

초고압 GIS 모선부의 연속통전성능 평가를 위한 온도분포 해석

이병윤, 송기동, 오연호, 박경엽, 신영준
한국전기연구원

Temperature Rise Analysis of Busbar Part of Extra High Voltage GIS for Evaluation Current Ratings

B.Y.Lee, K.D. Song, Y.H. Oho, K.Y. Park, Y.J. Shin
KERI

Abstract - In this paper, the temperature rise within busbar part of high voltage GIS is calculated under the condition that the continuous current is carrying.

Heat transfer by conduction and convection is considered between the current carrying conductor and SF6 gas. FLUX 2D which is a commercial electromagnetic and thermal analysis program is used. The results show reasonable temperature distribution.

체부의 저항에 의해 발생하는 주울손실, 주도체 전류에 의한 자속이 외부탱크와 쇠교하여 발생하는 와전류손실, GIS의 구조와 상간단락부의 유무에 따라 발생하는 순환 전류에 의한 손실, 전기적 접촉부위의 저항에 의한 주울 손실, 태양에 의한 복사열 등을 들 수 있다.

본 논문에서는 이 가운데 최대의 열발생원으로서, 발생열량의 계산이 용이한 주도체부의 주울손실만을 열원으로 고려하였다.

1. 서 론

경제성장과 더불어 전력수요가 급증함에 따라 우리나라의 전력계통도 거대해지고 있으며 정격전류 및 단락전류도 상승하고 있다. 반면에 가스절연개폐장치(GIS)는 경제성과 사회적인 요구에 따른 환경친화성 등을 고려하여 점차 소형화·축소화하는 추세이다.

GIS의 소형화·축소화를 달성하기 위한 기초 설계기술로는 절연설계, 차단설계와 더불어 통전설계를 들 수 있다.[1-3] 이 가운데 통전설계는 크게 정격전류를 통전하는 연속통전용량, 사고시의 단락전류를 통전하는 단시간 통전용량, 접지선에 흐르는 접지계 유도전류 통전용량으로 대별되며, 통전전류의 증가에 따라 어떠한 상태에서 GIS를 구성하는 각 부분이 발생하는 열에 견디어 안전하게 동작하도록 설계되지 않으면 안된다. 따라서 통전설계를 하기 위해서는 먼저, GIS내부에서의 발열메카니즘과 각 부분의 재질에 따른 내열 한계를 파악해 두어야 한다. 그리고 통전시의 온도분포를 해석하여 그 결과를 토대로 각 부의 통전성능을 평가하고 설계에 반영해야 된다.

현재, 통전설계는 수계산으로 이루어지는 경우가 많으며 열해석 프로그램을 이용하여 온도분포를 구하기 위한 시도도 이루어지고 있다. 본 논문에서는 그 일환으로 GIS 모선부의 연속통전성능을 평가하기 위해 정격전류 통전시의 온도분포를 전도와 대류를 고려하여 2차원으로 가정하여 해석하였다. 열해석 프로그램으로는 상용의 FLUX 2D를 사용하였다.

2. 본 론

2.1 연속통전용량

GIS에 필요한 통전성능의 하나로 정격전류를 통전할 수 있는 능력을 말하며 정격전류 통전시의 온도상승한도에 의해 결정된다. 따라서 통전성능을 검토하기 위해서는 도체 및 탱크에서의 발열요인을 규명하고 예폭시수지, O-ring 등과 같이 재료 특성에 따라 개별적으로 정해진 온도상승한도치 및 기타 정상운전에 요구되는 온도상승한도를 파악해 두어야 한다. 그리고 이 값들을 통전설계 기준치로 설정하고 이 기준치를 만족하는 탱크경, 도체경 및 재질을 선정해야 한다.

2.1.1 발열메카니즘

GIS에서의 발열요인은 주도체에 흐르는 전류와 주도

2.1.2 온도상승 제한요소

GIS는 다양한 재질의 부품들이 결합되어 있기 때문에 각 부품마다 온도상승 허용한도가 서로 다르다. 대표적으로는 유기재료로 이루어진 부품의 허용온도 제약, 예폭시 등 절연물의 기계적 특성저하, Gasket, O-ring 등 고무재료의 기계적 특성저하, 사람의 접촉이 가능한 외부탱크 온도제한 등을 들 수 있다. 따라서 재질에 따른 개개의 내열특성을 조사하고, 이 값을 통전설계의 기준치로 설정하여 온도해석 결과를 토대로 각 부의 재질 및 치수를 결정해야 한다. 탱크 표면의 경우 사람의 접촉을 고려하여 40°C까지를 온도상승 한도로 사용하고 있는 경우도 있다.

2.2 온도분포 해석

열해석의 일반식은 식 (1)과 같이 주어진다.

$$\nabla \cdot (-k \nabla T) = q \tag{1}$$

여기에서 k는 열전도도, T는 해석영역의 온도, q는 단위체적당 발생하는 열원의 양을 나타낸다.

열에너지의 전달방식은 전도, 대류, 복사로 대별된다.[4] 본 논문에서는 주도체와 SF6가스 및 탱크와 SF6가스 사이에는 전도와 대류에 의한 열전달 방식을 적용하였다. 그리고 탱크와 외부 기체 사이는 대류와 복사에 의한 열교환이 이루어진다고 가정하였다.

경계조건으로는 대칭면에 대하여는 식(2)와 같은 Neumann조건을, 대류 또는 방사에 의한 열교환이 발생하는 경계에는 식(3)과 같은 Neumann조건을 각각 적용하였다.

$$\frac{dT}{dn} = 0 \tag{2}$$

$$k \frac{dT}{dn} = -h(T - Ta) - r(T^4 - Ta^4) \tag{3}$$

여기에서

- k : 열전도도
- h : 대류에 의한 열교환계수
- r : 방사에 의한 열교환계수
- T : 온도
- Ta : 주위온도
- n : 경계면에 수직방향의 단위 길이

또한, 외기의 온도는 30°C로 가정하였다.

2.2.1 단상 GIS 모선부의 온도분포 해석

그림 1에 단상 GIS 모선부의 단면 구조를 도시하였다. 대칭성을 고려하여 해석영역은 전체의 1/4로 설정하였다. 도체의 반경은 130mm이고, 재질은 Cu를 선정하였으며, 4000A의 정격전류가 흐르는 것으로 가정했다. 이에 따라 도체부에는 약 94kW/m³의 주울열이 발생하며 이 값을 열원으로 이용하였다. 외부탱크의 재질은 steel이며 전술한 바와 같이 외부탱크에는 와전류 등에 의한 발생열이 없는 것으로 가정하였다. 또한 SF6가스는 6Bar에 해당하는 물질상수 값을 적용하였으며 전체적인 해석조건은 다음과 같다.

- 도체부 : 94kW/m³의 주울열 발생
- 도체부와 SF6가스 경계면 : h=100W/(m² K)
- 탱크와 SF6가스 경계면 : h=10W/(m² K)
- 탱크와 외부 기체의 경계면 : h=10W/(m² K), r=0.8
- 외기의 온도 : 30°C

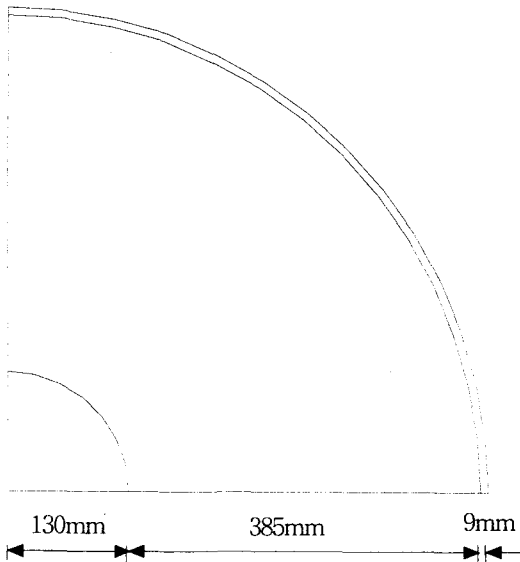


그림 1. 단상 GIS 모선부의 단면 구조

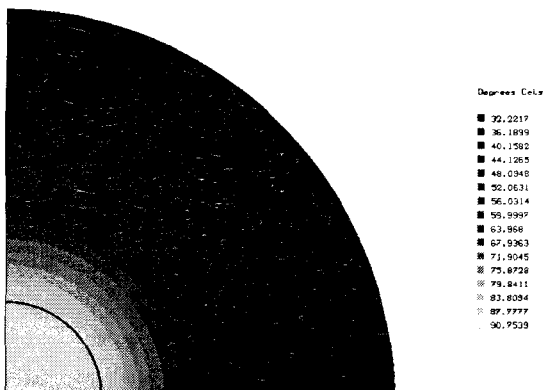


그림 2. 단상 GIS 모선부의 온도분포

그림 2는 위의 해석조건하에서 FLUX 2D를 이용하여 구한 GIS내부의 온도분포도이다. 이 결과로부터 도

체부의 온도는 약 91°C, 외부 탱크의 온도는 약 32°C임을 알 수 있다.

2.2.2 3상 GIS 모선부의 온도분포 해석

그림 3은 3상 GIS 모선부의 단면 구조를 도시한 것이다. 해석영역은 대칭성을 고려하여 1/2로 설정하였다. 각 상도체의 반경은 120mm이고, 재질은 Cu를 선정하였으며, 4000A의 정격전류가 흐르는 것으로 가정했다. 이에 따라 각 상도체부에는 약 133kW/m³의 주울열이 발생하며 이 값을 열원으로 이용하였다. 단상의 경우와 같이 외부탱크의 재질로는 steel을 선정하였으며 와전류 등에 의한 발생열이 없는 것으로 가정하였다. 또한 SF6가스는 6Bar에 해당하는 물질상수 값을 사용하였고 전체적인 해석조건은 다음과 같다.

- 각 상도체부 : 133kW/m³의 주울열 발생
- 도체부와 SF6가스 경계면 : h=50W/(m² K)
- 탱크와 SF6가스 경계면 : h=10W/(m² K)
- 탱크와 외부 기체의 경계면 : h=10W/(m² K), r=0.8
- 외기의 온도 : 30°C

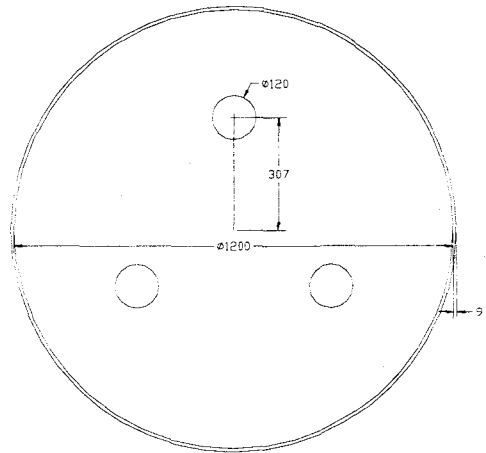


그림 3. 3상 일괄형 GIS 모선 및 탱크 구조

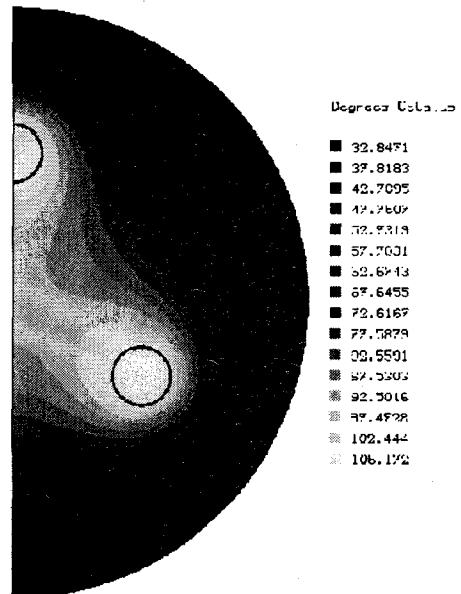


그림 4. 3상 일괄형 GIS 모선부의 온도분포

그림 4는 위의 해석조건하에서 FLUX 2D를 이용하여 구한 GIS내부의 온도분포도이다. 이 결과로부터 도체부의 온도는 약 106°C, 외부 탱크의 온도는 약 33°C임을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 단상 및 3상 GIS 모선부의 정격전류 통전시의 연속통전성능을 평가하기 위해 상용 프로그램인 FLUX 2D를 이용하여 온도분포를 해석하였다. 그러나 실제로 통전설계에 반영할 수 있는 설계 데이터를 얻기 위해서는 도체와 탱크의 재질 및 치수에 따른 온도분포 해석, 와전류에 의한 탱크 부분에서의 발열량을 고려한 온도분포 해석, 스페이서, O-ring 등을 포함한 3차원 열해석 등이 이루어져야 할 것이다. 또한 단락전류 통전시의 과도상태의 열해석 및 접지계 유도전류를 고려한 열해석도 실시하여 종합적인 설계 데이터를 확보해야 할 것이다.

본 연구는 산업자원부 지원 중기거점 기술개발 과제인 "초고압 전력기기 기초 설계기술 개발"로 수행한 연구 결과입니다.

(참 고 문 헌)

- [1] H. Sadakuni, K.Sasamori, H.hama, K. Inami, "GIS의 절연연설계와 통전설계", 일본전기학회 연구회 자료, SP-96-12, pp.33-42, 1996
- [2] 이병윤, 신영준, 박경엽, 송기동, 정진교, 최영길, 오연호, "초고압 전력기기 기초 설계기술 개발 동향", 대한전기학회 전기기기연구회 춘계 학술발표회 합동논문집, 제38회, pp. 123-130, 1998
- [3] "362kV 63kA GIS 설계 및 제조기술 개발에 관한 연구 간보고서", 한국전력공사, pp. 44-49, 1996
- [4] M. N. Özisik, Y. Bayazitoglu, "Elements of Heat Transfer", McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, pp. 1-14, 1988