

탄소나노튜브 가스센서의 SF₆ 분해생성물 검출 및 확산현상에 관한 연구

이종철^a · 정세훈^b · 백승현^c

^a강릉대학교 기계자동차공학부, 원주 220-711

^b성균관대학교 대학원 기계공학과, 수원 440-746

^c성균관대학교 기계공학부, 수원 440-746

(2008년 10월 21일 받음, 2009년 1월 20일 수정, 2009년 1월 21일 확정)

가스절연개폐장치 (Gas-insulated switchgear, GIS)의 내부에는 절연에 관한 이상 여부를 감시하고 판단할 수 있는 시스템이 요구된다. 부분방전에 의해 발생하는 SF₆ 분해생성물에 관한 단일벽 탄소나노튜브 (Single-walled carbon nanotube, SWNT)가 지닌 우수한 검출기능 때문에 SWNT를 이용한 가스센서 개발이 활발히 진행되고 있다. 하지만 아직까지 부분방전에 의해 발생된 분해생성물의 확산현상에 관한 해석적 연구는 미흡한 실정이다. 본 논문에서는 실험 데이터 및 상용 CFD (Computational Fluid Dynamics) 프로그램을 이용하여 SWNT 가스센서에 포획되는 분해생성물의 코로나 방전에 의한 발생 과정과 챔버 내부에서의 확산과정을 모델링하여 부분방전 발생 시 챔버 내부의 온도, 압력, 그리고 분해생성물의 농도 등을 수치계산하였다. 분해생성물의 시간당 질량생성과 발생온도는 각각 5.04×10^{-10} [g/s]와 773 K이라 가정하였다. 농도방정식을 계산함에 있어 미지의 확산계수를 임의의 값으로 가정하여 직접 부여하는 방법을 사용하지 않고, 확산계수를 정의하는데 사용되는 Schmidt수의 값을 지정하여 확산계수가 SF₆ 가스의 물성치인 점성계수와 밀도의 함수로 계산되도록 하였다. 수치결과로부터 분해생성물의 농도구배가 확산을 일으키는데 주요 구동포텐셜 (Drive potential)이 됨을 확인하였다. 센서 설치위치가 부분방전 발생영역에서 멀리 떨어질수록 분해생성물 농도가 낮음을 알 수 있었고, 부분방전이 지속될수록 분해생성물의 농도가 증가함을 확인하였다. 다수의 센서를 챔버 내부에 설치하면 각 센서의 응답시간을 확인하여 PD 발생위치를 판단할 수 있을 것이고, 이를 통해 GIS 진단 및 유지보수에 관한 유용한 정보로 사용될 수 있을 것이다.

주제어 : 탄소나노튜브, 가스센서, 부분방전, SF₆ 분해생성물, 가스절연개폐장치

I. 서 론

안정적인 전력공급에 필수적인 가스절연개폐장치 (Gas-insulated switchgear, GIS)와 같은 송배전 설비에는 막대한 손실을 일으키는 정전 (停電, Blackout) 예방을 위하여 부분방전 (Partial discharge, PD)과 같은 이상 (異常, abnormality) 여부를 판단할 수 있는 진단시스템이 설치되어 있다. GIS의 주요 구성품은 절연내력 (dielectric strength)이 뛰어난 고압의 SF₆ (Sulfur Hexafluoride) 가스로 채워진 금속 챔버에 밀봉되어 있으며, 부분방전은 기밀된 챔버 내부에서 각종 이물질 및 금속돌기 등에 의해 증가된 전기적 스트레스가 주변의 절연내력을 초과하는 경우에 발생된다 [1].

현재 운전 중인 대부분의 초고압 GIS설비에는 금속챔버

내부에서 발생하는 부분방전 검출을 위하여 국제규격 IEC 60270에 의한 전압·전류 검출기와 극초단파 (UHF) 신호 검출기가 설치되어 있다. 1970년대 중반부터 개발 적용된 IEC 60270에 기초한 부분방전 검출법은 외부 노이즈가 차단될 수 있는 환경에서는 결합 검출 결과가 우수한 것으로 인정되어 왔으나, 초고압 송전선로나 전력설비가 있는 변전소 등과 같은 현장에 적용할 경우에는 측정 대역에 존재하는 외부 노이즈로 인하여 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 없을 뿐만 아니라, 검출 결과의 재현성이 없는 것으로 보고되고 있다 [2]. UHF 센서에 의한 검출법은 측정 주파수 대역이 높기 때문에 외부 노이즈 영향이 상대적으로 적고, 초고압 GIS 내에서 발생된 결합 위치 추적이 가능하기 때문에 다양한 목적으로 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 센서 제작 및 넓은 주파수 영역을 측정할 수 있는 기술을 보편화하

* [전자우편] jcleee01@kangnung.ac.kr

는 어려움을 내재하고 있다 [3].

최근 단일벽 탄소나노튜브 (Single-walled carbon nanotube, SWNT)를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있으며 [4], 특히 가스센서로 적용하여 O₂, NO₂, NH₃, 신경가스 등을 성공적으로 검출한 연구들이 보고되었고 [5], 부분방전에 의해 발생하는 산화성 분해생성물을 검출하는 뛰어난 특성을 이용하여 금속챔버 내부에 설치되는 SWNT 부분방전 검출용 가스센서의 개발이 활발하게 이루어지고 있다 [6]. 본 논문에서는 상용 CFD (Computational Fluid Dynamics) 프로그램 [7] 및 실험데이터를 이용하여 SWNT 가스센서에 포획되는 분해생성물의 코로나 방전에 의한 발생과정과 챔버 내부로의 확산과정을 모델링하여 부분방전 발생 시 챔버 내부의 온도, 압력, 그리고 분해생성물의 농도 등을 수치계산하였다. 부분방전 지속시간에 따른 해석 결과를 통하여 분해생성물의 확산과정과 농도변화를 고찰하고, PD 발생위치 예측가능성을 평가하고자 한다.

II. 수치해석

수치해석에 필요한 초기조건 및 경계조건 등은 선행된 실험적 연구결과 데이터를 이용하며 [8], 수치모델은 실험장치를 기준으로 모델링하였다. Fig. 1은 부분방전에 의해 생성되는 SF₆ 분해생성물 검출을 위한 SWNT 가스센서가 설치된 실험장치 (Fig. 3(a))와 수치해석에 사용된 모델링 챔버 (Fig. 3(b))의 개략도이다. 실제 챔버의 크기는 500×300×300 (단위: mm)이지만, 전극 사이에서 발생된 분해생성물의 확산현상이 θ-방향으로는 대칭적으로 발생

한다고 가정하여 수치해석용 모델 챔버는 2차원으로 단순화하였다. 또한 분해생성물의 발생은 전극 형상에 거의 영향을 받지 않기 때문에 부분방전 발생에 사용된 침-평판전극 (point-plane electrode)의 형상을 다소 조정하여 수치해석의 수렴성에 크게 영향을 미치는 격자의 찌그러짐 (skewness) 정도를 향상하였다 (전극간 거리 = 15 mm). 챔버 내부는 SF₆ 가스가 충전압 2 bar로 채워져 있으며, 두 전극 사이의 인가전압과 주파수는 각각 7 kV_{rms}과 60 Hz이고, IEC 60270 방식의 부분방전 검출기 (Haefely TE571)로 측정된 평균 방전량과 전류는 각각 20 pC과 0.3 μA이다. 이를 전자계 해석을 위한 경계조건으로 사용하여 맥스웰 방정식을 계산함으로써 주울열과 로렌츠힘을 구할 수 있는데, 시간 및 크기가 불규칙적인 펄스 형태로 발생하는 부분방전을 그대로 초기조건으로 입력하는데 어려움이 발생하므로 앞서 설명한 평균 방전량과 전류를 수치계산을 위한 조건으로 사용하였다. 따라서 부분방전에 의해 발생하는 방전형상을 얇은 직경을 갖는 전도성 도체로 모델링하여 회로를 구성하였다.

Fig. 1(b)와 같은 축대칭 방전형상 및 이로 인하여 초래되는 열유동 특성을 계산하기 위한 지배방정식은 다음과 같은 보존형 Navier-Stokes 방정식이다.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot [\rho \vec{V}\phi - \Gamma_\phi \nabla \phi] = S_\phi \quad (1)$$

여기서, ϕ 는 종속변수, ρ 는 가스밀도, 그리고 \vec{V} 는 속도이다. 원통좌표계에서의 종속변수 ϕ 에 상응하는 생성항 S_ϕ 와 확산계수 Γ_ϕ 를 표 1에 나타내었다.

음극과 양극, 그리고 두 전극 사이에서 발생하는 부분방

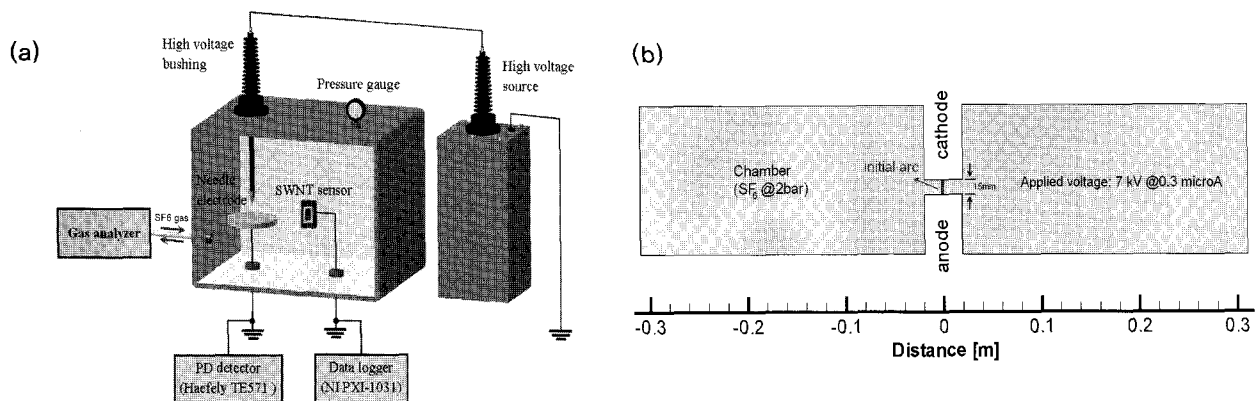


Figure 1. Schematic diagram for a partial discharge detection in SF₆ environment. (a) experimental setup. (b) computational model.

Table 1. Definition of ϕ , Γ_ϕ and S_ϕ for governing equations.

Equations	ϕ	Γ_ϕ	S_ϕ
Continuity	1	0	0
Axial momentum	w	$\eta_l + \eta_t$	$-\frac{\partial p}{\partial z} + (J \times B_\theta)_z + (\eta_l + \eta_t) \nabla^2 w$
Radial momentum	v	$\eta_l + \eta_t$	$-\frac{\partial p}{\partial r} + (J \times B_\theta)_r + (\eta_l + \eta_t) \nabla^2 v - \frac{2(\eta_l + \eta_t)v}{r^2}$
Enthalpy	h	$(k_l + k_t)/c_p$	$\sigma E^2 - q + (\eta_l + \eta_t) \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial v_i}{\partial x_j}$
Concentration of SF ₆ decomposition	c	$\rho(D_l + D_t)$	0

전에 관한 전자기 효과를 계산하기 위하여 식(2)와 같은 라플라스 방정식 형태의 정전위 포텐셜 (electrostatic potential, φ)을 추가적으로 계산함으로써 전류밀도 (J), 아크저항 (R), 전체분포 (E), 주열열 (σE^2) 등을 구하였다. 두 전극 사이에 발생된 아크를 통하여 전류가 흐르게 되고 이 전류 흐름에 의하여 원주방향의 자기장이 발생된다. 암페어의 주회법칙 (Ampere's circuital law)에 의해 원주방향 자기장 (azimuthal magnetic field) B_θ 은 식(3)과 같이 표현된다. 전자기 해석을 통한 결과를 열유동 방정식과 연계 (coupling)할 수 있도록 식(1)의 운동량 및 에너지 방정식의 생성항에 로렌츠힘과 주열열을 각각 입력되도록 프로그램을 구성하였다. 보다 자세한 기호 설명은 참고문헌 [9,10]을 참고하기 바란다.

$$\nabla \cdot (\rho \nabla \varphi) = 0 \tag{2}$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r B_\theta) = \mu_0 j_z \tag{3}$$

$$D_l = \frac{\eta_l}{\rho S c_l}, D_t = \frac{\eta_t}{\rho S c_t} \tag{4}$$

여기서, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]는 투자율, 하첨자 l 과 t 는 각각 층류와 난류상태를 나타낸다.

두 전극 사이에서 발생된 부분방전에 의하여 SF₆ 가스는 분해되고 재결합하여 1차 분해생성물과 2차 분해생성물이 발생된다. SWNT 가스센서는 부분방전에 의해 생성된 2차 분해생성물인 SOF₂, SOF₂, SOF₄ 등이 확산과정에 의하여 전달된 것을 감지하여 부분방전 발생 여부를 판단한다.

Van Brunt [11] 등은 전류 40 μ A, 압력 200 kPa에서 분해 생성된 SOF₂, SO₂F₂, SOF₄의 황산화물 (oxyfluorides) 발생량을 측정하였고, 그 결과로부터 시간당 SOF₂ 질량생성율은 3.36×10^{-8} [g/s]이라 하였다. 본 연구에서의 입력전류는 0.3 μ A이므로 시간당 전체 분해생성물의 질량생성율은 SOF₂ 질량생성율의 2배인 5.04×10^{-10} [g/s]이라 가정하며, 이를 분해생성물 농도 계산을 위한 경계조건으로 사용한다. SF₆ 가스는 773 K 이상에서 분해가 되기 시작하므로 전극 사이의 방전영역 온도가 그 이상이 되면 분해생성물이 발생하는 것으로 모델링하였다.

발생된 분해생성물은 작동가스와 혼합된 가스상태에서 확산과정에 의하여 챔버 내부로 재분포된다. Murphy [12]은 국소 열적·화학적 평형상태 하에서 혼합 확산계수는 두 기체의 혼합물 속에서 한 기체에 내포하는 종 (species)의 확산 정도를 기술하는데 사용할 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 발생된 분해생성물의 농도방정식을 계산함에 있어 식(4)에 나타낸 미지의 확산계수를 임의의 값으로 가정하여 직접 부여하는 방법을 사용하지 않고, 보다 간접적인 계산이 될 수 있도록 확산계수를 정의하는데 사용되는 Schmidt수의 값을 지정하여 확산계수가 작동유체인 SF₆ 가스의 물성치인 점성계수와 밀도의 함수로 계산되도록 하였다. 이때 층류와 난류에 관한 Schmidt수는 각각 1의 값을 사용하였다 [13,14]. 아울러 작동유체인 SF₆ 가스의 열전달 특성 계산에 필요한 열적·이송적 물성특성 (thermodynamic and transport properties)은 참고문헌 [1,13]을 참고하였다.

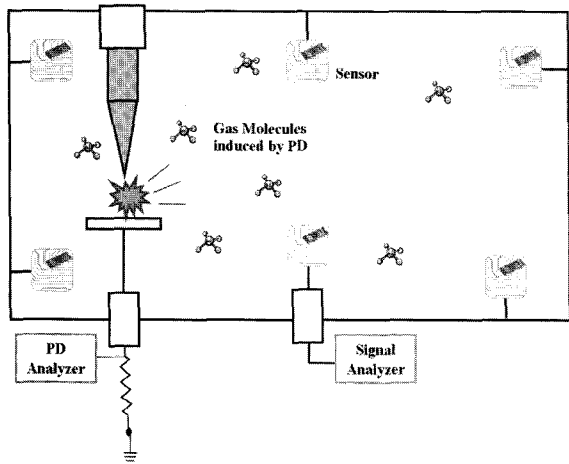


Figure 2. Schematic diagram of PD detection in the SF₆ gas chamber with a SWNT sensor.

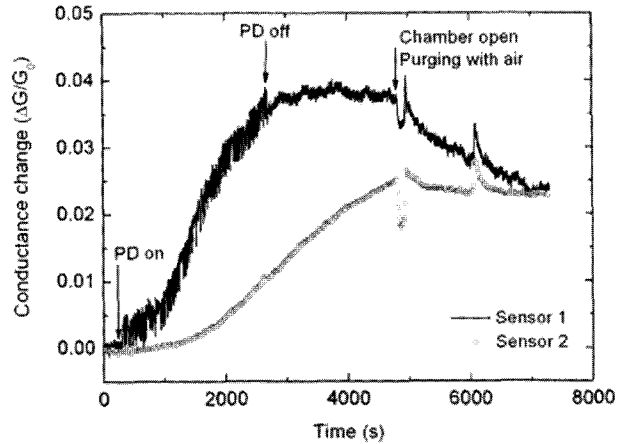


Figure 3. Measured conductance modulation of a SWNT sensor upon PD exposure generated with 20 pC.

III. 결과 및 고찰

전술한 바와 같이 두 전극 사이에서 부분방전이 발생하면 SF₆ 가스는 분해되고 주변의 산소나 수증기와 결합하여 분해생성물을 생성하는데, 발생된 분해생성물은 산화성 물질이고 SWNT 가스센서는 p형 반도체의 특성을 갖고 있다. 따라서 Fig. 2에 나타내었듯이 발생된 분해생성물이 SWNT 가스센서가 설치된 지점까지 이동하여 탄소나노튜브의 표면과 화학적 또는 물리적 흡착이 되면 탄소나노튜브의 컨덕턴스가 증가하게 된다.

Fig. 3는 챔버 압력이 2 bar인 경우 20 pC의 부분방전이 발생할 때 챔버 내 설치된 SWNT 센서의 컨덕턴스 변화를 측정된 결과이다. Sensor 1은 부분방전 발생 지점에서 100 mm 떨어진 곳에 위치하며, sensor 2는 300 mm 떨어진 곳

에 위치하고 있다. 부분방전이 발생되기 전 SWNT 가스센서는 순수 SF₆ 가스와 반응하지 않으며, 부분방전이 일어나면서 분해생성물이 발생하고 센서가 설치된 위치까지 도달하면서 센서의 컨덕턴스가 증가하고 있다. 부분방전이 오래 지속될수록 SWNT 센서의 컨덕턴스 또한 연속적으로 증가하며, 이 결과는 SWNT 센서가 부분방전에 얼마나 많이 노출되었는가를 의미한다. 또한 Sensor 1은 sensor 2보다 빠른 응답특성을 나타내고 있는데, 이는 전극 사이에서 발생된 분해생성물이 확산과정에 의하여 가스센서가 설치된 위치까지 전파되는 시간차가 있기 때문이다. 따라서 다수의 센서를 챔버 내부에 설치하여 측정된 컨덕턴스를 비교하면 부분방전 발생위치 추적이 가능할 것이다.

수치해석을 통해 구한 SF₆ 분해생성물의 농도를 Fig. 4에 나타내었다. 실제에서는 여러 종류의 SF₆ 분해생성물

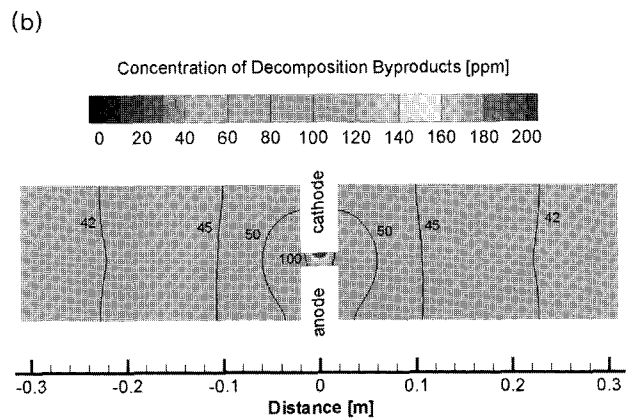
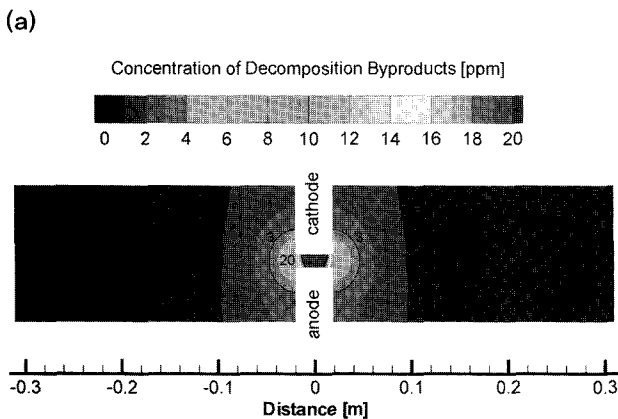


Figure 4. The calculated concentrations of SF₆ decomposition in the chamber, (a) at 60s after PD on, (b) at 3,600s after PD on.

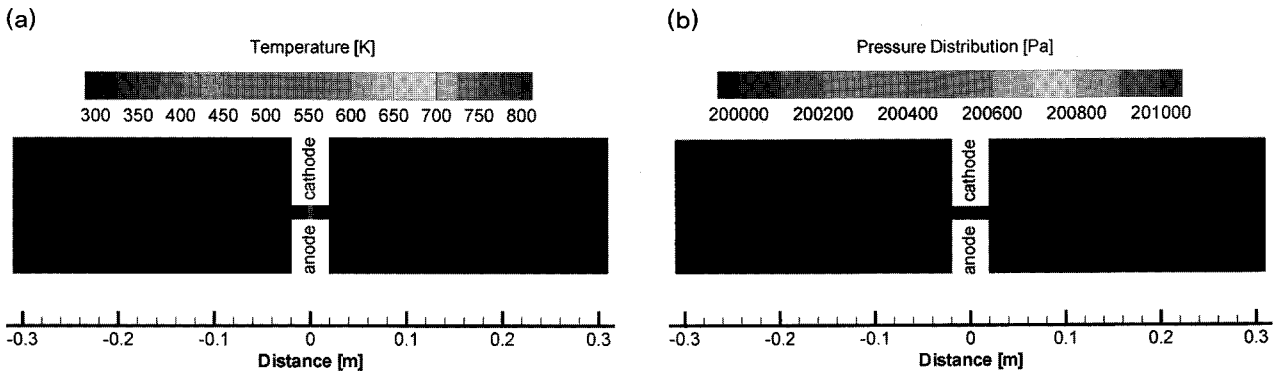


Figure 5. The calculated distributions of (a) temperature and (b) pressure in the chamber with the same experimental conditions.

이 발생하지만, 본 연구의 수치해석에서는 실제로 발생하는 모든 SF₆ 분해생성물을 합쳐 작동유체인 SF₆ 가스와 다른 하나의 종으로 생각하여 설명한다. 부분방전에 의해 두 전극 사이 방전 영역에서 발생하는 분해생성물의 주요 구동포텐셜 (driving potential)은 Fig. 5에서 알 수 있듯이 부분방전 영역에서의 온도 및 압력구배에 의한 것보다 주로 성분의 농도구배에 의하여 물질 확산이 발생할 것으로 판단된다. 코로나가 발생된 두 접점 사이에서 두께 2 mm 이하의 미소영역에서만 773 K (SF₆ 분해온도) 이상의 온도를 가지며, 전반적인 챔버 내부 온도분포는 부분방전에 의해 가열된 영향이 없음을 확인할 수 있다. 따라서 Fig. 5(a)에 나타난 온도분포는 챔버 내부 좌우로 분해생성물을 확산시킬 수 있는 구동포텐셜로의 역할을 할 수 없다는 것을 확인할 수 있다. 압력분포 또한 Fig. 5(b)에서 볼 수 있듯이 챔버 내부에 압력구배가 존재하지 않기 때문에 물질을 전달할 수 있는 힘으로 작용될 수 없음을 확인할 수 있다. 부분방전에 의해 발생하는 분해생성물의 질량생성율 (5.04×10^{-10} [g/s])이 적기 때문에 순간적인 확산플럭스는 크지 않겠지만, 장시간 발생하는 부분방전 특성에 의해 분해생성물이 방전영역 근처에 축적된 후 센서가 위치한 곳까지 이동하게 된다. 부분방전 발생 후 60초가 지난 시점에서의 계산결과인 Fig. 4(a)에서 볼 수 있듯이 실험적 연구에서 SWNT 센서가 설치된 100 mm와 300 mm 지점에서의 수치계산된 분해생성물의 농도는 각각 1 ppm과 0.1 ppm 이다. 그리고 Fig. 4(b)에서 볼 수 있듯이 부분방전 발생 후 1시간이 지난 시점에서의 두 지점의 분해생성물 농도는 45 ppm과 40 ppm 이다. 챔버가 밀폐되어 있기 때문에 부분방전이 지속될수록 분해생성물의 농도가 증가함을

알 수 있으며, 이는 Fig. 3의 측정결과에서 확인한 바와 같다. 또한 센서가 부분방전 발생위치에서 멀리 떨어져 있을수록 (Fig. 3의 sensor 2) 농도가 낮음을 확인하였다.

본 수치계산에 사용된 SF₆ 분해생성물은 부분방전에 의해 발생하는 여러 종류의 분해생성물 각각을 고려한 것이 아니라 주요 분해생성물을 하나의 종으로 간주하여 농도방정식 계산에 사용되었다. 하지만 부분방전에 의해 발생된 분해생성물은 방전영역으로부터 확산거리에 따라 주변의 다른 종들과 재결합하는 등 고유의 수명을 가지고 있기 때문에 설치된 센서가 감지하는 분해생성물의 종류를 판단하기 위해서는 화학반응 (Chemical reaction)이 포함된 수치모델의 개발이 필요하며 이에 관한 추가 연구가 향후 수행될 예정이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 실험 데이터 및 상용 CFD 프로그램을 이용하여 SWNT 가스센서에 포획되는 분해생성물의 코로나 방전에 의한 발생과정과 챔버 내부로의 확산과정을 모델링하여 부분방전 발생 시 챔버 내부의 온도, 압력, 그리고 분해생성물의 농도 등을 수치계산하였다. 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 계산된 온도장 및 농도장과 가스센서 컨덕턴스 측정데이터를 비교하여 부분방전 영역에서 발생된 분해생성물의 주요 구동포텐셜은 성분의 농도구배임을 확인하였다.
- 2) 센서가 부분방전 발생영역에서 멀리 떨어져 있을수록

농도가 낮음을 알 수 있었고, 챔버가 밀폐되어 있기 때문에 부분방전이 지속될수록 분해생성물의 농도가 증가함을 확인하였다.

- 3) 이를 통해 다수의 센서를 챔버 내부에 설치하여 측정 한 컨덕턴스를 비교하면 부분방전 발생위치 추적의 유용한 정보로 사용될 수 있을 것이다.
- 4) 부분방전이 60초 지속된 후 방전영역에서 300 mm 떨어진 지점에서의 계산된 분해생성물 농도는 0.1 ppm 이었는데, 아직까지 ppb 레벨의 검출감도를 갖는 가스센서가 상용화되어 있지 않은 실정을 감안하면 탄소나노튜브 가스센서의 우수한 검출감도를 확인할 수 있다.
- 5) 보다 신뢰성 있는 우수한 해석결과를 얻기 위해서는 가스 크로마토그래피를 이용한 분해생성물의 농도분석이 요구되며, 이를 통해서 SWNT 가스센서의 검출능력을 파악하고 국부적인 분해생성물 농도와 PD 발생위치를 예측할 수 있는 방법도 확립할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2007-2- 061)주관으로 수행된 과제임.

참고문헌

- [1] H. M. Ryan and G. R. Jones, *SF₆ Switchgear*, Peter Peregrinus Ltd., London, UK (1989).
- [2] G. C. Stone, "Partial Discharge-Part VII: Practical Techniques for Measuring PD in Operating Equipment", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 7, No. 4, pp. 9-19 (1991).
- [3] K. Tekletsadic and L. C. Campbell, "SFL Breakdown in GIS", *IEE Proc.-Sci. Measurement Technology*, Vol. 143, No. 5, pp. 270-276 (1996).
- [4] K. S. Kim, J. H. Ryu, C. S. Lee, H. E. Lim, J. S. Ahn, J. Jang, and K. C. Park, "Study on enhanced electron emission current of carbon nanotube by thermal and HF treatments", *J. Korean Vacuum Society*, Vol. 17, No. 2, pp. 90-95 (2008).
- [5] J. Kong, N. R. Franklin, C. W. Zhou, M. G. Chapline, S. Peng, K. J. Cho, and H. Dai, "Nanotube Molecular Wires as Chemical Sensors", *Science*, 287, pp. 622-625 (2000).
- [6] J. Suehiro, G. B. Zhou, and M. Hara, "Detection of Partial Discharge in SF₆ Gas Using a Carbon Nanotube-based Gas Sensor", *Sensors and Actuators B-Chemical*, Vol. 105, pp. 164-169 (2005).
- [7] PHOENICS, CHAM, London, UK.
- [8] 백승현, 정세훈, 이종철, 장용무, 최재봉, 김영진, "SF₆ GIS의 부분방전 검출을 위한 단일벽 탄소나노튜브 센서", 한국정밀공학회 2007년도 춘계학술대회 논문집, pp. 167-168 (2007).
- [9] J. C. Lee and Y. J. Kim, "Numerical Study on the Characteristics of Thermal Plasmas Disturbed by Inserting a Langmuir Probe", *J. Korean Vacuum Society*, Vol. 17, No. 3, pp. 189-194 (2008).
- [10] Jong-Chul Lee and Youn J. Kim, "The Influence of Metal Vapors Resulting from Electrode Evaporation in a Thermal Puffer Type Circuit Breaker", *Vacuum*, Vol. 81, No. 7, pp.875-882 (2007).
- [11] R. J. Van Brunt and J. T. Herron, "Fundamental Processes of SF₆ Decomposition and Oxidation in Glow and Corona Discharges", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. 25, No. 1, pp.75-94 (1990).
- [12] A. B. Murphy, "A Comparison of Treatments of Diffusion in Thermal Plasma", *J. Phys. D., Appl. Phys.*, Vol. 29, No. 7, pp.1922-1932 (1996).
- [13] J. L. Zhang, J. D. Yan, A. B. Murphy, W. Hall, and M. T. C. Fang, "Computational Investigation of Arc Behavior in an Auto-Expansion Circuit Breaker Contaminated by Ablated Nozzle Vapor", *IEEE Trans. on Plasma Sci.*, Vol. 30, No. 2, pp. 706-719 (2002).
- [14] J. H. Park and S. H. Hong, "Numerical Analysis of Nitrogen-Mixed Argon Plasma Characteristics and Injected Particle Behavior in an ICP Torch for Ultrafine Powder Synthesis", *IEEE Trans. on Plasma Sci.*, Vol. 23, No. 4, pp. 532-538 (1995).

Detection with a SWNT Gas Sensor and Diffusion of SF₆ Decomposition Products by Corona Discharges

J. C. Lee^{a*}, S. H. Jung^b, and S. H. Baik^c

^a*School of Mechanical and Automotive Engineering, Kangnung National University, Wonju 220-711*

^b*Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Sungkyunkwan University, Suwon 440-746*

^c*School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746*

(Received October 21, 2008, Revised January 20, 2009, Accepted January 21, 2009)

The detection methods are required to monitor and diagnose the abnormality on the insulation condition inside a gas-insulated switchgear (GIS). Due to a good sensitivity to the products decomposed by partial discharges (PDs) in SF₆ gas, the development of a SWNT gas sensor is actively in progress. However, a few numerical studies on the diffusion mechanism of the SF₆ decomposition products by PD have been reported. In this study, we modeled SF₆ decomposition process in a chamber by calculating temperature, pressure and concentration of the decomposition products by using a commercial CFD program in conjunction with experimental data. It was assumed that the mass production rate and the generation temperature of the decomposition products were 5.04×10^{-10} [g/s] and over 773 K respectively. To calculate the concentration equation, the Schmidt number was specified to get the diffusion coefficient functioned by viscosity and density of SF₆ gas instead rather than setting it directly. The results showed that the drive potential is governed mainly by the gradient of the decomposition concentration. A lower concentration of the decomposition products was observed as the sensors were placed more away from the discharge region. Also, the concentration increased by increasing the discharge time. By installing multiple sensors the location of PD is expected to be identified by monitoring the response time of the sensors, and the information should be very useful for the diagnosis and maintenance of GIS.

Keywords : Carbon nanotube, Gas sensor, Partial discharge, SF₆ by-product, Gas-insulated switchgear

* [E-mail] jcleee01@kangnung.ac.kr