

230kV XLPE 삽입형 고무몰드 접속함의 개발

김화중, 김현주, 김성용, 송재혁, 한지훈, 이호림, 김덕환
 대한전선(주) 전력기기 개발팀

Development of Pre-molded Joint for 230kV XLPE Power Cable

H. J Kim, H. J. Kim, S. Y. Kim, J. H. Song, J. H. Han, H. L. Lee, D. H. Kim
 Taihan Electric Wire. co., Ltd. EHV Acc'y R&D Team

Abstract - 현재 전 세계적으로 170kV급 이하의 초고압 지중케이블 접속함으로 기존의 현장몰드방식의 TMJ(Tape Molded Joint)와 부품조립방식의 PJ(Prefabricated Joint)보다 조립시간이 짧고 작업자의 숙련도가 높지 않아 경제적이며, 유지보수에 장점을 가진 고무몰드 접속함(PMJ)이 채용되고 있으며, 이러한 추세는 적용 전압급이 점차 상승하면서 230kV급까지 그 비중이 늘어나고 있는 경향을 보이고 있다. 당사에서는 이러한 추세에 발맞추어 154kV급 고무몰드접속함의 개발 당시의 Silicone의 기초물성시험 DATA 획득, 고무몰드 UNIT 및 금형 설계 기술 확립과 접속 공법 개발의 경험을 바탕으로 230kV급 고무몰드접속함의 개발에 성공하였다.

1. 서 론

현재 전 세계적으로 초고압 지중전력케이블로 가교폴리에틸렌(XLPE) 케이블이 주종을 이루고 있으며, 현재까지 XLPE 케이블의 중간접속함으로 170kV급 이하에서는 주로 TJ(Taped Joint), TMJ(Tape Molded Joint)등이 170kV급 ~ 400kV급까지는 일본에서 주력으로 개발된 EMJ(Extruded Mold Joint), BMJ(Block Mold Joint)와 더불어 PJ(Prefabricated Joint) 및 PMJ(Pre-Molded Joint) 등의 여러 종류의 접속 방식이 개발되어왔다.

이중 최근에 고무절연재의 지속적인 성능 향상과 더불어 조립공정이 간단하며, 공장제조방식으로 공장 출하시 출하시험을 거쳐 높은 신뢰성을 갖추면서도, 설치비가 저렴한 삽입형 고무몰드접속함(PMJ)이 전 세계적으로 각광을 받고 있다.

삽입형 고무몰드접속함은 시장점유율 측면에서 전 세계적으로 170kV급 이하에서 현재까지 절대적인 우위를 차지하고 있으며, 점차 그 영역이 230kV급 이상까지 확대되고 있는 추세이다. 이에 당사에서는 IEC62067 규격을 추종하는 성능을 가진 230kV급 PMJ 개발에 착수하였으며, 급년에 IEC 규격에 의거하여 KEMA TYPE TEST를 성공적으로 완수하였다.

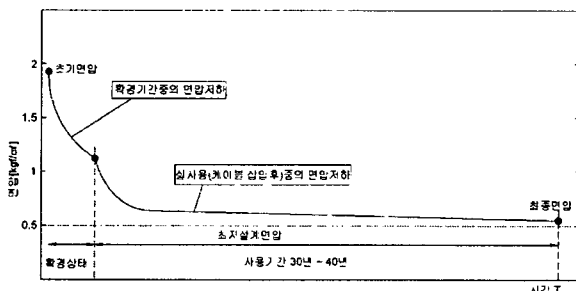
2. 본 론

2.1 PMJ의 설계

2.1.1 계면압 설계

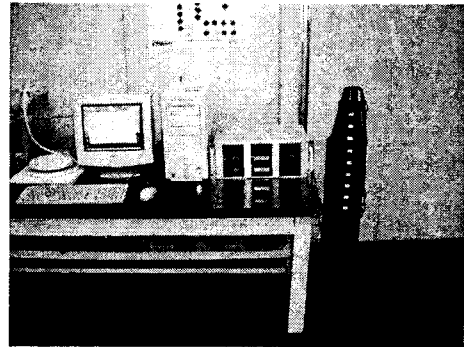
고무 재질의 자체 탄성력으로 케이블과 고무유닛 간의 계면 절연내력을 유지하는 PMJ의 특성상 전기적 성능 확보를 위해서는 케이블과 고무유닛간 계면압의 검토가 필수적이다.

PMJ 고무유닛을 케이블에 삽입 후 확장에 의한 고무재료의 경년에 따른 탄성 저하 및 열적인 열화등의 여러 요인으로 인해 아래의 그래프와 같이 그 계면압이 감소하게 된다. 따라서, 계면압 설계시에는 크게 초기면압과 최종면압에 대한 검토가 동시에 이루어져야 하는데, 초기면압이란 케이블에 삽입 당시의 면압이며, 최종면압은 접속함의 수명 보증기간인 30년 또는 40년 사용 후의 면압이다.



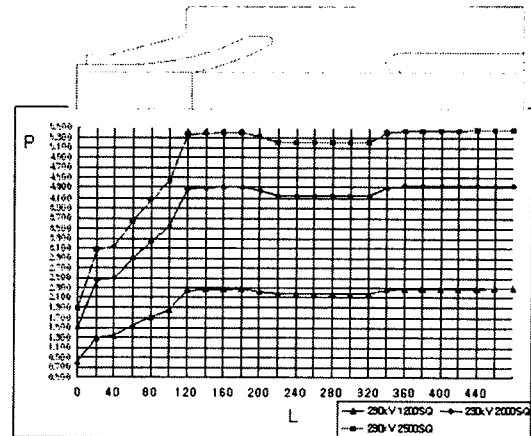
〈그림 1〉 PMJ의 경년에 따른 계면압 저하 추이

그림1.은 PMJ 조립방법 중 파이프 삽입방식의 PMJ에 대한 계면압 경년 그래프이며, 현장에서 직접 케이블에 삽입하는 슬라이딩방식의 경우 확경기간 중의 면압저하는 없는 것으로 보고되었다. 이러한 특성을 확인하기 위하여 아래의 그림2와 같이 계면압 측정장치를 설치하여 경년에 따른 계면압 변화 추이를 측정하였다. 그 결과 그림1.과 대체로 일치하는 결과를 보였으며, 확경을 이 클수록 계면압 저하 속도가 높게 나타났다.



〈그림 2〉 계면압 측정장치 전경

당사에서 PMJ 재료로 선정된 실리콘 고무는 응력완화특성이 타 고무제품보다 우수하여 그림1의 그래프에서와 같이 초기면압을 1kgf/cm² 이상을 확보할 경우 최종면압이 계면과피전압치 이상의 절연내력을 가지는 것으로 보고되었다. 따라서 당사에서는 230kV XLPE 1200㎜ ~ 230kV XLPE 2500㎜ 케이블을 각각 적용시의 내경 확장율이 115%~140%의 분포를 가지도록 고무유닛의 내경을 설계하였으며, 각 규격의 케이블 적용시 계면압 분포를 수치적으로 계산하여 검토하였다. 그 분포는 아래 그림3.과 같다.



〈그림 3〉 230kV XLPE PMJ 규격별 계면압 분포

2.1.2 전기적 설계

PMJ는 고무 재질의 절연재와 반도체재로 구성되며, 반도체재로 중앙대립전극 및 두개의 Deflector를 별도로 성형한 후 절연재로 일체형으로 성형한 접속재로 PMJ 고무유닛 고무재질의 자

체 탄성에 의한 면압으로 케이블 절연체와의 계면의 전기적 스트레스를 흡수하는 원리를 이용한다. 이러한 구조의 특성상 중앙대립전극부의 선단의 스트레스(t_1), 고무절연물과 XLPE 케이블 절연물 계면간의 연면방향 스트레스(t_2) 및 반도전 Deflector 입상부의 반경방향 스트레스(t_3)가 설계에 있어서 중요 관리 포인트가 되며 중요 관리 부위를 아래 그림4.에서 나타내었다.



<그림 4> PMJ의 전기적 설계시 주요 관리부

실제로, PMJ 고무유니트를 케이블에 삽입하게 되면 내경의 확장에 따라 외경의 증가 및 내부 전극 형상의 변형 등이 발생하게 되는데, 이에 따라 의도했던 전기적 성능 이하로 전기적 특성의 저하가 발생하게 된다. 따라서, 수치적 계산에 의해 케이블 삽입 후의 고무유니트의 변형을 예측하여 전계해석을 수행하면서, 전극 형상 및 내부구조를 역변환하는 방법으로 설계를 진행하였다. 아래는 이러한 방법으로 수행한 전계해석 결과를 보여주며, 각 관리부의 예상파괴전압은 아래의 표1.과 같다.



<그림 5> PMJ 동전위선 분포도

<표 1> PMJ 각부의 예상파괴전압

부위	AC 예상파괴전압	뇌충격 예상파괴전압
t_1	705kV	1520kV
t_2	675kV	1490kV
t_3	720kV	1540kV

2.2 PMJ 금형의 설계

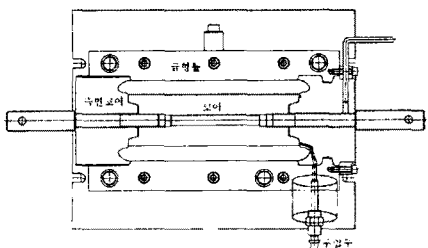
PMJ 고무유니트의 금형은 금형의 재질 적절한 선정 및 컴파운드 주입구와 배출구의 적절한 배치가 중요하며, 가열과 냉각 및 이동성 등의 작업성을 고려하여 설계하였다.

2.2.1 금형재질의 선정

반도전 전극 및 DEFLECTOR를 성형하는 금형 재질로 코어 부분 및 코어의파부는 경도가 아주 높은 특수강(HRC30이상)을 사용하였다. 이는 코어의 취급 중 표면손상의 위험이 있고, 고열에 의한 팽창변형이 없는 재질이 필요하기 때문이다. 반면, 절연성형 금형으로는 열전도가 우수한 고강도의 알루미늄을 사용하여 열의 고른 전달 및 냉각을 꾀하였다. 그러나, 코어의 경우 취급시 이동이 많고, 별도 보관이 필요하기 때문에 표면손상을 방지하기 위해 반도전 전극 코어 금형도 동일한 재질로 선정하였다.

2.2.2 금형의 설계

금형의 설계에 있어서 중요한 점은 성형 컴파운드의 수축율에 대한 정확한 수치가 있어야 하며, 컴파운드 주입구측에서 큰 압력을 받지 않도록 주입구의 형상 및 배기구의 위치를 적절히 선정하여 설계하여야 한다. 배기구는 내부 기포의 제거를 위해 금형의 최상부에 위치하여야 하며, 일정한 팽창 시간이 지나면 스스로 경화되어 배기구를 차단할 수 있는 적절한 크기로 설계하여야 한다. 아래 그림은 반도전 전극 금형의 개략도이다.



<그림 6> 반도전 전극 금형 구조

2.3 전기적 성능 시험

2.3.1 시험전압

당사의 성능 목표 전압은 아래와 같이 Silicone 고무의 수명지수(n)를 12로 하고, 온도계수, 열화계수, 불확정계수 등을 감안하여 산출하였다.

$$\text{AC 내전압} = (V_m) \times k_1 \times k_2 \times k_3 = 530\text{kV}$$

여기서, V_m ; 계통최고전압

$$k_1 ; \text{열화계수} = \sqrt[12]{\frac{365\text{days} \times 24\text{hours} \times 30\text{years}}{1\text{hour}}}$$

k_2 ; 온도계수(=1.2)

k_3 ; 불확정 요소(=1.1)

$$\text{Imp. 내전압} = \text{BIL} \times k_1 \times k_2 \times k_3 = 1,400\text{kV}$$

k_1 ; 온도계수(=1.1)

k_2 ; 반복에 의한 열화계수(=1.1)

k_3 ; 불확정 요소(=1.1)

2.3.2 성능 확인 시험

당사가 개발한 230kV PMJ의 전기적 성능 확인을 위하여 220W XLPE 2500mm 케이블에 접속하여 시험하였다. 시험결과 설계목표치 이상의 성능을 보였다. 그 시험결과를 다음의 표 2.에 정리하였다.

<표 2> 230kV PMJ 전기시험 결과

구분	시험전압	B/D전압수준
AC내전압시험	① 430kV/1시간	610kV-670kV
	② 530kV/1시간	
Imp.내전압시험	① ±1050kV/10회	-1550kV ~ -1650kV
	② ±1500kV/3회	

2.4 KEMA Type Test

230kV XLPE 2500mm 케이블에 대한 IEC62067 규격에 준하여 EB-A 2상, EB-G 2상, PMIJ, PMNJ로 시험선로를 구성한 후, 다음의 표 3.과 같은 과정으로 KEMA 시험관의 입회하에 TYPE TEST를 수행하여 성공적으로 완료하였다.

<표 3> 230kV PMJ Type Test 결과

항목	기준	결과
1. PD Test	190kV/5pC(상온)	pass
2. Heat Cycle Test	254kV/20cycle	pass
3. PD Test	190kV/5pC(고온, 상온)	pass
4. Impulse Withstand	±1050kV/10회	pass
5. AC Voltage Test	254kV/15분	pass
6. Outer Protection test	20 Heating Cycle 시행 후 절연통간 -95kV 인가	pass

3. 결 론

현재 초고압 케이블 부속제 설계기술력의 척도가 되고 있는 PMJ 개발에 있어서, 금년에 230kV급의 성공적인 KEMA type test의 수행으로 인해 보다 적극적인 시장공략에 나설 발판을 마련하게 되었다.

또한, 이번 PMJ의 개발로 얻어진 기술력을 바탕으로 세계 유수의 선진업체와 어깨를 견주고자 345kV/400kV급 PMJ의 개발에 박차를 가하고 있다.

[참고 문헌]

- [1] Development of Cold-Shrinkable Joints with silicone rubber sleeve for 110-230kV XLPE cables : VISCAS (2002)
- [2] Single-piece Joint for 230kV XLPE Cable : Fujikura Technical Review(2001)
- [3] Development of Cold-Shrinkable Joint for 110kV XLPE Cables : Furukawa Review(2000)