

SF₆ 가스의 실제 기체 특성을 고려한 파퍼식 가스차단기 내의 냉가스 유동해석

論 文
53B-3-1

Analysis of Cold Gas Flow in Puffer Type GCB Considering the Real Gas Property of SF₆

金 烘 奎* · 鄭 鎮 敎** · 朴 敬 燁***

(Hong-Kyu Kim · Jin-Kyo Jung · Kyong-Yop Park)

Abstract - To analyze the performance of the gas circuit breaker(GCB), the flow field variables such as temperature, pressure and density should be evaluated accurately. In the puffer chamber of puffer type GCB, the pressure rise may exceed 20 bar and in this range of high pressure, SF₆ gas deviates the ideal gas property. Therefore, the real gas property of SF₆ should be taken into consideration for the accurate analysis of flow field. This paper presents the analysis technique of cold gas flow in GCB employing the real gas state equation of SF₆. The FVFLIC method is employed to solve the axisymmetric Euler equation. To reduce the computational effort of real gas state equation, the relationship between density and pressure is approximated by the polynomial at the temperature of 300K. The proposed method is applied to the test GCB model and simulation results show good agreement with the experimental ones.

Key Words : Puffer GCB, SF₆ gas, real gas property, state equation, FVFLIC method.

1. 서 론

차단기는 정상 상태에서는 전류를 통전시키는 도체 역할을 하며, 사고 발생시에는 사고 전류를 차단하기 위한 전기적 절연체 역할을 한다. 파퍼식 가스 차단기(Puffer type GCB : puffer type gas circuit breaker)는 파퍼실의 압축에 의해 발생한 강한 유동을 극간의 아크 쪽으로 붙어서 아크를 소호하는 방식이며[1,2], 아크소호 능력이 자력 소호 방식에 비해 뛰어나기 때문에 초고압용 가스차단기에는 대부분이 방식을 사용하고 있다. 대전류 차단 시에 차단부 내에서 일어나는 차단 과정을 해석하기 위해서는 극간에 발생하는 아크 소호 메커니즘의 분석이 필요하며, 이를 위해서는 아크와 가스 유동의 상호 작용을 고려한 유동 해석이 필요하다[2,3,4]. 이는 차단 특성에 직접적인 영향을 미치는 것이 차단부 내의 밀도, 온도 및 압력 분포이며 이러한 분포는 유동 해석을 통해서 얻을 수 있기 때문이다. 차단부 내의 유동 해석은 크게 냉가스 유동 해석과 열가스 유동 해석으로 나눌 수 있다. 냉가스 유동 해석은 아크가 존재하지 않는 경우 차단부 내의 유동장 해석을 위한 것이며, 소전류 차단 특성 해석 등 아크에 의한 영향을 무시할 수 있는 경우에 적용된다. 열가스 유동 해석은 SLF(Short Line Fault), 3TF(Bus Terminal Fault) 등 차단 전류가 커서 아크에 의

한 영향이 지배적인 경우에 적용된다. 초고압 파퍼식 가스 차단기의 경우, 무부하 차단 시에 파퍼실의 압력은 차단기 용량에 따라서 10bar 이상에서 20bar 이상 상승하며, 소호 매질로 사용되는 SF₆ 가스의 경우 압력이 높아지면 이상 기체의 특성을 벗어나기 때문에, 냉가스 유동 해석 시에 이상 기체를 가정한 상태방정식을 사용하면 오차가 발생하게 된다[5].

본 논문에서는 이러한 SF₆가스의 실제 기체특성을 고려한 냉가스 유동 해석방법을 제시하고, 실제 차단부 모델에 적용하여 압력 상승치를 시험결과와 비교한다. 유동 해석을 위한 수치 유동해석 방법으로는 FVFLIC(Finite Volume Fluid in Cell)법을 사용하였으며, SF₆ 가스의 물성치를 고려하기 위해서 측정 데이터로부터 유도된 실제 기체 상태 방정식[6]을 이용하였다. 유동해석으로부터 구하여지는 유동 변수는 밀도와 에너지이며, 이로부터 온도를 구하기 위해서는 비선형 방정식을 풀어야 한다. 본 논문에서는 계산 시간 및 계산량을 단축시키기 위해서 온도 300K에서 밀도와 압력의 관계를 다항식으로 보간하고, 압력은 온도에 비례하는 것으로 가정하여 온도와 압력을 구하는 방법을 제안한다. 실제기체 특성을 고려한 차단부 내의 냉가스 유동해석 방법을 모델 차단부에 적용하여, 파퍼실의 압력 상승 및 고정아크 접점 앞부분에서의 압력을 시험결과와 비교하였다. 파퍼실의 압력은 10bar 이상 상승하기 때문에 이상기체를 가정한 해석결과는 시험 결과보다 높게 나타났으며, 고정아크 접점 앞부분에서는 압력 상승치가 파퍼실에 비해 높지 않기 때문에 이상기체와 실제기체 간의 압력 상승 차이는 파퍼실 처럼 크지는 않았다.

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 先任研究員

** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 先任研究員

*** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 그룹長

接受日字 : 2003年 7月 23日

最終了 : 2003年 12月 27日

2. 차단부 내의 냉가스 유동 해석

2.1 파퍼식 가스 차단기의 구조 및 차단원리

그림1은 파퍼식 가스 차단기의 차단부 기본 구조 및 차단 과정을 보여준다. 차단 과정에서 조작기의 구동 메커니즘(driving mechanism)에 의해 그림의 빗금 친 부분이 왼쪽 방향으로 이동하며, 가동부와 피스톤 간의 상대운동에 의한 파퍼실의 압축에 의해 압축가스가 극간에 발생한 아크 쪽으로 강하게 불어가서 아크를 소호하게 된다.

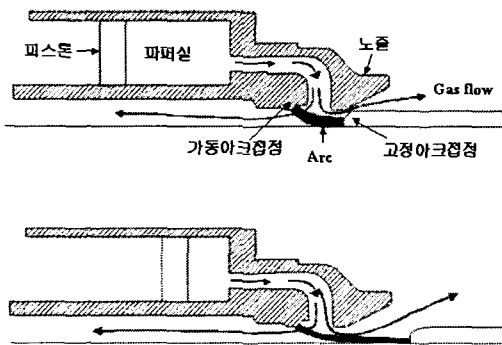


그림 1 파퍼식 가스차단기의 구조 및 차단 원리

Fig. 1 Structure and interruption principle of puffer type GCB

2.2 냉가스 유동해석

차단부 내의 유동 해석 시에는 가동부 이동에 따른 이동 경계 조건, 초음속 유동에 의한 충격파 발생, 노즐 등의 복잡한 형상 고려 등 CFD(computational fluid dynamics)를 이용한 해석 시 상당히 어려운 점들이 많이 있다. 본 연구에서는 이러한 조건들을 비교적 정확히 고려할 수 있는 FVFLIC법[7,8,9]을 적용하여 차단부 내의 유동 해석을 수행한다. 이 방법은 임의 형상의 격자를 사용할 수 있고, 계산량이 유한체적법, 유한차분법 등에 비해 적으며, 충격파에 의한 영향을 비교적 정확히 고려할 수 있기 때문에 차단부 내의 전체적인 유동장 분포 해석에는 적합하다. 차단부 유동 해석 시에는 축대칭을 가정하여도 큰 오차가 없으며, 해석을 위한 축대칭 오일러 방정식은 다음과 같이 표현된다.

질량 보존 법칙 :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{U}) = 0 \tag{1}$$

운동량 보존식 :

$$z\text{방향 } \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \vec{U}) = -(\nabla P)_z \tag{2}$$

$$r\text{방향 } \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \vec{U}) = -(\nabla P)_r$$

에너지 보존식 :

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho E \vec{U}) = -\nabla \cdot (P \vec{U}) \tag{3}$$

여기서 $\vec{U} = (u, v)$ 는 z 와 r 방향의 속도 성분, ρ 는 밀도, P 는 압력, E 는 비총에너지(specific total energy)를 나타낸다.

2.3 가동부 모의 및 경계조건

가동부에 의한 영향을 고려하기 위해서 이동 격자를 사용하는 경우, 해석된 유동변수들을 이용하여 격자를 이동시키면서 해석을 진행하여야 하며, 적절한 격자 생성 기법과 격자의 재 정렬 등에 많은 계산량과 시간이 많이 필요하다. 차단부에서 파퍼실은 형상이 간단하기 때문에, 본 연구에서는 피스톤 전면에 위치한 셀(cell)의 체적 압축비를 이용하여 파퍼실 압축을 모의하는 방법을 사용한다. 이 방법은 질량보존법칙을 만족하며, 파퍼실과 같이 한 방향으로의 유동이 주된 경우에는 정확한 방법이다[9]. 실제 차단부에서는 노즐, 가동아크접점 등이 이동하지만 해석의 편의를 위해서 형상이 간단한 피스톤과 고정아크접점이 이동하는 것으로 가정하여 유동해석을 수행한다.

가동부 이동에 따른 피스톤 경계면에 위치한 셀에서의 밀도는 피스톤 이동에 따른 체적 감소비를 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$\rho^{n+1} = \rho^n V^n / V^{n+1} \tag{4}$$

여기서 ρ^n, V^n 은 스텝(n)에서의 피스톤 전면 셀의 밀도 및 체적이며, ρ^{n+1}, V^{n+1} 은 스텝(n+1)에서의 피스톤 전면 셀의 밀도와 체적이다.

그림2는 유동해석을 위한 해석 영역 및 경계를 보여주며, 각 경계에서의 경계 조건은 다음과 같다.

1) AB : 이 부분은 피스톤 압축에 의해 유동이 형성되는 부분이다. 이 경계부분에 있는 셀의 밀도는 피스톤의 이동에 의한 부피 감소비에 의해 식(4)로부터 계산한다. 그리고 이 부분의 셀의 유동 속도는 피스톤의 이동속도로 설정하며, 피스톤의 이동속도는 시험에 의해 구하여진 스트로크 곡선으로부터 구한다.

2) CD, DE, FG : 피스톤 압축에 의해 형성된 유동이 빠져나가는 유출(outflow) 경계 부분이다. 이 부분에 있는 가상셀(ghost cell)의 유동 변수는 다음 조건에 의해 구한다.

○ 가상셀의 압력은 초기 충전압력과 동일하고, 가상셀의 마하수는 인접한 내부셀과 동일하다.

○ 가상셀의 속도벡터의 방향은 인접한 내부셀 속도 방향과 동일하다.

○ 내부셀에서 가상셀로의 유동은 등엔트로피(isentropic)과정이다.

이상의 조건에 의해 유출경계면에 위치한 가상셀의 유동 변수값은 다음에 의해 구하여진다.

$$P_g = P_{init}, T_g = T_b \left(\frac{P_g}{P_b} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (5)$$

$$e_g = C_v T_g, \rho_g = \frac{P_g}{R T_g} \quad (6)$$

$$\vec{U}_g = \sqrt{\frac{T_g}{T_b}} \vec{U}_b$$

여기서 아래 첨자 g 는 가상셀을, b 는 이 가상셀에 인접한 내부 셀을 나타낸다. 그리고 P_{init} 는 초기 충전 압력, R 은 기체상수, C_v 는 정적비열, γ 는 비열비(specific heat ratio)를 나타낸다.

3) GH : 대칭 경계 조건이 주어진다.

4) 벽면 경계 조건 : free-slip 경계 조건이 주어진다. 경계면에서의 속도벡터가 경계면에 평행한 속도를 가지는 미끄럼 조건이 이용된다. 이 경우 벽면 경계에 위치한 가상셀의 벽면에 평행한 속도 성분은 인접한 내부 셀의 속도의 벽면과 평행한 성분과 같은 값을 설정하고, 벽면에 수직인 속도 성분은 내부 셀의 벽면 수직 속도 성분의 반대 방향이 되게 설정한다. 나머지 유동 변수들은 인접한 내부 셀의 값과 동일한 값을 설정한다.

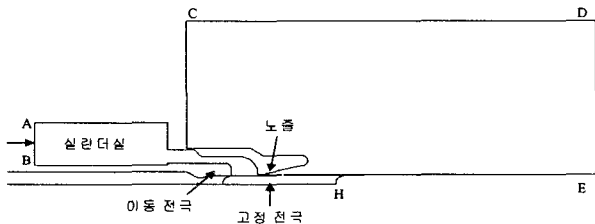


그림 2 차단부 유동 해석을 영역 및 경계
Fig. 2 Analysis domain and boundaries for the analysis of gas flow

2.4 파퍼실 배출구의 등가단면적화

그림3은 축대칭 해석을 위한 해석 모델 및 파퍼실 배출구의 실제 형상을 보여준다. 그림3의 라인 AB 영역에 대한 형상이 그림(b)에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 실제 차단부의 파퍼실 배출구는 몇 개의 배출 구멍으로 이루어져 있으며(그림(b)에서는 4개), 따라서 이 부분의 정확한 유동 해석은 3차원 해석을 수행하여야 하며, 축대칭 2차원 해석의 경우에는 파퍼실 배출구 모델링 시 실제의 배출구 단면적을 고려하여 등가화 시켜주어야 한다. 즉 그림(b)에서 반경 R1과 R2는 해석을 위한 모델링 시에는 배출구 단면적과 동일하도록 조정하여야 한다. 즉, 다음 식

$$\text{실제배출구 단면적의 합} = \pi \times (R_{eq2}^2 - R_{eq1}^2) \quad (7)$$

에 의해서 등가 반경 R_{eq1} , R_{eq2} 를 설정한다.

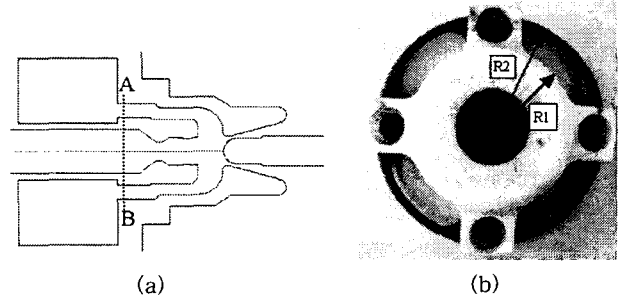


그림 3 파퍼실 배출구 형상
(a) 유동 해석을 위한 축대칭 형상
(b) 실제 파퍼실 배출구 형상
Fig. 3 Shape of outlet from the puffer chamber

3. 실제기체 특성을 고려한 SF6 가스 물성치

유동해석에 의해 구하여진 밀도 및 에너지로부터 온도 및 압력을 구하기 위해서는 기체의 상태 방정식이 필요하며, 이상기체인 경우의 상태 방정식은 다음과 같다.

$$T = e / C_v, e = E - \frac{1}{2} (u^2 + v^2) \quad (8)$$

$$P = R \rho T \quad (9)$$

여기서 e 는 비 내부에너지(specific internal energy), C_v 는 정적 비열, R 은 기체상수를 나타낸다.

위의 이상기체 상태방정식을 이용하는 경우, 일정한 온도 하에서 가스의 압력은 밀도에 비례하게 된다. 하지만 실제 SF6 가스는 밀도 값이 커지게 되면 이상기체의 특성을 벗어나게 된다. 그림4는 SF6 가스의 증기압 곡선 및 온도와 밀도에 따른 압력 특성을 보여준다. 그림에서 보듯이 각 직선의 기울기는 서로 다르며 이는 밀도 및 온도에 따른 압력이 단순한 비례 관계가 아님을 보여준다.

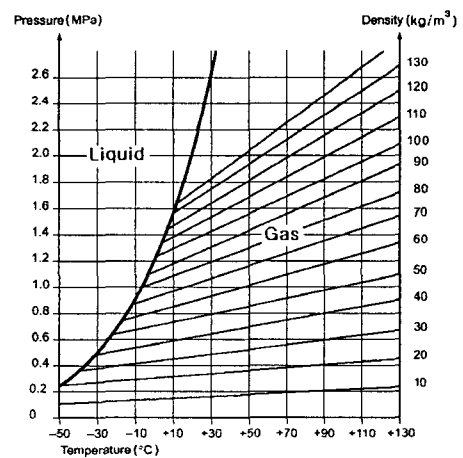


그림 4 SF6의 증기압 곡선 및 온도, 밀도에 따른 압력관계
Fig. 4 Vapor pressure curve and lines of equivalent gas density of SF6

그림5는 온도 300K인 경우에 이상기체 조건에 의한 압력과 실제 SF₆ 가스의 압력을 비교한 것이다. 그림에서 보듯이 밀도가 증가할수록 이상기체와 실제기체 간의 차이는 커지게 된다. 초고압 파퍼식 가스 차단기의 경우, 파퍼 작용에 의해 압축된 가스는 100 kg/m³ 이상의 높은 밀도 분포를 가지기 때문에 이상기체를 가정하여 압력을 구하게 되면 실제와 상당한 오차가 발생할 수 있다.

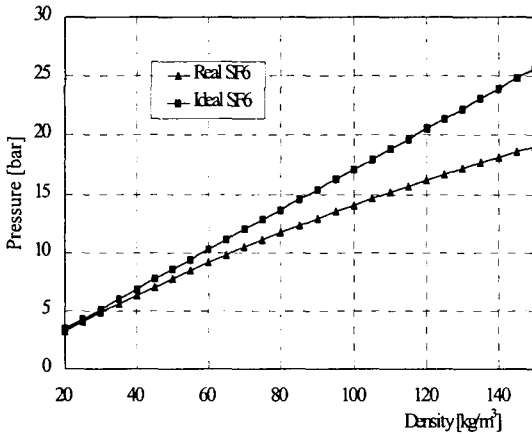


그림 5 이상 기체와 실제 기체에 대한 SF₆ 압력 비교(온도 =300K)

Fig. 5 Comparison of pressure with respect to density for ideal and real SF₆ (T = 300K)

이상에서 설명한 것처럼 무부하시에도 초고압 파퍼식 가스 차단기 내의 정확한 압력 상승 해석을 위해서는 실제 SF₆ 가스의 특성을 고려한 해석이 필요하며, 실제 기체에 대한 상태방정식은 다음과 같다[6].

$$P = \frac{RT}{\nu - d} + \sum_{i=2}^5 \frac{a_i + b_i T + c_i \exp(-kT/T_c)}{(\nu - d)^i} \tag{10}$$

여기서 $\nu = \frac{1}{\rho}$ 는 비체적(specific volume)을 나타낸다.

유동해석 결과로 얻어지는 밀도와 총에너지로부터 온도를 구하기 위해서 식(11)이 이용되며, 이 비선형 방정식은 Newton-Raphson법에 의해 풀 수 있다.

$$e = \int C_v dT + \sum_{i=2}^5 \frac{a_i + (1 + kT/T_c)c_i \exp(-kT/T_c)}{(i-1)(\nu - d)^{i-1}} \tag{11}$$

여기서 $C_v = C_p - R$ 을 나타내며, 온도에 따른 정압 비열은 다음의 근사식으로 표현된다.

$$C_p = C_1 + C_2 T + C_3 T^2 + C_4 T^3 + C_5 / T^2 \tag{12}$$

식(11)에 의해서 온도가 구하여지면 식(10)에 의해 압력을 구할 수 있다. 유동 해석 시에는 매 시간 스텝별로 모든 요소에 대하여 이러한 온도와 압력을 계산하여야 하며 식(10)

과 (11)의 상태 방정식을 계산하기 위한 계산시간을 줄이기 위해서 밀도와 에너지에 따른 온도를 식(11)에 의해 계산하여 테이블 형식으로 저장한 후, 유동해석 시에는 이 데이터를 이용하여 보간에 의해 온도를 구하는 방법이 편리하다. 그리고 식(10)에 의해 압력을 계산할 시에는 온도 300K에서의 압력을 다음의 다항식으로 근사화한 후, 계산된 온도를 이용하여 보정하는 방법을 사용하면 계산시간 및 계산량을 대폭 줄일 수 있다.

$$P = \frac{T}{300} \times g(\rho) \tag{13}$$

$$g(\rho) = a_0 + a_1 \rho + a_2 \rho^2 + a_3 \rho^3 \tag{14}$$

여기서 $a_0 = 9.2863514E-3$, $a_1 = 170.3935051E-3$, $a_2 = -0.3147274E-3$, $a_3 = 0.1484283E-6$ 이며, ρ 의 단위는 [kg/m³]이며 P 의 단위는 [bar]이다.

그림6은 온도 300K에서 식(14)에 의해 밀도에 따른 압력을 다항식으로 근사화한 결과를 실제 값과 비교한 것이다.

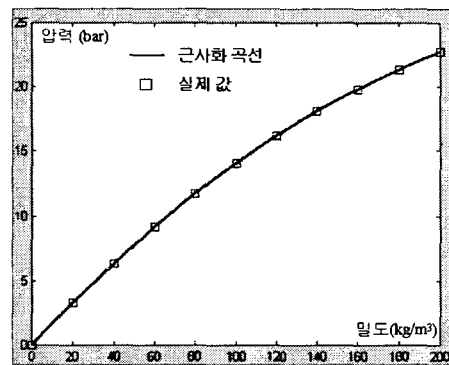


그림 6 밀도- 압력 관계의 다항식으로 근사화 (T= 300K)

Fig. 6 Polynomial approximation of pressure-density relationship(T=300K)

4. 사례 연구

SF₆ 가스의 실제 물성치를 고려한 차단부 유동 해석 방법을 모델 차단부의 냉가스 유동 해석에 적용하여 그 결과를 검토한다. 모델링 시에 파퍼실의 배출구는 등가 단면적을 고려하여 조정하였으며, R_{e01} 은 그림3의 반경 R1과 동일하게 하고 R_{e02} 는 실제 단면적과 동일하게 되도록 식(7)에 의해 결정하였다. 유동해석 알고리즘으로 적용된 FVFLIC법은 임의 형상의 요소를 사용하여 해석을 수행할 수 있으며, 본 연구에서는 파퍼실 부분은 축방향의 1차원 유동이 지배적이기 때문에 직사각형 셀을 사용하고, 그 외 영역에서는 삼각형 요소를 사용하였다. 해석에 이용된 요소수는 점점 분리 전에는 약 10,000개이고 최종적으로 전극이 이동한 위치에서는 약 15,000개 정도이며, 해석 시간은 펜티엄IV 1.4 GHz에서 약 1시간이 소요되었다. 그림7은 노즐 부근에서의 요소분할 결과를 보여주며, 전극 앞부분은 충격파 등의 복잡한 유동 현상이 일어나기 때문에 조밀한 요소를 사용하였다.

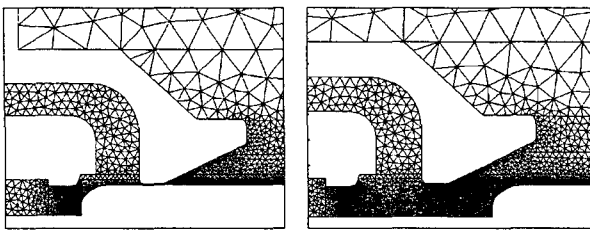


그림 7 노즐 및 아크접점 부근의 요소분할도
Fig. 7 Mesh diagram around nozzle and arcing contacts

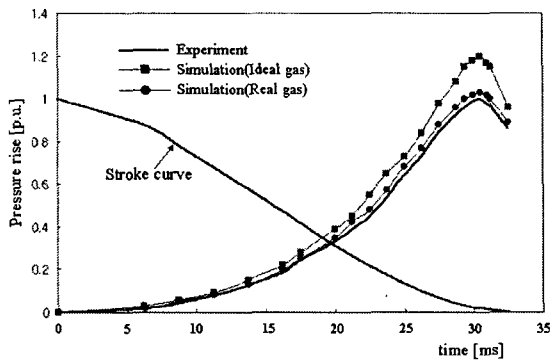


그림 8 파퍼실의 압력 상승 비교
Fig. 8 Comparison of pressure rise in puffer chamber

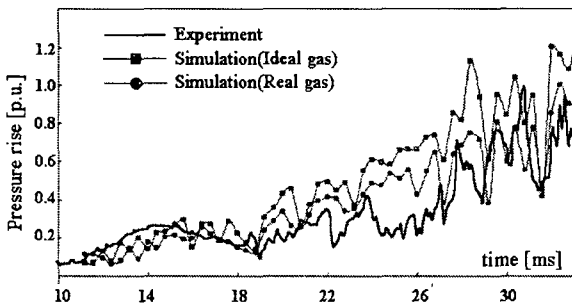


그림 9 고정아크접점 앞부분에서의 압력 상승 비교
Fig. 9 Comparison of pressure rise in front of fixed arcing contact

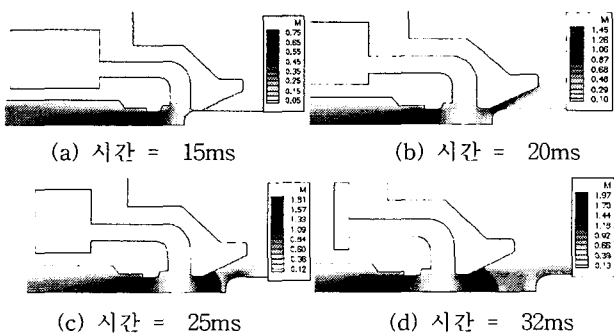


그림 10 시간에 따른 마하수 분포
Fig. 10 Distribution of mach number

그림8은 시간에 따른 파퍼실 압력상승치를 비교한 것이며, 그림에서 보듯이 이상기체 상태 방정식에 의한 해석 결과는 최대압력 상승치가 시험결과와 비교하여 약 20% 정도 높게 나타지만, 실제 기체상태 방정식을 사용한 경우는 시험결과와 비슷한 압력 상승치가 구하여졌다. 그림9는 고정아크접점 앞부분에서의 압력 상승치를 비교한 것이며, 실제기체 방정식을 이용한 경우가 시험 결과와 좀더 잘 일치하고 있지만, 이 부분에서의 압력 상승치는 파퍼실에 비하여 높지 않기 때문에 이상기체에 의한 해석 결과와 실제 기체에 의한 해석결과의 차이는 파퍼실처럼 크지는 않다. 한 편 고정아크접점 앞부분에서의 시험결과와 해석결과가 파퍼실처럼 잘 일치하는 않는 이유는 고정아크접점 앞 부분에서는 파퍼실에서 압축된 빠른 유동에 의해 속도가 마하 1 이상인 초음속 유동이 형성되어 충격파가 발생하기 때문에 충격파를 고려할 수 있는 특수한 기법을 적용하지 않으면 해석 상의 정확도가 떨어지고, 또한 측정 시에도 오차가 발생할 수 있기 때문이다. 그림10은 시간에 따른 마하수 분포를 보여주며, 그림에서 보듯이 접점이 노즐 목을 벗어나면서 마하 1 이상의 초음속 유동이 형성되고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 SF₆ 가스의 실제 기체특성을 고려한 차단부 내의 냉가스 유동 해석 및 실제기체 상태방정식의 계산 시간을 줄이기 위한 방법을 제시하였으며, 해석 방법을 모델 차단부에 적용하여 해석결과를 시험결과와 비교하였다. 해석을 위한 모델링 시에 파퍼실 배출구의 3차원적 형상을 고려하기 위하여 등가 단면적에 의해서 2차원 축대칭 모델을 구성하였으며, 유동 해석은 축대칭 오일러 방정식을 FVFLIC법에 의해 수행하였다. 해석 결과와 시험 결과와의 비교를 통해 실제 기체특성을 고려하지 않은 경우에는 파퍼실 압력이 실제보다 높게 계산됨을 확인하였으며, 압력 상승이 파퍼실에 비해서 낮은 고정아크접점 앞부분에서는 이상기체와 실제기체에 의한 압력상승 차이는 파퍼실처럼 크지는 않았다.

참 고 문 헌

- [1] Kunio Nakanishi, "Switching Phenomena in High-Voltage Circuit Breakers", MARCEL DEKKER, INC., 1991.
- [2] J.Y. Trépanier, X. D. Zhang, H. Pellegrin, R. Camarero, "Application of computational fluid dynamics tools to circuit-breaker flow analysis", IEEE Trans. Power Deliv., Vol. 10, No. 2, pp. 817-823, 1995.
- [3] M. Okamoto, M. Ishikawa, K. Suzuki, H. Ikeda, "Computer simulation of phenomena associated with hot gas in puffer-type gas circuit breaker", IEEE Trans. Power Deliv., Vol. 6, No. 2, pp. 833-839, 1991.
- [4] P.chevrier, M.Barrault, C.Fievet, J.Maftoul and J.M.

Fremillon, "Industrial applications of high-,medium- and low-voltage arc modelling", J.Phys., D: Appl.Phys., 30, pp.1346-1355, 1997.

- [5] C.Y. Bae, et al., "Numerical Analysis of Cold Flow in Gas Circuit Breaker Considering the Properties of SF6", Proceedings of 6th IASTED International multi-conference on Power and Energy Systems(PES 2002), paper number 352-167, USA, May, 2002.
- [6] D. L. Bonhaus, W. K. Anderson, D. J. Mavriplis, "Numerical Study to Assess Sulfur Hexafluoride as a Medium for Testing Multielement Airfoils", NASA TP-3496, 1995.
- [7] R.A. Gentry, R.E. Martin and B. Daly, "An Eulerian differencing method for unsteady compressible flow problems", J. Computl, Phys., Vol. 1 , pp. 87-118, 1966.
- [8] Y. Zhao and D.E. Winterbone, "The Finite Volume FLIC Method and its Stability Analysis", Int. J. Mech. Sci., Vol. 37, No. 11, pp 1147 - 1160, 1995.
- [9] 김홍규, 신승록, 정현교, 김두성, 권기영, "Puffer식 차단기 내의 냉가스 유동 해석", 대한전기학회 논문지 Vol. 48B, No. 7 , pp. 233-239, 2000년 4월.

저 자 소 개

김 홍 규 (金 洪 桂)



1969년생. 1995년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1997년 서울대 공대 전기공학부 대학원 졸업(석사). 2001년 서울대 공대 전기 공학부 대학원 졸업(공학박사). 현재 한국전기연구원 신전력기기 연구 그룹 선임연구원.

Tel:(055) 280-1568, Fax:(055)280-1589
E-mail : kimhk@keri.re.kr

정 진 교 (鄭 鎭 敎)



1967년생. 1991년 강원대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1994년 강원대 공대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 선임연구원.

Tel:(055)280-1564, Fax:(055) 280-1589
E-mail : jkchong@keri.re.kr

박 경 업 (朴 敬 燁)



1957년 1월 3일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영국 Liverpool 대학 전기공학과 졸업(공학박사). 1978년 12월~1981년 5월 효성중공업(주) 전장설계부. 1981년 6월~현재 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 그룹장(책임연구원).

Tel : 055-280-1561, Fax:055-280-1589
E-mail : kypark@keri.re.kr