

초고압 케이블용 접속재의 소형화 방안 연구

채병하, 류정현, 한봉수
일진전기(주) 전선기술연구소

Study of compact for Extra high voltage Acc.

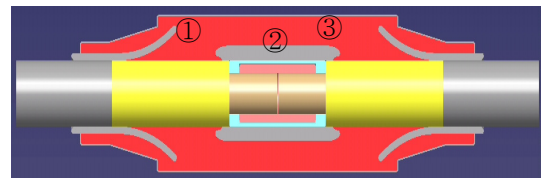
Chae Byung Ha, Ryu Jeong Hyun, Han Bong Soo
ILJIN Electric Co., Ltd. R&D Lab.

Abstract - 본 논문에서는 초고압 케이블용 중간접속재의 하나인 프리몰드형 직선접속재의 기본 설계를 바탕으로 당사에서 지난 2006년 네덜란드 KEMA에서 IEC 62067 규격에 맞는 접속재를 개발하여 신뢰성 인증을 받았다. 그 접속재에 저유전율을 갖는 실리콘 고무를 적용했을 때의 전계집중지역의 전계를 완화시키는 방안을 고안하였다. 프리몰드형 직선접속재의 소형화를 위해 고유전율 실리콘 고무와 저유전율 실리콘을 적용하였다. 실제 제품을 생산에 앞서 전계해석 시뮬레이션을 통해 프리몰드형 직선 접속재의 소형화 가능성을 예측해 본다.

특성인데, 고무의 성질을 고려하여 사용 중의 접속재 계면압력을 일정이상으로 유지해주어야 한다.

2.2 프리몰드형 중간접속재의 구성

현재 생산하고 있는 프리몰드형 중간접속재의 구성은 <그림 1>과 같이 전계형상을 완만하게 분포하게 하는 디플렉터와 도체 압축부를 감싸고 있는 중앙매립전극과 절연성의 몸통으로 크게 3가지로 구성된다.



| 번호 | 명칭 |
|----|--------|
| 1 | 디플렉터 |
| 2 | 중앙매립전극 |
| 3 | 실리콘 분체 |

<그림 1> PMJ의 기본 구조

1. 서론

현재 우리나라의 전력계통은 154, 345, 765kV의 송전급 계통과 22.9kV의 배전급 계통으로 나누어져 있다. 이중에 154, 345kV 급은 NIMBY 현상과 더불어 가공송전방식에서 지중송전방식으로 전환되고 있다. 이에 따라 지중송전용 케이블의 접속구간이 많아지면서 초고압 케이블용 접속재도 많이 필요한 실정이다. 이전에는 일본, 유럽 등의 여러 나라에서 접속재를 수입하여 사용하였으나 현재는 배전용에서부터 초고압인 345kV급까지 접속재의 국산화가 이루어지고 있다. 중간 접속재의 종류는 접속 방식과 재료에 따라 테이프형 중간접속재(TJ:Taping joint), 미가교테이프 몰드형 접속재(TMJ:Taping Molded Joint), 압출 몰드형 접속재(EMJ:Extrusion Molded Joint), 프리화브형 중간접속재(PJ:Prefabricated joint), 프리몰드형 중간접속재(PMJ:Pre-molded Joint) 등 있다. 이 논문에서는 당사에서 자체개발하여 2006년 네덜란드 KEMA에서 인증 받은 220kV급 초고압 케이블의 중간접속재인 프리몰드형 중간접속재(PMJ:Pre-molded Joint)의 소형화를 하기 위한 방안을 연구하였다.

2. 본론

2.1 프리몰드형 중간접속재(PMJ) 설계

공장에서 완벽한 성형을 통해 시공 현장에서 간편히 작업할 뿐만 아니라 현장 설치 공간의 감소와 특별한 접속 기술이 크게 요구되지 않음으로 인해 고도의 숙련공이 불필요하고 쉽게 교육 가능한 프리몰드형 중간접속재의 확대가 기대되고 있다. 부품 단위의 철저한 평가 후 현장에 공급되기 때문에 완벽한 품질의 확보가 가능하며 주요 부품으로는 고무슬리브, 도체슬리브, 외함 등이다.

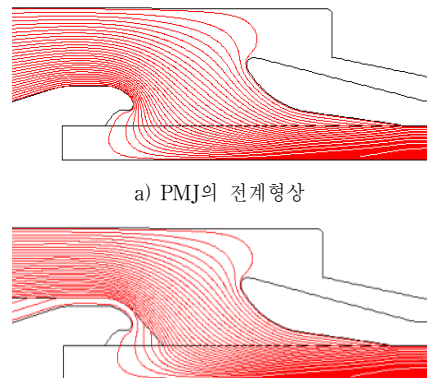
설계의 주요 사항은 고압전극 및 차폐전극의 형상 설계와 절연부품의 안정화를 위한 고무의 탄성, 경도 및 확관을 등의 기계적 특성에 따른 계면압 설정기술 등이다. 재료는 다음과 같은 1) 내후성이 우수할 것 2) 열적으로 매우 안정적일 것(180℃ 이상의 온도에 장시간 견딜 것) 3) 극저온(-50℃정도)에서도 탄성을 잃지 않을 것 4) 넓은 폭의 온도변화(20~120℃)에서 절연강도가 변화하지 않을 것 5) 반발탄성이 크고 압축영구 줄임율이 작을 것 6) 화학구조에 극성기가 존재하지 않도록 하여 비유전율과 tan δ가 낮을 것과 같은 특성을 만족하여야 한다.

위의 특성을 가진 재료로 기계적인 특성을 발휘하기 위해서 폴리머 재료의 컴파운딩 기술이 필요한데, 케이블과 조립되었을 때의 정합성을 확보하도록 하여야 한다. 현장에서의 시공성을 확보하기 위해서는 케이블에 폴리머 슬리브를 삽입했을 때 과도한 팽창을 하지 않도록 하여야 하며, 이를 위해서 일반적으로 폴리머 슬리브의 변형 치수를 관리하여야 한다. 전기적 절연설계는 조립형 접속재와 마찬가지로 주요부의 전기적 특성과 전계의 집중현상을 막는 설계가 되어야 하며, 프리몰드형 접속재 설계의 가장 중요한 사항은 케이블 절연층과 고무슬리브간의 계면압력

2.3 프리몰드형 중간접속재의 소형화 방안

현재 당사에서 개발된 220kV 프리몰드형 중간접속재는 2006년 네덜란드 KEMA에서 이미 IEC 62067에 규정된 조건을 모두 만족한 상태이다. 전압수준이 높아짐에 따라 프리몰드형 접속재 역시 부피가 증대됨에 따라 프리몰드형 중간접속재 LSR사출기 용량도 더불어 증대되어야 한다. 고유전율을 갖는 실리콘 고무를 적용하여 프리몰드형 중간접속재(CPMJ: Compact Pre-molded Joint)를 생산할 경우 접속재의 부피를 감소시킬 수 있다. 여기서 가능한 기존의 부품들의 형상을 유지하고서 접속재의 몸통 대부분을 차지하는 실리콘 고무의 양을 줄이는 방안 모색한다.

2.1 절에서 언급한 것 같이 프리몰드형 접속재는 3개의 구성품으로 되어 있으며, 고유전율 실리콘 고무가 적용된 실리콘 몸통 전체와 중앙매립전극의 일부분에 적용하는 경우로 나누어 시뮬레이션을 진행하였다.



a) PMJ의 전계형상

b) CPMJ의 전계형상

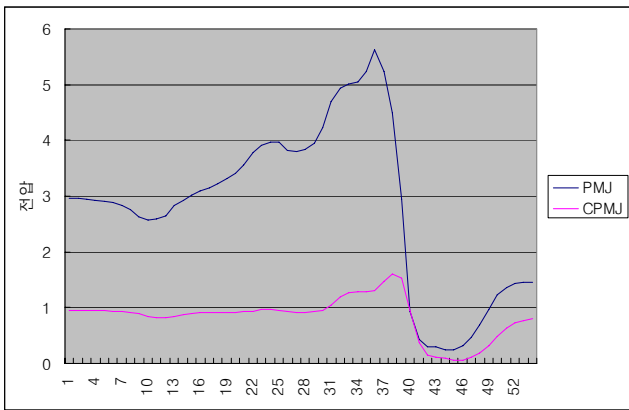
<그림 2> PMJ와 CPMJ의 전계 형상 비교

PMJ의 경우 각 부분의 전기적 스트레스는 안전을 측면에서 약 0.5~2.5배정도의 여유를 가지고 설계되어 있다. AC 내전압 시험의 전압값인 256kV(2U₀) 보다 최소 1.7배의 이상의 여유를 가지고 있다. 내충격 내전압 시험(Lightning impulse test)에서도 전기적 특성 시험 전압인 ±1050kV 이상이며, 30%정도의 안전율을 보유하고 있다.

<그림 2>에서는 기본적인 PMJ와 CPMJ와의 전계분포를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 유전율 ε=3.5의 일반 실리콘 고무만을 적용한 PMJ의 중앙전극부분보다 유전율 ε=15의 실리콘 고무를 중앙전극부분에 적용한 CPMJ의 중앙전극부분에 전계가 완화되는 것을 볼 수 있다.

2.4 시뮬레이션 비교 결과

일반적인 PMJ와 비교하였을 때의 전기적 스트레스 값은 <그림 3>의 그래프와 같이 약 1.5kV/mm(PMJ:약5.6kV/mm)로 약 4배 이하의 값을 나타냈다. 이에 실리콘 절연본체 부분의 외경 감소가 가능하게 되었다. 그러나 고유전체 실리콘을 사용함에 따라 고유전체 실리콘 고무와 저유전체 실리콘 고무와의 계면에서 전계강도값을 고려해야하고 결국에는 그사이의 전계강도의 값이 실리콘 절연 본체의 외경을 결정하게 된다.



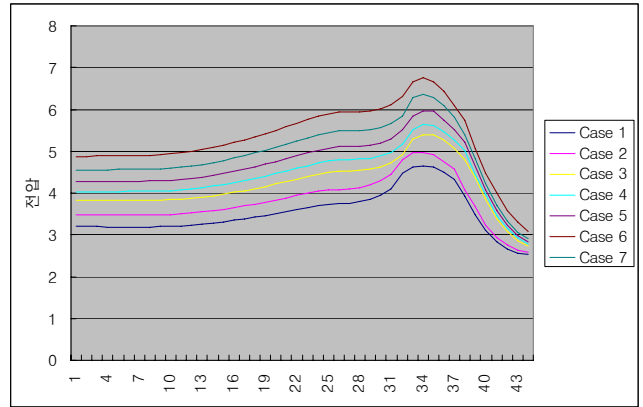
<그림 3> 중앙매립전극의 전기적 스트레스 결과값

<그림 4>의 그래프는 실리콘 절연 본체의 외경을 표1과 같이 감소하면서 전계해석 시뮬레이션을 통해 중앙매립전극부분의 전기적 스트레스 값을 나타낸 것이다. Basecase의 경우 중앙매립전극부분에서 최대 전계강도값이 5.62kV/mm으로 당사의 설계기준으로 예상 파괴전압이 452kV로 예상되고 이 전압값은 전기적 특성 시험에서의 인가전압 2U₀(=256kV)보다 76%이상의 안전율을 가지고 있다. Case1~4의 경우에는 고유전체 실리콘 고무와 저유전체 실리콘고무와의 계면에서의 전계값으로 Case1~3까지는 Basecase 값보다 낮은 전계값을 보였으며, Case 4의 경우에 Basecase와 동일한 값을 나타내었다. Case 5의 경우는 Basecase의 값보다는 큰 값을 보이지만 66%정도의 안전율을 가지고 있어, 절연본체의 외경 감소에 따른 절연층에서의 절연파괴가 일어나지 않을 것으로 예측된다. Case 6~7의 경우에 AC 내전압 시험에는 안전율을 가지고 있으나 버충격 내전압 시험의 기준에 맞지 않아 실리콘 절연 본체 외경 감소는 최대 10.7%까지 가능하다.

<표 1> 실리콘 절연 본체의 외경

| 구 분 | 외경감소(%) | 전압(kV/mm) | 비고 |
|----------|---------|-----------|------------|
| Basecase | - | 5.62 | |
| Case 1 | 0 | 4.65 | |
| Case 2 | 4.3 | 4.97 | |
| Case 3 | 8.7 | 5.38 | |
| Case 4 | 10.7 | 5.64 | 일반 PMJ와 동일 |
| Case 5 | 13.0 | 5.95 | |
| Case 6 | 15.2 | 6.35 | |
| Case 7 | 17.4 | 6.76 | 154kV급 PMJ |

결과 데이터 값에는 나타내지 않았지만, 실리콘 절연 본체에 고유전율 실리콘만을 사용한 경우에는 저유전율 실리콘을 적용했을 때와 유사한 결과를 나타내었다.



<그림 4> 외경감소에 따른 중앙매립전극의 전기적 스트레스 결과값

3. 결 론

위의 결과를 바탕으로 고유전율의 실리콘 고무와 저유전율의 실리콘 고무를 조합으로 프리몰드형 접속재의 부피 감소가 가능하다. 그러나 유전율이 다른 매질을 사용함으로써 설계시 고려되어야 할 조건이 하나 더 생성되었다. 새 조건이 프리몰드형 중간접속재의 외경을 결정하는 핵심이 되었다. 이번 논문에서는 중앙매립전극의 부분에서 고유전율 실리콘을 적용하여 전계해석 시뮬레이션에 의한 모의시험만으로 프리몰드형 중간접속재의 외경을 최대 10.7%까지 감소가 가능하다는 것을 알 수 있었다. 이에 중앙매립전극부분뿐만 아니라 다른 부분에도 고유전율 실리콘을 동시에 적용할 경우 프리몰드형 중간 접속재의 절연 실리콘의 본체의 외경 감소뿐만 아니라 제품의 길이 축소도 가능할 것으로 보인다.

논문에서는 이론적인 설계를 바탕으로 모의시험만으로 진행된 결과만을 제시하였다. 향후 위에서 언급한 내용을 시뮬레이션 실시 후 고유전체 실리콘 고무로 생산 할 것이며, ICE 62067 규격에 맞는 시험을 진행하여 프리몰드형 중간접속재의 전기적 특성 검증 통해 제품의 신뢰성을 확보 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 심순보의 12명, “지중송전 케이블시스템”, 한국전력공사 송변전건설처, p197-p198, 2002.12
- [2] 채병하, 류정현, 김영준, 이지나, 김종표, 정규동, 한봉수, “220kV 가교절연 케이블용 PMJ(Premolded Joint) 개발”, 2006년도 대한전기학회 전력기술분회 추계학술대회 논문집, p335-p336, 2006.11
- [3] IEC62067, 2006, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150kV(U_m=170kV up to 500kV(U_m=550kV Test methods and requirements
- [4] 박태석, “전기·전자 재료학”, 북두출판사, 2006.10