

電氣絶縁材料의 最近의 動向

“THE INSULATION MATERIALS FOR ELECTRIC EQUIPMENT”

奇 宇 奉

現代重電機株式會社 常務

1. 序 言

電氣機器는 電氣回路를 구성하는 도전부와 磁氣回路를 이루는 철심부, 도전부를 격리시키는 絶縁部, 이들을 기계적으로 결합시키는 부분으로 네가지의 자재로 구성된다고 볼 수 있다.

이 중에서 핵심인 도전부, 철심부, 절연부의 資材發達상황을 살펴보면 銅이 導體의 주류를 이루고 있으면서 알미늄이 원가면에서 유리하여 그 자리를 넓혀가고 있고, 鐵心材料는 과거 수십년동안 큰 발전을 이루어서 損失이 적고 여자 전류가 적으며, 또 표면처리 기술이 개발되어 點積率이 높은 구조 강판이 생산되고 있다.

이 두가지 資材보다는 絶縁材는 化學 및 相關 工業의 발달로 괄목할만한 발전을 하여 왔고 지금도 계속 새로운 제품의 개발이 이루어지고 있다.

最近에 와서 電氣機器의 容積이나 重量이 過去와 比較할 때 同一 容量에서 1/3에서 1/6까지 줄어들 수 있었던 것은 技術의 發展도 있었지만 획기적인 絶縁物의 開發에 依한 結果가 아니겠는가 한다.

또한 産業구조의 大型化와 密集現象으로 電力系統도 大型化됨에 따라 大容量發電機, 電動機, 變壓器의 生産이 가능하게 된 것은 冷却技術의 發展과 함께 絶縁物의 開發에 따른 것이라 할

수 있다.

그러면 電氣機器의 重要要素인 絶縁物에 대한 사용 및 개발현황을 검토하기 전에 電氣機器의 容量결정에 대한 내용을 살펴보자.

전기기기는 내부저항에 의하여 發熱을 하게 되고 發熱하게 되면, 放熱이 있으며 발열량과 방열량이 같아지는 조건에서 그 전기기기의 溫度上昇이 결정된다.

즉 발열량이 적고 방열량이 많을 경우 온도상승이 낮아지고, 그 반대에서는 온도상승이 증가한다. 이 때 溫度上昇이 높아져서 사용되는 절연물의 허용온도를 넘을 경우, 劣化가 발생하고 機器의 수명이 짧아진다. 그래서 발열량이 많을 때에는 저항을 줄이던지, 전류를 적게 흐르도록 하던지, 방열면적을 크게 하던지, 특수 냉각구조를 고려하여야 한다.

즉 사용된 絶縁物의 供給은 기기의 容量, 重量, 容積等を 결정하는 중요한 인자가 된다. 잘 알고 있는 사항이지만 앞으로 이해를 돕기 위하여 절연계급에 따른 許容溫度上昇치를 BS 규격 171을 근거로 소개한다.

허용온도 상승치

절연계급	A	E	B	F	H	C
허용온도상승치	60	75	80	100	125	150

絶緣物은 이와같이 耐熱性이 좋고 耐電壓性, 耐化學性, 耐아아크性等이 좋아야 하고 機械的 強度가 커야하며 加工性도 좋아야 한다.

絶緣物은 固体뿐만 아니고 鑛油와 같은 絶緣油나 使用前은 液狀에서 使用後 固体狀으로 되는 바니쉬류, 질소나 육불화유황(SF₆)과 같은 氣體等 많은 種類들이 사용되며 最近 SF₆를 活用한 遮斷器들이 국내에서도 개발되어 생산되고 있다.

2. 變壓器의 絶緣材料

變壓器의 絶緣材料는 油入變壓器와 乾式變壓器가 완전히 다르며 제일 변화가 적었던 것은 油入變壓器가 아닌가 한다.

油入變壓器의 絶緣의 媒体는 絶緣油로서 鑛油, 不燃性油, 시리콘絶緣油가 대부분인데 이중 不燃性油는 火災安全 對策이 꼭 필요한 곳에 설치할 변압기에 사용하였으나 잘 타지않는 公害제품이기 때문에 사용을 피하고 있으나 지금도 피치 못할 장소에는, 大容量乾式變壓器가 技術的 문제로 어려우므로, 不燃性 油入 變壓器를 사용하고 있다.

이 不燃性油는 일반적으로 아스카렐로 불리고 있지만 회사마다 이름이 다르다.

시리콘絶緣유는 耐熱性이 좋은 시리콘을 화학시킨 절연유로써 극히 小型化가 필요한 장소에 설치되는 變壓器에 사용된다.

이 절연유가 사용된 變壓器는 H種이되며 국내에서는 전기기관차에 사용되고 있다.

不燃性油나 시리콘油는 公害, 安定性 生産原價의 觀點에서 활용도가 낮으나 鑛油系絶緣油는 가격이 저렴하고 비교적 풍부하게 얻을 수 있어서 絶緣油로서 많은 전기가기에 충전되고 있다.

또 이 鑛油는 좋은 여과장치들이 개발되어 80 kV/2.5mm 이상까지 내전압을 올릴 수 있는 시설들이 만들어지고 있다.

鑛油入變壓器에 사용되는 코일絶연지는 크라프트펄프나 마닐라마를 원료로 한 것이 주종을 이루고 있고 프레스보드도 크라프트펄프 및 목

면섬유를 원료로 하여 만들어진 것을 사용하고 있는데, 큰 변화는 앞으로 없을 것으로 사료된다.

油入變壓器에서는 絶緣材料의 改善보다는 乾燥方法의 改善 즉 솔벤트를 활용한 탈습, 진공 건조라든가, 捲線構造나 絶緣構造等의 시스템을 개선하는 방향으로 연구가 많이 되고 있다.

특히 초고압에서 電源引出部의 處理방법이 전기기기 제작회사와 부싱제작회사간에 공동개발되어 초고압에서의 油中絶緣 距離가 상당히 감소되었다고 판단된다.

乾式變壓器는 油入變壓器에 비하여 상당히 고가이지만 鑛油가 引火物이므로 火災等 安全管理을 위해서 主要高層 건물에 많이 설치되고 있고, 최근 10(MVA)와 같은 容量의 乾式變압기가 제작되고 있어서 油入變압기의 문제점을 보완하고 있다.

유럽이나 일본에서는 예폭시성형變압기가 대량 생산되고 있고 국내에서도 일부 시도되고 있어서 國內 消防法이 安全관점에서 바뀐다면 이러한 종류의 乾式變압기가 대량 소비되는 시대가 올 것이다.

乾式變압기는 대부분 防滴형이 많이 사용되거나 高電壓이면서 密閉型에서는 내부에 窒素나 SF₆ 가스를 충전하여 소형화하고 있다.

사용자재를 보면 玻璃섬유, 포리에스텔로 코팅되고 玻璃布에 내열성 바니쉬가 처리된 층간絶연지가 사용되는 B種 변압기가 사용되고 있으며, 포리이미드코팅이나 포리이미드계열의 칼톤페이퍼나 듀폰사의 세계적인 特許인 노멕스페이퍼가 사용되고 있는 F種 및 H種變압기가 일반적인 추세이나 우리나라에서는 B種의 단계를 벗어나 H種도 종종 만들어지나 완전하지 않고 부분적 보완이 있어야 한다.

捲線을 늘려 주는 缶套고무와 一次권선과 二次권선 사이의 스페이서 재질이 개발이 되어 국내조달이 쉽게 되어야만 H種絶緣變압기가 원활히 생산될 것이다.

3. 回轉機의 絶緣材料

回轉機用 絶緣材料는 선진국의 경우 F종에서 H종으로 바뀌고 있고 국내에서는 60년대 후반 A종에서 E, B종으로 바뀌었고 70년대 후반에 H종이 선을 보여 지금은 E, B, F, H종이 공존하는 시점이며 중형과 대형은 F종과 H종으로 제작될 전환기이다.

즉 綿과 크라프트紙를 사용했던 A종에서 폴리에스테일 계투익 E종과 B종에서 노멕스와 에폭시, 칼톤과 실리콘, 테프론이 추가되는 F종과 H종의 시대가 될 것이다.

回轉機 絶緣物은 일반적인 절연특성에 더하여 회전체이므로 기계적 진동 및 충격에 견디는 특성이 요구되며 용도별로 導體絶緣(Strand Wire Insulation), 스롯트絶緣(Slot Ground Insulation), 捲線端部絶연 그리고 합침용 樹脂 등으로 구분된다.

회전기 종류에 따라 분류해보면, 저압(600V 이하) 회전기인 경우, 도체절연은 폴리에스테일(B종)과 폴리에스테리미드(F종)로 코팅된 코일을 사용하며 스롯트 주절연으로서 노멕스 페이퍼 사이에 마일러를 넣어서 수지로 압착하여 내열성, 내습성, 내마모성 그리고 내전압을 증가시켜 스롯트 및 相間絶연으로 사용한 후 無溶劑 타입의 수지로서 진공함침하여 절연의 내구성을 극대화 시키고 있는 것이 선진주요 Marker의 추세이다.

高壓(3.3kV ~ 11kV) 電動機 및 發電機인 경우, 도체절연은 다블그라스안, 칼톤, 마이카마일러테이프 등이 사용되며, 스롯트 주절연으로서 종전에는 Mica Splitting을 마일러필름에 수지로서 접합시켜 사용했으나, 지금은 集成 Mica-Myler 또는 集成 Mica-Glass를 소재로 한 프리프레그(Prepreg) 타입 및 VPI(Vacuum Pressure Impregnating)타입의 두가지가 세계적 경향으로 되어 있다.

프리프레그타입은 에폭시 또는 실리콘수지를 포함시킨(resin rich) 집성 Mica를 코일에 감은 후 가열, 가압하여 절연부분을 성형한 것이며 VPI는 集成 Mica로 먼저 코일을 절연한 후 無溶劑 수지로서 진공 및 가압상태에서 함침한

후 건조시켜 거의 완전한 절연상태를 유지한 것이다.

또한 高壓(6.6kV 이상)에서는 스롯트 내에서 철심의 尖銳 부분에 의한 코로나나 捲線端部에서 발생하는 코로나를 방지하기 위하여 스롯트 내에 들어가는 권선부분에는 도전성의 塗料나 테이프로써 처리하고 捲線端部에는 반도체 테이프를 감아서 코로나를 줄이고 있다.

이들 고압절연을 각 Maker에서는 조금씩 다른 재료 및 방법으로 고유의 절연 System을 개발해 놓고 Siemens에서는 Micalastic, Westing House는 Thermalastic, AEG는 Epitherm, Fuji는 Stablastic, Toshiba는 Tostight 등등으로 불리고 있다.

디젤기관차용 牽引電動機 등 특수회전기에는 조건에 따라 특별한 絶緣材가 개발, 사용되고 있다.

H종인 견인전동기에 사용되는 절연재를 보면 角銅線 코팅용으로 폴리아미드가, 동선피복용으로는 켈톤페이퍼가 사용되었고 발열부분에는 폴리이미드계열의 내열재료가, 층간절연에는 노멕스페이퍼가, 捲線端部에는 테프론, 마이카 아스베스토스로 만들어진 성형품과 테이프가 유호 적절히 배치되고 스롯트웨지로는 FRP가 사용되어, 작업성 내열성에 따라서 많은 종류의 절연물이 사용되는 것을 볼 때, 초기 디젤기관차에 부착되었던 견인전동기가 약 100kW의 출력이었던 것이 구조상으로 큰 변화없이 534kW까지 증가된 것은 순전히 절연물의 개발결과이다.

현재 국내에서 제작되는 직류전동기의 크기와 비교할 때 상대가 안될만큼 소형인 점에서 H종 절연의 직류기는 곧 국내의 주종이 될 것이다.

회전기 절연작업용 장비는 Taping기, Heating Pressing기, Varnish 진공함침시설이 필요하며 物量, 절연물, 작업방법, 그리고 경제성에 따라서 적절한 선택이 필요하다.

대체로 회전기인 경우 製作原價의 8~12%를 절연물이 차지하는데 비해 기계의 소형화 및 수명은 거의 절연물이 결정하므로 회전에서 절연물의 개발은 매우 중요시 되고 있다.

4. 遮斷器

電氣機器중 과거에 비해서 제일 많은 변화가 있었던 것은 遮斷器이며 사용된 絶緣媒体에 따라 모양이 다른 것도 遮斷器이다.

아아크를 소멸시키고 냉각도 시키면서 絶緣을 유지시켜 주기 위한 절연매체가 技術의 발전과 함께 절연유에서 空氣, 극소유량, 진공 또는 가스로 바뀌고 있다.

고압이나 특고압 차단기는 空氣를 사용하거나 절연유를 사용하더라도 極小量화시켜서 사용되며 아크 챔버 주위는 아스베스토스 및 세라믹같은 내열재를 사용하고 있다. 眞空차단기는 진공이 보장되는한, 보수가 필요 없어서 보수의 관점에서 좋은 조건을 갖추고 있다.

상기사항은 잘 알려진 사실이므로 가스 차단기에 관한 사항을 검토하면 放電開始電界 이하의 電界에서는 漏洩電流가 매우 작고 比誘電率은 거의 1에 가까우며, 誘電體損이 아주 적다는 점에서 氣體, 即 가스는 絶緣媒体로서 우수한 絶緣體이다.

지금까지 많은 氣體絶緣 材料들이 연구되어 絶緣耐力의 면에서는 사염화탄소가 표준상태에서 200[kV/cm]나 되어 질소보다 6배나 절연내력이 높지만 사용이 안되고 있는 것은 아아크 상태에서 분해되면 도전성의 분자가 발생하고 또 毒性이 심하며 液化온도가 낮기 때문에 사용이 안되고 있었고 프레온가스는 육불화유황(SF₆)보다 가벼우면서 액화온도가 -30°에 불과하다.

이 반면에 초고압가스차단기의 절연매체로 사용되고 있는 SF₆는 냉각효과가 크므로 차단특성이 클 뿐만 아니라 소호능력이 우수하다는 것이, 1902년 MOISSAN 씨가 최초로 합성한 후, 증명되어 1960년대부터 사용하게 되었다.

또 절연파괴후의 절연회복속도가 空氣와 비교할 때 대기압에서 100배나 되고 異狀電壓이 거의 발생하지 않는 점에서 理想的인 절연매체로서 그 위치를 확보하고 있고 사용시 압력을 약 6 kg/cm² 정도 올려 사용함으로써 차단기를 소형화시키고 있다.

混合가스의 활용도 검토되고 있는데, 더 좋은

가스가 없는가에 대한 연구도 진행되고 있지만 현재까지는 최적의 조건을 갖춘 것이 SF₆라는 발표연구도 있다.

가스절연이라 하더라도 기체만으로 절연을 하는 것은 불가능하고 고압導電部를 격리시키기 위한 고체절연물을 사용하지 않으면 안된다.

이 써포터의 형상은 다종다양하지만 이것은 回轉對稱形과 圓柱形이 있는데 재질은 거의 에폭시 수지이고 표면은 沿面放電 특성이나 內部破壞 특성을 고려하여 제작하여야 하고 電界集中部가 없도록 제작하는 것이 좋다.

5. 其 他

電力用컨덴서 및 電力用 케이블의 절연재료도 계속 개발되고 있고 국내에서는 154[kV]급 油入케이블까지 개발되었다.

또 케이블의 端末처리 기술이 발달하여 특수 테이프처리 방법이나 열을 가하면 오무라지는 튜브들이 화학처리되어 만들어지고 있는 것은 地中化 되어가는 현실에서 작업성 및 안전성을 증가시켜 주고 있다.

변압기의 부속품인 부싱은 세라믹, 특수成形 부싱, 컨덴서타입 등 여러가지 종류가 사용되고 있는데, 單一형인 세라믹, 특수成形품은 대부분 33[kV] 미만에 사용되고 컨덴서타입은 33[kV] 이상의 전압에서 사용되고 있다.

국내에서는 세라믹으로만 제작되고 66[kV]급까지 만든 기록이 있으나 무겁고 취급하기 곤란하며 信賴性에 대한 위구 등으로 대부분 특고압 이상은 컨덴서타입으로 수입에 의존하고 있다.

특수成形부싱은 보수시 취급이 용이하고 안전사고의 위험이 적어서 국제수요가 늘어나고 있으므로 국내에서도 이의 검토가 있어야 할 것이다.

超電導기술이 발달하여 이를 이용한 제품이 나온다면 과거에는 내열성 자재만을 추구하였는데 앞으로는 耐寒性 자재의 개발도 필요하리라고 생각된다.

이 모든 절연재료들이 화학공업의 발달없이는 불가능하므로 다양한 화학공업의 발전이 이루어져서 전기공업의 발전에 이바지하여 줄 것을 기대한다.