

대형 저온 플라즈마 탈황탈질 플랜트 연구 A Study of Large-Scale Non-Thermal Plasma De-SO_x/NO_x Plant

송 영훈, 신 완호, 최 연석, 김 석준,
한국기계연구원 연소환경연구그룹,
장 길홍 *
한국중공업 기술연구원 에너지환경실

I. 서론

우리나라의 화력발전 및 산업시설 등에서 배출되는 황산화물 (SO_x) 및 질소산화물 (NO_x)은 '90년도 부터 '99년도까지 3단계에 걸쳐 배출규제가 강화되고 있다. 이에 따라 국내에서는 '96년도 상반기에만 탈황설비에 약 8,000 억원의 발주가 있었다. 현재 우리나라에서 적용하는 주된 탈황 및 탈질설비는 습식탈황 및 SCR 공법으로, 초기투자 비용이 500 MW급 발전설비를 기준으로 약 900 억원에 이르는 것으로 알려져 있다. 한편, 이태리 및 일본의 연구보고에 의하면 저온 플라즈마를 이용하여 탈황과 탈질을 동시에 수행할 경우, 저온 플라즈마 공법의 초기투자비용은 기존공법에 비해 약 40 % 수준으로 절감될 수 있는 것으로 밝혀져 있어, 저온 플라즈마 공법은 경제성이 높다고 알려져 있다 (Masuda, 1992). 그러나 저온 플라즈마 공법을 산업시설에 적용할 때의 문제점으로는 1) 과도한 운전전력 (발전소 발전량의 5.4 %) 및 이에 따른 대형 전원공급장치의 비용, 2) 신뢰성이 높은 대형 전원공급장치의 미보급, 3) 파일럿 플랜트급의 scale-up 실험 사례가 거의 없었다는 사실 등을 들 수 있다 (Penetrante, 1993). 이에 따라 이태리를 제외한 미국, 일본 등의 기술선진국에서도 지금까지 저온 플라즈마 파일럿 플랜트의 운전경험이 없었을 정도로 본 공법은 아직 개발의 초기단계로 평가되고 있다. 본 연구에서는 저온 플라즈마 공법의 실용화를 가속시키기 위해 가스처리량이 1,700 Nm³/hr에 이르는 소형 플라즈마 파일럿 플랜트를 개발하여 1) 지금까지 알려진 본 공법의 운전비용 및 초기투자비용을 재평가하고, 2) 국내에서 개발된 대형전원공급장치의 성능을 검증하여 (Oh et al., 1996), 3) 파일럿플랜트의 운전경험을 축적하고자 하였다.

II. 파일럿 플랜트 개발

저온 플라즈마 탈황탈질공법의 기초원리는 국내의에서 수 많은 문헌을 통해 소개되어 있으며, 플라즈마를 발생하기 위한 기술은 과거 100 년전부터 오존 및 이온발생기술, 집진기기술 등을 통해 연구되어 왔을 만큼 새로운 기술이 아니다 (Chang, 1991). 본 연구에서는 이와 같이 기초기술이 잘 알려진 저온 플라즈마 공법을 실제로 적용하는데 주된 연구내용이 있으며, 파일럿 플랜트의 개략도는 그림1.과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 본 파일럿 플랜트는 배가스를 발생하는 1) 2 ton 보일러, 2) 배가스 온도를 조절하기 위한 열교환기, 3) 플라즈마 반응기, 4) 최종산출물인 암모늄염을 집진하는 집진설비, 5) 펄스전원공급장치, 6) 기타 부속설비로 구성되어 있다.

본 파일럿 플랜트의 핵심구성품은 플라즈마 반응기와 펄스전원공급장치로 플라즈마 반응기의 형상은 잘 알려진 wire-plate형 산업용 전기집진기를 일부 개조하여 설계/제작하였다. 한편, 펄스전원공급장치는 펄스전원공급장치의 기술적인 단점인 1) 짧은 스위치 수명, 2) 낮은 전력변환율, 3) 낮은 안정성 등의 문제점을 극복하기 위해, 종래 실험실 규모의 전원장치로 많이 사용되어온 스파크갭 스위치 혹은 사이라트론 단독의 스위치를 사용하지 않고, 사이라트론에서 발생된 펄스전력을 다시 자기력으로 압축시키는 자기펄스 스위치 (magnetic pulse compressors) 기술을 도입하였다.

III. 실험결과 및 결론

그림 2.는 배가스 처리량 1,700 Nm³/hr인 저온 플라즈마 파일럿 플랜트에서 SO₂ 및 NO_x가 투입된 전력 (펄스전력의 반복율)에 따라 제거된 것을 나타낸 것으로, SO₂ 는 반복율에 크게 영향을 받지않고 95 % 이상의 제거율을 나타내었고, NO_x는 투입된 전력의 증가에 따라 제거율이 민감하게 증가하여 최대 85 %까지 제거되고 있음을 제시하고 있다. 그림2.에서 볼 수 있듯이 초기 NO의 농도가 높으면 탈질이 상대적으로 떨어지고, 탈황과 탈질을 동시에 수행할 경우 탈질만을 수행한 경우에 비해 탈질을

이 20 % 가량 감소되고 있음을 알 수 있다. 그림 3.은 본 실험에서 소요된 운전전력을 이태리의 ENEL (저온 플라즈마 공법), 미국 및 일본에서 개발된 전자빔공법에서 소요된 운전전력과 비교한 것이다 (Penetrante, 1993). 그림3.에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 개발된 저온 플라즈마 공법은 과거 ENEL에서 실험한 운전전력보다 월등히 적은 것으로 나타나 있고, 운전전력이 적어 현재 실용화 단계에 진입한 전자빔공법에 대등한 운전전력을 본 실험에서는 소비하였다. 한편, 본 실험에서 ENEL의 실험에 비해 운전전력이 감소될 수 있었던 주된 이유는 산화력이 강한 OH 라디칼을 풍부하게 만들어 주는 hydrocarbon의 주입에 있었다. 본 실험에서 hydrocarbon은 저온 플라즈마 공정을 통해 작은 입자상의 염으로 바뀌고, 집진시설에 의해 최종적으로는 배출이 억제되도록 설계되었으나, 불충분한 전력투입 혹은 과도한 hydrocarbon 주입시 미반응 hydro-carbon의 배출이 가능하다고 보고 있다.

이상과 같이 수행된 저온 플라즈마를 이용한 탈황탈질 파일럿 플랜트 실험을 통해 얻어진 결론은 1) 저온 플라즈마 공법은 대형 사업장에 적용할 수 있는 기술임이 본 파일럿 플랜트 실험을 통해 검증될 수 있었다. 2) 저온 플라즈마 공법은 지금까지 알려진 운전소비전력보다 적게 소요되며, 이에 따라 운전비용은 물론 초기투자비용도 대폭 절감할 수 있다. 3) 저온 플라즈마 공법의 성능은 탈황탈질율이 각각 95 %, 85 % 이상으로, 기존의 습식탈황공법이나 선택적 촉매법의 성능에 뒤지지 않는다는 등을 들 수 있다.

참고문헌

Chang, J-S., P. Lawless, and T. Yamamoto (1991) Corona discharge process, IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 19, No. 6, December, 1152-1166

Masuda, S. (1992) Report on novel dry DeNOx/SOx technology for cleaning combustion gases from utility thermal power plant boilers, NATO ASI Series, Vol. G34, Part A, 131-137

Oh, J.S., S.S. Park, S.D. Jang, M.H. Cho, I.S. Ko, W. Namkung, G.H. Jang, Prototype 2-stage manetic pulse compression modulator for pulse power applications, Twenty-Second International Power Modulator Symposium, Boca Raton, Florida, USA, June 24-27, 1996

Penetrante, B.M. (1993) Pollution control applications of pulsed power technology, Ninth IEEE International Pulsed Power Conference, Albuquerque, New Mexico USA, June 21-23, 1993

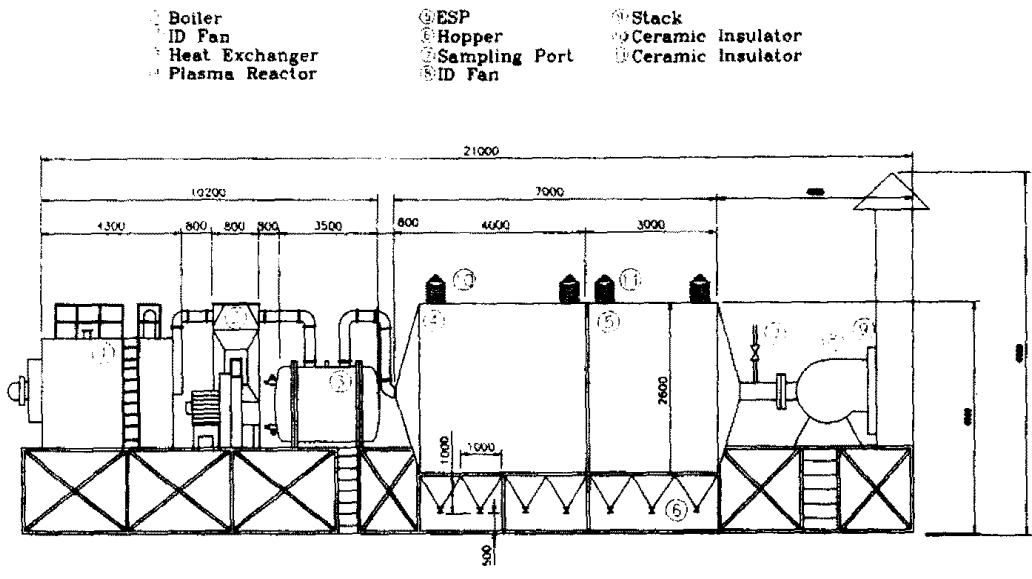


Fig 1. Schematic of pilot plant

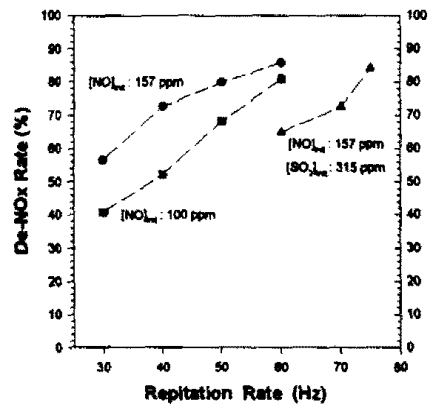


Fig. 2 DeSO_x/NO_x rate vs. repetition rate of input pulse energy. De-SO₂ rate: above 95 %, Temp: 125 ° C, Flow rate: 1700 Nm³/hr [NH₃]_{init.}: 800 ppm

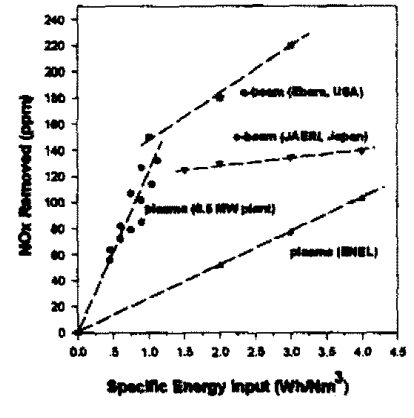


Fig. 3 Removed NO_x vs. Specific Energy. Data for plasma (0.5 MW plant) is based on V-i oscillograms.