

변압기용 절연커버 재질의 전기 안전성 평가에 관한 연구

김향곤, 한운기, 길형준, 최충석
전기안전연구원(한국전기안전공사 부설)

A Study on the Electrical Safety Evaluations of Transformer Insulation Cover

Hyang-Kon Kim, Woon-Ki Han, Hyung-Jun Gil and Chung-Seog Choi
Electrical Safety Research Institute attached to Korea Electrical Safety Corporation

Abstract

In this paper, we studied on the electrical safety evaluations of transformer insulation cover. In order to take preventive measures against an electric shock disaster in 22.9kV transformer installation, we put the insulation cover on a transformer charging parts. It needs to be designed so that the insulation covers have superior properties such as, arc-resistance, weather-resistance and heat-resistance, because they are used until the damage and destruction occur. To establish the protection cover to reduce the electrical shock, we analyzed damage mechanism and risk factors which happened by structural fault of an insulation cover in this paper. Also, based on the experimental results, we are planing to suggest new improved insulation cover models.

Key Words : Transformer, Insulation Cover, Charging Part, Electrical Shock, Safety Evaluation

1. 서론

22.9[kV] 수·변전설비의 노출충전부로부터 감전재해를 예방하기 위하여 사용되는 절연커버는 제조회사마다 상이한 절연재료를 사용하고 있다. 이러한 절연커버는 사용 여건상 한번 설치하면 손상 및 절연파괴가 일어날 때까지 사용하기 때문에 수분, 염분, 분진 등 이물질이 항상 존재하는 열악한 환경에 장기간 노출되더라도 내아크성, 내후성 및 내열성 등에 우수한 특성을 갖도록 설계될 필요성이 있다. 특히, 전력계통의 급격한 증가로 인한 전력수급지역의 팽창으로 해안, 공장지대 등 열악한 환경지역에는 염진해, 산성우, 안개(염무), 자외선, 열적, 기계적 열화 등의 점진적인 특성변화에 대해서도 안정된 특성을 갖도록 재질적으로 보완할 필요성이 있고, 이물질이 많은 지역내에서는 보다 근본적인 해결책이 요구된다[1].

절연커버의 구조적 문제점에 의한 위해요인을 분석하기 위해 설비사고가 발생했던 수용가 및 제작업체를 직접 방문하여 절연커버를 분석한 결과, 분진 등의 오염물질과 외부의 취약한 환경에 장기간 노출된 상태로 지속적인 전기적 스트레스로 내

부적으로 트래킹으로 진전되고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 상태가 지속될 경우 아크열에 의해 화재로 절연커버가 소손될 위험성이 있음을 알 수 있었다. 그러나 절연커버가 단기간에 트래킹되어 화재로 이어질 가능성은 희박하지만 환경적 영향이 심한 경우 장기간 표면에 수분, 도전성 물질 및 분진 등의 이물질이 절연커버 내·외부에 부착됨으로 트래킹으로 진전되고 최종적으로 화재로 이어질 가능성을 배제할 수 없다.

이를 위해 본 논문에서는 변압기 1차측 노출 충전부위에서 발생하는 감전위험성 및 구조적 결함에 의해 발생하는 절연커버 소손 메커니즘을 해석하기 위해 현장의 설치조건과 유사한 재현실험장치를 구성하여 절연커버의 소손과정을 재현하였다. 실험결과를 바탕으로 구조적 문제점 및 소손 메커니즘을 해석하여 절연커버의 개선(안)을 모색하는데 중요한 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험방법

변압기용 절연커버의 사용조건은 표면에 습기, 분진 등의 도전성 물질이 표면에 부착되어 도전로

를 형성시킴으로 트래킹현상을 발생시킨다. 이러한 트래킹 과정은 ① 표면누설전류 증가 ② 표면 누설전류에 의한 수분의 증발과 이로 인한 도전전류의 분단으로 일어나는 미소 발광방전의 발생 ③ 미소 발광방전에 의한 절연파괴로 절연커버에 화재발생 등으로 소손 메커니즘을 요약할 수 있다 [2][3]. 그림 1은 트래킹 과정이다.

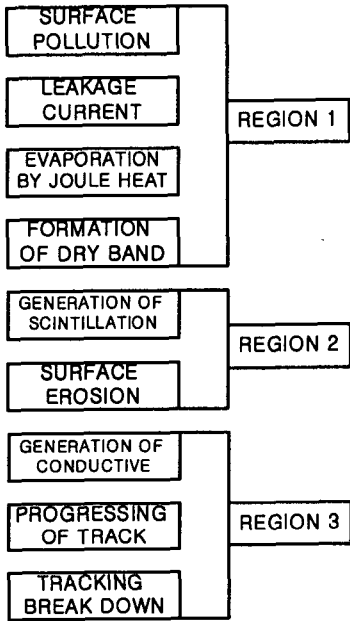


그림 1. 트래킹 진전 과정.

열악한 현장과 비슷한 조건하에서 불꽃방전에 의한 절연커버의 소손 위험성을 재현실험함으로써, 그 진행과정 및 위험 요인을 분석하고 또한 화재 및 설비사고로의 파급 가능성을 입증하고자 한다. 본 실험에서는 시중에 사용중인 고무재질의 변압기용 절연커버를 부상위에 설치한 후 절연커버의 소손이 쉽게 발생하도록 3[%]의 염화나트륨 수용액을 절연커버 표면에 주사하였고, 이 때 현장설비의 조건과 동일한 13.2[kV]를 모선접속부인 부상충전부 동선과 부상의 하다, 그라운드(대지) 단자 사이에 전압을 인가하였다.

트래킹에 의한 절연커버의 소손 현상은 절연커버 표면에 습기나 침전물인 수분, 염분, 무기질 및 섬유유질 먼지 등의 분진이 부착된 후, 오염된 표면을 타고 누설전류가 흘러 불꽃방전에 의해 일부

오염물질이 탄화되면서 서서히 트래킹에 의한, 화재로 진전되는데, 현장상황 등 그 변수가 다양하여 재현실험을 하는데 많은 제약이 따른다.

그림 2는 절연커버 소손 재현 실험장치이다. 이와 같은 조건은 현장의 실제 사용 조건과 유사한 조건을 갖추므로 실험의 재현성 및 신뢰성 확보를 할 수 있었다.

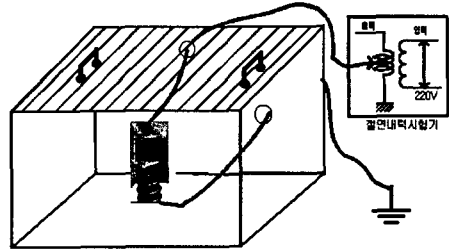
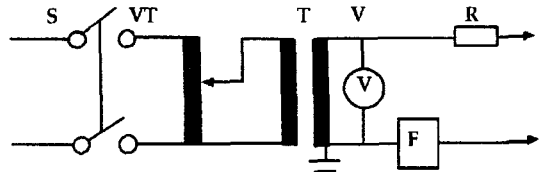


그림 2. 절연커버 소손 재현 실험장치.

그림 3은 재현 실험 장치의 회로 구성도이다. 인가전압은 교류 상용전원 60[Hz], 1[kV/sec]로 상승시켰으며, 실제 사용조건과 동일한 13.2[kV]를 인가하였다[4].



- S: Power supply switch
- VT : Variable ratio transformer
- T: High-voltage transformer
- R: Series resistor
- V: Voltmeter
- F: Over current device, fuse or relay

그림 3. 실험장치의 회로구성.

3. 결과 및 고찰

3.1 절연커버의 소손 메커니즘 해석

그림 4에서는 절연커버 외부에서 지속적인 트래킹 과정을 반복하다가 55[min] 경과 후 절연커버가 화재로 이어지는 과정을 순차적으로 나타낸 것이다. 변압기용 절연커버는 그림 4에서 보는 바와 같이 절연커버의 상단과 하단에서 초기 미소 발광

방전이 시작되었고(40min 경과), 시간경과 후 절연커버 상단과 하단사이에 도전로가 형성되었고(50min 경과), 그리고 화재로 이어짐을 확인할 수 있다(55min 경과). 이 실험을 통하여 초기 불꽃방전의 진원지는 문제점으로 지적된 온 절연커버 상단과 하단부분으로서 초기 불꽃방전이 발생하지 않도록 절연커버 상단의 방수처리와 구조적 개선의 검토가 반드시 필요함을 확인할 수 있다[5-7].

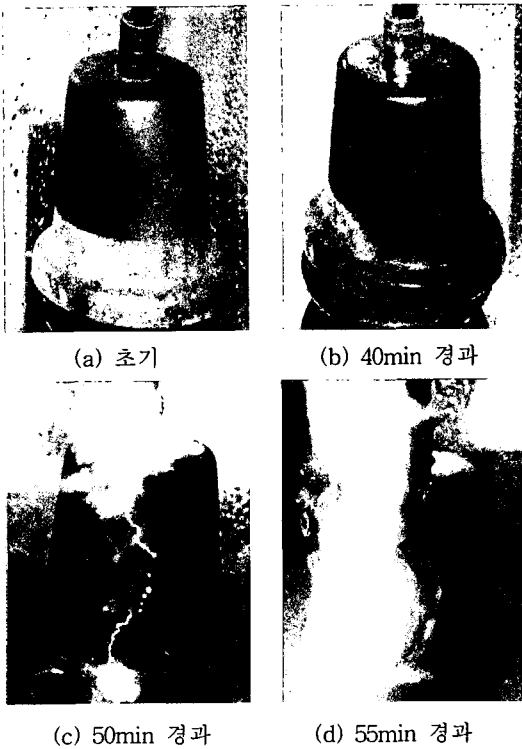


그림 4. 절연커버 화재 발생과정.

3.2 절연커버의 결함 분석

그림 5는 열화된 절연커버의 내·외부를 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 내부로 트래킹에 의해 열화된 부위이고, 그림 5(b)는 외부로 절연열화 된 모습이다. 내부에서 소손이 가장 먼저 진전되는 부위는 그림 5(a)에서 알 수 있듯이 모선의 충전부 지지용 볼트와 절연커버가 근접, 접촉된 상태로 장기간 노출되어 지속적인 전기적 스트레스에 의해 열화가 발생되었고, 이러한 현상은 물·습기, 도전성 분진 등으로 인해 내부 트래킹으로 진전되고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 현상을 방지하기 위해

서는 절연커버의 구조적 문제점을 개선할 필요성이 요구되었다.

절연커버 외부의 구조적 문제점은 그림 5(b)에서 보는 것처럼 절연커버 상단과 하단에 이물질의 축적이 쉬운 형태로 구성되어 있다. 표면의 균일성을 유지하고 절연커버가 구조적으로 상부와 하부가 곡선 처리될 경우 이물질의 축적을 줄여 이로 인한 절연성능의 저하를 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 절연커버 외부가 곡선 처리되면 트래킹 열화의 국부적인 전계 집중부위를 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또한 물·습기가 많은 지역, 해안가, 공장지대에 우수기에 절연커버 상단을 방수처리 하지 않았을 경우 누설전류가 부싱 충전부분 → 절연커버 상단 → 절연커버 외부 표면 → 부싱 → 대지로 회로가 구성되어 절연커버 절연내력을 저하시키므로 상단을 절연테이프 등을 이용해 방수 처리할 필요성이 있음을 알 수 있었다. 그리고 절연커버의 하단부 크기가 작아 부싱 충전부와 절연커버 사이에 이격거리가 충분하지 않아 절연내력 저하로 하단부의 지속적인 아크 등에 의한 전기적 스트레스로 절연커버 하단부와 부싱이 손상됨을 알 수 있었다.

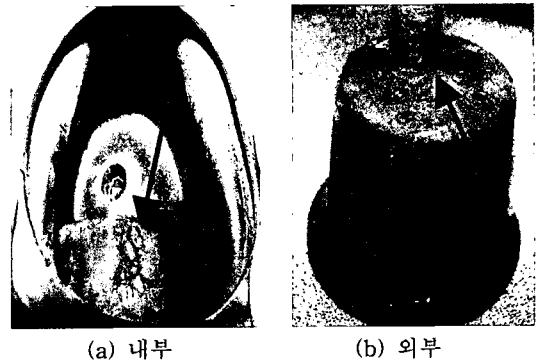


그림 5. 열화된 절연커버 내·외부.

3.3 아크 및 화염에 의한 부싱 소손

트래킹에 의한 화재 발생후 변압기용 부싱의 모습은 그림 6과 같다. 그림 6에서 보는 바와 같이 절연커버 소손시 발생하는 아크 및 열로 인한 부싱 애관이 소손됨을 확인할 수 있었고, 그에 따른 영향으로 부싱의 절연내력 저하로 설비의 안전성에도 영향을 미침을 알 수 있었다

트래킹에 의한 절연파괴 후 절연커버에 화재가 발생하였을 때 순간화염은 그림 7과 같이 나타났

다. 절연커버에서 발생한 화염은 커버를 중심으로 좌우 방향으로 55 ~ 70[mm] 발생되었고, 상방향 쪽으로 360[mm]까지 불꽃이 올라가는 것을 확인할 수 있었다



그림 6. 소손된 부상.



그림 7. 불꽃확산.

4. 결 론

이상과 같이 변압기용 고무 재질 절연커버의 오손에 의한 소손 메커니즘, 구조적 결함, 애자 손상과 특성변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 절연커버의 소손 메커니즘을 분석한 결과, 초기 미소 발광방전은 절연커버 상단에서 시작되었고, 초기 불꽃방전이 발생하지 않도록 절연커버 상단의 모선 인출부분을 절연테이프 등을 이용해 방수처리할 경우 사고 예방에 효과적임을 알 수 있었다.

2) 절연커버의 구조적 결함을 분석한 결과 내부의 전선 접속 충전부와 절연커버가 접촉되어 소량의 도전성 이물질이 표면에 축적되었을 경우에 쉽게 절연파괴가 발생해 화재로 이어질 수 있음을 확인하였다. 또한, 커버의 외형이 직각의 구조로 외부에 도전성 물질이 쉽게 축적되어 절연내력을 저하시키는 원인으로 작용할 수 있음을 알 수 있었다.

3) 절연커버의 절연파괴시 발생한 아크 및 열로 인한 부상 애관의 소손을 확인할 수 있었고, 그에 따른 영향으로 부상의 절연내력 저하로 애자의 안전성에도 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

4) 절연커버에서 발생한 불꽃의 길이는 절연커버를 중심으로 좌우 방향으로 55~ 70[mm] 발생되었고, 상방향 쪽으로 360[mm]까지 불꽃이 올라가는 것을 확인할 수 있었다.

이와 같이 감전방지를 위해 사용하는 절연커버

는 해안가 및 공장지역, 패키지형 수·변전설비의 경우 설비 상호간 이격거리가 적기 때문에 절연커버로 인한 2차 파급사고로 이어질 가능성이 높음을 알 수 있었고, 감전보호 측면뿐만 아니라 설비 보호 측면에서도 절연커버의 구조적 개선과 더불어 분진 등 이물질이 항상 존재하는 열악한 장소에서는 난연성 기능의 추가와 외형의 구조적 개선이 선행되어야 할 것이다. 그리고 관련 규정의 보완이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 한기봉 외 2, "22.9kV에서의 감전위험성 연구", 한국전기안전공사, pp.11~33, 2002
- [2] 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, pp.73~115, 2001
- [3] C.S. Choi, "The Pattern Analysis of Deterioration of Stranded Wire by Mechanical Stress", Proceeding of the KIFSE Autumn Conference 2003, pp.99-104, 2003
- [4] ASTM D 2303-90, Standard Test Method for Liquid-Contaminant, Inclined-Plane Tracking and Erosion of Insulating Materials, ASTM
- [5] J. M. Nahman, "Assessment of the risk of fatal electric shocks inside a substation and in nearby exposed areas", IEEE Trans. Power Delivery Vol. 5, pp.1794~1801, 1999
- [6] A. M. G. Minto, "Some aspects of precautions against electric shock and earth faults in electrical installations", Third International Conference on IEMSS, pp.36~41, 1988
- [7] C.S. Choi, "A Study on the Fire Hazard Characteristic of the Insulation Cover which is used in 22.9 kV Class Temporary Power Installatio", Proceeding of the AOS sixth, pp.711-716, 2004