

자기소호형 고역전압을 필름콘덴서 개발 및 적용

이병윤, 정진교, 이우영, 박경열

한국전기연구원

Development of Self-healing Type Film Capacitor with High-voltage Reversal Factor and Its Application

Byeong-Yoon Lee, Jin-Kyo Chong, Woo-Young Lee, Kyong-Yop Park

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 전력용 차단기의 성능 평가시 험용 설비인 간이합성시험설비의 안전성과 신뢰성을 향상시키기 위해 새롭게 설계 및 제작하여 성능평가시험을 통해 개발한 고역전압을 가진 자기소호형 필름콘덴서를 소개하고, 이것을 적용한 새로운 간이합성시험설비용 전류원 콘덴서뱅크 구조를 제안하고자 한다.

1. 서 론

차단기의 차단성능을 적은 비용으로 간이적인 방법으로 시험하기 위한 간이합성시험설비가 국내에 처음 도입된 것은 1990년대 초반이었다. 그로부터 10여년이 흐른 2000년대 초반부터 국내의 중전기기 제작사들은 자사의 제품에 대한 연구 및 개발 능력을 향상시키기 위하여 간이합성시험설비를 도입하기 시작했고 2004년을 끝으로 거의 보급이 완료되었다.

간이합성시험설비는 크게 차단기에 차단전류를 공급하기 위한 전류원부와 전류 차단 후에 차단기 극간에 발생하는 과도회복전압을 모의하기 위한 전압원부로 구성되어 있으며 전류원부와 전압원부를 구성하는 핵심 기기는 전류원 콘덴서뱅크와 전압원 콘덴서뱅크이다. 전류원 콘덴서의 단위 콘덴서로서는 폴리프로필렌과 같은 플라스틱필름을 유전체로, 알루미늄 재질의 금속박막을 전극으로 이용한 박막전극형 필름콘덴서가 주로 사용되어 왔다. 단위콘덴서의 정격전압은 11kV, 정격정전용량은 150 μ F, 역전압율은 약 90%이며 전류원 콘덴서뱅크는 요구되는 전류 크기에 따라 이 단위콘덴서들을 병렬로 연결하여 구성하고 있다.

그런데, 간이합성시험설비 운전 중에 전류원 콘덴서뱅크에서 절연파괴 사고가 수 차례 발생하여 설비 운영에 지장을 초래할 뿐만아니라 절연파괴시 발생한 콘덴서의 폭발로 인해 설비 운전자 및 주변 작업자들의 안전을 심각하게 위협하고 있다. 이와 같은 사고가 발생할 경우를 대비하여 설비 운전자와 주변 작업자들의 안전을 확보하기 위해 전류원 콘덴서뱅크 주변에 보호용 펜스를 설치하고 있으나 이것은 근본적인 사고 방지 대책이 될 수 없다. 따라서 본 논문에서는 간이합성시험설비의 안전성과 신뢰성을 향상시키기 위해 새롭게 설계 및 제작하고 성능평가시험을 통해 개발한 고역전압을 가진 자기소호형 필름콘덴서를 소개하고, 이것을 적용한 새로운 전류원 콘덴서뱅크 구조를 제안하고자 한다.

2. 전류원 콘덴서 개발 및 콘덴서뱅크 설계

간이합성시험설비의 안전성과 신뢰성을 향상시키기 위해 전류원 콘덴서를 새롭게 개발하고 이를 적용한 전류원 콘덴서뱅크 역시 새롭게 설계했다. 기존의 전류원 콘덴서는 전극으로 알루미늄 박막을, 유전체로 폴리프로필렌을 그림 1의 (a)에 보인 것과 같이 겹쳐서 권취기로

권취하여 콘덴서 내부 소자를 제작하고 이것들을 직병렬로 결선한 후 콘덴서 케이스에 수납한 뒤, 진공합침 및 성능평가시험을 거쳐 제작된 소위 박막전극형 콘덴서이었다.

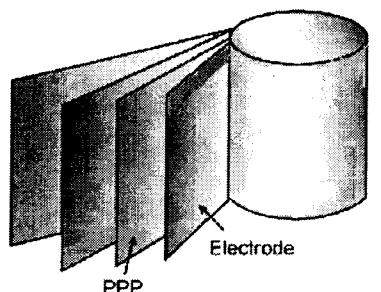
반면에 새롭게 개발된 콘덴서는 그림 1(b)와 같이 크래프트지 표면에 Al을 수백 A 두께로 전공증착하여 전극을 형성한 후, 폴라스틱 필름 유전체인 폴리프로필렌과 겹쳐서 권취기로 권취하여 콘덴서 내부 소자를 제작하고 이것들을 직병렬로 결선한 후 콘덴서 케이스에 수납한 뒤, 진공합침 및 성능평가시험을 거쳐 제작된 소위 금속증착전극형 콘덴서이다.

금속증착전극형 콘덴서의 가장 큰 특징은 그림 2에 도시한 바와 같이 자기소호(Self-healing)특성을 가지고 있다는 것이다. 이 것은 유전체 내부에 존재하는 결점 등으로 인해 절연내력이 낮아져서 사고가 일어나게 되면 사고점 주위의 얇은 증착 금속층이 증기화되어 사라지거나, 금속층이 산화되어 물성이 금속도체에서 절연물로 바뀌게 된다. 따라서 사고점을 통해 흐를 수 있는 최대 전류는 금속증착 전극에 의해 크게 제한되게 된다. 금속증착전극형 콘덴서의 경우 사고점을 통해 흐를 수 있는 전류는 자기소호가 일어나기 전에 통과한 콘덴서의 저장에너지의 극히 일부분뿐이므로 콘덴서는 재사용이 가능하며 실제로 이와 같은 절연파괴는 대용량 금속증착전극형 콘덴서의 경우 수명이 다할 때까지 수십만번까지 발생하는 경우도 있다. 그림 3은 고역전압율이 요구되는 간이합성시험설비의 전류원용 콘덴서로 사용하기 위해 금속증착전극 방식으로 개발된 콘덴서로, 정격전압은 2.75kV, 정격정전용량은 3.000 μ F, 그리고 역전압율은 90%이다. 표 1은 개발된 금속증착전극형 콘덴서의 수명 평가시험 조건을 운전조건 및 기존의 박막전극형콘덴서의 수명시험조건과 비교한 것으로, 방전주파수를 제외한 모든 조건을 운전조건과 일치하도록 설정하였다. 일반적으로 방전주파수의 경우는 높을수록 수명을 감소시키는 쪽으로 영향을 미치는 것으로 알려져 있기 때문에 시험 조건 측면에서는 오히려 기록하고 판단된다.

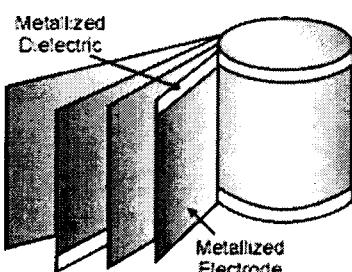
한편, 간이합성시험설비의 안전성과 신뢰성을 높이기 위하여 전류원 콘덴서의 전극방식을 변경함과 동시에 전류원 콘덴서뱅크를 재구성하였다. 서론에서 언급한 바와 같이 기존의 전류원 콘덴서뱅크의 경우 240대를 모두 병렬로 결선하여 사용하였으나, 새로운 전류원콘덴서뱅크의 경우 개발된 금속증착전극형 콘덴서 192대를 그림 4와 같이 4직렬 48병렬 구조로 변경하였으며 그림 5는 재배치된 전류원콘덴서뱅크의 전경 사진이다.

그림 6은 개발된 2.75kV, 정격정전용량은 3.000 μ F 4대를 직렬로 결선하여 11kV로 충전하고 표 1에 제시된 조건에 따라 충방전 수명시험을 수행하여 얻은 충전전압과 방전전류를 도시한 것이다. 총 10,000회의 충방전시험을 수행하였으며 시험 결과 콘덴서에는 아무런 문제도 발생하지 않았다. 그림 7은 금속증착전극형 콘덴서로 구성된 새로운 전류원콘덴서뱅크를 이용하여 차단기의 차단성능

시험을 실시하여 얻은 파형으로 고장전류가 성공적으로 차단되는 것을 확인할 수 있다.



(a) 박막전극형 구조



(b) 금속증착전극형 구조

그림 1. 콘덴서의 전극구조 방식

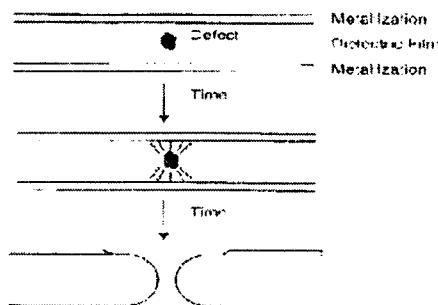


그림 2. 자기소호(Self-healing) 진행 과정

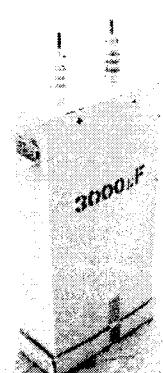


그림 3. 개발된 금속증착전극형 콘덴서(2.75kV 3,000 μ F)

표 1. 수명시험평가조건 비교표

구 분	운전조건	박막전극형 콘덴서	금속증착전극형 콘덴서
충전시간	300sec	60sec	300sec
유지시간	180sec	30sec	180sec
방전주파수	50Hz	1000Hz	720Hz
역전압율	90%	90%	90%
시험주기	300sec	1,020sec	300sec
시험횟수		10,000회	10,000회

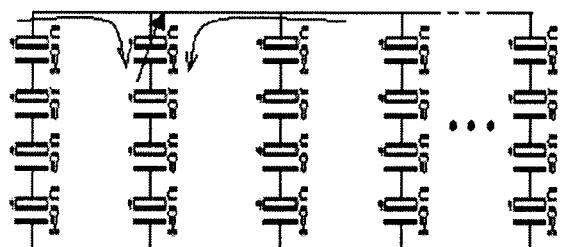


그림 4. 전류원 콘덴서 뱅크의 새로운 배치구조

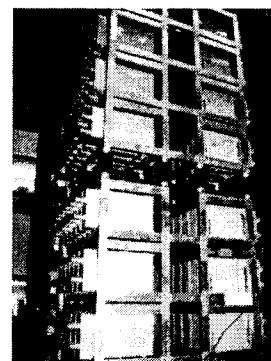


그림 5. 재배치된 전류원 콘덴서 뱅크 전경

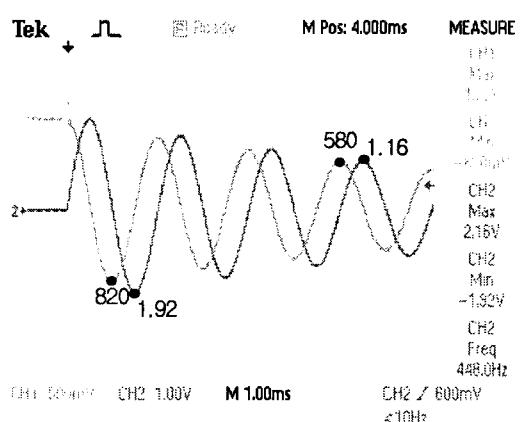


그림 6. 4직렬로 결선된 콘덴서 뱅크 충방전 시험 파형

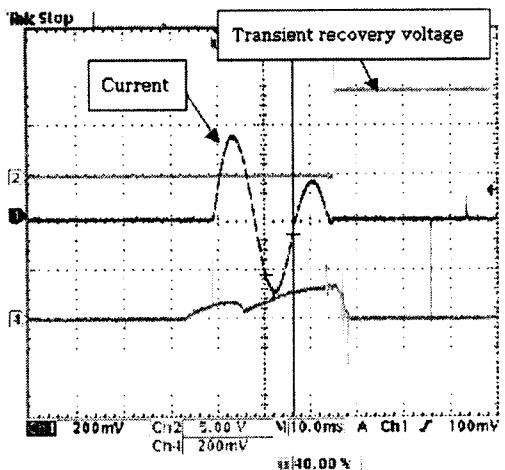


그림 7. 새로운 전류원콘덴서 뱅크를 이용한 시험 과정

3. 결 론

본 논문에서는 먼저, 알루미늄 박막전극형 필름콘덴서로 구성된 간이합성시험설비의 전류원 콘덴서 뱅크에서 발생한 절연파괴 사고를 방지하고 안전성과 신뢰성을 확보하기 위하여 두 가지 대책을 강구하였다. 첫 번째 대책으로는 전류원 콘덴서 뱅크용 단위콘덴서로 사용되어온 알루미늄 박막전극형 필름콘덴서를 대체하기 위해 고역전압을 특성을 가진 자기소호형 필름콘덴서를 개발한 것이다. 일반적으로 자기소호형 필름콘덴서의 역전압은 20%인대 반하여 전류원 콘덴서 뱅크용 단위 필름콘덴서의 역전압은 약 90% 정도가 요구되고 있기 때문에, 이것을 만족시키도록 자기소호형 필름콘덴서를 설계, 제작하고 성능평가 시험을 실시하여 그 결과를 제시하였다. 특히 성능평가 시험의 경우, 간이합성시험설비의 현장 운전조건을 조사하여 그에 맞도록 시험조건 설정하여 충방전 시험을 실시하였다. 또한, 금속증착필름 방식 콘덴서의 자기소호특성을 활용함으로써 전류원 콘덴서 뱅크의 안전성과 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있었다.

두 번째 대책으로는 전류원 콘덴서 뱅크의 결선구조를 기존의 1직렬 240병렬구조에서 4직렬 48병렬 구조로 변경한 것이다. 4직렬 48병렬 구조의 경우, 4직렬로 결선된 단위필름콘덴서 중 하나에서 이상이 발생하더라도 직렬로 결선된 나머지 단위콘덴서들에 의해 효과적으로 전압을 분담할 수 있도록 설계함으로써 전류원 콘덴서 뱅크의 안전성과 신뢰성을 더욱 개선시킬 수 있게 되었다.

마지막으로 새롭게 설계된 전류원 콘덴서 뱅크를 적용한 간이합성시험설비로 245kV 가스차단기에 대한 차단 성능평가시험을 실시한 결과로부터 간이합성시험설비가 성공적으로 운영됨을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC standard 427, " Synthetic testing of high-voltage alternating current circuit-breakers", 1989
- [2] C.W.Reed, S.W.Cichanowski, "The fundamental of aging in HV polymer-film capacitors", IEEE on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 1 No. 5, Oct. pp.904-922 (1994)
- [3] W.J.Sarjeant, F.W.Macdougall and D.W. Larson, "Energy storage in polymer laminate structures-aging and diagnostic approaches for life validation", IEEE Electrical Insulation Magazine, pp.20-24 (1997)
- [4] D. G. Shaw, S. W. Cichanowski and A. Yializis, "A

changing technology-failure mechanism and design innovations", IEEE Trans. On EI Vol. EI-16 No.5, Oct., pp.399-413 (1981).