

모울드 變壓器

金 俊 欽*

目 次

1. 序 論	5. 用 途
2. 에폭시 樹脂	6. 結 論
3. 모울드變壓器의 構造	參考文獻
4. 모울드變壓器의 特徵	

1. 序 論

최근 産業의 高度化, 都市 기능의 복잡 다양화, 都市의 과밀화 추세에 따른 高層化에 대응하여, 受配電設備에도 防災·高安全性·無公害性·高信賴性이 절실히 要求되고 있다. 따라서 受配電 機器의 중심인 變壓器도 예외일 수는 없으며, 資源·에너지의 절약면에서 小形輕量, 低電力損失 및 保守·點檢이 좀더 간단한 變壓器의 研究開發이 더욱 요망되는 現 시점에서 여기에서는 종래 變壓器의 여러 문제를 해결하기 위해서 코일을 에폭시 樹脂로 모울드하여 사용되고 있는 固體絕緣方式의 모울드變壓器에 대하여 기술코자 한다.

2. 에폭시 樹脂

2.1 特 徵

모울드變壓器에 사용되는 注型樹脂는 거의가 에폭시 樹脂이며, 이것은 에폭시 樹脂가 다음과 같은 우수 한 特徵을 가지고 있기 때문이다.

- (1) 硬化시에 가스발생이 없고 反應收縮이 작다.
- (2) 金屬에 대한 접착성이 좋다.
- (3) 機械的, 電氣의 特性이 우수하다.
- (4) 耐藥品性, 耐水性, 耐熱性이 좋다.

2.2 充 填 劑

모울드變壓器의 注型樹脂로는 에폭시 樹脂만으로 사용하는 일은 없고, 無機物 充填劑와 배합하여 사용하며, 이것은 充填劑 배합에 따른 다음과 같은 효과 가 얻어지기 때문이다.

- (1) 反應收縮의 감소
- (2) 熱傳導率의 향상
- (3) 機械的 強度의 향상
- (4) 耐火性, 耐藥品性의 향상
- (5) 反應發熱의 억제

充填劑로는 실리카로 대표되는 粉末充填劑와 유리 멧트로 대표되는 纖維充填劑가 사용되는데, 양자 모두 각각의 특징이 있어 우열을 가릴 수는 없다. 이것은 多種인 에폭시 樹脂 자체에 대해서도 마찬가지이며, 예를 들면 耐熱限度가 높은 것은 온도가 높게 되면 可塑性이 떨어지는 특성을 갖고, 耐熱限度가 낮은 것은 비교적 높은 可塑性을 갖기 때문에 코일의 사양에 따라서 그것에 적합한 樹脂 및 充填劑를 선정해야 한다.

高壓코일에 비하여 小形이고 形狀이 단순하며 電氣的 스트레스가 작은 低壓코일은 耐熱限度가 높은 樹脂와 纖維상의 充填劑를 배합하여 F種 絕緣으로 하고, 高壓코일은 비교적 耐熱限度가 낮은 유연한 樹脂와 粉末充填物을 배합하여 B種 絕緣으로 한다. 또

* 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 教授

한 高壓코일이나 低壓코일 양자를 B種 또는 F種으로 할 수도 있다.

모울드變壓器의 경우에는 樹脂 자체의 耐電壓特性과 誘電特性보다도 모울드코일 전체로서의 含浸性, 耐크랙크性, 熱劣化安全性이 더 중요하며, 이들을 평가 검증하기 위하여 샘플, 모델코일, 實코일을 部分放電試驗, 冷熱試驗, 壽命試驗 등 基礎試驗을 행하여 製品의 長期信賴度를 꾀하고 있다.

2.3 適用條件

우수한 여러 특성을 갖는 에폭시樹脂를 모울드變壓器에 사용하는 경우, 주요 조건으로 다음 사항을 들 수 있다.

- (1) 樹脂, 硬化劑, 充填劑 등의 素材의 선정 및 混合比率의 결정
- (2) 混合시의 處理(眞空 脫泡 등의 요령) 및 注型方法
- (3) 硬化, 後硬化의 온도 및 시간의 선정

이들은 어느 것이나 硬化樹脂에 주는 영향이 복잡하고, 많은 요인의 交互作用이 있으므로 適正方式을 연구하여야 한다.

2.4 모울드絶緣方式

모울드變壓器의 기술에 따른 최대 관심사는 코일의 모울드絶緣方式에 있으며, 코일의 모울드絶緣에는 電氣的·機械的 및 物理的 特性이 우수한 에폭시樹脂가 사용되고 있는데, 그 絶緣方式에 대해서는 여러 가지 方式이 開發되어 실용되고 있으나, 油入變壓器와 같은 기술의 平均化는 아직 이루어지지 않았다.

현재 모울드變壓器에서 채택되는 모울드絶緣方式을 크게 나누면 金型을 사용하는 金型方式과 金型을 사용하지 않는 無金型方式으로 나누어지며, 일반적으로 전자를 注型모울드, 후자를 含浸모울드라 칭한다.

(1) 金型方式

원래 金型을 사용하는 것이 가장 일반적이며, 오늘날에 있어서도 주류를 이루고 있다. 이 方式의 장점은 코일表面이 金型으로 成形되므로 外觀이 좋으며, 金型을 많이 준비하면 동시에 많이 注型할 수 있으므로 量産할 수 있으나, 金型에 의하여 치수·形狀이 정해져 있으므로, 특수 사양의 變壓器에 대하여는 비경제적인 경우가 많다.

또, 變壓器의 容量이 크게 되면 코일의 注入樹脂量이 많아지므로 大型의 製造設備가 필요하게 되고 동시에 樹脂·注型·硬化의 工程에 있어서 應力集中

의 完化책 등 한층 고도의 注型技術을 필요로 한다.

金型方式에는 注型法·含浸法·含浸注型法 및 FRP(fiber reinforced plastics) 注型法 등이 있으나, 어느 方法도 에폭시樹脂 및 硬化劑 선정, 充填劑 배합비율, 硬化시 온도조정, 耐크랙크性 등을 향상시키기 위한 應力集中 完化책 등 고도의 注型技術과 풍부한 경험을 토대로 모울드된다.

FRP 注型法은 應力集中의 完化책으로서 強度가 높은 FRP 층(유리섬유 強化 플라스틱 층)을 絶緣層內에 만든 모울드方式이며, 高壓卷線과 低壓卷線을 一體로 注型한 신뢰성이 높고 量産性이 우수한 방법이다.

(2) 無金型方式

이 方式은 상술한 金型方式의 課題를 해결하기 위한 方式이며, 최근 여러 方法이 개발되어 실용화되고 있고, 金型을 쓰지 않으므로 설계를 자유롭게 할 수 있다. 또 多種의 個別 사양의 變壓器에 대응할 수 있으나 外觀은 金型方式보다 못한 경우가 많고, 코일表面에 먼지 등이 부착될 경우 保守·點檢이 다소 곤란하다.

이 方式에는 pre-preg 絶緣法, dipping 法, fila-

표 1. 모울드絶緣方式의 분류

方式	方法	內 容
金型方式	注型法	充填劑를 배합한 樹脂를 金型內에 眞空注入하는 것.
	含浸法	코일과 金型 사이에 유리섬유를 充填하고 低粘度樹脂와 眞空含浸하는 것.
	含浸注型法	含浸과 注型을 조합시킨 것.
無金型方式	FRP 注型法	FRP 층을 絶緣層에 만들어 高壓 및 低壓卷線을 一體로 하여 모울드하는 注型法.
	프리프레그 絶緣法	미리 樹脂를 含浸하고, 半硬化시킨 유리레이프類를 코일에 감아 硬化시킨 것.
	딤핑法	코일의 주변에 유리레이프類로 덮은 후, 樹脂를 含浸하고 樹脂가 漏出하지 않고 硬化시킨 것.
	필라멘트 와인딩法	필라멘트와인딩의 기술을 응용한 것.
	浮遊硬化法	코일주변을 유리레이프類로 덮은 후, 樹脂含浸하고 半熔融液中에서 浸漬하여 硬化시킨 것.
其他	코일의 주변에 固形絶緣物을 싸고, 그것을 金型대신에 사용하는 것 외 여러 가지 방법이 있다.	

ment-winding 法, 浮遊硬化法 등이 있는데, 어느 것이나 코일주변에 유리테이프 등의 補強材를 써서 FRP 층을 형성하여 絶緣層의 機械的 強度를 갖게 하는 모울드絶緣 구조를 채용하고 있다.

또, 이 方式는 코일주변에 균질한 모울드絶緣層을 형성하기 때문에 특수한 방법이 필요하게 되므로 일반적으로 量産性은 떨어지나, 설계의 자유도를 살려서 大容量變壓器, 特高變壓器, 스폿트넷트워크變壓器 등 進용용에 주로 많이 쓰이고 있다.

표 1은 두 方式를 분류하여 나타낸 것이다.

3. 모울드變壓器의 構造

3.1 鐵心

鐵心材料에는 양질의 冷間壓延 方向性 珪素鋼板을 사용하며, 鐵心を 조립한 상태에서도 그 材料의 성능을 충분히 발휘할 수 있는 接合, 조임 구조로 한다.

鐵心脚部는 충분한 機械的 강도를 갖는 테이프를 사용하므로 조임볼트용 구멍이 필요없게 된다. 따라서 이 구멍에 의하여 생기는 鐵心磁束의 국부적인 집중이 없어져서 無負荷特性이 향상되고 소음이 低減된다. 그리고 鐵心表面에는 耐熱樹脂로 耐濕·防鏽處理를 한다.

3.2 卷線

導體는 電壓·電流의 사양에 따라서 丸線, 平角線 등을 사용한다. 導體 材質은 알루미늄 또는 銅인데 에폭시樹脂와의 接合성은 알루미늄이 좋다.

모울드變壓器는 다른 모울드機器에 비하여 發熱量

이 매우 크므로 코일의 放熱에 유의하여야 한다. 그래서 卷線은 1次卷線과 2次卷線을 따로 따로 에폭시樹脂로 모울드하여 同心配置하고, 2次卷線과 鐵心 및 2次卷線과 1次卷線 사이에는 冷却덕트를 만들어 効果적인 冷却를 꾀하고 있다.

그림 1은 卷線의 支持方式의 한 예이다. 모울드卷線의 上下端部에 彈性體의 스페이서를 끼워 조이고 고정시킴으로서 鐵心磁歪振動의 모울드卷線에의 전달을 저지하고 모울드卷線 表面에서 방산하는 소음을 감소케 한다.

3.3 注型

規定比率로 배합된 樹脂, 添加物 등은 眞空中에서 混合 脱泡된 후 眞空中에서 卷線 및 埋込部品 등이 들어있는 金型에 注入된다. 그 후 常壓下에서 硬化를 하여 金型的 離型을 하고, 注型코일은 注型口部分 등을 成形하고 再加熱된 후 硬化가 이루어진다.

注型工程에 있어서는 溫度관리가 가장 중요하며, 그 외에 金型設計, 埋込部品の 구조, 注型 순서 등 실제적인 기술이 요구되는 부문에서 고도의 기술, 기능을 필요로 한다.

注型시 고려할 점은 다음과 같다.

(1) 접착이 나쁘면 미소 보이드, 應力集中의 원인

이 되므로 埋込物과 樹脂와의 接착을 좋게 한다.

(2) 應力集中을 피하기 위하여 埋込物의 形狀에 유의한다.

(3) 콧손층을 만든다.

(4) 埋込物의 표면적을 크게 하고, 부피는 적게 한다.

(5) 埋込物과 配合樹脂와의 熱膨脹率의 차를 작게 한다.

(6) 強靱한 樹脂를 쓴다.

(7) 硬化反應을 완만하게 한다.

(8) 硬化시의 内部 溫度分布를 가능한 均일하게 한다.

이상을 충분히 검토하여 埋込物의 형상 및 硬化過程 冷却計劃의 最適方法을 확립한다.

모울드變壓器의 品質은 주로 卷線과 注型工程에 의하여 결정된다.

3.4 組立, 配線

코일下端은 코일臺와 완충용 고무를 끼워 下部鐵心 조임 쇠에 지지된다. 코일臺의 중앙 돌출부는 1次, 2次코일 사이에 꼭 끼게 되어 있으며, 균등한 공기층이 유지되도록 되어 있다.

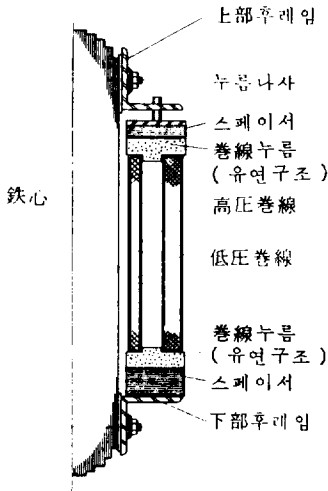


그림 1. 모울드變壓器의 卷線支持 예

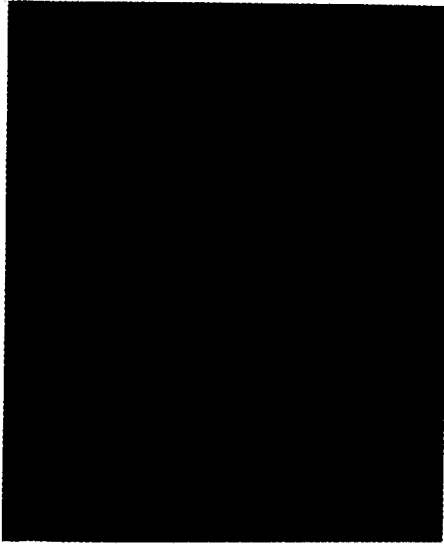


그림 2. 모듈드變壓器의 외관

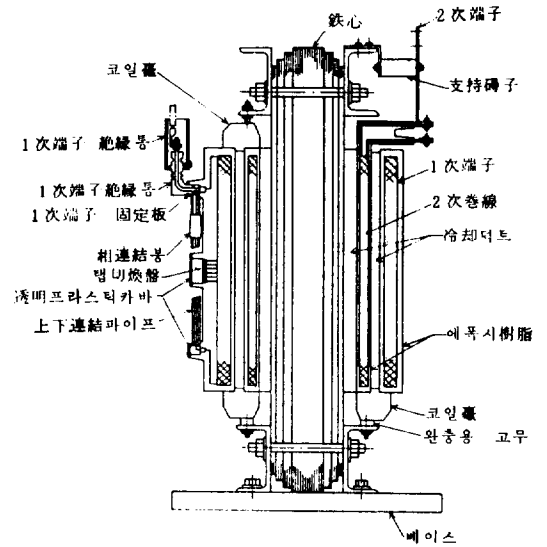


그림 3. 모듈드變壓器의 斷面構造圖

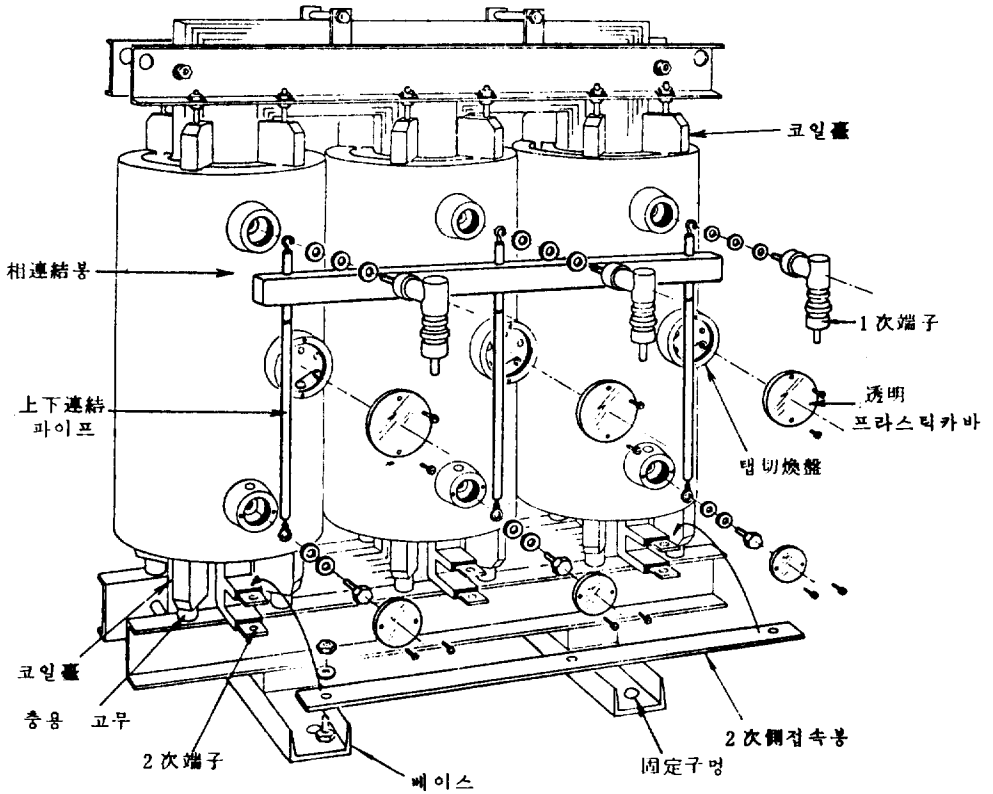


그림 4. 모듈드變壓器의 分解構造圖

4. 모울드變壓器의 特徵

4.1 難燃性

코일을 모울드하고 있는 에폭시樹脂에는 실리카, 유리 등의 無機質의 充填劑가 배합되어 있으므로 모울드 코일은 自己消火性을 갖고 있으며, 또한 에폭시樹脂는 熱硬化性이므로 加熱된 樹脂가 溶融滴下해서 火災가 확산되는 일은 없다.

따라서 만일의 사고로 아아크가 발생하더라도 發火, 爆發의 염려가 없으므로 防災面에서 안심하고 운전할 수 있고, 또 消火設備을 간소화 할 수 있으므로 모울드變壓器의 難燃性의 잇점은 금후 더욱더 평가 받게 될 것이다.

그림 6은 燃燒試驗 상황의 한 예이다.

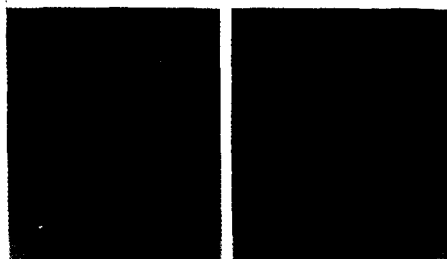


그림 6. 燃燒試驗 상황 예

4.2 安全性

모울드코일 표면은 에폭시樹脂로 싸여 있으므로 노출 코일구조의 H種 乾式變壓器보다 모울드變壓器가 感電 등에 대한 安全性은 한층 양호하나, 어떠한 경우라도 보증되는 것은 아니다. 樹脂層에 遮蔽物이 없으므로 만일의 경우에 대한 위험성은 생각해야 한다. 따라서 運轉中の 樹脂表面의 電位는 導體의 電位와 대략 같게 되므로 절대로 접촉해서는 안된다.

4.3 耐濕性, 耐塵性

H種 變壓器의 단점의 하나는 먼지, 濕氣의 영향을 받기 쉬운 것인데, 모울드變壓器는 이 점에 대해서 매우 강하다. 이것은 코일 및 充電部가 에폭시樹脂로 싸여 있는데, 그 에폭시樹脂가 耐水性이 우수하기 때문이다.

속내 설치상태에 있어서 濕度가 모울드變壓器의 絶緣抵抗에 미치는 영향은 運轉 停止中에 있어서도 무시할 수 있을 정도로 작다.

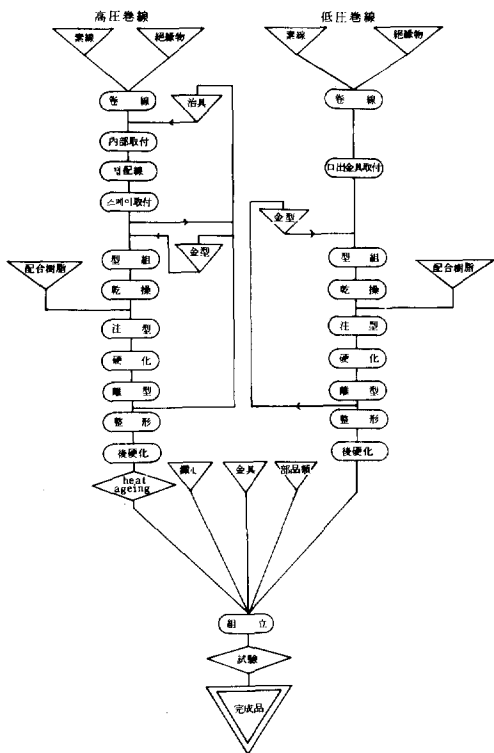


그림 5. 모울드變壓器의 製作工程

高壓측의 配線은 相連結 봉을 끼워 행하여진다. 相連結 봉은 角柱狀의 注型物인데, 이 속에 裝填된 埋込導體에 의하여 相結線 혹은 코일간 結線을 한다. 탭切換은 코일樹脂部와 一體구조로 되어 있으므로 탭引出線은 외부로 일체 노출되지 않는다.

低壓측의 配線은 端子取付部를 제외한 코일과 一體 모울드로 되어 노출부 充電部의 극소화를 꾀한다.

코일은 1次, 2次 同心배치로 鐵心脚部에 삽입되어 완충용 고무, 코일臺를 끼워 鐵心の함의 金具에 지지된다.

製作工程의 최후단계에서 車輪, 溫度保護裝置, 방진고무 등의 부속품이 取付된다.

3.5 構造圖

그림 2는 모울드變壓器의 외관, 그림 3은 斷面構造, 그림 4는 分解構造를, 또 그림 5는 製作工程을 표시한다.

단, 코일 자체가 노출구조가 아니더라도 탭切換部 등이 노출 구조이면, 모듈드變壓器 전체로서의 耐濕性, 耐塵性은 떨어진다. 탭切換部에 부착된 먼지가 수분을 포함하게 되면 電氣的으로 위험한 상태로 되기 때문이다. 따라서 탭切換部는 透明樹脂로 먼지침입을 방지하는 구조로 되어 있다.

4.4 小形輕量

모듈드變壓器는 에폭시樹脂의 높은 絶緣耐력을 효과적으로 활용하고 있으며, 종래의 乾式變壓器에 비해 絶緣 치수를 줄일 수 있으므로 製品의 小形輕量化를 할 수 있다.

4.5 低電力損失

變壓器의 溫度上昇은 損失(발열량)과 냉각능력에 의하여 一定值에 수렴한다. 油入變壓器에서는 손실과 發熱器의 균형에 의하여 결정되는데, 乾式 自冷式 모듈드變壓器에서는 放熱器가 없으므로 코일 자체의 冷却作用에 의하여 溫度上昇이 결정된다. 그러므로 특히 中型·大型에서는 油入變壓器에 비하여 모듈드變壓器가 손실이 적다.

4.6 低 壓 音

H種 乾式變壓器에서는 騒音의 주 발생원인인 鐵心部가 노출되어 운전되고, 鐵心磁歪振動에 의한 騒音이 變壓器의 주위에 직접 발생되므로 발생 騒音이 크나, 모듈드變壓器에서는 鐵心의 주위에 同心狀으로 배치한 모듈드卷線이 방음벽으로 유효하게 작용하므로, 또한 卷線支持 스페이서의 일부의 유언구조의 스페이서가 작용해서 鐵心磁歪振動이 卷線表面에 전달되어서 變壓器 주위에 放散하는 것을 저지하여 騒音의 감소를 기하고 있다. 예를 들면 3相 20 KV, 1,500 KV에서 H種 乾式變壓器의 騒音이 약 68 폰인데 모듈드變壓器의 騒音은 약 60 폰이다. 따라서 모듈드變壓器는 低騒音化의 사회적 요구에 적합한 變壓器라 할 수 있다.

4.7 冷却效果

에폭시注型 變壓器는 高壓(1次측)注型和 低壓(2次측)注型 코일간, 低壓注型코일과 鐵心간이 에어(冷却)덕트로 되어 있어 공기에 의한 冷却(自冷式)을 하고 있다. 예를 들면 그림 7과 같이 각 注型코일內에 에어덕트를 만든 특수한 卷線構造와 絶緣構造에 의하여 冷却面積을 증가시켜 冷却效果를 향상시키고 있다.

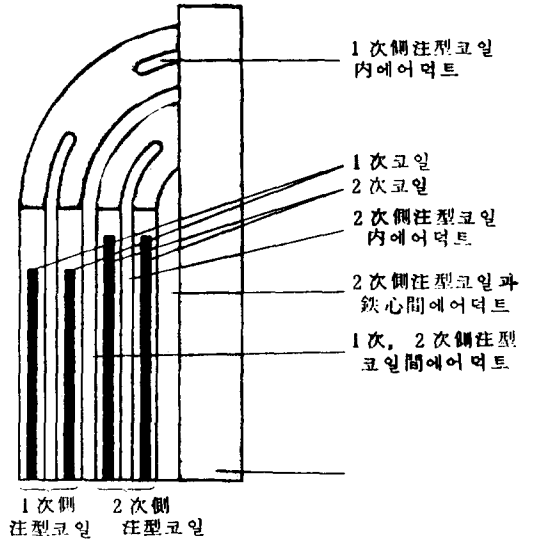


그림 7. 모듈드變壓器의 에어덕트 예

4.8 堅韌한 구조

에폭시樹脂의 曲強度는 약 $1,400 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 의 강한 強度를 갖고 있다. 이 에폭시樹脂로 一體화된 모듈드코일은 堅韌한 구조로 되어 있어 運轉中の 진동, 短絡시에 발생하는 電磁機械力, 製品 반입 도중의 진동 등에도 충분히 견딜 수 있다.

4.9 큰 過負荷耐量

모듈드變壓器에서는 卷線導體와 에폭시樹脂層이 一體로 되어 있기 때문에, 卷線의 熱容量이 크고 卷線의 溫度上昇 時定數가 크므로 短絡時間의 過負荷에 의한 卷線의 溫度上昇은 작고 過負荷耐量은 크다.

4.10 保守點檢

모듈드變壓器에서는 油入變壓器에서의 油의 保守點檢, H種 실리온와니스乾式變壓器에서의 내부 청소, 長期 運轉休止 후의 通電前 除濕 등을 할 필요가 없어 保守點檢이 용이하다.

4.11 解體 반입 용이

過密化 都心の 地下變電室에 반입한다든가 山間의 變電室에 설비하는 경우, 치수의 제한 때문에 解體 반입의 필요성이 있게 되는데, 油入變壓器와는 달리 모듈드變壓器는 鐵心·1次코일·2次코일·조임 金具를 해체하여 電氣室內에서 용이하게 조립할 수 있다.

4.12 設 置

종래에는 주로 공장의 한쪽에 설비하던 變電室이 공장의 大型化, 工作機械, 自動溶接機 등 負荷가 大型化됨에 따라 工場·負荷의 중심에 설비되는 경향이 있다. 모울드變壓器는 기름이 없고, 難燃性, 低騒音 등의 잇점 때문에 이 요구에 적합한 變壓器로 평가되고 있다.

4.13 特性比較

모울드變壓器와 실리콘 乾式變壓器 및 油入變壓器의 諸特性을 비교하면 표 2와 같다.

표 2. 모울드變壓器와 실리콘 乾式變壓器 및 油入變壓器의 諸特性 比較 (高壓級)

項 目 種 類	모 울 드 變 壓 器	실 리 콘 乾 式 變 壓 器	油 入 變 壓 器
絶緣의 種類	F 種 H 種	H 種	A 種
卷線許容溫度上昇	95℃ 120℃	140℃	55℃
燃 燒 性	難燃性이고 自己消火性	難 燃 性	可 燃 性
耐 濕 性	거의 吸濕하지 않는다.	休止시 吸濕한다.	호흡식에서는 吸濕한다.
耐 塵 性	良(부착해도 제거가 간단)	보통(제거에 시간이 걸린다)	良(부착하면 시간이 걸린다)
耐 震 性	良	보 통	보 통
絶緣 強度	3~6 KV 급은 油入레벨 22~23 KV 급은 乾式레벨	乾 式 레 벨	3~6 KV 급은 A호
騒 音	보 통	보 통	다 소 작 다.
短時間過負荷耐量	다 소 크 다.	보 통	크 다
급격한 負荷변동에 대한 強度	다 소 강 하 다.	보 통	다 소 강 하 다.
電壓變動率	다 소 크 다.	다 소 크 다.	보 통
損失比較(概略)	0.8 0.9	1	1
占有面積比較(概略)	0.7 0.6	0.7	1
重量比較(概略)	0.8 0.75	0.75	1
自冷, 風冷區分	2,000~3,000 KVA 까지 自冷式	1,000~2,000 KVA 까지 自冷式	3,000~20,000 KVA 까지 自冷式

표 3. 모울드變壓器의 用途

項 目	用 途
難燃性, 安全性	高層빌딩, 병원, 호텔, 백화점, 맨손, 극장, 地下街電源
耐濕, 耐塵性	土木, 建築工事用, 터널內電源, 車輛, 船舶用
電氣的, 機械的信賴性	크레인用, 公共事業用電源, 保安電源
小形輕量	빌딩用一般, 큐비클用
低騒音, 低振動	빌딩用一般, 研究·試驗所用
短時間過負荷耐量	溶接用電源, 壓延用電源
保守點檢	큐비클用, 無人電源設備

(2) 옥외용 모듈드變壓器는 먼저 柱上用變壓器의 개발에서부터 配電用, 電力用으로 확대 적용해야 된다고 보며,

(3) 모듈드變壓器의 현재의 제작 한계는 30 KV-10 MVA 정도이므로 보다 더 高壓 大容量化를 실현해야 한다고 생각한다.

따라서 앞으로 더욱 研究開發하므로써 環境改善, 經濟的 向上的 協力進展을 필요로 하는 현 시점에서 우리 나라에서도 모듈드變壓器의 製作이 필요하다고 생각한다.

參 考 文 獻

[1] 松戶光儀 外 6人; “모ールド變壓器” 生産と電氣, No. 12, pp 3~43, 1981.

[2] 大阪變壓器; “모ールド變壓器” 電氣現場技術, Vol. 51, No. 12, pp 3~6, 1976.

[3] 富士電機製造; “不燃性모ールド變壓器” 電氣現場技術, Vol. 51, No. 12, pp 19~22, 1976.

[4] 清水吉章 “모ールド變壓機의 構造と適用” “電氣計算”, Vol. 45, No. 3, pp 47~52.

[5] 廣瀬 理, 文字一郎, 掘野久三男; “모ールド變壓器” 日新電機技報, Vol. 26, No. 4, pp 26~30, 1981.

[6] 岡田 勇, 秋田谷 正紀, 元起 嚴; “모ールド變壓器” 富士時報, Vol. 47, No. 12, pp 32~35, 1974.

[7] 元起 嚴, 時光富士雄, 綿貫勇次郎; “エポキシ樹脂의 注型技術と適用” 富士時報, Vol. 47, No. 8, pp 25~30, 1974.

[8] “FRP-生産と技術-” 플라스틱クエーツ 1976.