

**변전소용 애자의 신뢰성 평가를 위한 특성 분석**

김 찬 영\*, 송 일 근, 김 주 용, 이 병 성, 정 중 욱  
 우석대학교\*, 전력연구원

**Characteristics of the Solid-core Station Post Insulators  
 for the Reliability Estimation**

Chan Young Kim\*, Il Keun Song, Ju Yong Kim, Byung Sung Lee, Jong Wook Jung  
 Woosuk University\*, Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

**Abstract** - This paper presents the results of characteristics of the solid-core and suspension insulators for the reliability estimation. The various analytic techniques, such as ICP, XRD, SEM, EDS, were applied for the purpose. The alumina content of solid-core insulator was less than that of suspension insulator. The cristobolite was crystallized only in solid-core insulator. The average pore size of solid-core insulator was larger than that of suspension insulator. However, the numbers of pore were fewer in the solid-core insulator.

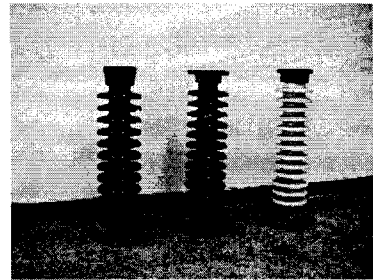


그림 1. 변전소용 중실애자

**1. 서 론**

국내의 발전소, 변전소 등에서 사용되고 있는 초고압 용 중실애자 및 부성류는 모두 외국에서 수입하여 사용해 왔다. 따라서, 지난 30여 년간 국내의 고전압기기 제조 중소기업에서는 소량의 초고압용 애자를 수입하기 위해 많은 시간 및 노력을 투자해 왔다. 또한 국내에서는 이들 애자에 대한 제조기술 및 평가가 거의 전무한 실정이다.

변전소 등에 설치되어 있는 중실애자(solid-core insulator)에 지진 등에 의한 충격이 가해졌을 때 균열이 발생할 가능성이 높다. 지진 등의 응력으로 애자에 균열이 발생되었을 경우에도 외관상 발견이 쉽지 않기 때문에 고장으로 진전될 가능성이 크다. 따라서 변전소에 설치되어 있는 중실애자에 대한 내진 신뢰성을 검증하고, 내진성을 향상시키기 위한 애자를 개발하기 위하여, 변전소에 사용되는 애자에 대한 특성 평가가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 변전소에서 사용되고 있는 중실애자에 대한 특성을 평가한 결과에 대해 기술하였다. 또한 중실애자와의 특성을 비교하기 위해 동일 제조사에서 제작된 현수애자와 비교하였다. 재료에 대한 성분분석을 ICP로 하였고, 자기에 포함되어 있는 결정상을 XRD로 확인하였으며, 전자현미경으로 미세구조를 관찰하여 기공의 분포를 관찰하여 기계적특성과 관련하여 분석하였다.

**2. 본 론**

**2.1 시료의 재원**

분석에 사용된 애자의 종류는 중실애자(solid-core insulator)로써, 국외에서 수입하여 현장에서 약 24년 사용된 것이다. 애자의 표면에 도포된 유약은 갈색과 회색 두 종류를 사용하였다. 그림 1은 분석에 사용된 중실애자의 사진을 보여주고 있다. 또한 중실애자와의 특성을 비교하기 위하여 동일회사제품의 현수애자와 비교하여 분석하였다.

**2.2 측정 및 분석**

**2.2.1 자기의 성분 분석**

중실애자 및 현수애자의 성분원소 함량을 유도결합 플라즈마 발광분광기로 분석하여 검정곡선법에 의하여 각 성분원소를 정량화 하였다. 시험방법은 ASTM C169-92, C1301-95방법에 따랐으며, 시료는 완전히 갈아서 100 메쉬의 채로 거른 다음 110℃에서 건조하고 용제로서 LiBO<sub>2</sub>를 사용하여 1000℃에서 30분 동안 완전히 용융한 다음 각각을 묽은 질산으로 용해하여 일정량으로 만들어 분석하였다. 분석한 결과는 표1에 나타났다.

중실애자와 현수애자의 성분함량 중 알루미늄이나 규소의 함량이 가장 크게 나타났다. 중실애자의 알루미늄 함량은 현수애자와 보다 적게 나타났고, 대신 규소가 더 많이 사용되었다. 나머지 소량 포함된 성분들의 함량은 비슷한 것으로 나타났다.

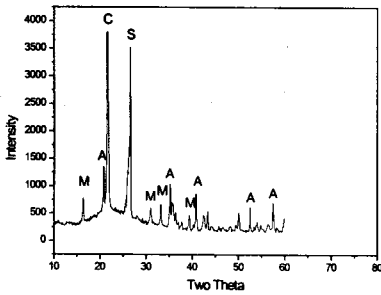
표 1. 애자에 따른 자기의 성분

항목	애자 종류	중실애자	
	현수애자	갈색유약	회색유약
SiO <sub>2</sub>	63.1	73.8	74.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.6	23.1	22.9
CaO	0.3	0.3	0.3
MgO	0.1	0.2	0.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.7	0.6	0.6
TiO <sub>2</sub>	0.3	0.3	0.3
Na <sub>2</sub> O	0.9	0.7	0.7
K <sub>2</sub> O	2.9	1.0	1.0
합 계	99.9	100.0	100.0

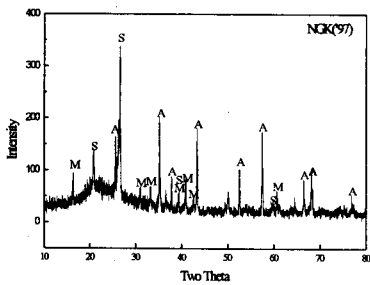
## 2.2.2 X-선 회절 분석

그림 2는 중실애자와 현수애자의 x-선 회절 패턴이다. X-선 회절패턴에 나타난 바와 같이 중실애자와 현수애자의 자기에는 비정질상(amorphous phase)과 결정상이 혼합되어 있는 것을 알 수 있다. 중실애자에는 크리스토파라이트( $\text{SiO}_2$ ), 퀴쯔( $\text{SiO}_2$ ), 밀라이트( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ), 코런덤( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 결정이 존재하였다. 반면에 현수애자에는 크리스토파라이트( $\text{SiO}_2$ )를 제외한 나머지 결정들이 관찰되었다. 또한 중실애자와 현수애자에 포함되어 있는 코런덤은 피크를 퀴쯔의 피크와 상대비교하였을 경우에 중실애자가 현수애자보다 작은 적은 적은 양의 코런덤 결정을 포함하고 있다는 것을 의미한다. 이것은 위의 자기에 대한 성분분석에서 중실애자의 알루미늄 함량이 현수애자보다 적게 포함된 결과와 일치한다.

코런덤 결정의 함량은 자기의 기계적 특성을 평가하는 척도이므로, 중실애자의 기계적 특성은 현수애자의 기계적 특성보다 떨어질 것으로 판단된다.



(a) 중실애자



(b) 현수애자

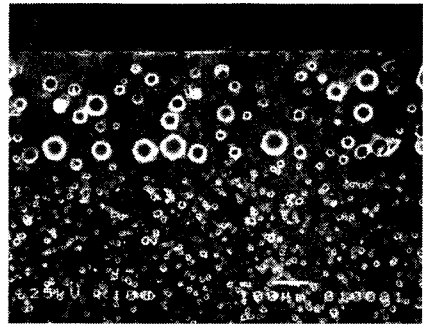
그림 2. 중실애자 및 현수애자의 x-선 회절 패턴

## 2.2.3 미세구조 분석

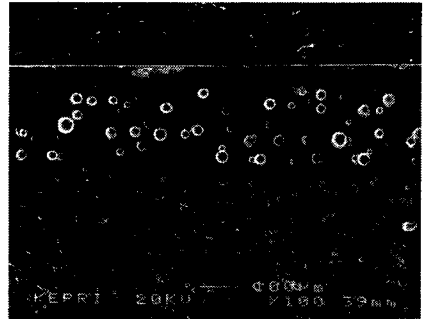
### 2.2.3.1 유약층의 미세구조

중실애자와 현수애자의 유약층 단면 미세구조를 관찰하여 그림 3에 나타냈다. 중실애자와 현수애자의 유약층 두께는 약  $300 \mu\text{m}$  로써, 유약층의 두께가 균일하였다. 유약층의 두께가 일정하다는 것은 사용하는 유약의 점도가 일정하였다는 것을 의미한다.

유약층에 포함된 기공의 크기를 관찰하였을 경우에 중실애자에 포함된 기공은 표 2에서와 같이 현수애자에 포함된 기공보다 크기가 큰 것으로 나타났다. 기공의 크기가 클 경우에는 외부의 충격에 쉽게 균열이 발생할 수 있다.



(a) 중실애자



(b) 현수애자

그림 3. 유약층 단면의 미세구조

표 2. 유약의 두께 및 기공의 크기

특성	유약층 두께	기공의 평균직경
애자 종류		
중실애자	$300 \mu\text{m}$	$33 \mu\text{m}$
현수애자	$300 \mu\text{m}$	$23 \mu\text{m}$

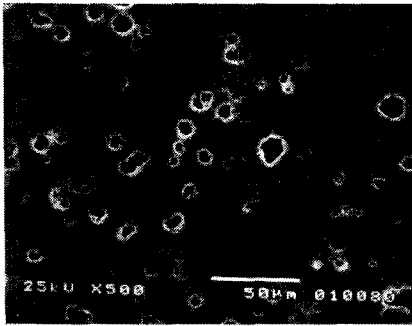
### 2.2.3.2 자기의 미세구조

중실애자 및 현수애자의 미세구조는 그림 4와 같다. 자기에 포함된 기공은 모두 폐기공을 형성한 것으로 보아 열처리과정이 정상적으로 된 것으로 판단된다.

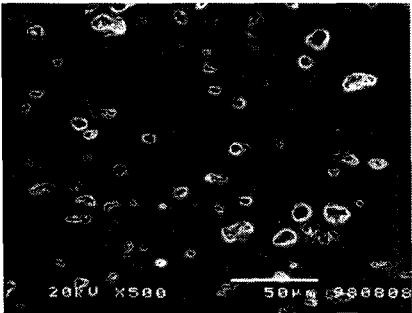
그림에 포함된 기공수를 세어 단위 면적당( $\text{cm}^2$ ) 기공수를 계산하였고, 기공의 크기는 그림에 포함된 모든 기공의 직경을 측정하여 평균값으로 계산하여 표 3에 기록하였다. 중실애자는 현수애자보다 기공수는 적으나 기공의 크기가 큰 것으로 나타났다. 자기의 기계적 특성은 자기에 포함된 기공수 및 기공의 크기에 의존하므로 중실애자와 현수애자의 기계적 특성을 비교 평가하기 위해서는 기계적 특성을 수행할 필요가 있다.

표 3. 자기에 포함된 기공의 수 및 크기

특성	기공 수		평균 기공크기
	in picture	단위 면적 ( $\text{cm}^2$ )	
애자 종류			
중실애자	62 개	16.6만개	$6.6 \mu\text{m}$
현수애자	73 개	19.6만개	$4.2 \mu\text{m}$



(a) 중실애자



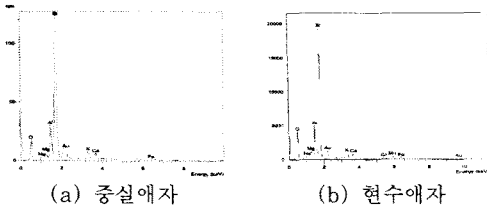
(b) 현수애자

그림 4. 자기 단면의 미세구조

### 2.3.4 에너지 분산 분광(EDS) 분석

유약층과 자기의 성분을 에너지 분산 분광기(EDS)를 이용하여 분석하여 그림 5에 나타냈다. 중실애자와 현수애자 유약층의 가장 큰 차이는 크롬과 망간 성분의 함유여부이다. 현수애자는 유약의 열팽창계수를 더 작은 재료로 하기 위하여 크롬과 망간을 포함하고 있으나, 중실애자에는 관찰되지 않았다. 이것은 중실애자의 유약은 현수애자의 유약보다 자기와의 열팽창 차이가 작은 재료로 사용되었던 것으로 판단된다.

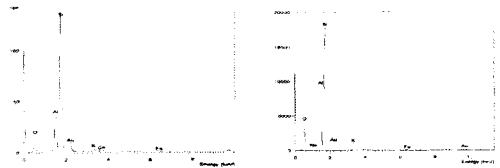
자기에 대한 EDS는 그림 6과 같다. 분석 결과 알루미늄 피크와 규소피크를 상대비교 하였을 경우에, 중실애자의 피크가 낮은 것은 알루미늄 함량이 적게 측정된 ICP 성분분석 결과와 일치하였다.



(a) 중실애자

(b) 현수애자

그림 5. 중실애자 및 현수애자 유약의 EDS 패턴



(a) 중실애자 (b) 현수애자

그림 6. 중실애자 및 현수애자 자기의 EDS 패턴

### 3. 결론

변전소에 사용되고 있는 중실애자와 현수애자에 대한 특성평가를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 중실애자의 알루미늄 함량은 현수애자와 보다 적게 나타났고, 대신 규소가 더 많이 사용되었다. 나머지 소량 포함된 성분들의 함량은 비슷한 것으로 나타났다.
2. 중실애자에는 크리스토틴블라이트( $\text{SiO}_2$ ), 퀴즈( $\text{SiO}_2$ ), 멀라이트( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ), 코런덤( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 결정이 존재하였다. 반면에 현수애자에는 크리스토틴블라이트( $\text{SiO}_2$ )를 제외한 나머지 결정들이 관찰되었다.
3. 중실애자와 현수애자에 포함되어 있는 코런덤은 피크를 퀴즈의 피크와 상대비교 하였을 경우에 중실애자가 현수애자보다 작은 것은, 코런덤 결정이 적게 포함되어 있다는 것을 의미한다.
4. 유약층 두께는 중실애자와 현수애자에서 모두 300  $\mu\text{m}$ 로 같았으나, 유약층에 포함된 기공의 평균직경은 중실애자가 33  $\mu\text{m}$ , 현수애자가 23  $\mu\text{m}$ 로 나타났다.
5. 중실애자는 현수애자보다 기공수는 적었으나 기공의 크기가 큰 것으로 확인되었다.
6. 중실애자의 유약성분에서 크롬과 망간이 관찰되지 않았다.

### 감사의 글

이 연구는 기초전력공학공동연구소(제01-지-11호) 및 우석대학교의 지원에 의해 수행된 연구결과와 일부로 이에 감사드립니다.

### (참고 문헌)

- [1] 송일근외, "배전기자체의 수명예측 기준제정", 전력연구원 최종보고서 '00전력연-단619, pp. 3-37, 2000.
- [2] NGK INSULATORS, "SWITCH AND BUS INSULATORS, Solid-core Station Post Type", CATALOG NUMBER 60, pp 199-213
- [3] 김찬영외, "자기제 현수애자의 미세구조분석과 유전특성에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 48C권 9호, pp. 641-648, 1999.
- [4] 김찬영외, "배전용 현수애자의 특성분석", 한국 전기전자 재료학회 논문지, Vol. 13, No. 3, 2000.