

# 電氣火災를 막는 不燃化變壓器

## 1. 머리말

變電設備의 주요기기인 變壓器에 요구되는 조건으로는 소형경량화, 높은 신뢰성, 경제성 및 유지보수의 용이성과 함께 최근에는 防災面에 대한 요구가 중요시되어 變壓器의 不燃(難燃)化 문제가 클로즈업되고 있다. 일본내에서는 약 40년전부터 防災變壓器로서 H種乾式變壓器가 사용되어 왔으나 최근에는 각종 몰드變壓器, 가스絶緣變壓器가 많이 채용되고 있다. 여기서는 이들, 防災變壓器에 대하여 그 개요를 설명하기로 한다.

## 2. 防災變壓器에 요구되는 조건

근년에 都市개발이 진전되어 都市의 過密化에 따라 시가지의 빌딩지하층, 철도, 공공시설 등에 사용되는 변압기나 고층빌딩에 分散配置되는 변압기는 소형輕量化외에 防災面에서 不燃化, 난연화의 요구가 강하게 일고 있다. 受變電變壓器는 만일의 경우 變壓器 자체의 사고나 외부로부터의 연소 등으로 화재가 생겼을 경우에 전기공급이 스톱될뿐만 아니라 人的災害나 주위환경에 악영향을 끼칠 우려가 있으므로 이들 設備에 사용되는 防災變壓器에는 특히 높은 安全性과 信賴性이 요구된다.

### (1) 安全性

安全性으로 요구되는 조건은 不燃性, 難燃性, 非爆發性이며 이것을 높이는 방법으로는 불연, 난연성의 절연재료를 사용함으로써 可燃性인 鑛油를

쓰지 않는 오일레스화가 필요하다.

### (2) 耐環境性

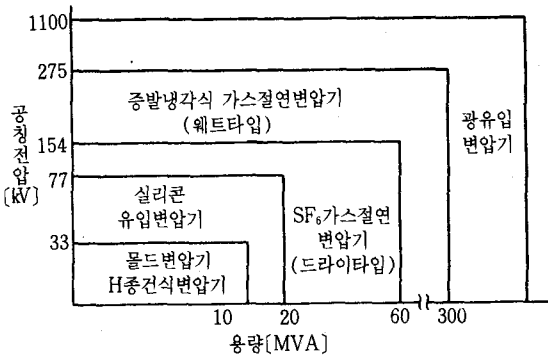
耐環境性으로 요구되는 조건은 외관, 색채, 小形化는 물론 耐熱性, 耐濕性, 耐塵埃特性 등이다. 絶緣材料로서는 장기간 절연열화가 없는 재료의 선택, 절연내력향상, 견고한 기계적구조가 요구되므로 捲線部分의 固體絶緣化 또는 完全密封構造 등이 요구된다. 또 변압기의 설치장소에 대해서는 耐塩塗裝이라든지 特殊塗裝도 고려할 필요가 있다.

### (3) 無公害化

변압기를 설치함으로써 염려되는 공해문제로는 소음, 진동, 환경오염 등이 있다. 일반적인 변압기의 소음레벨基準値는 JEM 1118에 규정되고 있으나 변압기의 설치장소에 따라서는 市區條例나 유지의 요구로 JEM기준치보다 엄격한 수치가 요구되는 경우가 있다. 진동에 대하여는 公害防止條例 등으로 기준치를 규정하고 있는 경우가 있다. 또 電氣設備技術基準이나 高壓受電設備指針 등에서는 絶緣油의 누유방지대책이 요구되고 있다. 소음의 저하, 진동저하에 대해서는 鐵心材料의 개선, 鐵心構造의 개선, 防振고무의 사용 등으로 어느 정도 해결되지만 이에 대한 보강대책으로서 制振鋼板을 부착한다든지 방음벽을 설치하는 등의 대책이 필요하다.

### (4) 經濟性

일반 變壓器와 같이 總合的經濟性을 검토하는 경우에는 초기투자가 되는 변압기가격과 운전중의 러닝코스트를 고려할 뿐만 아니라 변압기의 설치기간



<그림 1> 各種變壓器의 概略適用範圍

단축, 유지보수·점검의 용이성 외에 防災 등의 附帶設備을 포함하여 종합적으로 비교검토하여 機種을 선정할 필요가 있다.

### (5) 적용성

변압기는 사용목적에 따라 초고압, 특별고압, 고압, 저압으로 구분되고 또 용량도 소용량에서 대용량까지 종류가 많다. 防災變壓器에서는 사용하는 절연재료, 냉각매체에 따라 絶緣性能, 冷却性能이 다르기 때문에 전압, 용량적으로 제작범위가 한정된다. 현재의 각종변압기의 개략적인 적용범위를 그림 1에 표시한다.

## 3. 防災變壓器의 經緯

제 2 차 세계 대전 후 防災에 대한 요구가 높아지고 歐美에서 H種乾式變壓器가 개발되었으며, 일본에서는 1953년경부터 제작되기 시작하여 몰드變壓器가 개발될 때까지 많은 제작실적을 쌓았다. 1970년대가 되면서 몰드變壓器가 유럽에서 개발되고 일본에서도 약 5년 정도 늦게 유럽技術導入과 독자적인 개발로 활발한 개발이 이루어져 H種乾式變壓器를 대체하기에 이르렀다. 한편 H種乾式變壓器나 몰드變壓器는 변압기의 주성능인 절연, 냉각이 절연재료와 공기이기 때문에 설계제작상 한계가 있어 不燃性인 PCB油를 사용한 PCB油入變壓器가 1960년경부터 개발되어 왔다. 그러나 PCB가 갖는 毒性 때문에 1972년에는 全面製作禁止되었을 뿐만 아니

라 사용중이거나 보관중인 것에 대해서도 엄중한 관리하에 두도록 법률로 의무화되었다.

PCB유입변압기가 제작금지되고 PCB의 대체로서 실리콘油入變壓器, 가스絶緣變壓器가 개발, 실용화되고 있다. 그밖의 不(難)燃性유입변압기로서는 해외에서 ESTER油入變壓器, RTEmp油入變壓器, Formel油入變壓器 등이 개발, 실용화되어 있으나, 채용에 있어서는 消防法 등에서의 고려 등도 있어서 금후 이들의 동향에 주목할 필요가 있다.

## 4. 各種 防災變壓器

### 4.1 乾式變壓器

#### 4.1.1 H種 乾式變壓器

##### (1) 절연재료

H種乾式變壓器에 사용하는 절연재료의 耐熱그레이드(絶緣의 種別)는 허용최고온도가 180°C, 권선 온도상승 120°C로 규정되어 있어 이 온도에 충분히 견디는 절연재료를 선정할 필요가 있다. 이 절연재료로서는 종래 마이카, 아스베스트, 글라스 등이 사용되고 있었으나 현재에는 電氣的, 熱的, 機械的으로 우수한 재료가 개발되어 있으며, 電線으로는 폴리미드線이나 노멕스(듀폰社의 商品으로 아라미드系)가 많이 사용되고 있다. 또 절연구조재로서는 마찬가지로 아라미드系의 절연재료가 많이 사용되고 있다.

##### (2) 構造

H種絶緣變壓器의 鐵心, 捲線은 유입변압기와 거의 같은 구조이지만 鐵心, 捲線의 表面에는 放濕對策으로 바니시가 塗布되어 있다. 다만 장시간 정지하면 吸濕可能性이 있어 운전재개시에는 건조조치가 필요하다.

##### (3) 특징

- (a) 耐熱性이 우수하다.
- (b) H種絶緣으로 小形輕量이며 無負荷損을 적게 할 수 있다.
- (c) 약 40년의 실적이 있어서 신뢰성은 높다.

### 4.1.2 몰드變壓器

#### (1) 절연재료

몰드變壓器의 耐熱그레이드에는 일반적으로 H종(180℃), F종(155℃), B종(130℃)의 3종류가 있으며 어떤 종별의 變壓器를 선정하는가는 치수, 초기투자, 런닝코스트 등을 종합적으로 판단하여 결정한다. 이들의 몰드에 사용하는 樹脂로서는 絶緣性能에 더하여 難燃性, 自己消火性이 있는 에폭시, 폴리에스틸, 폴리아미드系的 절연재료가 사용되고 있다.

#### (2) 構造

몰드變壓器의 구조는 H종건식변압기와 거의 같으나 H종건식변압기의 결점인 吸濕을 방지하기 위하여 捲線이 각종 耐熱그레이드의 樹脂로 몰드化되어 있다. 捲線을 몰드하는 방법은 크게 나누어 捲線을 몰드할 때에 金型을 사용하는 캐스트方式과 金型을 사용하지 않는 캐스트레스方式의 두가지로 대별된다. 이 두 방식중에서도 제조방법이 여러 가지가 있으므로 표 1에 개략적인 것을 표시한다. 이들은 사용하는 樹脂나 絶緣材料의 性狀에 따른 제조방법의 차이에 의한 것으로 變壓器의 기능면에서는 양자에 기본적인 차이는 없다. 다만 보다 콤팩

트化, 低損失, 耐크랙性的 향상, 다양한 사양에의 대응이라는 점에서는 캐스트레스方式이 유리하다고 할 수 있다. 일반적으로 전압으로는 30kV 이하, 용량적으로는 2000kVA급까지는 自冷式으로, 이것을 초과하면 風冷式으로 15000kVA급까지가 개략적인 제작범위이다.

#### (3) 특징

- (a) 難燃性, 自己消火性的 樹脂로 몰드되어 있기 때문에 防災性이 높다.
- (b) 捲線表面은 직접 空氣에 접하지 않기 때문에 耐濕性이 우수하고 먼지의 부착이 적다.
- (c) 捲線이 몰드되어 있기 때문에 機械的強度가 강하다.
- (d) H種乾式變壓器에 비하여 유지보수·점검이 용이하다.

## 4.2 가스絶緣變壓器

防災變壓器로서는 건식변압기가 많이 사용되어 왔으나 건식변압기는 대용량화에 한계가 있고 또 옥외 및 습도가 상당히 높은 곳에서 사용하는데는 제약이 있어서 적용범위가 한정되게 된다.

이러한 가운데 30kV 이하의 범위도 포함하여 특히 안전성, 유지보수의 용이성, 클린한 점에서 가스絶緣變壓器의 실용화가 진전되고 있다. 또한 SF<sub>6</sub>가스와 不燃性蒸發性液體를 병용하는 蒸發冷却方式의 개발과 함께 현재에는 275kV급 300MVA의 高電壓, 大容量 變壓器도 실용화되어 있다.

### 4.2.1 SF<sub>6</sub>가스絶緣變壓器

#### (1) 絶緣材料

가스絶緣變壓器의 耐熱그레이드는 일반적으로 E종(120℃)이 채용되고 있으며 절연지로는 SF<sub>6</sub>가스중에서 절연, 내열성능이 우수한 폴리에스틸系 또는 폴리아미드系的 플라스틱필름이 사용되고 있다. 絶緣 및 冷却媒體로 사용되는 SF<sub>6</sub>가스의 특성중, 商用周波絶緣耐力은 가스壓의 0.8乘에 비례하며 공기의 2.5배, 0.3MPa로 鑛油와 동등한 절연강도가

<표 1> 몰드코일構造方法

方 式	製 造 方 法	
캐스트 방식	注 型 法	코일을 金型內에 세트하고 眞空下에서 樹脂(充填材)를 注入後加熱硬化한다.
	舍 浸 法	코일을 金型內에 세트하고 空間部에 글라스섬유를 채워넣어 眞空下에서 樹脂(充填材 없음)를 注入後加熱硬化한다.
캐스트레스 방식	프리프레그 絶緣注型法	코일內·外周를 프리프레그로 絶緣하고 코일의 上·下端部 및 内部에 樹脂를 注入하여 加熱硬化한다.
	프리프레그 絶緣法	코일全體에 프리프레그를 卷回하여, 加熱硬化한다.
	舍 浸 法	코일表面에 글라스섬유를 감고 眞空下에서 樹脂를 舍浸後加熱硬化한다.
	필라멘트 와인딩法	코일全體에 樹脂를 舍浸시킨 필라멘트를 감고 회전시키면서 加熱硬化한다.

註) 캐스트레스方式은 어느것이나 高強度의 글라스섬유를 基材로 하고 있으며 耐크랙에 대한 強度가 대단히 강하므로 F·R·P(Fiberglass-Reinforced-Plastic) 몰드라고도 한다.

있으나 레임펄스電壓은 약 0.5MPa에서 동등하게 되는 성질이 있다. 또 SF<sub>6</sub>가스의 冷却性能도 封入壓力에 따라 변화하며 0.1MPa·G(at 20°C)로 한 경우 自然對流로 鐵油의 약 1/5이다.

(2) 構造

SF<sub>6</sub>가스絶緣變壓器의 철심, 권선구조는 거의 유입변압기와 같으나 유입변압기에 비하여 레임펄스비가 적은 특성 때문에 특히 레임펄스에 대한 절연 설계상의 고려가 필요하다. 또 SF<sub>6</sub>가스는 封入壓力에 따라 絶緣強度, 冷却效率이 결정되므로 封入壓力은 온도변화에 의한 사용시의 최고압력이나 종합적경제성을 고려하여 결정되고 있다. 일반적으로는 0.12MPa·G(at 20°C), 사용최고압력 0.18MPa·G(at 20°C) 근방에 設定되어 있다. 이와 같이 封入壓力에 따라 절연, 냉각성능이 크게 좌우되므로 탱크의 실(Seal)方法에 대하여는 패킹材質의 선정을 포함하여 충분한 검토가 필요하다. 또 만일 가스누설이 생겨서 大氣壓부근까지 가스壓力이 저하하더라도 어떤 조건하에서는 일시적으로 운전유속이 가능하도록 설계되어 있다. 冷却方式에는 가스自冷式, 가스강제순환자냉식, 가스강제순환풍냉방식이 있는데 容量으로 보면 20MVA급 이하는 자냉식, 이를 넘으면 그밖의 방식을 선정하는 것이 일반적이다. 또 變壓器의 설치장소에 따라서는 변압기본체와 방열기를 분리하여 설치하는 放熱器別置方式도 가능

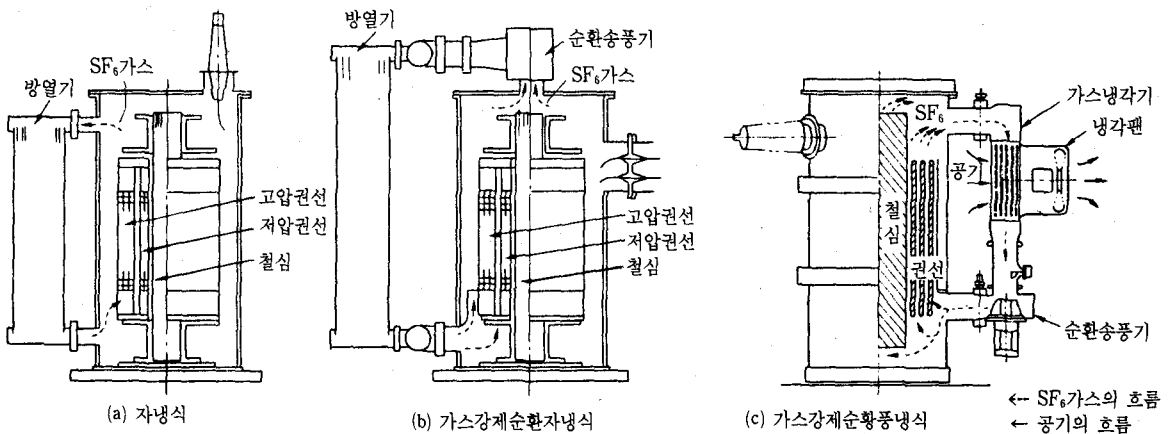
하며 小形變壓器에서는 방열기를 本體上部(탱크커버上部)에 설치하여 변압기의 설치면적을 작게 하는 방법도 취해지고 있다. 그림 2에 각 冷却方式의 개념도를 표시한다.

(3) 특징

- (a) SF<sub>6</sub>가스는 안전성(不活性, 不燃性, 非爆發性, 無毒)이 높다.
- (b) 屋外設置가 가능하다.
- (c) 乾式變壓器에 비하여 유지보수·점검이 간단하다.
- (d) 現地組立作業이 유입변압기에 비하여 용이하고 또 漏油가 없어 청결하다.

4.2.2 蒸發冷却式 가스絶緣變壓器

이 변압기는 SF<sub>6</sub>가스외에 C<sub>6</sub>F<sub>10</sub>O(프로로카본液)와 같이 液狀時의 특성이 좋고 고온시에 蒸發力이 높은 액체를 절연, 냉각에 병용하여 이의 蒸發潛熱로 냉각효율을 높이는 냉각방식이다. C<sub>6</sub>F<sub>10</sub>O는 液相에서는 광유와 거의 동등한 절연내력이 있으며 氣相인 경우에도 SF<sub>6</sub>가스의 약 1.5배의 절연내력이 있다. 이 蒸發冷却方式에는 크게 나누어, 병용하는 冷却媒體를 液狀으로 鐵心, 捲線에 直接散布하여 냉각하는 混合가스方式(散布式)과 鐵心, 捲線에 접한 독립된 冷却덕트내를 SF<sub>6</sub>가스와는 분리하여 강제순환시키는 가스分離方式(세퍼레이터式)이 있다.



<그림 2> SF<sub>6</sub>가스變壓器의 冷却方式

< 표 2 > 各種 變壓器의 特徵과 適用

方 式	特 徵					適 用				備 考					
	冷却媒體	主絶緣	燃焼性	耐熱그레이드 (絶緣의種別)	耐濕性	使用場所	冷却方式	電 壓	容 量						
鑛 油	鑛 油	鑛油, 크래프트紙, 프레스보드	燃 燒	A種(105℃)	優	屋 內 屋 外	自冷, 風 冷, 送油	全範圍	全範圍	가장 많이 사용되고 있음					
乾 물 式 드	H種乾式	空 氣	空氣, 글라스, 마이카, 노멕스 등	H種(180℃)	可	屋 內	自 冷 風 冷	30號급 이하	10MVA급 이하	40年 以上의 實績 이 있다					
	캐스트			F種(180℃) F種(155℃)	優					유럽의 技術과 PT · CT에서의 몰드 技術을 應用					
	캐스트레스			B種(130℃)							各種仕様(特性)에 對應이 容易				
S <sub>F</sub> <sub>6</sub> 가 스	SF <sub>6</sub> 가스絶緣	SF <sub>6</sub> 가스, 폴리에스텔, 폴리아미드系, 플라스틱필름	不燃性	H種 F種 E種(120℃) A種	優	屋 內 屋 外	自 冷 風 冷 水 冷 送가스	140號급 이하	60MVA급 이하	完全密閉容器入 災害時排液無					
	混合가스			+ 프로로카 분등				200號급	300MVA급						
	가스分離														
不 然 또 는 難 燃 油	실리콘	실리콘油	실리콘油, 크래프트紙, 프레스보드	難燃性	優	屋 內 屋 外	自 冷 風 冷	70號급 이하	15MVA급 이하	PCB油의 代替로서 登場					
	에스텔系	各 油	各油, 크래프트紙, 프레스보드	難燃性						A種	優	屋 內 屋 外	30號급 (海外實績)	10MVA급	海外에서 PCB의 代替로서 開發·일 본에서도 檢討階段 各種法規·保險 등 의 動向에도 注目要
파크레인系															

### 4.3 실리콘油入變壓器

실리콘油入變壓器는 광유 대신에 실리콘油를 사용한 변압기로서 중심몸체, 외관 공히 구조는鑛油入變壓器와 같다. 그러나鑛油에 비하여粘度가 높기 때문에冷却設計에는 주의를 요한다. 실리콘油의 특징으로서는 다음과 같은 점을 들 수 있다.

- (1) 실리콘油는 吸濕性이 크기 때문에 密封形으로 할 필요가 있다.
- (2)鑛油에 비하여 熱膨脹係數가 크기 때문에 변압기의 온도상승에 의한 탱크內壓을 피하기 위하여 팽창공간을 크게 할 필요가 있다.
- (3) 현지조립작업에서는 吸濕을 피하기 위하여 조립작업이나 주유작업시에는 충분한 주의가 필요하다.

### 5. 각종 變壓器의 特徵과 적용

지금까지 각종 防災變壓器의 포인트로 생각되는 것에 대하여 기술하였는데 어떤 변압기를 채용할 것인지는 종합적 판단이 필요하며 한마디로 결정하기는 어렵다. 각종 변압기의 특징과 적용을 비교하여 표 2에 표시한다.

### 6. 맺음말

이상 電氣火災를 방지하는 防災變壓器에 대하여 그 개요를 기술하였는데 防災變壓器의 需要는 빌딩의 고층화, 인텔리전트화와 더불어 더욱 증대되는 경향이다. 이 요구에 응하기 위해서는 變壓器의 기본기술인 특성의 향상, 적용범위의 확대 등은 물론, 新材料의 개발, 豫防保全技術의 확립, 유지보수의 간이화 등에 대한 개발연구와 함께 초기투자의 미니멈화를 위해 노력할 필요가 있다.

明電舍發行 明電時報 轉載