

초고압 전력기기분야에 있어서 절연재료의 기술동향

박 대 희*, 김 정 부**, 박 정 후***

(*원광대 공대 전기공학부 부교수, **한전 전력연구원 부처장 ***부산대 공대 전기공학과 교수)

1. 서 론

최근 전력수요의 급속한 증가로 인해 전력계통의 초고압화와 함께 송변전의 전력기기의 대용량화가 요구되고 있다. 전력기기에 있어서 초고압화 및 대용량화는 방전 및 고전압현상과 전기절연 기술의 접목에 의해서 가능하다. 특히 전기절연기술은 전력기기의 시스템상에서 가장 취약한 부분으로서, 전기적인 사고의 시작점이 되고 있으며, 따라서 신뢰성 향상을 위해 합리적인 절연설계와 절연재료의 연구개발이 꾸준히 진행되어 왔다. 절연재료의 성능은 전력기기의 수명과 신뢰성에 큰 영향을 주며, 소형·경량화의 합리적인 절연설계의 기반이 된다.

최근에 국내에서도 건설되고 있는 차세대 초고압 765 kV 급의 송전선로에 있어서도 절연기술은 절연애자, 송전선, 송변전설비, 철탑등을 건설하는데 있어서 절연협조라는 관점에서 대단히 중요한 핵심이다. 이와같이 전기절연기술은 전기에너지의 원활한 공급과, 전력기기의 초고압화 및 대용량화에 있어서 중요한 역할을 하고 있으나, 아직도 해결해야 될 많은 과제를 지니고 있다.

이와같은 관점에서 본 보고에서는 방전 및 고전압기술을 이용한 전력기기에 있어서 전기절연기술의 동향과 장래전망에 대하여 소개하고자 한다.

2. 전력케이블의 절연재료기술

케이블은 용도에 따라 통신용, 전력용, 새어용, 구성재료에 따라 도체, 절연체, 보호층등으로 구분되며, 본 고에서는 전력용 절연체와 보호층과 같은 절연재료에 대하여 기술하고자 한다. 최근에 전력케이블재료로서 요구되는 성능은 절연두께의 저감을 통한 경량성, 장기신뢰성 및 안정성으로 구분될 수 있다.

절연재료에 다양한 기능요구에 대응하는 고전계성 절연, 내수재료, 난연재료, 내열재료의 개발이 기대된다. 전력케

블의 초고압화와 대용량화를 위한 절연재료는 절연파괴강도의 향상과 유전특성(유전율과 유전정접의 곱)의 개선이 과제로 되어 있다. 따라서 계면을 갖는 유침지와 고결정성의 폴리에틸렌등이 절연재료로서의 연구 대상이 되고 있으며, 특히 345 kV급의 OF 및 CV 전력케이블이 이미 개발되어, 접속자재와 함께 지중송배전선로에 실용화 단계에 있다. OF 케이블용 절연재료는 유침지가 사용되고 있으나, $\epsilon \tan \delta$ 가 크고, 성능향상에도 개선되어져도 한계가 있다.

따라서 플라스틱필름의 양면에 그라트지를 붙이는 절연지가 개발되었던, 이를 반합성지라 한다. 반합성지의 $\epsilon \tan \delta$ 는 $2.8 \times 0.1\%$ 로서 그라트지의 $3.4 \times 0.17\%$ 를 크게 개선하고 있다. 반합성지에 이용되는 플라스틱 필름으로서는 폴리에틸렌(PE), 수가교폴리에틸렌(XLPE), 불소수지 등 여러가지가 검토되고 있으나, 현재에는 폴리프로필렌(PP)이 많이 사용되고 있다. 이 합성지는 345, 500 kV OF케이블에 사용되고 있으며, 기계적인 강도를 개선하기 위하여 2축연신의 PP를 이용한 반합성지도 개발되고 있다.

CV 케이블용 절연재료는 XLPE로서 500kV단거리 선로에 사용되고 있으며, 절연체내 이물혼입 극소화, 절연체내의 보이드발생 극소화, 절연두께의 균일성을 위한 압출방법의 개선이 계속적으로 진행되고 있다. 이 XLPE를 대체하는 고밀도폴리에틸렌(HDPE), 초고분자량PE, EPR, PP, 수가교PE 등의 재료가 검토되고 있으나, XLPE의 성능에는 미치지 못하고 있다. 따라서 향후에 초고압용 XLPE의 연구는 트리방지XLPE, 고결정성XLPE, 비결정부 강화XLPE등과 같이 고체구조의 제어와 절연두께의 저감을 위한 고전계성 절연재료의 개발이 진행되고 있다.

3. 초고압 변압기의 절연재료기술

역사적으로 보면 절연재료기술은 급격한 향상을 기대하기 어렵다. 즉, 초고압 대용량의 변압기에 있어서 유침복합절연은 광유와 목재필프에서 만들어진 그라트지 혹은 프레스보드로 구성되고, 저전압 소용량의 변압기에 있어서 건식절연은 무기질의 충전재를 넣은 에폭시물드나 글라스 마이

카와 실리콘 바니쉬를 주입하여 경화된 재료가 이용되고 있다. 이와 같은 절연재료는 30년이상 계속적으로 사용되고 있으며, 사용실적도 매년 증가하고 있으나, 절연사고는 오히려 감소하고 있다. 하지만 생활환경과 2차사고의 과급을 막는 안전성이 점점 증대되고 있어 절연재료의 새로운 성능이 요구되고 있다. 2000년대에 765kV송전에 대응하는 변압기절연, 대도시에 전력을 공급을 위한 지하변전소용 대용량 고전압 불연변압기, 전력단가를 보다 낮게하기 위한 신뢰성에 영향을 미치지 않는 소형경량화를 달성하는 기술, 절연과피에 의한 정전을 막기 위한 진단기술의 고도화등이 그 예가 될 수 있다. 이상의 요구에 부응하는 절연재료의 기술은 저유전율의 프레스보드와 난연절연으로 요약할 수 있다.

저유전율 프레스보드는 변압기 절연구조물의 유전율을 제어함으로써 유침복합계 절연시스템 내의 절연내력을 향상시키고자 하는데 응용 한다.

변압기의 불연과 난연은 절연재료기술 분야에서는 엄밀하게 구별되고 있다. 불연은 어떠한 조건에서도 타지 않는 것을 뜻하며, 난연은 타지만, 대단히 타기가 어려운 것을 뜻한다. 인구밀집지역에 있는 대도시에서는 안전성 측면에서 불연성 절연을 갖는 변전기기가 필수적이다. 정격전압 수십 kV, 정격용량 수십MVA이하의 기종에서는 1.2기압이하의 SF₆ 가스와 PET필름 혹은 PPS필름을 조합시켜 불연절연에 이용되고 있다.

또 초고압 수백kV, 수백MVA이상의 고전압 대용량에서는 절연과 냉각을 겸하여, SF₆가스, PET, PPS필름와의 합성지, (C₆F₁₆O 와 SF₆)의 혼합체가 사용되고 있다.

C₆F₁₆O 와 C₆F₁₆이나 SF₆가스는 불활성의 기체이기 때문에 플라스틱재료와 함침시켜 복합절연을 구성하는데 용이하다. 이와같은 절연재료의 가격은 고가이나, 대용량의 신도시에 있어서 대용량 불연변압기는 없어서는 안될 요소이다.

4. 가스절연개폐장치(GIS)의 절연재료기술

가스절연개폐장치는 1969년부터 실용화된 변전기기이다. 초기의 GIS는 SF₆가스(수기압까지 압축가스)와 도체를 지지하는 에폭시수지몰드 스페이서, 혹은 무기질 섬유와 에폭시수지로 구성된 FRP의 조합을 사용하였으며 절연성이 우수하기 때문에 30여년 경과된 지금까지도 본질적인 재질의 변화는 없었다. 그러나, 절연 구조적인 측면에서 컴퓨터에 의한 전계해석으로 합리적인 절연구조로 바뀌어 갔다. 초기에는 사용전압에 따라 상분리형이 기본이었으나, 현재에는 500 kV급까지도 3상 일괄형으로 설계되며, 일본의 경우에는 보급대수가 급증하고 있다. SF₆가스로 충전한 금속용기로 구성되는 GIS는 차단기, 피뢰기, 모선, 변성기, 단로기등을 내장한 시스템기기라는 특징이 있으나, 새로운 성

능이 요구되고 있다. 예를 들면, 765 kV급에 대응하는 GIS, SF₆를 대체하는 저렴한 고절연성 새로운 가스의 개발, 사고를 사전에 정확하게 예측하는 기술등이 요구되고 있다. 이와같은 요구에 대한 절연재료의 기술적인 측면에서 다음과 같은 연구가 진행되고 있다. SF₆를 대체하는 가스로서 불소계의 2종류이상을 혼합가스, 기체와 액체중간의 상을 응용하는 절연을 사용함으로써 절연내력이 향상시키는 연구가 있다. 또한 에폭시 수지몰드 스페이서의 재료는 변하지 않았으나, 충전체의 첨가효과의 성능향상 연구와 열변형온도를 향상시키는 절연재료의 연구가 진행되고 있다.

5. 콘덴서의 재료기술

콘덴서에서 요구되는 성능은 유전체손실(tan δ)에 의한 발열을 저감시킬 수 있고, 소형 경량화를 위한 재료의 사용, 불연화 혹은 건식화등을 들 수 있다. 콘덴서의 절연재료기술은 저tan δ 화와 소형화에 있다. 유전체손실에 의한 발열은 지금도 큰 과제로 되어 있으며, 유전체를 종이에서 플라스틱필름(PP)으로 대체하여 0.02%이하의 저tan δ가 실현되었다. 또 PP필름의 높은 절연내력은 수kVA부근에서도 초소형화가 달성되었다. 함침재료는 SF₆가스 혹은 부분방전에 의한 가스를 흡수능력이 높은 난연성 합성유로 대체하여, 안정성을 보다 높일 수 있으며, 특히 SF₆가스와 플라스틱필름의 적층구성과 세라믹박막을 이용하는 방법이 새롭게 제안되고 있다.

이와같이 콘덴서에 있어서 신절연재료 기술은 전극의 박막화로 절연과피후에도 자기회복 특성을 나타내며, 고체 유전체로서 종이에서 플라스틱 필름, 함침유체가 합성유와 가스를 사용함으로써 불연과 난연성을 부과하는 연구가 전개되고 있다.

6. 애자의 절연재료기술

애자로서 성능은 전기적 절연, 기계적 지지 기능이 기본적으로 요구되며, 내후성, 경제성이 있어야 한다. 이를 만족하는 일반적인 재료가 자기제 애자이다. 최근에는 전통적인 자기제 애자의 기계적 강도를 향상시킨 알루미늄나를 함유한 알루미늄나 자기제 애자가 많이 이용되고 있다.

애자용자기재료는 국제전기표준회의(IEC)가 정하는 세라믹규격에 성능을 요구하며, 물리특성의 관점에서 보통자기를 대상으로한 재료 C-110, C-111, C-112와 알루미늄나를 함유하는 고강도 자기를 대상으로 C-120, C-130이 규정되어져 있다. 보통 자기의 기계적 강도를 향상시키기 위하여 석영대신에 알루미늄나를 이용한 것이 알루미늄나 함유자기이며, 일반적으로 알루미늄나 함유자기의 굴곡강도는 1,400~2,400 kg/cm²와 보통자기에 비하여 약2.5배 높다. 또 이 자기는

내열충격특성이 우수한 것으로 높은 내아크강도를 갖는다.

기계적강도가 높은 이유는 알루미늄이 결정이 갖는 Young 모듈과 미세한 알루미늄결정이 글라스메트릭스를 강화하기 때문이다. 저렴한 전통적인 자기제 애자와 기계적강도가 높은 알루미늄 함유자기제 애자의 양자의 각 장점 이용하여 크기는 종래와 같고 굴곡파괴강도가 약 1.5배되는 고강도의 애자가 개발되었다. 금후에 자기재료기술, 제조기술의 향상 등에 의해서 복잡한 것이나 주름의 성형이 가능하리라 믿어지며, 절연협조의 합리화등에도 기여할 수 있다. 또한, 송전선용철탑 arm의 절연화, 상간스페이서등에 이용하여 철탑의 소형화, 선로의 승압, compact화등이 기대된다.

자기재료이외의 것으로 불란서에서는 현수애자에 글라스가 사용되고, 또 옥내용을 중심으로 고분자재료가 사용되어지고 있다. 불란서에서 많이 사용되는 글라스재료는 표면을 강화시켜 국제규격의 사양을 만족하나, 기계적강도가 자기에 비하여 낮은 것으로 내부 잔유 응력이 형성되어 열적, 기계적 외력에 의해서 서서히 파괴에 이르는 특성을 갖고 있다. 또 알카리성분이 많기 때문에 표면에 오손되거나 습기가 존재하면, 누설전류가 흐를 때 표면이 침식되는 문제가 있다.

더욱이 직류송전인 경우 교류에 비해 글라스애자 파손율이 높다. 이것은 글라스의 제조과정중 용해시에 불가피하게 침입된 미소불순물의 주변에 사용전압에 의한 직류전도에 기여하는 이동이온이 모여서, 기계적으로 큰 응력을 발생시키기 때문이라고 추측하고 있다.

그 외에 글라스세라믹이 있다. 이것은 결정화글라스로 글라스 원료에 P_2O_5 , TiO_2 , ZrO_2 등의 결정핵 생성을 유발하는 성형제를 첨가하여, 용융형성후 열처리 과정을 통해 글라스 자기에 결정을 석출시킨 것으로 높은 기계강도를 갖는다. 또 전기적특성도 좋아 표면이 평활하여 오손되기 어려운 특징이 있으며 이를 이용하여 배전선용 라인 스페이서등에 이용된다.

고분자애자는 옥내용, 부싱, 가스절연기기용 절연 스페이서등의 전력기기용 각종부재에 사용되어지고 있다. 이 중에서도 비스페놀계 에폭시수지가 넓게 실용화되고 있다. 금구, 도체등을 수지중에 매입시켜 제작할 수 있어서 자기애자, 부싱에 비해서 소형화가 가능하다.

최근에는 옥외용 애자에도 고분자재료의 적용이 되어 국제규격화의 움직임도 있으며, 국내에서는 일부 사용이 되고 있다. 고분자재료가 옥외용 애자에 적용될때의 최대문제점은 오손, 습윤에 의한 트래킹 침식의 문제와 자외선, 빗물, 온도변화에 대한 내후성등에 문제가 있다.

그 외에 선로용 애자의 기계적 지지부를 포함하는 FRP의 취성과파괴, 크립등의 장기적 특성에도 아직 충분하게 해명되지 않은 부분이 있다. 그러나, 기계적 특성이 요구되지 않는 배전용, 송전용피뢰애자등에 EPR이 절연외피로서 넓게 사용되고 있다.

그 외에, 실리콘 고무가 있으며, 특히 발수성이 우수한 재료로서 최근 연구개발이 활발히 진행되고 있는 재료이다.

7. 회전기기의 절연재료기술

회전기기에서는 종래 절연보다 성능을 향상시키고, 필요 절연 기능에 적합한 합리적인 절연설계, 생산성이 높고, 공해상에 문제가 없는 절연등의 개발이 행해지고 있다. 마이카는 고전압기에 필수재료이며, 마이카의 미립자에 소량의 보강재등을 혼련한 집성마이카가 개발되어 실용화되고 있다. 이 마이카를 사용한 절연은 종래의 마이카에 비하여 특히 내열성이 개선되었다. 이와같이 내열성이 우수한 마이카를 사용하면 절연두께를 감소시킬수 있어, 회전기기의 소형화가 가능하다.

전력계통의 주파수조정능력이나 안정도 및 효율의 향상이 가능한 대용량 가변속 수력발전시스템이 개발되어져, 장기간의 Heat cycle 과 큰 원심력에 견디는 회전자코일용 절연재료가 개발되어 있다. 이 절연은 전기특성이 우수한 마이카절연에 기계적 강도가 우수한 보호재를 혼합시킨 복합재료이다. 차량용 주전동기는 차량에 수납되어지기 때문에 엄격한 치수, 중량상의 제약등의 소형·경량화·신뢰성 향상이 요구된다. 이 절연은 C종화가 진행되어 새로운 형태의 수지가 개발되어 실용화되고 있다. 오래전에 에폭시 분체도료를 정진도장하여, 직류기의 절연성능의 향상과 생산성의 향상이 이루어지고 있다.

최근 마이카에 들어가는 바니쉬에 의한 전착도장 절연이 차량전동기에 적용되고 있다. 이 방식도 함침작업이 필요 없어 생산성이 향상되고 있다. 이 외에 바니쉬 처리가 불필요한 자기 용착절연전선도 실용화되고 있다. 유기절연재료로서는 견디기 어려운 300℃이상의 고온에서 사용되어지는 회전기기용 재료가 개발되고 있다. 전선, 스로트절연, 접속부절연, 쇠기, 출구선, 함침재등 회전기를 구성하는 각종 형태의 절연재료에 대한 평가가 행해져 합성불소 마이카, 집성마이카, 내열성 글라스섬유와 최소의 실리콘수지를 사용한 절연시스템이 개발되어 있다. 고정자 권선의 성능 평가 시험에서는 350℃에서 16,000시간 이상, 400℃에서 14,000시간 이상, 이상없이 운전되고 있다. 이와같은 절연은 초고온 모터에 적용하여, 수냉방식의 종래형에 비하여 큰 효과가 얻어지고 있다.

알루미늄 분체와 실리콘계 결합체를 배합한 반소성상태의 세라믹화 내열전선을 사용한 자동차용 모터가 개발되었다. 이것은 종래기기에 비하여 15~20%의 성능향상 혹은 10%이상의 소형화가 가능하였다. 이 모터는 500℃이상의 조건에서도 연속사용이 가능하다.

전선에 마이카글라스 무기절연전선을 대지절연으로 글라스마이카를 이용하여, 실리콘계 무기바니쉬를 전부 함침후 다시 바니쉬를 함침한 내열온도 400℃의 회전기기용 절연시스템이 개발되어, 회전기기의 절연기술은 내열성이 크게 요구되며, 유기계 바니쉬의 함침방법에 의해서 절연성능이 얻어진다.

8. 극저온 절연재료기술

1986년도에 임계온도가 125K 인 Tl이나 Bi계 고온초전도 재료가 발견되었다.

금속을 이용한 종래의 초전도체는 액체헬륨의 기화점 이하의 온도(4K)에서 초전도성질을 나타내었으나, 액체질소 기화점 이하의 온도에서도 실용가능한 고온초전도체가 개발되어 초전도기기, 초전도케이블, 초전도자석등 전력분야에의 응용이 크게 기대되고 있다. 액체헬륨에 의한 냉각과 비교하여, 액체질소에 의한 냉각은 냉각비용이 저렴하다. 실용화에 중요한 임계전류밀도 박막에서는 $\sim 10^6 A/cm^2$ 에 도달하고, 대략 필요한 값에 도달하였다. 장조장의 자석은 와이어나 전선, 케이블로서의 실용화는 늦어지고 있으나, 초전도소자의 실용화는 가까워지고 있다.

이와같은 상황에서의 초전도응용기기, 극저온절연에의 관심이 다시 높아지고 있다. 따라서 액체헬륨 온도 및 액체질소온도하에서의 절연재료의 동향에 대하여 기술한다. 극저온 전력기기에 이용되는 절연재료는 주로 액체헬륨, 액체수소, 액체질소등의 냉매를 검비하는 액체 절연체와 고분자필름, 합성지, 에폭시수지, GFRP등의 고체절연재료가 있다. 이외에 저온에서 고화하는 물, 각종 탄화수소, SF_6 등도 검토되어지고 있다.

극저온절연재료로서는 전기적특성 외에 기계적특성이나 열적특성에 대한 성능이 요구되어지고 있다. 실온에서 극저온까지 냉각하기 때문에 열수축이 크고, 근접하는 재료와의 열수축의 차가 크면, 내부응력에 의한 크랙이 발생한다.

또 극저온에서는 고분자특유의 유연성도 없어져, 크랙은 한층 일어나기 쉽다. 더욱이 초전도자석에서는 절연재료에 큰 전자력이 작용한다. 열수축이나 기계적강도를 확보하기 위하여 글라스섬유 강화 플라스틱등의 복합재료가 이용되어진다.

전기적특성으로는 절연과피강도, 유전손실($\tan \delta$), 방전열화등이 문제로 된다. 특히, 액체헬륨 냉각의 효율이 나쁘므로, 교류전압에서는 유전손실이 작은재료가 바람직하다. 헬륨의 절연과피강도가 낮으므로, 액체헬륨 함침의 복합절연에서는 유전율이 낮은 고체재료를 사용하여, 액체헬륨 부분에 큰 전압분담이 가지 않도록 해야한다. 액체질소의 과피강도는 액체헬륨의 약 2배이고, 동일온도 동일압력에 있어서 질소가스가 과피강도는 헬륨의 약 10배에 가깝다. 실온에서의 SF_6 가스의 절연과피강도가 동일 압력하에서의 질소의 2-3배인 것을 고려하면, 액체질소온도 가까운 질소가스 밀도의 약4배가 되며, 그 때의 과피강도는 실온의 SF_6 의 과피강도를 넘는다. 따라서 액체질소이상에서 고온초전도체가 실용화되면, 극저온절연은 전기적으로 한층 쉬워진다.

이와같이 극저온의 절연기술은 액체 질소와 헬륨의 전기

적인 특성과 저온하에서 고체재료의 열·기계적인 특성에 의해서 되며, 아직도 극저온절연기술의 연구는 진행중에 있다.

9. 맺는말

전력기기에 있어서 절연기술은 초고압화와 대용량화와 함께 재료의 저손실화, 내열성, 높은 절연내력, 난연성등의 고기능이 요구되고 있다. 또한 절연재료로서 고분자재료의 사용이 확대되고 있으며, 특히 절연성능을 향상시키기 위하여 절연구조를 박막화, 재료의 결정 및 분자수준의 제어와 복합구조화의 절연설계에 관한 연구가 진행되고 있다. 전력기기의 사고예방을 위한 절연재료의 열화진단기술및 수명 평가법이 요구되고 있다. 또한 전력기기의 운전조건이 가혹화 되고, 대용량화됨에 따라서 내환경 및 극저온하에서 절연재료의 평가기술 확립이 필요하다.

선진국의 전기절연의 기술동향을 파악하고, 국내의 새로운 전기절연기술을 국제화 시키기 위해서는 국제전기기술 위원회(IEC)의 전문위원회(TC-15)의 참석과 관련 규격의 제안 및 개정에 적극적인 참여가 요구된다.

이와같이 전력기기의 절연기술분야에 많은 과제를 해결하고, 차세대의 신절연재료의 개발을 위한 산학연의 공동연구와 젊은 연구원의 많은 참여가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 松葉 ; 「ケーブルおよび附屬品の信頼性の考え方」 EIM-76-6
- [2] T.Fukuda, et.al ; " A New Method for the Prevention of Water and Sulphide Penetration and Deterioration of Cross-Linked Polyethylene (XLPE) Insulated Submarine Power Cables", IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol.PAS-99, No. 6 Nov./Dec. 1980.
- [3] T.Fukuda, et.al ; " The Effect of Morphology on the Impulse Voltage Breakdown in XLPE Cable Insulation ", IEEE Trans.EI., Vol. EI-17, No. 5, October (1982)
- [4] Y. Kamata, et.al ; "Development of transformer insulation utilizing new low-permittivity pressboard", p.315 (昭 63)
- [5] K. Goto, et.al ; "Development of insulation technology for high voltage gas-insulated transformer", IEEE Power Meeting SM 546-4 (1988)
- [6] 「氣滯絶縁の混合がスの應用」 電氣學會技術報告(Ⅱ部) 第 248号 (昭 62)
- [7] 佐藤, 他 ; 「コンデンサ誘電體の低損失化と高電位傾度化」 絶縁材料研究會資料, EIM-88-22 (昭 63)
- [8] D.Riviere & R.Romert ; "Thoughtoned Glass and its Usefulness in the Insulation of High Voltage Overhead Lines", IEEE Conference Paper, 31 CP 65-664 (1965)
- [9] L.Person & T.Ishihara ; "Fracture on FRP Rods under

- Long-term Load' Swedish State Power Board Document, No.BKUG-EN/GH-7417. (1985-2)
- [10] T.Tanaka, K.Naito, & J.Kitakawa : "A Basic Study on outdoor Insulators of Organic Materials" IEEE Trans. Elect. Insulation EI_13, 3, 184 (1978-6)
- [11] H. Mitsui, et.al. : "Improvement of Rotating Machinery Insulation Characteristics by Using Aramid Fibrid Contained Mica Paper", IEEE Trans. Elect. Insulation EI-18, 6, 651 (1983)
- [12] K. Matsunobu, et.al. : "A New High Strength Mica Insulation for Large Rotating Machinery", 15th E/EIC 72 (1981-10)
- [13] 地大, 他 : 「新絶縁方式による車輛電動機」電學誌104, 36(昭59-1)
- [14] 極低溫絶縁技術」電氣學會技術年告(Ⅱ部)第260号(昭63)
- [15] 小崎 ; 「電氣·電子絶縁の新しい方向-極低溫電氣絶縁」昭60電氣·電情報關聯 學會連大 No.12-3 (昭60)
- [16] E.B. Forsyth ; "Test Result of AC Superconducting Cables" IEEE Trans. Power Apparatus Syst., PAS-101, 2049 (1987)

저 자 소 개



박대희(朴大熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1985년~1989년 일본 오사카대 전기공학과 졸업(공학). 1979년~1991년 LG전선(주) 연구소 선임연구원. 현재 원광대 공대 전기공학부 부

교수. 당학회 편집위원



박정후(朴正后)

1945년 4월 8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980~1983년 일본 큐우슈우대학 대학원 졸업(공학). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수



김정부(金正夫)

1943년 11월 14일생. 1971년 서울대공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1971년 한국전력공사 입사. 현재 한전전력연구원 전력계통연구실 765kV 송변전그룹장. 대한전기학회 중신회원. IEEE 및

CIGRE SC 22 회원