

3차원 전계해석에 의한 3상일괄형 초고압 GIB의 절연설계 검증

정건오^o 박경업 신영준 장기찬 송기동 송원표¹ 권기영¹ 이철현¹
한국전기연구소 계폐장치연구팀, 효성중공업(주) 기숙연연구소¹

Verification of Insulation Design for Three Phase Enclosure Type EHV Class GIB by 3D Electric Field Analysis

J.K.Chong^o K.Y.Park Y.J.Shin K.C.Chang K.D.Song W.P.Song¹ K.Y.Kweon¹ C.H.Lee¹
Korea Electrotechnology Research Institute, Hyosung Industries Co. Ltd¹

Abstract

In designing three phase enclosure type EHV class gas insulated bus (GIB), it is essential to estimate the magnitude and the position where the maximum electric field strength occur. The improvement of insulation design can only be initiated after those informations have been obtained.

In this paper, the calculated electric field strength for three phase GIB of HICO 362kV 63kA GIS is presented. The result shows that the designed insulator has enough margin compared with the design criteria.

1. 서론

3상일괄형 초고압 GIB(가스절연모선)는 3개의 도체와 이들을 지지하기 위한 지지여자가 SF₆ 가스로 채워진 한 개의 탱크내에 수납된 구조물을 말하며 현재 국내에서는 170kV급은 물론 362kV급 GIS(gas insulated substation)에도 적용이 되고 있다. 탱크내의 도체를 지지하기 위해 사용되는 지지여자는 주로 고체절연물인 에폭시수지로 제작되며 높은 유전상수를 가지고 있다. 그러므로 부적절한 형상은 국부적인 전계의 집중을 발생시키며, 절연물에서의 절연파괴를 초래하게 된다.

본 논문에서는 3상일괄형 초고압 GIB에 사용되는 지지여자의 절연설계 검증을 위하여 상용패키지를 사용하여 일반 3차원 모델에 대한 전계해석을 실시하여 절연설계기준치와 비교하여 보았다. 이와 같은 3차원 전계해석은 2차원 해석이 불가능한 3상 일괄형 스페이스, 절연통, 도체 인입부 등에 대해서도 적용할 수 있을 것이며 그 결과를 절연설계기준치와 비교함으로써 절연설계에 대한 타당성을 입증하고, 아울러 절연성능의 개선 또는 보다 경제적인 설계를 위해 적극 활용할 계획이다.

2. GIB의 절연설계

3상일괄형 GIB에 대한 효율적인 절연설계는 소형화를 위해 필수적이다. 3상분의 부품 및 구성기기를 한 개의 탱크에 수납하는 3상일괄형으로 하면 축소를 및 경제성이 향상되는 반면 1선지락사고는 3상단락사고로 또는 상간단락사고는 지락사고로 발전할 가능성이 있으므로 상간절연 설계에 대하여 보다 세심한 고려가 있다. 일반적으로 상간절연성능은 대지간 절연성능의 150% 이상으로 하고 있다. 이것은 뇌써여지가 이상간에 역극성

으로 장거리 운반하여 오는 경우를 고려하고 있다. 일반적으로 Travelling Wave의 분파현상 때문에 상간 써여지는 감쇠하여 버리지만, 감쇠가 적은 선로와 상간 Flashover의 영향을 고려해야 하고 안전상의 배려도 해야. 하므로 상간절연성능은 대지간 절연성능의 150% 정도로 하고 있다. 따라서 본 연구에 있어서 전압인가는 지지여자가 취부된 하단의 도체에는 IEC에 규정된 362kV급 차단기의 대지간 BIL인 1175kV를 인가하고 나머지 2개의 도체에는 1175kV의 -50%에 해당하는 전압을 각각 인가하여 3차원 전계해석을 실시하였다.

절연설계시 가스압력은 일반적으로 경보가스압력 또는 최저보증 가스압력을 기준으로 설계한다. 대지간 절연은 규격에 정해진 절연계급에 잘 견디도록 설계하여야 하며, SF₆ 가스의 V-t특성은 극히 평탄한 특성을 가지고 있으므로 절연협조문제를 고려하여야 한다. 그리고 전압이 인가되는 부분의 전계설계는 물론이지만 도전성 이물질이 존재하는 경우에는 대지전위인 용기의 표면의 전계강도가 따라서 도전성 이물질에 의한 부분방전이 일어나 절연성능을 저하시킬 우려가 있다. 도전성 이물질에 의한 방전현상이 절연설계에 큰 영향을 주므로 용기측의 표면전계에 대해서도 충분히 고려하여야 한다.

지지여자의 형상설계에 있어서는 절연물표면에서의 전계의 집선성분이 절연파괴에 주된 역할을 한다고 하지만 절연물표면에서의 최대전계강도가 임계값을 초과하였을 때 절연파괴가 발생한다는 것이 지배적인 견해이다[1]. GIB를 설계하고 제작하는데 있어서 절연물의 표면방전 특성에 대한 이해는 대단히 중요하다. 절연물에서의 표면절연파괴를 발생시키는 주된 원인은 절연물의 재질, 형상, 전극과 절연물의 접촉조건 등을 들 수 있으며, 전계의 집중을 막기 위하여 절연물 끝단 근처에 엇드를 설치하여 전계를 완화시키고자 하는 노력도 병행되고 있다. 또한 SF₆ 가스공간(전극 및 절연물 표면을 포함)에서의 절연파괴특성이 최대전계강도에 의존한다고 가정하면, 이상적인 절연물의 형상을 결정하기 위해서는 절연물 표면이 아닌 다른 위치에서 최대전계가 발생하도록 설계하는 기본이다. 절연설계시에 특히 고려해야 할 부분으로는 3중접합부가 있으며, 3중접합부는 전극-절연물-가스의 3중접합점인 것을 나타낸다. 이 부분에서는 균일한 유전체로 산출한 전계치 E₀에 대하여 최대 E_{max} = E₀ · (ε₂/ε₁)인 전계치로 된다. 예를 들면 Epoxy 수지의 비유전율을 5로 한 경우에는 최대 5배의 스트레스로 되어 버리고, 이 부분에 전계가 국부적으로 집중되는 것이 발생하여 이것이 전사누사태의 시발로 되어 낮은 전압에서 연면섭락을 야기한다[2].

SF₆ 가스의 최대허용 전계강도는 일반적으로 다음 식으로 표현된다[2].

$$E_g = aP^b \text{ [kV/mm]} \quad (1)$$

여기서 a와 b는 상수이다. SF₆ 가스의 허용전계강도를 고려한

최대설계 전계강도는 다음식으로 주어지며, 절연설계시 주로 사용된다.

$$E_d = \alpha E_g(1 - 3\sigma) \text{ [kV/mm]} \quad (2)$$

여기서 α 와 σ 는 상수이다.

3. GIB의 전계해석

가스의 충전압력을 6기압(절대압력)으로 하였을때 가스의 허용전계강도는 약 35.8[kV/mm]이고, 설계전계강도는 27.4[kV/mm] 이하이어야 한다. 3상일괄형 초고압 GIB에 사용되는 고체절연물의 절연설계 검증에 위하여 전자계 해석용 프로그램인 MSC/EMAS를 사용하여 절연물에 대하여 3차원 전계 해석을 실시하였다. 그림 1은 해석모델의 형상이며 3개의 도체와 지지애자 및 지지애자용 금구를 나타내고 있다. 해석모델은 고체절연물인 지지애자(직경 170mm, 비유전율 : 5.0)의 영향력이 거의 미치지 않는 범위인 축방향(도체방향) 300mm까지 포함하였다.

우선 컴퓨터의 메모리의 한계와 계산시간의 절약을 위해 그림 1에서 전기적인 대칭구조를 찾아 그림 2와 같은 간이모델을 결정하여 전계해석을 실시하였다. 그림 2는 지지애자의 1/4, 최하단 도체의 1/4, 그리고 주변 SF₆ 가스공간을 포함하고 있으며 그림 3에 이에 대한 전계해석 결과를 나타내었다. 그림 3에서 계산된 최대전계강도는 고체절연물과 도체의 접촉경계면에서 발생하고 있음을 알 수 있으며 크기는 약 20.0[kV/mm]로 절연설계 전계강도보다 상당히 낮다.

그림 4 및 그림 5는 그림 1의 모델형상에서 최대전계강도에 그다지 영향을 미치지 않는 부분의 형상은 계산상의 편의를 위해 조금 간단히 한 (예 : 지지애자의 날개부분) 모델에 대해 3차원 전계해석을 한 결과이며 그림 4는 전계강도 분포도를, 그림 5는 등전위분포도를 나타낸다. 그림 4에서 계산된 최대전계강도의 발생위치는 그림 3과 마찬가지로 고체절연물과 도체의 접촉경계면에서 발생하고 있으며 그 크기는 약 19.0[kV/mm]로 그림 3의 경우와 비교해서 그다지 차이가 없다. 그림 4에서 발생한 최대전계강도 19.0[kV/mm]는 설계전계강도 27.4[kV/mm]의 약 70%에 해당되므로 충분한 여유가 있는 것으로 믿어진다.

4. 결론

3상일괄형 초고압 GIB에 사용되는 지지애자의 절연성능에 대한 설계단계에서의 검증을 위하여 상용패키지를 사용하여 일반 3차원 모델에 대한 전계해석을 실시하여 절연설계기준치와 비교하여 보았다. 최대전계는 절연물과 도체의 접촉경계면에서 발생하고 크기는 절연설계기준치에 비해 약 70% 정도이므로 충분한 여유가 있는 것으로 판단된다. 추후 3차원 전계해석은 2차원 해석이 불가능한 3상일괄형 스페이서, 절연통, 도체 인입부에 대해서도 적용될 수 있을 것이며 그 결과를 절연설계기준치와 비교함으로써 절연설계에 대한 타당성을 입증하고, 아울러 절연성능의 개선 또는 보다 경제적인 설계를 위해 적극 활용될 전망이다.

이 연구결과는 한국전력공사가 지원한 생기반 과제 96IP32로 수행한 내용 중의 일부입니다.

참고문헌

- [1] 1979 CIGRE Meeting SC-15 WG-03 Cambridge, MA., USA, Oct. 15-19, 1979
- [2] 한국전기연구소 개폐장치연구팀 "765kV급 GIS용 차단부설계 및 제조기술 개발", 1994. 11.

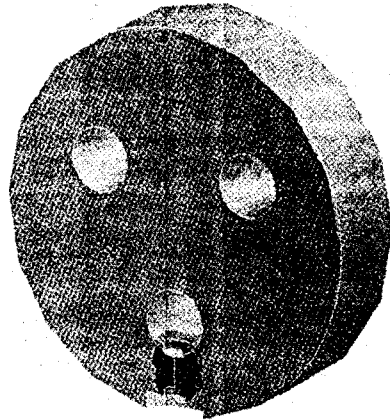


그림 1. 3상일괄형 GIB의 모델형상

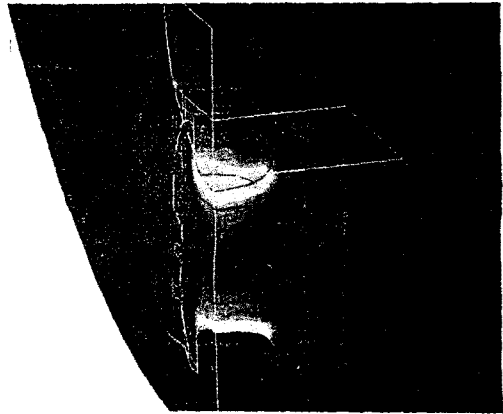


그림 2. 간이모델 형상

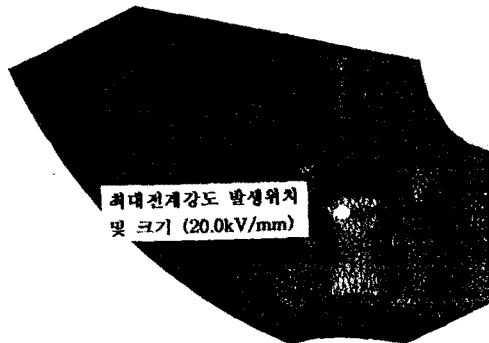


그림 3. 간이모델에 대한 전계강도 분포도



그림 4. 전체모델에 대한 전계강도 분포도

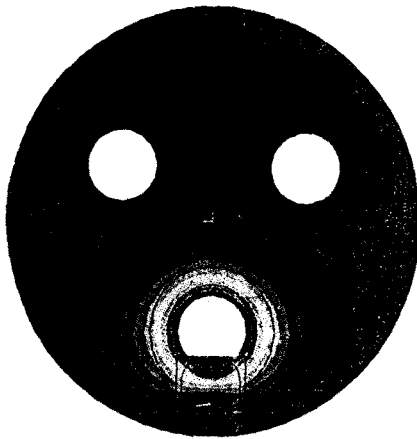


그림 5. 전체모델에 대한 등전위 분포도