# 미래전력산업과 초전도기술

▯ 류강식 / 차세대초전도응용기술개발사업단장

초전도 현상은 어떤 물질을 일정한 온도(-270~-140˚C)까지 냉각시키면 전기저항이 사라지고, 완전 반자성을 가지게 되는 현상을 말한다. 냉각매체로서 과거에는 액체헬륨이 주로 사용되었으나, 1990년대 이후 액체질소를 활용한 고온 초전도체에 대한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 고온 초전도기술은 에너지, 의료, 환경, 교통시스템 및 전자, 정보 인프라산업 등의 미래 고도기술 분야에 적용될 수 있는 신기술로서 평가받고 있다. 고온초전도기술을 에너지, 특히 전력분야에 접목하기 위한 연구개발이 가장 앞서 가고 있는데, 이는 초전도기술 자체가 가지고 있는 친환경성과 손실저감 및 대용량의 특성을 활용하기 위해서이다. 국내에서는 2001년도에 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 차세대 초전도응용기술개발사업단(이하 초전도사업단)이 구성되어 초전도케이블, 변압기, 한류기, 모터 및 이들 기기의 핵심소재인 고온초전도선 등을 개발하고 있다. 현재 2단계 3차년도 연구를 수행하고 있으며 2011년을 목표로 하여 실제 전력계통 적용을 위한 연구개발에 총력을 기울이고 있다.

전기는 고급에너지로서의 사용 편리성과 친환경적인 특성 때문에 미래 사회 전체 에너지 소비에서 차지하는 비율이 증가하는 것이 세계적인 추세이다. 제 2차 전력수급 기본계획[1]에 따르면 국내 최대전력수요는 연평균 2.7% 증가하여 2017년에는 6,874만kW, 판매

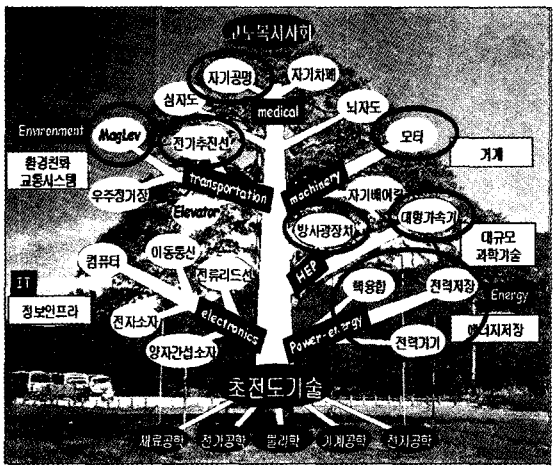


그림 1 초전도기술 응용분야

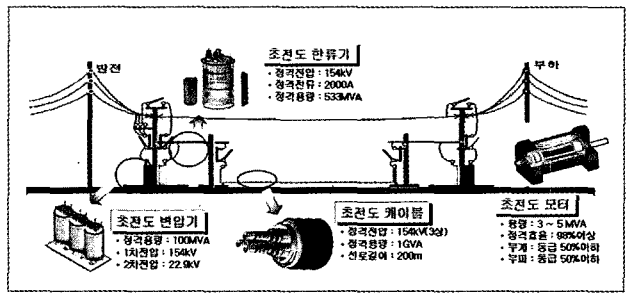


그림 2 초전도 전력기기 기본특성

1) 산업자원부, "제2차전력수급기본계획", 04년 12월, 전력산업구조개편 이후 제2차 수급계획

전력량은 4,165억kWh에 달할 것으로 전망되고 있다. 이러한 전력수요 증가에 원활히 대응하기 위하여 과거에는 발전설비의 확충에 중점이 두어 졌다. 하지만, 수요성장률이 상대적으로 낮은 미래에는 전력수요의 고밀도화, 고품질화 및 고신뢰도를 추구하는 측면에서 송배전망 투자를 보다 중시하는 것이 최근 선진국의 추세이다. 미래 첨단사회에서 예상되는 송배전설비 부지난과 환경관점에서의 제약요인을 감안하면 단위 선로 당 용량증대와 단락용량 문제해결을 위한 기술적 대안 제시가 절실히 요구된다. 이는 한국의 경우도 선진국과 마찬가지로 과거에 비해 송배전망의 확충과 대용량화 등 효율적 이용에 대한 중요성이 상대적으로 더 커지고 있음을 의미한다.

**초전도전력기기는 단일기기당 대용량화가 가능하고, 전력손실이 거의 없으며, 환경친화적이면서도 공간을 적게 차지하는 본질적인 특성을 가지고 있다.** 초전도선은 구리도체 보다 단위면적당 전류밀도를 100배 이상으로 증가시킬 수 있다. 상전도기기와 달리 냉각매체로서 오일, SF6 가스를 사용하지 않으므로, 폭발/화재의 위험성이 없고, 온실가스 문제도 없다. 결론적으로 초전도기기는 상전도기기에 비해서 환경이나 민원문제가 없으면서, 전력손실도 대폭 절감시켜 결과적으로 온실가스 배출도 저감시키는 효과를 가져다준다.

국토가 좁은 우리나라의 전력부하 밀도는 전 세계에서 가장 높은 수준이며, 환경문제에 대한 관심이 높아짐에 따른 NIMBY 현상으로 전력사업의 수행 자체가 어려운 형편이다. 특히 서울 등 대도심 내부지역에서의 전력설비 증설은 상상하기 힘든 커다란 저항에 직면에 있다. 이러한 **초전도기기의 본질적인 특성과 국내 전력산업 환경을 고려하여, 초전도사업단은 "대용량 초전도 신전력계통"을 개념설계하고, 이를 적용하기 위한 기기개발과 계통측면에서의 검토를 병행하고 있다.**

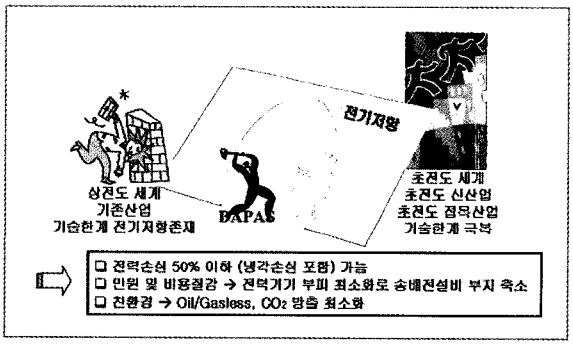

그림 3 초전도 전력기기 기본특성

현재 수도권 도심이나 새롭게 개발되는 신도시지역은 압축적인 고밀도 전력부하지역으로서 송배전설비는 지중케이블과 옥내 GIS(Gas Insulation Substation)로 구성되어 있다. 대용량 초전도 신전력계통은 기존의 154kV 지중케이블과 GIS 구성되어 있는 상전도 전력공급방식을 154/22.9kV 초전도변압기와 22.9kV 초전도한류기 및 초전도 케이블을 병행 적용하는 초전도(신)전력계통으로 대체하는 것을 말한다. 이는 서울도심 등 부하밀도가 고도화되어 있고, 환경/민원 제약이 많은 대도심지역에서 증가하는 전력수요에 효율적으로 대처하기 위한 획기적인 방안으로 평가되고 있다. 이 방안이 실현되면, 도심부에 증설되는 154kV 변전소를 변압기가 없는 22.9kV 개폐소로 대체할 수 있다. 22.9kV 개폐소는 154kV 변전소에 비해 부지면적이 20-30%에 불과하고, 변전설비 비용도 30% 이하로서 훨씬 저렴하다. 22.9kV 초전도케이블 역시 기존의 154kV 상전도 케이블에 비해 관로나 전력구의 점유면적이 1/3 이하로 대폭 축소되므로 도심부의 토목공사비가 대폭 절감되며, 공사로 인한 도심 교통난도 덜 수 있다. **대용량 초전도 신전력계통의 적용은 기존 전력공급방식의 패러다임을 바꾸는 획기적인 개념이며, 초전도연구 개발자, 전력계통 기술자 및 전력사업자가 상호 협심하여 공동으로 달성해야 하는 미래 에너토피아의 한 단면이다.**

혹자의 경우 초전도기술이 고비용적이며 부분적으로 미완성 기술이라는 점을 들어 실제 전력계통으로의 적용에 부정적인 견해를 가지고 있다. 하지만, 초전도기술을 대도심 전력공급에 응용한다면 위에서 설명한 바와 같이 대도심지역에서의 변전소 폐지와 지중케이블 토목공사비 등을 절감할 수가 있다. 더군다나 오늘날의 집중적인 연구개발 노력에 힘입어 초전도기술의 실용화에 장애요소인 초전도 선재기술과 냉각기술이 급속도로 발전하여 향후 실용화된 초전도기기와 냉동

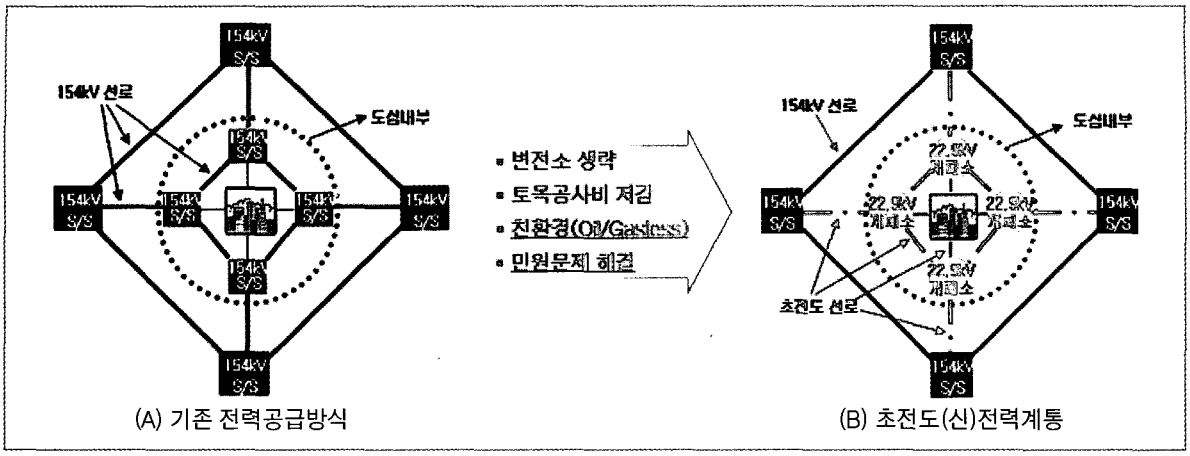


**그림 4 초전도(신)전력계통 기본개요**

기 가격도 대폭 하락할 것으로 예상된다. 따라서 **어떠한 경우가 되든 대용량 초전도 신전력계통의 적용은 초전도기기 비용 증가를 충분히 상쇄할 수 있으며, 대도심지역 전력공급의 경제성이 대폭 높아질 뿐만 아니라** 부가적으로도 환경과 민원측면의 이익을 향유할 수 있을 것으로 기대된다.

본 기획시리즈는 이와 같은 배경을 가지고 미래 선진 IT사회에서 전력공급의 효율성과 신뢰성을 향상시키면서도 환경 친화적이고 전력손실을 최소할 수 있는 에너지 공급방안을 제시한 것으로 고도로 집적화된 대도심지역에서의 대용량 초전도 신전력계통의 적용에 대하여 기술하고자 한다. 전체적으로 3개의 세부원고로 구성되어 있는데, 첫 번째 원고는 전력계통 적용측면에서 "대용량 초전도 신전력계통"을 설명한 것으로 그 내용은 대용량 초전도 신전력계통의 구성방식, 구성기기 및 효용성 등 기본개요에 대하여 기술하고, 구성대안에 대한 기본적인 기술성/경제성 분석결과를 도시하였다. 아울러 향후 실 계통 적용을 위한 실증시험과 계통적용 추진방안에 대해서도 종합적으로 언급하였다. 두 번째 원고는"국내에서 현재 수행되고 있는 초전도전력기기의 개발동향"을 기술한 것으로 초전도 케이블/변압기/한류기/에너지저장장치를 개발하고 있는 과제책임자가 각 기기별로 개발현황, 상전도기기와의 비교분석, 계통적용관점 및 향후 계획에 대한 견해를 제시하였다. 마지막으로 세 번째 원고는 "미국 전력계통의 현황과 초전도 전력기기의 개발"로서 수 십년 동안 미국의 전력회사에 근무하고 있는 전문가가 바라본 미국의 전력계통과 초전도 전력기기에 대하여 살펴본 것이다.

초전도 전력기기 적용 가능성을 논할 때 현재의 초전도선재와 냉각설비 가격만을 고려하는 것은 무의미하다. 그 이유는 초전도기술은 첨단 미래기술로서 기술적 진보가 가장 빠른 분야 중의 하나이므로 향후 실제 적용시점에서는 급격한 기술발달로 인해 초전도 전력기기 가격과 부피가 대폭 감소할 것이기 때문이다. 이는 최근 1-2년 사이에 초전도선재 가격이 절반이하로 하락했다는 예를 보더라도 자명한 사실이다.

**결론적으로 초전도 전력기기의 전력계통 적용은 기존 송배전망 체계를 경제성과 신뢰성을 담보하면서 미래 선진 IT사회에 적합한 고밀도 전력공급 방식으로 전환할 수 있는 대안으로 판단된다. 이는 전기품질과 환경측면이 강조되는 미래 첨단 IT사회에서는 필수 불가결한 선택일 것으로 사료된다. 끝으로 본 기획시리즈가 초전도기술에 대한 전력기술자의 이해를 돕고, 초전도전력기기를 실제 전력계통에 응용하는 데 있어서 조그만 보탬이 되었으면 한다.**