

배전계통기술의 현황과 장래동향(하)

노 대 석

한국기술교육대학교 전기공학과 조교수

3. 배전계통기술의 장래동향

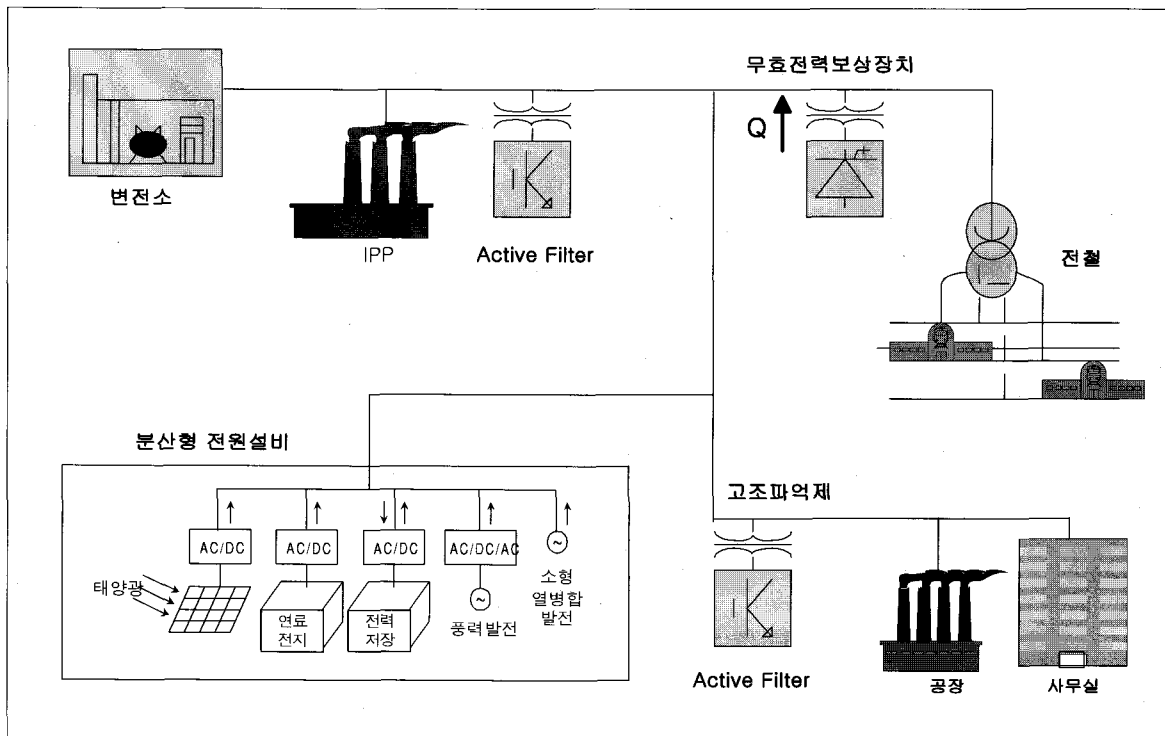
나. 배전계통기술의 주변동향

(1) 파워일렉트로닉스 기술

최근, 파워일렉트로닉스(전력전자) 기술의 발전은 눈부시며, 소자의 용량과 내압의 양면에서 많은 문제점이 해결되어, 전력계통의 많은 분야에 적용되고 있다. 전력계통에서는 그림 4와 같이, 이미 직류송전 등에 전력전자기기가 도입·운용되고 있으며, 규제완화에 의한 전력용통의 증가 및 전력조류의 엄밀한 관리, 전력품질 유지에 대한 사회적인 요청에서, 전력전자기기가 배전계통과 수용가에 더욱 더 활발하게 도입될 것으로 전망된다. 전력전자기기의 배전계통에의 특징적인 이용형태로서는, 인버터로서의 활용과 각종 개폐기(차단기포함)의 정지형화에 있을 것이다. 예를 들어, 배전계통에 이용가능한 사이리스터 한류기의 개발이 보고되고 있으나, 직렬사용시의 전압강하 및 상시의 손실면에서 여러 문제점이 있어, 아직 보급되지 않고 있는 실정이다. 또한, 배전계통에 있어서 파워일렉트로닉스 기술의 직접적인 응용 예로서, 수용가 옥내의 직류배전, 분산형 전력저장에 의한 부하평준화, 사고시의 비상용전원 등을 들 수 있다. 특히, 옥내 직류배전(지붕에 태양전지판이 설치되고, 전지전력저장시스템의 기능이 부가된 전력변환장치에 에어컨, 조리기, 냉장고, 세탁기 등의 직류 가전기기 부하가 연결됨) 방식은 분산형전원의 연계와 전기자동차용의 충전용으로서 적당하며, 또한 사용하는 기기에 따라 적절한 주파수가 다를 수 있으므로, 필요한 장소에서 원하는 주파수를 인버터로 만들어서 이용할 수 있는 것도 특징으로 들 수 있다.

(2) 정보통신 기술

최근 정보처리 기술의 진보는 눈을 의심할 정도로 급속



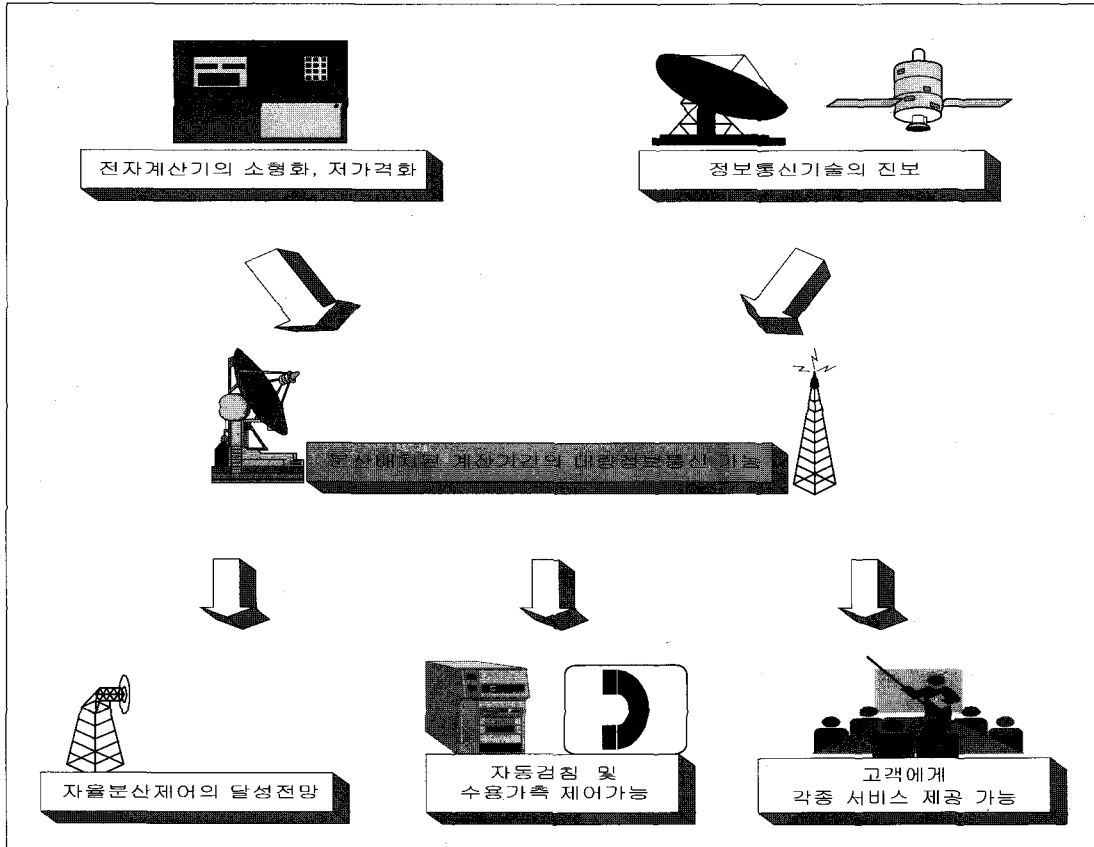
〈그림 4〉 전력전자기술의 배전계통 응용도

히 이루어지고 있는데, 특히 전자계산기의 소형화·저가격화, 광정보통신으로 대표되는 정보통신 기술의 진보가 현저하며, 분산배치된 계산기간의 대량의 정보통신을 고신뢰도로, 더욱이 고속으로 가능하게 하고 있다. 이와 같이 정보혁명이라고 불리울 정도로 진보함에 따라, 전력계통에 있어서 정보처리의 개념도 바뀌어가고 있다. 예를 들어, 가까운 장래에는 로컬정보를 상호간에 정보통신장치를 개입하여 서로 교환하고, 이들 정보로부터 자율적인 판단에 의한 보호·제어·조작을 행하는 자율분산제어가 이루어질 것으로 기대된다. 또한, 정보통신망을 이용한 자동검침과 수용가측 제어에 대해서는 여러 가지 검토가 진행중에 있으며, 강력한 정보통신망을 이용한 고객에의 정전정보표시 및 이용요금표시 서비스 등의 각종 정보서비스도 고려되고 있다. 이들 고도의 정보처리 기술은, 현재

의 배전계통의 이미지를 근본적으로 바꿀 수 있는 하나의 요인이 될 가능성이 있다고 생각된다(그림 5 참조).

(3) 신에너지 전원(분산형전원·전력저장장치) 기술

최근, 열병합과 태양전지 등의 소규모 분산형전원이 수용가측에 설치되고 있고, 연료전지 등의 스케일 메리트가 작은 신에너지전원의 개발이 지구규모적인 환경문제 등에 의해, 국가적인 차원에서 활발하게 추진되고 있다. 한편, 2차전지를 이용한 전력저장장치가 실용화에 가까워지고 있고, 소규모 초전도코일(SMES)도 개발되고 있는 등, 무정전전력공급과 국소적 부하평준화 등의 목적으로, 이들 분산형전원·전력저장장치가 배전용변전소나 수용가에 분산배치되는 것이 검토되고 있다. 이와 같은 기술적 발전을 배경으로 장래, 배전계통에 다수의 분산형전원



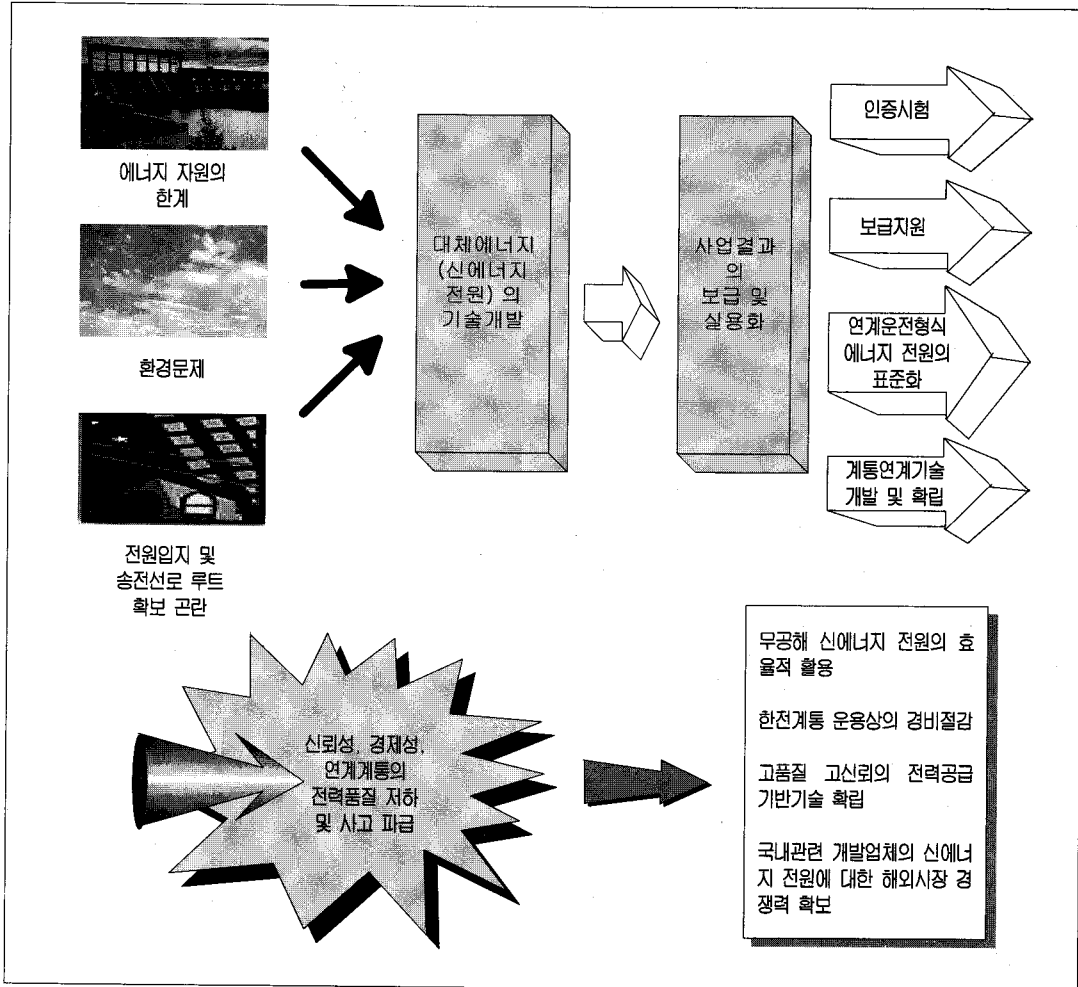
〈그림 5〉 정보통신기술의 배전계통 응용 개념도

과 전력저장장치가 설치될 것이 예상된다. 이들 분산형전원·전력저장장치는 기존의 대규모 전원과의 협조적인 운용에 의해, 전력의 고효율사용, 부하평준화, 무정전전원공급 등의 여러 메리트가 기대되며, 이것을 효과적으로 운용하기 위한 계통구성과 운용방식에 대해서도 검토되고 있다(그림 6 참조).

(4) 전력품질 기술

최근, 정보·통신산업의 발전 및 생활수준의 향상에 따라 정보통신기기, 정밀제어기기, 사무자동화기기, 전산기기, 자동생산라인, 온라인서비스기기 등이 보급·확장되면서, 많은 수용가에서 기존에는 문제가 되지 않았던 전

력품질에 대한 요구가 급격히 증가하고 있다. 기존의 전력품질은 전기사업법에 근거하여, 전력회사의 입장에서, 정전시간(정전횟수포함), 전압적정률(30분 평균전압), 주파수유지율 등으로, 목표관리에 의해 적정한 품질이 유지되고 있는 실정이다. 그러나, 최근에 널리 보급되고 있는 정밀제어기기나 정보통신기기에 민감한 영향을 끼치는 순간전압변동, 고조파, 전압불평형, 순간정전, 서지, 플리커 등과 같은 새로운 개념의 전력품질(표 2 참조)은, 아직 구체적으로 파악되지도 않았고 또한 관리되고 있지 않기에, 이러한 새로운 개념의 전력품질 저하로 인해 많은 수용가가 큰 피해를 입고 있는 상황이다. 또한 새로운 개념의 전력품질은 외란이 작고 국지적인 현상이



〈그림 6〉 분산형전원의 배전계통연계 개념도

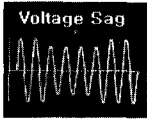
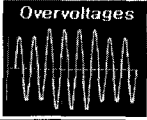
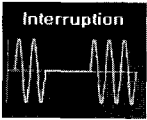

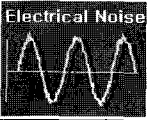
많아, 정확한 측정 및 평가·분석이 어려워, 각 수용가의 정확한 피해내역을 파악하기가 어려울 뿐만 아니라, 이에 대한 개선대책을 세울 수도 없는 상황이다. 이들의 사회·경제적인 피해 비용을 설문자료 등에 의해 분석하면 다음과 같다.

- 우리 나라의 대전력수용가(계약전력 1,000kW 이상)는 약 4,600호 정도이며, 이들 수용가의 1%에 해당하는 수용가에 대해 설문조사를 한 결과, 전력품질 저하(기존의 정전이 아니고, 새로운 개념의 전력

품질)에 의해, 연간 27~65억원 정도의 손실이 발생한다고 응답하였으며, 우리 나라 전체의 피해액은 2700~6500억원 정도로 추정되고 있다.

- 전력품질 저하에 의한 자동화기기의 오동작 사례가 보고되고 있으며, 정전피해에 대한 보상요구가 제기되고 있지만, 진상조사나 대책수립이 조직적으로 이루어지지 못하고 있는 실정이다.
- 미국의 보고서(EPRI, 1993년)에 의하면 새로운 개념의 전력품질 저하에 의해, 많은 수용가에서 피해를

〈표 2〉 전력품질의 종류 및 기본특성

종 류	파형	기 본 특 성			발생원인
		지속시간	전압크기	주파수	
순시전압저하		0.5~30 사이클 (1분)	0.1~0.9PU	-	-낙뢰 -대형 부하의 기동 -Brownout
순시전압상승		0.5~30 사이클 (1분)	1.1~1.4PU	-	-갑작스런 부하차단 -다른 상의 사고 -부정확한 변압기세팅
순시정전		0.5~30 사이클 (1분)	0.1PU 이하	-	-퓨즈 절단 -차단기 동작 -전력선 사고 -변압기 사고 -발전기 사고
고조파		Steady State	0~20%	0~6kHz	-비선형 부하 -컨버터/인버터 -철공진
전압변동(플리커)		간헐적	0.1~7%	25Hz 이하	-부하 급변 -Arc爐 -무효전력 변동
전압 불평형		Steady State	0.5~2%	-	-단상기기의 전력량 불평형 -역률 불평형

입는 것으로 보고되고 있는데, 상대적으로 우리 나라 보다 전력품질이 잘 유지되고 있는 미국에서도 연간 260억불(약 31조 2천억원) 정도의 피해가 추정되고 있다.

○ 정보통신 산업의 발전 및 사회의 고도화로 인해, 이들 피해비용은 앞으로 더욱 증가할 것이다.

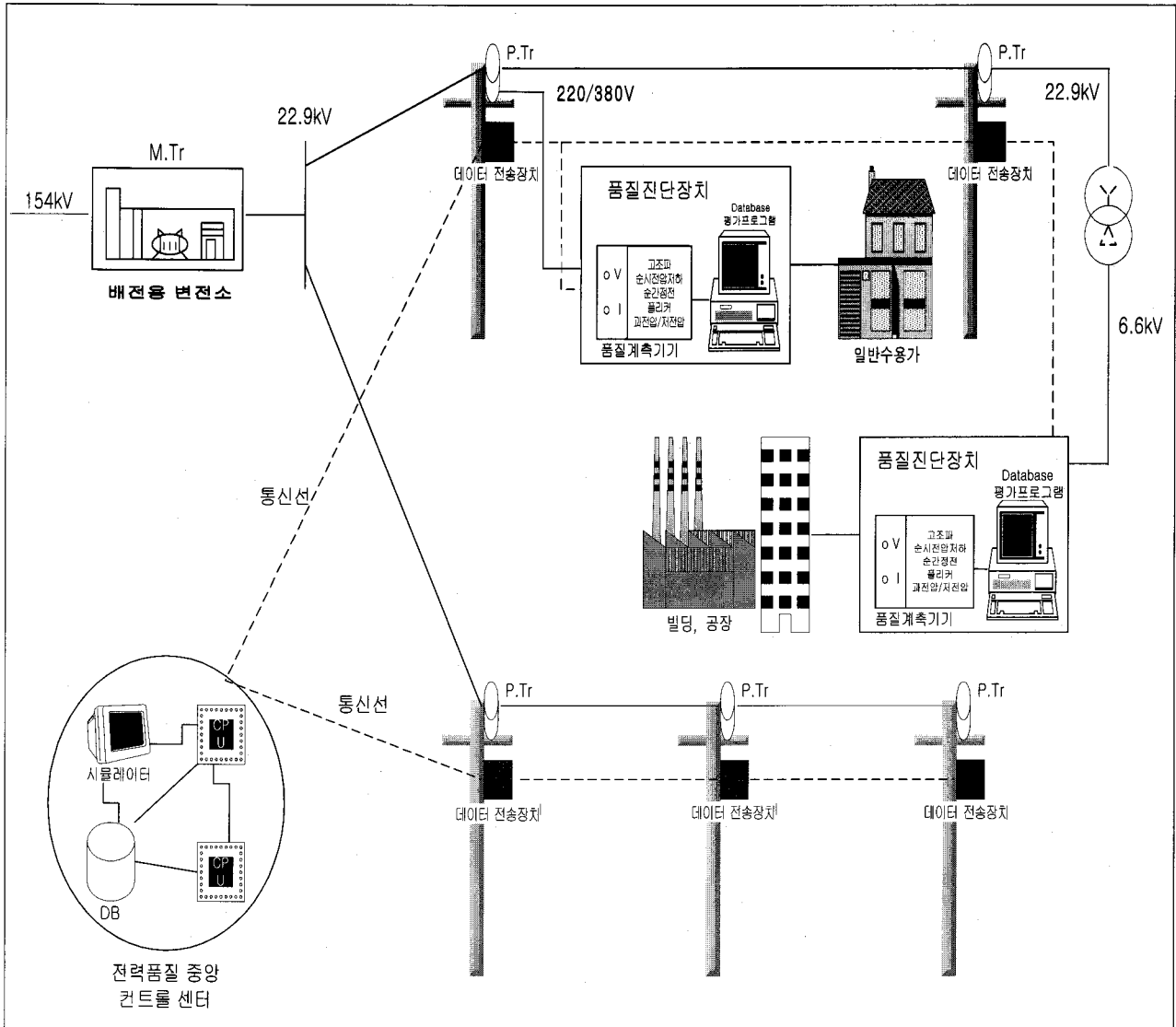
따라서, 우리 나라의 선진국 진입에의 가능성이 21세기 정보화사회로의 전환여부에 달려있는 만큼, 고도정보화 사회에 필수적 요소인 전력에너지원의 품질 진단에 대한 노력이 사회·경제·기술적인 측면에서 중요하다. 현재, 선진외국에서도 앞을 다투어, 전력품질사업에 대한 연구·개발에 힘을 쏟고 있으며, 국내·외 시장을 노리고 있는 상황이다. 이러한 시점에서, 우리 나라도 선진국기

술과 비교적 격차가 좁은 전력품질 사업에 대한 연구를 활성화하고, 이의 기반기술이 되는 전력품질 진단기술을 개발할 필요가 있다. 전력품질 진단기술에 대한 개념도는 그림 7과 같다.

다. 장래의 전기에너지 유통시스템

(1) 장래의 전력공급 이미지

장래의 전력공급의 이미지로서는, 그림 8에서 보는 바와 같이 기존의 전력네트워크를 기반으로 해서, 그 위에 분산형전원 등으로 구성되는 지역 전력공급네트워크가 연결되어 운용되는 형태로 발전될 것으로 예상되고 있다. 이것에 의해 에너지자원의 효율적 이용이 가능하게 되며



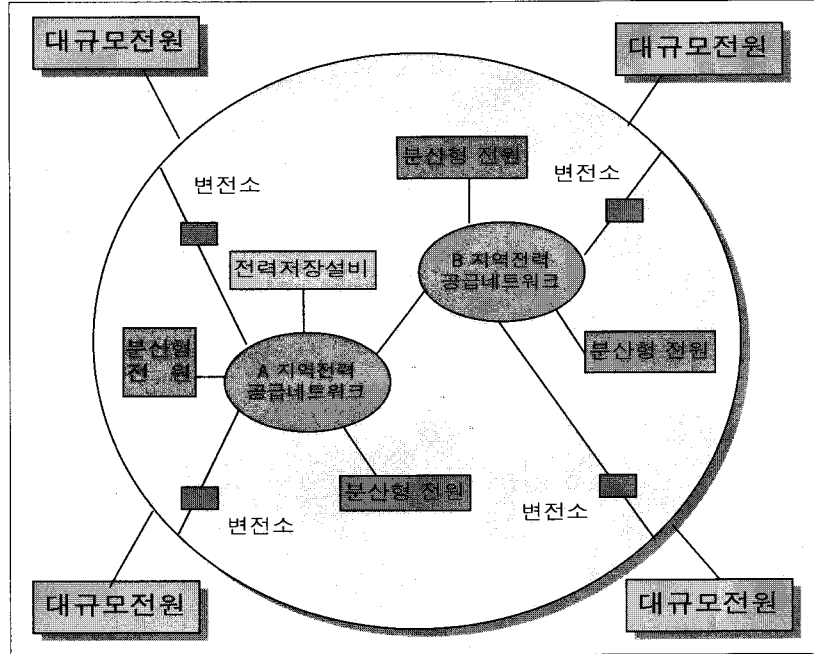
<그림 7> 전력품질 진단기술의 개념도

대도시 등의 전력수급난을 어느 정도 해결할 수 있게 되어, 21세기의 정보화사회의 기능구현에 요구되는 고신뢰·고품질의 전력서비스의 실현을 기대할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 지역 전력공급네트워크의 특징은 다음과 같다.

- 부하와 전원이 혼재된 다수의 배전선으로 구성된 루

프운전 체계

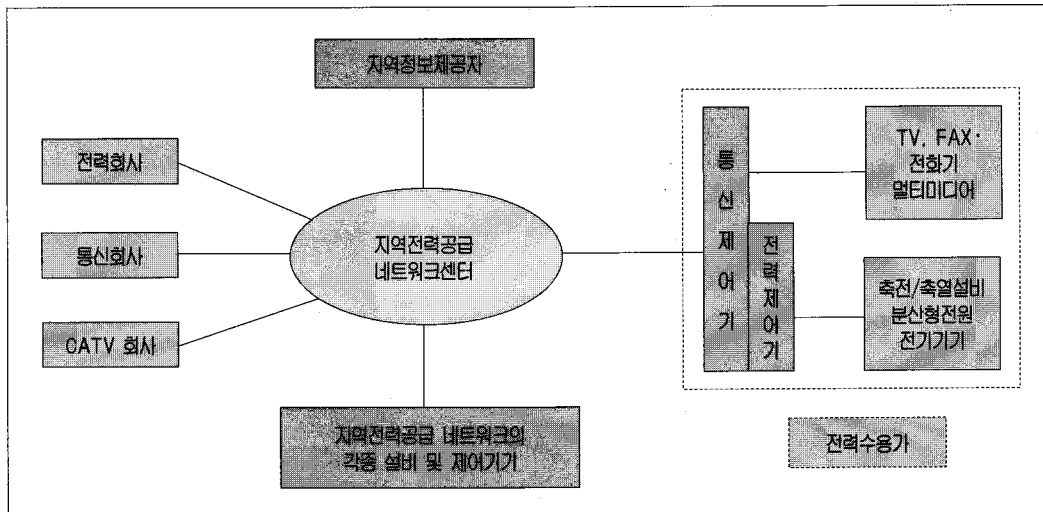
- 전력자유시장체제의 개방네트워크
- 패키지형태의 전력전송 가능
- 상위계통의 대규모전원과 지역내의 분산형전원이 서로 협조운전하는 자율분산 운영체계
- 다양한 수요관리전략의 적용 가능



〈그림 8〉 장래의 전력공급 이미지

—통합적 전력품질관리 가능
이러한 미래의 전력공급 이미지를 실현하는데는 지역 전력공급네트워크를 구성하는 각종 설비 및 제어기기, 그

리고 정보네트워크가 필수적으로 따르게 되며, 특히 이를 지원할 수 있는 전력정보 네트워크시스템의 장래 이미지로서는 그림 9와 같은 형태를 고려할 수 있다.



〈그림 9〉 전력정보 네트워크의 장래 이미지

(2) 장래의 전기에너지 유통시스템

장래의 전기에너지 유통시스템으로서, 배전계통에 도입이 예상되는 여러 장치를 이용하여 계통구성을 유연하게 바꾸거나, 높은 신뢰성의 전력(다품질전력)과 에너지 절약을 고려하거나 또는 고도정보화에 의한 부가가치를 높이는 등, 새로운 형태의 전기에너지 유통시스템이 제안되고 있다.

이와 같이 장래의 전기에너지 유통시스템에서는,

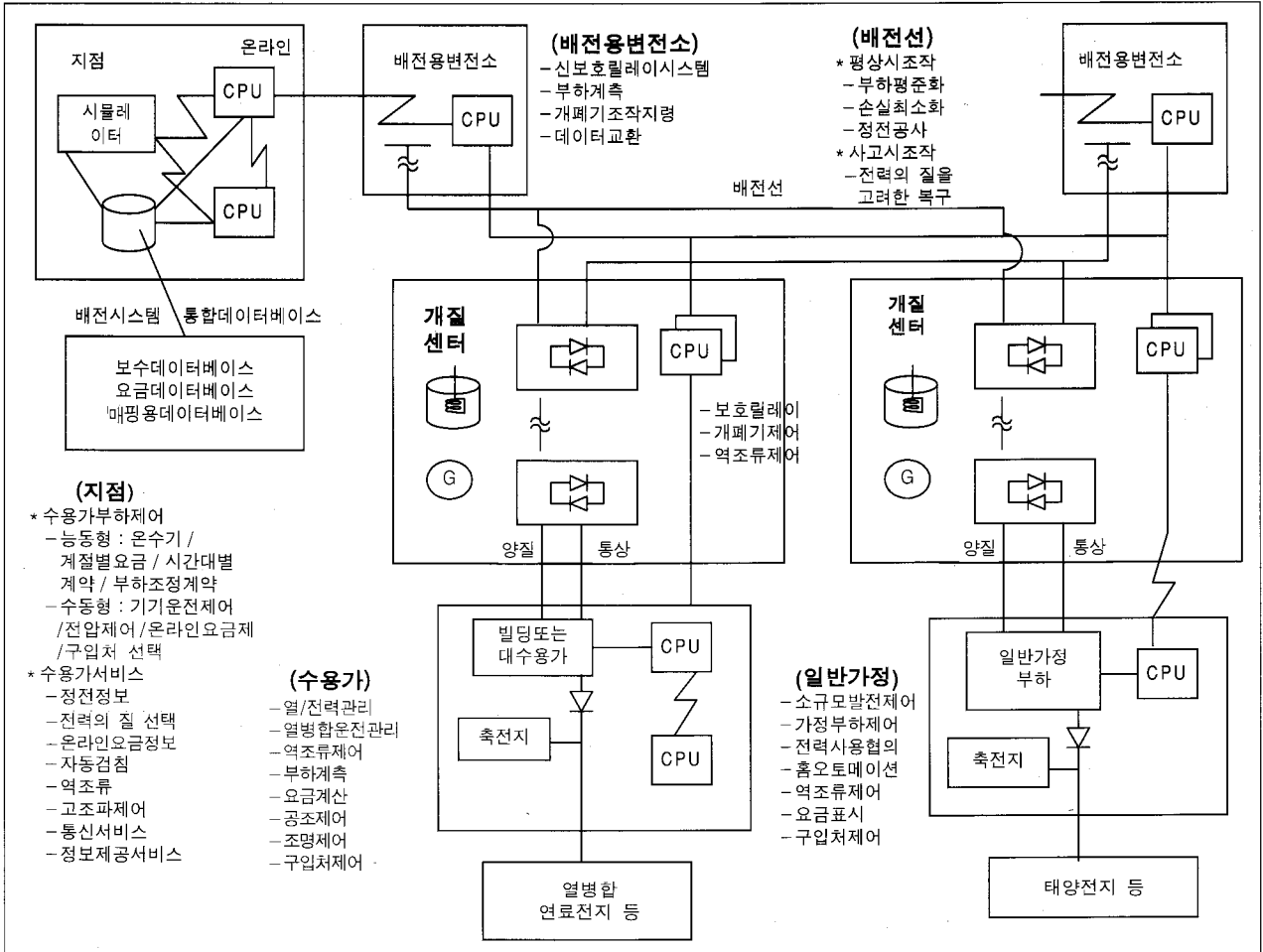
- ① 정지형개폐기 및 분산정보처리에 의하여, 평상시, 사고시, 작업정전시 등 필요에 따라 계통구성을 자유롭게 바꿀 수 있는 유연성
- ② 다수의 변전소로부터의 수전, 분산전원·분산전력 저장시스템을 이용한 기본적으로는 무정전인 고신뢰도 전력 공급
- ③ 전력의 질과 종류, 구입처를 수용가가 자유롭게 선택할 수 있는 멀티메뉴서비스 또는 다품질 전력 공급
- ④ 분산형전원·전력저장장치·수용가측 제어에 의한 부하의 평준화 및 에너지 절약
- ⑤ 정보서비스 등 수용가 서비스의 향상
- ⑥ 고도의 수용가측 제어

등을 분산형전원·전력저장장치, 수용가측 제어기술, 파워일렉트로닉스 기술, 정보처리 기술 등에 의하여 실현시키는 것이다. 구체적인 실현형태로서는 상기의 ①~⑥의 기능 모두를 실현시키고자 하는 고유연·고신뢰·고효율 전기에너지 유통시스템(Flexible, Reliable and Intelligent Electrical Energy Delivery System : FRIENDS)과 ②~④의 기능, 즉 다품질 전력공급만을 실현시키고자 하는 Custom Power, ⑤와 ⑥을 실현시키고자 하는 수용가 쌍방향 정보통신네트워크 서비스 등이 제안되고 있는데, 여기서는 FRIENDS와 Custom Power에 대한 구체적인 개념과 실현형태를 살펴본다.

(3) FRIENDS의 실현형태

앞에서도 말한 바와 같이, 전기사업을 둘러싼 환경이 현재의 사고방식으로는 대처할 수 없는 정도의 변화가 일어나고 있어, 이에 대처할 수 있는 새로운 개념의 시스템이 요구되고 있는데, 그중의 하나가 일본을 중심으로 활발하게 연구되고 있는 FRIENDS이다. 이 시스템의 특징은, 다품질 전력공급(멀티메뉴 서비스)을 실현하기 위하여, 수용가 근처에 현재의 배전선의 한 구간에 상당하는 것으로서 복수개의 고압배전선에서 수전할 수 있는 “전력개질센터(Power Quality Control Center)”를 설치하는 것이다. 이 개질센터는 빌딩의 옥상이나 지하 등의 공간에 설치되며, 내부에서는 다양한 품질의 전력을 만들 뿐만 아니라 정지형개폐기에 의한 고압측과 저압측 배전선의 유연한 접속변경이 가능하다. 이 시스템은 개질센터의 변압기에서 멀티메뉴방식으로 저압측배전선에 전력을 공급하는 방식을 취하며, 또한 고압배전선을 개질센터내의 정지형개폐기에 의하여 접속변경할 수 있으므로, 각 개질센터내의 전력공급과 바이패스 등을 자유롭게 할 수 있다.

한편, 정보통신망(광케이블)으로 연결된 개질센터는 자기지역의 제어뿐만 아니라, 각종 수용가의 정보서비스를 위한 정보처리 및 정보교환센터로서의 역할도 담당한다. 개질센터내의 개폐기와 장치의 조작 및 수용가측 제어 등은 지점 등에 설치된 제어용계산기와 배전용변전소, 개질센터, 수용가의 소규모계산기의 연계에 의하여 글로벌한 관점에서 수행된다. 물론, 동시에 이들 계산기의 연계에 의한 보호·제어도 수행될 수 있다. 이들 용도에 사용되는 데이터는 운용·보수·매핑·요금계산 등 전력유통시스템의 관리·운용·제어를 통합한 데이터베이스에 의해 일원적인 관리로 수행된다. 또한, 고압배전선과 개질센터의 보호를 위하여 필요한 개소에 고장검출용장치가 설치되며, 상시 정보를 필요한 개소에 보낸다. 고장시에는 인접한 개질센터의 정보를 참고로 하여, 부하를 정전시키지 않고 자율적으로 최적한 계통구성이 되도록 고



〈그림 10〉 FRIENDS의 기본개념도

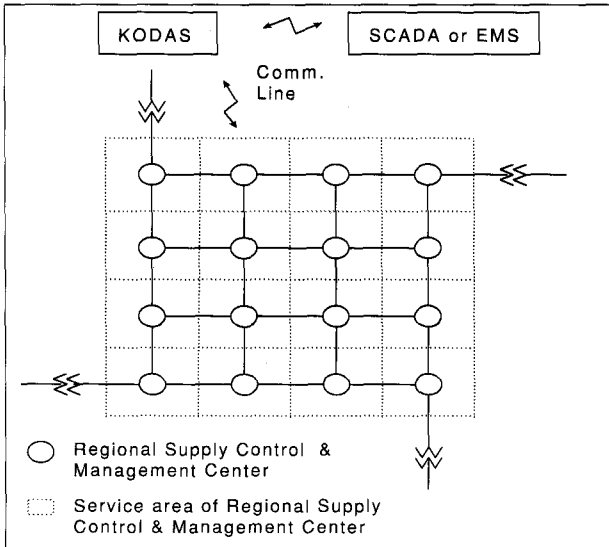
장구간을 제외시킨다. 개질센터 내부에는 분산형전원과 전력저장장치가 설치되며, 평상시에는 부하평준화 등의 에너지절약기능을 수행하며, 사고시에는 공급의 신뢰성 향상설비로서 이용된다.

그림 10은 FRIENDS의 개념도를 나타낸 것이며, 그림 11은 FRIENDS의 전기에너지 유통시스템의 구성을 나타낸 것이다. 이 그림에서 ○는 전력개질센터를 나타내며 격자상의 접속선부분이 도시중심부의 고압계통이며, 중심부를 향하여 교외에 있는 변전소에서 전력을 공급받

는다. 네트워크가 반드시 격자상일 필요는 없으나, 개질센터는 정지형개폐기의 접속변경에 의해 복수개의 변전소에서 전력을 공급받을 수 있어야 한다.

(4) Custom Power의 실현형태

전력계통의 운영자가 전력설비를 최적으로 운용한다 하더라도, 각종 사고로 인한 전력품질의 저하는 피할 수 없다. 또한, 최근의 자동화제어기기 및 정보통신기기 등의 보급으로 전력계통의 전력품질은 악화되는 상황에 있

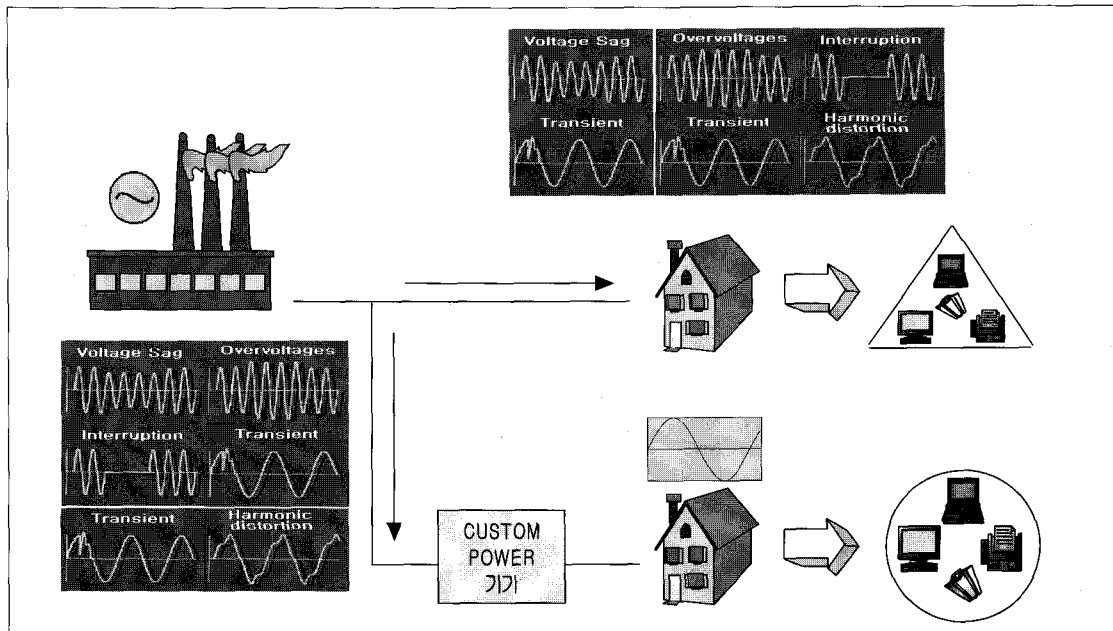


〈그림 11〉 FRIENDS의 전기에너지유통 개념도

으므로, 모든 수용가가 요구하는 양질의 전력을 공급하는 데는 한계가 있다. 따라서, 수용가의 전력품질 개선은 전력회사만의 몫이 아니라, 수용가도 원하는 전력품질을 확

보하기 위하여 어느 정도 투자해야 할 상황에 있다고 해도 과언은 아니다.

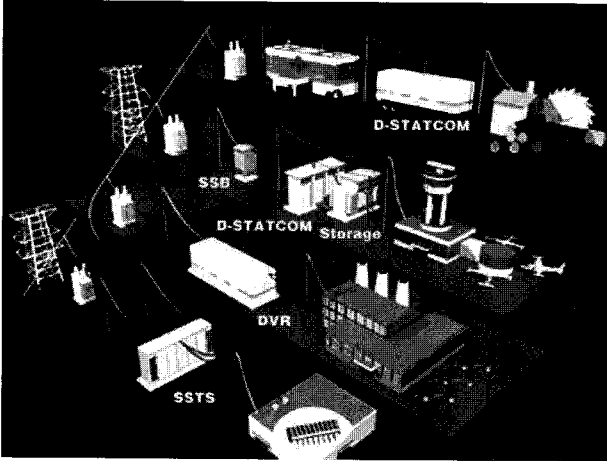
따라서, 전력회사가 공급하는 일정규정을 만족하는 전기가 “표준품”이라고 하면, 수용가는 그 이상의 품질을 갖는 “주문품”을 요구하는 상황이어서, 이러한 다양한 수용가의 요구를 만족시킬 기술개발이 필요하다. 그림 12와 같이, 수용가에게 고신뢰·고품질의 전력을 공급, 관리 및 제어해줄 수 있는 새로운 기기를 Custom Power기기라고 하며, 이와 관련된 요소기술로서는 전력전자, 정보통신, 제어기술, 전력기술 등이 복합된 통합기술을 들 수 있다. Custom Power기기의 대표적인 예로서, 고조파전류 보상장치인 능동필터(Active Filter), 정지형 동적전압컨트롤러(Dynamic Voltage Restorer), 무효전력 조정장치(SVC와 STATCON), 정지형 고속전환스위치(Sub-cycle Switch), 무효전력 보상장치(Soft Switch Capacitor), 다기능 전원공급장치 등을 들 수 있다. 이들 기기에 대한 구성도 및 기능은 표 3과 같으며, 이들 기기



〈그림 12〉 Custom Power기기의 개념도

〈표 3〉 Custom Power기기의 개요

기기명	장치의 구성도	기능 및 역할	비고
1. 능동필터 (Active Filter)		수용가내에 발생된 고조파전류를 흡수·억제하여 고품질의 전력을 공급받도록 한다.	-고조파발생원
2. 무효전력조정장치 (Static Var Compensator)		저역률 수용가의 무효전력을 자유로이 조정 및 관리하여 줌으로써 고품질의 전압 및 고역률유지가 가능하도록 한다.	-2회선 수전 또는 비상용 전원
3. 무효전력보상장치 (Soft Switching Capacitor)		2항의 기능과 같으나 무효전력을 자유로이 조정할수 있는 기능은 없다. 그러나 커패시터뱅크의 투입이 계통과의 전압차가 거의 없는 시점에서 이루어지므로 장치의 저가격화 및 장수명화를 꾀할 수 있다.	-저역률/플리커/저전압 발생
4. 정지형 고속전환 스위치 (Sub-cycle Switch)		2회선수전 또는 비상용 전원의 수용가에 있어서 계통사고 및 정전시에도 고속으로 전원절체를 하여 무정전공급을 행한다.	-저역률/플리커/저전압 발생
5. 정지형 동적 전압컨트롤러 (Dynamic Voltage Restorer)		수용가 수전용변압기에 직렬로 연결하여 계통으로부터의 저품질 전력(고조파, 불량전압)을 보상하여 고품질의 전력을 공급받도록 한다.	-고조파/플리커/저전압 발생 -순시정전방지 요구
6. 다기능전원 공급관리장치 (Multi-Function Power Conditioner)		상기의 1항목에서 5항목의 모든 기능을 통합한 장치로서 고품질, 장시간 무정전공급 및 전력감시 관리가 가능하도록 한다.	-고조파/플리커/저전압 발생 -장시간 무정전 요구



〈그림 13〉 Custom Power 배전계통의 개념도

에 의해 구성된 장래의 배전계통 이미지는 그림 13과 같다.

4. 결론

전력공급 형태를 크게 변화시키고 있는 세계적인 규제완화의 움직임은 당분간 현재의 흐름이 지속되리라고 생각되며, 배전계통의 고도정보화, 파워 일렉트로닉스화의 동향도 세계적인 흐름으로 예상된다. 또한, 지

금까지 언급한 차세대 배전계통기술인 FRIENDS, Custom Power 등의 개념은 하나의 구체적인 예로 말할 수 있다. 이들 최신기술과 규제완화는 상호보완적으로 전력공급 형태의 변화에 크게 영향을 주고 있다. 예를 들어, 파워 일렉트로닉스 기술은 송전계통의 투자억제에 의해 일어날 수 있는 전력품질의 저하를 배전계통 또는 수용가측에서 방지하기 위한 기술적인 배경을 제시해 주고 있다.

또한, 정보통신네트워크 기술은 규제완화에 의한 다품질 전력공급과 온라인요금제, 수용가 정보서비스 등의 실현을 가능하게 하고 있으며, 소형·고성능·값싼 컴퓨터에 의한 제어는 이들의 실현을 더욱 더 손쉽게 하고 있다. 또한, 이들 설비를 이용한 다양한 수용가 서비스는 그 자체를 하나의 상품으로서 취급할 수 있으며, 종래와 다른 비즈니스 기회도 제공하리라고 예상된다. 이와 같은 배경과 가까운 장래에 예상되는 1차 에너지원의 팽박도를 고려하면, 장래의 전력공급형태는 고도의 파워일렉트로닉스 기술과 정보통신 기술에 뒷받침되어, 수용가에 밀착된 배전계통을 축으로 한 수용가 중심의 공급형태로 변모되어 가리라 생각된다. ▣

〈참고문헌〉

- (1) Koichi Nara and Hasegawa Jun, "A New Flexible, Reliable and Intelligent Electrical Energy Delivery System", 일본 전기학회지B, 117권, 1호, 1997년 1월
- (2) Daeseok Rho, Hiroyuki Kita and Hasegawa Jun, "Basic Studies on the Impacts of Customer Voltages by the Operation of FRIENDS", 일본전기학회 전국대회 No.1486, 1997년 3월
- (3) Daeseok Rho, Eungsang Kim, Jaeeun Kim and Jun Hasegawa: "Basic Studies on the Impacts of Customer Voltages by the Operation of the Flexible Reliable and Intelligent Energy Distribution Systems", IASTED, 262-101, October 27-30, 1997, Orland, Florida
- (4) "전력계통기술의 새로운 조류", 1997년 6월호, 일본전기학회지, 117권 6호
- (5) 노대석, 김재연, 김응상 : "차세대 배전계통 개발에 관한 기초연구", '98 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술발표회, p145~p150
- (6) "전기기술 25 Event", 대한 전기학회지, 1997년 7월호 특집
- (7) "배전기술개발 장단계획수립에 관한 연구", 한국전력공사 배전처, 1997년 4월
- (8) "고유연, 고신뢰, 고효율 전기에너지 유통시스템 개발에 관한 기초연구", 한국전기연구소, 1998년 3월
- (9) "전력을 지탱하는 첨단기술", 일본 전기학회지, 116권 9호, 1996년 9월호
- (10) "전력계통기술의 새로운 조류", 일본 전기학회지, 117권 6호, 1997년 6월호
- (11) "고도화되는 정보기술은 어디까지 배전기술을 변혁할 것인가", 일본 전기학회 전국대회 논문집, S24-7, 1996년 3월
- (12) R.C. Dugan, M.F. Mcgrannaghan and H.W. Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996