

## 가스차단기의 아크현상 해석프로그램에 대한 연구

(A Study on the Program Analyzing the Arc Phenomena in Gas Circuit Breaker)

최영길\* · 최상태 · 이광식\*\*

(Young-Kil Choi · Sang-Tae Choi · Kwang-Sik Lee)

### Abstract

A computational approach was developed to understand about the arc quenching process in a gas circuit breaker(GCB). This approach is a program to analyze the gas flow in the breaker. The arc is processed at the same time. The program was used the so-called FLIC method for gas analysis techniques. It was referenced that the arc is interpreted the 'a Simplified Enthalpy Flow Arc Model'. In order to validate about the results of the program, a Auto Puffer GCB was chosen as the test subject. Because, the breaker is the one that arc current is interrupted by using the arc heating. And also, the current interrupting capability can be obtained only owing to the positive utilization(auto puffer) of the clogging phenomenon, without other puffer actions. In this paper, it has been realized that the entire arc quenching process is computerized, which is based on the self-flow current interruption by the auto puffer action. This program, which was verified through experiments, produced good results.

Key Words : Gas Circuit Breaker, Arc Quenching Process, FLIC Method, Current Interruption

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

일반적으로 가스차단기(GCB)는 두 접점과 파퍼실, 그리고 노즐 등으로 이루어진다. 파퍼실은 두 접점간에 발생하는 아크에 가스를 분사하여 소호시킨다. 이

때 노즐은 그 형상을 통해 아크에 분사되는 가스를 가속시킨다. 두 접점은 가동접점과 고정접점으로 구분된다. 차단동작과정에서 가동접점은 노즐목 통과이전에는 그 위치에 의해서 자연히 노즐봉쇄가 나타나고, 가동접점의 통과이후에는 두 접점간에 발생하는 아크에 의해서 노즐봉쇄 현상이 나타난다.

그래서 본 논문에서는 아크해석에 관한 수치해석에서도 가스차단기 설계에 유용한 데이터가 제공될 수 있도록 노즐봉쇄현상을 포함한, 가스차단기의 차단부내에서 일어나는 전류차단의 아크소호 전과정에 대해 해석이 가능한 전산 수치해석 연산방식을 개발하였다. 이 연산방식은 차단기내 가스흐름을 해석하는 프로그

\* 주저자 : 산업전기연구본부 선임연구원  
\*\* 교신저자 : 영남대학교 전기공학과 교수  
Tel : 055-280-1567, Fax : 055-280-1490  
E-mail : ykchoi@keri.re.kr  
접수일자 : 2011년 6월 7일  
1차심사 : 2011년 7월 8일, 2차심사 : 2011년 10월 12일  
심사완료 : 2011년 11월 15일

램으로, 전류차단시 아크발생에 따른 열해석도 처리하였다. 결과적으로 대전류에 의해서 형성되는 아크 플라즈마의 고온가스와 아크주위의 냉가스 상호간에 동적 열역학량을 계산하여 아크를 포함한 가스차단부 내 유동현상의 전과정이 계산가능하다. 이 프로그램은 가스 유동해석을 위해서 Fluid in Cell(FLIC)기법 [1]을 도입하고, 아크해석을 위해서는 ‘a Simplified Enthalpy Arc Model’을 다소 변형하여 아크해석모델 [2]로 적용하였다. 그리고 본 논문에서는 아크모의해석의 그 정확성을 확인하고 아크 플라즈마로부터 발생하는 열량의 신뢰성을 얻는 등의 개발프로그램의 해석결과에 대한 유효성을 검증하기 위해서 자동 파퍼식 GCB를 시험대상으로 선정하였다. 자동 파퍼식 GCB는 아크열을 이용하여 아크전류를 차단하는 가스차단기이다. 또한 이 GCB는 오직 아크의 노즐봉쇄 현상을 잘 활용해야만 차단성능이 확보되며, 별도의 다른 기계적 파퍼동작(피스톤 압축)은 전혀 없어 아크효과를 모의해석 결과와 비교 확인할 수 있는 좋은 모델이다. 여기서 GCB에 적용되는 기체는 SF<sub>6</sub> 가스이다.

따라서 본 논문에서는 GCB의 유동해석을 위해서 도입한 FLIC법을 소개하고, 아크해석에서 아크변수인 아크반경, 아크저항, 아크전압 등을 계산하여 아크의 반경을 고려한 노즐봉쇄효과와 아크에너지에 의한 파퍼실 압력상승을 살펴보았다. 또한 가스차단기내 아크소호의 전과정을 수치해석으로 실현하고 파퍼실에서의 아크 모의해석 결과를 시험결과와 비교하여, 전산 수치해석을 통한 GCB의 아크 모의해석 가능성을 제시하였다.

## 2. 전산해석을 위한 GCB 해석모델

### 2.1 지배방정식

가스차단기의 전류차단 모의해석은 아크의 노즐봉쇄로 인해서, 아크열이 전달되어 발생하는 파퍼실의 압력상승과 아크영역에서 가스와 아크의 급속한 에너지 교환(energy exchange)이 가스차단기 내의 전반적인 가스흐름과 같이 표현되어야 한다. 이러한 아크

를 포함하여 표현하기 위해서는 축과 반경방향으로의 온도 및 흐름 분포 방정식이 필요하다. 이러한 열전달(thermal transfer)에는 다음과 같이 3가지 주요 방정식이 적용되어진다.

$$\dot{m} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) \tag{1-a}$$

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = -\nabla P - \rho(\vec{u} \nabla) \vec{u} \tag{1-b}$$

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} = -\vec{u} \nabla(\rho h) + \text{div}(P \vec{u}) + \sigma E^2 + \text{div}(\kappa \nabla T) - R(T, \rho) \tag{1-c}$$

where,  $\dot{m}$  = mass flow,  $P$  = Pressure,  $\rho$  = gas density,  $\vec{u}$  = gas flow velocity,  $h$  = enthalpy of gas,  $E$  = electrical field strength,  $\kappa$  = thermal conductivity,  $T$  = gas temperature,  $R$  = energy loss of radiation. 여기서 식 (1-a)은 우변항이 영(zero)이 아니라, Mass flow rate( $\dot{m}$ ) 값을 가진다.  $\dot{m}$ 는  $\dot{m} = \rho u S$  ( $S$  = flow area) 또는  $\dot{m} = dm/dt$  으로 나타낸다. 물론 일반적으로 이 항은 영(zero)이다. 그러나 본 논문에서는 식 (1)을 다음과 같이 가정하였다. 즉 가스차단기에서는 차단전류의 전류영점부근을 제외하면, 수 십 [kA]의 차단전류에 의해서 대부분의 아크 시간동안(arcing time) 아크반경이 노즐목 이상의 크기로 유지되며, 이 때 아크와 노즐이 서로 접하게 되어 아크플라즈마로부터 발생된 고온열에 의해서 노즐이

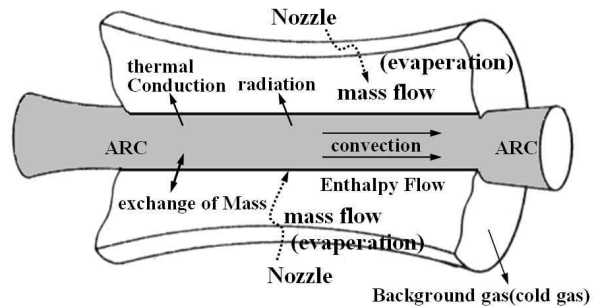


그림 1. 아크플라즈마에 의한 노즐 응축  
Fig. 1. Nozzle evaporation by arc plasma

용삭(evaporation) 되어지고, 이로 인해서 노즐로부터 증발되어 나오는 새로운 가스질량이 아크플라즈마에 흡수되어 아크영역의 질량이 더해진다.

$$\text{따라서 } m_{total} = m_{original} + m_{evaporation}.$$

## 2.2 아크 해석모델

최근에는 컴퓨터의 발달과 더불어 수치해석에 의한 유동해석이 증가추세에 있다. 수치해석에 의한 이러한 접근은 시간 및 비용의 절감을 유도하고, 실험이 불가능했던 경우에 대해서도 검토를 가능케 하고 있다.

본 절에서는 가스차단기내 가스흐름을 해석하기 위해서 압축성 유동해석에 자주 이용되는 Fluid-In Cell(FLIC) 방식을 채택하고, 이것에 아크해석을 위한 연산방정식을 소개한다. 먼저 GCB 차단부내 가스 유동해석을 위해서 Fluid in Cell(FLIC) 기법을 채용하였다. FLIC(Fluid in Cell)법은 충격파를 포함한 초음속 유동해석에서 높은 정밀도의 해를 얻어내는 것으로 이미 잘 알려져 있다. 특히 이 방법은 일본에서 꾸준히 연구·진행되어, 현재는 가스차단기의 설계·개발에 적극 적용되고 있다.

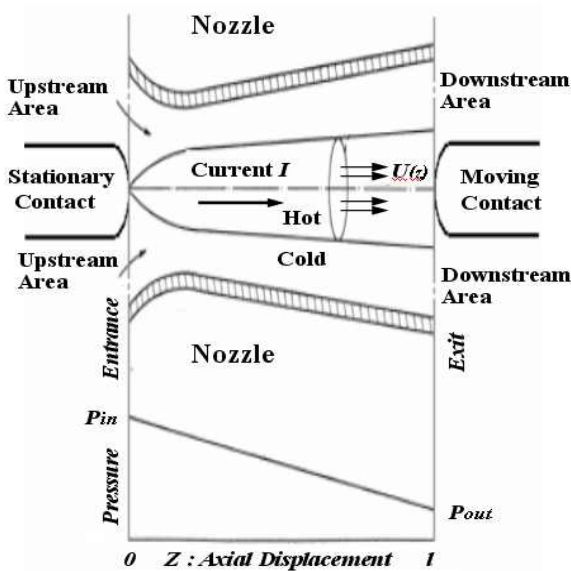


그림 2. 'A simplified enthalpy arc model' 구성도[2]  
Fig. 2. Schematic diagram of nozzle area in 'A simplified enthalpy arc model'[2]

또한 GCB의 소호실에 미치는 아크의 영향을 파악하는데는 정확한 아크변수(반경, 온도, 전압 등)를 구하는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 GCB에 사용되는 유동가스가 SF<sub>6</sub> 가스이기 때문에, 압력과 온도에 따른 SF<sub>6</sub> 가스의 기체특성은 참고문헌[1]를 참고하였으며, 아크모델은 L.S.Frost & R.W.Liebermann이 제안한 'a Simplified Enthalpy Arc Model'[2]을 도입하고 이를 다소 변경하여 아크해석모델을 재간략화 하였다.

따라서 가스차단기의 전극간 개극과정, 가스압축, 아크발생을 포함한 고온 열가스 흐름 등을 계산하여 차단성능을 평가할 수 있는 다양한 처리기능의 가스 차단기 모의해석 프로그램을 개발하였다. 다음은 개발프로그램에 적용된 아크 해석모델에 관련내용을 기술하고자 한다.

Frost & Liebermann의 'A simplified enthalpy arc model'[2]에서는 아크모델 방정식을 공식화하기 위해서, 노즐이 입구영역(또는 상류장, Upstream area)의 압력  $P_{in}(z=0)$ 에서 출구영역(또는 하류장, Downstream area)의 압력  $P_{out}(z=l)$ 까지 압력차가 거의 선형적으로 떨어지는 것으로 가정한다. 이 때 이러한 압력차는 출구영역에서 가스를 거의 음속도(sonic velocity)이상 수준에 이르게 한다.  $z=0$ 와  $z=l$ 에 위치한 두 전극사이에 형성되는 아크는  $z$ 축 아크영역에 포함되는 가스를 가열하여  $z$ 축방향 속도를 가속시키기 때문에  $z$ 의 변화와 관계하여 전력(electric power)을 발생시킨다. 이러한 이유로 아크의 유동특성은  $r$ -축방향으로의 열전달(radial heat transport)을 상세히 고려하지 않더라도 얻을 수 있다. 여기서 본 논문은 아크모델을 위해서 아래와 같이 몇 가지 가정을 도입하였다.

- 아크모양은 두 전극간 이격길이의 원통형 구조를 가진다.
- 아크영역에서는  $r$ -축과  $z$ -축에 관계없이 동일한 아크온도  $T_{arc}$ 를 가진다.
- 노즐에서, 가스는 아크길이를 따라  $z$ 축방향으로 일정 압력차(nearly constant axial pressure gradient)에 의해 흐른다.

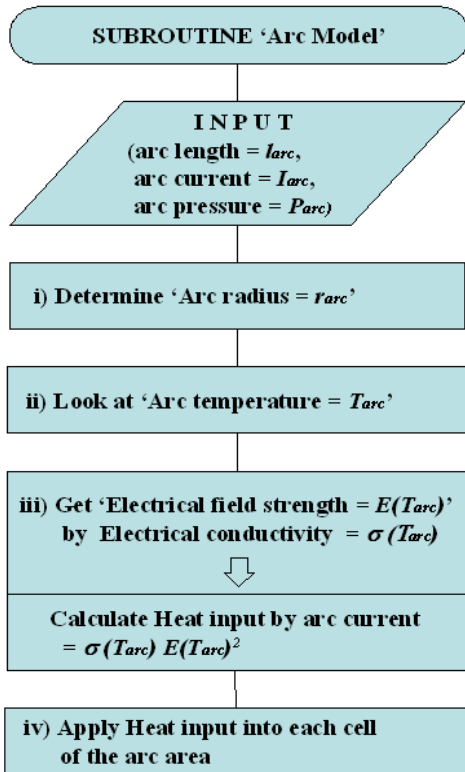


그림 3. 해석프로그램에서의 아크모델 흐름도  
Fig. 3. Flowchart of arc model algorithm

이상과 같이 본 논문에서 사용되는 지배적 아크모델은 'A simplified enthalpy flow arc model'로서 [2]에 기술되어 있으며, 동시에 SF<sub>6</sub> 가스특성 데이터도 얻을 수 있다. 이러한 3가지 가정을 기반으로 아크 열해석 모델을 그림 3과 같은 흐름도로 완성하였다. 아크영역의 각 셀에 아크에너지에 해당하는 단위 체적당 열역학량들을 입력하고, 아크를 둘러싸고 있는 냉가스와 더불어 아크와 가스의 유동해석(gas-arc flow analysis)을 동일 시간영역에서 동시에 구현하였다. 그림 3의 흐름도에 나타나는 아크해석의 필요 변수값을 구하기 위해서 아크해석모델에서는 다음과 같은 순서로 이루어진다.

i) 아크반경은 [3]로부터 그림 4와 같이 노즐목 입구에서 실시한 다양한 실험의 측정값을 나타낸 선형 그래프 곡선으로부터 아크전류( $I_{arc}$ )와 노즐반경과의 실험식을 이용하여 구할 수 있다. 그림 4는 노즐목에서의 아크반경을 다양한 실험을 통해서 얻어진 결과

를 보여주고 있다. 또한 공기(air)와 SF<sub>6</sub> 가스의 시험 결과와 이론적 계산이 거의 일치하게 보여주고 있다. 이 그래프는  $I_{arc}$ ,  $P_{arc}$ 를 변수로 하는 식 (2)로 나타내어진다.

따라서 그림 4로부터 식 (2)의 함수관계를 쉽게 도출하고, 이러한 관계를 통해서 아크해석모델의 순차적 알고리즘을 그림 3과 같이 구성하였다.

$$r_{arc} = \kappa (I_{arc} / P_{arc})^{1/4} I_{arc}^{1/2} \quad (2)$$

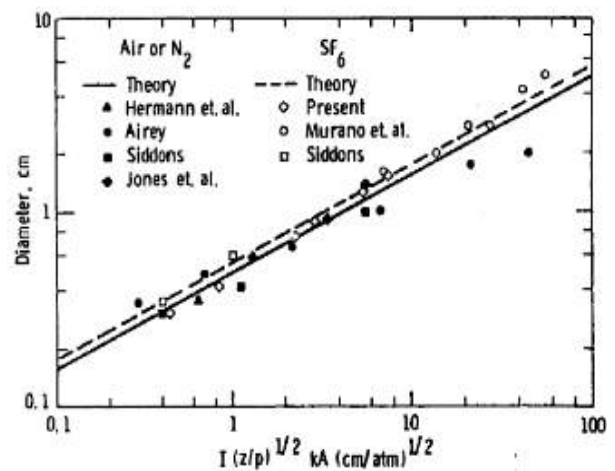


그림 4. 노즐목에서의 아크직경[3]  
Fig. 4. Measurement of arc diameter[3]

ii) 이상으로 아크반경이 얻어지면, 아크온도  $T_{arc}$ 는 다음의 식 (10)을 이용하였다. 즉

$$F(x) = F(T_{arc}) = 1 - \frac{\text{Input Energy}}{\text{Output Energy}} \quad (3)$$

물리적으로 식 (3)은 단순히 아크의 단위길이당 전계의 세기에 의해 발생하는 총에너지(net energy)입력이 출력인 아크플라즈마의 z축방향 에너지유량 증가와 같다는 것을 말한다. 그래서  $F(x) \approx 0$ 인 변수  $x$ 가 바로 아크온도  $T_{arc}$ 인 것이다.

iii) 전기장 또는 전계의 세기는 아크의 i)항의 식 (2)로부터 얻어지는 아크반경  $r_{arc}$ 와 ii)항의 아크온도  $T_{arc}$ 의 값을 이용하여 계산할 수 있다.

먼저  $T_{arc}$ 를 알고 있기 때문에 아크 전기전도도

(electrical conductivity) ‘ $\sigma$ ’는 [2]의 온도에 따른 SF<sub>6</sub> 가스의 구성 및 수송특성 데이터를 통해서 근사적으로 알 수 있다. 아래의 식 (4)과 같이 옴의 법칙(ohm’s law)을 적용함으로써, 아크전압과 아크저항값이 쉽게 구해진다.

$$V_{arc} = \frac{I_{arc}}{\sigma A} \cdot l_{arc} \text{ or } E = \frac{I_{arc}}{\sigma A} \quad (4)$$

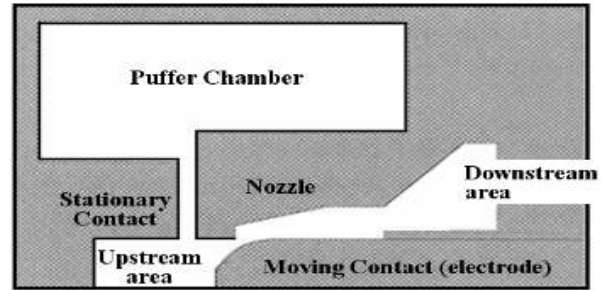
따라서 ‘a simplified enthalpy arc model’을 기초로 i)항 ii)항 iii)항의 가정을 통해서 본 논문에서는 아크에 관련되는 다양한 변수인 아크반경, 아크온도, 아크전압 등을 계산할 수 있었다.

iv) 아크변수들을 이용하여, 프로그램에서는 아크영역에 전기에너지를 입력함으로써 아크를 해석하였다. 전류에 의해 발생하는 아크의 열역학량(thermodynamic quantity)의 상당부분(large fraction)이 두 접점사이에 형성되는 아크영역을 분할하는 단위셀들에 열에너지원(heat input)으로 적용하였다. 열에너지원(입력에너지)은  $f \cdot \sigma E^2$ 으로 나타내며, 이 값은 아크모델을 위해서 가정한 상기 a)항에 의해서 아크반경과 두 접점사이의 길이에 해당하는 영역을 20,000[K]범위 이상의 고온아크로 형성한다. 일반적으로 고온의 아크플라즈마에서는  $\sigma E^2 = 4\pi\epsilon_N$  관계식이지만, 방사에너지 중에서 파장이 2,000[Å]이하의 방사에너지  $R_f(T, \rho)$ 가 아크플라즈마를 형성하고, 노즐용삭을 발생시키는 2,000[Å]이상의 방사에너지  $R(T, \rho)$ 는 아크영역으로부터 멀리 벗어나 방사손실이 되어진다. 따라서 본 논문에서는  $f \cdot \sigma E^2 = R_f(T, \rho)$ 로 관계를 나타내었다. 이 때  $f$ 는 아크영역에서 2,000[Å]이하의 방사비율이다[4].

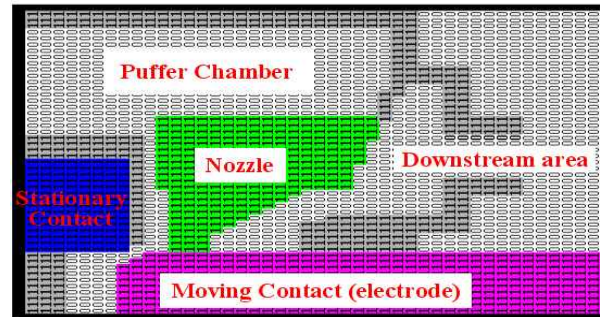
### 3. 해석적용 및 결과

이상과 같이 가스차단기(GCB)에 적용가능한 유동 해석 및 아크해석 모델을 구성하고, 자동 파퍼식 GCB에 적용하였다. 그림 5 (a)는 정격전압 25.8[kV]인 자동 파퍼식 GCB의 축대칭 단면도를 나타내고, 그림 5 (b)는 단위셀로 분할된 프로그램 해석 격자도면을 보

여주고 있다.



(a) 축대칭 단면도  
(a) Axial-symmetric diagram



(b) 해석 격자도면  
(b) Analytic mesh diagram

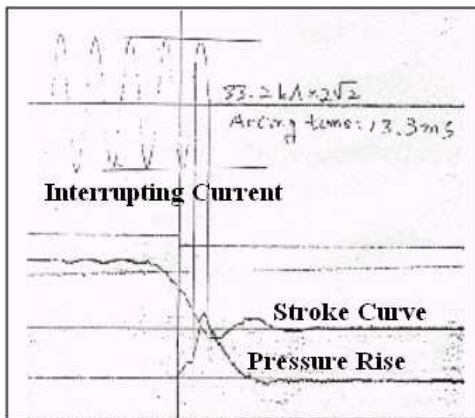
그림 5. 자동 파퍼식 GCB의 구조  
Fig. 5. Configuration of 자동 파퍼식 GCB

격자도면은 사각형 모양의 단위셀로 이루어져 있으며, 가스에 해당하는 단위셀을 ‘0’으로 고체의 단위셀을 ‘1’로 구분하였다. 따라서 각각의 사각 단위셀에는 ‘0’ 또는 ‘1’로 표시된다.

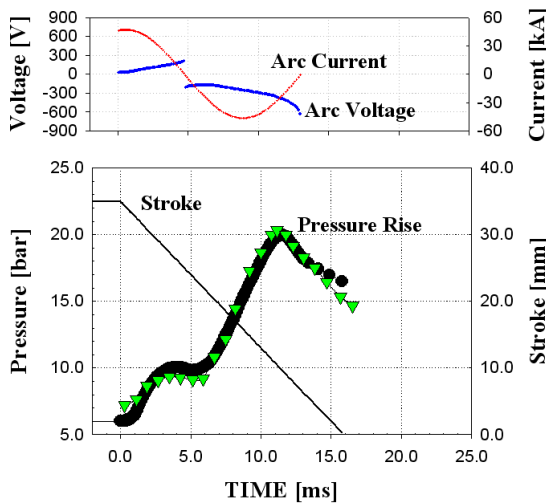
자동 파퍼식 GCB는 파퍼실에서 높은 압력을 얻기 위해서, 기계적으로 피스톤을 압축해 얻는 것이 아니라, 오로지 접점의 개폐동작 과정동안 일어나는 차단 전류의 노즐봉쇄로 아크열이 오히려 파퍼실로 역흐름(back flow)이 되도록 하여 높은 압력을 형성한다.

이 때 노즐봉쇄는 접점에 의한 봉쇄나 아크에 의한 봉쇄로 발생한다. 열가스의 역흐름은 파퍼실의 압력을 높이는 요인이 된다. 그리고 파퍼실의 높은 압력은 노즐봉쇄 해제와 전류영점 부근의 차단시점에서 노즐의 하류장으로 가스를 강하게 분사하는 파퍼역할을 담당한다. 그러나 파퍼실은 압력이 상승하는 동안에

도 여전히 냉가스와 열가스가 완전히 혼합되지 않은 채 각각의 영역군을 형성하는 것을 온도분포 해석결과에서 알 수 있다. 차단전류의 변화에 따라서 다시 노즐봉쇄에서 노즐해제로 전환되어 파퍼실의 고압 가스는 노즐하류장으로 흐름이 가속화 된다. 이러한 가속 가스의 흐름은 아크를 강하게 불어 소호(quenching)하고 최종적으로 전류영점에서 전류를 완전히 차단한다.



(a) 전류차단시험 측정결과 : 33.2(kA)  
 (a) 33.2(kA) current interruption test results



(b) 전류차단시험 해석결과 : 33.2(kA)  
 (b) 33.2(kA) current interruption analysis results

그림 6. 파퍼실의 압력상승 변화 결과 비교  
 Fig. 6. Comparison of pressure rise in puffer chamber

그림 6 (a)는 대전류 차단시험의 결과로서 차단전류 파형과 파퍼실 압력, 그리고 Stroke 곡선을 보여준다.

그림 6 (b)는 아크에 의한 파퍼실의 압력상승 변화를 해석프로그램으로 계산한 그 결과를 시험결과와 비교해 보여주고 있다. 그림 6 (a)의 차단시험결과로부터 파퍼실의 압력변화를 살펴보면, 점점의 개폐동작 개시 이후 아크시간 5[ms]까지는 압력이 증가하고, 7[ms]까지 압력상승이 거의 없다가 다시 재상승하는 모습을 볼 수 있다. 이러한 현상은 해석프로그램을 통해 얻어진 그림 7을 통해서 그 이유를 확인할 수 있다. 그림 7은 점점의 개폐동작 시간동안의 아크 차단전류에 의한 온도분포 특성변화의 한 예를 보여주고 있다. 결과적으로 그림 7은 자동 파퍼식 GCB가 차단전류에 의해서 두 점점간에 발생하는 아크를 소호하는 전과정을 모의해석하여 가시화한 결과를 나타내고 있다.

i) 먼저 초기 개폐동작시간(early separation time)에는 가동점점(moving contact)이 노즐을 충분히 빠져나가지 않은 상태로 인해 노즐봉쇄가 일어난다. 이 결과로 아크에너지는 고온을 형성하고 노즐상류장(nozzle upstream) 가스를 가열하여 압력을 상승시킨다. 노즐상류장의 상승된 압력은 파퍼실과의 압력차를 유발하여, 노즐상류장 고온가스가 파퍼실로 흘러들어 가게 된다. 이것으로 파퍼실에서의 압력상승이 시작된다.

그러나 아직 냉가스와 열가스(고온가스)가 각각의 영역을 가지고 혼합되지 않은 상태이다. 따라서 점점의 차단동작 개시 이후 아크시간 3[ms]까지는 점점에 의한 노즐봉쇄로 아크열이 파퍼실로 역흐름 유입이 발생되었고, 거의 5[ms]까지에서도 차단전류값의 변화로 아크반경이 감소하였지만, 여전히 점점의 노즐봉쇄가 유지된다. 따라서 파퍼실은 아크열의 역흐름에 의한 압력상승이 계속된다.

ii) 5[ms] 이후에서는 점점이 노즐목을 충분히 빠져나간 상태이기 때문에 점점에 의한 노즐봉쇄는 해제된 상태이며 또한 아크 차단전류값이 전류영점에서 다시 재상승하는 과정이기 때문에 아직까지 아크에 의한 노즐봉쇄효과도 발생하지 않은 상태이다. 따라서 파퍼실과 노즐상류장에서 노즐하류장으로의 열가스 방출이 부분적으로 발생하여, 파퍼실의 압력이 더 이상 빠르게 상승하지 않는다.

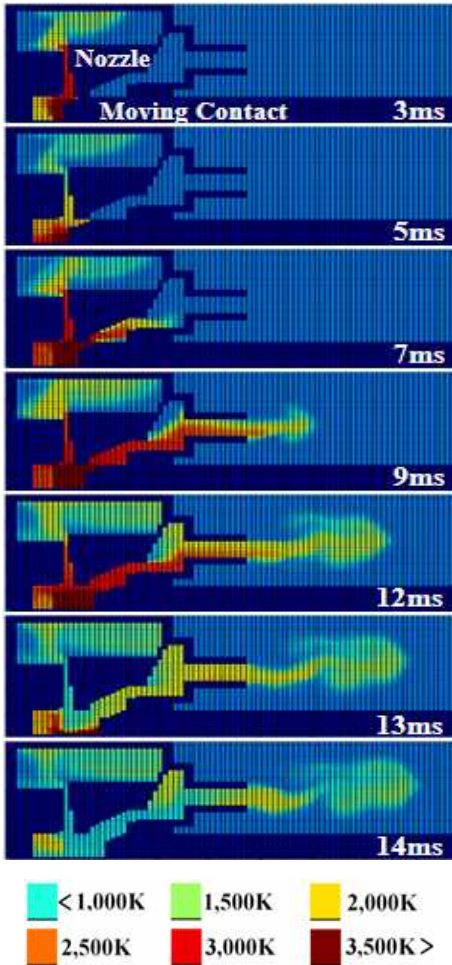


그림 7. 아크소호 모의해석 결과 온도분포  
Fig. 7. Temperature distribution of arc modelling

iii) 아크시간 7[ms] 구간에서는 접점이 노즐을 충분히 빠져나간 시점이지만, 이 시점에서는 다시 아크 차단전류에 의해서 노즐이 봉쇄된다. 차단전류의 의한 아크의 노즐봉쇄는 다시 파퍼실의 압력상승을 이끌어 아크시간 12[ms] 범위까지 이어진다. 이 때 파퍼실의 압력상승은 초기 충전기압 6기압에서 시작하여 최고점에 이르러 약 14기압정도 상승한 20기압을 나타낸다.

아크시간 12[ms] 이후는 아크 차단전류값이 다시 감소하는 과정이기 때문에 노즐도 봉쇄상태에서 해제상태로 전환되며, 이후 노즐봉쇄가 점차로 해제되어 파퍼실의 압력이 감소되는 현상이 그림 6에서 확인된다.

iv) 차단전류의 감소로 전류영점 이전인 13[ms]에서 아크의 노즐봉쇄가 거의 완전히 해제된 상태를 보여주고 있다. 이 때는 파퍼실의 압력이 더 이상 상승하지 않는다. 파퍼실에는 여전히 고온 가스영역과 냉가스 영역으로 뚜렷이 구분되어 있다.

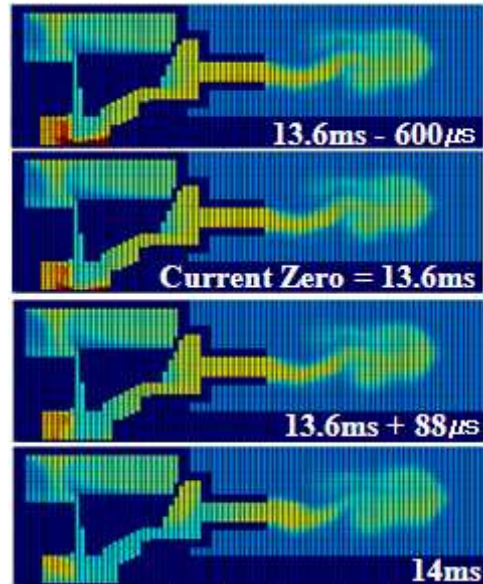


그림 8. 전류영점 전후 온도분포 해석결과  
Fig. 8. Temperature distribution of arc modelling at near current zero

그림 8의 전류영점시점(current zero point)의 온도분포는 아크시간 13.6[ms]인 차단성공시점이다. 이 때에도 계속 파퍼실의 높은 압력이 내부의 냉가스를 노즐하류장으로 불어내고 있다. 이 과정에서 파퍼실로부터 불려나오는 냉가스는 아크를 소호하여 전류를 차단하게 된다. 파퍼실의 고온가스는 여전히 내부에 머물러서, 파퍼실의 압력감소를 지연시키고 있다. 이러한 현상에 의해서 아크소호에 효과적인 냉가스 배출은 전류영점 이후에도 가능해진다. 전류영점 이후에도 계속적인 냉가스 배출은 두 접점간 재발호(re-break down)의 원인되는 잔류 아크를 제거하기 위해 필요하다. 또한 냉가스 배출은 두 접점간의 절연전압 회복특성을 높이기 때문에 최종적인 전류차단이 완성된다. 따라서 파퍼실의 고온 가스는 파퍼실의 압력상승에 영향을 주고, 파퍼실의 냉가스는 전류차단에

중요한 역할을 하는 것이다.

그림 8은 전류영점 바로 직전과 직후에서의 온도분포 과정을 보여주고 있다. 전류영점 이전 600[μs]시점(아크시간 13[ms])에서 전류값은 580[A] 정도이다. 이후 전류영점시점에서 노즐목 부근의 온도는 냉가스의 흐름으로 5000[K]이하 수준이다.

그러나 가동접점의 선단의 온도는 아직 8,000~10,000[K]의 고온을 유지하고 있다. 그래서 가동접점의 선단에서는 아직도 소위 플라즈마 온도범위에 있다. 이것은 전류영점의 아크소호과정동안 두 접점사이의 전반에 걸쳐서 전류차단이 완전히 이루어진 것이 아니라, 단지 노즐목 부근에서만 전류흐름을 부분적으로 차단된 것을 의미한다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 가스차단기의 대전류 차단과정에서 내부적으로 일어나는 두 접점간의 아크플라즈마 발생과 이에 따른 유동분포의 분석이 가능한 해석프로그램을 개발하였다. 해석프로그램은 축대칭 압축성 유체해석기능을 기반으로 접점의 개폐동작, 가스압축, 아크발생과 고온 열가스의 흐름 등을 처리하는 기능을 가지고 있다. 따라서 아크를 포함한 열가스 해석까지 가능하다.

개발한 해석프로그램은 압축성 유동해석을 위해서 유한차분법의 일종인 'Fluid in Cell(FLIC)' 기법을 도입하였다. 아크해석은 'A Simplified Enthalpy Flow Arc Model'을 부분적으로 일부 수정하여 적용하였다.

가스차단기내의 두 접점간에 발생하는 아크 플라즈마와 고온 열가스가 퍼퍼실의 압력상승에 미치는 영향을 명확히 확인하고, 그 해석결과의 타당성을 검증하기 위해서 정격사양이 25.8[kV], 33.2[kA]인 자동 과퍼식 GCB를 선택하였다. 자동 과퍼식 GCB는 과퍼실의 압력상승은 오로지 아크 플라즈마와 고온 열가스 흐름에 의한 것으로, 이외에 과퍼실의 압력상승을 유발하는 다른 요인은 전혀 없기 때문이다.

이상으로 그림 6에서와 같이 해석프로그램에 의한 모의해석 결과는 실제 시험결과와 비교확인하여 양호한 결과를 확인하였으며, 두 접점의 이격에 따른 전류

차단현상과 관련하여 전과정에 걸쳐서 밀도, 속도, 온도, 압력분포를 가시화하여 파악할 수 있었다. 이러한 유동상태의 가시화 기술은 두 접점사이의 유동분포특성을 쉽게 판단, 분석할 수 있게 하고, 전류차단성능특성을 미리 예측할 수 있어, 가스차단기 개발에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

#### References

- [1] R.A Gentry, R.E Martin and B.J Daly, "An Eulerian differencing method for unsteady compressible flow problems", J.Comp.Phys.v.1, pp 87-118, 1966.
- [2] L.S Frost and R.W Liebermann "Composition and transport properties of SF<sub>6</sub> and their use in a simplified enthalpy flow arc model", Proc. IEEE, 59(4), pp.474-485, 1971.
- [3] j.j.Lowke, 'Radiative Energy Transfer in Circuit Breaker Arcs', pp299-327.
- [4] R.W.Liebermann and J.J.Lowke, "Radiation Emission Coefficients for Sulfur Hexafluoride Arc Plasmas", J.Quant.Spectrosc.Radiat.Transfer, Vol.16, pp253-264, 1976.

#### ◆ 저자소개 ◆



**최영길 (崔榮吉)**

1969년 2월 5일생. 1991년 8월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 졸업 2010년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 9월~현재 한국전기연구원. 산업전기연구본부 선임연구원.



**최상태 (崔相泰)**

1957년 8월 8일생. 1984년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1992년 독일 Ruhr Bochum 대학교 전기공학부 석사과정 졸업(Dipl. Ing.). 1997년 동 대학원 박사과정 졸업(Dr. Ing.). 1998년~현재 경주대학교 전기에너지전자공학과 부교수.



**이광식 (李廣植)**

1948년 10월 25일생 1971년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 대한전기학회 방전 고전압 연구회 간사장 역임. 본 학회 편수위원장, 부회장, 회장 역임. 영남대학교 산업대학원 원장 역임. 현재 영남대학교 전기공학과 교수. 본 학회 명예회장.