

345kV OF 케이블용 부속제의 인정시험완료

‘이수길’, 최수걸, 김광수, 이규현, 전승익, 허근도, 박완기, 최명규,
이승학, 김상준”

* LG전선(주) 전력연구소, **한국전력연구원

Type-tested of Accessories for 345kV Oil Filled Cable

“S.K.Lee, S.G.Choi, K.S.Kim, K.H.Lee, S.I.Jeon, G.D.Huh, W.K.Park, M.K.Choi,
S.H.Lee, S.J.Kim”

* LG Cable & Machinery Ltd. Electric Power Research & Technology Center

** Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Joints and terminations for 345kV Oil Filled 1C×2000mm² cable have been developed and tested including BPT (Bellows Pressure Tank) on the bases of various ultra-high voltage technologies. Electrical design was performed by using Finite Element Method.

The type test certified by KEPCO (Korea Electric Power Corporation) has been performed as the final stage of development. In order to confirm the reliability of long-term life for 30 years, load cycle test was conducted for 30 days with good result.

As the result, the techniques we obtained from this development are applicable to higher voltage level systems (i.e. 765 kV).

I. 서론

OF(Oil Filled) 케이블은 실 사용경험이 많고 그 전기적인 특성이 우수하다고 고전압 분야의 전문가들에게 널리 알려져 왔다.

국내의 송전계통 중 가장 높은 전압을 사용하는 계통은 345kV급이며 현재, OF케이블 시스템이 사용되고 있다. 플라스틱 케이블 시스템이 개발되고 충분한 안전성이 입증되기 전까지는 이러한 추세가 지속될 전망이다. 이러한 환경에 대처하기 위해서 벨로우즈형 압력유조를 포함한 345kV급 송전계통의 부속제를 개발하였다.

연구개발의 마무리 단계로서 국내의 345kV급 전력계통에 개발된 제품을 공급하기 위해서 한전인정시험을 실시 완료하였고 이에 관하여 기술한다.

II. 개발범위

본 연구로 개발된 부속제는 4 종류의 직선접속함(NJB, IJB, SJB, SIJB), 2 종류의 종단접속함(EB-A, EB-G), 3가지 용량의 벨로우즈형 압력유조(500L, 700L, 900L)이다.

직선 및 종단접속함은 케이블과 동등이상의 성능을 지녀야 하며, 벨로우즈형 압력유조는 케이블의 유압변화를 흡수할 수 있어야 한다. 이에 따른 개발규격을 표 1과 표 2에 나타내었다.

표 1. 접속함의 개발규격

| 항 목 | 특 성 치 | |
|----------------------|--|---|
| 상용주파 장시간 내전압 | 530kV, 연속 6시간 견딜 것(상온) | |
| 내충격 내전압 | 하기 시험전압에서 3회 견딜 것(상온) 정극성 : 1,430kV (EB-A만 해당) 부극성 : 1,560kV | |
| 장기 과동전 | 하기 시험전압에서 하기의 전류를 30일간 통전한 후 하기특성치를 만족할 것 | |
| | 시험전압 | 350kV |
| | 통전전류 | 도체 온도가 주위 온도 보다 60℃ 높게 되는 전류 또는 도체 온도가 85℃로 되는 전류 |
| 특성 | 적류 내전압 : 522kV/10분 | |
| 케이블 차폐층 절연부간 내충격 내전압 | 50kV(부극성), 3회 견딜 것 | |
| 부분방전 특성 | 270kV에서 발생 방전 전하량이 30PC 이하일 것 | |
| 기밀 특성 | 14kg/cm ² 의 가스압 또는 유압에 연속 30분간 견디어 이상이 없을 것 | |

표 2. 벨로우즈형 압력유조의 개발규격

| 항 목 | 특 성 치 | |
|-------------------|--|-------------------|
| 외함 내압 특성 | 10kg/cm ² 의 압력으로 연속 10분간 가한 후 누설이 없을 것. | |
| 동 작 특 성 (압력/용적특성) | 대표 커브값의 90%이상일 것 | |
| 벨로우즈 피로특성 | 최대 스트로크에 100회 이상 및 1/2 x 최대 스트로크에 30,000회 이상 신속 실시후 이상이 없을 것 | |
| 경 보 발신기 동작특성 | 누유경보 | 경보점 오차 : ±1 눈금 이내 |
| | 압력경보 | 경보점 오차 : ±2.0% 이내 |
| 압력계 오차 | 최대눈금의 10~90% 구간 : ±1.5% 이하 그 외 의 범 위 : ±2.0% 이하 | |

III. 전기적인 설계

접속함의 기본 구조 설계 후에는 접속함의 치수와 적용된 제전상수를 고려하여 전계해석을 실행하므로써 세부설계를 완료한다. 전계해석을 통하여 국부적으로 전기적인 취약점이 확인되면 다시 안정적인 전계분포를 갖도록 구조변경을 실시하여 최적전계로 제어한다. 전기적인 취약부의 전계를 최적으로 제어하기 위해서는 전계해석을 통하여 각 부품들의 크기를 결정해야 한다. 예로서, 그림 1에서 그림 3까지는 SIJB에 대한 전계해석 결과를 나타내었고 해석의 결과가 개발기준을 만족시키는 것을 확인할 수 있었다.

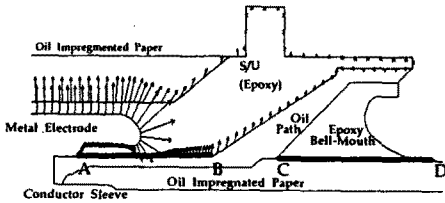


그림 1 SIJB의 전계분포도

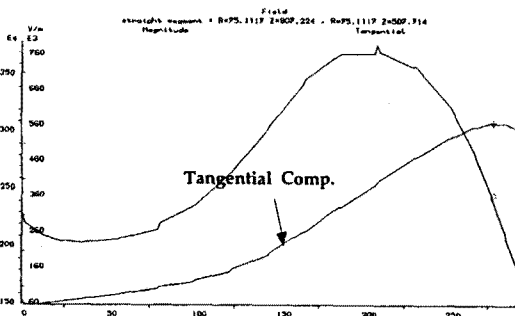


그림 2 A에서 B점까지의 전계 그래프

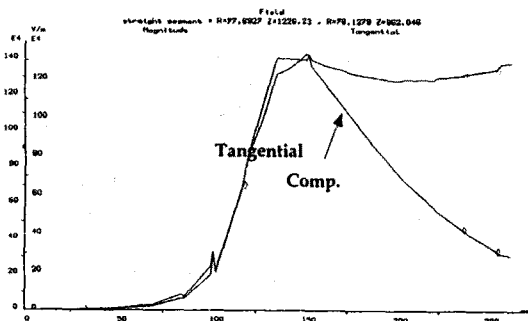


그림 3 C에서 D점까지의 전계 그래프

IV. 초기성능시험

개발된 접속함이 전기적/기계적 요구성능을 만족시키는 지 여부를 판단하기 위하여 먼저, 내전압시험과 내압력시험을 수행하여 초기성능을 확인했고, 개발의 마무리 단계로 한전인정시험을 실시하여 그 성능을 공인 받았다. 표 3에 한전인정시험의 내전압 시험 결과치를 나타내었다. NJB와 SJB의 경우, 절연층 차폐구조를 제외한 모든 부분이 각각 IJB, SIJB와 동일하기 때문에 IJB와 SIJB에 대한 시험으로 성능을 동시에 확인할 수 있었다.

표 3. 한전인정시험 내전압시험 결과

| 종류 | 내전압 규격치 | AC 파괴 | IMP. 파괴 |
|------|---------|----------|-----------|
| IJB | passed | 650 kV ↑ | 1910 kV ↑ |
| SIJB | passed | 650 kV ↑ | 1910 kV ↑ |
| EBG | passed | 650 kV ↑ | 1910 kV ↑ |
| EBA | passed | 650 kV ↑ | 1910 kV ↑ |

V. 장기 과용전 및 잔존시험

장기 과용전 시험은 30년간의 접속함 수명을 검증하기 위한 30일간의 가압, 과용전 시험이다. 인가전압은 350kV, 통전 전류는 그림 4에 나타낸 것과 같이 예비통전시험을 통하여 도체가 85℃ 이상이 되는 전류(8시간 ON, 16시간 OFF)로 설정한다. 장기 과용전이 완료된 후, 직류내전압시험(522kV/10분)을 실시하여 과용전 후 접속함에 이상이 발생하지 않았음을 확인하였다.

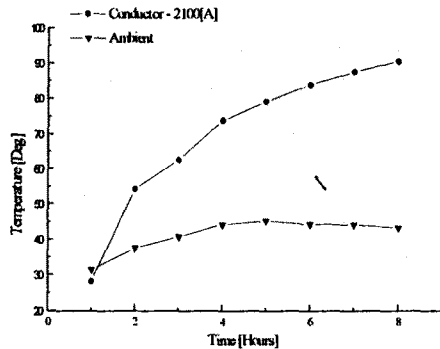


그림 4 전류-온도 곡선

VI. 부분방전 (Partial Discharge : PD) 시험

부분방전시험은 EBG 조립품, EBG 에관 및 SIJB용 유지유 니트에 대해서 실시하였다. 부분방전시험의 조건과 결과를 표 4에 나타내었다.

표 4. 부분방전 시험조건 및 결과

| Type | Voltage | 요구치 | PD 결과 |
|-------------------|---------|---------|--------|
| EBG | 270 kV | 30 PC ↓ | 4.0 PC |
| EBG Bushing | 270 kV | 5 PC ↓ | 1.0 PC |
| Stop Unit of SIJB | 270 kV | 5 PC ↓ | 2.6 PC |

측정된 PD는 시험전에 나타난 PD와 큰 변화가 없었으며 Back Noise로 판단하였다.

VI-1. EBG 조립품 시험

EBG 조립품의 부분방전시험은 그림 5에 나타난 것과 같이 EBG조립품-케이블(14m)-단말로 구성되어 실시하였다.

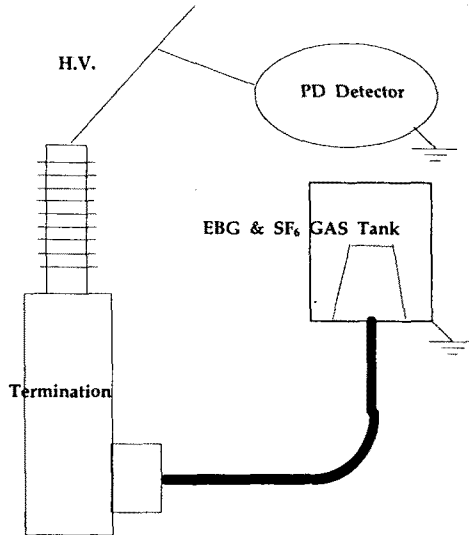
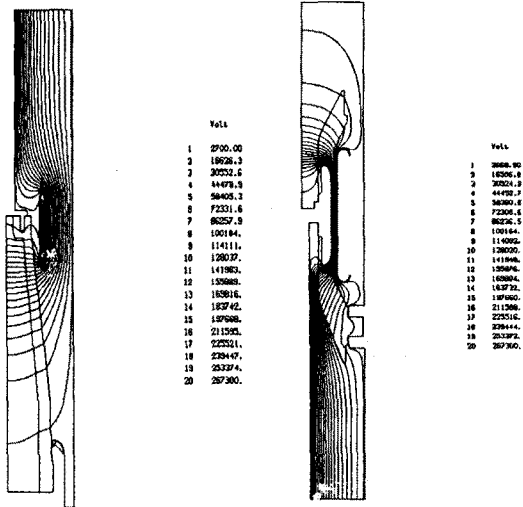


Fig. 5. EBG조립품의 부분방전시험부품 구성

VI-2. EBG 애관과 SIJB용 유지유니트의 시험

EBG 애관과 SIJB용 유지유니트의 부분방전 시험은 절연체와 절연체에 매입된 금속전극의 계면에 크랙이나 기포가 존재하는지를 확인하기 위해서 실시한다. 조립상태에서의 시험과 달리 부품상의 시험은 조립시와 유사한 전계분포를 형성시켜 줄 수 있도록 치구를 제작, 절연유나 가스로 충전하여 시험한다. 그림 6은 시험대상의 부품에 치구를 장착한 후 조립품과 유사한 전계분포특성을 갖는 것을 확인하는 등전위 분포도이다.



(a) EBG 애관 (b) SIJB용 유지유니트

Fig. 6. 부분방전 시험용 치구의 등전위곡선

VII. 벨로우즈형 압력유조

OF 케이블은 사용온도에 따라 유압이 변동하며, 이런 변화는 절연성능에 직접적인 영향을 미치게 된다. 유압의 변화를 일정하게 유지시키기 위해서 온도의 변화에 따라서 수축/팽창하는 유량의 변화를 흡수할 수 있도록 벨로우즈형 압력유조를 설계하였다. 벨로우즈형 압력유조의 설계에서는 산의 피치결정과 벨로우즈의 산수를 결정하는 것이 중요한 요소가 된다. 본 연구에서는 표 5와 같은 기준에 의해서 벨로우즈를 설계하였다.

표 5. 벨로우즈 설계기준

| Volume | Convolution Number | Operating Range [mm] | Stopper Length [mm] |
|--------|--------------------|----------------------|---------------------|
| 200 | 17 | 34 ~ 400 | 41 |
| 300 | 25 | 50 ~ 592 | 57 |

예를들어, 유량이 700L인 벨로우즈형 압력유조는 200L + 200L + 300L의 조합으로 설계하여 59산이 된다. 또한 장시간의 수명을 보장하기 위해서 5산으로 제작된 벨로우즈를 사용하는 피로특성 시험은 30,000회의 행정에도 이상이 없어야 하는데, 30,000회의 행정은 시스템의 절연유에 연간 300회의 수축/팽창운동이 일어난다고 가정했을 때 100년간의 수명에 해당한다. 벨로우즈형 압력유조에 대해서 실시한 한전인정시험 결과, 15만회에서도 파괴되지 않는 성능을 입증하였고 이는 500년의 수명에 해당하는 피로특성이다.

벨로우즈형 압력유조의 구조를 그림 7에 나타내었다.

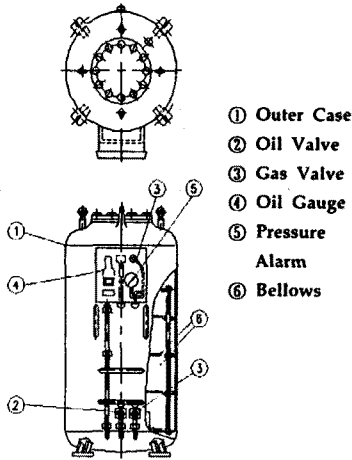


그림 7 벨로우즈형 압력유조의 구조

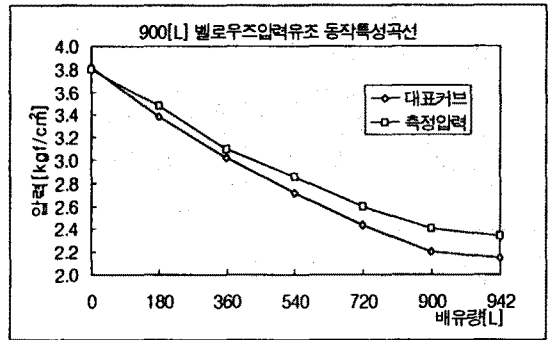


그림 10. 900L 벨로우즈형 압력유조의 동작특성곡선

VIII. 결론

생산기술발전 5개년계획에 의해서 수행한 345kV급 OF 부속제 개발 Pjt.를 마무리하고 실계통에 적용하기 위한 안전인정시험을 실시한 결과 개발규격을 모두 만족함은 물론 우수한 성능 및 신뢰성을 가짐을 확인할 수 있었다. 본 제품의 개발을 통해 얻어진 기술을 응용하여 765kV급 제품을 개발할 수 있을 것이다.

Acknowledgements

본 연구는 생산기술발전 5개년 계획에 의거한 한국전력공사 지원자금으로 수행하였습니다.

References

1. "Development of 345kV OF Cable Joints (II)", KEPCO, 1996.
2. "A Study on the Development of EHV Oil Filled Cable Accessories and Jointing Method (II)", KERI, pp. 127 - 142, 1990.
3. "A Design and Characterization of Condenser Cone Used for the Sealing-end of 154kV of Cables", KIEE, vol. 9, no. 1, pp. 35 - 39, 1996.
4. "Development of Accessories for 345kV Oil Filled Cable", ICPADM, vol. 1, pp. 503 - 506, 1997.

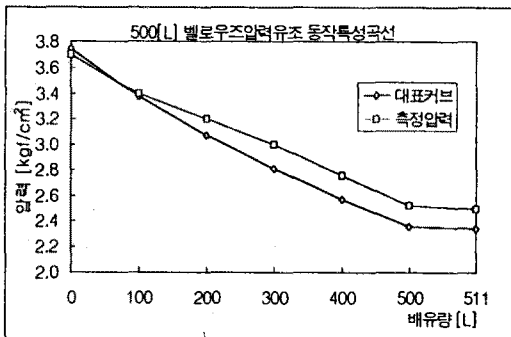


그림 8. 500L형 벨로우즈형 압력유조의 동작특성곡선

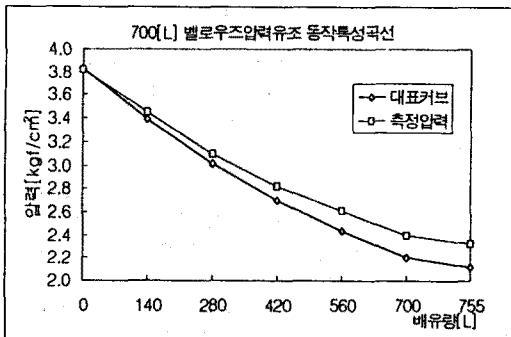


그림 9. 700L형 벨로우즈형 압력유조의 동작특성곡선