

## EA5) 배기가스 조성에 따른 코로나 방전특성의 해석 Analysis of Corona Discharge Characteristics according to Flue Gas Composition

정재우 · 조무현 · 남궁원

포항공과대학교 환경공학부, 가속기 연구소

### 1. 서 론

최근에 환경 오염물질의 제거를 위한 코로나 방전기술이 큰 관심을 끌고 있으며 재래적인 기술들을 능가하는 여러 가지 장점으로 인해 강도 높은 연구들이 이루어지고 있다. 전기방전을 이용하는 공정에서 방전특성은 공정의 효율과 에너지 소모량에 중요한 영향을 미친다. 공정에 따라서 요구되는 방전특성이 다르며, 효율적인 공정이 되기 위해서는 최적의 방전특성에 대한 규명이 이루어져야 한다. 방전에 의해 생성되는 플라즈마 상태는 공정의 전기적 변수들, 반응기의 기하학적 형태, 유입기체의 조성 등 다양한 요소들에 의해 영향을 받으므로 특성에 대한 규명이 매우 어렵다. 특히 현재의 기술수준으로는 전기방전내에서의 플라즈마 거동을 완벽하게 측정할 수 있는 여건이 되지 못하고 있다. 따라서, 공정내에서의 방전특성 및 플라즈마 거동에 관한 연구들은 거의 시뮬레이션에 의존하고 있다.

코로나 방전현상에 관한 시뮬레이션 연구들은 하전입자들의 생성과 소멸에 대한 연속방정식과 전기장에 관한 Poisson 방정식을 풀어서 스트리머의 동역학적인 거동을 규명하는데 초점을 맞춰 진행되어 왔다. 이러한 과정들은 많은 입력자료들과 계산시간을 필요로 한다. 이에 비해, Boltzmann 방정식을 풀어 전자전달 특성을 계산하는 과정은 비교적 간단하며 짧은 계산시간을 필요로 한다. 그럼에도 불구하고 이러한 과정을 통해 배기가스의 처리를 위한 코로나 방전공정의 방전특성에 관한 중요한 자료들을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 배기가스를 구성하는 주요 성분들에 대한 전자 충돌 단면적 자료들을 활용하여 Boltzmann 방정식을 풀어서 전자에너지 분포와 주요 전달 특성들에 미치는 기체조성의 영향에 대해 알아보고자 하였다.

### 2. 연구 방법

플라즈마의 물리적인 특성들을 정의함에 있어서 전자 속도 분포는 매우 중요한 역할을 한다. 전자 속도 분포로부터 전자에너지 분포, 전자 전달 특성들, 그리고 전자-분자 충돌들을 포함하는 반응들의 속도 상수들이 유도된다. 이러한 분포함수는 인가된 전기장의 크기, 전자들의 탄성 및 비탄성 충돌의 성질에 따라 결정되며 다음과 같은 Boltzmann 방정식을 풀어서 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{v}} f + \mathbf{a} \cdot \nabla_{\mathbf{v}} f = \frac{\partial f}{\partial t} |_{c}$$

여기서,  $\mathbf{v}$ 는 입자의 속도 벡터이며,  $\mathbf{a}$ 는 가속성분과 관련된 벡터로서 전기장의 영향하에서는  $eE/m$ 의 값을 갖는다.

Boltzmann 방정식의 해를 구하는 과정은 함수가 여섯 개의 속도-공간 변수들과 시간에 의존하므로 매우 복잡하다. 따라서 대략적인 해들을 얻는 접근들이 여러 가지 수치해석적 기법들을 사용하여 이루어져 왔다. 본 연구에서 수행한 시뮬레이션의 계통도를 그림 1에 나타내었다. 전자 충돌 단면적에 관한 자료들을 이용하여 Boltzmann 방정식을 풀어서 전자 에너지 분포와 전자 전달 특성들에 미치는 배기가스 조건의 영향을 알아보고자 하였다. Boltzmann 방정식을 풀기 위해 상용 프로그램인 ELENDF를 사용하였다.

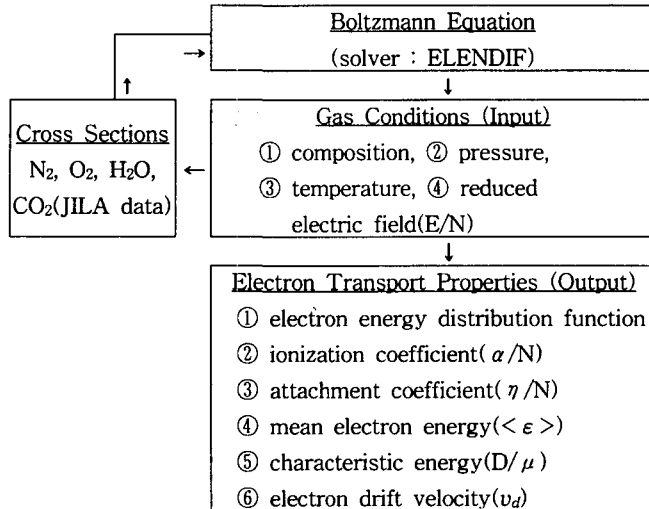


Fig. 1. Simulation scheme for the evaluation of corona discharge characteristics.

Boltzmann 계산들은 전자의 탄성충돌과 여기 과정들을 포함한 전자의 획득(이온화, 탈착) 및 손실(부착, 재결합) 과정들에 대한 신뢰할 수 있는 전자 충돌 단면적 자료들을 필요로 한다. 현재까지의 연구들에서 모든 전자 획득 및 손실 과정들에 관한 자료들을 얻는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 JILA(Joint Institute for Laboratory Astrophysics) 및 Hayashi 등에 의해 발표된 충돌에 관한 자료들을 사용하였다. 배기가스의 주요 구성성분인 N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>에 대한 전자 충돌 단면적들을 사용하였으며 탈착과 재결합 과정들은 고려하지 않았다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 얻어진 결과를 간략하게 요약하면 다음과 같다.

- 1) 건조공기 및 배기가스에서 코로나 방전이 원활하게 일어나기 위한 임계전기장은 각각 150Td와 80Td로 나타나, 수분 및 이산화탄소의 첨가로 인해 임계전기장값이 크게 감소함을 알 수 있었다.
- 2) 배기가스를 구성하고 있는 성분들의 전기장에 따른 이온화 상수 및 전자 부착상수를 비교함으로써, 배기가스에서 일어나는 전계의 감소현상이 첨가된 수분에 의해 큰 영향을 받음을 알 수 있었다.
- 3) 기체의 산소, 수분, 이산화탄소의 함량 변화는 각 성분이 지니는 전기음성 특성과 이온화 에너지 감소 특성의 두 가지 측면에 의해 방전특성에 영향을 줌을 알 수 있었다. 산소는 이온화 에너지 감소보다 전기음성도 측면에 의해, 수분은 두 가지 효과가 동시에 일어나지만 이온화 에너지 감소효과가 방전특성에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 이산화탄소의 함량이 증가함에 따라 거의 비슷한 이온화 및 부착상수를 보여 두 가지 요소가 거의 비슷하게 작용함을 추정할 수 있었다.
- 4) 전기장의 증가는 높은 에너지를 가지는 전자들의 분포를 증가시키며, 전자의 이동속도와 에너지를 선형적으로 증가시킴을 관찰할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

Morgan W.L. and B.M. Penetrante (1990) Elendif : A Time-dependent Boltzmann Solver for Partially Ionized Plasmas, Computer Physics Communications, Vol.58, pp. 127-152