

고압변압기의 임펄스 시험시 등전위확보를 위한 접지시스템 연구

유청희*, 정준원, 한성구 김 용
 노이즈프리미어랩(주) 동국대학교

A Study on ground system to ensure equipotentialization during impulse test of high voltage transformers.

Ryu Chung-hee*, Jung Jun-won, Han Sung-gu
 Noise Premier Lab CO.LTD

Kim Yong
 Dongguk University

Abstract - 본 논문은 고압변압기의 Impulse 시험시 시험실의 등전위 확보를 위한 접지시스템의 구성방법에 대해 연구하였다. 고압변압기의 검사시험은 구조 및 권선 저항 측정시험 등 여러 가지 시험이 진행되고 있는데, 시험실에서 수행되는 시험중 내전압시험과 절연저항시험 등을 수행할 때 절연파괴시 높은 전위차로 인해 발생하는 사고를 미연에 방지할 수 있도록 등전위 확보 방안과 접지시스템의 구성방법을 구축하였다. 이를 위해 변압기의 시험방법과 시험이 종류에 대해 연구하였고, 접지시스템을 구성하기 위한 사전조사방법과 접지시스템의 설계방법, 그리고 등전위확보를 위한 구성방법에 대해 연구하였다.

또한, 시험실의 지질 특성 및 지층 구조를 분석 모델링하였고, 과학적 이고 체계적인 접지설계 엔지니어링과 시뮬레이션을 통하여 과도시점의 상태에 대해 과도전위에 대한 모델링을 하였다.

이러한 연구를 통해 실제 현장에 적용하여 설비를 구축하였고, 성능을 측정 및 분석한 결과 시험시 과도상태에서 발생하는 시험장비와 피시험품의 전위차발생으로 인한 파손과 시험의 오차를 최소화할 수 있음이 확인하였다. 따라서, 고압변압기의 검사시험 및 고전압 시험에서 시험시 발생하는 과도시점에서 등전위 확보방안에 대해 본 논문을 통해 구성방법에 대해 제안하고자 한다.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

주변에서 혼하게 볼수 있는 변압기는 공공설비적인 특성이 있고, 사고발생시 파급되는 손실이 매우 크기 때문에 출하때부터 적용되는 검사시험이 많고 까다롭다. 변압기의 품질검사시험은 생산출하시에 행해지는 검사시험으로 구조검사, 권선저항측정, 변압비 극성시험등 여러 가지 검사항목이 있다. 검사시험중 뇌임펄스내전압시험은 Impulse 시험전압을 활용하여 변압기의 품질을 측정한다. 뇌임펄스전류는 순간적으로 접지임피던스를 과도하게 증가시키므로 접지 임피던스를 저감시키면 접지전극의 대지전위상승을 억제하므로 시험실의 전위상승을 억제할 수 있고, 등전위확보에 원활하게 할 수 있다. 피시험품의 불량으로 변압기내의 절연이 파괴되면 사고전류가 주변으로 파급되어 주변시설장비에 영향을 미친다. 이때 피시험물인 변압기에 접지시스템의 구조에 따라 주변시험장비에 영향을 최소화시킬 수 있다. 또한, 생산성을 높이기 위해 시험실에서 동시에 여러대의 변압기를 시험할 때 다른 시험에 영향을 주지 않도록 접지시스템의 구성과 등전위 확보 방안이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 접지시스템의 구성방법과 등전위확보방안에 대해 연구하여 주어진 환경에서 안정적인 시험이 진행되도록 제안하였다.

1.2 연구의 범위

본 연구는 변압기의 뇌임펄스 내전압시험에서 절연

파괴시 발생할 수 있는 사고에 대한 조사를 통해 시험실에 적용될 접지시스템의 종류와 구성방법, 등전위확보를 위한 접지배선구조를 시뮬레이션을 통해 모델링하여 제안하고, 제안된 접지설계 기법을 통해 실제 시험실에 적용하여 시험시에 발생하는 피시험품과 시험장비간 혹은, 각피시험품간의 전위차발생에 대해 최종적으로 모델링하여 결과를 확인한다.

1.3 연구의 방법

본 연구의 방법은 고압변압기의 접지시스템에 대한 구성방식에 대해 기본배선접지시스템과 등전위 확보를 위한 접지시스템에 대한 설계를 시뮬레이션을 통해 등전위면에 대한 전위차를 비교한다. 그 결과로 시험실에 적용하고, 최종 결론을 도출하도록 한다. 시험실의 대지저항률측정은 Wenner 4점 전극법으로 측정하였고, 접지시스템 시뮬레이션은 CDEGS의 RESAP과 MALT로 모델링하였다.

2. 본 론

2.1 고압 변압기의 뇌임펄스 내전압시험

뇌임펄스 내전압시험은 운전중 발생하는 뇌 또는 과도적인 이상 전압에 대해 변압기 내부의 뇌임펄스 전압에 견디는 절연강도를 갖고 있는지의 여부를 시험한다. 뇌에 의한 절연파괴는 교류전압 상태에서 절연파괴와는 현저하게 다르기 때문에 뇌임펄스 전압시험은 절연협조의 검토항목중 중요한 시험항목으로 본다. 여기서 Impulse 전압의 정의는 과도적으로 단시간에 출현하는 전압으로 급격히 최고치에 도달하고 다시 천천히 감쇄하는 전압으로 최고치에 이르는 시간이 수 μs 정도의 전압을 Lightning Impulse, 수십에서 수 ms에 이르는 전압을 Switching이라 한다.[1]

시험중 변압기의 불량으로 절연파괴가 진행되어 임펄스 서지가 기준접지로 유입될 때 그 기준접지의 구성상태에 따라 접지임피던스가 결정되고 낮은 접지임피던스를 갖을 때 임펄스서지가 대지로 원활하게 방전시킬 수 있다.[2] [3] [4] [5]

다음 그림 1은 일반적인 충격시험회로를 나타낸다.[6]

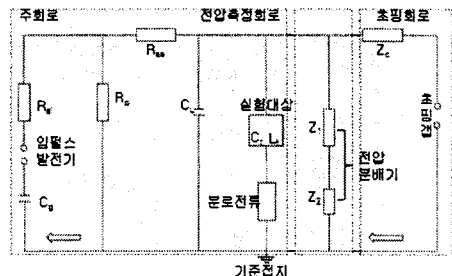


그림 1 전형적인 충격시험 회로

- C_g : 제너레이터 캐패시턴스
- R_p : 병렬저항
- C_L : 부하 캐패시턴스
- Z_c : 초평회로의 추가임피던스
- C_t : 유효실험대상 캐패시턴스
- Z_1 : 전압분배기의 고압측 임피던스
- L_t : 유효실험대상 인덕턴스
- Z_2 : 전압분배기의 저압측 임피던스
- R_{si} : 내부직렬저항
- R_{se} : 외부직렬저항

위의 회로도에서 초평회로, 주회로, 전압측정회로의 접지는 하나로 통일한다. 실제 실험실에서도 이와 같은 구조로 기준 접지를 구성하고 있다. 각 회로의 기준 접지를 하나로 통합하는 이유는 각 회로 간 전위차 발생을 억제하고 피 시험품의 불량 시 임펄스전류를 대지로 방전시키기 위함이다.

2.2 뇌 임펄스 내전압 시험시 문제점

일반적인 접지시스템 구성방식을 갖는 변압기 생산 공장의 실험실에서 뇌 임펄스 내전압시험 중 다음과 같은 문제점이 발생된다.

- ① 시험용 접지시스템과 건물기준접지, 기타 접지시스템 등의 개별접지구성으로 뇌 임펄스 내전압 시험시 건축물 구조체와 전위차로 인한 코로나현상이 발생한다.
- ② 변압기의 각종 검사시험에서 뇌 임펄스 내전압시험 중 발생하는 순간 전위차로 인한 기타 시험의 기자재(기록장치, 측정장비)의 파손이 발생한다.
- ③ 뇌 임펄스 내전압 시험시 공장내부의 원거리의 약전설비(컴퓨터, Controller)의 오동작 및 파손이 발생된다.

그림 1의 뇌 임펄스 내전압시험의 회로는 변압기와 초평회로, 전압측정회로, 임펄스 발전회로 등이 하나의 접지시스템에 연결되어 있으나, 일반적인 공장의 실험실의 경우 실험실용 접지와 공장 건축물의 건물접지, 그 외 통신, 전력접지 등이 개별접지로 구성되어 있기 때문에 시험기자재의 성격에 따라 접지시스템의 연결도 달라질 수 있다. 다음 그림 2는 일반적인 변압기 공장의 접지시스템 구성을 나타내었다. 일반적으로 공장을 신축할 때 건물접지와 전력접지, 통신접지가 구성되고, 실험실이 구성될 때 실험실 바닥 또는 건물 주변에 실험실용 접지를 별도로 구성하게 된다.[2] [3] [4] [5]

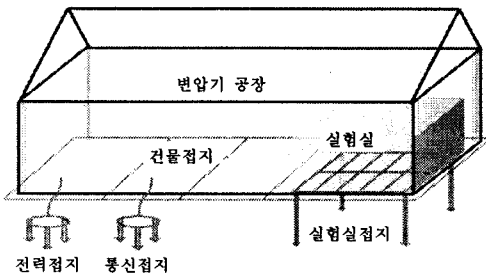


그림 2 일반적인 변압기공장의 접지시스템구성

2.3 대지저항률의 측정 및 분석

접지시스템의 설계 중 고려해야 할 사항은 대지에 대한 저항률의 측정 및 분석이다. 그 값을 통해 변압기 공장 내 실험실 신축부지의 대지 저항률을 분석하고, 이를 제안한 접지시스템의 설계에 적용하였다.

2.3.1 대지 저항률 측정

대지 저항률 측정은 변압기 공장 실험실 신축부지 내에서 Wenner 4점법으로 측정하였으며, 측정장비는 AEMC사의 4500모델로 측정하였다. 측정은 등거리 간격으로 1, 2, 4, 10, 20 m로 총 5회 측정하였다[7]. 대지 저항률의 측정값은 표 1과 같다.

표 1 변압기 공장 실험실의 대지 저항률 측정

측정 장소	측정 거리 (m)	측정 저항치 (Ω)	계산대지 저항률 ($\Omega \cdot m$)
초고압 변압기 실험실	1	57.0	357.96
	2	10.4	130.62
	4	3.9	97.97
	10	0.8	50.24
	20	0.3	37.68
확인사항	4 점 웨너 측정법 적용		

2.3.2 대지 저항률 분석

변압기 공장 신축부지에서 대지 저항률의 분석은 CDEGS(SES Tech사, Canada) RESAP 툴을 활용하여 분석하였다. RESAP 툴은 측정된 대지 저항률을 입력받아 수치해석 기법으로 대지 저항률을 수직, 수평지층으로 나누고 무한대까지 분석할 수 있다.[8] [9] [10] 대지저항률의 입력 값에 대한 경향을 분석하여 나온 결과로 변압기 공장 신축부지는 수평지층구조를 갖는 것으로 분석되었고 구조는 그림3과 같다.

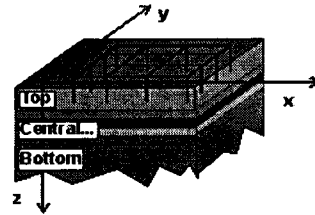


그림 3 대지 저항률의 수평지층구조

표 3 변압기 공장 실험실의 대지 저항률 분석

항 목	대지 저항률 ($\Omega \cdot m$)	지층별 두께 (m)	반사 계수	지층별 비
대지 저항률	471.6300	0.9589607	-1.0000	0.47163E-17
	45.34383	infinite	-0.82458	0.96143E-01
비고	현장의 대지는 2지층의 지질 구조로 분석			

표 3에서 보는 바와 같이 변압기 공장 실험실 신축부지의 상지층 대지 저항률은 $471.63 \Omega \cdot m$ 에 두께 0.96 m이고 하지층의 대지 저항률은 $45.34 \Omega \cdot m$ 로 분석되었다. 상지층보다 하지층의 대지 저항률이 매우 낮게 분석되었다. 따라서 상지층을 활용한 메쉬 접지방식 보다는 하지층을 활용한 XIT 접지시스템이 낮은 접지저항을 얻을 수 있는 적절한 방법임을 알 수 있다[2].

2.4 접지시스템의 설계

2.4.1 기존의 메쉬접지시스템에 의한 설계

메쉬 접지시스템은 격자 형태로 구성하였다. 실험실 면적은 $40 m \times 34 m$ 로 전체 면적을 활용하였을 때 표 4는 메쉬 접지시스템 설계에 적용된 입력값이다.

표 4 메쉬 접지시스템 설계 입력 값

대지 저항률	접지전극의 적용사항
상지층-471.63 Ω·m 하지층-45.341 Ω·m 지층두께: 0.95 m	Mesh (40 m X 34 m)

그림 4는 메쉬 접지시스템을 설계한 구조이다.

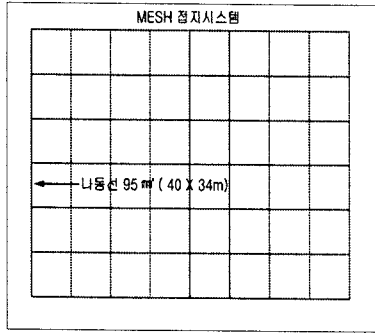


그림 4. 메쉬 접지시스템 설계 구조

그림 4와 같은 구조의 접지전극에 인가된 전압크기는 1300 kV, 접지저항은 1.41 Ω이 결과값으로 나타났다. 사용된 접지전극의 길이(메쉬 접지시스템에서 사용된 나동선의 길이)는 586 m이고, 접지전극의 전위상승값은 1300 kV로 나타났다. 그림 5는 메쉬 접지전극에 1300 kV를 인가하였을 때 형성되는 전위분포를 나타내었다.

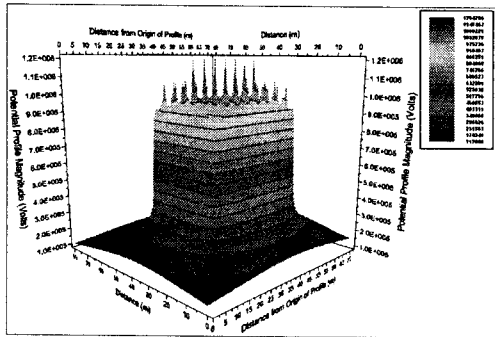


그림 5. 메쉬 접지시스템의 전위분포 (3D)

그림 5에서 전위상승은 1300 kV이나 등전위면에서의 전위차는 약 400 kV정도 이다. 따라서 메쉬 접지시스템만으로 구성하였을 때 실험실내에서 높은 전위차가 발생하는 것을 알 수 있었다.

2.4.2 등전위 확보를 위한 접지시스템 설계

기존 접지시스템 설계를 보완하여 등전위 확보를 위한 접지시스템의 설계를 진행하였다. XIT 접지시스템 설계방법에 Expanded Copper Grid를 추가하여 모델링을 하였고 그 결과 값과 기존 접지시스템 설계에 대한 결과 값을 비교하였다.

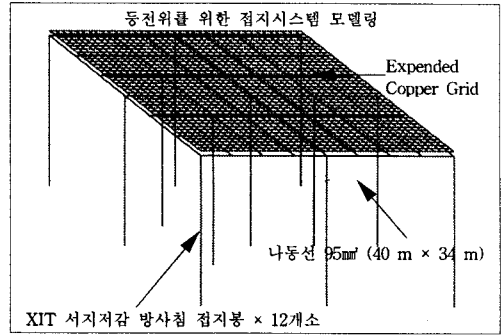


그림 6. 등전위 확보를 위한 접지시스템 설계구조

그림 6과 같이 등전위 확보를 위한 접지설계는 Expanded Copper Grid의 재료를 메쉬 상부의 실험실 콘크리트 바닥에 적용하였고 메쉬 접지시스템과 연결점을 다수로 하여 유입되는 서지를 대지로 원활하게 방전시켜 실험실 면의 전위차를 극도로 낮게 유지되도록 하였다. 분석된 접지저항값은 변화가 거의 없으나 전위차는 이전 메쉬접지시스템 설계 보다 낮게 발생하였다. 표 5는 등전위 확보를 위한 접지시스템 설계 입력 값이다.

표 5. 등전위 확보를 위한 접지시스템 설계 입력 값

대지 저항률	접지전극의 적용사항
상지층-471.63 Ω·m 하지층-45.341 Ω·m 지층두께: 0.95 m	XIT 서지저감 방사침 접지봉 (30 m천공) X 12sets + Mesh (40 m X 34 m) + Expanded Copper Grid

표 5에서 접지전극의 적용사항은 메쉬 접지시스템과 XIT 접지시스템에 Expanded Copper Grid를 추가하여 설계하였다. 접지전극의 길이는 3906 m로 크게 늘어났지만 접지저항은 크게 감소하지 않았다. 그러나 등전위면에서 대지전위 상승 값에 대한 차이는 매우 큰 것을 알 수 있었다.

그림 7은 등전위 확보를 위한 접지시스템 설계구조에 대한 전위분포 특성이다.

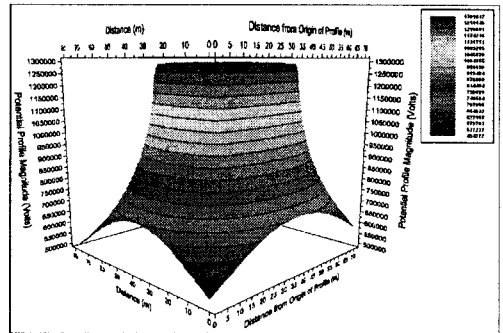


그림 7. 등전위 확보를 위한 접지시스템 설계 전위분포 (3D)

그림 7에서 1300 kV의 최고압전압이 인가되어도 전체 전위상승은 1300 kV로 상승하지만 변압기 실험실 내에서는 전위차가 발생하지 않아 시험기기 간 전위차문제에 의한 오동작이나 사고를 방지할 수 있음을 알 수 있다.

2.4.3 등전위 확보를 위한 접지시스템 적용 사례

등전위 확보를 위한 접지시스템 설계 구조를 변압기 실

험실에 적용하여 전위차 발생을 최소화 하였고, 변압기 공장의 건물접지와 기타 목적의 접지시스템을 공통 형태로 구성하여 접지시스템 간의 전위차발생을 억제 하였다. 그림 8은 변압기 공장의 접지시스템 구성 평면도이다.

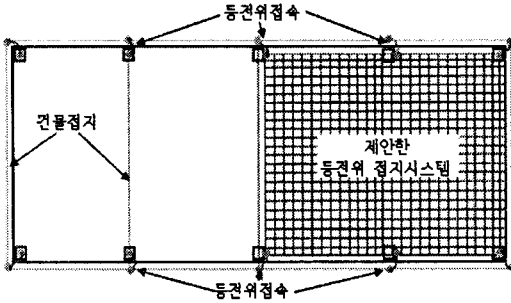
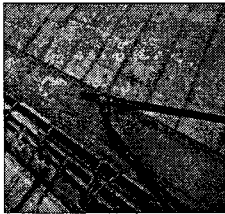


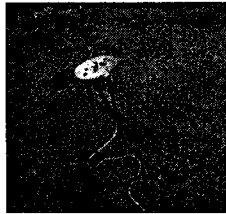
그림 8. 변압기공장의 접지시스템 구성 평면도

변압기 생산공장의 건물접지와 건물의 구조체를 실험실의 등전위 접지와 접속하여 시험 중 전위차 발생을 방지 하였고 공장 내부의 여러 전기기들이 하나의 기준접지를 갖도록 하여 접지시스템간의 이격거리와 관계없이 공통 접지를 구성하였다.

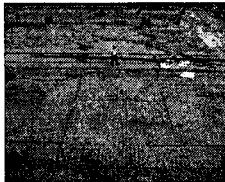
그림 9는 변압기 실험실의 등전위 접지시스템 설치 사진이며, 실제 결과를 변압기 생산 공장의 실험실 부지에 적용하였다.



(a) 건물 구조체 접속



(b) 접지 연결 단자대



(c) Expanded Copper Grid 설치



(d) Expanded Copper Grid

그림 9. 변압기 공장 실험실의 실제 적용 사례

3. 결 론

본 연구에서는 변압기 실험실에서 뇌 임펄스 내전압시험 중 발생하는 시험기기의 오작동 및 파손을 예방할 수 있는 등전위 접지시스템의 확보방안을 제시하고 검증하였다. 먼저 CDEGS에서 REASAP과 MALT 툴을 활용한 모델링을 적용하여 결과 값을 확인하고 뇌 임펄스 내전압 실험 중 발생된 대부분의 문제를 해결하였다.

따라서 본 연구에서 제시한 등전위 확보 방안은 현재 많은 변압기 실험실에서 고전압시험시 발생되는 문제점들을 해결에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 진행에 있어서 실험실의 접지시스템 구성 재료인 Expanded Copper Grid의 설치와 비용적인 부분이 아직까지는 미흡하다는 것과 부분방전(P.D)시험에 대한 접지시스템의 구성방법에 대해 등전위 확보와 외부 노이즈의 차단방법에 대한 추가적인 연구가 필요함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전기연구소, 「변압기 기술현황」, 한국전기연구소 정보전산실, 1998
- [2] 한국엑스아이티(주) 「XIT 접지 시스템」, 한국엑스아이티(주), 2003
- [3] 최세하, 「알기쉬운 접지기술 실무」, 진한도서, 1998
- [4] 다카하시, 이형수 譯. 「接地設計入門,, オーム社」, 東逸出版社, 1995
- [5] 다카하시, 이형수 譯. 「接地技術入門,, オーム社」, 東逸出版社, 1995
- [6] "The IEEE Green Books", IEEE Std 142-1991, IEEE Inc,
- [7] IEEE Std. 81, Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Groud System, 1983
- [8] 조대훈, 정철희, "고기능 신기술의 XIT 접지시스템의 성능비교", 한국조명·전기설비 학회지, 2001.12.
- [9] SES (Safe Engineering Services & technologies ltd.), CDEGS (Current and Soil structure analysis) 사용자 지침서.Version 97 for Windows.
- [10] 신동호, 김용, 정철희, 조대훈, 김필수, "서지 전류에 의한 접지 계의 과도 응답 특성 및 접지 저항 비교", 대한전기학회 추계학술대회, 1999.