

MOF용 절연커버의 성능개선에 관한 연구

한기봉, 이대중, 한운기
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

The study on the improvement of MOF insulating cover

Ki-Boong Han, Dae-Jong Lee, Woon-ki Han
Electrical Safety Research Institute

Abstract - MOF insulating cover used in 22.9 kV substation hasn't shown good performance in terms of electrical safety because of its defect by short clearance MOF cover and each input and output wire junction part. The MOF cover is easily moved by outside environment as wind or rain weather because of different size MOF cover and insulating busing, also can be led to breakdown by tracking. Therefore, we propose MOF cover which effectively prevents from electrical accidents in this paper. To decrease the electric field concentrated on specific part, we roundly design the shape of MOF cover and clearance between cover and live part was adjusted to be longer than before. The proposed MOF cover is evaluated by using the electric field solution program.

1. 서론

22.9kV 수변전설비의 노출 충전부로부터 인체 및 설비사고를 방지하기 위하여 변압기, COS, PF, MOF 등 여러 종류의 절연커버가 사용되고 있다. 이 중에서 MOF용 절연커버는 도전방지를 위하여 관련규정에 의거 MOF 부상 상단에 전선 인입부 및 인출 단자부가 일체로 이루어진 충전부를 투명한 절연커버로 씌우도록 하고 있다. 이러한 MOF용 절연커버는 도전방지 목적 외에 감전보호 기능으로서의 기능도 매우 중요하다. 그러나, 현재 사용중인 MOF용 절연커버는 전선 인입부 접속부분과 절연커버간의 이격거리뿐만 아니라 전선 인출부 접속부분과 절연커버와의 이격 매우 짧아 다른 부분에 비해 섬락에 의한 사고위험성을 높다는 점이다. 또한, MOF 부상 애관과 절연커버간의 크기 차이로 인하여 절연커버가 바람 또는 기타 외부 요인에 의해 유동이 발생하며, 그로 인하여 분진 등 이물질이 절연커버 내부로 쉽게 침입하여 부상 및 절연커버의 절연내력을 저하시킨다. 그리고 절연커버가 단자대 전극의 노출 충전부 상단에 항상 접촉되어 있어 자외선 및 외부 영향에 의해 절연커버가 손상된 경우 섬락거리가 짧음으로 각별한 주의가 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 위에서 지적된 많은 구조적 문제점을 지니고 있는 MOF용 절연커버가 감전보호 측면에서 어느 정도 효과가 있는가를 실험을 통하여 분석하고, 그 실험결과를 토대로 노출 충전부로부터 효과적으로 감전재해를 예방할 수 있는 MOF용 절연커버를 설계 및 제안하고자 한다.

2. 실험 방법

MOF용 절연커버의 문제점 및 개선안을 도출해 내기 위하여 실제 사용상태에서의 절연커버 전기안전성을 실험을 통하여 분석한 후, 문제시 되는 부분을 보완 및 개선하여 전기안전 측면으로도 우수한 효과를 발휘할 수 있는 절연커버를 제시하고자 하며, 제시된 절연커버는 전계해석 프로그램인 MAXWELL을 통하여 검증하고자 한다. 이를 위해 우선 그림 1에서는 산업현장에 사용되고 있는 절연커버를 대상으로 실험장치를 구성한 후 전기안전성을 분석하였다.

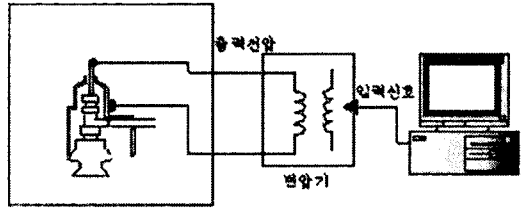


그림 1. 섬락실험 장치

그림 1에서 보는 바와 같이 실제 사용현장과 동일하게 MOF 부상 및 절연커버를 설치한후 부상단자대의 충전부와 절연커버 간에 전압을 1[kV/sec]로 섬락이 일어날 때까지 상승시켰으며, 섬락이 발생된 전압을 측정하여 전기 안전성을 평가하였다. 여기서, 인체가 접촉되었을 경우를 가정한 절연커버의 접촉부위는 그림 2에서 보는 바와 같이 구조적인 문제점으로 지적된 감전위험성이 높은 전선 인입부분(A)과 인출부분(C)과 그리고 먼지 등의 이물질 축적 가능성이 높은 중간부위(B)와 하단부위(D)로 구분하여 측정하였다. 여기에 사용된 MOF 절연커버는 그림 3에 나타냈으며, 접촉전극으로는 직경 15mm인 등근 테 모양의 도체로 접촉부위를 중심으로 인체가 접촉되는 상황과 동일한 압력으로 원형 설치하여 측정된 섬락 전압은 모든 방향에 대한 최소 섬락전압을 나타내도록 하였다.

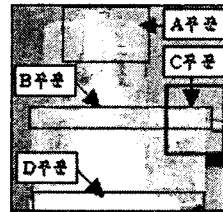
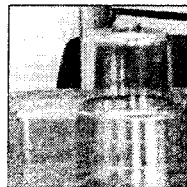
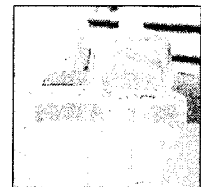


그림 2. MOF용 절연커버의 구조적 문제점



(a) 절연커버(1)



(b) 절연커버(2)

그림 3. 사용된 절연커버 및 접촉전극의 접촉부위

동일한 실험에 대한 실험횟수는 감전사고에 대한 안전 측면을 고려하여 10회 이상 측정하였고, 섬락이 발생한 값 중 최저치를 기준으로 사용하였다. 다각적으로 MOF의 전기안전성 분

석하기 위하여 정상상태뿐만 아니라 감전위험도가 높은 환경, 즉 우수기의 경우에 대해서도 동일한 실험을 병행하였다. 이를 위해 그림 1의 실험장치의 시료 상단으로부터 400mm의 높이에서 가량비 조건과 흡사한 5ml/min의 수돗물을 시료위에 균등하게 분사하였고, 시료에 전압이 인가되는 시점은 물의 분사가 시작된 1분 후에 전압을 인가하여 섬락되는 전압을 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1 정상상태에서 접촉부위별 섬락특성

그림 4에 MOF용 절연커버의 종류별, 접촉부위별 절연파괴전압을 비교·분석하여 나타냈다. 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 MOF용 절연커버 중 절연파괴전압이 낮은 부분으로는 전선인입부분(A)과 인출부분(C)으로 나타났고, 먼지 등의 이물질의 축적 가능성이 높은 중간부위(B)는 상대적으로 높은 절연파괴전압을 보였다. 각각의 접촉부위별로 절연파괴특성을 살펴보면, 접촉부분 A에서 절연커버 1번은 절연파괴전압이 12kV, 절연커버 2번은 14kV로 매우 낮은 절연파괴전압을 보였으며, 접촉부분 C에서는 절연커버 1번 시료가 8.9kV로 절연커버 2번 시료보다 12kV 낮게 나타났다. 접촉부분 B에서는 절연파괴전압이 30kV 이상 높게 나타났고, 접촉부분 D에서는 1, 2번 절연커버 모두 25kV로 동일한 절연파괴전압을 보였다. 위에서 살펴본 바와 같이 제조사별, 접촉부위별로 절연파괴전압을 살펴본 결과 MOF용 절연커버 1번 시료인 경우 최소 8kV(접촉부위 C부분), 절연커버 2번 시료인 경우 14kV(접촉부위 A부분)로 나타나 정상적인 상태에서 절연커버를 사용하였다 하더라도 MOF의 노출 충전부로부터 감전채해를 완전하게 예방할 수 없기 때문에 이 부분에 대한 구조변경이 시급한 실정이다.

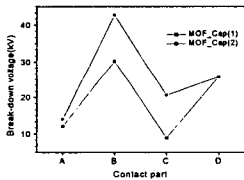


그림 4. 접촉부위별 섬락전압

3.2 우수기 조건하에서의 접촉부위별 섬락특성

그림 5에 MOF용 절연커버 부근에 빗물을 분사한 상태에서 각각의 접촉부위별 절연파괴전압을 비교·분석하여 나타냈다. 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 접촉부분 A에서는 절연커버 모두 1.5kV 이하에서 섬락이 발생하였고, 접촉부분 D도 4kV 이내에서 섬락이 발생하였다. 섬락전압이 가장 높게 나타난 부위는 절연커버 2의 B부분으로 8.5kV로 나타나 빗물이 내리는 우수기에는 어떤 부분에 접촉되더라도 감전채해로 이어질 가능성이 높음을 알 수 있다.

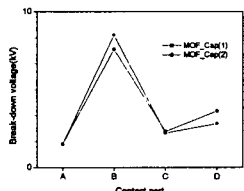
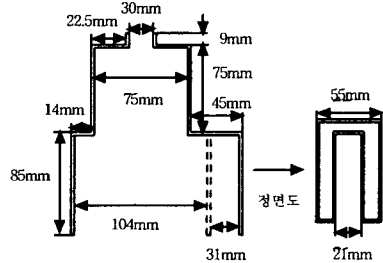


그림 5. 우수기의 접촉부위별 절연파괴전압(MOF)

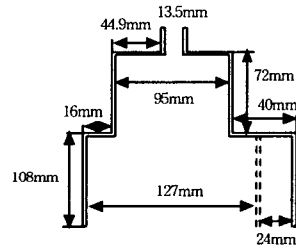
3.3 개선된 MOF용 절연커버의 설계 및 검증 실험결과, MOF용 절연커버인 경우 정상상태라 할지라

도 감전보호 측면에서 효과적인 결과를 얻을 수 없으며, 따라서 구조적으로 개선할 필요성이 있음을 확인하였다. 이를 위해 절연커버와 전극간의 이격거리 등에 따른 전계분포 특성을 전계해석 프로그램인 MAXWELL을 이용하여 해석하고 그 결과를 바탕으로 효과적인 MOF의 구조 개선(안)을 제시하고자 한다.

MOF용 절연커버 개선 모델 설계를 위한 과정은 우선적으로 그림6-(a)에 나타난 기존 제품의 전계분포도 분석을 통하여 문제점을 분석한 후 개선후의 모델은 변압기 절연커버의 실험결과를 토대로 하여 그림 6-(b)에 보인 바와 같이 첨예한 단자대 극으로부터 20mm의 이격거리가 발생하도록 설계하였다. 그리고 MOF용 절연커버의 구조적 문제점을 보완한 후 마지막으로 개선 후 모델의 설계(안)를 제시하고자 한다.



(a) 기존 절연커버의 사양



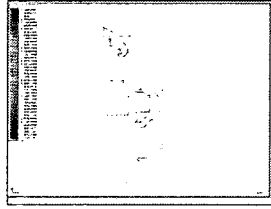
(b) 개선후의 절연커버 사양

그림 6. 개선 전·후의 절연커버 사양

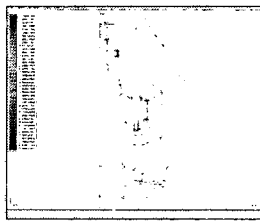
그림 6에 나타난 모델을 근거로 하여 전계분포도를 분석한 결과 개선전 모델인 경우, 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 MOF용 절연커버의 최대전계값을 보인 부위는 1차측 단자접속부분으로서 최대전계값이 10.812MV/mm를 나타냈지만, 개선 후 모델에서는 최대전계값이 3.590MV/mm로 66.8%의 최대전계값 감소를 나타냈다. 그림 8에서는 MOF용 절연커버의 개선전·후 모델의 내부 표면에서 받는 전계 스트레스의 분석 결과를 나타냈다. 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 개선전 모델인 경우, 절연커버 내부중 1차측 단자접속부에 가장 가까운 부근에서 전계적 스트레스를 집중적으로 받는 것을 확인하였고, 그 때의 전계값은 451kV/mm로 나타났다. 개선후 모델인 경우 개선전 모델과 동일하게 1차측 단자접속부에 가장 가까운 부근에서 가장 큰 전계적 스트레스를 받지만, 그 때의 전계값은 288kV/mm로 나타나 개선전과 비교하여 절연커버 내부에서 받는 전계적 스트레스가 36.1% 감소되었음을 알 수 있다.

MOF용 절연커버의 개선모델을 나타낸 그림 7 및 8에서 알 수 있는 바와 같이 최대 전계값 및 절연커버 내부에서 받는 전계 스트레스는 급격한 감소를 나타냈지만, 분진 등의 이물질이 축적될 가능성이 높은 직각 형태로 되어 있고, 또한 OC전선 2차측 인출부분은 어떠한 방호처리가 되어 있지 않아 이물질 유입 및 감전보호 측면에도 구조적으로 문제점을 내포하고 있다. 이를 해결하기 위하여, 그림 9-(a)에 나타난 바와 같은 직각 형태를 그림

9-(b)와 같이 라운드 처리한 MOF용 절연커버를 제안한다. 그림 9에서 알 수 있듯이 직각 부분을 이물질의 축적이 최소화 되도록 완만하게 곡선처리 하였으며, 특히 이물질 및 우수 침입 가능성이 매우 높은 OC전선 2차측 인출부분에 그림 9-(b)에 나타낸 바와 같이 덮개를 추가로 설계하였다.



(a) 기존 절연커버



(b) 개선된 절연커버

그림 7. MOF용 절연커버의 개선 전후 전계분포도

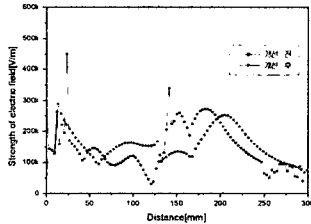
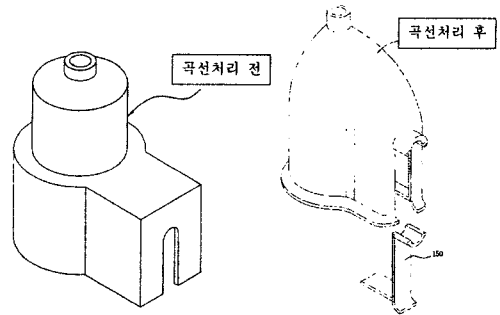
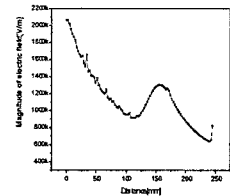


그림 8. MOF용 절연커버 내부에서 받는 전계 스트레스

그림 9-(b)에 나타낸 절연커버의 전계분포특성을 알아보기 위하여 MAXWELL을 이용하여 분석한 결과를 그림 10에 나타냈다. 그림 10(a)에서 보는 바와 같이, 구조적 문제점 개선 후 MOF용 절연커버의 최대전계값을 나타내는 부위는 1차측 OC전선 단차대 부분으로 최대전계값이 2.862MV/mm를 나타냈다. 이러한 최대전계값은 기존 제품에 비해 73.5% 최대 전계값 감소를 나타냈으며, 더욱이 곡선처리전의 1차 개선모델과 비교해 보아도 20.2%의 최대전계값 감소효과를 나타냈다. 그림 10-(b)에서는 구조적 문제점 개선후 절연커버의 내부에서 받는 전계 스트레스의 분석결과를 나타냈다. 그림 10-(b)에서 알 수 있듯이 절연커버의 전선 인입부분에서 전계적 스트레스를 가장 크게 받는 것으로 나타났으며, 그 때의 전계값은 206kV/mm이다. 이러한 전계값은 기존모델의 전계값 451kV/mm와 비교해 볼 때 54.3% 감소하였고, 곡선처리하기전의 1차 개선모델과 비교해 볼 때, 28.5%의 전계값 감소효과를 보였다. 따라서, 그림 9-(b)에 제안한 MOF용 절연커버 모델은 OC전선 1차측 인입부분과 2차측 인출부분의 OC전선과 절연커버 사이에 절연전선 등을 이용하여 방수처리 할 경우, 절연커버의 유통이 극히 적어 질 뿐만 아니라 습도 및 우수에 의한 감전 위험 요인도 감소하여 감전재해 예방에 탁월한 효과가 있을 것이다.



(a) 기존 절연커버 (b) 구조적 문제점 개선 모델
그림 9. 기존 모델과 구조적 문제점 개선후 모델



(a) 전계분포도 (b) 내부에서 받는 전계 스트레스
그림 10. 구조적 문제점 개선후의 전계분포도 및 전계 스트레스

4. 결 론

현재 제작되고 사용중인 MOF용 절연커버의 전기 안전성을 평가하기 위하여 접촉부위별 절연과피실험을 한 결과 정상적인 사용상태에서도 최소 파괴전압이 8kV로 나타나 감전보호측면에서 많은 문제점이 있음을 확인하였다. 더욱이 우수기인 경우 최대 8.5kV 이하에서 절연과피가 일어나 절연커버의 어느 부분을 접촉하더라도 감전으로 이어질 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 구조적인 문제점을 지니고 있는 MOF용 절연커버를 감전보호도 결합 수 있도록 설계하였다. 설계된 MOF용 절연커버의 전기안전성을 평가하기 위하여 전계해석 프로그램인 MAXWELL을 이용한 전계분포 해석결과, 최대전계값은 기존 제품에 비해 73.5% 감소, 절연커버 내부에서 받는 전계 스트레스는 54.3% 감소효과를 보여 기존 제품에 비하여 우수한 성능을 나타냈다. 향후 제안된 MOF용 절연커버를 현장에 적용하여 감전사고를 최소화하는데 이바지 하고자 한다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 대한전기협회, 전기관계명령집, 1997.
- [2] 김두현 외 5, 전기안전공학, 도서출판 동화기술, 1998, pp.175~200.
- [3] 한국전기안전공사, 전기체통계분석, 1997, 1998, 1999.
- [4] Mohla, D., McClung, L. B., Rafferty, N. R., "Electrical safety by design", IEEE, Petroleum and Chemical Industry Conference, pp. 363-369, 1999.
- [5] Virr, L. E., "Increased electric shock risk underwater due to electrode configuration and insulating boundaries", IEE Proc., Computers in Cardiology, pp. 261-268, 1990.
- [6] Parise, G. Grasselli, U., "Simplified conservative measurements of touch and step voltages", Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, pp. 1-6, 1999.