

## 퓨즈가 내장된 엘보접속재의 설계

### Design of Fuse Mounted Elbow Connector

최경선, 이철호, 송일근\*, 권태중\*, 권영복\*, 한명관\*\*

(K.S. CHOI, C.H. LEE, I.K. SONG, T.J. KUN, Y.B. KUN, M.K. HAN)

#### Abstract

Fuse mounted elbow connector used for pad mounted transformer was designed and investigated. Requirements of electrical ratings such as partial discharge, ac withstand voltage and impulse voltage and material properties were proposed in accordance with IEEE 386 and pre-standard (PS) 147-219~229 of KEPCO. The connector can be jointed with pad mounted transformer and current limiting fuse which is installed inside of the connector easily replaced with new one in the case of breakdown of the fuse. Electric field analysis was also introduced in other to verify the reliability of the design.

**Key Words(중요용어)** : Elbow Connector, 한류(Current Limiting)퓨즈, Transformer

#### 1. 서론

최근 산업이 고도화, 고기능화 및 다양화되고 도심지역의 밀집화와 전력공급의 신뢰성 측면에서 배전선로의 지중화가 요구됨과 동시에 전력계통이 점점 대용량, 초고압화 되어가고 각종 전기기기의 고성능, 소형 경량화에 대한 요구가 한층 증가하고 있다. 현재 지상설치형 변압기에 1차측 보호장치를 위해 한류퓨즈를 내장형으로 설치 사용하고 있으나 실제적으로 변압기 내부 회로 구성이 복잡하며, 단락 사고 등으로 인하여 절연유 분출 등이 발생한다. 따

라서 사고발생시 보수가 용이하지 못하고, 변압기의 절연유 분출 사고를 완벽하게 보호할 수 없는 상태이다. 이에 본 연구에서는 지상설치형 변압기의 중요부품인 퓨즈를 엘보접속재에 내장하여 퓨즈의 기능 수행을 변압기 외부에서 수행함과 동시에 변압기의 유지점검, 보수 등의 작업을 원활히 수행하며, 변압기의 slim화와 변압기의 수명을 연장하기 위하여 퓨즈 내장형 엘보접속재를 설계하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 설계목표

엘보접속재의 국제 규격인 IEEE 386[1]과 국내 한국 전력공사의 한전잠정표준 구매시방서인 엘보접속재(PS 147-219~229, PS 151-962-998)[2], 지상설치형 변압기(PS 147-050~167)[3]를 기본으로 하여 다음 표1과 같이 설계목표 특성치를 정하였으며, 이를 기준으로 퓨즈내장 엘보접속재를 설계하였다.

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

\* 한전 전력연구원

\*\* 한국전력공사 배전처

표1. 설계기준

시험항목	시험특성	시험방법
부분방전 시험	3 pC 이하 (19 kV rms)	IEEE 386-7.4
교류내전압 시험	40 kV (rms)	IEEE 386-7.5.1.
직류내전압 시험	부극성 78 kV/15 min	IEEE 386-7.5.2.
충격내전압 시험	125 kV BIL 정·부극성으로 각3회	IEEE 386-7.5.3.
단시간전류 시험	1) 10 kA (rms) : 0.17(s) : 13 kA 2) 3.5 kA (rms) : 3(s) : 4.55 kA	IEEE 386-7.6
절연부의 전류주기 시험	90±5℃ 3시간 통전, 3시간 휴지하면서 8cycle 시행	IEEE 386-7.10
가속기밀성 시험	500 Ωcm이하의 물속에 1시간 담든 것을 1 cycle로 하여 50 cycle 시행	IEEE 386-7.12
케이블 접속력시험	890 N 1분간 인장력 시험	IEEE 386-7.13
조작력 시험	44~890 N	IEEE 386-7.14
조작고리 시험	활선공구로 시계방향과 반대방향으로 적용시 1분간	IEEE 386-7.15
시험점 캡 시험	445 N 1분간	IEEE 386-7.16
시험점 시험	시험전압이 도체부에 인가시 검출가능할 것	IEEE 386-7.17
차폐시험	5000 Ω 이하	IEEE 386-7.18
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 147-219~229 5.5항
가열노화 시험	인장강도 및 신율이 가열전 값의 80% 이상	KSM 6518 7.3항

2.2 퓨즈선정

변압기 전위보호를 위한 이중소자(Bay-O-Net) 퓨즈의 최대 T.C.C(Time Current Characteristic)와 변압기 후위보호를 위한 한류(Current Limiting)퓨즈의 최소 T.C.C의 교차점 전류값(Ico)은 한류퓨즈의 최소 차단전류보다 크고 이중소자 퓨즈의 최대 차단전류보다 작게 선정했고, 또한 이중소자 퓨즈 최대 T.C.C 및 2차 단락전류(Is)값보다 한류퓨즈의 최소 T.C.C가 각 지점에서 최소 20%이상 여유가 있도록 하였다[4].

표2. 퓨즈 내장형 엘보접속재 규격(안)

설계제품		적용 (kVA)				
FLR40A	단 상	30	50	75	100	-
	삼 상	75	100	150	200	300
FLR50A	단 상	150	-	-	-	-
	삼 상	500	-	-	-	-
FLR65A	단 상	200	-	-	-	-

2.3 구조설계

퓨즈 내장형 엘보접속재는 변압기 1차측 고압부상에 접속 가능하도록 상부접속구는 엘보구조로 설계된 엘보접속구와 입,출력부 케이블을 연결 가능하도록 출력 분기구가 돌출구조로 형성된 하부접속구로 이루어져 있다. 상부접속구와 하부접속구 내부에 퓨즈가 내장되어 있으며 퓨즈 양 끝단에 연결금구를 이용하여 상,하부접속구를 연결시켜주는 중앙 분리형 구조로 이루어져 있다.

또한 전압검출을 용이하게 하기 위하여 각각의 상, 하부접속구에 전압검출부(test point)를 설치하였다.

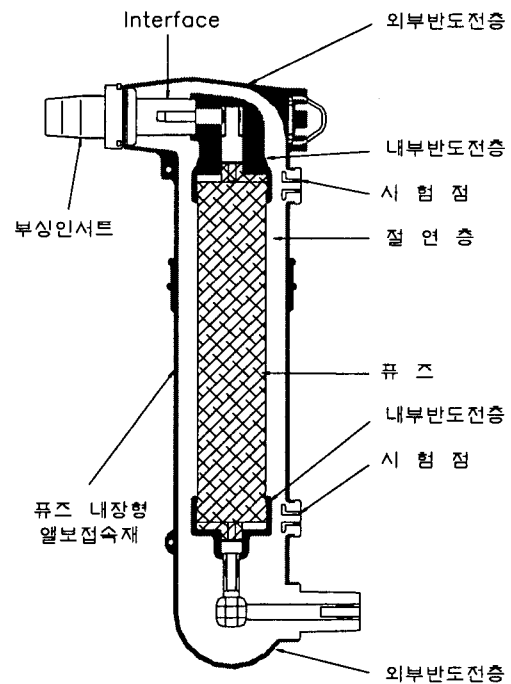


그림 1. 퓨즈 내장형 엘보접속재에 부싱인서트 결합되어진 상태도

위와 같이 설계된 퓨즈 내장형 엘보접속재에 사용하는 절연 및 반도체 EPDM 컴파운드의 설계기준 및 특성을 표3 및 표4에 나타내었으며 절연두께는 Kinzbrunner[5] 공식을 적용하여 8mm로 결정하였다.

$$V(\text{절연파괴전압}) = v \cdot t^{1/2}$$

v = 1mm에서의 파괴전압,  
t = 절연두께(mm)

표3. 절연 컴파운드 설계기준 및 시험결과

시험항목	설계기준	시험결과	적용규격	
인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	40 이상	65	ASTM D 638	
신장율 (%)	220 이상	362		
경도 (Shore A)	55 ± 5	53		
비중	1.21 ± 0.1	1.216		
비유전율	3.1 이하	2.718	ASTM D 150	
유전정접(%)	0.5 이하	0.03		
절연파괴강도 (kV/mm)	25 이상 (두께 : 1mm)	30	IEC 243	
가열노화 (120°C 120 h)	인장강도	처음값의 80% 이상	97 %	KS C 3004
	신장율	처음값의 80% 이상	95 %	
체적 저항율	1 X 10 <sup>16</sup> 이상	2.1 x 10 <sup>17</sup>	ASTM D 257	

표4. 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°C 120 h)	인장강도	처음값의 80% 이상	100 %	KS C 3004
	신장율	처음값의 80% 이상	107 %	

## 2.4 전계해석

퓨즈 내장형 엘보접속재가 최적으로 이루어졌는지를 검증하기 위하여 전계분포 해석을 유한요소법에 의하여 실행하였다. 퓨즈 내장형 엘보접속재는 부상인서트에 접속되므로 전계분포 해석은 엘보접속재와 부상인서트가 결합된 상태로 실행하였으며 그 상태는 그림 1과 같다.

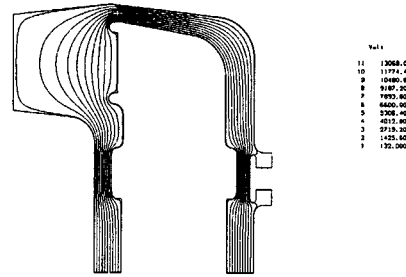


그림 2. 전계분포

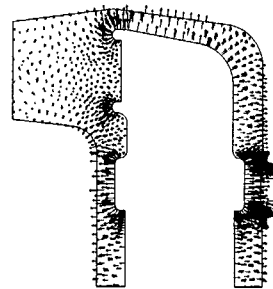


그림 3. 벡터 분포

경계조건은 부상인서트와 엘보접속재의 도전부를 고전압측 전극으로 하고, 이 값을 상대적으로 100%의 전위값을 설정하였다. 그리고 각각의 유전율을 갖도록 수치를 대입하였으며, 퓨즈는 전압이 균등 분포되는 부분으로 설정하였다. 또한 부상인서트와 엘보접속재의 끝부분은 자연경계(Open Boundary Condition,  $d\phi/dn=0$ )로 설정하여 해석하였다.

해석결과로서 엘보접속재의 등전위 분포는 그림 2와 같이 전계 분포가 상당히 완만하며, 구조적으로 굴곡진 부분과 도전부에서는 전계분포가 조밀해지지만, 하우징의 외부반도전층과 내부반도전층의 두께가 균일하고 완만한 곡선구조로 도전부를 감싸주기 때문에 어느 한 곳의 편중된 전계분포가 발생되지

않으며, 부상인서트와 결합하고 있는 계면 부분의 전계를 완화시켜주는 하우징의 내부반도전층의 구조는 케이블 종단접속재의 스트레스 완화 콘의 구조와 유사함으로서 원활한 전계를 유도하고 있고 하우징의 내부반도전층과 퓨즈가 접합되는 부분의 전계도 구조적으로 안정된 전계분포를 이루고 있다. 또한 그림 3과 같이 벡터 값이 일정하게 고루 분포되어 있다.

### 3. 결 론

접속재 구조가 기존 지상설치형 변압기에 접속이 가능한 구조로 되어있으며, 접속재 하단부에 분기구조로 되어있어 기존 지상설치형 변압기의 내부회선이 단순화 되고 따라서 퓨즈 교체 시 시간과 비용이 절감되어 변압기의 효율성 및 생산성에 대한 향상효과가 있다. 또한 퓨즈 사고로 인한 변압기의 대형사고를 미연방지할 수 있으며, 변압기의 slim화가 가능하여 절연유 등이 절감되고 퓨즈의 사고 시 타 변압기에 전력공급이 가능하여 사용의 편리성이 제공된다. 앞으로 지상설치형 변압기 전 규격과 지중 개폐기 전 규격에 적용하여 절연유 분출 및 안전사고의 위험으로 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]. 한전잠정표준구매규격 케이블 엘보접속재 (PS 147-219~229, 151-962~998)
- [3]. 한전잠정표준구매규격 지상설치형 변압기 (PS 147-050~167)
- [4]. Kearney, Technical brochure, section 4.1, 1992.
- [5]. 박창엽, "전기재료", 보성문화사 p. 278, 1992.