

전력설비의 절연재료 기술

김정부
한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실

1. 서론

전력수요의 급속한 증가는 전력계통의 초고압화와 함께 송변전 전력설비의 대용량화가 요구되고 있다. 전력설비에 있어서 초고압화 및 대용량화는 방전 및 고전압현상과 전기절연의 접목기술에 의해서 가능하다. 특히 전기절연기술은 전력설비의 시스템상에서 가장 취약한 부분이며, 전기적인 사고의 시작점이 되고 있어, 신뢰성의 향상이라는 관점에서 합리적인 절연설계와 절연재료의 연구개발이 꾸준히 진행되고 있다. 절연재료의 성능은 전력설비에서의 수명과 절연사고를 좌우하고, 소형·경량화의 합리적인 절연설계에 기반이 된다.

최근에 국내에서도 주목되고 있는 차세대 765kV 급의 송전에 있어서도 절연기술은 애자류, 송전선, 송변전설비, 첩탑 등을 건설하는데 있어서 절연협조라는 관점에서 대단히 중요한 핵심이다. 765kV 송변전설비는 기존 345kV 이하 계통과는 달리 설비의 구성, 절연설계 방법 등에서 여러 가지 차이점이 있다. 설비 구성면에서는 파이프형 첩탑의 채택이나 1상 2탱크형 변압기 방식, 송전선 충전전류 신속제거를 위한 고속도 접지 개폐기의 적용, 변전소 예방진단시스템의 도입 등이 다른 점이라고 할 수 있고, 절연설계로는 개폐서지 특성이나 GIS내 VFTO의 발생 등을 중요 설계요소로 고려해야 하는 점이다. 전기에너지를 원활하게 공급하고, 전력설비의 초고압화 및 대용량화를 이루기 위해서는 전기절연기술이 중요한 역할을 하고 있으나, 아직도 해결해야 할 많은 과제를 지니고 있다.

이와 같은 관점에서 본 고에서는 방전 및 고전압 기술을 이용한 전력설비에 있어서 전기절연기술의 동향과 장래전망에 대하여 소개한다.

2. 전력케이블의 절연재료기술

케이블은 통신용, 전력용, 제어용 등이 있으나, 전력케이블용의 절연재료에 대해서만 소개한다. 전력

케이블을 구성하는 재료는 도체, 절연체, 보호층 등의 3가지로 구분되며, 절연체와 보호층과 같은 절연재료에 대하여 기술한다. 최근에 전력케이블 재료에 요구되는 성능은 절연두께의 저감화, 장기신뢰성 및 안정성으로 구분될 수 있다.

절연재료의 다양한 요구기능에 대응하여 고전계성 절연, 내수재료, 난연재료, 내열재료의 개발이 기대되어 진다. 초고압화 및 대용량화와 함께 전력케이블의 절연재료는 절연파괴강도의 향상과 유전특성(유전율과 유전정접의 곱)의 개선이 과제로 되고 있다. 따라서 절연재료의 연구는 계면을 갖는 유침지와 고결정성의 폴리에틸렌이 대상으로 되고 있으며, 345kV급 OF 및 CV 전력케이블이 개발되어, 접속자재와 함께 지중송배전선로에 실용화 되어질 단계에 있다. OF Cable용 절연재료는 유침지가 사용되어지고 있다. 그러나, 유전손실이 크고, 개선되어져도 한계가 있다. 그래서 플라스틱 필름의 양면에 그래프지를 붙이는 구조체가 개발되어져 이것을 반합성지라 한다. 반합성지의 유전손실은 $2.8 \times 0.1\%$ 로 그래프지의 $3.4 \times 0.17\%$ 를 크게 개선하고 있다. 반합성지에 이용되어지는 플라스틱 필름으로서는 폴리에틸렌, 수가교가교폴리에틸렌, 불소수지 등 여러 가지가 검토되고 있으나, 현재에는 폴리프로필렌이 사용되고 있다. 이 합성지는 일본의 경우 500kV OF케이블에 사용되고 있으며, 기계적인 강도를 개선하기 위하여 2축 연신의 폴리프로필렌을 이용한 반합성지가 개발되고 있다.

CV Cable용 절연재료는 XLPE로서 500kV 단거리 선로에 사용되고 있으며, 초고압화에 있어서 절연체내 이물혼입 극소화, 절연체내의 보이드 발생 극소화, 절연두께의 균일 압출 등의 개선이 계속적으로 진행되고 있다. 이 XLPE 대신에 재료로서 고밀도폴리에틸렌, 초고분자량 PE, EPR, PP, 수가교 PE 등의 재료가 검토되어지고 있으나, XLPE의 성능에 미치지 못하고 있다. 향후에 초고압용 XLPE의 연구는 미소트리방지 XLPE, 고결정화도 XLPE,

비결정부강화 XLPE 등이 기대되며, 절연두께의 저감을 위한 고전계성 재료개발의 연구가 기대된다.

3. 초고압 변압기의 절연재료기술

역사적으로 보면 절연재료기술의 변화는 일어나기 어려운 영역이다. 즉, 초고압 대용량의 변압기에 있어서 유침복합절연은 광유와 목재 펄프에서 만들어진 그래프지 혹은 프레스보드로 구성되고, 저전압 소용량의 변압기에 있어서 건식절연은 무기질의 충전재를 넣은 에폭시 몰드재료나 글라스 마이카와 실리콘 바니쉬를 주입하여 경화된 재료가 이용되고 있다.

이와 같은 절연재료는 20년 이상 계속적으로 사용되고 있으며, 사용실적은 매년 증가하고 있으나, 절연사고는 감소하고 있다. 그러나 절연재료에 새롭게 요구되는 성능으로는 생활환경과 2차 사고의 파급을 막는 안전성이다. 따라서 새롭게 나타나는 요구를 요약하면, 2000년대에 765kV 송전에 대응하는 변압기 절연, 대도시 전력공급을 위한 지하변전소용 대용량 고전압 불연변압기, 전력 cost를 보다 낮게 하기 위하여 신뢰성에 영향을 미치지 않는 소형경량화 기술, 절연파괴에 의한 정전을 막기 위한 진단 기술의 고도화가 있다.

이상의 요구에 대응하는 절연재료의 기술은 저유전율의 프레스보드와 난연절연으로 요약할 수 있다. 저유전율 프레스보드는 변압기내에 절연 구조물내의 유전율을 제어함으로써 유침복합계 절연시스템내의 절연내력을 향상시키는데 응용한다.

변압기의 불연과 난연은 절연재료기술의 분야에서는 엄밀하게 구별되어지고 있다. 불연은 어떠한 조건에서도 타지 않는 것을 나타내며, 난연은 타지만, 대단히 타기가 어려운 것을 나타낸다. 인구밀집지역에 있는 대도시에서는 안전성의 점에서 불연성 절연을 갖는 변전기기는 필수조건이다. 정격전압 수십 kV, 정격용량 수십 MVA 이하의 기종에서는 1.2 기압 이하의 SF_6 가스와 PET 필름 혹은 PPS 필름을 조합시켜 불연절연에 이용되어지고 있다.

또 초고압 수백 kV, 수백 MVA 이상의 고전압 대용량기에서는 절연과 냉각을 겸하여, SF_6 가스, PET, PPS 필름외의 합성지, $C_6F_{16}O$ 와 SF_6 의 혼합체가 사용되고 있다. $C_6F_{16}O$ 와 C_6F_{16} 액이나 SF_6 가스는 대단히 불활성인 기체이기 때문에 플라스틱재료와 조합시켜 복합절연을 구성하는데 용

이하다. 이와 같은 절연재료는 가격이 고가이지만, 대용량의 신도시에 있어서 대용량 불연변압기는 없어서는 안될 요소이다.

4. 가스절연개폐장치(GIS)의 절연재료기술

가스절연개폐장치는 1969년부터 실용화되어진 새로운 변전기기이다. GIS는 절연재료기술로 보면, 초기의 SF_6 가스(수기압까지 압축가스)와 도체를 지지하는 에폭시수지 몰드 스페이서, 혹은 무기질 섬유와 에폭시수지로 구성된 FRP의 조합이 양호한 절연을 갖기 때문에 20여년 경과되어도 본질적인 재료의 변화는 없었다. 그러나, 절연구조적인 측면에서 컴퓨터에 의한 전계해석을 통해 절연구조가 합리적으로 설계되어졌다. 초기에는 사용전압에 따라서 상분리형이 기본이었으나, 현재에는 500kV급까지 3상 일괄형을 설계하여 실용화되어 있으며, 일본의 경우 보급대수가 급증하고 있다. 변전소 전체를 SF_6 가스를 충전한 금속용기로 구성되어지는 GIS는 차단기, 피뢰기, 모선, 변성기, 단로기 등을 내장한 시스템 기기로 새로운 성능이 요구되고 있다.

예를 들면, 변압기와 같은 교류 765kV 송전에 대응되고, SF_6 가스를 대체하는 저렴한 고절연성 새로운 가스의 개발, 시스템 기기기기 때문에 사고를 사전에 정확하게 예측하는 기술 등이 요구되고 있다. 이와 같은 요구로 절연재료의 기술적인 측면에서 다음과 같은 연구가 진행되고 있다. SF_6 가스를 대체하는 가스로서 불소계의 2종류 이상을 혼합가스, 기체와 액체 중간의 상을 응용하는 절연을 사용함으로써 절연내력을 향상시키는 연구가 있다. 또한 에폭시수지 몰드 스페이서의 기본재료는 변하지 않았으나, 충전제 첨가효과의 연구와 열변형 온도를 향상시키는 절연재료의 연구가 진행되고 있다.

5. 콘덴서의 재료기술

콘덴서에서 절연재료기술에 대한 요구는 유전체 손실($\tan \delta$)에 의한 발열을 저감, 소형 경량화를 위한 재료, 불연화 혹은 건식화 등이 있다. 콘덴서의 절연재료기술은 저 $\tan \delta$ 화와 소형화에 있다. 유전체 손실에 의한 발열은 지금도 큰 과제로 되어 있으며, 유전체가 종이에서 플라스틱 필름(PP)으로 변하여 0.02%이하로 저 $\tan \delta$ 가 실현되었다. 또 PP 필름의 고절연내력은 수 kVA부근에서도 초소형화

가 달성되었다. 합침유체는 SF_6 가스 혹은 부분방전에 의한 가스를 흡수하는 능력이 높은 난연성 합성유로 대체하여, 안정성을 보다 높일 수 있으며, 특히 SF_6 가스와 플라스틱 필름의 구성과 세라믹 박막을 응용하는 방법이 제안되고 있다. 이와 같이 콘덴서에 있어서 신절연재료기술은 전극의 박막화로 절연과피후에도 자기회복 특성을 나타내며, 고체유전체로서 종이에서 플라스틱 필름, 합침유체가 합성유와 가스를 사용함으로써 불연과 난연성을 부여하는 연구가 전개되고 있다.

6. 애자의 절연재료기술

애자로서의 성능은 전기적 절연, 기계적 지지기능이 기본적으로 요구되며, 내후성, 경제성을 만족하는 일반적인 재료가 자기이다. 자기에 있어서는 전통적인 자기에 가해지는 기계적 강도 level에 대응하여 알루미늄 함유량을 선정한 알루미늄 자기가 많이 이용되고 있다.

자기재료 이외의 것으로 유럽에서는 현수애자에 글라스가 사용되고, 또 70년대부터는 오손특성과 경제성이 우수한 고분자재료가 사용되어지고 있다. 애자용 자기재료는 국제전기표준회의(IEC)가 정하는 세라믹 규격의 성능을 요구하며, 물리특성의 관점에서 보통자기를 대상으로 한 재료 C-110, C-111, C-112와 알루미늄을 함유하는 고강도 자기를 대상으로 C-120, C-130이 규정되어져 있다. 보통 자기의 기계적 강도를 향상시키기 위하여 석영 대신에 알루미늄을 이용한 것이 알루미늄 함유자기이며, 일반적으로 알루미늄 함유자기의 굴곡강도는 $1,400 \sim 2,400 \text{ kg/cm}^2$ 와 보통자기에 비하여 약 2.5배 높다.

또 이 자기는 내열충격특성이 우수한 것으로 높은 내야크강도를 갖는다. 기계적 강도가 높은 이유는 알루미늄 결정이 갖는 Young율과 미세한 알루미늄결정이 글라스 매트릭스를 강화하기 때문이다. 자기와 알루미늄 함유자기의 양자의 장점을 어떻게 경제적으로 성능에서 우수한 알루미늄 함유 자기가 개발되어, 이것을 이용하여 자기애자의 크기가 종래와 같고 굴곡과피강도가 약 1.5배인 고강도의 애자가 개발되었다.

급후에 자기재료기술, 제조기술의 향상 등에 의해서 복잡한 갯이나 주름의 성형이 가능하며, 절연협조 합리화 등에도 기여할 수 있다. 또한 송전용 철탑 arm의 절연화, 상간스페이서 이용 등에 의해, 철

탑의 소형화, 선로의 승압, compact화 등이 기대된다.

유럽에서 많이 사용되는 글라스재료는 기계적 강도가 자기에 비하여 낮은 것으로 성형후 표면을 구워서 강화시켜 국제규격을 만족하나, 내부잔류 비틀림이 형성되어져 열적, 기계적 외력에 의해서 서서히 파괴에 이른다. 또 알카리 성분이 많기 때문에 표면에 오손되거나 습기가 존재하면, 누설전류가 흐를 때 표면이 침식되는 문제가 있다. 더욱이 직류송전선에 있어서는 교류에 있어서 보다도 글라스 애자 파손률이 높다. 이것은 글라스의 제조과정에 있어서 용해시에 불가피하게 침입되는 미소 불순물의 주변에 사용전압에 의한 직류전도에 기여하는 이동이온이 모여서, 기계적으로 큰 응력을 발생시키기 때문이라고 예측하고 있다.

그 외에 글라스 세라믹이 있다. 이것은 결정화 글라스로 글라스 원료에 P_2O_5 , TiO_2 , ZrO_2 등의 결정형 성형제를 첨가하여, 용융형성후 열처리하는 것에 의해 결정을 석출시켜 글라스 상태에서 다량의 미결정의 집합체로 변화시키는 것으로 높은 기계적 강도를 갖는다. 또 전기적 특성도 좋으며, 표면이 평활하여 오손되기 어려운 것으로 이들의 특징을 이용하여 배전선용 라인 스페이서 등에 이용된다.

고분자애자는 옥외용/옥내용, 부상, 가스절연기기용 절연 스페이서 등의 전력설비용 각종부재에 사용되어지고 있다. 이 중에서도 옥내용으로 에폭시수지가 넓게 실용화되고 있다. 고분자재료는 성형이 용이하기 때문에 자기애자 및 부상에 비해서 compact화가 가능하다. 최근에는 고분자재료를 적용한 옥외용 애자에 대하여 국제규격화의 움직임도 있으며, 국내에서도 배전선로서 3년 이상 일부 시 사용이 되고 있다. 고분자재료가 옥외용 애자에 적용될 때의 최대 문제점은 오손, 습윤에 의한 트래킹, 침식의 문제와 자외선, 빗물, 온도변화에 대한 내후성의 문제에 있다. 그 외에 선로용 애자의 기계적 지지를 담당하는 FRP의 취성파괴, 크랙 등 장기특성에서 충분하게 해명되지 않은 부분이 있다. 그러나, 절연재료 기술의 발전과 공정 최적화 등을 통하여 송배전용 현수애자, 라인 포스트 애자, 송배전기차재 하우징 등에 EPR, 실리콘 고무, EVA, 에폭시 등이 넓게 사용되고 있다.

과거 많은 사용자들은 고분자애자를 시험적으로 주로 짧은 구간이나 특정장소에 적용하였으며, 말할 것도 없이 초기에는 실망스러운 결과를 나타내었다.

수년간의 운전중 대표적인 문제점은 갖의 트래킹과 침식, 하드웨어 분리, 갖의 코로나 절단 등이었다.

그러나 1971년에서 1989년까지의 기간에 발수성을 평가하는 기술이 발달하였고 이에 따른 소재의 특성이 급격히 향상되었으며, 기존 자기애자의 취약점을 보완하는 코팅재료도 개발되었다. 1980년대에는 송전급에서 고분자애자의 적용이 일반화되었으며, 미국시장의 20%를 점유하게 되었다. 현재 북미의 애자시장에서는 고분자애자: 세라믹애자: 유리애자가 6:3:1의 구성비를 보이고 있다. 지금까지 고분자애자의 특성과 열화방지 기능간의 상관관계에 대한 조사가 이루어져 자기애자를 능가하는 고분자애자가 개발되었고, 경비의 절감도 이룰 수 있게 되었다. 또한 고분자애자의 신뢰성을 평가하는 새로운 시험방법들이 계속적으로 개발되고 있다.

경량애자의 기술개발 및 사용증가 확대와 함께 경량애자의 유리한 점은 점점 명확해진다. 고분자애자를 취급상의 관점에서 볼 때 자기애자에 비교하여 최대 90%까지 중량을 감소시킬 수 있다. 이러한 중량감소는 취급을 쉽게 하였고, 작업중 파손을 감소시켰으며 깨짐사고에 저항성을 높였다. 또한 구매비용 및 시공비용의 절감이 가능하여 경비절감의 면에서도 장점을 갖고 있다. 구매비용 및 시공비용에서의 절감은 전압 등급이 높아질수록 훨씬 높은 것으로 알려져 있다.

전기적인 면에서 고분자애자는 작은 표면적과 긴 누설길이를 갖도록 제조할 수 있으므로 습하고 오염된 환경하에서 섬락 강도는 재래의 자기애자에 비교하여 크게 향상될 것으로 생각된다. 결국 이러한 고분자애자의 내오손 특성은 고분자 절연재료 및 설계의 기술향상으로 더욱 진보하고 있으며, 자기애자와는 달리 주기적인 세척작업이 필요없다. 이러한 고분자애자는 기존의 자기애자를 대체하거나 피뢰기 같은 기차재의 하우징으로 응용되기도 하며, 고분자 절연재료가 갖고 있는 특성으로 인해 새로운 응용분야가 모색되고 있다. 향후 옥외용 절연재료에서 고분자재료가 차지하는 비중이 매우 높아질 것으로 예측된다.

7. 회전기기의 절연재료기술

회전기기에서는 종래 절연보다 성능 향상, 필요절연 기능에 적합한 합리적 절연, 높은 생산성, 공해상에 문제가 없는 절연 등의 개발이 행해지고 있다. 마이카는 고전압기기에 필수재료이나, 마이카의 미립자에 소량의 보강재 등을 혼련한 집성마이카가

개발되어 실용화되고 있다. 이 마이카를 사용한 절연은 종래의 마이카에 비하여 특히 내열성이 개선되어진다. 이와 같이 내열성이 우수한 마이카를 사용하면 절연두께가 감소하고, 회전기기의 소형화가 가능하다.

전력계통의 주파수 조정능력이나 안정도 및 효율의 향상이 가능한 대용량 가변속 수력 발전시스템이 개발되어져, 장기간의 heat cycle과 큰 원심력에 견디어 내는 회전자코일용 절연이 개발되어져 있다. 이 절연은 전기특성이 우수한 마이카 절연으로 기계적 강도가 우수한 보호를 혼합시킨 복합재료이다. 차량용 주전동기는 차량에 수납되어지기 때문에 엄격한 치수, 중량상의 제약 등의 소형·경량화·신뢰성 향상이 요구된다. 이 절연은 C종화가 진행되어 새로운 형태의 수지가 개발되어 실용화되어지고 있다. 오래전에 에폭시 분체도료를 정전도장하여, 직류기의 절연성능의 향상과 생산성의 향상이 이루어지고 있다. 최근 마이카에 들어가는 바니쉬에 의한 전착도장 절연이 차량 전동기에 적용되어지고 있다. 이 방식도 합침작업이 필요 없어 생산성이 향상되고 있다. 이 외에 바니쉬 처리가 불필요한 자기 용착절연전선도 실용화되고 있다. 유기절연재료에서는 견디기 어려운 300℃ 이상의 고온에서 사용되어지는 회전기기가 개발되고 있다. 전선, 스로트 절연, 접속부 절연, 쇠기, 출구선, 합침재 등 회전기를 구성하는 각종 형태의 절연재료에 대하여 평가가 행해져 합성불소 마이카, 집성마이카, 내열성 글라스섬유와 최소의 실리콘수지를 사용한 절연시스템이 개발되어져 있다. 고정자 권선의 성능 평가시험에서는 350℃에서 16,000시간 이상, 400℃에서 14,000시간 이상 이상없이 운전되어지고 있다. 이와 같은 절연은 초고온 모터에 적용하여, 수냉방식의 종래형에 비하여 큰 효과가 얻어지고 있다.

알루미나 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 무기 바니쉬를 전부 합침후 다시 바니쉬를 합침한 내열온도 400℃의 회전기용 절연시스템이 개발되었다. 이와 같이 회전기기의 절연기술은 내열성이 크게 요구되며, 유기계 바니쉬의 합침방법에 의해서 절연성능이 얻어진다.

8. 극저온 절연재료기술

극저온 기술 중에 현재의 전력 회사들의 기술적 문제점을 해결해 줄 수 있는 고효율, 고밀도, 계통의 안정화, 환경친화적인 기술, 초전도 기술은 1986년도에 고온초전도체의 발견 후 연구개발이 착실하게 진행되어 현재 실용화 단계를 목전에 두고 있다. 고온초전도체는 임계온도가 136 K인 Hg계 고온초전도체를 비롯하여, 125 K인 Tl계, 110 K과 80 K인 Bi계, 90 K인 Y계 고온초전도체 등 여러 종류들이 개발되고 있다. 이들 중 가장 실용화 차원에서 연구가 수행되고 있는 재료는 Y계와 Bi계 고온초전도체이다. 실용화에 중요한 임계전류도 박막에서는 $\sim 10^7$ A/cm²의 값을 비롯하여 선재의 10^6 A/cm², 벌크에서도 10^5 A/cm²의 값을 나타내, 실용화에 필요한 값에 도달하였다.

금속초전도체를 이용한 종래의 초전도체 응용은 액체헬륨 온도(4 K, 269°C)를 생각하였으나, 액체질소 온도(77 K, 196°C)에서도 실용 가능한 고온초전도체의 선재가 개발되어져 초전도기기, 초전도케이블, 초전도자석 등 전력분야에의 응용이 되고 있다. 액체헬륨에 의한 냉각과 비교하여, 액체질소에 의한 냉각은 냉동기의 효율이 100 배 정도로 향상되어 종합효율이 높아진다. 이와 같은 상황에서의 초전도 응용기기, 극저온절연에의 관심이 다시 높아지고 있다.

따라서 액체헬륨 온도 및 액체질소 온도에서의 절연은 극저온 절연으로 포함된다. 극저온 전력설비에 이용되는 절연재료는 주로 액체헬륨, 액체수소, 액체질소 등의 냉매를 겸비하는 액체 절연체와 고분자필름, 합성지, 에폭시수지, GFRP 등의 고체절연재료가 있다. 이외에 저온에서 고체화하는 물, 각종 탄화수소, SF₆ 등도 검토되어지고 있다.

극저온 절연재료로서는 전기적 특성 외에 기계적 특성이나 열적 특성에 대한 성능이 요구되어진다. 실온에서 극저온까지 냉각하기 때문에 열수축이 크고, 근접하는 재료와의 열수축 차가 크면, 내부응력에 의한 크랙이 발생한다. 또 극저온에서는 고분자 특유의 유연성도 없어서, 크랙은 한층 일어나기 쉽다. 또한 초전도 자석에서는 절연재료에 큰 전자력이 작용한다. 열수축이나 기계적 강도를 확보하기 위하여 글라스섬유 강화 플라스틱 등의 복합재료가 이용되어진다. 전기적 특성으로는 절연파괴강도, 유전손실, 방전열화 등이 문제로 된다. 특히, 액체헬륨 냉각의 효율이 나쁘므로, 교류전압에서는 유전손실

이 작은 재료가 바람직하다. 헬륨의 절연파괴강도가 낮으므로, 액체헬륨 함침의 복합절연에서는 유전율이 낮은 고체재료를 사용하여, 액체헬륨 부분에 큰 전압부담이 가지 않도록 해야한다. 액체질소의 파괴강도는 액체헬륨의 약 2 배이고, 같은 온도 같은 압력에서 질소가스의 파괴강도는 헬륨의 약 10 배에 가깝다. SF₆와 질소가스의 절연파괴를 비교하여 보면, 실온에서 SF₆ 가스의 파괴강도가 동일 압력 하에서 질소가스의 2~3배이며, 질소가스의 파괴강도는 실온에 비하여 액체질소 온도 부근에서 약 4 배로 증가되는 것을 고려하면, 그 때의 파괴강도는 실온의 SF₆의 파괴강도를 넘는다.

따라서 액체질소 이상에서 고온초전도체가 실용화되어지면, 극저온절연은 전기적으로 쉽게 되어진다. 이와 같이 극저온의 절연기술은 액체 질소와 헬륨의 전기적인 특성과 저온에서 고체재료의 열·기계적인 특성에 의해서 좌우되며, 아직도 극저온절연기술의 연구는 진행 중에 있다.

9. 결 론

전력설비에 있어서 절연재료기술은 초고압화 및 대용량화와 함께 재료의 저손실화, 내열성, 높은 절연내력, 난연성 등의 고기능화가 요구되고 있다. 또한 절연재료로서 고분자재료의 사용이 확대되어 가고 있으며, 특히 절연성능을 향상시키기 위해 절연구조를 박막화, 재료의 결정 및 분자수준의 제어, 복합구조화의 절연설계에 관한 연구가 진행되고 있다. 전력설비의 사고예방을 위한 절연재료의 열화진단기술 및 수명평가법이 요구되고 있다. 또한 전력설비의 운전조건이 가혹화되고, 대용량화됨에 따라 내환경 및 극저온하에서 평가기술의 확립이 필요하다.

선진국의 전기절연의 기술동향을 파악하고, 국내의 새로운 전기절연기술을 국제화시키기 위해서는 국제전기기술위원회(IEC)의 전문위원회(TC-15) 참석과 각종 규격의 제안 및 개정에 참여가 시급히 요구된다.

이와 같이 전력설비의 절연기술분야에서 당면 과제를 해결하고, 차세대 신절연재료의 개발을 위하여 산·학·연의 공동연구와 많은 연구원의 참여가 필요하다.

결과적으로, 전력설비의 절연재료기술을 조기에 향상시키기 위해서는 연구결과의 과감한 실체통적 적용과 선진 기술을 접목시킬 필요가 있으며, 고장 방지를 위한 절연재료의 고장진단 연구가 전력회사를 중심으로 관련 연구진의 노력이 요망된다.

참고문헌

- 1) 松葉; 「ケーブルおよび付属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 Sulfide 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 ; 「コンデンサ誘電体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 ; "Thouhoned 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 Boad 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 Fibril 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) 極低温絶縁技術」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-極低温電氣絶縁」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)