

22.9kV 수전설비에 사용되는 절연커버의 화재위험성

김향곤, 길형준, 한운기, 최충석
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

Fire Hazard of Insulation Cover used at 22.9kV Class Power Receiving System

Hyang-Kon Kim, Hyoung-Jun Gil, Woon-Ki Han, Chung-Seog Choi
Electrical Safety Research Institute attached to KESCO

1. 서 론

경제성장과 더불어 대용량 전력설비의 증가로 전기에너지의 사용량이 매년 급증하고 있으며 앞으로도 전기사용량은 더욱 늘어날 것으로 전망된다. 이와 같이 전기에너지는 우리의 일상생활에서 없어서는 안 될 중요한 역할을 하고 있음에도 불구하고 작업자의 과실, 사용자의 부주의, 시설의 노후, 제품자체의 결함 등으로 화재나 감전사고, 설비사고를 유발하여 막대한 인명피해와 재해피해를 가져오고 있다. 2003년도 우리나라 전기재해 통계에 의하면 화재는 총 32,966건으로 그중 전기화재는 11,202건으로 34.0%를 차지하였다. 전기화재의 발생원인으로는 합선(단락), 과부하(과전류), 누전 순으로 많았다.¹⁻³⁾

22.9kV 수전설비에 있어 노출충전부로부터의 전격재해의 예방을 위하여 절연커버가 사용되고 있으며 사용 여건상 한번 설치되면 소손 또는 파피가 일어날 때까지 사용된다. 따라서 염분, 분진 등 이물질이 존재하는 열악한 환경에 장시간 노출되더라도 내아크성, 내후성 및 내열성 등에 우수한 특성을 갖도록 설계되어야 한다. 특히, 전력계통의 급격한 증가로 인한 전력수급지역의 팽창으로 해안지역, 공장지역 등 열악한 환경에서는 염해, 분진, 산성우, 자외선 등의 복합적인 영향에도 안정된 특성을 유지하도록 재질의 보완이 요구된다.

본 연구에서는 22.9kV 수전설비인 변압기와 계기용변성기(MOF)에 사용되는 절연커버의 현장실태 분석과 절연열화에 의한 화재진행 과정 및 화재위험성에 대하여 연구하였다. 향후, 고속카메라에 의한 절연파괴 진행과정과 물성분석 등을 통하여 감전사고, 화재, 설비사고 등 전기재해 예방을 위한 절연커버의 구조 개선 및 성능 향상과 관련 제도의 개선에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

2. 현장실태 분석

표 1은 22.9kV 수변전설비의 구성방식을 조사한 것이다. 현장실태조사는 경기도와 강원 지역으로 한정하였으며 총 조사수용가는 15,489호로 이중 91.6%에 해당하는 14,185호가 약식설비를 채용하고 있었다. 약식설비를 채용한 수용가 중 H변대는 5,789호(40.8%), 옥외 옥상설비는 3,423호(24.1%), 옥내 지하설비는 2,403호(16.9%)의 순으로 나타났다. 정식설비는 1,304호가 채용하고 있었으며 이중 지하와 구내를 포함한 옥내 설치는 946호(72.5%)로 나타났다. 여기서 약식설비는 78.7%가 옥외 및 H변대에 설치되어 있는 반면 정식설비는 72.5%가 옥내에 설치되어 있음을 알 수 있었다.

표 1. 수변전설비의 구성방식 조사결과

구 성 방 식			호 수	점유율(%)
약 식	옥 내	지 하	2,403	16.9
		구 내	622	4.4
	옥 외	지 상	1,948	13.8
		옥 상	3,423	24.1
	기 타	H변대	5,789	40.8
	소 계			14,185
정 식	옥 내	지 하	645	49.5
		구 내	301	23.1
	옥 외	지 상	292	22.4
		옥 상	66	5.0
	소 계			1,304
총 계			15,489	100

표 2는 22.9kV 수변전설비의 노출충전부 절연처리 현황을 조사한 결과이다. 전기재해 통계에 의하면 감전사고는 주로 모선과 변압기에서 발생하는 것으로 나타났으며, 실태조사 결과에서도 모선의 경우 전체 절연처리는 51.3%, 일부절연처리는 26.3%로 나타났다. 변압기의 경우 72.3%가 절연처리를 하였으며 MOF의 경우 89.6%가 절연처리를 한 것으로 집계되었다. 반면, 컷아웃스위치(COS)와 피뢰기(LA)는 각각 29.8%와 28.3%만이 절연처리를 한 것으로 나타나 전기재해 예방을 위해 설비의 절연보완이 요구된다.

표 2. 22.9kV 설비별 노출 충전부 절연처리 현황

설비별 절연처리	모선			변압기		COS	
	전체	일부	무	유	무	유	무
수용가(호수)	7,950	4,077	3,462	11,199	4,290	4,614	10,875
점유율	51.3%	26.3%	22.4%	72.3%	27.7%	29.8%	70.2%
조사대상 : 15,489 수용가				LA		MOF	
				유	무	유	무
				4,389	11,100	13,876	1,613
				28.3%	71.7%	89.6%	10.4%

3. 실험방법

그림 1은 고분자 절연재료의 오손에 의한 절연파괴 진행과정을 나타낸 것이다. 염분, 먼지, 수분 등에 의해 표면이 오염되면 표면에 누설전류가 흐르게 되며 줄열에 의해 수분이 증발되어 건조대가 형성된다. 이러한 과정이 반복되면 미소발광방전이 일어나 표면은 침식된다. 점차 절연재료가 도전화되어 전기의 통로가 형성되고 절연파괴가 일어나게 된다. 이러한 과정을 트래킹 현상이라고 하는데 트래킹에 의한 절연커버의 소손 현상은 절연커버 표면에 습기나 수분, 염분, 도전성 물질 및 섬유질 먼지 등이 부착된 후 오염된 표면을 타고 누설전류가 흘러 불꽃방전에 의해 절연물이 탄화되면서 서서히 트래킹 또는 화재로 진전되는데, 그 변수가 다양하여 재현실험을 하는데 많은 어려움이 있다^{4,7)}.

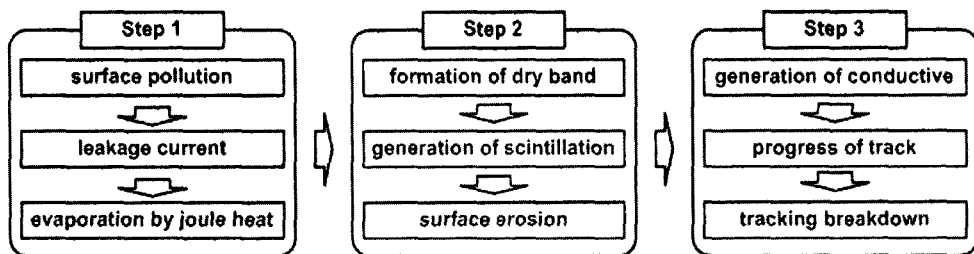
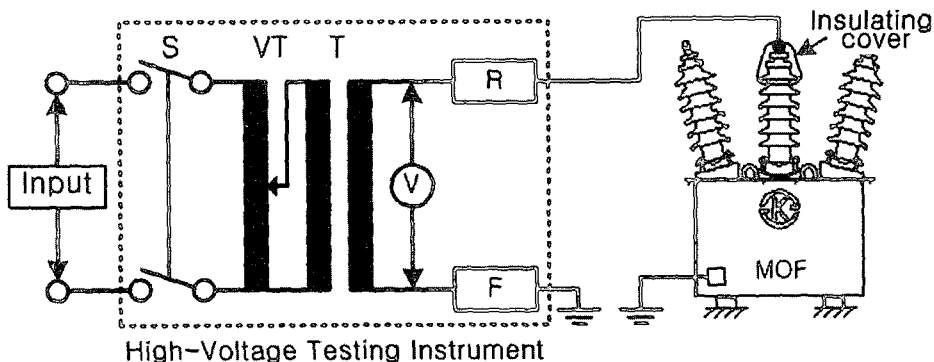


그림 1. 고분자 절연재료의 절연파괴 진행과정

그림 2는 MOF용 절연커버의 절연열화에 의한 화재위험 실험회로를 나타낸 것이다. 열악한 현장 사용환경과 유사한 조건에서 절연불량에 의한 수번전설비용 절연커버의 화재위험성을 재현실험 함으로써 그 열화진행 과정 및 위험요소를 분석하고 화재 및 설비사고로의 파급 가능성을 입증하고자 한다. 본 실험에는 고무재질의 변압기용 절연커버와 아크릴재질의 MOF용 절연커버가 사용되었으며 이를 부싱위에 설치한 후 절연내력시험기(DEC-PI00K, Dawha Eng., Korea)을 이용하여 현장설비의 조건과 동일한 13.2kV를 OC전선

상단 동선과 부상의 그라운드(접지)단자 사이에 인가하였다. 절연커버의 설치 환경에 의한 소손특성을 실험하기 위하여 오손액으로 3%의 NaCl 수용액을 사용하여 절연커버와 부상부에 고르게 분사하였다. 이때 시간의 경과에 따른 절연파괴 진행과정을 관측하였으며, 절연파괴에 의한 화염의 확산 경향을 분석하였다.^{8,9)}



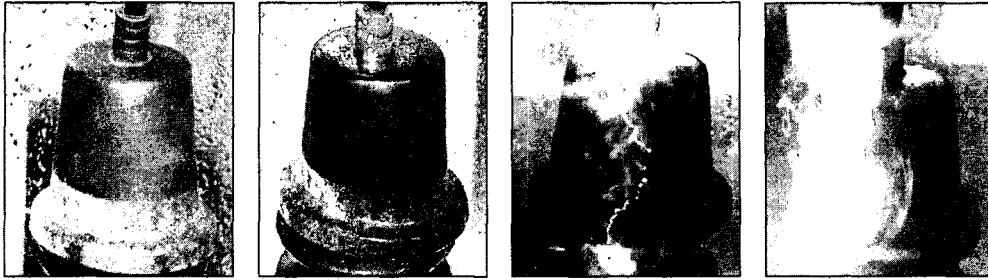
High-Voltage Testing Instrument
 S : Power supply switch, VT : Variable ratio transformer
 T : High-voltage transformer, R : Series resistor
 V : Voltmeter, F : Over current device, fuse or relay

그림 2. MOF용 절연커버의 절연열화 실험회로

4. 실험결과 및 고찰

4.1 변압기용 절연커버의 화재위험성 분석

그림 3은 고무재질의 변압기용 절연커버의 절연파괴에 의한 화재위험성을 재현한 것이다. 절연커버 외부에서 지속적인 트래킹 과정을 반복하다가 절연커버가 화재로 이어지는 과정을 순차적으로 나타냈다. 변압기용 절연커버는 그림 3(b)와 같이 절연커버의 상단과 하단에서 초기 미소발광방전(scintillation)이 발생하고 시간이 경과한 후 절연커버의 상단과 하단사이에 그림 3(c)와 같이 도전로가 형성되어 그림 3(d)와 같이 화재로 이어짐을 확인할 수 있었다. 이 실험을 통하여 초기 미소발광방전이 발생하는 절연커버 상단과 하단 부분에서 절연열화가 발생하지 않도록 절연커버 상단의 방수처리와 절연커버의 제작 규정의 마련이 필요함을 확인할 수 있었으며 고무재질의 특성상 일단 착화되면 자기 소화되지 않아 전체설비로의 파급 사고 및 화재 확대의 우려가 있어 불연성 또는 난연성 재료의 적용 등 이에 대한 대책이 요구된다.

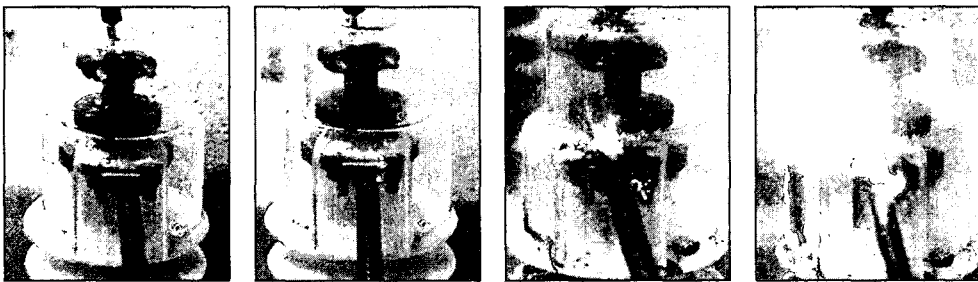


(a) normal (b) scintillation (c) breakdown (d) fire

그림 3. 변압기용 절연커버의 화재 발생과정

4.2 MOF용 절연커버의 화재위험성 분석

그림 4는 아크릴재질의 MOF용 절연커버의 화재발생 과정을 순차적으로 나타낸 것이다. 초기 미소발광방전이 시작된 부분은 그림 4(b)와 같이 OC전선 1차측 인입부분과 2차측 인출부분, 절연커버 하단 부분임을 알 수 있다. 이 중 미소발광방전에 의해 가장 먼저 착화된 부분은 OC전선 2차측 인출부분으로 나타났다. 이는 볼트 단자대와 절연커버 사이의 이격거리가 다른 부분에 비해 짧을 뿐만 아니라 볼트 단자대 위에 절연커버가 항상 접촉되어 있는 부분으로 구조적으로도 이물질의 축적 가능성이 높다. 이 실험을 통하여 감전보호와 화재예방 측면뿐만 아니라 설비보호 측면에서도 MOF용 절연커버의 구조 개선이 절실히 요구됨을 확인할 수 있었다.



(a) normal (b) scintillation (c) breakdown (d) fire

그림 4 MOF용 절연커버의 화재 발생과정

5. 결론

이상과 같이 22.9kV 수변전설비의 절연커버의 현장사용실태 및 화재위험성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 22.9kV 수변전설비의 구성방식을 조사한 결과, 조사대상의 대부분이 약식설비(91.6%)를 사용하고 있었으며 약식설비 중 옥외 및 H변대를 사용한 방식이 전체의 78.7%를

차지하였다. 반면에 정식설비의 경우 옥내의 지하 및 구내에 설치한 경우가 72.5%를 차지하였으며 설치환경 및 조건에 따라 설비의 영향은 많은 차이가 있을 것으로 판단된다.

- 2) 노출 충전부의 절연처리 실태를 조사한 결과, 모선의 경우 전체절연은 51.3%로 나타났으며, 변압기와 MOF의 경우 각각 72.3%, 89.6%가 절연처리 한 것으로 집계되었다. 그러나 COS와 LA는 각각 29.8%, 28.3%만이 절연처리를 한 것으로 나타나 감전 및 화재 등 전기재해 예방을 위한 설비의 절연보완이 요구된다.
- 3) 변압기용 절연커버의 절연열화에 의한 화재위험성을 실험한 결과, 절연커버 상단과 하단에서 미소발광방전이 발생하여 점차 전체로 확대되어 절연커버가 착화됨을 알 수 있었다. 또한, 재질의 특성상 자기 소화가 되지 않아 사고 파급의 축소를 위하여 불연성 또는 난연성 재질의 적용이 요구된다.
- 4) MOF용 절연커버의 절연열화에 의한 화재위험성을 실험한 결과, OC전선 1차측, 2차측 인입부분 및 절연커버 하단부에서 미소발광방전이 발생하였으며 가장 먼저 착화된 부분은 절연커버의 2차측 인출부분으로 나타났다. 이는 MOF의 구조적인 특성상 볼트 단자대와 절연커버의 이격거리가 다른 부분에 비해 짧을 뿐만 아니라 절연커버가 항시 볼트 단자대와 접촉하고 있는 부분으로 이물질의 축적 가능성이 상대적으로 높기 때문으로 판단된다. 따라서 감전, 화재, 설비사고의 예방을 위해 절연커버의 구조적 개선이 요구된다.

향후, 고속카메라 등을 이용하여 조건별 절연파괴 진행과정과 물성분석을 통하여 전기재해 예방에 기여하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부(MOCIE) 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 한국전기안전공사, "전기재해 통계분석", pp.7-84, 2003.
2. 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, pp.81-127, 2004
3. Andrews, J. J., Marshall, J. A., "A detailed investigation of an electrical shock and burn injury", IEEE., Industrial and commercial power systems Technical Conference, pp. 143-154, 1998.
4. Nahman, J. M., "Assessment of the risk of fatal electrical shocks inside a substation and in nearby exposed areas", IEEE Trans., Industry Applications, pp. 911-922, 1998.
5. Wang Ruzhang, Huang Weishu, yin Goxiang, "A testing research on composite air clearance for live line working on 500kV DC transmission lines", ESOM, pp. 183~189, 1995.

6. Chung-Seog Choi, et al, "A study on the characteristics of tracking deterioration between electrodes on phenolic resin used for low voltage", KIEE, The international Conference on Electrical Engineering Proceedings, pp. 1135-1138, 2002.
7. 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.
8. IEC Pub 1. 112, "Method for determining the comparative and the proof tracking indices of solid materials under moist conditions", 3rd edition, 1979.
9. ASTM D 2303-90, Standard Test Method for Liquid-Contaminant, Inclined- Plane Tracking and Erosion of Insulating Materials, ASTM