

첨가제 확산법을 통한 초고압 XLPE 케이블의 절연 성능 향상

¹심성익, ¹이상진, ²조대희², ²이인호

¹초고압그룹 LS 전선, ²초고압 기술팀 LS 전선

Increase of Breakdown Strength by additives at Semi-conductive layer in XLPE POWER Cable

¹Sung Ik Shim, ¹Sang jin Lee, ²Dae Hee Cho and ²In Ho Lee

¹EHV group LS Cable, EHV Technical Solution Team

Abstract - 송전 용량 증대 및 초고압 케이블 컴팩트화를 위해, 최근 고내력 케이블에 관한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있으며, 이러한 추세에 대응코자 당 사에서는 고내력 케이블 개발에 있어서 첨가제 투입에 따른 절연 능력 향상에 관한 연구를 진행하여왔다. 본 연구에서는 케이블 절연 능력 향상을 위하여 반도체전 컴 파운드에 첨가제를 투입하여 반도체전과 절연의 계면 특성을 향상 시킴으로 절연체의 절연파괴능력 향상시키고자 하였으며, 계면 특성의 향상은 절연 파괴능력 향상으로 이어짐을 확인 할 수 있었다. 또한 상기의 연구결과에 따라 제조된 케이블은 기존 케이블과 비교하였을 때 매우 우수한 절연파괴 특성을 나타냄을 확인하였으며, 그 결과 절연 두께를 비약적으로 감소 시킬 수 있었다. 본 논문은 상기 절연 성능 향상에 관한 메커니즘 및 IEC 62067에 따라 진행된 초고압 XLPE 케이블의 type test 결과를 중심으로 기술 하였다.

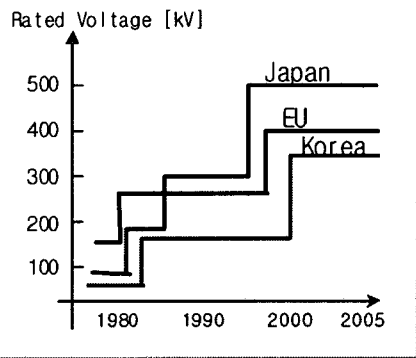


Fig.1 Transition of voltage grade for HV/EHV XLPE cables

1. 서 론

가교 폴라 에틸렌 케이블은 우수한 절연 성능과 용이한 유지보수 특성으로 인해 전세계적으로 널리 사용되고 있다. 최근 케이블 연구 동향은 케이블의 절연 두께를 줄임으로써 케이블 제조 원가 절감 및 유지보수의 용이성이 확보된 high-stress 케이블의 개발에 집중되어 있다. 케이블의 절연두께는 청정 공정을 통한 보이드 및 이물등에 의한 결함을 제거 함으로써 감소될 수 있다고 알려져 있다. 최근에는 특정한 첨가제를 첨가함으로써 반도체전과 절연의 계면 특성을 향상시킴으로써 케이블의 절연 특성을 향상시키는 방법이 보고되고 있다.[1][2][3] 본 논문에서는 계면 확산법에 의해 제조된 신규처방 케이블의 제조 기술 및 특성에 대해 논의 하고자 한다.

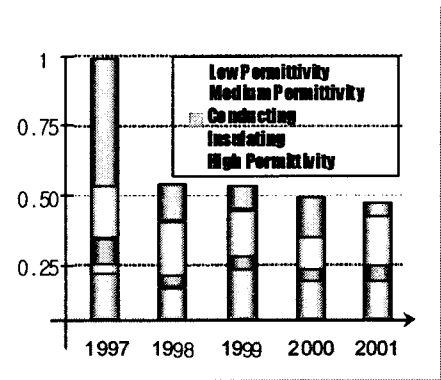


Fig.2 Recent evolution of the concentration (relative) of detected contaminants [1]

2. 본 론

2.1 highstresscable의동향

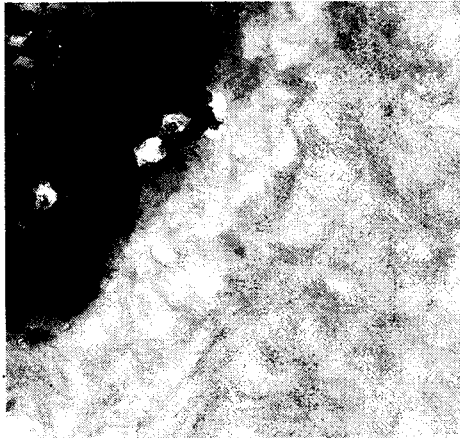
2.1.1 케이블절연특성의향상

최근에 CIGRE 및 Jicable 에서 발표된 high stress 케이블의 경향을 살펴보면 원재료 및 압출공정중에 발생할 수 있는 결함을 최소화 함으로써 케이블 절연 특성을 향상시키는 방법들이 발표되어졌다.[4][5] 1990년대 이후로 초고압 가교 폴라 에틸렌의 케이블의 수요가 급속히 증가하였고 그에 따라 케이블의 용량이 급증하여, 최근에는 500kV 급 케이블의 상용화에 성공하였다. Figure 1. [5] [10] 케이블의 용량이 증가함에 따라 절연성능이 향상된 절연물질의 요구도 또한 증가하게 되면서, 케이블 절연물질의 성능도 최근에 비약적으로 향상되어 왔는데 특히 국부적인 결함의 제거로 인한 절연 성능 향상에 관한 연구가 비약적으로 진행되었다. (fig 2.)

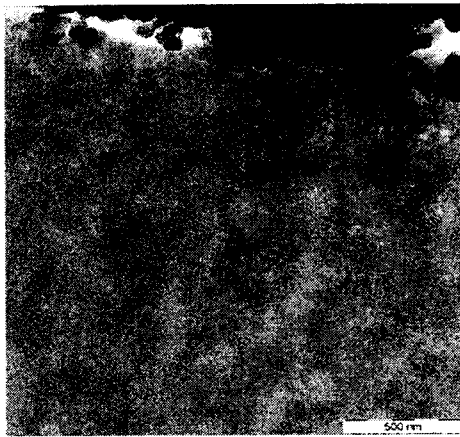
2.1.2 반도체절연계면특성향상에의한케이블성능향상

초고압 가교 폴라 에틸렌의 성능 향상을 얻기 위하여 절연 물질 및 제조 공정중에 발생할수 있는 결함 제거는 필수적이지만, 보다 발전된 케이블의 특성을 얻기 위해서는 케이블 절연 성능에 가장 직접적인 영향을 미치는 절연 반도체 계면의 특성 향상에 관한 연구가 반드시 진행되어야 한다. 폴리에틸렌의 가교공정중에 생성되는 라멜라 결정들은 케이블 절연 특성 향상에 매우 중요한 인자임은 널리 알려져 있다. 반도체전에 첨가된 첨가제는 제조공정시 발생하는 온도 구배에 의하여 절연 반도체 계면으로 확산되게 되고, 계면으로 확산된 첨가제들은

라멜라 결정의 핵생성 사이트로 작용하여 계면에서의 라멜라 밀도를 비약적으로 증가시키게 된다. 또한 계면에서 생성된 라멜라 결정들은 핵성장 도중에 서로 성장을 방해함으로써 그 성장 방향이 계면에 수직 방향으로 제어되게 되어 계면에서 방출된 가속전자들의 barrier 역할을 수행하여 절연 성능 향상에 큰 영향을 미치게 된다. Fig. 3의 TEM 이미지를 보면 첨가제가 첨가된 시편에 라멜라 밀도가 첨가제가 들어있지 않는 시편에 비해 매우 높음을 알 수 있다.



(a) TEM image of interface non-additive



(b) TEM image of interface with additive

Fig. 3 TEM image of without(a) and with(b) additive

2.1.3 모델케이블특성

첨가제 확산법에 의해 제조된 두께 4mm의 모델 케이블의 ACimpulse결과를 Fig. 4.에 나타내었다. AC impulse 시험은 동일 조건에서 30회 이상 시험하였는데 그 결과 첨가제를 첨가함으로써 $E_{L,imp}$ 값이 비약적으로 향상되었음을 확인 할 수 있다. (154.6 190.6kV/mm) 또한 위의 시험결과에 따라 230 kV real cable 을 식 (1) 및 (2)에 의거하여 설계한 결과 기존 케이블에 비해 절연두께를 현저히 감소 시킬 수 있었다.(23mm 20mm)

$$\text{where } t_{imp} = \frac{BIL \times k1 \times k2 \times k3}{E_{L,imp}} \quad \text{식(1)}$$

$k3$: safety factor (= 1.1)

$E_{L,imp}$: Min. Impulse breakdown stress (= 90kV/mm)

BIL: Basic Impulse Insulation Level (=1050kV)

$$E_L(t) = \alpha \times t^{-0.18} \quad (2)$$

($\alpha = -0.18$.)

위 설계값에 의해 제조된 230kV의 test 결과를 Tabel 1. 및 Table 2.에 나타내었다.

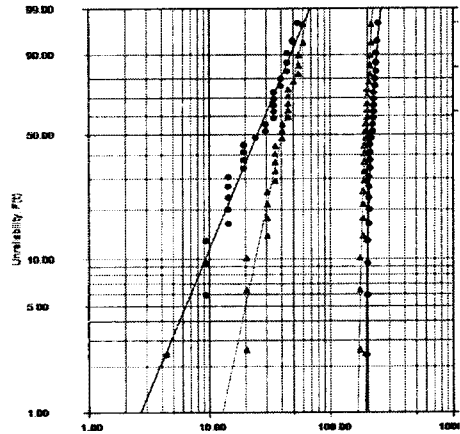


Fig.4 Weibull plot of model cable

Table 1. Results of cable test

Test Item	Condition	Results
AC voltage	600kV/1hour and then 50kV/10min. step-up	More than 1100kVp
Lightening Impulse	-1050kVp/10shots and then -50kVp/3shots step-up	More than -2300kVp

Table 2. Type test results

Test Item	Condition	Results
PD Test	191kV/5pC	Pass
tan δ	127kV/0.001	Pass
Heating Cycle	254kV/20cycle	Pass
Voltage Test	Conductor temp 95℃	Pass
PD Test	191kV / 5pC	Pass
Impulse Test	±1050kV/10shots	Pass
AC Voltage	254kV/15min.	Pass

3. 결 론

첨가제 계면 확산법에 의해 제조된 시편 및 케이블 시험을 통하여 다음과 같은 결과를 확인 할 수 있었다.

- (1) 특정 첨가제 첨가에 의해 계면에서 라멜라 밀도를 증가시킬 수 있었다.
- (2) 계면에 생성된 라멜라 결정들에 의해 절연성능 향상을 얻을 수 있었다.
- (3) 첨가제 확산법에 의해 제조된 케이블은 기존 케이블에 비해 절연 성능이 향상되었음을 확인 할 수 있었다

[참 고 문 헌]

- [1] Okamoto, T. and Ishida, M., "Growth of Lamellar at the Semicon-Interface in XLPE Power Cables", Proceedings of the 4th ICPADM, Australia, 1994, 5- 458
- [2] Vaughan, A. S. and Zhao, Y., "On Additives, Morphological Evolution and Dielectric Breakdown in Low Density Polyethylene", European Polymer Journal, Vol. 39, pp. 355-365, 2003.
- [3] Tanaka, T. and Okamoto, T., "Interfacial Improvement of XLPE Cable Insulation at Reduced Thickness", IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 3, No. 3, pp. 345-350, 1996.
- [4] J.R. Attwood, B. Gregory, M. Dickinson, R.N. Hampton, R. Svoma, "Development of high stress HV and EHV XLPE cable systems", CIGRE, Paris, France, 998, 21-108
- [5] H.H. Yoon, B.M. Kwak, J.O. Oh, S.G. Choi, G.D. Huh, and W.K. Park, "Development of high stress cable and accessories for EHV XLPE cable systems ", Jicable, 1999, Paris, France, pp. 175-180
- [6] E. Peschke, R. Schroth and R. Olshausen, "Extension of XLPE cables to 500kV based on progress in technology", Jicable 1995, Paris, France, pp. 6-10
- [7] P. Andersen, M.Dam-Andersen, L. Lorensen, O. Kjaer Nielsen, S.H. Poulsen, T.Tanabe, and Susuki, "Development of a 420kV XLPE cable system for metropolitan power project in Copenhagen", International Council on Large Electric Systems(CIGRE), Paris, France, 1996, 21-210
- [8] K. Ogawa, T. Kosugi, N. Kato, and Y. Kawawata, "The World's first use of 500kV XLPEinsulated aluminium sheathed power cables at the Shimogo and Imaichi power stations ", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 5, no. 1, 1990, pp.26-32
- [9] M.K. Choi, T.K. Ju, W.K. Park, and J.Y. Koo, "Development of 400kV XLPE Cable and Accessories in Korea", CIGRE, Paris, France, 1998, 21-107
- [10] A. Bolza, B. Parmigiani, F. Donazi, and C. Bisleri, "Prequalification test experience on EHV XLPE cable systems", International Council on Large Electric Systems(CIGRE), Paris, France, 2002, 21-104
- [11] J-O Bostrom, A Campus, RN Hampton, and E Marsden "Reliable HV & EHV cables", HV Insulated Cables(CIGRE), 2002, 21-105