

# PE1) 글라이딩 아크 플라즈마 반응기 수치해석

## Numerical Simulation on Gliding Arc Plasma Reactor

임문섭 · 김남용 · 진형남 · 전영남

조선대학교 환경공학과 · BK21 바이오가스기반 수소생산 사업팀

### 1. 서 론

플라즈마 방전은 전자 밀도와 온도에 의해 고온 플라즈마와 저온 플라즈마로 구분 할 수 있다. 고온 플라즈마의 경우는 열역학적 평형으로 고밀도 이온 상태를 유지함으로 반응성이 매우 높고, 저온 플라즈마는 저압 또는 상압 상태에 있는 기체나 유기 증기들을 전기적으로 방전시키면서 손쉽게 얻을 수 있고 전력 소모량이 낮아 많은 분야에서 응용되고 있다(Cezmichowski, 2001). 특히, 글라이딩 아크 플라즈마는 고온 플라즈마와 저온 플라즈마 영역이 구분되어, 순차적으로 과도형상(transient phenomenon)을 보이며 지속적으로 발생하는 특징을 가지고 있다. 따라서, 연료 개질 또는 유해가스 처리 분야 등 다양한 분야에 효과적으로 적용시킬 수 있는 글라이딩 아크 플라즈마 반응기를 개발하기 위해, 반응기 내 플라즈마와 유동간의 상호 작용을 고려한 유동 해석과 전기적 특성을 파악하였다.

### 2. 연구 방법

수치해석은 상용 CFD 코드인 PHOENICS V3.5.1를 사용하였다. 수치계산 시 대류항의 차분도식(convection scheme)으로 안정된 해를 줄 수 있는 하이브리드 도식(hybrid scheme)을 사용하였다.

본 논문에서 사용한 수치해석은 Patanker(Patanker, 1980) 방법을 사용하였으며, 차분화된 운동방정식으로 셀 압력(cell pressure) decoupling을 없애기 위하여 엇갈린 격자망(staggered grid arrangement)을 사용하였다. 각 검사체적에 대한 이산화 방정식은 Line-by-line TDMA(Tridiagonal Matrix Algorithm) 알고리즘에 의해 해를 구하였다. 그리고 Navier-Stokes 운동방정식에서 나타나는 압력과 속도의 연계는 빠른 수렴을 위하여 SIMPLE(Semi Implicit Methods for Pressure Linked Equation)알고리즘에서 변형된 SIMPLEST알고리즘(Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations Shortened)을 사용하였다. 직교좌표(cartesian coordinates)좌표를 사용하며, 난류 유동장과 전기장을 동시에 계산한다.

글라이딩 아크 플라즈마 반응기를 개발하기 위해 플라즈마 형성에 영향을 주는 주요 변수를 표 1과 같이 연구 변수로 설정하여 연구를 수행하였다. Case R은 기준 조건으로 변수별 연구를 통한 반응기 내부에 유동 및 전기 특성이 최적인 조건을 설정하였다. Case 1은 플라즈마 형성에 영향을 주는 방전 전극의 길이 변화, Case 2는 반응가스에 예열온도 변화, Case 3은 반응가스에 유량을 변화시킨 것이다.

Table 1. Conditions of parametric screening study.

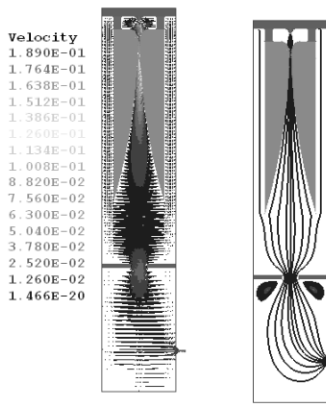
Case	Case R	Case 1		Case 2		Case 3	
Model	R	A	B	C	D	E	F
Electrode length(cm)	21	17	25	21	21	21	21
Input gas temp.(K)	423	423	423	293	573	423	423
Input flow rate(L/min)	14	14	14	14	14	9	20

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 기준조건 수치해석

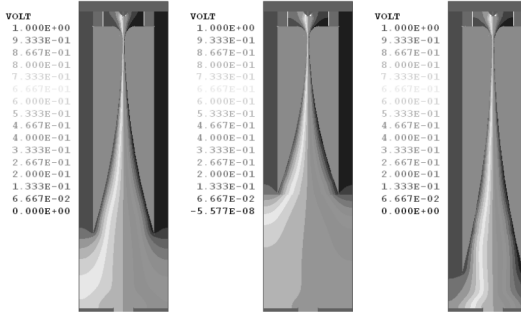
##### 3.1.1 유동특성

글라이딩 아크 플라즈마 개질기의 최적 설계를 위해 비평형 아크 플라즈마와 가스유동간의 상호작용



(a) Velocity vector (b) Streamlines  
 Fig. 1. Flow field in Glidarc plasma reformer.

을 고려한 CFD 설계프로그램을 개발하여 수치해석 한 결과이다. 그림 1은 글라이드 ELD 아크 플라즈마 개질기 내의 유동특성을 파악하고자 속도벡터, 유선을 계산한 그림이다. 그림 1(a)의 속도벡터를 보면 반응기 상부 중심의 분사노즐에서 반응가스가 고압 분사되어 마주보는 방전전극의 가장 짧은 부분에서 빠른 흐름을 형성한다. 따라서 부채꼴형태의 흐름 분포를 보이면서 가스 흐름방향(gas downstream)으로 진행되고 있다. 그림 1(b)의 유선을 보면 반응기의 플라즈마 영역에서는 재순환영역이 거의 형성되지 않고 대체적으로 고른 흐름을 보이고 있다. 또한 개질기 중간부에 설치된 배플의 중심부로 반응가스가 지나도록 함으로 반응가스가 플라즈마 반응영역으로 최대한 집중되어 플라즈마 개질반응이 활성화되도록 설계된 것을 확인하였다.



(a) Model R (b) Model A (c) Model B  
 Fig. 2. Comparison of electric conductivity at case R and case 1.

### 3.2 영향변수 수치해석

#### 3.1.2 방전전극 길이 변화에 따른 전기장 분포

방전전극의 길이를 Model R 21 cm, Model A 17 cm, Model B 25 cm로 변화시켜 반응기 내에 유동 및 전기장의 특성을 파악하여 적정한 방전전극의 길이를 결정하였다.

그림 2는 플라즈마 영역부에 전기 전도도를 나타낸 것이다. 전기 전도도를 보면 방전전극의 양전극에서 음전극으로 전기 전도도가 약해지고 있다. 양전극 후면부에서 가장 강한 전기 전도도 값을 보이고 있는데 이는 반응기 벽면부가 접지전극의 역할을 하게 됨으로 반응기 설계 시에 반응기 벽면부 절연이 중요하다.

방전전극이 21 cm인 Model R의 경우가 반응기 영역을 구분하는 배플부까지 적정한 전기 전도도 값을 보이고 있다. 하지만 방전전극을 25 cm로 길게 한 Model B의 경우는 방전전극이 길어서 전기 전도도가 배플부에 영향을 주게 되어 플라즈마 방전이 배플부에 형성될 수 있다. 방전전극이 17 cm인 Model A의 경우는 플라즈마 반응영역에 전기 전도도가 낮아 방전영역이 좁게 형성됨을 확인하였다.

## 사 사

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (No. 2009-0071280)

## 참 고 문 헌

Czernichowski, A. (2001) GlidArc Assisted Preparation of the Synthesis Gas from Natural and Waste Hydrocarbons Gases, Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFP, 56, 181-198.  
 Patanker, S.V. (1980) Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemishpere Publishing Corporation, New York.