

## 가공개폐기용 폴리머 부싱 개발

### Development of Polymer Bushing for Overhead Line Switch

최경선, 주종민, 이철호

(K. S. Choi, J. M. Joo, C. H. Lee)

#### Abstract

Polymer bushing used for overhead line switch was designed and investigated. Requirements of electrical ratings such as partial discharge, ac withstand voltage, impulse voltage and material properties were proposed in accordance with IEEE 386 and pre-standard (PS) 151-146~147, 170~180 of KEPCO. The polymer bushing consists of an internal epoxy bushing and external housing made of EPDM rubber. The rubber housing was molded with mold cone. Therefore, the polymer bushing offers several advantages like light weight, good sealing properties, easy installation and excellent performance in contamination. Electric field analysis was also introduced in order to verify the reliability of the design.

**Key Words(중요용어)** : Polymer Bushing, Epoxy Bushing, EPDM Rubber Housing, Switch

#### 1. 서 론

가공 가스개폐기는 가공 배전선로(22.9 kV-y)를 개폐하는 전력기기로서 이중에서 가스개폐기 본체와 가공 배전선로를 연결하여 주는 부싱은 고전압을 절연하는 중요한 절연부품으로 기존에는 자기재 부싱을 수입하여 국내에서 생산되는 몰드콘을 자기재 부싱에 접합하여 사용하였으나, 내구성이 강한 에폭시로 부싱을 제조하여 기존 자기 부싱의 기계적 및 절연특성을 유지하고, 그 위에 몰드콘과 일체형으로 설계된 신소재 폴리머 (EPDM) 하우징을 개발하여 내후성 및 오손특성을 향상시킨 제품으로써 기존 자

기재에 비해 가볍고, 깨지지 않으며 조립이 간편하고 가스가 새거나 공기가 스며들지 않도록 설계되었으며, 절연성능이 우수하여 원가절감 및 전기고장 감소효과를 가져오는 제품을 개발하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 설계목표

부싱 interface의 국제 규격인 IEEE 386 [1]과 국내 한국전력공사의 한전잠정 표준구매시방서인 25.8 kV 가스절연부하개폐기(가공용)(PS 151-146,147,170, 180) [2]를 기본으로 하여 다음 표 1과 같이 설계목표 특성치를 정하였으며 [3], 이를 기준으로 폴리머 부싱을 설계하였다.

---

평일산업주식회사 기술연구소  
(경기도 안양시 관양2동 1475-10,  
Tel : 031-420-6671  
Fax : 031-420-8400  
E-mail : chlqmsdl@hanmail.net)

표 1. 설계기준

시험항목	시험특성	시험방법
내한성시험	-25℃, 12시간	KSC 4511 8.12
상용주파 내전압시험	· 건조 : 60 kV / 1분 · 주수 : 60 kV / 10초	KSC 4511 8.12
뇌임펄스 내전압시험	150 kV, 1.2 x 50 μs	KSC 4511 8.12
기계적강도 시험	접착부 박리, 단선 및 기밀불량 없을 것	KSC 4511 8.12
기밀시험	1.5 kg/cm <sup>2</sup> · G 1분 인가시 기밀불량이 없을 것	KSC 4511 8.12
고주파 섭락시험	2000 kHz 3~5초	ES 131 6.5.2
내트래킹 시험	4.5 kV, 6시간	IEC 60587
굽힘시험	1000 N 하중을 1분간 인가하여 이상이 없을 것	IEC 137 7항
절연내력 시험	60 Hz, 25 kV/1분	KSC 3004 8.1항
절연저항 시험	1500 MΩ.km 이상	KSC 3004 9항
도체저항 시험	125 mm <sup>2</sup> : 0.157 Ω/km 이하 200 mm <sup>2</sup> : 0.0922 Ω/km 이하	KSC 3004 6항
내오손 시험	5% F.O.V 25.8 kV 이상	KSC 8330 9.15항
X-RAY 시험	1) 기포:크기 ≤0.07 mm 허용수량 ≥0.05 mm :30 개 / 16 cm <sup>2</sup> 2) 이물질:크기 ≤0.25 mm 허용수량 ≥0.05 mm :15 개 / 16 cm <sup>2</sup>	PS 117-810~868 8의 4.4항

2.2 구조설계

개폐기 본체와 가공선로를 연결하여 주는 부싱을 에폭시로 제조하여 기존 자기 부싱의 기계적 특성 및 절연특성을 유지하면서 SF<sub>6</sub> 가스가 새거나 공기가 스며들지 않도록 부싱과 개폐기 외함 접합면에 o-ring이 조립될 수 있도록 설계하였으며 탱크바깥 부분에 metallizing을 하여 차폐부를 형성하였다.

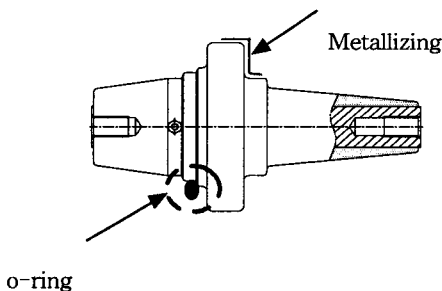


그림 1. 에폭시 부싱

그 위에 신소재 폴리머(EPDM) 하우징을 채택하여 내후성 및 오손특성을 향상시킨 제품으로써 폴리머 하우징과 절연전선을 일체형으로 제조하였으므로 접속개소가 없어져 절연특성과 내구성이 획기적으로 향상되었으며, 몰드콘을 자기 부싱에 조립하는 공정이 없어졌으며, 에폭시 부싱과 결합되어진 폴리머 하우징 끝단에 외부 반도체층을 삽입하여 전계완화 효과를 주었다.

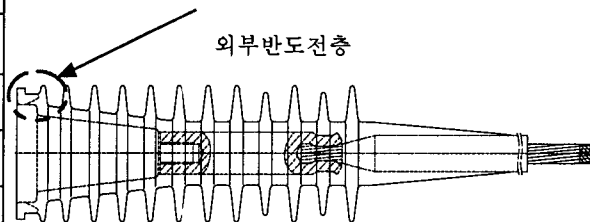


그림 2. 폴리머(EPDM) 하우징

에폭시 부싱과 폴리머(EPDM) 하우징의 접속 및 분리가 가능한 구조로 설계

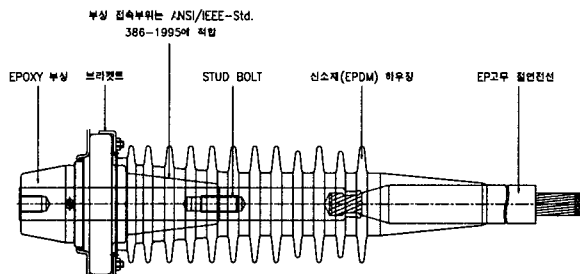


그림 3. 에폭시 부싱과 폴리머(EPDM) 하우징 결합되어진 상태도

2.3 전계해석

폴리머 부싱이 최적으로 이루어졌는지를 검증하기 위하여 전계분포 유한요소법에 의하여 실행하였다. 에폭시 부싱과 폴리머(EPDM) 하우징을 결합한 상태에서 실행하였으며 그 상태는 그림 3과 같다.

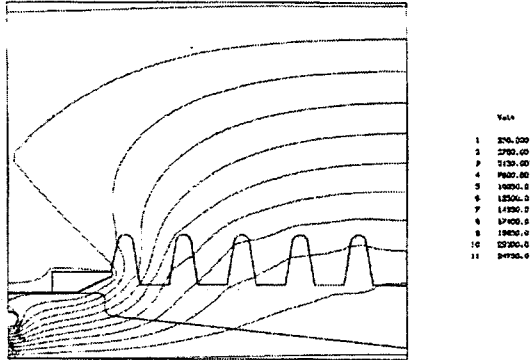


그림 4. 전계분포

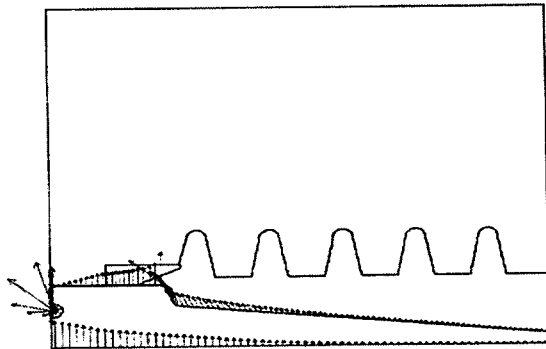


그림 5. 벡터 분포

경계조건은 에폭시 부싱의 도전부를 고전압측 전극으로 하고, 이 값을 상대적으로 100%의 전위값을 설정하였다. 그리고 각각의 유전율을 갖도록 수치를 대입하였으며, 또한 폴리머(EPDM) 하우징의 끝부분은 자연경계(Open Boundary Condition,  $d\phi/dn=0$ )로 설정하여 해석하였다.

해석결과로서 폴리머 부싱의 등전위 분포는 그림 4와 같이 전계 분포가 상당히 완만하며, 구조적으로 굴곡진 부분과 도전부에서는 전계분포가 조밀해지지만, 하우징의 외부반도전층의 두께가 균일하고 완만한 곡선구조로 도전부를 감싸주기 때문에 어느 한 곳의 편중된 전계분포가 발생되지 않으며, 에폭시 부싱과 결합하고 있는 계면 부분의 전계를 완화시켜주는 폴리머(EPDM) 하우징의 외부반도전층의 구조는 케이블 중단접속재의 스트레스 완화 콘의 구조와 유사함으로서 원활한 전계를 유도하고 있다. 또한 그림 5와 같이 벡터 값이 일정하게 고루 분포되어 있다.

## 2.4 성능평가

위와 같이 설계된 폴리머 부싱을 표1. 설계기준에 준하여 성능평가 해본 결과 아래와 같이 적절한 시험결과를 얻었다.

표 2. 폴리머 부싱 설계기준 및 시험결과

시험항목	설계기준	시험결과
내한성시험	-25℃, 12시간	양 호
상용주파 내전압시험	· 건조 : 60 kV / 1분 · 주수 : 60 kV / 10초	양 호
뇌임펄스 내전압시험	150 kV, 1.2 x 50 $\mu$ s	양 호
기계적강도 시험	접착부 박리, 단선 및 기밀불량 없을 것	양 호
기밀시험	1.5 kg/cm <sup>2</sup> · G 1분 인가시 기밀불량이 없을 것	양 호
고주파 섬락시험	2000 kHz 3~5초	양 호
굽힘시험	1000N 하중을 1분간 인가하여 이상이 없을 것	양 호
절연내력 시험	60 Hz, 25 kV/1분	양 호
절연저항 시험	1500 M $\Omega$ .km 이상	1754 M $\Omega$ .km
도체저항 시험	125 mm <sup>2</sup> : 0.157 $\Omega$ /km 이하 200 mm <sup>2</sup> : 0.0922 $\Omega$ /km 이하	125mm <sup>2</sup> :0.0151 200mm <sup>2</sup> :0.0904
내오손 시험	5% F.O.V 25.8 kV 이상	50 kV
X-RAY 시험	1) 기포:크기 $\leq$ 0.07 mm 허용수량 $\geq$ 0.05 mm :30 개 / 16 cm <sup>2</sup> 2) 이물질:크기 $\leq$ 0.25 mm 허용수량 $\geq$ 0.05 mm :15 개 / 16 cm <sup>2</sup>	양 호

표 3. 하우징용 절연 컴파운드 설계기준 및 시험결과

시험항목	설계기준	시험결과	적용규격
인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	40 이상	64	ASTM D 638
신장율 (%)	200 이상	290	
경도 (Shore A)	70 $\pm$ 5	71	
비중	1.45 $\pm$ 0.1	1.47	
비유전율	4.0 이하	3.5	ASTM D 150

시험항목	설계기준	시험결과	적용규격
유전정접 (%)	1.0 이하	0.4	ASTM D 150
절연파괴강도 (kV/mm)	25 이상 (두께 : 1mm)	28	IEC 243
가열노화 (120℃ 120 h)	인장강도	처음값의 80% 이상	97 % KS C 3004
	신장율	처음값의 80% 이상	
체적 저항율 (Ω · cm)	1.0x10 <sup>15</sup> 이상	1.46 x 10 <sup>15</sup>	ASTM D 257
난연성	FV <sub>0</sub> 급	FV <sub>0</sub> 급	IEC 707

표 4. 하우징용 반도체 컴파운드 설계기준 및 시험결과

시험항목	설계기준	시험결과	적용규격
인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	100 이상	134	ASTM D 638
신장율 (%)	300 이상	375	
경도 (Shore A)	75 ± 5	74	
비중	1.11 ± 0.05	1.11	
체적 저항율 (Ω · cm)	200 이하	134	ASTM D 150
가열시험 (120℃ 120 h)	인장강도	처음값 80% 이상	100 % KS C 3004
	신장율	처음값의 80% 이상	

표 5. 부싱용 에폭시 수지의 설계기준 및 시험결과

시험항목	설계기준	시험결과	적용규격
절연파괴강도 (kV/mm)	30 이상	39.4	ASTM D 149
비유전율	5.0 이하	3.92	ASTM D 150
Tan δ	0.005 이하	0.004	ASTM D 150
체적저항율 (Ω · cm)	10 <sup>15</sup> 이상	5.0x10 <sup>15</sup> 이상	ASTM D 257
내아크성 (s)	180 이상	187	ASTM D 495
난연성	FV <sub>0</sub> 급	FV <sub>0</sub> 급	IEC 707

### 3. 결론

폴리머 부싱 구조가 내구성이 강한 에폭시 부싱과 내오손 및 절연특성이 좋은 EPDM 하우징으로 설계되어 있으며, 몰드콘을 부싱과 일체형 구조로 설계하여 작업성이 간편하고, 기존 자기재에서 폴리머로 재질을 바꿈으로써 부싱의 무게를 60% 감소시켰으며, 폴리머(EPDM) 하우징을 외부에서 자유롭게 접속 및 분리가 가능한 구조로 가공용 개폐기의 효율성 및 생산성에 대한 향상효과가 있다. 또한 부싱과 개폐기 탱크이음 부분의 장시간 사용 시 하중으로 인한 가스누설 방지 설계로 안전사고의 위험으로 부터 보호함으로써 안전한 전력공급에 기여할 것이다.

### 참고 문헌

- [1]. IEEE Standard for Separable Insulated Connector Systems for Power Distribution Systems Above 600V (IEEE Std 386-1995)
- [2]. 한전잠정표준구매시방서 25.8kV 가스절연부하 개폐기(가공용) (PS 151-146~147,170~180)
- [3]. D. Zeng et al., "Advancements in Bushing Technology" Insulator 2000 Symposium, pp. 210-221, 1999.
- [4]. 이철호, "EPDM/Clay 컴파운드의 절연특성" 한국전기전자학회지, 2000
- [5]. Kearney, Technical brochure, section 4.1, 1992.
- [6]. 박창엽, "전기재료", 보성문화사 p. 278, 1992.