

# 전력품질 장애와 대책

최 재 호

(충북대학교 전기전자공학부 교수)

## 1. 서론

전력품질(Power Quality)이라는 용어는 전력 계통에 있어서 전압과 전류 및 주파수의 변동을 나타내는 데 사용되어 왔다. 역사적으로 대부분의 전력기기들은 이 값들이 비교적 넓은 범위에서 변동하여도 잘 동작할 수 있었으나 최근에 산업 현장에서 사용되는 많은 전자제어기기들은 이들의 변동에 대하여 매우 민감하게 반응하여 오동작을 유발하는 사례가 급증하고 있다. 따라서, 과거에는 문제가 되지 않을 수 있었던 각종 전원장애들이 산업 시스템에 나쁜 영향을 미치고 있으며 이들로 인한 경제성 저하가 야기되고 있어서 전력계통을 안정되게 유지하기 위한 방안들이 특별히 요구되고 있다. 특히 이들 제어기기들은 전동기 가변속 구동장치나 스위칭 전원장치 같이 직접적으로 전력을 변환하는 장치와 컴퓨터나 PLC 같은 주변 제어장치 등이 있는데 전원장애에 안정적으로 동작하기 위하여 고도의 정밀 제어기능이 별도로 요구되어 왔다.

전력품질의 중요성이 강조되고 있는 이유들은 이상과 같이 전원환경에 매우 민감한 부하의 사용이 급증되는 추세 이외에 전력전자기기들의 활용 증대로 인한 부작용으로 인하여 전력품질이 상대적으로 저하되었음과 전력계통의 효율과 사용의 극대화를 위한 고품질의 전력에 대한 요구가 급증하였으며 전력품질에 대한 일반 사용자들의 인지도가 증대하여 이들에 대하여 사회적으로 문제제기가 그 만큼 빈번해진 까닭이라고 지적할 수 있다.

전력품질에 대한 많은 관심에도 불구하고 전력품질 저하의 책임에 대한 전력회사와 사용자의 견해가 그림 1에 보인 바와 같이 서로 상반되게 그 원인과 책임이 상대에게 있다고 판단하고 있는 것을 보면 문제의 원인과 해결 방안에 대한 연구가 매우 미진함을 알 수 있다.

전력계통에서의 외란 들은 계통에 연계된 장치들에 오동작

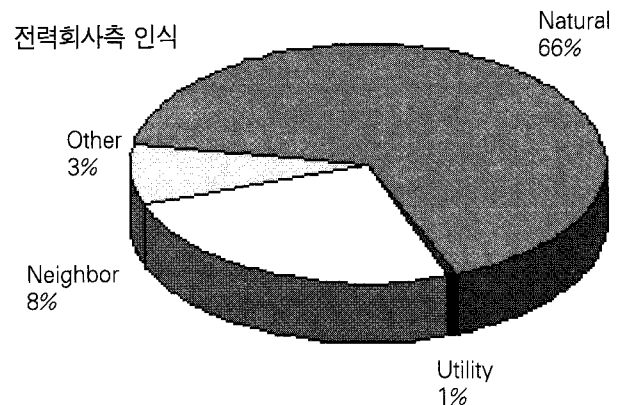
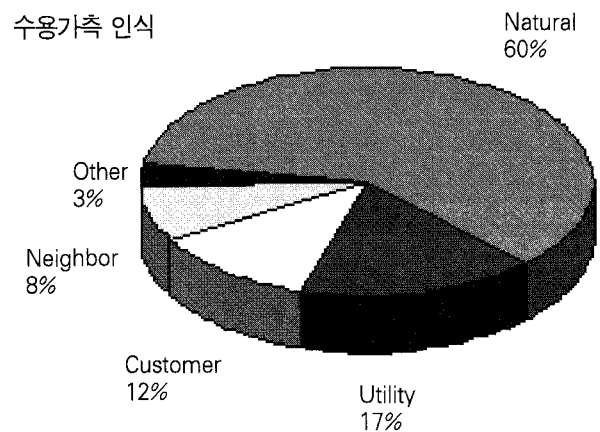
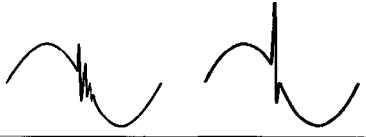

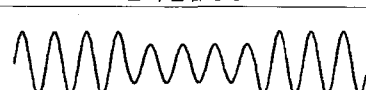
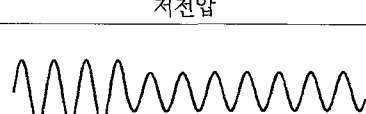
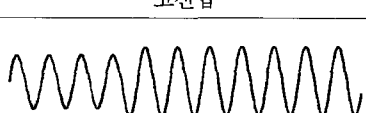

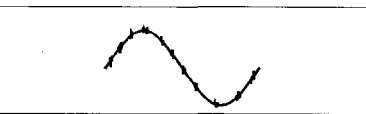
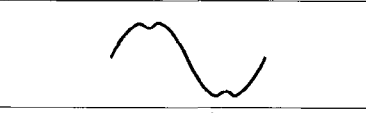



그림 1 전력품질 장애의 원인제공 설문조사결과 (Georgia Power Co. 제공)

표 1 전력품질 장애요소와 지속기간과 장애의 요인

	전력품질 장애요소	지속기간	장애의 원인
전압의 크기	과도현상(Surges) 	3 ms 이하 (0.18 사이클 이하)	· 공기냉각기 모터구동, 열공조냉각 장치, 승강기, 수냉각기, 팬구동 · 복사기 및 레이저 프린터 · 일상 전력공급 · 전자공기 이온화기기 · 주방용 전자기기
	순시전압강하 	8 ms - 3 sec (0.5 - 180 사이클)	· 공기냉각기 모터구동, 열공조냉각 장치, 승강기, 수냉각기, 팬구동 · 복사기 및 레이저 프린터 · 일상 전력공급
	순시전압상승 	8 ms - 3 sec (0.5 - 180 사이클)	· 공기냉각기 모터구동, 열공조냉각 장치, 승강기, 수냉각기, 팬구동 · 복사기 및 레이저 프린터
	저전압 	3 sec 이상 (180 사이클 이상)	· 결선과 접지의 오류 · 전압 탭 조정의 오류 · 건물 변압기의 오류
	고전압 	3 sec 이상 (180 사이클 이상)	· 결선과 접지의 오류 · 전압 탭 조정의 오류 · 건물 변압기의 오류
	정전 	8 ms 이상 (0.5 사이클 이상)	· 낙뢰 · 차단기의 동작 및 휴즈단락 · 전력공급 차단
	잡음 및 노치(Notches) 	정상상태	· 열공조냉각 장치 · 주방용 전자기기, 라디오, 전화 · 조명조광기, 전자식 조명기기 · 전자공기 이온화기기, · 진공청소기
	고조파 왜형 	정상상태	· 컴퓨터 · TV 수상기, 비디오 레코더 · 전자조명기기
주파수 변동 	10 sec 이하 (600 사이클 이하)	· 상용전원으로부터 비상용발전기로 스위칭 · 전력계통 오류 · 전력계통의 과부하	

을 일으키거나 작동 실패를 야기하는 전압에서의 순시적인 변동들이 일반적이다. 그리고 비선형 부하계통으로부터 유입

되는 고조파에 의한 장애 등이 문제가 된다. 표 1에 전력품질의 장애요소들의 원인 등을 요약하여 나타내었다.

## 2. 전력품질 개선 체제

북미지역에서의 전력품질 관련 사업에 대한 조사 연구보고서에 따르면 북미지역에서의 전력품질 관련사업은 다음과 같다. 전력품질 관련사업은 90년대 중반까지 전력회사 및 전력 엔지니어링 회사가 중심이 되는 전력설비의 경제성과 신뢰성 안정성 확보에 관한 분야와 전력기기 제조회사와 전력측정기기 제조회사들을 중심으로 일반 산업체 및 전력회사 등을 대상으로 하는 관련 기기의 판매 분야로 대별할 수 있었다. 그러나, 90년대 중반을 지나면서 전력품질에 관한 전문적인 자문회사 등이 등장하고 IEEE와 EPRI 및 대전력회사 등에 전력품질 전문 부서가 구성되면서 이들의 상호 연계 하에 전기 엔지니어들을 대상으로 하는 각종 교육 프로그램의 제공과 각종 규격의 정비와 산업체 및 수용시설에 대한 전력품질 자문 등을 적극적으로 실시할 수 있는 전력품질의 개선을 위한 공조체제를 구축하기에 이르렀다. 그림 2는 전력품질 개선 체제의 구성을 나타낸다.

필자는 지난 수년간 국내의 전력회사와 전력기기 제조회사 그리고 반도체와 화학 및 철강회사 등의 대전력 사용회사 등을 대상으로 한 탐문 조사를 실시한 바가 있다. 이 조사의 결과에 따르면 아직 국내 대부분의 전기 엔지니어들은 전력품질에 대한 문제발생의 원인과 대책에 관하여 정보가 부족하고 상대적으로 낮은 관심을 보이고 있었다. 따라서, 전력품질의 유지가 생산성 향상과 에너지 절감과 생산비 절감 등의 구체적인 경제적인 효과에 대한 자료를 제공받기를 요청하고 있다. 이에 국내에서도 전력품질의 정보 교환과 <http://www.ptd.siemens.com/prods/FPQD/index.html> 협력을 위하여 정부와 관련 산업체와 대학과 연구기관들 간에 긴밀한 공조 체제가 형성되어야 한다고 판단된다. 나아가서 외국의 관련 기관 및 단체에 적극적으로 참여하여 정보를 공

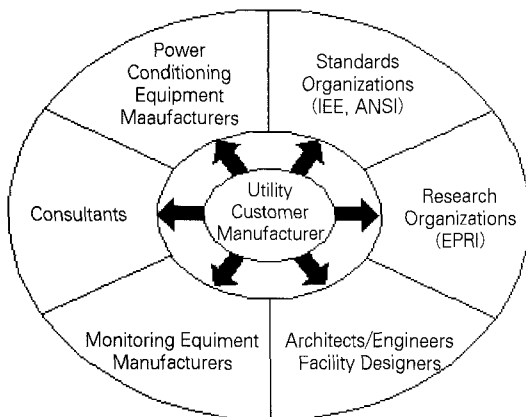


그림 2 전력품질 개선 체제도

유할 수 있는 국제 공조 체제의 구축이 요구된다. 표 2에 전력품질의 규격과 관련한 각종 위원회들의 활동을 보이고 있다.

전력품질에 관한 자료 및 정보를 습득하기 위한 대표적인 학술회의 및 전시회로서 POWERSYSTEMS WORLD'2000을 소개하고자 한다. 상기 학술전시회는 PCIM, Power Quality Assurance and Power Value magazines 등이 공동으로 주관하여 매년 개최하는 전력품질과 관련한 최대의 학술회의 및 전시회로서 올해에는 10월 1일부터 5일까지 미국 보스턴에서 개최되는데 PCIM'2000과 Power Quality'2000이 동시에 진행된다. (<http://www.powersystems.com>) 이 밖에도 IEEE Power Engineering Society와 IEEE Industry Application Society에서 주관하는 PES Summer and Winter Meeting이나 IAS Annual Meeting과 I&CPS Conference 등을 참조할 수 있다. EPRI 주관 하에 매년 개최되는 PQA 학술회의 및 전시회도 있다. 그리고 전력품질 전문 자문회사로서 미국의 Electrotek Concepts사의 웹에 접근하면 보다 광범위한 자료를 구할 수 있다. 이에 몇몇 관련 웹주소들을 다음에 소개하고자 한다.

- Electrotek Concepts(<http://www.electrotek.com/>)
- Power Quality Assurance Magazine(<http://www.powerquality.com>)
- ElectricNet(<http://www.electricnet.com>)
- Siemens FACTs and Power Quality(<http://www.ptd.siemens.com/prods/FPQD/index.html>)

## 3. 전력품질 개선 방안

전력의 품질을 유지하고 개선하기 위한 대책으로서 배전 계통 이하에서 채택할 수 있는 많은 장치들이 개발되어 현재 상용화하는 추세이다. 전력품질의 저하의 현상별 대안들을 정리하면 표 3과 같다.

전력품질에 대한 개선 방안으로서 과도상태에서의 서지를 억제하기 위한 방안으로서 서지 어레스터나 절연변압기 등이 사용되었고 출력전압을 일정하게 유지하기 위하여 정전압 변압기가 사용되었으며 고조파 억제를 위한 수동필터 등이 전통적으로 사용되었다. 정전 및 계통 전압 불량 등에 대처할 수 있도록 에너지를 저장할 수 있는 UPS 시스템 등이 있다.

최근 전력전자 및 제어기술의 발달에 따라서 전력품질 개선 방안도 다양하게 제시되고 있는데 예로서 전력저장시스템도 기존의 축전지를 이용한 UPS 시스템에서 플라이휠 에너지 저장시스템, 초전도 에너지 저장시스템 등이 개발되어 실용화에 이르고 있는 실정이다. 본 자료에서는 특별히 최근 수년 이내에 5~35 kV에서 최대 36 MW급으로 Medium Voltage 레벨의 배전 계통에서 정전 및 순시전압강하의 대책

표 2 전력품질 관련 각종 위원회 및 중점과제 그룹과 활동상황

위원회/표준화	활동상황	주무책임자
<b>전력품질 규명/전력품질 지표/전력품질 일반</b>		
Power Quality Standards Coordinating Committee SCC-22	모든 전력품질 표준활동 조정	Francois Martzloff (f.martzloff@ieee.org)
IEEE 1159 Motoring Power Quality	전력품질 감시 요구 사항과 정의에 관하여 다양한 측면에서 수 개의 중점과제들을 추진	Larry Ray (l.ray@ieee.org)
IEEE 141 Red Book	산업 전력 계통에 대한 일반적인 지침 제정	Lynn Saunders (l.saunders@ieee.org)
IEEE 241 Gray Book	상업 전력 계통에 대한 일반적인 지침 제정	Tom Sparling
<b>고조파</b>		
IEEE P519A	고조파 제한을 적용하기 위한 응용 가이드의 개발	Mark McGranaghan (m.mcgranaghan@ieee.org)
필터설계 중점과제	고조파 필터설계를 위한 가이드 개발	Tom Grebe (t.grebe@ieee.org)
단상 실험장치에의 고조파 제한을 위한 중점과제	단상 실험장치에 고조파 제한을 적용하기 위한 기준 가이드의 개발	Dan Ward (d.ward@ieee.org)
<b>전압강하/순간정전</b>		
IEEE 493 Gold Book	산업 및 상업 전력 계통의 신뢰성	C.R. Heising
IEEE 1346	산업 공정 제어기에 적합한 전력계통 가이드	Van Wagner (v.wagner@ieee.org)
<b>정상상태 전압제어의 불평형과 후리커</b>		
ANSI C84.1	전력 계통 및 설비의 전압 규격	ANSI
IEEE 후리커 중점과제	후리커 규명을 위한 조직적 접근	Larry Conrad (l.conrad@ieee.org)
<b>결선과 접지 및 전력공급에 민감한 장치</b>		
IEEE 1100 Emerald Book	전력 공급 및 접지에 민감한 장치를 위한 가이드	Tom Grusz (t.gruzs@ieee.org)
National Electric Code	결선 및 접지를 위한 안전 요구사항	NFPA
IEEE 142 Green Book	산업 및 상업 전력 계통의 접지	Gordon Johnson
<b>과도상태</b>		
IEEE/ANSI C62	서지 보호를 위한 가이드 및 표준	배전 계통 및 커스텀 파워 대안
<b>배전 계통 및 커스텀 파워 대안</b>		
IEEE 1250 배전계통 전력품질 작업그룹	순시 전압변동에 민감한 장치에 대한 가이드	Jim Burke (j.burke@ieee.org)
IEEE 1409 Custom Power 중점과제	배전계통에 전력전자기술을 적용하기 위한 가이드의 개발	Dan Sabin (d.sabin@ieee.org)

표 3 전력품질 장애요소 개선방안

전력품질 장애요소		개선방안
Transient Disturbance	Impulsive Transient	· Surge Arresters · Filters · Isolation Transformers
	Oscillatory Transient	· Surge Arresters · Filters · Isolation Transformers
RMS Disturbance	Sags/Swells	· Ferroresonant Transformers · Energy Storage Technology · UPS
	Interruptions	· Energy Storage Technologies · UPS · Backup Generators
Steady-State Variation	Undervoltages	· Voltage Regulators
	Overvoltages	· Ferroresonant Transformers
	Harmonic Distortion	· Active or Passive Filters · Transformers with Cancellation or Zero Sequence Components
	Voltage Flicker	· Static Var Systems

의 기본 구성도를 보이며 최근 5년 이내에 Inverpower, Mitsubishi, PowerDigm, ABB 등이 생산 공급하고 있다.

### 3.2 Static Voltage Regulator(SVR)

SVR은 계통 입력이 순시적으로 강하하는 경우 1/4 사이클 이내에 사이리스터의 스위칭과 승압용 변압기를 이용하여 출력전압을 일정하게 유지하는 시스템이다. 그림 4는 SVR의 기본 구성도를 보이며 최대 35%의 새그에서 안정적으로 동작하고 있다. Inverpower, ABB, Siemens 등에서 생산하고 있다. 그림 5는 SVR의 동작 파형을 보이는데 계통에 실린 전압강하가 SVR의 동작으로 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다.

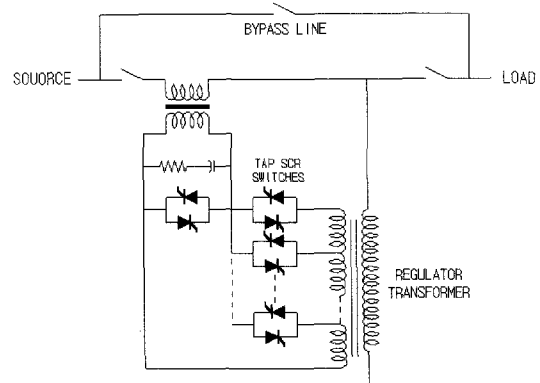


그림 4 SVR의 기본 구성도

으로서 활용되고 있는 Static Transformer Switch, Static Voltage Regulator, Dynamic Voltage Regulator를 소개하고자 한다.

### 3.1 Static Transformer Switch(STS)

STS는 계통원이 들인 경우에 주 계통원의 사고시 보조 계통원으로 1/4 사이클 이내에 자동 절체하여 계통 사고에 따른 정전 사태를 방지할 수 있는 시스템이다. 그림 3은 STS

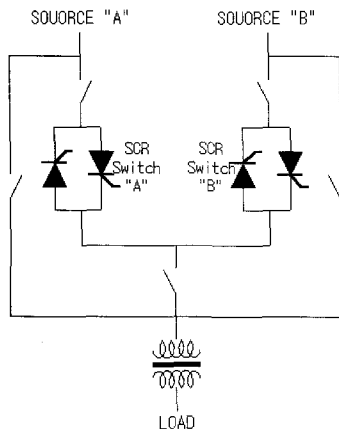


그림 3 STS의 기본 구성도

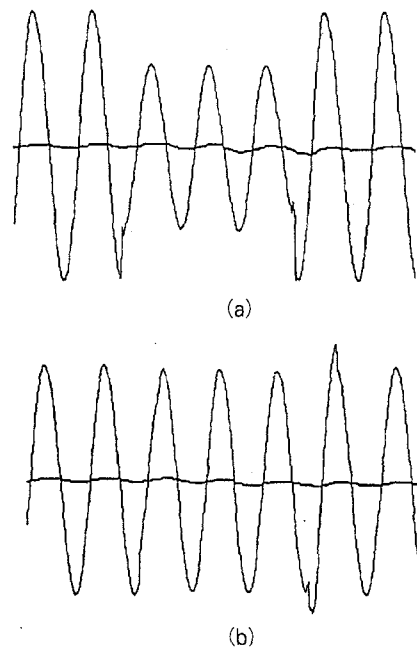


그림 5 SVR 동작파형: (a) 계통전압파형 (b) SVR 출력파형

3.3 Dynamic Voltage Regulator(DVR)

DVR은 정상상태 및 과도상태에서 계통의 순시전압강하 및 상승과 고조파 등의 문제로부터 일정전압의 순수한 정현파의 유지기능을 인버터 시스템을 채택하여 순시적으로 행한다. 최근 Westinghouse, ABB, Siemens 등이 생산 공급되고 있다(그림 6 참조).

5. 결 론

전원환경 장애로 인한 생산비 증대와 생산성 감소와 생산설비의 수명 단축 등과 관련한 제반 문제에도 불구하고 전력품질에 관하여 정부나 전력회사나 전기 사용자들의 관심이 부족한 것이 국내 현실이다. 따라서, 산학연을 중심으로 이에 관한 연구가 체계적으로 이루어져야 하며 관련 교육세미나 및 학술연구발표 등을 통하여 상호 공동 연계 시스템을 구축하고 이에 관한 문제를 집중적으로 해결하는 방안을 강구하여야 하겠다. 향후 산업발달에 따라서 고품질의 전력에 대한 수요가 증대할 것이고 전력품질의 원인 분석, 전력품질의 측정 및 진단, 전력품질의 경제성 검토, 전력품질 해결 방안 등의 전력품질의 원인 및 대책에 관한 과제가 논의의 중심으로 부가할 것으로 기대되는 바 많은 전문 엔지니어의 참여가 기대된다.

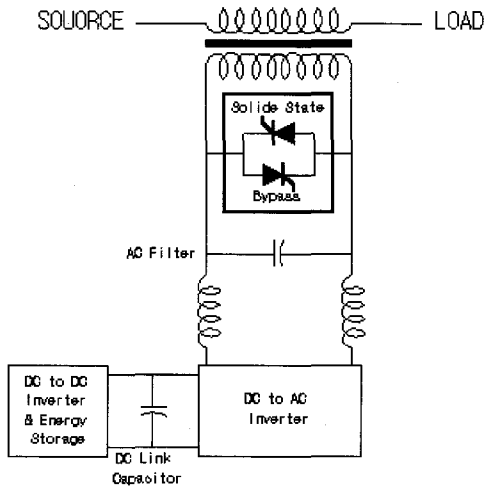


그림 6 DVR의 기본 구성도

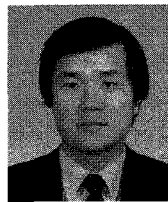
참고 문헌

[1] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, and H. Wayne Beaty, Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, 1996.  
 [2] Mark F. McGranaghan, "Helping Define Power

Quality's Future," Power Quality Assurance, pp. 98-101, July/August, 1997.

[3] Douglas S. Dorr, M. Brent Hughes, Thomas M. Gruzs, Robert E. Jurewicz, and John L. McClaine, "Interpreting Recent Power Quality Surveys to Define the Electrical Environment," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 33, no. 6, pp. 1480-1487, 1997.  
 [4] Power Quality Problems in Industrial Environments Workshop, University of Wisconsin-Madison, Dec. 1-4, 1998.  
 [5] James J. Burke, David C. Griffith, and Daniel J. Ward, "Power Quality—Two Different Perspectives," IEEE 90 WM 053-9 PWRD, 1990.  
 [6] Power Quality Considerations for Adjustable Speed Drive Applications, EPRI BR-106252, 1996.  
 [7] Power Quality Considerations for the Textile Industry, EPRI BR-105425, 1995.  
 [8] Power Electronics End-Use Systems and Power Quality Business Areas, EPRI BR-108122, 1997.  
 [9] Power Quality Diagnostic System, EPRI BR-106918, 1997.  
 [10] Power Quality in the Semiconductor Industry, EPRI BR-108038, 1997.  
 [11] Jaeho Choi and Shashi B. Dewan, "Introduction of Power Quality Business in North America," Inverpower Controls Ltd. Report, 1998.  
 [12] Power Quality and Power Harmonics Forum, Canadian Electricity Forum, June 8-9, 1998.  
 [13] New High-Speed Power Transfer Switches Offer Enhanced Power Quality Solutions, E Source TU-97-13, 1997.

< 저 자 소 개 >



최재호(崔載昊)

1955년 9월 27일생. 1979년 서울대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 졸업(석사). 1989년 동 대학원 졸업(박사). 1981년~1983년 중경공업전문대학 전자과 전임강사. 1983년~현재 충북대 공대 전기전자공학부 교수. 1993년~1994년, 1997년~1998년 Univ. of Toronto(Visiting Prof.). 당 학회 편집이사.