

SF6 가스절연 스페이스의 접지부 전계 완화에 대한 실험연구

*조연옥, 최병주, 김광수
한국전기연구소

A Experimental Study to Control Local Electric Field
Intensification at Grounded Part of the Spacer in
SF6 Gas Insulating System
Cho Yun-Ok, Choi Byong-Ju, Kim Kwang-Soo
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

This study is to develop a spacer having almost uniform field distribution along the profile by controlling the high electric field intensification at earthed part, especially triple junction in the spacer-electrode-gas boundary interface.

Based on the extensive field calculation using CSM, a model spacer has been manufactured and tested. The test results show that the breakdown strength of the spacer is almost same as that of SF6 gas itself without spacer.

1. 서 론

SF6 가스절연 계통의 공장시험이나 운전중에 발생하는 사고중 대부분이 스페이스 사고에 기인하여 이는 스페이스 연면이 전기적으로 가장 취약하기 때문이므로 스페이스 설계능력이 SF6 가스절연기기의 절연 성능을 좌우한다고 볼 수 있다.

스페이스 설계시 고려사항으로는 전계분포, 단락 전자력, 트래킹, 표면오염, 상승압력, 운전압력 등 여러가지가 있으나, 가장 정밀한 검토가 이루어져야 할 부분은 스페이스 주변의 전반적인 전계분포이다. 또한 SF6 가스 절연 기기에서의 방전은 주로 삼중점이라 불리는 스페이스-도체-가스의 경계부의 국부 미소방전(Local Microdischarge)에서 시작되어 스페이스 연면의 높은 전계로 인해 스페이스 표면을

따라 전전되므로, 이 삼중점에서 발생하는 높은 전계의 억제와 상당히 중요한 문제로 대두된다. 이러한 삼중점은 도전부와 접지부에서 동시에 나타나며, 스페이스의 형상을 최적상태로 설계했다 하더라도 스페이스 재료와 SF6가스의 높은 비유전율차에 의해 발생하는 삼중점의 전계상승은 해결되지 않으므로 별도의 설계기술이 요구된다. 삼중점전계 제어방법은 여러가지가 제시되고 있지만 기계적 또는 구조적인 문제로 인해 보편적으로 내부중심도체보다 접지축의 경우가 더 어려우므로 접지부의 전계검토가 더욱 중요하다.

본 연구는 이러한 관점에서 수치전계해석법중 정밀도가 뛰어난 전하중첩법(CSM)을 사용하여 기계적으로 무리가없는 범위내에서 스페이스가 취부된 상태의 전계분포가 최적일 수 있도록 접지부 삼중점의 높은 전계를 제어하는데 그 목적을 두었다.

2. 접지부 전계제어 방법의 검토

대부분의 단상 스페이스는 동축원통계 전극내에 취부되므로 스페이스를 설계하기에 앞서 동축원통계를 결정해야될 필요가 있다. 동축원통계의 최대전계 E_{max} 는 라플라스 방정식으로 부터 인가전압 V_0 에 대해 식(1)과 같이 주어지며,

$$E_{max} = E(r=R_i) = \frac{V}{R_i \times \ln(R_o/R_i)} \quad \text{--- (1)}$$

여기서 R_i , R_o 는 각각 내부 및 외부도체 반경이다. R_i 가 고정되었다고 보면 식(1)로 부터 $R_o/R_i=e$ 즉, 외부와 내부도체의 반경비가 2.72일때 계의 최대전계

E_{max} 는 최소가 될을 알 수 있다. 그러나 내부차폐 전극 취부와 같은 여러가지 현실적인 문제로 인해 대개의 경우 두 도체의 반경비는 2.5에서 3.0사이의 값으로 채택되어지며, 본 연구에서는 362KV 실계통에 적용되고 있는 2.66을 채택하였다. 또한 스페이스의 기본모델의 경우 본 연구가 접지부 전계 제어에 중점을 둔 것이므로 접지부를 제외한 전영역에서 모든 설계조건을 충분히 만족시킬 수 있도록 하였다.

그림 1은 접지부의 상중점을 제어하지 않은 상태를 기본모델로 두었을때 이에 대한 전계해석 결과이며, 이 전계분포로부터 접지부의 전계상승이 급격히 일어남을 알 수 있다. 이러한 전계발산을 제어하기 위해서 차폐전극을 그림 2처럼 스페이스 내부에 매립하는 방법이 가장 보편적으로 사용되어 왔으며 그림 2처럼 전계제어는 용이하지만, 이는 스페이스 내부의 등질성을 파괴하기 때문에 열적, 기계적 결함을 갖게 될뿐 아니라 제조단가도 올라간다. 그러므로 차폐전극을 스페이스 내부에 매립시키지 않고 상중점의 전계발산을 제어할 수 있는 방법이 있다면 그 방법을 검토하여 적용하는 것이 바람직하다. 이러한 방법은 여러가지가 있으나 구조적인 무리가 없고 전계제어가 가장 용이한 것은 스페이스 표면과 접지플랜지 전극사이에 미소가스갭(small gas gap)을 두는 것이다.

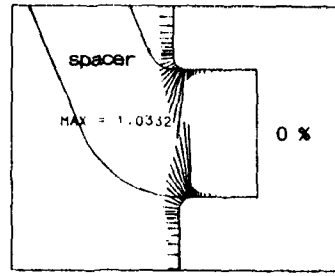
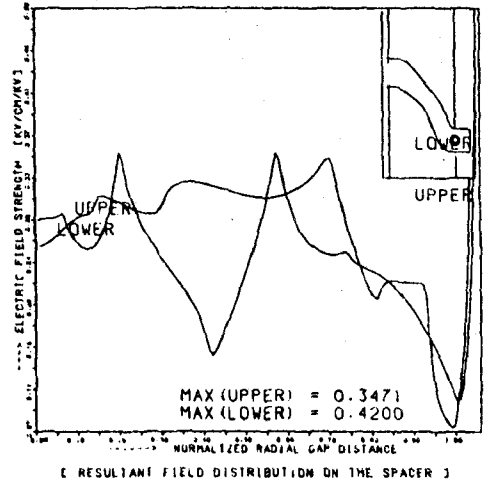


그림 1-2 접지부 전극에서의 전계분포

그림 1 접지부 상중점을 제어하지 않았을 때의 전계분포



[RESULTANT FIELD DISTRIBUTION ON THE SPACER]

그림 2-1 갭거리에 따른 스페이스 연면의 전계분포

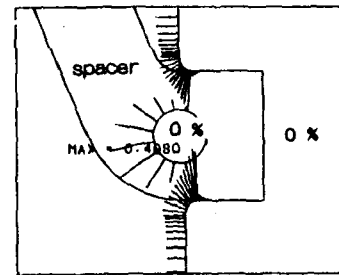
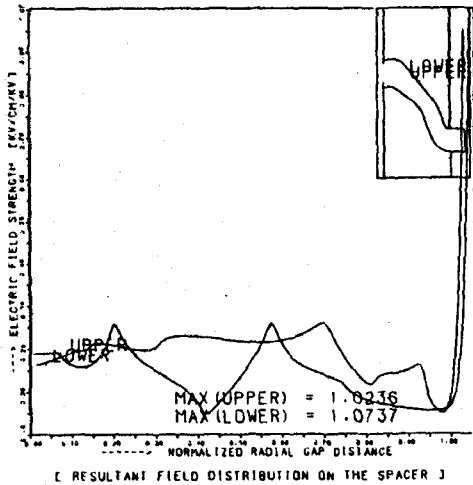


그림 2-2 접지부 전극에서의 전계분포

그림 2 스페이스 내부에 차폐전극을 매립시켰을 때의 전계분포



[RESULTANT FIELD DISTRIBUTION ON THE SPACER]

그림 1-1 갭거리에 따른 스페이스 연면의 전계분포

그림 3은 접지 플랜지 전극과 스페이스 표면과의 경계면에 가스갭을 두었을때 갭크기에 따른 스페이스 연면 및 접지플랜지전극의 최대 전계치 추이도이며, 이 추이도로 부터 갭크기가 어느정도 이상이 되면 전계상승률이 급격히 감소됨을 알 수 있다.

그러나 갭이 크면 갈수록 전계측면은 유리해지지만

플랜지와 플랜지사이의 거리가 커져야 하며 플랜지의 곡률역시 작아져야 하므로 제작상 문제가 발생한다. 따라서 갭크기는 설계단계, 제작시 공차, 오염의 가능성등을 고려하여 정밀한 검토를 한뒤 결정되어야 한다.

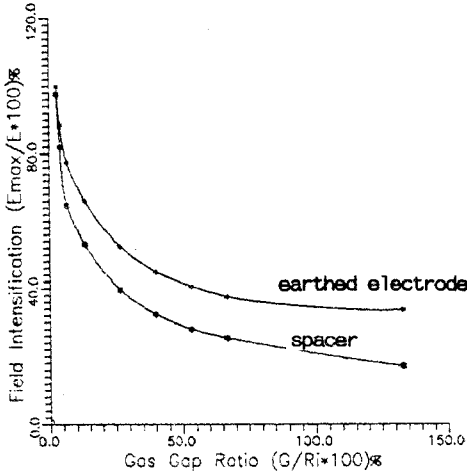


그림 3 가스갭의 크기에 따른 스페이서 언면 및 접지 플랜지 전극에서의 최대전계 추이도

3. 모델스페이서의 설계 및 제작

그림4는 기본 모델에서 접지부 경계면에 가스갭을 두어 전계를 완화시킨 모델스페이서에 대한 전계해석 결과를 보여주고 있으며, 그림4-3을 그림1과 그림2와 비교해 볼때 스페이서의 접지부 표면전계가 상당한 수준으로 제어 되었음을 알 수 있다. 모델스페이서는 bisphenol A 수지와 실리카(SiO₂) 충전제로써 제작하였으며, 그 크기는 전기적 특성평가를 위해 362KV급의 1/3로 하였다.

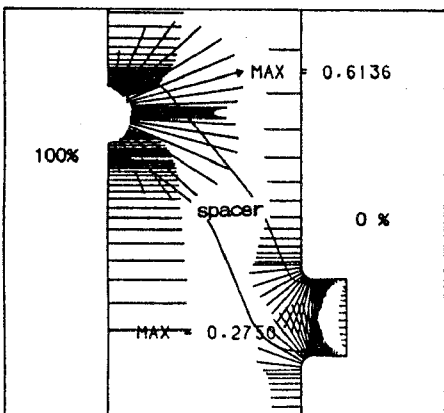


그림 4-1 도전부 및 접지부 전계분포

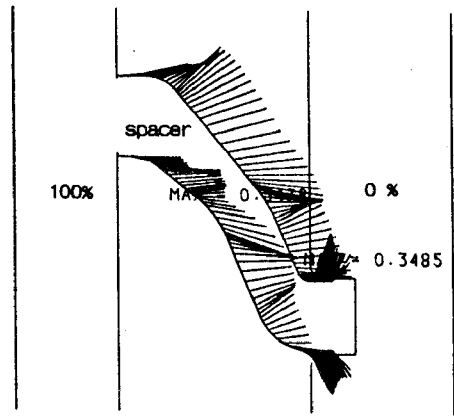


그림 4-2 스페이서 상하부 언면의 전계분포 (1)

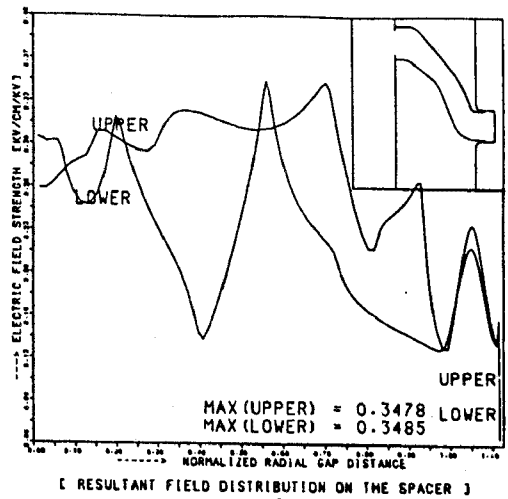


그림 4-3 스페이서 상하부 언면의 전계분포 (2)

그림 4 가스갭에 의해 접지부 삼중점이 제어된 최종 모델에 대한 전계분포

4. 실험 및 분석

모델스페이서 시험용 전극계는 그림5와 같으며, 상대가스압 3kg/cm² 하에서 부분방전 및 뇌충격 내 전압시험을 실시하여 표1과 같은 특성을 얻었다.

표 1 모델스페이서의 시험결과

항 목	결 과
부분방전개시전압	100KV에서 1pC 이하
뇌충격파괴전압	732KV에서 파괴

표 2로부터 시험치는 설계기준 전계강도 보다 충분한 여유가 있음을 알 수 있다. 한편 스페이서가 없는 경우 상대 가스압 3kg/cm² 하에서의 최대전계 강도를 그림5로 부터 환산했을때 약 270KV/cm로 추

정되며, 이는 모델스페이스의 시험결과치와 거의 비슷한 수준이므로 스페이스 효율은 10배 가깝다고 볼 수 있다.

표2 모델스페이스의 시험결과 분석

특성치 시험전압	설계전계	시험치	비고
부분방전 개시전압	26.8KV/cm	>34.8KV/cm	양호
뇌충격파과전압	136.4KV/cm	254.7KV/cm	양호

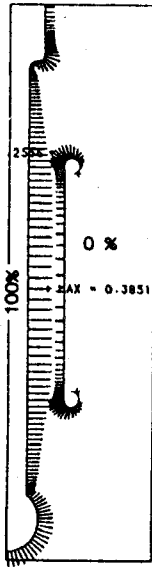


그림5 모델스페이스 시험용 전극계에 대한 전계분포

5. 결 론

스페이스 설계시 매립차폐 전극으로써 삼중점을 제어하게 되면 스페이스 자체형상 뿐만 아니라 취부 전극계를 다양하게 변화시키므로 기계적 또는 제작상 무리가 생기기 쉽다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해소하기 위해 접지플랜지와 스페이스 표면사이에 가스갭을 두어 접지부 삼중점 근처의 발산전계를 제어하였으며 설계, 제작, 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 매립차폐전극 사용시 발생하는 열적, 기계적 결함이 없다.
- 2) 접지부 플랜지 제작시 무리가 없다.
- 3) 삼중점의 전계를 낮은 수준으로 제어할 수 있다

참 고 문 헌

1. J.R.Laghari, A.H.Qureshi : "Surface flashover of spacers in Compressed gas insulated systems", IEEE Trans. EI Vol 16 No 5, Oct. 1981, pp 373-
2. H.M.Ryan and W.L.Watson : "Impulse breakdown characteristics in SF₆ for nonuniform field gaps", CIGRE No.15-01, 1978
3. K.Itaka et al : "Improved structure avoiding local field intensification on spacers in SF₆ gas", IEEE PAS 102, 1980.
4. K.J.Murtz, P.Weib : "The practical importance of the effect of embedding on electrode in a dielectric medium", Proc. 7th Int. Conf. Gas Discharge, 1982, pp 478