

# 배전계통기술의 신조류

노대석\*, 김응상\*\*, 김재언\*\*\*  
(\*한국기술교육대, \*\*한국전기연구소, \*\*\*충북대)

## 1. 서론

영국에서는 1990년 전기사업이 재편성되어, 발전·송전·배전부문이 분리되면서 부분적이지만 서서히 자유경쟁의 시대에 돌입하고 있고, 미국에서도 1970년대부터 법적 규제완화를 마련하여 자유경쟁의 환경을 만들고 있으며, 또한 일본에서도 분산형전원을 배전선에 연계하는 것을 허용하는 등 전기사업법의 개정이 이루어지고 있다. 이러한 경향은 개발도상국에 있어서도 눈에 띄는 현상으로 세계적인 추세라고 볼수 있으며, 우리나라에서도 소규모 열병합의 배전계통 연계가 부분적으로 허용되는 등 소폭이지만 규제완화의 방향을 향하고 있다. 한편, 지구 규모의 환경문제와 에너지의 다변화 요구 등에 의하여, 가까운 장래에 중·소규모의 분산형전원(소형열병합, 태양광, 풍력, 연료전지 등)과 분산형 전력저장장치(2차전지, SMES, 플라이휠, 압축공기등)의 배전계통에의 도입과 운용이 예상된다. 이 경우, 현재의 상시개방형 배전계통에서는 고장시와 복구시에 전력조류의 방향을 알수 없게 되는 등의 이유로 계통보호와 제어가 복잡하게 되어, 기존의 방식으로는 대처하기 어려운 상황이 발생할 수 있다.

한편, 규제완화가 어느정도 진행되면, 수용가가 최소의 비용으로 전력구입 방법을 생각하고, 전력공급자측은 경쟁하에서 자사의 이익을 최대로 하는 방법을 추구할 것이다. 이것은 공급자측과 수용가측 상호간의 정보교환에 의하여 이루어 질수 있으며, 이를 위한 강력한 정보 네트워크가 요구되는 것은 필수적이다. 이러한 정보 네트워크는 배전계통의 조작·제어·보호와 수용가측의 제어에 이용되며, 단순히 전력정보 전송에만 그치는 것이 아니라, 홈오토메이션등의 수용가 정보 서비스까지도 연결될 것으로 예상된다. 더욱이, 수용가는 싼 가격의 전력공급을 원하는 반면,

정밀제어기기와 정보처리기기의 보급에 의하여 다소 가격은 높아도 정전과 순시전압저하, 고조파 등이 없는 고품질의 전력공급을 원하고 있다. 이와 같은 요구에 부응하기 위해, 고객이 자유롭게 전력의 질(가격)을 선택하여 구입할 수 있는 소위, 다품질 전력공급도 관심의 대상이 되고 있다.

이와 같은 배경하에서, 본 논문에서는 배전계통기술의 현황과 동향을 파악하여, 이들 과제들을 해결할 수 있는 장래의 배전계통 이미지와 실현형태에 대하여 소개하고자 한다. 특히, 가까운 장래에 도입이 예상되는 여러 하이테크 장치와 기술을 이용하여, 계통구성을 유연하게 바꾸면서, 높은 신뢰성의 전력을 효율적으로 수송할 수 있고, 또한 수용가의 다양한 요구에 대응할 수 있는 새로운 전기에너지 유통시스템의 기본 개념과 실현형태를 제안하고, 이에 요구되는 기술적인 사항 및 배전계통의 장래상을 제시하고자 한다.

## 2. 배전계통기술의 현황

### 2.1 배전계통기술의 변천

수용가와 밀접한 배전계통은 전력계통 가운데서도 사회 변화에 가장 민감한 부분에 위치하고 있기 때문에, 그 시대의 정세 동향을 정확하게 파악하여 시대의 요청에 부응하는 설비 형성과 기술개발을 수행하는 것이 중요하다. 즉, 배전계통은 전력의 안정적인 공급뿐만 아니라 수용가의 다양한 요구에 대하여, 능동적으로 대응해 나가지 않으면 안 되는 매우 가혹한 환경에 처해 있다고 말할 수 있다.

배전계통기술의 변천을 시대에 따라 살펴보면, 1950년대에는 6.25동란으로 가뜩이나 취약한 노후설비가 최악의 상태로 되었으며, 전재에서 복구는 하였으나 설비의 공급능력은 크게 부족하였고, 기자재의 조달도 어려운 실정이었다. 또한, 1960년 초반부터 시작된 경제개발계획에 의해 급

격한 경제성장이 이루어졌으나, 개인소득수준의 향상과 산업·인구의 대도시 집중화에 의하여 전력의 공급력 부족현상은 지속되었다. 따라서, 이때부터 배전전압의 승압에 의한 공급력증강이 배전기술의 중심이 되었다고 볼수 있다. 고압배전선의 경우, 1962년 미국 EBASCO사가 제안한 22.9kV-Y 다중접지 배전방식이 채택되어, 1965년 경북 칠곡군 약목변전소의 승압 시험선로가 효시가 되어 활발하게 승압공사가 추진되어 왔으며, 저압배전선도 1965년 칠곡군의 3개 부락에 대하여 단상 2선 100V에서 220V로 승압하여 시험공급을 시작한 후, 현재 대부분의 승압공사는 완료된 상황이다. 1980년대에 접어들어, 공중보안 향상의 사회적요청이 강하여 목주의 콘크리트화, 나전선의 절연전선화, 배전기자체의 개선등이 실시되어 설비안전이 향상되기 시작하였다. 이때부터, 생활환경에도 여유가 생겨 도시환경의 향상이 요구되어 배전설비의 미화·환경조화를 추진하였으며, 또한 지중화에 있어서도 기술적·경제적 과제를 극복하면서, 도심지에서부터 계획적으로 추진하여, 이에따른 기자재의 코스트다운과 메뉴의 다양화를 꾀하여 왔다. 한편, 1990년대에 접어들면서, 사회의 고도성장에 따라 사무실뿐만아니라 가정에서도 다종 다양한 전기제품이 보급되어 고품질 전기의존도가 증가하게 되었으며, 종래에는 조명정도에 영향을 미치던 정전이 수용가에 큰 영향을 미치게 되어, 정보처리기기나 정밀제어기기 등에서는 순시적인 전압저하도 허용되지 않는 상황에 이르게 되었다. 이 때문에, 정전 감소를 위하여 각종 피뢰기와 가공지선등의 뇌해대책을 중심으로 한 설비의 고도화에 박차를 가하고 있으며, 또한 무정전공법 및 고도의 제어기술을 구사하는 배전공사용 로봇트의 개발에 착수하여 작업정전을 감소시킬 뿐만아니라, 공사시공의 효율화와 안전성의 확보를 꾀하고 있다. 이와 같은 노력으로, 1997년 호당 정전시간은 22분으로 세계적으로도 우수한 수준에 도달하게 되었다. 또한, 컴퓨터와 통신선에 의한 배전계통의 고도감시 및 제어를 자동적으로 행하는 “한국형 배전자동화시스템”을 개발하여, 정전시간을 더욱 더 단축시키려고 노력하고 있다.

이상에서와 같이, 배전계통기술은 지금까지의 설비의 고도화에서 운용의 고도화 시대를 맞이하고 있으며, 이것을 지탱하는 정보통신기술과 파워일렉트로닉스기술 등의 눈부신 발전에 의하여, 배전계통도 급속한 변화와 진전이 예상되고 있다.

### 2.2 배전계통의 기술적 요구사항

21세기 정보화사회의 기능은 대도시 집중화와 지방으로의 분산화라고 하는 이중구조의 형태로 진전되리라 예상되며, 이에 따른 도시 및 지역사회에 있어서 배전계통에 요구되는 사항들의 근본적인 원인을 살펴보면, 소득·소비수준의 향상으로 인한 생활문화의 다양화·고도화, 도시기능의 고도화, 도시구조의 변화, 자원의 고갈, 인간존중이라는 5가지 측면에서 볼 수 있다. 이러한 근본 출처에 따른 배전계통에의 요구사항은 다음과 같이 대체적으로 6가지 항목으로 분류할 수 있다(그림 1 참조).

- 생활문화의 다양화·고도화가 진전됨에 따라서 산업 및 가정의 전력의존도가 증대되고, 또한 서어비스질의 향상도 크게 요청되고 있는데, 이를 위해서는 분산형전원의 개발 및 이의 배전계통에의 연계, 도심지의 고압송전, 배전설비의 시설기준 확립 등과 같은 **안정공급능력 의 확보**
- 고도정보화에 따른 고도 정보기기의 확대보급, 수요일도의 증가 등에 대처하기 위한 사고정전 감소대책과 작업정전 감소대책, 규정전압유지, 고조파 방지 등의 **전력품질 유지**
- 도시환경의 정비와 전주건설 규제도로의 증가에 대응하기 위해서 생활 환경의 쾌적화 및 지중화 등의 **환경조화형 배전설비**
- 자원, 설비, 인적자원의 유효활용을 위해서 정보네트워크의 구축, 배전자동화, 배전업무의 전산화 등의 **수용가 서어비스**
- 전기사고방지를 위해서 작업환경의 개선, 사회안전의 확보, 수용가의 안전확보 등의 **안전성**
- 전력회사 및 수용가의 자원과 설비를 효과적으로 활용하기 위한 부하관리, 설비비용의 효율화, 전력손실의 저감, 최적최소비용의 배전계획수립 등의 **코스트다운**

따라서, 앞으로 국내외 정세변화의 불확실성이 예상되는 21세기 정보화사회에 있어서, 고품질·고신뢰의 전력공급과 경제적이고 효율적인 배전계통 운용을 위해서는 상기의 6가지 요구항목 분야에 걸친 배전기술이 개발·적용되어야 하며, 또한 합리적인 기술개발 투자가 이루어져야 한다. 이상의 배전분야에 요구되는 사항 및 종합적인 대응방향을 정리하면 그림 1과 같다.

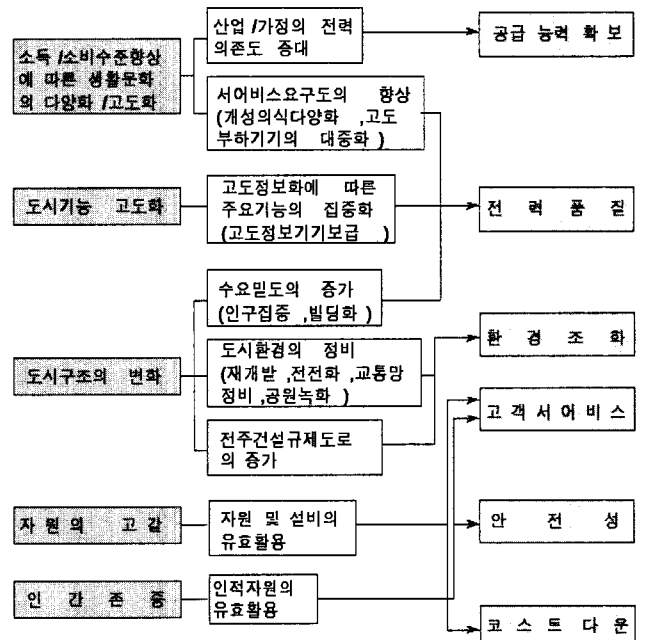


그림 1. 배전분야의 요구사항 및 종합대응 방향

### 3. 배전계통기술의 장래동향

배전계통은 전력공급의 최말단부를 담당하고 있기 때문에, 개개의 수용가에 대응에서부터 넓은 면적에 설치된 막대한 양의 설비에 대한 건설·유지·운용을 어떻게 합리적으로 관리하느냐가 중요한 과제이다. 이 때문에, 종래부터 신기술의 도입 및 업무처리 방법의 개선을 적극적으로 추진하여 합리화 및 생산성 향상에 노력하고 있으며, 장래에도 이와같은 동향은 유사하리라 생각된다. 여기서는, 배전계통기술의 장래 동향을 파악하기 위하여, 먼저 배전계통을 둘러싼 각종 환경변화를 가장 민감하게 느끼는 수용가의 시점에서 배전계통을 분석하고, 배전계통에 영향을 끼치는 주변기술과 장래에 도입이 예상되는 새로운 배전계통의 개념과 실현형태에 대하여 살펴본다.

#### 3.1 배전계통 주변의 환경변화

종래, 전기사업자측에서 “수요”라는 것은 신성시되어 범할수 없는 것이라는 인식이 강했으며, 전기사업자에게 부과된 사명은 주어진 수요(수용가가 사용하고 싶은 만큼의 전력량)를 높은 신뢰성으로 공급하는 것이었다. 그러나, 수요가 신성불가침이라는 사고방식에 의하여, 하계 냉방수요 등에 의하여 피크부하가 크게 증가하여 전력회사가 보유하고 있는 설비의 가동율이 악화되는 등의 피해가 발생하게 된다. 이와 같은 경우에는, 필연적으로 코스트가 상승하여 전력회사의 경영을 압박할 뿐만아니라, 수용가 측면에서도 전기를 자유로이 사용할수 있다는 이점은 누릴수 있지만, 전기요금면에서 볼때, 결코 환영받을 수 없는 상황이 된다.

따라서, 전력회사에서는 수용가 부하관리(Demand-Side Management : DSM) 기술이 필요한데, 이는 전력회사가 수용가측에 적극적인 행동을 취해, 전기사업자뿐만 아니라 사회전체적인 면에서도 바람직한 전력수요를 유도하는 것이다. DSM이 목표로 하는 부하특성 변화패턴에는 여러가지가 있지만, 기본적으로는 피크수요 또는 전체에너지를 억제하는 것이다. 그러나, 경우에 따라서는 다른 에너지(가스등) 형태로부터의 이행을 유도하여, 전력수요를 창출하는 경우도 있다. DSM을 실제로 수행하기 위하여, 다음과 같은 프로그램을 사용하고 있다.

- ① 정보제공 : 팜플렛이나 방송매체를 통하여 수용가에 에너지절약기술등을 제공
- ② 수요관리 : 수용가기기를 전력회사측에서 직접 ON/OFF 하는 직접제어와 시간대별로 전기요금을 변화시키는 등의 요금제도를 이용한 간접제어
- ③ 리베이트(쿠폰) : 기존의 설비를 고효율설비로 바꾸는데 소요되는 비용을 조성함
- ④ 저금리용자 : 저소득자가 고효율기기를 사는 등의

- DSM 프로그램에 참가할수 있도록 저금리로 용자함
- ⑤ 실적계약 : 에너지 서버서비스회사(전력회사와 수용가 중간에서, DSM의 실행을 청부맡은 회사)에 대하여, 목표로 하는 DSM성과의 달성정도에 대하여 전력회사가 보수를 지불함
- ⑥ 기기의 직접설치 : DSM용의 기기를 전력회사측이 직접 설치하여, 운전보수를 함

상기의 여러 프로그램을 적절하게 조합하여 사용하면, 어느 정도 수용가의 부하를 제어할 수 있지만, 지역 독점기업인 전력회사가 DSM의 프로그램을 마음대로 사용하면, 여러 폐해가 일어날 가능성이 있다. 지금까지, 주어진 수요에 대하여 높은 신뢰성으로 공급하는 것을 조건으로 지역 독점을 인정해 왔기 때문에, DSM을 실시하여 일반수용가에 악영향을 끼치게 하는 것은 용인될 수 없기 때문이다. 따라서, DSM을 실시해도 그 규모를 적절한 것으로 하고, 수용가 측면에서도 잇점을 가지도록 하기 위해서는 새로운 제도가 정비되어야 한다.

DSM의 프로그램 가운데는, 전기사업자 또는 수용가의 자발적인 참여에 의하여 실시되는 시장지향형과 에너지 절약과 저소득층을 위한 보조정책과 같은 사회적인 필요성에 의한 것이 있는 데, 후자는 규제측으로부터 강요당하는 경우가 많다. 전력시장의 경쟁도입에 의해, 후자는 전기사업자가 아닌 정부의 직접적인 간여가 필요하게 된다. 수용가에 공급할 의무가 있고, 또한 신뢰도가 중요하다고 하지만, 역시 지역독점의 형태는 자유주의 경제의 원칙에서 벗어나며, 따라서 효율이 악화되고 있다는 것이 규제완화의 입장으로, 규제를 완화함으로써 경쟁을 장려하고, 효율의 향상을 달성하는 것이 목표가 된다. 그러나, 너무 자유로운 경쟁에 맡기게 되면, 지금까지 달성되어 온 공급신뢰도가 붕괴되어 버릴 염려가 있다. 자유경쟁에 내맡겨진 전기사업자는, 채산성이 없는 수용가(예를들어, 산간벽지의 작은 밀도의 수용가)에 대해서는 공급하지 않거나, 법외의 가격으로 공급하는 선택을 할 것이다. 이와같은 경우가 발생해서는 안되므로, “규제완화”라고 해도 느슨한 규제는 적용하면서 경쟁원리를 도입하는 것이 중요하다. 즉, 경쟁을 하면서 공급의무를 모두 지도록 하는 적절한 제도가 필요하다. 예를들어, 공급의무를 지고 있는 전력회사가 송전부문도 가지고 있다면, 다른 업자가 전기를 보내는 탁송요금에 코스트가 높은 지역의 배전비용을 추가로 요구하는 것이 고려될 수 있다. 그러나, 이것도 얼마든지 추가적으로 요구해도 좋다는 것이 아니며, 다른 사업자의 신규참여를 저해하지 않고 사회적으로 공정한 정도만이 허용되어져야 한다. 공급의무를 보증하기 위하여 사회적으로 공정한 코스트 부담이라는 범위내에서 자유로운 경쟁의 메리트를 누릴수 있게 된다면, 수용가로부터 “얼굴”이 보이는 오픈되고, 효율적인 배전계통이 달성될 것이다. 이와 같은 시스템이 실현되면, 일반수용가에 있어서도 규제완화에 의한 메리트가 분명히 기대될 것이다.

### 3.2 배전계통기술의 주변동향

#### 3.2.1 전력전자기술

최근, 파워일렉트로닉스(전력전자) 기술의 발전은 눈부시며, 소자의 용량과 내압의 양면에서 많은 문제점이 해결되어, 배전계통의 많은 분야에 적용되고 있다. 그림 2와 같이, 이미 직류송전등에 전력전자 기기가 도입·운용되고 있으며, 규제완화에 의한 전력유통의 증가 및 전력조류의 엄밀한 관리, 전력품질 유지에 대한 사회적인 요청에서, 전력전자 기기가 배전계통과 수용가에 더욱 더 활발하게 도입되리라고 전망된다. 전력전자 기기의 배전계통에의 특징적인 이용형태로서는, 인버터로서의 활용과 각종 개폐기(차단기포함)의 정지형화에 있을 것이다. 예를들어, 싸이리스터 한류기가 개발되었으나 직렬 사용시의 전압강하 및 상시의 손실면에서 문제점이 있어 아직 보급되지 않고 있는 실정이다. 배전계통에 있어서 전력전자기술의 직접적인 응용 예으로서, 수용가 옥내의 직류배전, 분산형 전력저장장치에 의한 부하평준화, 사고시의 비상용전원 등을 들수 있다. 특히, 옥내 직류배전(지붕에 태양전지판이 설치되고, 전지전력저장시스템의 기능이 부가된 전력변환장치에 에어컨, 조리기, 냉장고, 세탁기등의 직류 가전기기부하가 연결됨) 방식은 분산형전원의 연계와 전기자동차용의 충전용으로서 적합하며, 또한 사용하는 기기에 따라 적절한 주파수가 다를 수 있으므로, 필요한 장소에서 원하는 주파수를 인버터로 만들어서 이용할 수 있는 것도 특징이다.

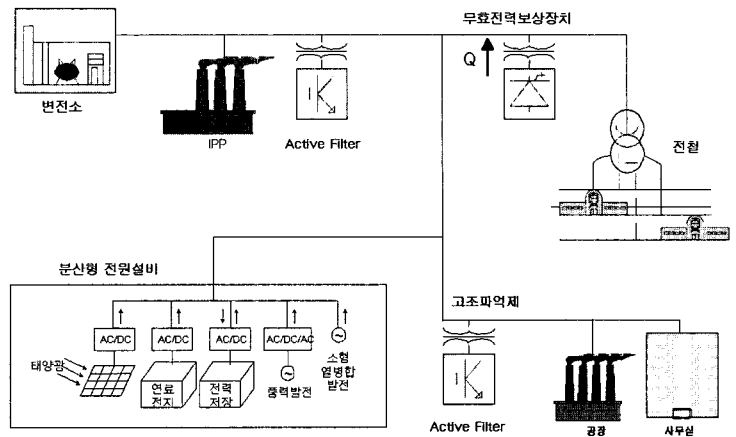


그림 2. 전력전자기술의 배전계통 응용도

메리트가 작은 신에너지 전원의 개발이 지구규모적인 환경문제에 의해, 국가적인 차원에서 활발하게 추진되고 있다. 한편, 2차전지를 이용한 전력저장장치가 실용화에 가까워지고 있고, 소규모 초전도코일(SMES)도 개발되고 있는 등, 무정전 전력공급과 부하평준화 등의 목적으로, 이들 분산형전원·전력저장장치가 배전용변전소나 수용가에 분산 배치되는 것이 예상된다. 이들 분산형전원·전력저장장치는 기존의 대규모 전원과의 협조적인 운용에 의해, 전력의 고효율사용, 부하평준화, 무정전 전원공급 등의 여러 메리트가 기대되며, 이것을 효과적으로 운용하기 위한 계통구성과 운용방식에 대해서도 검토되고 있다.

#### 3.2.2 정보통신기술

최근의 정보처리기술의 진보는 눈을 의심할 정도로 급속히 이루어지고 있는데, 특히 전자계산기의 소형화·저가격화 및 광통신으로 대표되는 정보통신기술의 진보는 현저하며, 분산배치된 계산기간의 대량의 정보통신을 고신뢰도로, 더욱이 고속으로 가능하게 하고 있다. 이와같이 정보혁명이라고까지 불리우는 진보에 따라, 배전계통에 있어서 정보처리의 개념도 바뀌어가고 있다. 예를들어, 가까운 장래에는 로컬정보를 상호간에 정보통신장치를 개입하여 서로 교환하고, 이들 정보로부터 자율적인 판단에 의한 보호·제어·조작을 행하는 자율분산제어가 달성되리라 기대된다. 또한, 정보통신망을 이용한 자동검침과 수용가측 제어에 대해서는 다수의 검토가 진행중에 있으며, 강력한 정보통신망을 이용한 고객에의 정전 정보표시 및 이용요금 표시서비스 등의 각종 정보서비스도 고려되고 있다. 이들 고도의 정보처리기술은, 그림 3과 같이 현재의 배전계통의 이미지를 근본적으로 바꿀 수 있는 하나의 요인이 될 가능성이 있다고 생각된다.

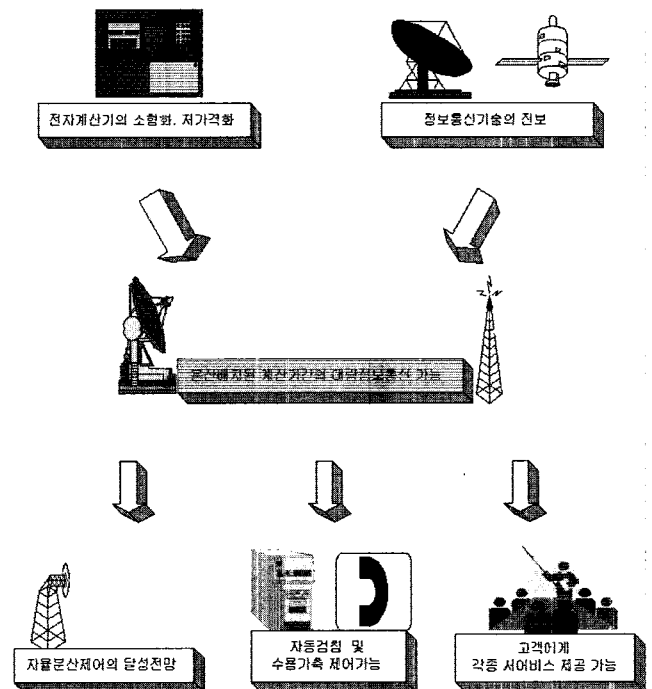


그림 3. 정보통신기술의 배전계통 응용 개념도

#### 3.2.3 분산형전원·전력저장장치 기술

최근, 열병합과 태양전지등의 소규모 분산형전원이 수용가측에 설치되고 있으며, 연료전지, 태양전지 등의 스케일

### 3.3 장래의 전기에너지 유통시스템

#### 3.3.1 장래의 전력공급 이미지

장래의 전력공급의 이미지로서는, 그림 4에서 보는 바와 같이 기존의 전력 네트워크를 기반으로 그 위에 분산형전원 등이 각 지역을 중심으로 구성되는 **지역 전력공급네트워크**가 연결되어 운용되는 형태로 발전될 것으로 예상된다. 이것에 의하여, 에너지 자원의 효율적 이용이 가능하게 되며, 대도시등의 전력수급난을 어느정도 해결할 수 있으며, 21세기 정보화사회의 기능 구현에 요구되는 고신뢰·고품질의 전력 서비스의 실현이 기대된다. 이러한 지역 전력공급네트워크의 특징은 다음과 같다.

- 부하와 전원이 혼재된 다수의 배전선으로 구성된 루우프 운전체계
- 전력 자유시장 체제의 개방 네트워크
- 패키지 형태의 전력전송 가능
- 상위계통의 대규모 전원과 지역내의 분산형전원이 서로 협조운전하는 자율분산 운용체제
- 다양한 수요관리 전략의 적용 가능
- 다품질 전력품질관리 가능

이러한 미래의 전력공급 이미지의 실현에는 지역 전력공급네트워크를 구성하는 각종 설비 및 제어기기, 그리고 정보네트워크가 필수적으로 따르게 되며, 특히 이를 지원하는 전력 정보네트워크시스템의 형태는 그림 5와 같다.

#### 3.3.2 장래의 전기에너지 유통시스템

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

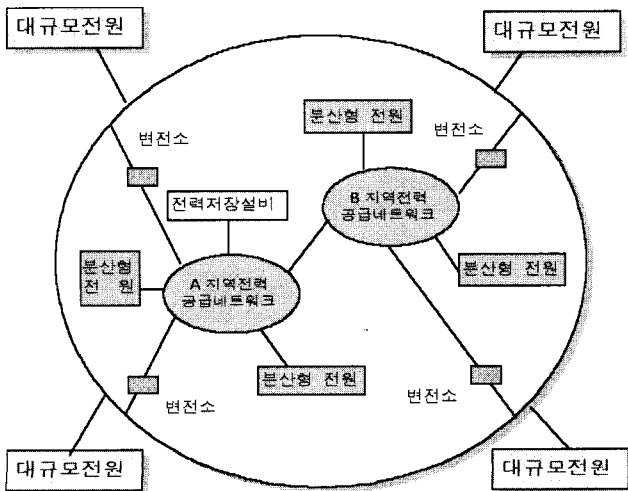


그림 4. 장래의 전력공급 이미지

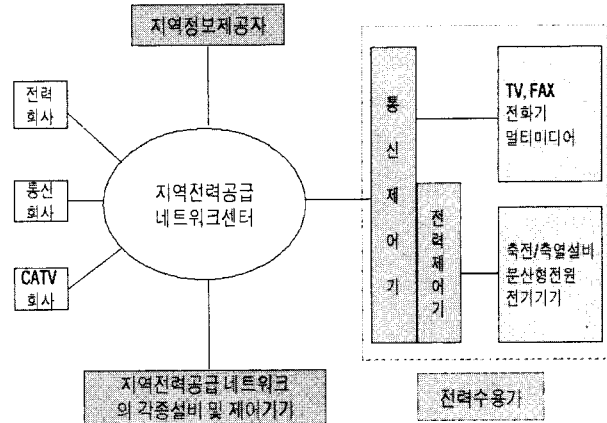


그림 5. 전력정보 네트워크의 구성도

- ① 정지형개폐기 및 분산정보처리에 의하여, 평상시, 사고시, 작업정전시등 필요에 따라 계통구성을 자유롭게 바꿀수 있는 **유연성**
- ② 다수의 변전소로부터의 수전, 분산전원·분산전력저장시스템을 이용한 기본적으로는 무정전인 **고신뢰도 전력공급**
- ③ 전력의 질과 종류, 구입처를 수용가가 자유롭게 선택할 수 있는 멀티메뉴 서비스 또는 **다품질 전력공급**
- ④ 분산형전원·전력저장장치·수용가측 제어에 의한 부하의 평준화 및 **에너지절약**
- ⑤ 정보서비스등 **수용가 서비스의 향상**
- ⑥ 고도의 **수용가측 제어**

등을 분산형전원·전력저장장치, 수용가측 제어기술, 전력전자기술, 정보통신기술 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 ⑥의 기능만을 실현하는 **수용가 쌍방향정보통신 네트워크 서비스** 등이 제안되고 있는데, 여기서는 FRIENDS와 Custom Power에 대한 구체적인 개념과 실현형태에 대하여 소개하고자 한다.

#### 3.3.3 FRIENDS의 기본개념과 실현형태

##### 3.3.3.1 FRIENDS의 기본개념

전력전자기술과 정보통신기술의 급격한 발전에 의하여 배전계통에 도입이 예상되는 여러 장치와 분산형전원 등을 이용하여, 유연하게 계통구성을 바꾸면서 높은 신뢰성의 전력을 효율적으로 수송할 수 있고, 또한 규제완화 후에 수용가로부터의 여러 요구사항에 신속하게 대응할 수 있는 새로운 전기에너지 유통시스템(FRIENDS)이 일본을 중심으로 활발하게 연구·개발되고 있다. 이 시스템은 현재 개발되고 있는 배전계통의 자동화 및 근대화에 관한 과제를 통

합하고, 더욱이 배전계통에 고유연성, 고신뢰성 등 다양한 기능을 가지게 하는 새로운 개념의 시스템이다.

이 시스템의 특징적인 점은 그림 6과 같이, 수용가 가까운 곳에 현재의 고압배전선의 한 구간에 해당하는 것으로서, 복수개의 고압배전선에서 공급 가능한 “전력개질센터(PQCC : Power Quality Control Center)”를 설치하는 것이다. 이것은 기존의 배전용변전소 기능을 지역적이고 분산적으로 수행하는 일종의 지역 전력공급관리센터의 역할을 하는 것으로서, 이 센터내에서는 그림 7과 같이 정지형개폐기와 전력품질개선편환장치(능동필터, 동적전압보상장치, 무효전력조정장치 등)가 설치되며, 다른 전력개질센터와의 유연한 접속변경이 가능할 뿐만 아니라, 다양한 품질의 전력을 공급할 수 있다. 또한, 전력개질센터내에 분산형전원과 전력저장장치가 설치되어, 전력공급의 고신뢰화 및 에너지이용 합리화, 부하평준화 등의 목적으로 운용된다. 한편, 전력개질센터는 센터자체의 제어와 담당지역의 각종 수용가 정보서비스를 위한 정보처리 및 정보교환센터의 역할도 수행한다. 전력개질센터 내부의 개폐기와 장치의 조작, 수용가측 제어 등은 중앙제어센터(전력회사의 지사, 지점, 영업소)에 설치되어 있는 제어용 계산기와 배전용변전소나 전력개질센터, 수용가의 소규모 계산기의 연계에 의하여 글로벌한 관점에서 이루어진다. 또한, 이들 계산기의 연계에 의한 보호와 제어도 수행되며, 이들의 용도에 이용되는 데이터는 운용·보수·맵핑·요금계산 등 전력유통시스템의 관리·운용·제어를 통합한 데이터베이스로서 일원적인 관리가 이루어진다.

3.3.3.2 기존 배전계통과 FRIENDS의 운용특성

기존의 배전계통은 대부분 배전용변전소(154kV/22.9kV, 45/60MVA)를 중심으로 각종 제어 및 운용을 수행하기 때문에, 담당하는 지역이 광범위하고 구성설비도 막대하므로 각 수용가의 다양한 요구를 만족하기에는 거의 불가능하다. 따라서, 수용가 특성에 따른 다양한 요구에 대응하기 위하여 멀티메뉴서비스(부하관리, 전력품질, 고객정보서비스 등) 기능을 가진 계통구성이 필요하다. 예를들어 기존의 배전계통에 있어서, 수용가 전압은 배전용변전소내의 주변압기 탭과 고압선로상의 주상변압기 탭에 의하여 조정

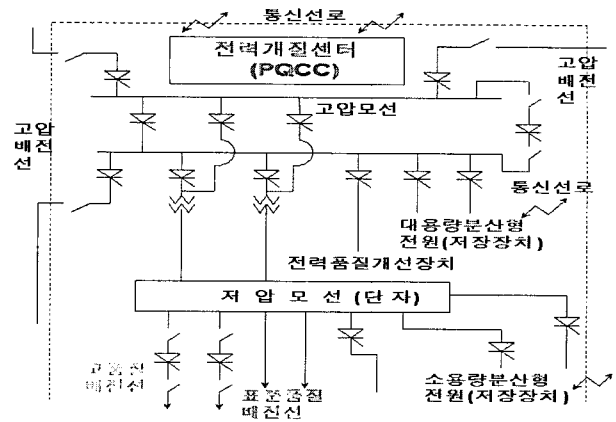


그림 7. 전력개질센터의 구성도

되지만, 주상변압기의 탭은 거의 고정되어 있기 때문에 주 변압기의 탭조정만으로 관리되고 있다. 따라서, 광범위한 공급지역의 다양한 수용가를 만족스럽게 제어하기에는 현재의 계통구성으로는 어려운 실정이다. 더구나, 기존의 수직상 배전계통에 분산형전원이 불특정 다수로 무질서하게 도입되는 경우, 수용가 전압에 대한 관리가 더욱더 복잡하게 되므로 지역적인 전력공급방식과 분산자율적인 제어방식이 필요하다. 또한, 분산형전원(분산형 전력저장시스템포함)은 부하관리 기능을 가지므로 계통전체의 최적운용(경제성관점 : 전원베스트믹스)을 위하여 상호간의 적절한 협조운용이 요구된다. 그러나, 기존의 배전계통 구성으로서는 분산형전원의 개별적인 최적운용은 가능하지만, 상호간의 종합적인 최적운용이 어렵기 때문에 유연하게 계통구성을 변화시킬 수 있고, 종합적인 관리가 가능한 장소가 필요하다. 한편, 기존의 배전계통 구성방식(3분할 3연계)과 기계식개폐기에 의한 운용방법으로서는 손실을 저감시키기에는 한계가 있으므로, 정지형개폐기의 개발과 유연한 계통구성 방안이 요구된다.

이와 같이, 배전계통을 둘러싼 환경변화에 따라 기존 배전계통에서 요구되고 있는 각종 문제점을 해결하기 위한 하나의 방안으로서, 새로운 개념의 FRIENDS에 의하면 다음과 같은 운용효과가 기대된다.

- ① FRIENDS의 전력개질센터는 일정 구간마다 설치되고 기능적으로 미니변전소의 역할을 수행하므로, 분산적인 계통운용 및 제어가 가능한 계통구성 방식이다. 따라서, 기존 배전계통의 배전용변전소가 담당하는 광범위한 공급지역에 따른 여러 문제점(수용가의 다양한 요구조건, 전력품질문제 등)을 해결할 수 있다. 즉, 전력개질센터의 개입에 의해, 고압측(배전용변전소, 고압선로)의 최적운용을 위한 유연한 계통구성이 가능하고 또한 자기가 담당하는 저압측(저압선로, 수용가)의 공급지역을 적정하게 운용함으로써, 고압측과 저압측의 계통운용을 협조적이고 분산적으로 수행할 수 있다.

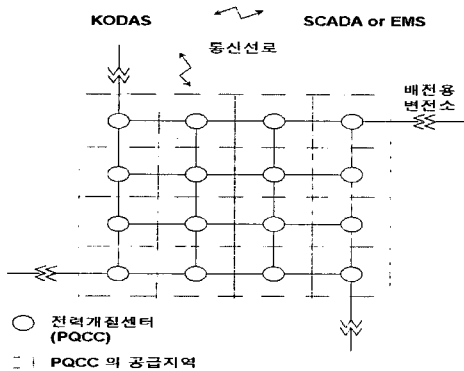


그림 6. FRIENDS의 기본개념

- ② 전력개질센터내에 설치된 전력 품질 개선장치와 분산형전원, 전력저장시스템의 적절한 운용에 의하여, 수용가가 요구하는 다양한 전력품질(표준품질, 고품질)을 공급할 수 있다. 예를 들어, 전기요금이 다소 비싸더라도 완전 무정전을 요구하는 수용가가 있는 전력개질센터내에는 분산형전원의 설치용량을 크게 하거나, 순시적인 전력품질(순시정전, 순시전압상승/강하, 플리커, 고조파, 써어지 등)을 요구하는 경우에는 그에 상응하는 전력품질 개선장치를 설치한다.
- ③ 전력개질센터는 중앙제어센터의 통합적인 제어에 의하여 상호간의 협조운용이 가능하므로, 각 센터내의 분산형전원 및 전력저장시스템을 적절하게 운용하여, 배전계통 운용뿐만 아니라 계통 전체의 부하관리 및 최적 경제 운용에도 기여할 수 있다.
- ④ 전력개질센터의 내부에 설치된 정지형개폐기에 의하여 고압측의 계통구성을 자유롭게 바꿀 수 있기 때문에, 시시각각 변화하는 선로조류를 파악하여 선로 손실을 최소로 하는 계통을 유연하게 구성할 수 있다.

### 3.3.3.3 FRIENDS의 실현형태 및 기술적 과제

FRIENDS는 중앙제어센터(전력회사의 지사, 지점, 영업소) 및 배전용변전소, 고압배전선로, 전력개질센터, 수용가(대규모, 소규모) 등으로 구성된다. 중앙제어센터는 상위계통의 제어시스템(EMS, SCADA)과 배전자동화시스템, 다른 구성요소와의 연계에 의하여 글로벌한 관점에서 각종 제어를 수행하며, 수용가 부하제어와 정보서비스 등을 제공한다. 배전용변전소와 고압선로는 새로운 보호협조시스템과 개폐기 조작, 데이터교환 등의 기능을 수행한다. 전력개질센터는 FRIENDS에서 가장 핵심적인 역할을 수행하는 장소로서, 고신뢰성 전력공급 및 최적 조류제어, 전력품질 개선, 멀티메뉴서비스 등 중요한 기능을 수행한다. 수용가는 일반 가정과 사무실과 같은 소규모 수용가와 공장이나 빌딩 등의 대규모 수용가로 분류되며, 전자에는 비교적 용량이 작은 태양광발전, 로드 컨디셔너(Load Conditioner : 심야전력이용 전력저장장치) 등이 설치되며, 후자에는 연료전지, 열병합발전, 대용량 전력저장장치 등이 설치된다. 따라서 이들 중·소규모의 수용가 전원은 전력개질센터와의 합리적인 연계 운전이 필요하다.

상기와 같이, FRIENDS의 각 부분의 역할 및 구체적인 실현형태는 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 이와 같이, FRIENDS의 다양한 기능을 실현하기 위한 기술적인 과제로서는 하

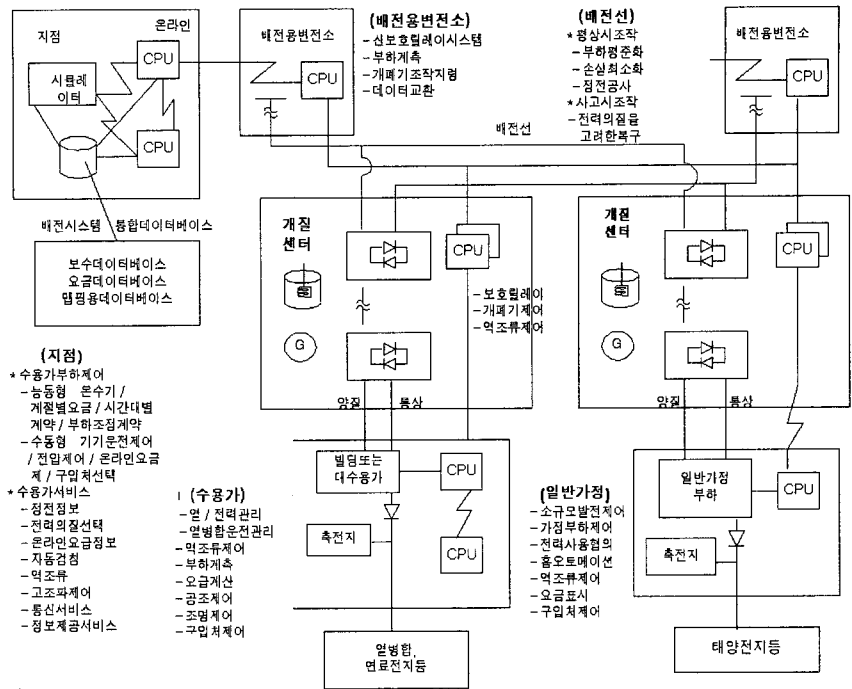


그림 8. FRIENDS의 구성 및 역할

드웨어적인 면에서 새로운 전력유통 네트워크방식과 정지형 구간개폐기, 새로운 보호협조시스템, 고기능 통상방식 등의 개발이 요구된다. 또한, 소프트웨어적인 면에서 전력 품질 및 손실최소화를 고려한 사고시 복구수법과 평상시 시스템구성 결정수법, 통합 데이터베이스의 구축방법 및 기존 시스템과의 원활한 이행방식, 부하관리 방식, 분산형전원의 경제운용방안 등의 알고리즘 개발이 요구된다.

### 3.3.4 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 있으므로, 모든 수용가가 요구하는 양질의 전력을 공급하기에는 한계성이 있다. 따라서, 수용가의 전력품질 개선은 전력회사만의 몫만이 아니라, 수용가도 원하는 전력품질을 확보하기 위하여, 어느 정도 투자해야 할 상황에 있다고 해도 과언은 아니다. 따라서, 전력회사가 공급하는 일정규정을 만족하는 전기가 "표준품"이라고 하면, 수용가는 그 이상의 품질을 가지는 "주문품"을 요구하는 상황이어서, 이러한 다양한 수용가의 요구를 만족시킬 기술개발이 필요하다. 이와 같이, 수용가에게 고신뢰·고품질의 전력을 공급, 관리 및 제어해줄 수 있는 새로운 기기를 Custom Power 기기라고 하며, 고조파전류 보상장치인 능동필터(Active Filter), 정지형 동적 전압컨트롤러(Dynamic Voltage Restorer), 무효전력 조정장치(SVC와 STATCON), 정지형 고속절환스위치(Sub-cycle Switch), 무효전력 보상장치(Soft Switch Capacitor), 다기능 전원공급장치 등을 들 수 있다. 이들 기기에 대한

표 1. Custom Power기기의 개요

| 기기명   | 장치의 구성도 | 기능 및 역할  | 비고                             |
|---|---------|--|--------------------------------|
| 1. 능동필터<br>(Active Filter)                            |         | 수용가내에 발생된 고조파전류를 흡수·억제하여 고품질의 전력을 공급 받도록 한다.   | -고조파발생원                        |
| 2. 무효전력조정장치<br>(Static Var Compensator)               |         | 저역률 수용가의 무효전력을 자유로이 조정 및 관리하여 줌으로써 고품질의 전압 및 고역율유지가 가능하도록 한다.  | -2회선 수전 또는 비상용 전원              |
| 3. 무효전력보상장치<br>(Soft Switching Capacitor)             |         | 2항의 기능과 같으나 무효전력을 자유로이 조절할수 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 고속 절환스위치<br>(Sub-cycle Switch)                 |         | 2회선수전 또는 비상용 전원의 수용가에 있어서 계통사고 및 정전사에도 고속으로 전원절체를 하여 무정전공급을 행한다.   | -저역률/플리커/저전압 발생                |
| 5. 정지형 동적 전압컨트롤러<br>(Dynamic Voltage Restorer)        |         | 수용가 수전용변압기에 직렬로 연결하여 계통으로부터의 저품질전력(고조파, 불량전압)을 보상하여 고품질의 전력을 공급받도록 한다.                                       | -고조파/플리커/저전압 발생<br>-순시정전방지 요구  |
| 6. 다기능전원 공급관리장치<br>(Multi-Function Power Conditioner) |         | 상기의 1항목에서 5항목의 모든기능을 통합한 장치로서 고품질, 장시간무정전공급 및 전력감시관리가 가능하도록 한다.  | -고조파/플리커/저전압 발생<br>-장시간 무정전 요구 |

역할 및 기능은 표 1과 같고, 이들 기기로 구성된 배전계통 개념도는 그림 9와 같다.

#### 4. 결 론

전력공급 형태를 크게 변화시키고 있는 세계적인 규제완화의 움직임은 당분간 현재의 흐름이 지속되리라고 예상되며, 배전계통의 고도정보화 및 파워일렉트로닉스화의 동향도 세계적인 흐름으로 생각된다. 또한, 지금까지 언급한 차세대 배전계통기술인 FRIENDS, Custom Power 등의 개념은 하나의 구체적인 예로 말할 수 있다. 이들 최신 기술과 규제완화는 상

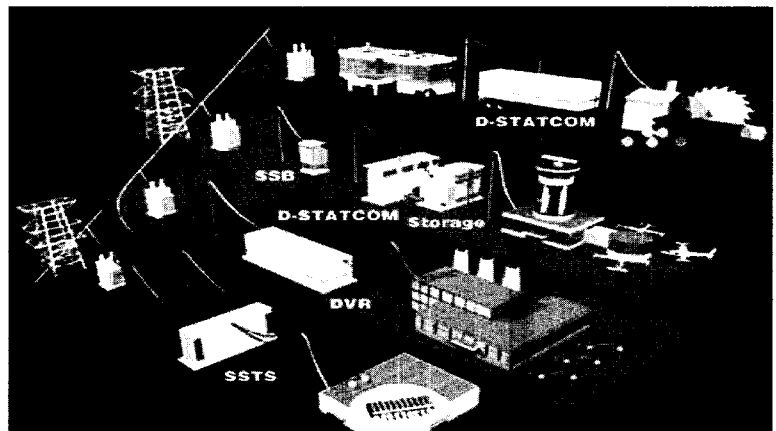


그림 9. Custom Power 배전계통의 개념도



호보완적으로 전력공급 형태의 변화에 크게 영향을 주고 있다. 예를들어, 파워일렉트로닉스 기술은 송전계통의 투자 억제에 의해 일어날 수 있는 전력품질의 저하를 배전계통 또는 수용가측에서 방지하기 위한 기술적인 배경을 제시해 주고 있다. 한편, 정보통신 네트워크 기술은 규제완화에 의한 다품질 전력공급과 온라인 요금제, 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 새로운 비즈니스 기회도 제공하리라고 예상된다. 이와 같은 배경과 가까운 장래에 예상되는 1차 에너지원의 필박도를 고려하면, 장래의 전력공급 형태는 고도의 파워일렉트로닉스 기술과 정보통신기술에 뒷받침되어, 수용가에 밀착된 배전계통을 근간으로 한, 수용가 중심의 공급형태로 변모되어 가리라고 생각된다.

참고문헌

[1] Koichi Nara and Hasegawa Jun, "A New Flexible, Reliable and Intelligent Electrical Energy Delivery System", 일본 전기학회지B, 117권, 1호, 1997년1월

[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, Jaeun 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 춘계 학술발표회, p145 - p150

[6] "전기기술 25 Event", 대한 전기학회지, 1997년 7월호 특집

[7] "배전기술개발 장단계계획수립에 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

## 저 자 소 개



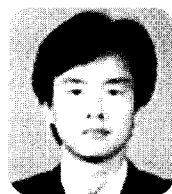
**노대석(盧大錫)**

1964년 2월 21일생. 1985년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 3월 일본 북해도대학교 전기공학과 졸업(공학박). 1987년 2월 - 1998년 6월 한국전기연구소 전력계통연구부 근무. 배전계통 해석 및 운용, 분산형 전력저장시스템, 분산형전원, 전력품질 등의 연구분야에 종사. 1997년도 일본전기학회 전기학술진흥상(논문상) 및小平기념상 수상. 현재, 한국기술교육대학교 정보기술공학부 전임강사.



**김응상(金應相)**

1962년 6월 21일생. 1988년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1991년 송실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1991년 한국전기연구소 입소. 전지전력저장시스템, 분산형전원 계통연계기술등의 연구분야에 종사. 현재, 한국전기연구소 FACTS&PQ그룹 선임연구원.



**김재연(金在彦)**

1959년 7월 17일생. 1982년 한양대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년-1998년8월 한국전기연구소 전력계통연구부 근무. 1996년 일본 교토대학 전기공학과 졸업(공학박). 배전계통운용, 전지전력저장시스템, 분산형전원의 계통연계기술, 에너지시스템, 자율분산배전계통, 다품질배전(Customised Power Quality Services system), Custom Power Devices 등의 연구분야에 종사. 1995년도 일본전기학회전력·에너지 부문대회 우수논문발표대상수상. 현재, 충북대학교 전기전자공학부 전임강사.