

Temperature Rise Prediction of GIS Bus Bar Considering Thermal Flow

김 중 경* · 오 년 호** · 이 지 연*** · 한 성 진†
 (Joong-Kyoung Kim · Yeon-Ho Oh · Ji-Yeon Lee · Sung-Chin Hahn)

Abstract - Many works on the temperature distribution of power apparatus have usually done by coupled magneto-thermal analysis. Such a method can not consider the internal gas or oil flow in the power apparatus such as gas insulated switchgear, GIS bus bar, and power transformer. Moreover it can not show the internal temperature distribution of the power apparatus exactly. This paper proposes a coupled magneto-thermal-flow analysis considering Navier-Stokes equations. The convection heat transfer coefficient is calculated analytically by applying Nusselt number for natural convection and is applied to the boundary condition of proposed method. Temperature distribution of the GIS bus bar model considering thermal flow is obtained by the proposed method and shows good agreement with the experimental data.

Key Words : GIS bus bar, Convection heat transfer coefficient, Flow field analysis, Temperature rise prediction

1. 서 론

최근의 세계적인 전력산업 구조조정과 IT 기술의 발전에 따라 IT 기술을 적용한 전력기기의 수요가 급증할 것으로 전망되고 있어, 향후 새로 형성될 전력기기 시장에 대비한 전력기기 관련 신기술 개발이 요구된다[1]. 전력기기는 전력 설비의 핵심 분야로 기술적 집약성으로 인하여 제품의 성능과 품질이 설계, 가공, 조립 기술에 크게 영향을 받고 있으며, 이를 통합화하여 시스템을 분석하고 해석할 수 있는 기술이 필요하다[2]. 초고압 가스절연개폐장치의 경우 차단부와 변류기를 동일 용기 내에 넣거나, 차단기, 단로기, 모선 등을 3상 일괄하는 방법에 의해 소형 축소화를 시키고 있으며, 차단부의 소호실은 종래의 파괴방식에 아크의 열에너지를 이용하는 열팽창 분사식을 동시에 채용한 하이브리드방식에 의해 차단능력을 향상시키고 소형 축소화를 꾀하고 있다[3]. 위의 예와 같이 시스템의 복잡성과 다양성으로 인하여 전력기기의 설계는 기존의 경험식을 바탕으로 한 고전적인 방법이 아닌 다양한 설계변수와 설계조건을 지닌 다중목적형으로 진보하고 있다[4].

본 논문에서는 GIS 모선의 온도상승을 예측하기 위하여 전자계-열계-유동계 결합해석 기법을 제안한다. 자계-열계 결합해석은 GIS 모선 내부의 SF6 가스 및 외부대기의 실제 유동 및 온도상승에 미치는 영향을 고려하기 힘들다. 그러므

로 연속방정식, 운동방정식, 에너지평형방정식으로 구성된 열계-유동계 결합해석을 이용하여 25.8kV 25kA 2000A GIS 삼상 모선 모델 내의 실제 유동을 고려한 온도상승을 예측한다. 결합해석시 외부대기의 경계면은 앞에서 산정한 대류 열전달계수를 경계조건으로 입력함으로써 해석영역의 축소에 따른 계산시간과 해의 수렴성을 증대시키고자 한다.

결합해석 기법을 검증하기 위하여 실제 25.8kV 25kA 2000A 3상 GIS 모선 모델을 제작하고 온도센서를 부착하여 온도상승 시험을 한다. 온도상승 시험을 통한 측정값과 결합해석 기법에 의한 예측값을 각 부분별로 비교함으로써 그 타당성을 검증한다.

2. 본 론

2.1 전자계해석

2.1.1 전력손실

GIS 모선에 가해지는 열적 스트레스를 모선이 견디며 안전하게 통전할 수 있도록 설계하기 위해서는 GIS 모선의 도체 지름, 탱크 지름, 탱크 두께와 같은 형상변수 및 도체와 탱크의 재질 등 설계변수들에 따른 전력손실을 계산하여 온도상승의 원인을 규명해야 한다[5]. GIS 모선에서 주요 발열원으로는 주도체의 줄손실, 모선이 만드는 자속이 외부탱크에 쇄교함으로써 발생하는 와류손, 용량, 구조물, 접지선 등을 통해 흐르는 유도전류에 의한 줄손실 등이 있다[6]. 본 논문에서는 주요 발열원으로서 주도체에 정상 교류전류가 흐를 때 발생하는 줄손실과 주도체에 흐르는 정상 교류전류가 만든 자속이 외부탱크에 쇄교함으로써 발생하는 와류손을 고려한다. 이에 따라 주도체에 흐르는 통전전류, 주도체의 재질, 외부탱크의 재질, 주도체의 치수, 외부탱크의 치수 그리고 단상통전 혹은 삼상통전에 따라 발생하는 전력손실이 다르게 된다. 도체에 유기되는 와전류 \vec{j}_e 는 식 (1)과 같

* 정 회 원 : (주)효성 중공업PG 중공업연구소 책임연구원
 ** 정 회 원 : 한국전기연구원 선임연구원
 *** 준 회 원 : 동아대 공대 전기공학과 석사과정
 † 교신저자, 정회원 : 동아대 공대 전기공학과 교수 · 공박
 E-mail : schahn@dau.ac.kr
 접수일자 : 2009년 3월 13일
 최종완료 : 2009년 3월 24일

으며, 와전류를 고려한 자계 지배방정식은 식 (2)와 같다.

$$\vec{J}_e = \sigma \vec{E} = \sigma \left(-\nabla\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) \quad (1)$$

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} (\nabla \times \vec{A}) = \vec{J}_s + \vec{J}_e = \vec{J}_s - \sigma \left(\nabla\phi + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) \quad (2)$$

여기서, ϕ 는 전기 스칼라 포텐셜(electric scalar potential)이다. 이를 이용하면 단위길이당 도체의 전력손실 P 는 다음 식 (3)과 같이 표현된다[7].

$$P = \int \frac{J^2}{\sigma} dS \quad (3)$$

여기서, dS 는 교류전류가 흐르는 미소 단면적이다.

2.2 열계해석

GIS 모선의 열계 해석 문제는 근본적으로 전자계 해석과 상호 결합되어 있다. 전자계 해석에서 각각의 물성값들(저항값, 투자율 등)을 입력하여 계산함으로써 전자기적 특성값인 전류, 전력손실 등의 결과를 얻어낸다. 해석하는 과정에서 도체의 줄손실과 외부탱크의 와류손은 열계해석과 유동계해석에서 열적 스트레스를 일으키는 열원이며, 이 전력손실에 따라 GIS 모선의 각 부분 온도가 결정된다.

2.2.1 열전달 메커니즘

GIS 모선은 수평 원통형이고 고압 통전부가 SF6 가스와 함께 금속용기에 밀폐된 상태이며, 모선의 열전달은 복사와 자연대류에 의해 일어난다[7]. GIS 모선의 열전달 메커니즘은 그림 1과 같다.

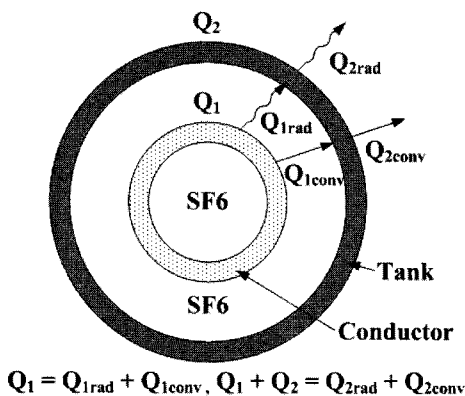


그림 1 GIS 모선의 열전달 메커니즘

Fig. 1 Heat transfer mechanism for bus bar of GIS

GIS 모선의 주도체에 정격 통전전류가 흐를 때 발생하는 전력손실(줄손실, Q_1)은 복사(Q_{1rad}) 및 자연대류(Q_{1conv})에 의해 외부탱크로 열전달이 이루어진다. 주도체로부터 전달된 열전달분($Q_{1rad} + Q_{1conv}$)은 다시 주도체에 흐르는 통전전류가 만든 자속이 외부탱크에 쇄교함으로써 발생하는 전력손실(와류손, Q_2)과 함께 대기 중에 복사(Q_{2rad}) 및 자연대류(Q_{2conv})에 의해 전달된다. 이는 단상모선 뿐만 아니라 삼상

모선에서도 동일한 메커니즘을 가지고 열전달이 이루어진다. GIS 모선의 정격 통전전류가 연속통전시 주도체 및 외부탱크의 온도는 비선형적으로 차츰 증가하다가 이들의 전력손실분과 열전달분이 열적 평형상태가 되면 GIS 모선은 일정한 온도를 유지하게 된다. Q_1 은 I^2R 로 나타내는 주도체의 줄손실이고, Q_2 는 와전류 및 유도 전류에 의해 발생하는 손실이다. 그리고 복사 열전달은 모선의 치수, 형상, 복사율, 온도차에 의해 결정되는데 반해 대류 열전달은 모선의 치수, 형상, 가스의 특성, 온도차에 의해 결정된다[8].

2.3 유동계해석

2.3.1 유체역학 지배방정식

GIS 모선에서 발생한 열은 전도, 복사, 대류에 의해 전달되지만, 이 중에서 GIS 모선 내부의 SF6 가스 순환에 의한 자연대류와 탱크 외부의 공기 순환에 의한 자연대류가 가장 큰 비중을 차지한다. 그러므로 GIS 모선 내부의 SF6 가스 유동현상을 파악함으로써 GIS 모선의 온도상승을 정확히 예측하고자 한다. 또한 탱크 외부의 공기 순환에 의한 자연대류는 대류 열전달계수를 적용하여 해석영역의 축소에 따른 계산시간을 단축하고 해의 수렴성을 증대시키고자 한다. GIS 모선의 내부 유동현상 및 온도분포를 파악하기 위한 유체역학 지배방정식으로는 연속방정식, 운동방정식, 에너지평형방정식으로 구성된 3가지 종류의 편미분 방정식을 동시에 풀어야 한다. 위 3가지의 방정식은 식 (4), (5), (6)에 나타나 있다.

$$\nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (4)$$

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \rho \vec{g} - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (5)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \nabla^2 (kT) + \mu \phi + \dot{q} \quad (6)$$

여기서, \vec{V} 는 유체속도, g 는 중력가속도, p 는 압력, μ 는 점성계수, c_p 는 고정압에서의 비열, T 는 온도, \dot{q} 는 단위체적당 열발생량, k 는 열전도율, ϕ 는 소실함수이다.

2.4 결합해석

GIS 모선의 경우 정격 통전전류가 모선의 주도체에 흐를 때 주도체와 외부탱크에서 전력손실이 발생하고, 이는 GIS 모선의 온도상승을 야기한다. 즉, GIS 모선의 경우 전자계와 열계-유동계가 상호 결합되어 있다. 그림 2는 결합 해석의 흐름도를 나타내고 있다.

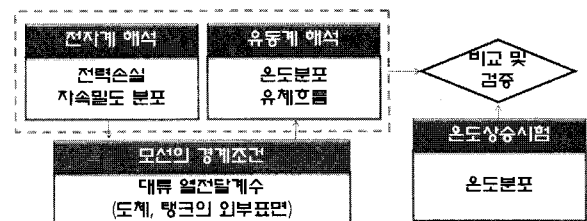


그림 2 전자계-열계-유동계 결합해석의 흐름도

Fig. 2 Flow chart of coupled analysis

2.5 해석모델

본 논문에서 다룬 GIS 모선 모델은 25.8kV 25kA 2000A GIS 삼상 모선 모델로서 그림 3와 표 1에 모선 모델의 단면과 사양을 각각 나타내었다. 표 1에서 보듯이 주도체와 탱크의 재질은 각각 알루미늄과 스테인레스를 사용하였다. 주도체의 각 상에 대한 구조를 살펴보면 위쪽에는 한 개의 도체가 아래쪽에는 두 개의 도체가 배열된 삼각형의 구조를 가지며, 주도체 내부 및 주도체와 외부탱크 사이는 SF6 가스로 채워져 있다. 그리고 외부탱크의 직경은 532[mm], 주도체의 두께는 7[mm], 외부탱크의 두께는 6[mm]이다. 이 모델의 각각 주도체 A, B, C상에 흐르는 정격 교류전류는 2000[A_s]이며, 입력 주파수는 60[Hz]이다.

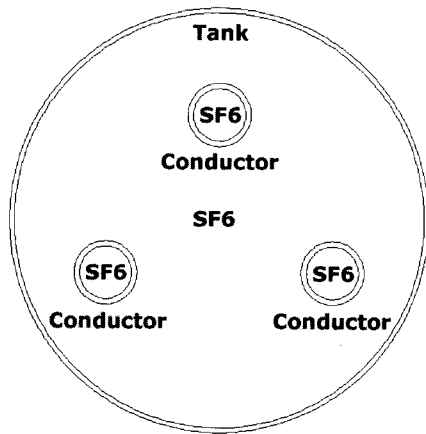


그림 3 GIS 모선 모델의 단면적
Fig. 3 Cross-section for GIS bus bar model

표 1 GIS 모선 모델의 치수

Table 1 Dimension for GIS bus bar model

Classification	Material	Inner Diameter [mm]	Outer Diameter [mm]
Conductor	Aluminum	66	80
Tank	Stainless steel	520	532

2.6 결과 및 검토

2.6.1 전자계-열계-유동계 결합해석 결과

25.8kV 25kA 2000A GIS 삼상 모선 모델의 온도상승을 일으키는 열원인 각 주도체의 줄손실과 외부탱크의 와류손을 유한요소해석을 이용해 계산하였다. 본 논문의 전자계-열계-유동계 결합해석은 유동현상을 예측한다는 장점을 갖지만 GIS 모선 모델의 온도상승을 예측하기에는 많은 계산시간이 필요하다. 이에 결합해석시 외부대기의 경계면에 표 2의 대류 열전달계수를 경계조건으로 입력하여 해석영역의 축소에 따른 계산시간과 해의 수렴성을 증대시키고자 하였다.

결합해석에 의한 25.8kV 25kA 2000A GIS 삼상 모선 모델의 정상상태 온도분포를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 보듯이 GIS 모선 모델의 내부 SF6 가스 유동에 따른 정확한 온도분포를 예측할 수 있었다.

표 2 GIS 모선 모델의 대류 열전달계수

Table 2 Convection heat transfer coefficients for GIS bus bar model

Classification	Conductor			Tank
	Phase A	Phase B	Phase C	
Convection heat transfer coefficient [W/m ² °C]	5.89	7.39	5.81	3.82

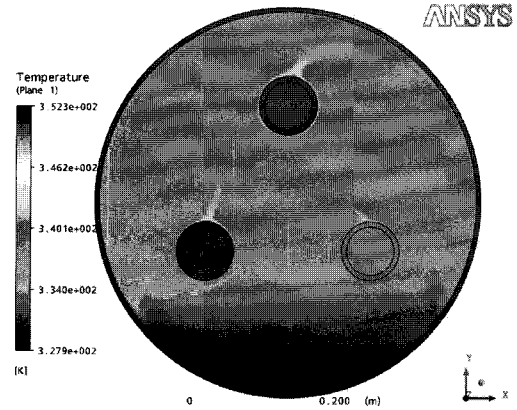
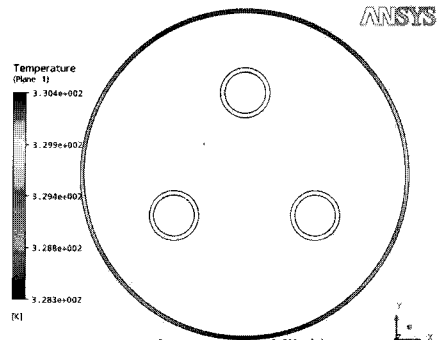
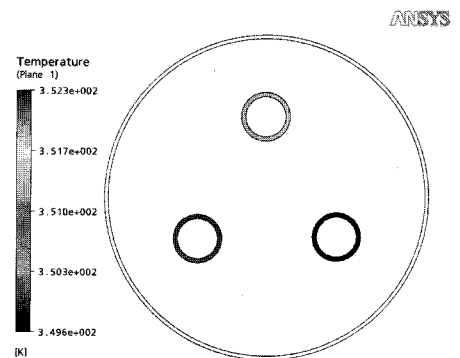


그림 4 GIS 모선 모델의 온도분포(대기온도=23.7°C)
Fig. 4 Temperature distribution for GIS bus bar model (atmosphere temperature=23.7°C)



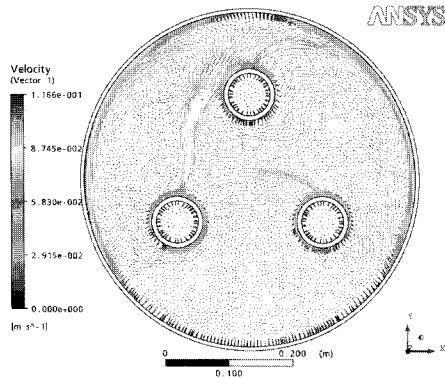
(a) Velocity distribution of SF6 gas in tank



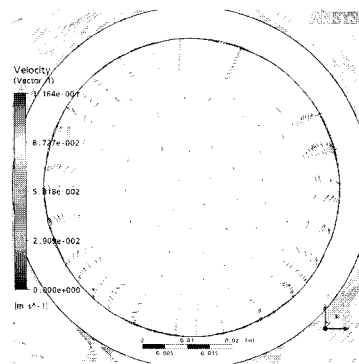
(b) Velocity distribution of SF6 gas in conductor

그림 5 GIS 모선 모델 외부탱크와 주도체의 온도분포
Fig. 5 Temperature distribution of tank in GIS bus bar model

그림 5은 GIS 삼상 모선의 각 주도체 및 외부탱크의 온도분포를 상세히 나타내고 있다. 이는 그림 4에서 주도체와 외부탱크의 온도차가 커서 GIS 모선 모델의 외부탱크의 온도분포가 명확하지 않았기 때문에 외부탱크와 주도체 영역의 온도분포를 나타내었다. 그림 5(a)에서 보듯이 GIS 모선 모델의 주도체 배치에 따른 내부 SF6 가스의 유동으로 외부탱크의 경우 위쪽과 아래쪽이 약 2.1°C정도 온도차를 가짐을 알 수 있다.



(a) Velocity distribution of SF6 gas in tank



(b) Velocity distribution of SF6 gas in conductor

그림 6 GIS 모선 모델 SF6 가스의 속도분포
Fig. 6 Velocity distribution of SF6 gas in GIS bus bar model

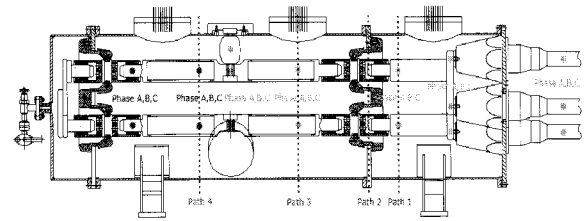
또한 그림 6은 GIS 모선 모델 탱크 내부 및 도체 내부의 SF6 가스의 속도분포를 보여주고 있다. 모선의 위쪽으로 상승하게 되고, 위에서 냉각된 SF6 가스는 다시 외부탱크의 내부 면을 따라 아래쪽으로 하강하게 된다. SF6 가스의 유동은 GIS 모선의 주도체 배치에 따라 달라지며, 모선 내부 및 외부탱크의 온도상승에 영향을 미친다. 그러므로 GIS 모선의 정확한 온도상승을 예측하기 위해서는 SF6 가스의 유동을 고려해야 한다.

2.6.2 GIS 모선의 온도상승 시험

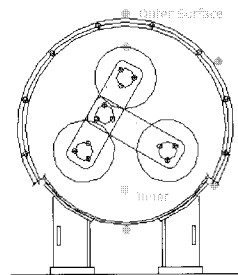
결합해석에 의한 온도상승 예측기법을 검증하기 위하여 GIS 모선 모델의 온도상승 시험에 앞서 정확한 온도측정을 위하여 온도측정 센서의 선정이 선행되어야 한다. 산업계에서 온도측정을 위하여 측온 저항체(Resistance Temperature Detector, RTD)와 열전대(Thermocouple)를 온도센서로 가장 많이 이용한다.

(1) 센서부착

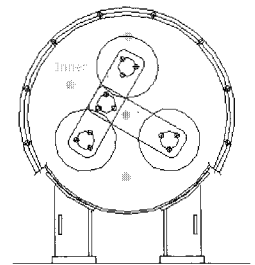
25.8kV 25kA 2000A GIS 삼상 모선 모델을 제작하고 정격전류 통전시 GIS 모선 내부의 온도상승 시험을 하였다. 본 논문에서는 온도상승시험을 위하여 T type의 열전대 온도센서를 선정하였다. 온도상승 예측기법의 정확한 검증을 위해서는 T type 열전대 온도센서의 부착위치 선정이 중요하다. 특히 GIS 모선 모델의 내부 온도 측정을 위해서는 모선 제작시 열전대 온도센서를 미리 부착해야 하므로 사전에 온도센서 부착위치를 선정해야 한다.



(a) 25.8kV 25kA 2000A GIS bus bar



(b) Cross-section of path 1

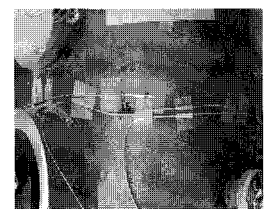


(c) Cross-section of path 2

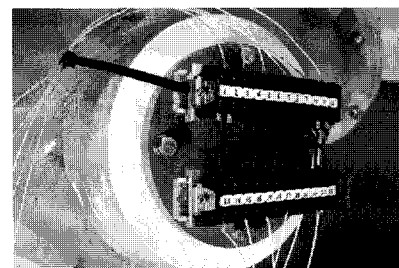
그림 7 GIS 모선 모델의 센서위치
Fig. 7 Sensor location for GIS bus bar model



(a) Conductor surface



(b) Outer tank surface



(c) Sensor terminal

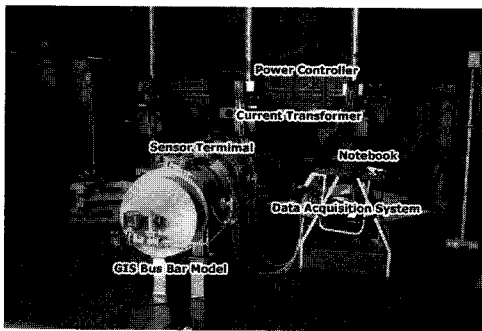
그림 8 GIS 모선 모델의 센서위치
Fig. 8 Sensor location for GIS bus bar model

25.8kV 25kA 2000A GIS 삼상 모선 모델에서 T type 열전대 온도센서의 부착위치를 그림 7에 나타내었다. GIS 모선의 형상과 중요지점을 고려하여 총 48개의 열전대 온도센서를 모선 내·외부에 부착하였다. 온도센서 부착위치는 GIS 모선의 인입 접속부, 삼상 인입부, 접속자(Phase A, B, C), 도체 표면(Phase A, B, C); 도체 접속자(Phase A, B, C), Post-insulator 연면, 삼상 단락바, SF6 가스 중(5개 지점), 탱크 내부표면(5개 지점), 탱크 외부표면(4개 지점) 등이다.

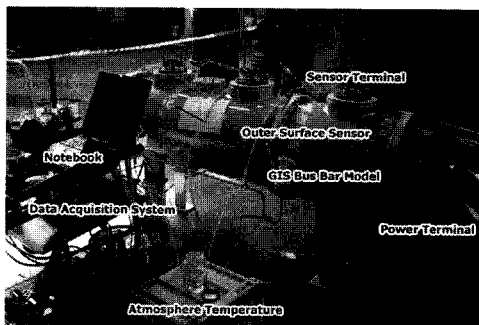
실제 GIS 모선 모델의 도체표면, 탱크표면에 부착된 열전대 온도센서를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 보듯이 GIS 모선 모델 내부에 각각 부착된 열전대 온도센서는 모선 상부의 관측창에 있는 온도센서 단자를 통해 외부로 인출된다.

(2) 온도상승 시험

두 GIS 모선 모델에 그림 7과 같이 T type 열전대 온도센서를 부착하고 두 모선 모델의 정격전류 통전시 온도상승 시험을 하였다. 그림 9는 GIS 모선 모델의 온도상승 시험을 위한 온도측정 시스템 구성을 나타내고 있다. 그림 9에서 보듯이 전원 제어함에서 나온 단자가 각 상의 변류기를 거쳐 GIS 모선 모델의 각 상에 정격전류를 인가한다. 정격전류가 GIS 모선 모델에 인가되면 열전대 온도센서가 온도를 측정하기 시작하며, 그 데이터들은 데이터 수집 장치를 통해 정해진 시간마다 컴퓨터에 저장하게 된다. 이 시험에서는 초반에는 약 10[sec]정도, 시험 중반에는 약 100[sec]정도, 시험 후반에는 약 60[sec]정도 간격으로 온도를 측정하도록 설정하였다.



(a) Total measurement system



(b) Detailed temperature measurement system

그림 9 GIS 모선의 온도 측정 장치

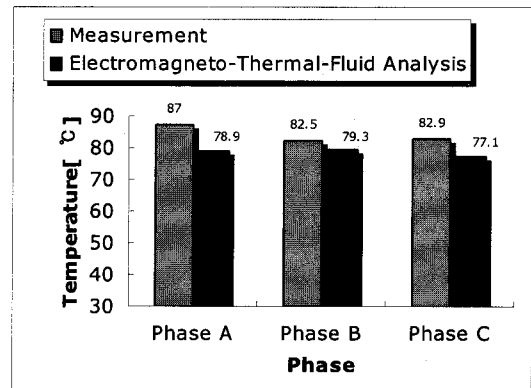
Fig. 9 Temperature measurement system for GIS bus bar

25.8kV 25kA 2000A GIS 삼상 모선 모델의 통전시험을 통해 각 부분의 온도를 측정하여 결합해석의 예측값과 비교·검토하였다. GIS 모선 모델의 각 상별 주도체와 외부탱크 표면의 온도 측정값은 그림 7의 path 1에서 측정한 값이다. 표 3과 그림 10에 예측값과 측정값의 비교를 나타내었다.

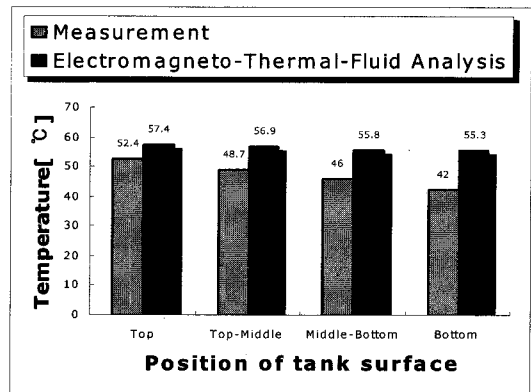
표 3 GIS 모선 모델의 예측 온도

Table 3 Predicted temperatures for GIS bus bar model

Classification	Conductor			Tank Top
	Phase A	Phase B	Phase C	
Measurement [°C]	87	82.5	82.9	52.4
Coupled analysis [°C]	78.9	79.3	77.1	57.4
Error Ratio [%]	9.19	3.87	6.99	8.71



(a) Phase vs. Temperature



(b) Position of tank surface vs. temperature

그림 10 GIS 모선 모델의 온도분포

Fig. 10 Temperature distribution of conductors in GIS bus bar model

주도체의 각 상별 온도상승을 살펴보면 A상에서 측정값과 유동해석에 의한 예측값은 측정값과 근사함을 알 수 있다. 외부탱크에서의 부분별 온도상승을 살펴보면 측정값, 유동계해석에 의한 예측값이 오차를 갖지만 유동계해석에 의한 예측값은 측정값과 같은 양상의 온도분포를 보임을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 가스절연개폐장치의 일부분으로 변전소에서 GIS를 거쳐 외선에 전류를 분배하는 큰 간선인 GIS 모선의 온도상승을 예측하기 위해 전자계-열계-유동계 결합해석 기법을 제시하였다.

이 기법은 전자계해석을 통해 계산한 열원과 연속방정식, 운동방정식, 에너지평형방정식으로 구성된 열계-유동계 결합해석을 이용하여 GIS 모선 내의 온도상승을 예측하는 기법이다. 결합해석은 GIS 모선 내의 실제 유동과 온도분포를 예측한다는 장점을 갖지만 전자계-열계 결합해석 보다 상당히 긴 계산시간을 요구한다. 이에 본 논문에서는 GIS 모선의 외부탱크에 산정한 대류 열전달계수를 경계조건으로 입력함으로써 해석영역의 축소에 따른 계산시간과 해의 수렴성을 증대시켰다.

결합해석 기법의 타당성을 검증하기 위하여 실제 25.8kV 25kA 2000A GIS 모선 모델을 제작하고 정격전류 통전시 온도상승 시험을 하였다. GIS 모선 모델의 온도상승 시험을 통한 측정값과 각 상별 주도체에서 전자계-열계-유동계 결합해석에 의한 예측값은 약 3 ~ 8°C의 오차를 나타내었다. 즉, GIS 모선의 온도상승 예측값과 온도상승 시험을 통한 측정값이 거의 일치함으로써 본 논문에서 제시한 두 가지 온도상승 예측기법의 타당성을 검증하였다.

본 논문에서 GIS 모선의 온도상승을 예측을 위해 제시한 전자계-열계-유동계 결합해석 기법은 GIS 모선뿐만 아니라 변압기, 차단기 등과 같은 전력기기의 통전설계에 널리 활용되어 초고압 전력기기의 소형 경량화 및 신뢰성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 여운동, 정의섭, 박경엽, "2003년 기술산업정보분석 : 초고압 GIS", 한국과학기술정보연구원, 2003.
- [2] 이경행, "초고압 전력기기의 기술 동향", 대한전기학회지, 제46권, 제8호, pp. 23-30, 1997. 10.
- [3] 한국전기연구원, "765kV급 GIS용 차단부 설계 및 제조 기술 개발", 한국전력공사, 1999.
- [4] 김중경, 한성진, "해석적 기법을 이용한 초고압 GIS용 삼상모선의 온도분포 해석", 대한전기학회지, 제55B권, 제4호, pp. 196-202, 2006. 4.
- [5] 김중경, "전자계-열계-유동계 결합해석에 의한 GIS 모선의 온도상승 예측", 동아대학교, 박사학위논문, 2008.
- [6] H. Sadakuni, K. Sasamori, H. Hama, K. Inami, "Insulation and Current Carrying Design for GIS", JIEE, SP-96-12, pp. 33-42, 1996.
- [7] W. Z Black, B. A. Bush, R. T. Coneybeer, ate and

Ampacity of Busbar", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No. 4, pp. 1822-1829, 1994. 10.

- [8] M. Necati Özisik, "Heat Transfer a Basic Approach", McGraw-Hill Publishing Company, 1990.

저 자 소 개



김 중 경 (金 重 經)

1976년 9월 9일생. 2002년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 ~ 현재 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2008년 10월 ~ 현재 (주)효성 중공업PG 중공업연구소 책임연구원.

Tel : 051-200-6946

Fax : 051-200-6947

E-mail : jkkim@donga.ac.kr



오 언 호 (吳 年 浩)

1991년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 전력연구단 초고압전력기기 연구그룹 선임연구원

Tel : 055-280-1566

Fax : 055-280-1589

E-mail : yhoh@keri.re.kr



이 지 언 (李 至 娟)

1984년 9월 18일생. 2007년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 2008년 ~ 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 051-200-6946

Fax : 051-200-6947

E-mail : jkkim@donga.ac.kr



한 성 진 (韓 聲 鎭)

1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1983년 3월 ~ 현재 동아대 전기공학과 교수.

Tel : 051-200-7737

Fax : 051-200-6947

E-mail : schahn@dau.ac.kr