

## 800kV급 스페이서의 특성시험

정진교, 송기동, 장기찬, 박경업, 신영준

한국전기연구소 전력기기연구부 개폐장치연구팀

### Characteristic Tests for 800kV Class Spacer

J.K. Chong, K.D. Song, K.C. Chang, K.Y. Park, Y.J. Shin

Switchgear Research Team, KERI

**Abstract :** The spacer is solid insulator which supports main conductor in GIS and separates gas area. The 800kV spacer was designed and manufactured considering the results of electrical and structural analysis using commercial package MSC/NASTRAN.

Temperature test and water pressure test were carried out, and the results from water pressure test were compared with the calculated ones from MSC/NSATRAN.

#### I. 서론

스페이서는 가스절연기기의 핵심인 GIS의 중심도체를 지지하고 가스영역을 구획하는데 사용하는 고체절연물이다. 이러한 스페이서를 개발하고자 할 때는 전기적인 측면과 구조적인 측면을 동시에 고려하여야 한다.

전기적인 측면으로는 스페이서의 표면에서 부분적인 전계집중이 일어나지 않도록 설계하여야 한다. 즉, 스페이서의 표면을 따라 균등하게 전계가 분포하여야 하며 스페이서와 도체부 전극 사이에서 최대전계가 발생하지 않도록 하여야 한다. 그리고 스페이서 내부에 기포와 이물질 등에 의한 결합이 없어야 한다.

구조적인 측면으로는 가스 압력 상승에 의한 구조물에서의 정상응력과 전단응력 그리고 구조물의 온도 상승에 의한 열적 인 Stress 등을 고려하여야 한다.

본 논문에서는 전기적, 구조적으로 설계되고 제작된 800kV급 스페이서에 대한 구조적인 성능검증을 위하여 수행된 냉열시험 및 수압시험의 결과를 제시하고 있으며, 또한 해석적으로 계산된 결과와 실험에 의한 결과를 비교하였다.

#### II. 스페이서의 냉열시험

800kV급 스페이서에 대한 구조적 성능검증을 위하여 냉열시험을 수행하였다. 냉열시험은 온도조건에 따른 도체부와 절

연물부의 접촉조건, 그리고 도체부나 절연물부를 제작하는데 있어서 포함된 불순물의 영향을 고려하기 위하여 수행한다. 즉, 스페이서 주위의 온도변화에 따라 도체부와 절연물부의 접촉조건의 상태 및 스페이서 내부에 포함된 불순물에 대한 영향을 파악하기 위한 것이다.

800kV급 스페이서에 대한 냉열시험의 시험규격은 아직 정해져 있지 않기 때문에 제작회사에서 자체적으로 시험기준을 설정하여 시험을 수행하고 있다. 800kV급 스페이서의 냉열시험을 위해서 혜성(주)의 시험기준을 이용하였다. 시험조건은 최저온도가  $-30 \pm 5^\circ\text{C}$ 이고 최고온도가  $90 \pm 5^\circ\text{C}$ 이며, 최저온도에서 10시간을 유지하고, 최대온도에서 10시간을 유지하는 과정을 10 cycle을 반복하는 것이다.

국내에서 지금 1200[mm], 무게 150[kg]의 800kV급 스페이서에 대한 냉열시험을 위한 시험기를 한국전기연구소가 보유하고 있지만 운전조건인 냉열시험의 시험조건을 지킬 수는 없었다. 그래서 냉열시험기의 운전조건을 최대한으로 설정하여 냉열시험을 수행하였다. 그림 1은 냉열시험을 위하여 시험기에 설치된 800kV급 스페이서의 실험 전의 상태를 보여주고 있다. 시험기 내부의 온도 및 스페이서에서의 온도의 변화를 측정하기 위하여 온도센서를 부착하였다. 위치는 냉열시험기의 외부에서 설정한 온도조건과 실제의 냉열시험기 안의 온도 조건이 다를 수 있으므로 내부의 온도측정을 위한 센서를 한 개 설치하였고, 스페이서의 도체부 표면, 그리고 스페이서의 절연물 표면에 각각 1개씩의 온도센서를 부착하여 시험을 수행하였다. 그림 2는 수행된 냉열시험의 결과를 보여주고 있다. 온도조건은 최저  $-40^\circ\text{C}$ , 최고  $+100^\circ\text{C}$ 이고, 횡축방향의 1칸은 30분을 의미한다. 시험기 내부의 온도조건은 2번 선으로 나타나 있고 변화의 폭은 최저  $-26^\circ\text{C}$ , 최대  $87^\circ\text{C}$ 이었다. 도체부 표면에서의 변화는 1번 선으로 표시되어 있으며, 온도변화는 최저  $-5^\circ\text{C}$ , 최대  $54^\circ\text{C}$ 이었다. 그리고 절연물에서의 온도변화는 3번 선으로 표시되어 있고 값의 범위는 최저  $+6^\circ\text{C}$ , 최대  $43^\circ\text{C}$ 이었다. 측정결과를 살펴보면 온도센서의 출력결과가 고르지 못한 것을 볼 수 있는데, 이는 시험기의 온도조건의 변화에

따라 수분이 온도센서에 부착됨으로써 출력결과가 고르지 못한 것으로 생각된다.

### III. 스페이서의 수압시험

수압시험은 냉열시험 후의 스페이서의 구조적 특성을 파악하기 위하여 실시된다. 냉열시험 거친 800kV급 스페이서에 대하여 수압시험을 실시하였다. 효성(주)이 자체적으로 설정한 스페이서의 수압시험에 대한 기준치는 압력 12.1[kgf/cm<sup>2</sup>]에서 스페이서가 10분간 유지되는 것이다. 본 시험에서는 제작된 스페이서의 파괴강도를 얻기 위하여 스페이서가 파괴될 때까지 수압을 상승시켰다. 시험을 위하여 그림 3과 같이 측정설비를 설치하였고, 스페이서 표면에서의 strain 분포를 측정하기 위하여 스페이서의 절연물 표면을 따라 5cm간격으로 strain-gage를 부착하였다. 그리고 수압을 약 2.5기압씩 상승시키면서 출력값을 기록하였다. 표 1은 strain의 측정 결과를 보여주고 있다.

표 1 스페이서 표면에서의 strain 측정결과

센서번호 기압	1	2	3	4	5	6	7
0	+10	-377	-160	-106	-202	-122	+202
2.5	+135	-320	-184	+154	+175	+356	+576
5	+156	-312	-190	+160	+247	+447	+646
7.5	+216	-292	-225	+177	+512	+805	+940
11	+260	-286	-267	+188	+769	+1164	+1234
12.5	+291	-278	-291	+194	+917	+1368	+1400
15	+314	-292	-361	+179	+1188	+1769	+1730
17.5	+395	-268	-414	+188	+1561	+2302	+2163
20	+442	-251	-444	+195	+1800	+2625	+2415
22.5	+465	-247	-483	+195	+2022	+2954	+2680
23	스페이서 파열						

그림 4는 표 1의 결과를 이용하여 스페이서 표면에서의 응력분포를 계산하여 나타낸 것이다. 센서번호가 2, 3번인 위치에서는 압축성 효과를 나타내지 위치에서는 인장성 효과를 보여주고 있다. 그리고 스페이서의 파괴 강도가 23[kgf/cm<sup>2</sup>]라는 결과를 얻었다. 이 값은 설계기준치에 대하여 상당한 여유가 있다.

800kV급 스페이서에서의 응력분포를 알아보기 위하여, 당연구팀에서 보유하고 있는 구조해석용 상용프로그램 MSC/NASTRAN을 이용하여 응력해석을 수행하였다. 응력해석을 위하여 도체부의 알루미늄에 대한 Modulus of elasticity는 7240[kgf/mm<sup>2</sup>], Poisson's ratio는 0.3의 값을 적용하였으며, 절연물부의 애피시에 대한 Modulus of elasticity는 1430[kgf/mm<sup>2</sup>]을, Poisson's ratio는 0.4를 대입하였다. 그리고 부하조건으로는 압력 0.1[kgf/mm<sup>2</sup>]을 적용하였으며, 수압시험 시 스페이서를 고정하기 위한 지지부분에 대하여 3개의 변위성분과 3개의 회전성분을 구속하였다. 주어진 조건하에서 계산된 스페이서에서의 주축에 대한 최대응력분포가 그림 5에 나타나 있다. 실험 결과와 같이 스페이서의 평창성, 인장성 효

과를 볼 수 있으며, 압력조건이 10[kgf/cm<sup>2</sup>]일 때, strain-gage의 번호 6인 위치에서 응력에 대한 측정 결과는 그림 4로부터 약 1.6[kgf/mm<sup>2</sup>]의 값이 되며, 해석에 의한 결과값(그림 5)은 약 0.8[kgf/mm<sup>2</sup>]이어서 실험치에 상당히 근접하고 있다. 측정치와 해석치 사이에 약간의 차이가 있는 것은 스페이서 표면에 부착된 센서에서 출력된 결과는 strain-gage의 변형이 발생한 방향에 대한 결과값을 나타내며, 해석에 의한 결과는 주축방향에 대한 결과를 나타내기 때문인 것으로 생각된다.

### IV. 결론

본 논문에서는 전기적, 구조적으로 설계되고 제작된 800kV급 스페이서에 대한 구조적인 성능검증을 위하여 수행된 냉열시험 및 수압시험에 대한 결과를 제시하였다. 또한 주어진 압력조건에 대하여, 실험을 통하여 얻어진 스페이서 표면에서의 응력값과 계산에 의하여 얻어진 스페이서에서의 응력값을 비교하였으며, 주어진 주어진 압력조건 및 구속조건에 대하여 스페이서 내부에서의 응력분포를 계산하였다.

위와 같은 기계적인 구조해석을 사용될 스페이서의 개발시에 설계단계에서부터 GIS/GCB에 실시하면 개발기간 및 비용을 크게 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 한전지원 생기반 연구과제인 95IP30의 연구내용 중의 일부입니다.

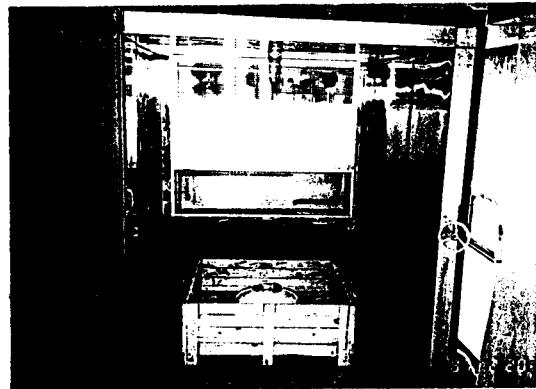


그림 1 냉열시험기에 설치된 800kV급 스페이서

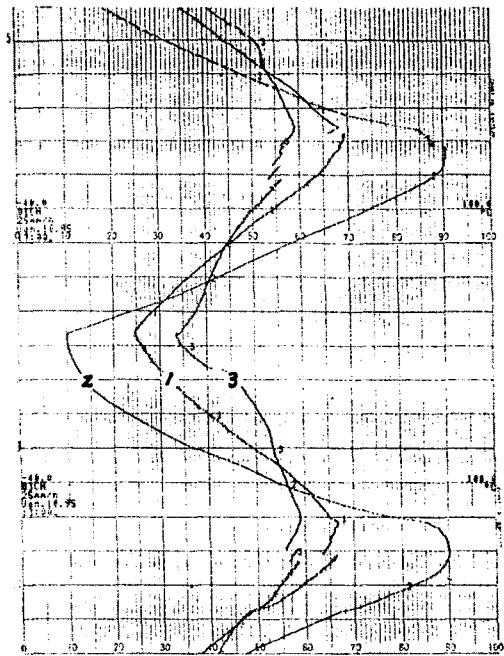


그림 2 스페이서의 냉열시험 결과

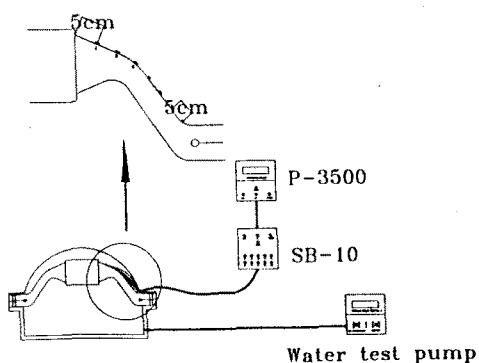


그림 3 수압시험을 위한 결선도

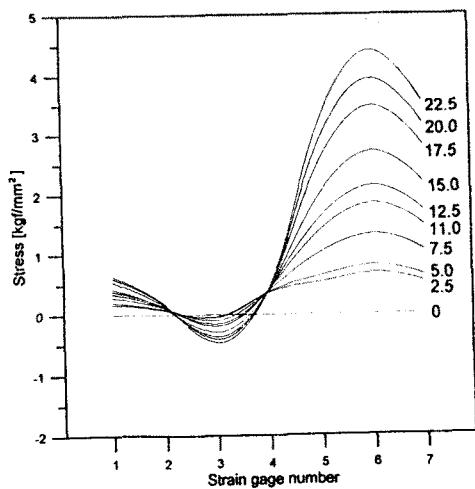


그림 4 압력에 따른 스페이서 표면에서의 응력분포

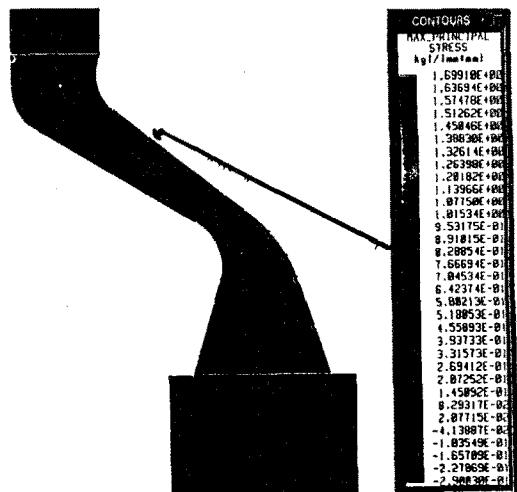


그림 5 압력이  $10[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 일 때, 스페이서에서의 응력분포