

단상 1MVA 케이블 변압기의 설계 및 제작

박정호*, 허우형*, 조익춘*, 정한진**, 권영안**

*주)효성, **부산대학교

Design and Fabricate a Single Phase 1MVA Cable Transformer

Jungho Park*, Wooheng Heo*, Ik-choon Cho*, Han-jin Jeong**, Young-ahn Kwon**

*Hyosung Coporation, **Pusan National University

Abstract - 본 논문은 단상 1MVA 22.9kV/220V 케이블 변압기의 설계, 제작 및 시험 결과를 서술한다. 케이블 변압기는 유입변압기의 폭발위험성과 환경오염 가능성이 없으므로, 인구밀집지역, 지하장소등 설치장소의 제한이 없는 장점이 있다. 제작된 케이블 변압기는 22.9kV 급의 XLPE 케이블 전선을 사용하여 1차 권선을 제작하였으며, 2차측 권선은 내 단락시 특성이 우수한 몰드 권선 형태로 제작하였다. 사용된 XLPE 케이블은 도체-내부반도전층-XLPE-외부반도전층으로 구성되어 있으며, 외부반도전층은 접지된 구조이다. 철심은 단상 3각 구조로써 방향성 구조강판을 사용하였으며, 냉각방식은 공기 자연냉각방식이다. 제작된 변압기의 신뢰성을 확보하기 위하여, 특성시험과 절연시험을 실시하였다.

1. 서 론

케이블 변압기는 기존의 유입 변압기가 갖고 있는 화재 및 폭발 위험성, 절연유 누출에 따른 환경오염 가능성등이 없는 변압기로서, 절연유를 사용하지 않는 건식변압기이다. 절연유와 절연유를 보관하기 위한 탱크(회합)가 필요치 않는 구조로써, 변압기용 도체를 XLPE 케이블로 권선하여 기중 상태에서 권선내의 턴 간, 권선과 권선간 및 권선과 대지간의 전압에 견디도록 설계된 변압기이며, 절연유 누출 위험이 없어 폭발의 위험성이 매우 적고, 부하 밀집지역 및 수용가 근처에 설치가 가능하다. [2]

세계적으로 케이블 변압기는 스웨덴의 ABB사 외에는 생산업체가 없는데, 환경오염에 대한 관심이 날로 증가하고 있는 요즘 친환경 제품인 케이블 변압기는 큰 장점을 지니고 있다.

본 논문에서는 현재 산업자문부 지역혁신 인력양성사업의 일환으로, 23kV급 케이블 변압기 개발 내용에 대해 기술한다. 설계한 변압기는 1차측 고압 권선을 23kV급 XLPE 케이블을 사용하여 제작 하였으며, 2차측 저압권선은 몰드 권선으로 제작하였다. 철심형태는 단상 3각 형태이다. 전체적인 변압기 시스템의 설계, 제작 및 시험 결과에 대하여 기술한다.

2. 본 론

2.1 케이블 변압기의 사양

케이블 변압기의 용량은 단상 1MVA이며, 전압은 고압측이 22.9kV이고 저압측이 220V이다. 표 1에 설계 목표로 하는 케이블 변압기의 간단한 사양을 나타내었다. 이 변압기에 사용될 권선은 1차측은 23kV 케이블을

표 1. 케이블 변압기의 사양

사양	값
상수	단상
용량	1 MVA
정격전압	22.9 kV / 220V
정격전류	44 A / 4545 A

사용하여 권선을 제작하였으며, 2차측은 케이블 권선을 지지하고, 내 단락 특성이 우수한 몰드 형태의 권선으로 제작하였다.

2.1.1 23kV 고압 케이블 권선 사양

케이블 변압기에 사용되어지는 케이블은 23kV XLPE Cable 구조로써 도체-내부 반도전층-XLPE-외부 반도전층으로 구성되어 있으며, 그림 1에 케이블 구조를 나타내었다. 케이블 변압기에 요구되는 케이블의 특성은, 케이블 권선은 서로 인접하여 외부 반도전층이 턴 간에 선 접촉하는 형상을 가지게 되므로, 일반 변압기 권선의 턴 간 단락 현상과 같게 된다. 따라서, 케이블 변압기의 경우에는 턴 간 단락전류를 억제할 만한 충분한 저항을 외부 반도전층이 가져야 하며, 외부 누설 자속에 의한 와전류 손실이 발생되지 않을 만큼의 충분한 저항을 가져야 한다. 한편, 케이블 권선 표면은 인체의 혼축이 있더라도 안전사고가 발생하지 않도록 접지되어야 하며, 또한 권선의 경우에는 수십 턴이 구성됨에 따라 턴 중간에서 발생하는 전압을 알 수 없으므로 권선의 표면 포텐셜을 제어하기 위하여 케이블 권선 전체를 접지하여야 한다. 케이블 권선 표면 접지는 외부 반도전층에 하게 되는데, 모든 턴에서 동일하게 접지되기 위해서는 외부 반도전층의 저항이 낮아야 한다. 따라서, 외부 반도전층 저항율의 선택이 매우 중요하다. [1-3]

권선으로 사용되는 케이블은 고전압 및 낙뢰 썩어지등에 견딜 수 있는 절연 내력을 가져야 하는데, 이러한 절연내력은 케이블의 XLPE 절연물이 감당하게 된다. 표 2에 케이블의 사양을 나타낸다.

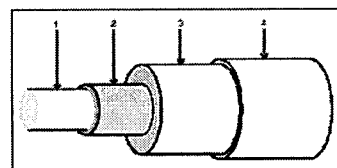


그림 1. 고압 권선 케이블 (1) 도체 (2) 내부 반도전층 (3) XLPE 절연물 (4) 외부 반도전층

표 2. 고압 케이블 사양

사양	값
품명	22.9kV CNCV-W
도체단면적	C60 ■
외부고온체적저항	10 Ω-mm
절연층 외경	24.7 mm
케이블 최외경	26 mm

2.2. 권선 설계 및 제작

본 연구에서 설계되어진 케이블 변압기는 저압측은 몰드 권선 형태이며, 고압권선은 케이블 권선 형태이다.

저압권선의 정격 전압은 220V로써, 정격 전류 4545A의 전류가 매우 큰 권선이기 때문에 전류에 의한 자기적 영향 및 온도 상승에 대한 고려가 중요하다.

저압권선을 몰드 형태의 권선으로 제작한 것은 몰드 권선이 건식변압기로서 몰드 수지에 의한 충분한 기계력을 확보할 수 있으며, 대용량의 전류에 대해 안전성을 확보할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 그림 2에 제작된 몰드 권선을 나타내었다.

그림 3의 고압 케이블 권선은 권선 방식은 레이어 방식이며, 몰드 저압권선 위에 권선이 되게 하였다. 레이어 당 턴 수는 변압기 크기와, 저압권선 높이를 고려하여 결정하였다.

케이블 권선 레이어 간의 공간은 냉각, 접지 및 권선의 지지를 위하여 스테인리스 봉을 사용하였다. 이 스테인리스봉에 의해 접지 전류를 억제하고, 권선 누설 자속에 의한 손실을 최소화 할 수 있다. 또한, 저압권선과 고압 권선의 지지를 위하여 권선 상하부에 FRP 블록을 사용하였다.[3]

저압 몰드 권선과 고압 케이블 권선간, 즉, 고-저압간에는 저압이 220V이고, 고압이 22.9kV로써 실제로 절연거리가 필요하나, 케이블 권선의 경우 케이블 외부 반도 전층이 접지되어 있으므로 절연거리는 필요하지 않다. 따라서 권선 제작시 저압권선과 고압권선 사이에는 냉각을 위한 통로만 형성되면 된다.[4]



그림 2. 저압 몰드 권선

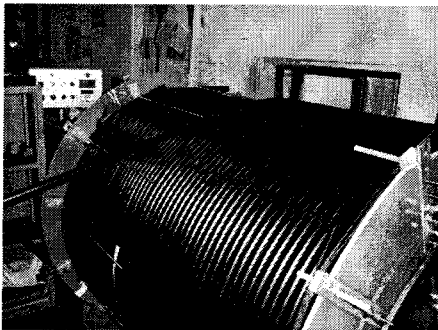


그림 3. 고압 케이블 권선 제작 모습

표 3. 케이블 변압기 철심 사양

사양	값
철심 구조	1상 3각
재질	방향성 규소강판(30PG 185)
Height	2,000 mm
Width	410 mm
철심 적층방식	Symmetric-D

2.3 철심 설계 및 제작

본 변압기의 철심은 단상 외철형으로 설계되었으며, PG-10 규소강판을 사용하여 단면이 10단 구조를 가지도록 적층된 철심을 제작하였다.

철심의 적층방식은 규소강판을 45°로 절단해서 성층함으로써, 가급적 자속이 압연방향으로 통과하도록 한 Symmetric-D의 접속방식을 적용하였으며, 제작된 철심의 총 중량은 약 6톤이다. 표 3에 케이블 변압기의 철심 사양을 보인다.

철심과 권선을 지지할 목적의 부품으로 그림 4와 같이 철심 프레임과 Tie 플레이트를 설계 및 제작하였으며, 철심과, 리드에 의한 권선의 무게를 지지함과 더불어 저압측 대전류에 따른 자기적 영향을 고려하여 저압측 상부 철심 프레임과 저압측 Tie 플레이트 재질을 스테인리스로 제작하였다.

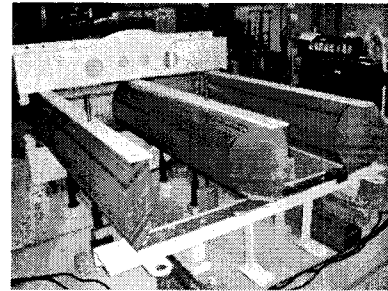


그림 4. 제작된 철심 및 철심 프레임

2.4 케이블 변압기 총조립

철심과 권선을 조립하여 상부 철심을 적층한 후, 변압기 시험을 위하여, 중단 접속계를 취부하였다. 케이블 변압기는 송전 케이블과 직접 연결될 수 있어 붓싱이 필요하지 않은 변압기이나, 본 연구에서는 시험을 위하여 그림 5와 같이 25.8kV급 중단접속계를 취부하여 조립하였다.

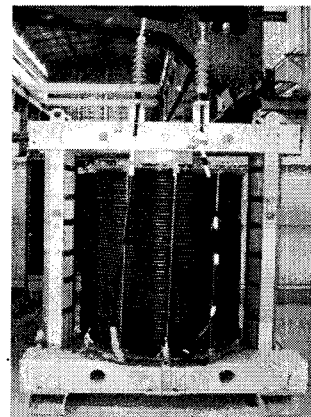


그림 5. 22.9kV 1MVA 케이블 변압기

2.5 케이블 변압기 시험

케이블 변압기에 적용되는 시험 규격은 ANSI Code 의 건식 변압기 시험 규격(ANSI C57.12.01)을 적용하였으며, 특성 시험으로는 무부하 시험, 극성시험, 변압비 시험, 부하 시험을 실시하였다. 표 4에 특성시험 결과를 정리하였다.

표 4. 22.9kV 1MVA 케이블 변압기 특성시험 결과값

시험		결과값
Turn Ratio	Rated Ratio	104.09
	Measured Ratio	104.1
Phase Relation		감극성
Resistance	1 st	0.3722 Ω
	2 nd	0.033 mΩ
No Load Loss		5,700 W
Load Loss (at 23T)		2,700 W
%Iz		2.91

제작되어진 단상 1MVA 케이블 변압기의 절연 특성을 알아보기 위해서 다음과 같은 절연시험을 수행하였다.

- (1) 충격내전압 시험(Basic lightning impulse test)
- (2) 유도내전압 시험(induced voltage test)
- (3) 상용주파수 내전압 시험(Applied voltage test)

위와 같은 시험 항목으로 실시한 절연시험 결과를 표 5에 나타내었다.

표 5. 22.9kV 1MVA 케이블 변압기 절연 시험 결과값

	기준값	결과값
	고압[kV] (ANSI Standard)	
(1) 충격내전압	110kV BIL	125kV BIL OK
(2) 유도내전압	2×V _N	OK
(3) 상용주파수 내전압	37kV	OK

(1) 1.5×40 μs 임펄스 전압을 고압의 권선 시작, 권선 중단 부분에 인가하여 시험하였으며, 50% 시험전압과 100% 시험 파형을 비교하여 이상이 없음을 확인하였다.

또한, 125kV BIL에서도 이상이 없음을 그림 6에서 확인할 수 있다.

(2) 유도 내전압 시험은 주파수가 180 Hz인 정격전압 2배 전압을 40 초간 고압측에 인가하여 절연과피가 없어야 하는 시험이므로, 본 변압기에서는 이상이 없음을 확인하였다.

(3) 고압권선의 권선과 권종을 공통으로 하여 이들 리드나 대지간에 시험 전압 37kV를 1분간 인가하는 시험인 상용주파 내전압 시험을 실시하였으며, 이상이 없음을 확인하였다.

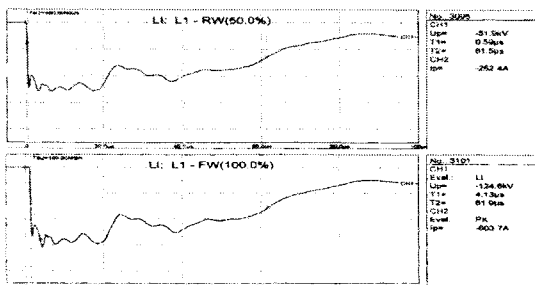


그림 5. 22.9kV 1MVA 케이블 변압기 임펄스 시험 파형

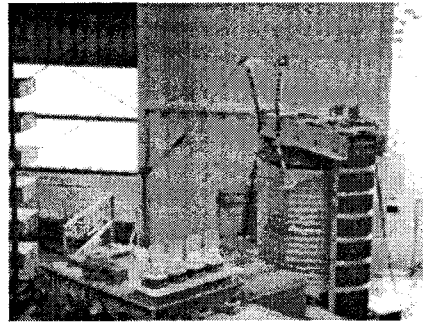


그림 6. 22.9kV 1MVA 케이블 변압기 임펄스 시험 장면

3. 결 론

본 논문에서는 23kV 케이블을 사용한 권선을 가지는 단상 1 MVA 케이블 변압기 시스템을 설계하고 부분적인 제작 과정과 시험 결과에 대하여 기술하였다. 저압측 권선은 몰드 권선으로 제작하였으며, 고압측 권선은 몰드 권선 위에 23kV 케이블을 직접 권선하여 제작하였다.

고압 권선 케이블 외부 반도체층은 접지하고, 권선 레이어간에는 냉각통로 형성 및 케이블 반도체층 접지를 위하여 스테인리스 봉을 사용하였다.

케이블 변압기 시험을 위하여 중단 접속제를 케이블 단부에 연결하였으며, 특성 시험과 절연 시험을 실시하여 변압기의 신뢰성을 확인하였다.

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단에서 시행한 지역혁신인력양성사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Mats Leijon, Mikael Dahlgren, "A recent development in the electrical insulaion systems of generators and transformers", IEEE Electrical insulation magazine, Vol. 17, No. 3, 2001
- [2] Mats Leijon, Thomas Andersson, "High and dry", IEE REVIEW JULY 2000
- [3] Par Holmberg, Mats Leijon and Torbjorn Wass, "A Wideband Lumped Circuit Model of Eddy Current Losses in a Coil With a Coaxial Insulation System and a Stranded Conductor, IEEE TRANSACTION ON POWER DELIVERY. VOL. 18, NO. 1, JANUARY 2003
- [4] Qingquan Li, Chezahao Fu, Peng Yuan, Yanming Li, Dake Xu, "The study of thermal circuit model for the cable tranformer coil based on finite element method", 2002 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectrical Phenomena