

대기-1 저온 플라즈마 기술을 이용한 제철소 배가스 SO<sub>2</sub>/NOx 제거

남창모\*, 김경태, 조무현<sup>1</sup>

포항산업과학연구원, 대기환경연구팀, <sup>1</sup>포항공대 환경공학부

## 1. 서 론

제철소 및 대형 발전설비에서 배출되는 아황산가스(SO<sub>2</sub>) 및 질소산화물(NOx)은 주변 대기환경에 직접적으로 악 영향을 끼칠 뿐만 아니라, 오존의 생성과 고갈, 산성비의 출현 등으로 인류의 건강을 위협하고 지구 온난화와 같은 기후변화에 크게 기여하는 것으로 보고되고 있다. 기존의 탈황탈질 기술은 습식 석회/석회석 공정, SCR, SNCR 공정등이 효과적인 상용기술로써 널리 적용, 운전되어 오고 있으나, 대단위 시설투자와 고비용, 2차 오염물질의 배출이 단점으로 지적되고 있다 (Sloss 등, 1992). 따라서, 환경규제 강화와 더불어 효과적이고 경제적인 탈황탈질 동시제거 개념이 차세대 기술로서 부각되고 있으며, 특히 저온 플라즈마 탈황탈질법에 대한 연구는 세계적으로 활발히 진행되고 있다 (Vogtlin and Penetrante, 1993). 최근 국내에서도 실험실적 연구와 더불어 석탄화력발전소 및 제철소 소결공장에서 배출되는 SO<sub>2</sub>/NOx 동시제거 연구를 위해 대용량 규모의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 본 연구는 제철소 소결공장의 파일럿 연구결과의 일부 탈황탈질 특성을 알아보는데 있다.

## 2. 실험설비 및 방법

제철소 배가스 탈황탈질 동시제거 기술개발을 위하여 배가스 처리용량 5,000 Nm<sup>3</sup>/hr 규모의 파일럿플랜트가 제철소 소결공장에 설치되었으며, 대략적인 설비 구성도는 Fig. 1과 같다.

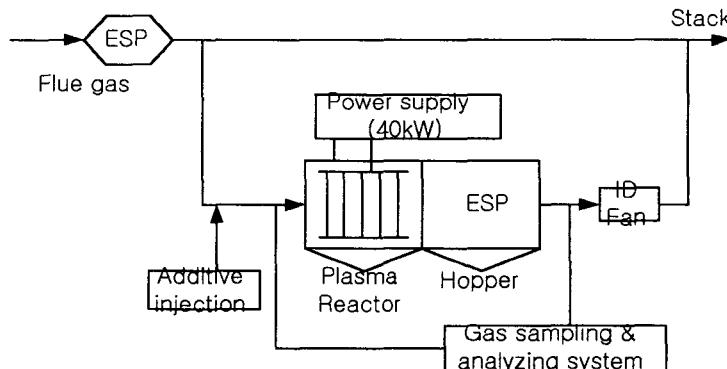


Fig. 1. A schematic diagram of a plasma pilot plant.

플라즈마 공정의 주요설비는 펄스발생을 위한 전원공급장치, 선-판형 플라즈마 반응기, SO<sub>2</sub>/NOx 포함한 배가스 분석 및 첨가제 주입장치 등으로 구성되어 있다. 소결공장 전기집진기를 거쳐서 반응기로 주입되는 배가스는 부하변동에 따라 100-150ppm SO<sub>2</sub>와 NOx, 10% H<sub>2</sub>O, 15% O<sub>2</sub> 및 약 20mg/Nm<sup>3</sup> 이하의 먼지농도로 구성되어 있다. 실험방법은 펄스에너지 주입과 함께, 배가스 반응기 입구온도(<150 °C), 조성 및 첨가제 주입과 같은 여러 가지 반응변수에 따른 탈황탈질 특성실험을 포함하고 있다.

### 3. 결과 및 고찰

소결공장 배가스로부터 양질의 펄스 파형, 즉 좁은 폭의 급상승 첨두전압(peak voltage)을 얻기 위해 최고전력 40kW 직류 고전압이 1차 충전되어 자기펄스압축 시스템(MPC: Magnetic Pulse Compression)을 거쳐 고전압 펄스에너지가 플라즈마 반응기로 공급된다. 전형적인 펄스 파형이 Fig. 2에 나타나 있으며, 전압파형은 첨두전압 100-150kV, 상승시간 200nsec, 펄스폭 (FWHM: full width at half maximum) 약 500nsec 이하를 가지며, 전류파형은 2.0-3.5kA 범위를 나타내는 펄스에너지가 플라즈마 반응기로 공급되어, 탈황탈질을 위한 코로나 방전이 유도된다.

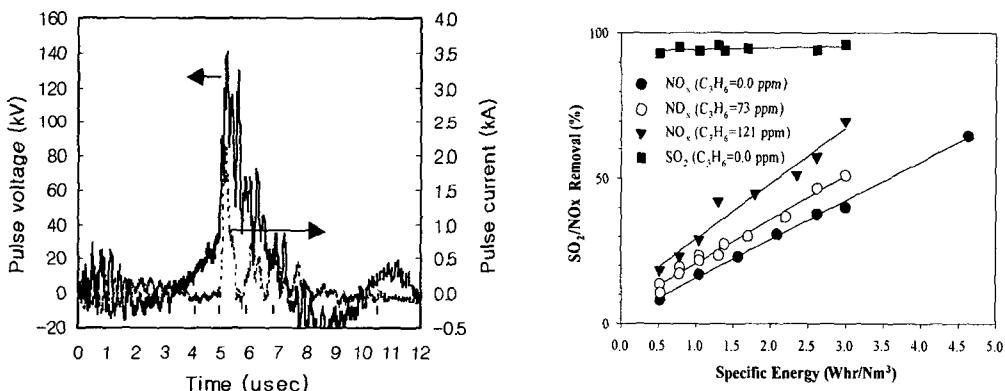


Fig. 2. Typical pulse voltage and current waveforms from iron-ore sintering plant flue gases.

Fig. 3. Simultaneous removal characteristics of SO<sub>2</sub>/NOx as functions of specific energy and injection of chemical additives ( $\alpha \equiv [\text{NH}_3]/([2\text{SO}_2] + [\text{NOx}]) = 0.8$ )

플라즈마 기술을 이용한 배가스 중의 SO<sub>2</sub>/NOx 동시제거를 위한 반응변수는 순수 코로나 방전의 에너지 인가량 (Whr/Nm<sup>3</sup>), NH<sub>3</sub> 주입하에서의 코로나 방전 유무, 가스온도, 첨가제 주입여부, 반응기 체류시간 및 기하학적 구조 등에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다 (Nam 등, 2000). Fig. 3은 코로나 방전과 첨가제 주입이 탈황탈질 동시제거 효율에

미치는 영향으로 비에너지(Whr/Nm<sup>3</sup>) 함수로 나타내었다. 단위체적당 에너지 인가량에 관계없이 약 95% 이상의 SO<sub>2</sub> 제거효율이 얻어졌으며, 여기서 NH<sub>3</sub> 주입은 탈황효율 향상에 크게 기여하는 것으로 나타났으며, 동시에 SO<sub>2</sub>와 주입된 NH<sub>3</sub>와의 열화학반응(thermochemical reaction), 순수 코로나 방전이 탈황탈질에 미치는 영향 등 상세한 고찰은 Nam 등(2000)에 의해 보고된 바 있다. 반대로, NOx 제거효율은 에너지 인가량이 증가함에 따라 비례적으로 증가하며, 동시에 탄화수소 첨가제의 주입여부에 따라 제거 포텐셜이 의존적이다. 탄화수소(C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)를 첨가하지 않았을 경우 약 20-40%의 NOx 제거효율이 에너지 인가량 1.5-3.0 Whr/Nm<sup>3</sup> (방전전력) 범위에서 얻어졌으나, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>를 각각 73, 121ppm 주입하였을 경우 약 50-70%의 제거효율이 에너지 인가량 3.0 Whr/Nm<sup>3</sup>에서 얻어졌다. 상기의 제철소 소결공장 플라즈마 탈황탈질 특성은 발전소 배가스 조건에서 얻어진 Dinelli 등 (1990), Nam 등 (2000)의 결과와 정성적, 정량적으로 비교적 잘 일치한다.

#### 4. 결 론

제철소 소결공장에서 배출되는 SO<sub>2</sub>/NOx 오염물질들의 동시제거를 위한 파일럿플랜트 규모의 플라즈마 공정연구는 반응특성 연구 및 대용량화를 위한 기본 설계인자 확보 등 실질적 의미가 상당히 크다. 탈황효율은 암모니아 주입에 의해 크게 향상되었으며 (90% 이상), 에너지 인가량에 의존하는 경향이 미미한 것으로 나타났다. 탈질효율은 에너지 인가량이 증가함에 따라 비례하여 증가하는 경향을 보여 주었으며, 탄화수소 첨가제를 주입하였을 경우 NO에서 NO<sub>2</sub> 전환을 향상시켜 탈질효율이 상당히 증가하였다. 따라서, 암모니아와 프로필렌을 동시에 주입하였을 경우 낮은 에너지 인가량 3.0 Whr/Nm<sup>3</sup>에서 탈황탈질 동시제거 효율이 약 90/65%가 얻어질 수 있으므로 향후 실용화 가능성을 보여 주고 있다.

#### 참 고 문 헌

- Dinelli, G. Civitano, L. and M. Rea, 1990, Industrial experiments on pulse corona simultaneous removal of NOx and SO<sub>2</sub> from flue gas, IEEE Ind. Appl. Trans., 26, 3, pp. 535-541.
- Nam, C. M., Jang, K. R. and Y. Kang, 2000, Industrial plasma experiments for simultaneous removal of SO<sub>2</sub>/NOx from a coal-fired power plant, Environ. Eng. Res., 5, 4, pp. 199-206.
- Sloss, L. L., Hjalmarsson, A. K., Soud, H. N., Campbell, L. M., Stone, D. K., Shareef, G. S., Emmel, T., Maiboi†, M., Livengood, C. D. and T. Markussen, 1992, Nitrogen oxides control technology, Fact Book.
- Vogtlin, G. E. and B. M. Penetrante, 1993, Pulsed corona discharge for removal of NOx from flue gas, Non-thermal Plasma techniques for pollution control (Part B), Penetrante, B. M. and Schulthesis, S. E., (Eds), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 187-198.