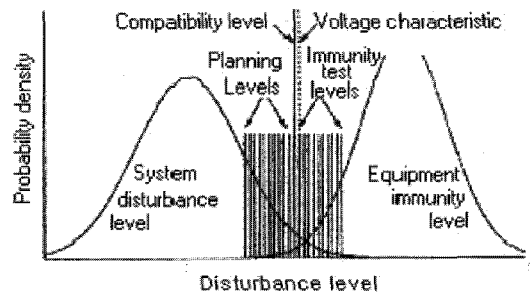


그림 9 전체 계통망에서 시간 및 공간상의 통계자료에 의한 전압 품질 개념

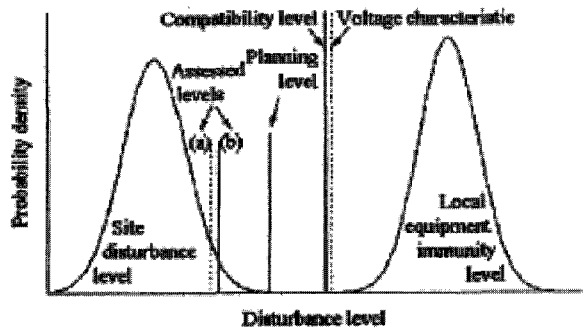


그림 10 어떤 사이트의 PCC에서 시간 통계자료에 의한 전압품질 개념

61000 37). 설계외란수준은 전기공급자의 전력계통망 내의 모든 위치에서의 전압수준을 전력품질 목표치내로 들어오게 하기 위하여 전기공급자에 의하여 수립된다. 이들은 양립외란수준보다 낮거나 같다. 각각의 계통망의 구조 및 환경에 따라 목표수준이 달라질 수 있기 때문에, 단지 지참적인 값이 국제적으로 추천되고 있을 뿐이다. 설계외란수준에 대하여 실제의 외란수준을 평가하는 것은 역시 시간적인 통계에 의존하며, 실제의 외란수준은 설계외란수준보다 높게 나타는 경

향을 보아 계통망에 요구되는 설계외란수준이 더욱 강화되어 야함을 알 수 있다. 따라서 미래의 계통망과 외란형 부하를 고려할 때, 전압특성보다는 설계외란수준에 대한 개념이 더욱 중요성을 갖는다고 할 수 있다.

그림 9 및 그림 10은 전기공급자측의 외란발생과 전기사용자측의 외란내력의 통계자료에 관련한 전압품질 대책의 기본 개념을 보인다.

전체적인 관점에서 조사된 전력계통망의 외란에 대한 통계자료인 그림 9를 볼 때 공급자측의 외란발생과 사용자측의 외란내력이 겹치는 부분이 있으므로, 외란에 의한 전원장애가 언젠가는 반드시 발생하게 되어 있다. 앞에서 살펴 보았듯이 설계외란수준은 계통의 운영자에 의하여 양립외란수준보다 낮거나 같도록 설정되지만, 전압특성은 항상 양립외란수준보다 같거나 조금 높게 나타난다. 외란내력에 대한 테스트는 전기공급자와 사용자 간에는 관련된 규정에 따르게 되고, 전력품질기기 제작자가 개입된 경우는 사용자와 제작자간의 합의에 따르게 된다.

전력계통망 내의 대부분의 위치에서는 그림 10에 보인 것처럼 외란발생과 외란내력이 겹치는 부분이 아주 작거나 없

다. 따라서 사용자의 전기기기들은 통상적으로 안정적인 운전이 가능하게 된다. 그러나 그림 9에서와 같이 공급자측의 외란발생과 사용자측 기기의 외란내력이 겹치는 경우가 발생

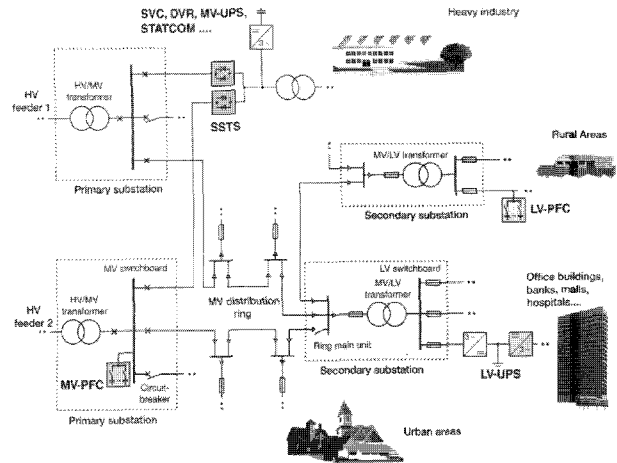


그림 11 배전망에서 전력품질기기의 사용에⁽⁴⁴⁾

표 6 다양한 전력품질 문제에 대응하는 전력품질기기 ⁽⁴⁴⁾

Devices	Sags	Swells	Under vtg.	Over Vtg.	Interruptions	Fluctuations	Harmonics	Notches	Transients
SA									○
BESS	○	○	○	○	○	○			○
DSTATCOM			○	○		○			○
DSC			○			○			
DUPS	○	○	○	○	○	○			○
DVR	○	○				○			○
PFC			○	○			○		
SMES	○	○	○	○	○	○			○
SETC	○	○	○	○					
SSTS/MTS	○	○			○				
SSCB					○				
SVC	○	○	○	○		○			
TSC			○						○
UPS	○	○	○	○	○				
APF(TF)							○	○	○

여기서, SA: Surge Arrester
 BESS: Battery Energy Storage System
 DSTATCOM: Distribution STATIC synchronous COMPensator
 DSC: Distribution Series Capacitors
 DUPS: Dynamic Uninterruptible Power Supply
 DVR: Dynamic Voltage Restorer
 PFC: Power Factor Controller
 SETC: Static Electronic Tap Changer

SMES: Super Conducting Magnetic Energy System
 SSTS: Solid State Transfer Switch
 MTS: Medium voltage static Transfer Switch
 SSCB: Solid State Circuit Breakers
 SVC: Static Var Compensator
 TSC: Thyristor Switched Capacitor
 UPS: Uninterruptible Power Supply
 APF: Active Power Filter.

하는 경우, 사용자는 언제 발생할 지 모르는 전원사고에 따른 피해비용을 감수 하든지, 아니면 전력품질기기 제작자로부터 기술지원을 받아 자체적으로 PCC에서의 설계외란수준을 낮추거나 전기기기의 외란내력을 높이는 등의 조치를 취해야 할 것이다.

4.3 전력품질기기의 종류

최근들어, 대전력 반도체 스위치의 가격이 빠른 속도로 감소함에 따라 전력자기술은 전력품질의 개선을 필요로 하는 거의 모든 분야에 경제적인 수단으로 등장하게 되었다. 그림 11은 배전망에서 전력전자 기술에 의한 전력품질기기의 사용 예를 보인다^[44].

전력품질 목적에 따라 다양한 전력품질기기가 개발되어 왔다. 그 중에 대표적인 것들을 열거하면 표 6과 같다^[44]. 표 7은 전력품질기기의 설치운영 예를 보인다.

4.4 전력품질기기의 경제성 검토

전력품질기기의 기술적인 궁극적 목표는 unified power quality controllers(UPQC)의 개념이라 할 수 있다. 그러나 UPQC의 성능은 부하정격에 대한 변환기의 크기 및 변환기의 제어특성과 밀접히 관련되어 있다. 이는 좋은 전력 품질을 확보하기 위하여 그만큼 경제적인 비용의 지불이 요구된다는 점을 시사한다. 따라서 전력품질기기의 설치에 있어서, 전력 품질 목표와 투자비의 비율을 고려하는 경제성의 검토가 요

표 7 전력품질기기의 설치운영 예

Year	Manufacturer	Customer/product	Disturbance	Mitigation Devices
	BC Hydro STATCOM, Canada	Sawmill & log chipper	Voltage flicker	STATCOM: 2 MVA/25 kV
	American Electric Power STATCOM, USA	Combined rock crusher	Power factor & Voltage flicker	STATCOM: 2 MVA/ 12.47 kV Cap. Bank: 2 MVArc
1994	PSE&G SSVR, USA	Test equipment	Voltage sags	DVR: 1.2MVA, 50% voltage
1996	Duke Power DVR, USA	Orian Rug Co. plant/ yarn mill, weaving mill	Voltage sags	DVR: 2 MVA/ 12.47 kV (50%) Energy Storage: 600 kJ
1997	Powercor, Ltd. DVR, Australia	Bonlac Foods Ltd. Milk, powder milk, cheese	Voltage sags	DVR: 2MVA/ 22 kV (40%) Energy Storage: 600 kJ (ride through 25 cycles)
	Scottish Power DVR, Scotland	High quality paper for commercial publishing industries	Voltage sags	DVR: 4 MVA/11 kV(46%) Energy Storage: 800 kJ
1983	Manufacturers in Japan	subway in Sapporo, Japan	4 TH current harmonics	First installed APF: 200kVA/ CS type GTO inverter
1983~ 1998	Manufacturers in Japan	Customers in Japan/ ASDs, office building, factory	Flicker and Current harmonics	550 APFs (more than 50% is under 200kVA)
1995	EDF distribution networks, France	Test equipment: Carrier Signal Solution to receive accurate tariff signals	Interference with the frequency of 175/188 Hz	Series Active Filter: 6 MVA, Selective 175 Hz/188 Hz Capacitor bank: 2.4 MVar on each bus
1995	GE and GNB, USA	GNB Battery Recycling Plant, Vernon, California	Interruptions Peak power	BESS : 5 MVA, 2.5 MWh, 4160V, transition time<10 sec
1995	PowerDigm SystemSM, Inc. USA	Baltimore Gas & Electric Company	Voltage Sags	MVSTS: 13.8 kV/ Preferred/Alternate rate: 600A and 18 kA
1996	PowerDigm SystemSM, Inc. USA	CONDEA Vista Company	Voltage Sags	MVSTS: 15 kV, 600A, 9 kA
1996	PowerDigm SystemSM, Inc. USA	Ford Motor Company for Detroit Edison (DECO)	Voltage Sags	MVSTS: 15 kV, 600A, 9 kA

표 8 전력품질기기의 경제성 검토⁽⁴⁵⁾

Technology	Expected Savings (US\$)	Cost of Solutions (US\$/kVA)	Total Solution Cost (US\$)	Annual Operating Cost (% of total cost)	Total Annual Cost (US\$)	Benefit/Cost Ratio
SSTS	220,000	60	240,000	5%	74,400	2.96
DVR	410,000	300	1,200,000	5%	372,000	1.10
UPS	540,000	800	2,400,000	25%	1,224,000	0.44
MES	515,000	800	2,400,000	15%	984,000	0.52

구된다. 표 6에 열거한 전력품질기기 중에서 플리커나 고조파를 발생시키는 부하측의 전력 품질을 개선하기 위한 병렬형 전력품질기기로서는 DSTATCOM이 가장 경제성이 있는 것으로 알려져 있다.

이와달리 표 8에 보인 검토예와 같이, 순시전압강하 사고가 주원인으로 밝혀진 전원측의 전력품질 문제에 대처하기 위한 전력품질기기로는 SSTS가 가장 경제적인 전력품질기기로 인정받고 있다. 그러나 2차 간선이 제공되지 않는 전력계통망에서는 SSTS보다는 DVR이 현재로서는 가장 경제적인 전력품질기기일 것으로 판단 된다^(43, 45). 이러한 기술경제적 검토에도 불구하고, 현 기술시장에서는 전원측에 대한 전력품질기로서 UPS가 가장 큰 시장을 확보하고 있다고 볼 수 있다. 이는 여러가지 시사하는 바가 크다고 할 수 있으나, 전력품질기기를 사용하는 사용자측의 입장에서 볼 때, 전력품질기기에 요구하는 조건의 우선순위에 있어서 경제성보다는 UPS와 같이 이전의 설치경험에 의한 신뢰성이 확보된 안정적인 동작을 더욱 중요시 하는 면이 있는 것으로 사료된다. ■

참 고 문 헌

- [1] C.I.Budeanu, "Puissances Reactives at Fictives," Institut Romain de l' Energie, Buharest 1927.
- [2] L.S.Czarnecki, "What is wrong with the Budeanu concept of reactive and distortion powers and why it should be abandoned," IEEE Trans. IM., vol.36, no. 3, pp.834-837, Sept. 1987.
- [3] L.S.Czarnecki, "On some deficiencies of Fryzes approach to describing power properties of systems under non sinusoidal condition," Conference Records of IEEE ICHPS VI, Sept. 21-23 1994, Bologna, pp.360-364.
- [4] W.Shepherd and P.Zakihani, "Suggested definition of reactive power for non-sinusoidal systems," Proceedings of IEE, vol. 119, pp.1361-1362, Sept. 1972.
- [5] D.Sharon, "Reactive power definitions and power-factor improvement in nonlinear systems," Proceedings of IEE, vol.120, pp.704-706, June 1973.
- [6] N.L.Kusters and W.J.M.Moore, "On the definition of reactive power under non-sinusoidal conditions," IEEE Trans. PAS., vol.99, pp.1845-1854, Sept./Oct. 1980.
- [7] L.S.Czarnecki, "Orthogonal decomposition of the current in a three-phase nonlinear asymmetrical circuit with non sinusoidal voltage," IEEE Trans. IM., vol.37, no.1, pp.30-34, Mar. 1988.
- [8] A.Ferrero and G.Superti-Furga, "A new approach to the definition of power components in three-phase systems under non sinusoidal conditions," IEEE Trans. IM., vol.40, no.3, pp. 568-577, June 1991.
- [9] A.E.Emanuel, "The Buchholz-Goodhue apparent power definition: The practical approach for non sinusoidal and unbalanced systems," IEEE Trans. PD., vol.13, no.2, pp.344-349, Apr. 1998.
- [10] P.S.Filipski, "Apparent power-a misleading quantity in the non sinusoidal power theory: Are all non sinusoidal power theories doomed to fail?," International Workshop on Power Definitions & Measurement, pp. 39-47, 1991.
- [11] M. Depenbrock, "The FBD-method, a generally applicable tool for analyzing power relations," IEEE Transactions on Power System, vol.8, no.2, pp.381-386, 1993.
- [12] J.L.Willems, "The compensation of reactive and

- unbalance currents in three-phase power systems," Conference Records of IEEE ICHPS VI-Bologna, Sept. 1994, pp.114-128.
- [13] L.S.Czarnecki, "Reactive and unbalanced currents compensation in three-phase asymmetrical circuits under non sinusoidal conditions," IEEE Trans. IM., vol.38, pp.754-759, June 1989.
- [14] M. Depenbrock, H.-Ch. Skudelny, "Dynamic Compensation of Nonactive Power Using the FBD-method: Basic Properties Demonstration by Benchmark Examples," IEEE Second International Workshop on Power Definitions and Measurements Under Non-sinusoidal Conditions, Stresa, Italy, 1993.
- [15] L.Cristaldi, A.Ferro, and G.Spurti-Furga, "Current decomposition in asymmetrical unbalanced three-phase systems under non sinusoidal conditions," IEEE Trans. IM., vol.43, no.1, pp.63-68, Feb. 1994.
- [16] H.Akagi, Y.Kanazawa, and A.Nabae, "Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuit," Conference Records of IPEC-Tokyo 83, pp.1375-1386.
- [17] S. Togaswa, T. Murase, H. Nakano and A. Nabae, "Reactive power compensation based on a novel cross-vector theory," IEEJ Trans. Ind. Appl., vol. 114, no. 3, pp. 340-341, March 1994 (in Japanese)
- [18] F.Z.Peng and J.S.Lai, "Generalized instantaneous reactive power theory for three-phase power systems," IEEE Trans. IM., vol.45, no.1, Feb. 1996, pp.293-297.
- [19] H.S.Kim and H.Akagi, "The instantaneous power theory on the rotating p-q-r reference frames", Conference Records of IEEE/PEDS' 99, July 1999, pp.422-427.
- [20] Hyosung Kim, Frede Blaabjerg, Birgitte Bak-Jensen, "Spectral Analysis of Instantaneous Powers in Single-phase and Three-phase Systems with Use of p-q-r Theory", IEEE Transaction on Power Electronics, vol.17, No5., pp.711-720, September 2002.
- [21] Hyosung Kim, Frede Blaabjerg, Birgitte Bak-Jensen, Jaeho Choi, "Instantaneous Power Compensation in Three-Phase Systems by Using p-q-r Theory," IEEE Transaction on Power Electronics, vol.17, No5., pp.701-710, September 2002.
- [22] R. Dugan, M. McGranaghan, and W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, McGraw Hill, 1st Ed. 1996.
- [23] G.W.Allen and D.Segall, "Monitoring of Computer Installation for Power Line Disturbances", C74 IEEE PES, 1974.
- [24] M.Goldstein and P.D.Speranza, "The Quality of U.S. Commercial Power," INTELEC, CHI818-4/82-0000-002B
- [25] L.Conrad, K.Little, C.Grigg, "Predicting and Preventing Problems Associated with Remote Fault-Clearing Voltage Dips," IEEE Trans. on Industry Applications, vol.27, no.1, pp.167-172, January/February, 1991.
- [26] D.S.Dorr, "Point of Utilization Power Quality Study Results," IEEE Trans. on Industry Application, vol.31, no.4, pp.658-666, July/August 1995.
- [27] J.J.Stanislawski, "National Power Laboratory Power Quality Study 1972 to 1979 Revisited," 17th International Telecommunications Energy Conference INTELEC '95, 1995, pp.544-551.
- [28] D.O.Koval, R.A.Bocancea, K.Yao, and M.B.Hughes, "Canadian National Power Quality Survey: Frequency and Duration of Voltage Sags and Surges At Industrial Sites," IEEE Trans. on Industry Application, vol.34, no.5, pp.904-910, September/October 1998.
- [29] D.D Sabin, T.E.Grebe, M.F.McGranaghan, A.Sundaram, "Statistical Analysis of Voltage DIPS and Interruptions-Final Results form the EPRI Distribution System Power Quality Monitoring Survey," Conference Records of CIRED99, Chap.2, p3, 1999.
- [30] IEEE, "IEEE Recommended Practices for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment", IEEE Std 1346-1998, 1998.
- [31] J.Knudsen, A.E.Petersen, A.Vikkelso, "Is the Danish Power Quality in Accordance with International Standards?," Conference Records of CIRED99, Chap.2, p11, 1999.

- [32] B.Bak-Jensen, J.Bech, C.G.Bjerregaard, P.R.Jensen, "Models for Probabilistic Power Transmission System Reliability Calculation", IEEE Transaction on Power Systems, vol.14, no.3, pp.1166~1171, August 1999.
- [33] "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems", Dansk Standard DS/EN50160, January 31, 1995.
- [34] IEEE, IEEE recommended practice for monitoring electric power quality, IEEE Std 1159-1995, 2 Nov. 1995.
- [35] IEEE, IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems, IEEE Std 519-1992, 12 April 1993.
- [36] Groot Boerle, D.J., EMC and functional safety, impact of IEC 61000-1-2, Electromagnetic Compatibility, 2002 IEEE International Symposium on, Volume: 1, 19-23 Aug. 2002, Pages:353-358.
- [37] Sroka, J., Practical approach to IEC 61000-4-6 testing, Electromagnetic Compatibility, 2002 IEEE International Symposium on, Volume: 1, 19-23 Aug. 2002, Pages:367-370.
- [38] L.Heinemann, G.Mauthe, J.J.Maillet, M.Hellum, "Power Quality-The new paradigm for MV power distribution," ABB Review: Focus on Transmission and Distribution, The Corporate Technical Journal of the ABB Group, Number Three, pp.49-56, 2000.
- [39] K.Chan, A.Kara, P.Daehler, J.Guay, R.Tinggren, "Innovative System Solutions for Power Quality Enhancement", Conference Records of CIRE99, pp.-, 1999.
- [40] L.Conrad, K.Little, C.Grigg, "Predicting and Preventing Problems Associated with Remote Fault-Clearing Voltage Dips," IEEE Trans. on Industry Applications, vol.27, no.1, pp.167-172, January/February, 1991.
- [41] J.Martinon, O.Poisson, F.DeChateauvieux, "A Project About Voltage Dips and Short Interruptions to Meet Customer's Requirements", Conference Records of CIRE99, pp.-, 1999.
- [42] IEEE, "IEEE Recommended Practices for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment", IEEE Std 1346-1998, 1998.
- [43] M.D.Stump, G.J.Keane, F.K.S.Leong, "The Role of Custom Power Products in Enhancing Power Quality at Industrial Facilities", Proceedings of EMPD (Energy Management and Power Delivery) '98, Volume 2, 1998, pp.507-517.
- [44] L.Heinemann, G.Mauthe, J.J.Maillet, M.Hellum, "Power Quality-The new paradigm for MV power distribution," ABB Review: Focus on Transmission and Distribution, The Corporate Technical Journal of the ABB Group, Number Three, pp.49-56, 2000.
- [45] K.Chan, A.Kara, P.Daehler, J.Guay, R.Tinggren, "Innovative System Solutions for Power Quality Enhancement", Conference Records of CIRE99, pp.-, 1999.

〈 저 자 소 개 〉



김효성(金孝城)

1958년 10월 20일생. 1981년 서울대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 충북대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~1997년 일본 오가야마대학 방문교수. 2000년~2001년 덴마크 Aalborg대학 방문교수. 1987년~2005년(현) 공주대 전기전자공학부 교수. 당 학회 편집위원.