

FLW 방식의 MOLD 변압기

이 동 진

이화전기공업주식회사 기술개발부

MOLD TRANSFORMER WITH FILAMENT WINDING METHOD

[1] 개 요

최근 국내의 산업계에서 전원공급계통의 일반 전력용 변압기로 크게 주목받고 있는 MOLD 변압기가 국내에서 본격적으로 보급되기 시작한 것을 1982년 후반기에 당사가 지하철용 변압기를 MOLD 변압기로서 납품한 이후로, 그동안 MOLD 변압기가 갖는 우수한 장점들이 인식되면서 수요는 급증하게 되었으며 적용분야도 다방면으로 확대되기 시작하여 86년말 현재로 당사의 자체 제작된 납품실적이 450MVA를 넘게 되었다.

본 문에서는 MOLD 변압기의 여러가지 제조공법중에서 당사가 채택하고 있는 무금형 방식의 FILAMENT WINDING 법을 소개하기로 한다.

[2] MOLD 변압기의 제조공법 비교

1965년 이후 유럽으로부터 실용화되기 시작한 MOLD 변압기가 전 세계적으로 보급된 후, MOLD 변압기에 대한 지속적인 기술개발 및 진보에 따라 제조공법 또한 다양화 하고 있다.

현재까지의 MOLD 변압기 제조공법을 크게 분류하면 금형방식과 무금형방식으로 나눌 수 있으며 금형방식은 MOLD 변압기를 개발하게 된 기초공법으로 지금까지도 가장 보편화되고 일반화된 제조방식이다. 이 방식은 MOLD 권선이 금형에 의해 성형되므로 표면의 외관이 미려하며 동일 금형을 다수 준비하면 동일 제품을 양산할 경우 제조공수를 단축시키는 장점이 있는반면, 금형에 따라 치수나 형태가 이미 결정되어 있으므로 준비된 금형이외의 유사용량 및 특수사양 적용시는 비 경제적이 되거나 불합리한 제작이 될수 있으며 경우에 따라서는 새로운 금형을 제작하여야 할 필요가 있게 되어 납기의 장기화 및 제조원가 상승등의 단점이 있다.

특히, 변압기의 단기용량이 대용량이 되면 주입되는 RESIN의 물량이 많아지게 되므로 이에따른 제조설비도 대형화 함에 따라 주형 및 경화제의 제조공정에 있어서 응력이 집중하는 부위가 발생하게 되어 EPOXY

RESIN이나 경화제의 선정 및 충전제의 배합 배율, 경화사의 온도 관리등에 대한 전면적인 재검토와 균열 (CRACK)의 보완대책 등 상황에 따른 고도의 주형기술이 뒷받침되지 않으면 신뢰도 면에서 보강되지 못하는 경우가 있다.

이와같은 문제점을 해결하기 위해 개발된 방식이 무금형 방식으로 최근 여러방법이 연구개발되어 실용화 하고 있다.

이 무금형방식은 변압기의 제반특성을 충족하는 최적의 설계를 아무런 제약없이 제작에 반영할 수는 있으나, 권선주위의 MOLD절연층이 균일하게 형성되어야 하므로 특수한 전문 제조공법이 필요하게 되며 일반적으로 금형방식에 비해 양산성이 떨어지는 반면, 설계의 자유도를 최대한 활용할 수 있으므로 소용량에서 대용량에 이르는 일반전력용 변압기의 전 범위를 최적설계에 의한 제작이 가능하며 특수설계가 요구되는 변압기의 제작도 가능하다.

[표1] 은 MOLD 변압기의 제조방식을 분류한 것이다.

방식	방 법	내 용
금 형 방 식	주 형 법	충진제를 배합한 수지를 금형내부로 진공 주입하는것.
	함 침 법	권선과 금형 사이에 유리섬유를 충전하고 저점도 수지로서 진공함침하는 것.
	함침주형법	함침과 주형을 조합시킨 것.
	FRP 주형법	FRP층을 절연층으로 하여 고압 및 저압권선을 일체화 하여 MOLDING 시킨것.
무 금 형	PRE-FREG 절연법	수지에 미리함침하여 반경화 시킨 유리섬유를 권선에 감고 경화 시킨것.
	DIPPING법	권선주위를 유리 TAPE로 덮은 후 수지를 함침하고 수지의 누출없이 경화시킨것.
	FLW 법	FILAMENT WINDING 기술을 응용한 것.

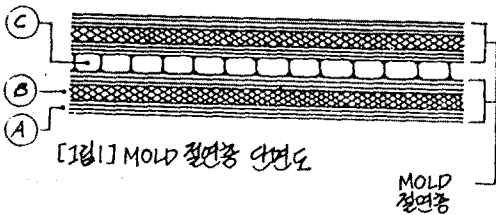
방식	부유경회법	권선주위를 유리 TAPE류로 덮은 후 수지 함침
	기	하고 반응용액 내에서 침적 경화
식	타	권선주위를 고형 절연물로 감싸고 이것을 금형 대신으로 사용하는 것.

[표] MOLD 변압기의 제조방식 분류

(3) FILAMENT WINDING 방식의 특징

당사가 채택하고 있는 MOLD 변압기의 제조방식은 무금형 FILAMENT WINDING 방법으로, 이 방식은 MOLD 절연층의 형성방법이 특유한 형태로서 최근 활성화 되고 있는 CNC M/C 에 의한 고도의 최신 정밀 제조방법이다.

이 FW 방식에 의한 MOLD 절연층의 형성은 [그림] 과 같고 고 기법은 다음과 같다.



먼저, 반경화 상태의 순수 EPOXY RESIN 에 임차적으로 용입된 GLASS FIBER 를 RADIAL 방향으로 ROVING한 후 (A) 연속적으로 직교 교차방법인 CROSS ROVING 을 하고 B) POLY AMIDIMID계의 H 종 ENAMEL 로 CONTING된 권선도체를 압축 상태로 권선함으로써 (C) 도체간 간격사이로 반경화된 순수 EPOXY RESIN 의 물리적 침윤현상으로 기포가 전혀 발생되지 않는 완벽한 MOLDING 층을 형성하게 된다.

권선층 상부에는 다시 (A)와 (B) 의 ROVING 작업으로 권선층 매 층마다 위와같은 반복된 형태로 MOLD 층이 형성이 되며 이와같은 일체의 제조공정은 고도의 정밀도를 유지하는 COMPUTER 제어 M/C 만으로 이루어진다.

다음단계로, 모든 일련의 권선 MOLD 작업이 완료되면 적외선 루사 회전 건조로에서 COMPUTER 자동제어에 의한 엄밀 조절방식으로 ROLLING DRYING 하여 경화 시킨다.

이와같은 FW 기법의 변압기가 갖는 장점은 MOLD층 전체가 광섬유인 GLASS FIBER 로 편조된 형태이므로 MOLD 변압기에서 가장 중요한 사고 원인의 하나인 균열 (CRACK) 현상에 대해 완벽한 보호를 하고 있으며 특히 단락시 및 과부하시 열적, 기계적 STRESS 에 대한 내응력이 다른 MOLD 변압기에 비하여 극히 우수하다.

또한 MOLD 변압기가 EPOXY RESIN 에 의한 교체 절연 방식으로

일단 경화되기 이전의 용액상태가 응고하여 일정한 고체상태를 유지하여야 하는 특성을 필요로 한다.

따라서, 이와같은 고형화를 위하여 금형방식에서는 반드시 가소제 (PLASTICIZER) 인 QUARZ POWDER 를 첨가하여야 하며, 이 가소제 첨가에 따라 EPOXY RESIN 이 화학적으로 다소 연성화 되는 특성을 갖게되어 고온에서의 파괴절연 전압이 이 가소제 첨가량에 따라 현저히 저하하게 되므로 금형방식으로 제조되는 MOLD 변압기가 대부분 B 종 계급의 낮은 온도계급을 채택하는 이유도 여기에 있다.

따라서, 일본등 외국에서는 금형방식으로 F, H 종 절연계급으로 LEVEL UP 시키기 위해 독창적으로 EPOXY RESIN 을 개량, 개발하고 있다.

그러나, FW 방식의 MOLD 변압기는 앞서 설명한 바와 같이 순수 EPOXY RESIN 에 함입된 GLASS FIBER 가 중량의 ROVING 작업으로 편조된 형태이므로 고형화되므로 가소제 첨가가 불필요하게 된다. 따라서 고온에 있어서도 RESIN 재료의 절연파괴 강도가 높으며 또한 RESIN 의 기계적 성질을 결정하는 열변형 온도와 RESIN 의 형태를 변화시키는 전이온도가 높으므로 F 종 이상의 절연계급으로도 제작이 가능하게 되는 것이다.

다음으로는 냉각기능에 대해 최적화로 완전 자냉식을 보장하는 장점이 있다.

MOLD 변압기에 있어서 제조 및 절연기술과 함께 큰 비중을 차지하는 요소는 냉각설계이다.

특히 대용량의 변압기에 있어서의 냉각설계 비중은 대단히 중요한 문제가 되고 있다.

MOLD 변압기 냉각설계는 각 부분별 발생손실 및 EPOXY RESIN 층의 열전도율을 정확하게 분석하여 설계되어야 하며 이 결과는 최종 제품에 대한 온도상승 시험시 권선 온도의 평균치로 검사, 판정된다.

따라서, 냉각설계상 가장 중요한 것은 수지층 내부에 극부적으로 온도가 높게 분포되는 부분이 있게되며 이 최고점의 온도를 정확 하게 구하는 것이다.

이와같이 냉각설계에 필요한 제반정수가 정확하게 계산되면 다음으로는 유효한 냉각면적이 확보되어야 한다.

물론, 필요절대 냉각면적은 절연계급에 따른 온도상승의 제한 및 사용되는 절연재료에 따라 냉각설계가 어려워 부합됨으로써 경우에 따라 최대 악조건하에서도 냉각기능을 유지할 수 있는가가 매우 중요한 점이다.

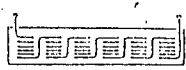
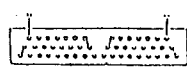
필요에 따라서는 외부에서 냉각용 FAN 등 보조냉각 방법을 사용할

수도 있으나 이와같은 방법은 주위온도 및 환경상태의 변화, 사용 장소의 제한등 고려하여야할 요인이 많게되며 온전소음, 보조냉각 손실 및 냉각장치 고장시의 문제점으로 선정시 주의를 요하게 된다
 FW 방식 변압기의 냉각설계는 변압기의 주발열에 대한 정확한 온도 분포 산출근거에 따라 절연계급과 절연물 특성이 부합되는 최적의 유효냉각 면적을 아무런 제약없이 확보할 수 있으므로 냉각기능이 극히 우수하다.

예를들면, 금형방식에서는 제조형태상, 냉각용 덕트의 설치장소가 저압권선과 철심간 및 저압권선과 고압권선간의 2개소로 한정되므로 필요한 냉각면적을 확보하고자 하여도 주형 품의 크기에 따라 일단 냉각덕트의 크기나 삽입위치가 제한되므로 변압기 자체에서의 온도제한 능력이 부족되는 경우가 있으며 이에따라 별도의 외부 냉각수단이 필요하게 된다.

그러나 FW 방식에서는 냉각덕트의 크기나 삽입위치를 설계상 필요한 곳에 유효 적절하게 분포하여 삽입할 수 있는 제조방법으로, 정격용량에서는 변압기 자체로서 온도제한 능력을 갖추고 있으며 별도의 냉각수단은 부득이 과부하 온전이 필요한 경우 사용할 수 있도록 하고 있다.

[4] 일반 금형방식과 FW방식의 특징비교.

항 목	일반 금형 방식	F-W법 MOLD
MOLD 권선구조안면		
권선형태	Single Coils/Foil	Layer Coils/Wire
MOLD기법	Cast/Vacuum	Filament Winding Roving Technique
절연수지	Epoxy (Quartz powder=60%함량)	Epoxy (5A) Glass Roving Reinforcement
권선도체절면	Hostaphan 또는 기타 (Class B)	Amidimid Enamel (Class H)
권선도체형태	Sharp edged	Round
Impulse 전압의 분포	High stress	균일분포로 양호
Resin 절연층 인장강도	95 N·mm ²	750 N·mm ² (금형방식의 8배)
가제적 강도	약 감	대단히 강함
Resin 절연층 두께	매우 두꺼운 절연층이 필요함	절연층이 두껍지않아도 효과적임
팽창계수	예민함 (Critical)	매우 양호 (non-critical)
도체 재질	only Al (알루미늄)만 가능	Al 또는 Cu 모두 가능
Crack 결합 Low Temp. Load peaks Short-Circuit	Resin의 절연강도가 낮기 때문에 발생 가능	Glass Roving 기공 응용으로 불가능
냉각 기능	불량리 (보조냉각수단 필요)	강리저 전상재생 안전보장