

전기 절연 재료의 현재, 미래

林基祚*·金鳳洽**

(*충북대 공대 전기공학과 부교수·**한양대 명예교수)

1. 서론

각종 전기 에너지 변환 기기, 소자 및 부품의 개발과 발달에 힘입어 근대 전기·전자 공업은 눈부시게 발전을 하고 있다. 전기, 전자 기기에 있어서, 전기 절연은 반드시 요구되는 기술이며, 이들 기기의 개발, 성능 향상을 위해 담당하고 있는 역할은 매우 크다. 전기 절연은 다른 것에 비하여 여러가지 특징적인 면이 많으며, 절연에 대한 정확한 이해와 우수한 절연 재료의 개발은 앞으로의 전기, 전자 기기의 비약적 발전에 매우 중요한 키포인트가 된다고 해도 과언이 아니다.

절연 재료 분야 연구의 최근의 주된 방향으로는 ① 대용량 송전 기술의 개발, 송전 전압의 초고압화, 저온 송전, 管路氣中 송전, 직류 송전 ② 절연의 신뢰성 향상, 절연 열화, 가속 열화 시험법, 수명 예측, 절연 진단법의 확립 ③ 환경 문제, 무공해 재료, 불연, 난연성 절연 시스템의 개발 ④ 반도체 소자 등의 전자 기기의 절연 등을 들 수 있다. 이들중 어느 분야를 막론하고 과거의 현상론적, 경험적 방법만으로는 쉽게 해결되지 않는 어려운 문제가 놓여 있다. 한편, 세계적인 경향으로는 전기, 화학, 물리 등의 연구자들이 근대 물성론을 공통의 언어로 하여 상호 협력하면서 절연 재료의 연구 개발을 추진하고 있고, 국제적인 연구 정보의 토론의 장도 넓혀 가고 있다. 예를 들면 미국의 Conference on Electrical Insulation & Dielectric Phenomena (IEEE), 영국의

Conference on Dielectric Material (IEE), 일본의 절연 재료 심포지움(전기 학회 절연 재료 전문위원회), 유럽지역의 International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, 아시아 및 범 태평양 지역의 International Conference on Properties and Application of Dielectric Materials 등은 매년 또는 3년마다 개최되는 국제적인 절연 재료의 연구자의 집회로서의 지위를 확립하고 있다. 국내의 경우도 대한 전기학회 전기재료연구 발표회, 한국 전기·전자 재료학회 학술발표회가 춘계, 하계 및 추계로 성황리에 개최되고 있다. 물성론이나 재료 과학에 입각하여, 진보된 물리적, 화학적 측정법을 무기로 한 앞으로의 연구가 오랜 역사를 가진 절연 재료 공학에서도 Shockley 등에 의해 시작된 반도체 공학에서처럼 혁명을 초래하여, 합성 화학의 도움을 받아 목적에 가장 적합한 절연 재료 절연 시스템을 적당한 분자를 적당히 배열, 합성함에 의해 실현하는 분자 설계 시대로 접어들고 있다고 해도 과언이 아니다. 본 고에서는 절연의 위치와 요구 성능, 현재의 동향 및 앞으로의 전망 등에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 전기 절연의 위치와 요구 성능

(1) 전기 절연의 의의와 특징[1]

전기 현상을 그 기능의 대상으로 하는 전기 기기에 있어서, 전위차가 있는 도체간을 전기적으로 절

연시키는 전기 절연 기술은 반드시 있어야 하는 기술 중의 하나이다. 이 기술은 아래에 열거한 바와 같이 기기의 다른 구성 기술들과는 매우 다른 특징을 가지고 있다. 즉, ① 전위차를 유지해주기 때문에 모든 전기 기기에 적용된다. ② 기기의 동작 기능상의 원리에 직접 관계되는 경우는 거의 없다. ③ 절연 기능은 전위차에 견딘다는 수동적 역할이다. ④ 절연 성능에서는 복합적인 기능이 요구되고 있다. (예를 들면, 구조 재료 기능, 냉각 기능 등) ⑤ 기기 설계, 수명을 지배하는 주요한 요인으로 되는 경우가 많다.

이들의 특징 중에서 ⑤는 우수한 전기 절연성을 갖는 공유 결합이 주체가 된 많은 유기 물질들에서 보듯이 분자 구조의 열적 불안정성이 기기의 다른 구조 재료(도체, 자성체 등)에 비해 크다는 점과 전기 절연에 요구되는 제기능이 복잡화, 가혹화 되는 추세에 대응할 수 있는 충분한 전기 절연 물성의 이해와 절연 설계 기술의 발달이 미흡하기 때문이라고 생각된다.

이상의 전기 절연 기술을 확보할 수 있는 절연 재료로는 상기의 ④에 관련하여 다음과 같은 성능면에서 우수한 것이 요구된다.

- ① 전기 절연 성능 ② 열적 성능 ③ 기계적 성능
- ④ 경년 열화 성능 ⑤ 기타(예를 들면 물리, 화학적 성능)

(2) 전기 절연의 역사적 발달

전기 절연 재료 기술의 발달 과정을 반성하여 분석하는 것은 금후 발달의 동향을 추정하는데 매우 중요하다. 이 과정을 재료면과 기술면에서 살펴본다.

① 재료면에 있어서의 발달 [2], [3]

19세기 초에 Faraday가 전자 유도의 법칙을 발견할 당시에는 공기, 면사, 유황, 파라핀, 유리 등 주로 천연물이 절연 재료의 대상으로 되었으며, 20세기 초까지는 절연 재료 그 자체에 관한 연구 논문이 적고, 그 발달은 매우 천천히 진전되어 왔다. 21세기에 들어서면서부터 전력 수요의 급속한 증가에 따른 전력 계통, 전기 기기의 고전압화의 경향과 더불어 새로운 재료의 개발, 개량이 급속히 진전되어, 기기 절연 양상이 변화하였다. 특히 2차 대전 이후에는 각종 합성 재료의 개발과 적용은 괄목할만하였

다. 또한 전기적 부성 기체로서의 SF₆ 가스의 출현은 종래의 공기를 대상으로 한 기체 절연의 성능을 비약적으로 향상시켰다. 이에 따라 고전계 설계가 가능하게 되고, 기기의 소형화에 따른 점유 부지 면적의 저감에도 성공적이었다. 더욱이 SF₆의 우수한 절연 성능은 종래의 유침 및 고체 절연 전력 케이블에 필적하는 충분한 능력과 많은 특징을 가진 초고압 관로 기중 선로의 구상에 까지 이르게 되었다.

고유전율, 불연성을 갖는 PCB 합성유리의 개발은 콘덴서 유전체와 변압기유로 이용 분야가 개척되었으나, 환경 공해 물질로 밝혀져 제조, 사용이 억제됨에 따라 이것의 대체유가 활발히 검토되었고 이에 따른 결과로 각종 합성유가 개발되었으며 유침 절연에 특히 많이 이용되고 있다.

고체 절연 재료로서의 합성 고분자 수지는 그의 우수한 전기 절연성과 기계적 특성 및 화학적 안정성 등의 점에서 높게 평가되었다. 예를 들면 전선 피복재로서 PVC, 합성 고무 및 가교 폴리에틸렌 등, 박막재로서 폴리에스테르 필름, 내열재로서 실리콘, 불소계 수지, 방향족 폴리머, 주형재로서 불포화 콜리에스테르 수지, 에폭시 수지, 그의 각종 합성지 등이 개발되었고, 각 목적에 따라 적재 적소에 사용되고 있다. 또한 종래의 펄프절연지와 합성 고분자의 적층에 의한 복합 절연 구성 등도 적극적으로 채용되어, 설계 전계치의 향상과 기기의 소형화에 공헌하고 있다.

이와 같이 새로운 재료의 개발과 개량은 전기 절연 기술에 비약적 발전을 촉진할 수 있으나 이들의 채용에 따라 과거에는 그다지 주목을 받지 않았던 새로운 절연 기술상의 문제가 제기되기도 한다. 예를 들면 합성 고분자 절연체에 대한 방전 열화 현상 등은 그의 전형적인 일례이다.

② 기술면에서의 발달 [4], [5]

한편, 전기 절연의 적용 기술, 컴퓨터에 의한 전계 해석법, 통계 해석을 도입한 설계 기법, 자동화 제조 기술 등에 있어서 상당한 진보를 가져왔다. 또한 單體 재료들의 복합적 사용에 의한 절연 성능의 비약적 향상을 유침 절연체에서 엿 볼 수 있다. 이것은 절연 기술 발달사에서 매우 주목할만한 일이다. 즉, 절연 구성에 있어서 가장 취약부인 기체 절연부를 액체라는 새로운 고성능의 절연 조직에 의해 치환함으로써 절연 구성 중의 최약점을 배제시킨다

는 절연 기술의 근본 개념에 따랐던 개혁이다. 이들 유침 절연 구성의 높은 신뢰성은 각종 초고압 기기 중에서 유침 변압기, 콘덴서, 케이블 등이 주류를 이루고 있는 사실에서 확인할 수 있다.

긴 역사로 부터 기술면의 발달과정을 살펴보면 폭 넓은 실험 결과의 집적과 장기간의 실적에 바탕을 둔 경험적 수법이 발전의 주역을 담당해왔던 것도 부인할 수는 없다. 그러나 이와 같은 경험적 수법만으로는 급격한 진보와 발전이 기대되는 전기 기기에 필요한 전기 절연을 실현시키기가 어렵다.

3. 전기 절연 기술의 최근의 동향

고도의 전력 기술의 운용과 전자 기술의 다양화를 지탱해주는 각종 전기 및 전자 기기, 부품에 대한 전기 절연 기술의 최근의 주요한 추세를 요약하면 다음과 같다.

① 고전압화(고전계화) : 계통 구성의 고전압화는 전력 손실의 저감, 경제적 운용에서 당연한 요구이며, 기기 치수의 비례적 증가의 억제에는 토지 유효 이용, 제조 기술, 수송 문제의 해결과 자원 절약, 에너지 절약의 관점에서도 점점 촉진되고 있다.

② 소형화(고전계화) : 위의 고전압화에 따른 잇점들을 기대할 수 있으며, 특히 전자 부품에 있어서의 초집적화는 이 경향에 박차를 가하고 있다.

③ 설계, 제조의 합리화 : 기 결정된 기기 설계와 제조의 공정에서의 합리화는 코스트 저감을 포함하여, 에너지 및 자원 절약면에서도 파급 효과가 큰 분야이며, 적절한 조합이 요구된다.

④ 고신뢰성 : 單機용량의 증대, 기능의 복잡화에 따라 기기 절연의 신뢰성 향상은 기기 자신의 수명 보증과 고장 발생시의 파급 효과를 고려하면 한층 엄격하게 요구되어 질 것이다.

⑤ 사용 환경의 복잡, 가혹화 : 예를 들면, 기계적 문제로서 진동, 전자력, 열응력, 열적 문제로서 고온, 저온에서 그 환경 범위가 확대되는 경향에 있으며, 또 염해, 매연 등에 의한 오존 환경의 악화, 또한 원자로 근처에서의 고에너지 방사선 피폭 문제 등, 기기의 사용 환경은 점점 복잡해지고, 가혹화되어 가는 경향이다. 이에 따라 전기 열화 뿐만 아니라, 이들 환경하에서의 복합 열화의 문제가 급속히 주목될 수 있다.

⑥ 직류 절연 : 종래 많은 전기 기기는 저압 직류 회로 등을 제외하고는 상용 주파수 교류 전압에서 운전되어 왔지만, 앞으로는 대용량 직류 전압하에서 동작하는 전기 기기가 증가될 경향이 있으며, 직류 고전계 절연에 관한 새로운 제문제가 제기되고 있다. 이것은 주로 공간 전하 효과, 공간 전하를 중심으로한 내부 유효전계의 평가등에 주목되고 있으며 [6], 고전압 변압기의 유동 대전 현상도 넓은 의미에서 이 문제의 하나로 볼 수 있다.

4. 절연 기술의 당면 과제

앞에서 서술한 절연 기술에 대한 동향을 근거로 해서, 이들에 대처해야 하는 절연 설계상 해결해야 하는 과제에 대해서 서술한다.

(1) 고전계 설계

절연 구성의 고전계화에 대처하는대는 우선 저전계와 다른 고전계하의 전기 절연성을 현상면에서만 보는 것이 아니라, 미시적 관점에서 물성론적으로 해명할 필요가 있다. 이것은 기존 재료의 개질 및 새로운 재료의 개발에 대한 기본 개념을 얻는데 매우 유용하리라 생각된다. 전술의 직류 절연에 대한 공간 전하에 대해서는 캐리어 발생, 트랩 및 이들의 평가법에 대한 실험적, 이론적 해명과 이들 공간 전하의 재료면 및 기술면에 의한 억제 수법의 확립이 급선무이다. 또 재료의 정제, 특히 각종 결함의 제거는 재료의 제조 및 그의 적용 공정에서 특히 유의해야 할 것이다. 더우기 장기 수명을 지배하는 각종 절연 열화현상의 해명, 특히 $v-t$ 곡선의 물성론에 기초로 한 이론적 해석과 그의 도출이 강하게 요망된다.

(2) 합리적 설계

절연 구성의 설계의 합리화에 대해서는 외래 설계 인자로서의 각종 서지 전압(內外雷)의 평가를 계통 전반에 걸쳐 절연 협조에 우선하여 확실하게 파악함과 더불어 이들을 토대로 한 전계 해석의 精度를 향상시키는 것이 중요하다. 이것은 컴퓨터 도입에 의한 각종 전계 해석법의 개발에 의해 현재 급속한 진보를 보이고 있다. 單機 용량의 증대에 따른 UHV 기기 절연의 기능 해석은 prototype test를 행함이 좋을 것이나 막대한 경비가 소요될 것이다. 이것에

대한 컴퓨터 시뮬레이션의 도입은 극히 어려운 문제이지만, 장래 적극적으로 고려되어야 할 것으로 생각된다.

(3) 고신뢰성 설계

품질 관리의 고도화와 더불어, 신뢰성 공학의 적극적 도입에 의한 요구 신뢰도의 확실한 보증이 도모되어야 한다. 또한, 운전 기기의 보수 관리의 합리화와 완성 기기의 성능 보증을 뒷받침할 수 있는 절연 평가 시험의 이론적 근거를 보다 명확히 하는 것이 요망된다.

(4) 기타

전기 절연 기술은 절연 재료를 시작하여, 그 적용 기술을 포함한 종합 공학의 성격을 가지기 때문에 전기, 전자, 정보, 물리, 화학, 기계 등의 제분야의 유기적 협력이 요구된다. 이와 같은 태세가 기초 학술과 응용 기술의 두 분야에서 확립되는 것이 강하게 요망된다. 고도한 기술의 발전은 한 국가내의 정보 교환만으로는 불충분하며, 국제 교류 즉, 해외의 학문, 기술과의 밀접한 교류가 필요하다. 주관적인 견해이지만 최근 이 분야의 신진 연구자 및 대학원생의 수가 감소 추세를 보이고 있는데 이것은 절연 기술이 종합 기술의 성격을 갖기 때문에 기술의 특성상 연구에 많은 노력과 시간을 요구하는 어려운 분야이고 산업체, 정부의 무관심으로 연구경비의 확보가 상대적으로 어렵다는 것이 신진 연구자의 기피 이유로 보여진다. 그러나 전기 절연은 기기 및 부품의 수동 구성부이긴 하지만 반드시 있어야 하는 부분이며 기기 및 부품의 신뢰성 및 종합적인 수명을 좌우하는 중요한 부분이기 때문에 기술의 발전을 위한 산, 학, 관의 대책이 요구된다.

5. 전기 절연의 장래 전망

전기 절연의 장래를 살펴보기 위해서는 그것에 영향을 미치는 인자에 관한 검토가 선행되어야 할 것이다. 여기서는 에너지기에 관련된 전기 절연에 주목하기로 하고 우선 에너지 기기의 동향을 검토하고 그에 따른 전기 절연의 장래를 살펴보고자 한다.

(1) 에너지 기기의 동향[7]

① 고전압 주도 시대

이 기간은 다음 두가지 점으로 특징지워 진다.

(a) 경제성의 추구(경제성만을 추구)

(b) 전력 수요의 증대

설계는 이 (a), (b)를 기본으로 하여 이루어진다.

(a)에 대해서는 다음 경제 원칙이 성립하였다.

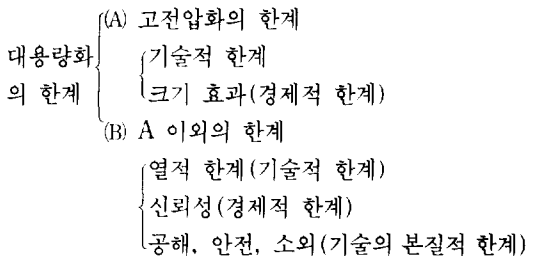
(a-1) 큰것이 유리하다. (scale merit의 추구)

(a-2) 전류보다 전압을 크게 한 쪽이 경제적이다. → 고전압화

(a-1)과 (b)의 관점에서 單機당 용량의 대규모화(대용량화)가 추구되었다.

② 대용량화의 한계

지금까지 대용량화는 경제성의 추구에 잘 부응하고 있다 여기서는 이 한계에 대하여 살펴보자.



지구상에서 기술적으로 발생 가능한 전압을 기기의 제작, 수송, 조립 및 절연내력의 입장에서 검토하여 일본의 野口[7]는 10MV로 보고 있으며 크기효과에 의한 경제적 한계 전압을 전압의 1/10인 1MV로 설명하고 있다. 국내의 경우 차기의 송전전압을 700kV대로 검토되고 있고 미국의 경우 현재 700kV대이며, 일본의 경우도 500kV이다. 즉, 경제적인 한계 전압에 거의 육박해 가고 있다.

③ 한계의 시대

이 시기에 들어서면 대용량화의 한계나 과학 기술의 결점들이 나타나기 시작하며 선진국은 고도 성숙 사회에 돌입하고, 경제 성장은 둔화된다고 예측하고 있다. 따라서 대용량화의 전제 조건이었던 전력 수요의 상승율도 줄어 들게 되고 대용량화에 의한 경제성의 추구도 이전 시기에 비해서 확신이 서지 않게 된다. 이상 정리하여 나타내면 다음과 같이 된다.

- (a) 전력 수요의 한계(대용량화의 전제에 한계)
- (b) 대용량화 그 자체에도 한계(②참조)
- (c) 과학 기술의 본질적 한계도 일부 나타난다.

이 시기에서 경제성을 추구하는 방법에는 대용량화에 의한 경제성의 추구하고 대용량화 이외에 의한 경제성의 추구가 있겠으나 주로 후자에 치중하겠지만 전력 수요의 상승율이 둔화된다는 것일 뿐 전력 수요의 감소는 아니므로 전자도 일부 추구될 것이다. 이 기간의 경제성 추구 방법은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

- 경제성의 추 구
- (A) 스케일 잇점의 추구 (대전류화)
 - (A1) 냉각
 - (A2) 고전계에서 고자계
 - (B) A이외의 잇점의 추구(효율 향상)
 - 수송 효율 향상
 - 시스템의 효율 향상 (전력 저장기기의 도입)
 - 전력 손실 저감(냉각)
 - 변환 효율 향상 — 열효율 향상 (MHD)

(A)는 대전류화이다. 전력 $P=VI$ 이므로, 전력 기기의 대용량화로서 고전압화에 한계가 생긴 경우, 대전류화의 방법 외에는 없기 때문이다. 냉각에 의한 향상도 절연재의 특성보다 도체 쪽이 크다. (A)도 대용량화에 의한 효율 향상에 있으므로, 효율 향상이라 하는 점에서는 (B)와 마찬가지로이다.

한편, 에너지 위기 이래 에너지원의 다양화가 문제로 되고 있으며, 특히 “탈석유” 중심으로 진행되고 있다. 이 때문에 여러 가지 에너지를 전기로 변환하는 방법이 고려되고 있다. 그것을 분류하여 나타내면 다음과 같다.

- 에너지 기기
- 집중형(영리형)
 - 핵융합 에너지 → 전기 에너지
 - 분산형(자급형)
 - 태양 열(광) → 전기 에너지
 - 화학 에너지 → 전기 에너지

집중형은 종래의 발전소에 속한 것으로 대규모가 아니면 경제적이지 못하다. 분산형은 매우 소규모이다. 따라서 그 소유자는 개인, 지방 자치 단체, 기업 등이며, 영리를 목적으로 하지 않으므로 자급형

이라 말한다. 집중형 에너지 기기외에 분산형 기기가 크게 늘어나게 될 것이다.

(2) 한계 시대 전기 절연의 특성

① 절연 방식의 임의성

고전압 주도 시기의 개발 목표는 154kV XLPE 케이블, 500kV OF 케이블, 1000kV 가공 송전성등으로 전압과 절연 방식이 명시되었다. 이것은 전압(절연)이 주인공인 것을 의미한다. 그러나 한계 시대의 개발 목표는 예를 들어 1GW 초전도 케이블 등과 같이 절연에 관한 사항은 명시되어 있지 않다. 이것은 절연 방식에 여러 가지 선택할 수 있는 갈래가 있고, 절연 담당자는 이 중에서 어떤 방식을 채용할 것인가를 먼저 결정하여야 한다. 이 선택은 기기의 제조, 수송, 구조, 운전, 보수 등에 관한 전체 조건을 어떻게 설정하는가에 의해 달라지게 될 것이다. 예를 들어 케이블의 경우 유연성을 전제 조건으로 할 것인가, 케이블의 부설을 로봇에 의해 할 것인가?… 등, 이러한 설정은 실용 개시 시기를 언제로 하는가에도 좌우 된다. 선진국의 경우, 최근의 개발 예에서 보면 이러한 설정의 조건들을 명확하게 정하기가 어려울 때가 많다. 결국 미지수가 매우 많다고 할 수 있다. 설정 과정에서 기술의 영역만 고려하여 결정하는 것은 곤란하고, 경제, 사회, 문화 등의 영역에서의 검토도 요구된다. 이와 같이 절연 문제의 폭은 그 범위가 매우 넓어지게 된다.

② 지지재(supportor)기능이 보다 우수한 절연재[7]

절연물의 기능에는 여러 가지가 있으며, 용도에 따라 명칭도 다르다.

- (a) 不導體(non-conductor) : 누설 전류 방지(도전율 σ)
- (b) 유전체(dielectrics) : 유전 분극(유전율 ϵ)
- (c) 지지재(supportor) : 도체 위치의 유지(기계적 내력 F_m)
- (d) 절연재(insulator) : 도체 전위의 유지(절연 내력 V_s)

(a) 부도체 : 누설 전류는 전력 손실을 야기한다. 그러나 현재 도전율이 매우 낮은 좋은 절연재(폴리에틸렌의 고유저항; $10^{21} \Omega \text{cm}$)가 있기 때문에, 전력 기기에서는 보통 이것이 크게 문제되지는 않는다. 예를 들어 에폭시($\epsilon_s \sim 4, \tan \delta \sim 5 \times 10^{-3}, \rho \sim 4 \times 10^{15}$

$\Omega\text{cm}[7])$ 의 경우 누설 전류 손실 P_L 과 유전체 손실 P_b 를 비교해보자.

$$P_L = E^2/\rho \quad P_b = (\epsilon C \omega \tan \delta) E^2$$

지금, $P_L = P_b$ 가 되는데는 $\epsilon C \sim 10^{-18} \text{F/m}^2$ 으로 된다. 기기의 용량은 일반적으로 수 pF/m^2 이상으로서 10^{-18}F/m^2 보다는 매우 크다. 따라서 $P_L \ll P_b$ 로 된다.

(b) 유전체(dielectrics) : 유전 분극 현상을 적극적으로 이용하는 재료는 강유전체일 것이다. 예로서 광학 소자나 압전 소자등을 들 수 있다. 전력 기기로서는 콘덴서의 용량증대를 위해 유전율이 큰 재료가 요구되고 있지만, 그외 전력기기의 응용에서 크게 주목할 점은 거의 없다고 할 수 있다.

(c) 지지재(supportor) : 이 역할은 지금까지는 거의 문제가 없었지만 앞으로 중요한 기능이 된다. 단위 체적당의 전계 에너지 Q_E 와 자계 에너지 Q_B 를 비교해보면 대부분의 전력에너지 기기의 경우 $Q_E < Q_B$ 이다. 또한 이 Q 값은 전계 혹은 자계의 방향에 수직인 단위 면적에 작용하는 힘 F 와 크기가 같다. 그러므로 자계에 의한 이 힘 F_B 는 더욱 증대할 것이고 초전도 에너지 기기의 출현은 이 경향을 더욱 심화시킬 것이다. 지금, $B=10\text{T}$ 라면, $F_B \sim 400\text{kg/cm}^2$ 가 된다. 구조재료로서의 절연물의 대표적인 재료인 에폭시의 경우 인장 강도 1000kg/cm^2 , 압축 강도 2000kg/cm^2 이므로, 이 F_B 에 견디기는 할 것이다. 그러나 이 데이터는 소시편에 관한 것이므로 대형 기기에 채용되었을 때, 사이즈 효과나 다른 기계적, 열적 스트레스가 인가되어진 경우 문제가 될 수도 있다.

(d) 절연체(insulator) : 이 기능은 고전압 주도시기의 주된 역할을 담당해왔다. 고전압화는 현재까지는 "경제성의 측면"에서 고전계화가 필요했다. 그러나 이 시기에 접어들면, 펄스 기기등에서는 "기능적인 측면"에서 고전계화가 필요하게 된다. 결국 대전류화 경향의 기술에서는 기기의 인덕턴스를 작게 하기 위해 기기를 컴팩트하게 할 필요가 있기 때문이다. 따라서 종래의 전력 기기의 전계(케이블에서 200kV/cm 이하)보다 높은 1MV/cm 정도가 필요하게 된다.

지금까지 살펴본 바와 같이 부도체, 유전체로서의 기능은 고전압 주도 시대와 같이 큰 문제는 없으나 현재 시대에서는 절연재료로서의 기능외 지지재로서의

기능의 중요성이 크게 강조되게 될 것이다.

③ 복합적이고 가혹한 환경

이 특성은 3, 4절에서도 언급하였지만 장래에는 특히 심화될 것이다. 절연물에는 여러 가지의 스트레스가 인가되어 지는데, 전기, 기계, 온도, 방사선, 화학 등을 들 수 있다. 지금 스트레스들을 ϕ_1, ϕ_2, \dots 라 하고 스트레스 ϕ 는 우리들이 보통 생활하고 있는 자연 환경을 기준으로하여 측정된 것으로 보자. 예를 들어 전압의 경우 대기전계($\sim 100\text{V/m}$)가 기준으로 되지만, 이 값은 기기에 인가되는 전계 E_r 에 비해 일반적으로 작기 때문에 $\phi = E_r$ 가 된다. 온도의 경우는 20°C 가 기준으로 된다. 기기의 동작 온도를 T 라 한다면 $\phi = T - 20$ 이 된다. 자연 환경과 동작 환경과의 거리 L 을

$$L = (\sum \delta^2)^{1/2} \quad (\delta = \phi/\text{기준 스트레스})$$

라 정의한다. L 이 클수록 인공적인 환경이다. 과학 기술의 진보와 더불어 지금까지 L 이 계속하여 증대해왔다. 온도의 경우를 생각하면 극저온 초전도 케이블의 절연체의 온도 T 는 지금의 경우 $T \leq 20\text{K}$ ($T = 5^\circ\text{K}$ 라면 $\phi = -287^\circ\text{K}$, $\delta = -1$)이다. MHD 발전 channel의 절연벽의 온도 T 는 $T \geq 1000^\circ\text{C}$ ($T = 1000^\circ\text{C}$ 로써 $\phi = 998^\circ\text{C}$, $\delta = 50$)이다. 핵 융합용 마그네트의 절연물은 극저온, 대전자력, 강력한 중성자 조사, 고전압의 복합 환경 하에서 사용하게 된다. 이러한 복합적이고 가혹한 환경에 맞는 절연재, 절연기술의 연구에서 특징적인 점은 지금보다 훨씬 많은 다수의 전문가가 공동으로 연구해야 된다는 점과 실험에서 한 사이클에 요구되는 기간이 지금보다 훨씬 길고, 많은 경비가 요구된다는 점을 들 수 있다.

6. 결 론

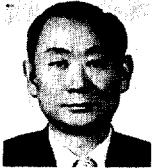
전기 절연에 관한 학문과 기술은 전기 공학 분야가 태동한 시기부터 타분야와 더불어 진보되어온 깊은 역사를 갖고 있다. 그러나 그 내용면에서 다른 기술 분야와는 다른 독특한 특징을 갖고 있다. 이들 특징에 대한 정확한 이해와 아울러 산적한 문제들의 올바른 인식이 현재 당면한 문제 및 앞으로 다가올 문제를 해결하기 위해서 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 김봉흠, 전기·전자 재료, 문운당(1987)

- [2] 鳳誠三郎, "최근의 절연재료(특집)", 일본전기학회지, 97권, 3호(1978)
- [3] 犬石嘉雄, "절연 재료의 최근의 연구 동향", 전기평론(1980, 5)
- [4] 大森豊明, 전기재료 메뉴얼, 신기술개발센터(1985)
- [5] 金相隆, 한국일 부품 산업, 산업연구원(1988)

- [6] M. Ieda, "In Pursuit of Better Electrically Insulating Solid Polymers", Proceeding of 86 CEIDP, Delaware, USA(1986)
- [7] 野口卓也, "전기 절연 연구의 장래 전망", 일본전기학회, EIM-84-69(1984)



김봉훈(金鳳洽)

1922년 10월 26일생
 1943년 경성고공 전기공학과 졸업
 1964년 University of Michigan, Ann Arbor원자력 공학과 졸업(공학석사)

1973년 University Libre de Braxelle, Belgium대학원(공학박사)
 1952~66년 전북대학교 전기공학과 교수
 1966~88년 한양대학교 전기공학과 교수
 1988~현재 한양대학교 명예교수



임기조(林基祚)

1952년 5월 20일 생
 1973년 한양대학교 전기공학과 졸업
 1979년 한양대 대학원 전기공학과(공학석사)

1986년 한양대 대학원 전기공학과(공학박사)
 1977~1981년 국방과학 연구소
 1981~현재 충북대학교 전기공학과 부교수.