

저손실형 몰드 단권변압기 개발

이 중 수** 신 명 호 문 병 철
 서울산업대학교 철도전문대학원 (주)케이퍼일렉트릭

A study on the Development of Low-loss Type Mold Autotransformers.

Jong-su lee, myung-ho shin, byung-chul mun.

National Univ of Technology The professional school of railroad technology. KP electric Co.,LTD

Abstract - The autotransformer currently used on the electric railway system is made of class A insulation material and uses the paper insulation method. As a power converter supplying power to the trolley wire, the autotransformer is one of critical equipment in the railway system.

In the autotransformer, load irregularly changes and overload often occurs.

These cause overheating of the autotransformer and facilitate deterioration of the autotransformer resulting in burnout accidents due to insulation breakdown. Also, the current autotransformer has poor insulation and short-circuit strength which often badly affect the service life of the transformer, and needs to improve its quality urgently. To overcome one of existing shortcomings of the mold transformer, manufacturers use epoxy resins that have superior flame retardancy to get rid of fire and explosion possibilities during accidents. Currently, new mold transformers are used in indoor distribution facilities with fire-fighting equipments.

Coils molded in epoxy resins do not have their insulation performance compromised by humidity, dust, etc enabling easy inspection and maintenance. Comparing to the oil immersed transformer, the mold transformer does not have any concern about environmental pollutions by oil leak or replacement. Therefore, to reduce breakdowns and improve reliability of the autotransformer, it is necessary to develop a new mold autotransformer with low loss suitable for our environment to suppress breakdowns of the autotransformer and improve the reliability. This study is about development of a low-loss mold autotransformer necessitated by reasons mentioned earlier.

1. 서 론

현재 전기철도에서 사용되는 단권변압기는 A종 절연 물을 사용한 종이절연 방식으로서 전차선에 전력을 공급하는 전력변환 기기로 철도 사업에 있어 매우 중요한 기기중에 하나이다. 단권 변압기는 부하량이 불규칙적으로 변하고 때로는 과부하가 자주 일어난다. 이러한 요인들은 단권 변압기의 과열 현상들을 일으키고 열화를 촉진하여 결과적으로 절연 파괴에 따른 소손 사고를 유발하게 된다. 또한 현재에 단권 변압기는 주로 절연 및 단락 강도 특성이 취약한 상태로 제작되고 있으며 이로 인하여 변압기 수명에 지대한 영향을 끼치고 있는 것으로 품질 개선이 시급하며, 몰드변압기는 유입변압기가 지니는

주요 단점인 사고시 화재 및 폭발의 위험성으로부터 벗어나고자 난연성이 우수한 에폭시 수지를 사용하여 제작하는 기법으로 연구개발되어 소방설비가 갖추어진 옥내용 수배전 설비에 사용이 증가하고 있는 추세에 있다. 에폭시 수지로 몰딩된 코일은 습기 및 먼지등에 대한 절연성능의 저하가 없으므로 점검 및 유지보수 하기가 용이하다. 또한 몰드변압기는 유입변압기에 비하여 절연유(oil) 누출 및 교체등에 의한 환경오염의 우려가 없다는 점이다. 따라서 단권 변압기의 고장 억제 및 신뢰도 향상을 위하여 우리의 환경에 알맞은 새로운 모델의 저손실 몰드 단권 변압기 개발이 현실점에서 필수적으로 필요하게 되었다. 이러한 필요에 의해 저손실형 몰드 단권 변압기 개발의 연구 내용을 본 논문을 통해 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 변압기 설계사양

본 저손실형 몰드 변압기 설계조건은 과부하 내량 증진과 단락강도 향상 및 무부하 손실을 최소화하기 위한 조건으로 설계하였으며 본 연구를 위해 설계 제작된 개발 변압기에 설계 사양은 표 1과 같다.

정 격	설 계 조 건
상수 및 주파수	1φ 60Hz
정격용량	10000kVA
정격전압(1차/2차)	55000V/27500V
정격전류(1차/2차)	181.9A/363.6A
%임피던스	2차측에서 보아 0.45Ω

표 1 개발품 설계사양

2.2.철심설계

철심(core)은 자기회로를 구성하는 핵심적인 구조에 하나로 자속에 흐름을 원활하게 하기 위해 입자에 결정 구조가 압연 방향으로 배열된 방향성 규소 강판을 사용하며 철심에 Eddy current loss를 최소화하기 위하여 강판에 두께를 얇게(0.23mm) Lap 접합 방식을 이용하여, 기존변압기에 손실을 더욱 줄이기 위해 청청도, 잔류용력 표면조도를 개선한 저손실형PH-06(30PH139) 규를 사용하여 무부하손을 30% 이상 개선하였다. 조립된 Core leg는 열적, 기계적 특성이 우수한 절연 테이프로 감았으며 철심 표면 보호용으로 방청 도장 처리를 하였다.

2.3 권선설계

본 개발품은 변압기 권선에 사용되는 주재료로서 도체

는 동(copper)을 사용하고 절연물로는 F종 코팅 필름 및 H종 절연물을 사용하여 전류밀도를 낮추어 손실을 줄이면서 최대 부하에 대응하고 또한 단락강도 성능 향상에 역점을 두고 좀 더 컴팩트하게 권선 설계를 하였다. 코일은 온도 변화의 수축 팽창에 의한 절연 손상 및 이상 운전 상태에 대응요 만족 등을 방지하며 충분한 냉각 공기의 순환을 보장하고 국부가열(hot spot)의 발생을 경감할 수 있도록 적합한 형상으로 가공 조립 하였으며 권선으로부터 단자판 까지 모든선은 코일 및 접속부의 변형이나 진동에 의한 손상을 일으키지 않도록 견고하게 조립 하였다. 권선의 주형 방법은 진공상태에서 주형 하였기 때문에 전기적으로 부분 방전이 없는 우수한 성능과, 기계적으로 견고한 구조를 갖고 있다. 또한 사용중에 발생하는 열 방산을 위해 철심과 권선간에 공간을 냉각하는 열 방산용 스페이서를 넣어 고정하였으므로 철심의 자기 역형 진동이 권선으로 전달됨을 방지하고 있는 구조로 인하여 몰드 권선 표면으로부터 방산되는 소음을 저감시켜 주었다.

2.4. 절연물

몰드 변압기에 성능은 권선 절연 시스템의 특성에 의해 결정되어 진다. 이 권선 절연 시스템에 주성분은 난연 및 내열성을 지닌 에폭시 레진으로 주로 고진공 상태에서 몰딩하여 제조된다. 절연물 몰딩 제조 공정에서 void 또는 이물질이 적은 양이지만 포함 되어지며, 운전 중 부하변동에 의한 heat cycle 발생으로 도체부와 에폭시 절연부의 열 팽창 차이로 절연물에 crack 발생이 촉진된다. 장시간 운전시 이러한 결점 부위에서 부분 방전이 발생 진전되면서 절연재료에 열화가 촉진되어 절연 성능이 떨어지고 궁극적으로 절연파괴 사고로 진전 될 위험성이 증대하게 된다. 일반 절연물과 동등하게 몰드 변압기에의 절연시스템이 운전중 과부하 등으로 열 스트레스를 받게 되면 절연 재료가 열 열화를 일으킨다. 이는 열에 의하여 절연재료의 분자 level 구조에 불가역적인 화학적 또는 물리적 변화가 일어나 특성이 나빠지는 것으로 열분해 반응과 산화 반응이 진행되며, 기계적 강도 저하 및 절연 표면에서의 흡습성 증대 현상들이 나타난다. 그렇기 때문에 변압기에 사용되는 절연재료도 고품질화된 절연 재료가 요구되고 있다. 따라서 본 개발품은 이미 선진국에서 기술 향상을 절연성 및 경제성이 최적화 되어 있는 F종(155C)의 코팅 필름 및 H종(180C)의 절연물을 채택 하였고 주요 특성치는 표2와 같다.

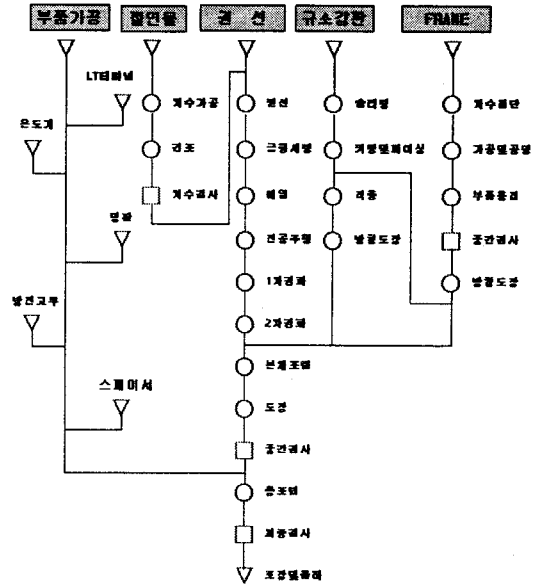
항 목	절 연 물		
	A종	F종 필름	H종
연속사용허용온도	105t	155t	180t
수 축 율	4~6%	-	0.5%이하
절연특성 (%)	내전압	100	100이상
	충격전압	100	120~125
두께	0.18	-	0.18
Breakdown Volt.	11kV/mm	-	32kV/mm

표 2 절연물 주요특성

2.5. 변압기 제조공정

가) coil winding

coil winding 공정은 권선에 비해하여 여러개에 section으로 나누어지며, 도체인 동자선을 H종의 Nomex paper로 지관을 하여 F종 코팅 필름을 층간 절연지로 사용하여 Winding 하였다.



나) 형입

형입작업이란 고압코일 winding이 끝난 여러개의 고압 section 코일을 금형에 setting하여 section간 결선 작업 및 진공 주형을 위한 금형 조립 작업을 말한다. 작업 순서는 형입 die 위에 내측 금형을 올려 놓은뒤 section간 결선 및 탭 인출 단자를 취부한 다음 외측 금형을 조립함으로써 형입 작업은 완료된다.

다) 주형

주형작업은 몰드 변압기의 코일 제조 작업 시 가장 중요한 부분으로서 고진공 상태에서 주형 plant 내에서 수지 원재료를 혼합하고 형입 작업이 완료된 고압 코일의 금형 내부에 에폭시 수지를 주입하는 작업으로서, 에폭시 수지 원재료 예열부터, 혼합, 주형 완료까지의 전 공정을 컴퓨터 제어에 의한 완전자동으로 작업을 진행하였다.

라) 경화

진공 주형이 완료된 코일은 몇 차례의 경화 공정을 거쳐야만 완전한 에폭시 절연물이 된다. 이때 경화시키는 시간과 온도는 수지에 절연 성능 및 경화 상태에 큰 영향을 미치기 때문에 정확한 control program에 의해 진행 해야만 에폭시 수지의 특성을 최대한 살릴 수 있다.

마) 조립

철심 적층 작업이 완료되면 저압 코일과 고압 코일 순서대로 철심에 삽입한 뒤 상부 요크 코어를 적층한다. 코어 적층 후에는 용접과 페인팅 작업을 하며, 상간리드 결선 및 온도제, 명판등 각종 악세사리를 취부한다.

3. 실험 및 결과분석

3.1 개발품변압기 시방서 시험 조건

시험은 철도청 적용 시방서인 철도 6210-3075에 따르며 전류는 전원측 개발품 변압기의 단자에서 측정하며 시험 전류의 제2 싸이클에서 측정한다. 본 시험 설비에서는 대칭 전류의 보다 정확한 측정을 위해 규정된 통전 시간 중 전류의 시작점과 끝점에서의 전류를 자동으로 측정 기록하였다. 또한 전류는 권선 전류를 측정 하였고 2차측 전류를 측정하여 변압비로 환산 적용하였다. 측정된 전류는 요구되는 전류의 95% 이상일 때 유효한 시험이 되므로 본 시험에서도 95% 이상이 되도록 실험하였다.

3.2 성능시험 결과 분석

IEC 60726 시험 조건에 따라 단락 강도 시험에 필요한 단락전류(실효치,과고치), 대칭 장시간 전류 및 전압파에 관계를 오실로 그램으로 나타낸 것을 측정하였다. 또한 단락강도 시험 전, 후 특성시험 결과 구매시방서 범위에 포함되며 매우 양호한 것으로 판정되었다.

* 단락강도 시험후 확인시험

시험 조건	시험항목	시험기준	시험결과	판정
단락 강도 시험 후	육안검사	권선의 변형이나 지지 구조물,결선등에 이상이 없을것	양 호	양
	무부하전류 (%)	-	변화율: -0.86%	
	임피던스 변화율(%)	단락강도 시험전후의 변화율이 4.0%이하 일것	정격(TAP) +0.26%	
	상용주파 내 전압	권선 및 대지간 60kV / 1분간	양 호	
	유 도 내전압	정격전압의 2배전압 400Hz 18초	양 호	
	충 격 내전압	1.2x50 μ s 150kV 3회	양 호	



변압기 시험 장면

본 논문에서의 개발품 변압기 성능 및 특성 시험은 KSC4302, ES246, ES148, IEC76, IEC214, ANSI/IEEE C57.12.00 및 ANSI/IEEE C57.12.90 및 ES147(변압기 소음 레벨 기준치) 에 준하여 시험한 결과 설계치 대비 결과치는 매우 양호한 것으로 확인 되었다.

4. 결 론

본 연구 내용은 저손실형 몰드 단권변압기 설계 및 제조과정과 결과에 대해서 기술하였다. 개발에 있어서 가장 중점적으로 고려되었던 점은 고전압에서 단락 및 절연에 견딜 수 있는 절연물 및 에폭시 수지에 대한 설계 및 제조 공법에 중점을 두어 새로운 모델의 차세대 변압기를 개발하였다. 따라서 환경오염에 대한 억제 효과와 운전 보수 측면 및 무부하 손실의 30% 절감으로 상당한 경제적 파급 효과가 클 것으로 기대된다. 향후 실무 시험을 통한 최고 온도 한계 및 평균 권선온도 상승을 설정하고 과부하 및 철도 설비와의 운전조건 충족 여부를 계속해서 연구하여 신뢰성을 확보하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC 60905, "Loading guide for dry type power transformers"
- [2] IEC 60726, "Dry type power transformers"
- [3] ANSI/IEEE Std C57.12.90-1993 IEEE Standard Test code for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers and IEEE Guide for short-circuit Testing of Distribution and Power Transformers.
- [4] "전기 설계학" 동일출판사 1996.08
- [5] 변압기 단락강도 시험서 ANSI와 IEC 규격에 의한 시험전류 비교 연구 - 전기학회 논문, 2002 -