

양방향 펄스 전원에 의한 배기가스의 제거

전재용, 성기범, 고광철*, 강형부*
 한양대 대학원 전기공학과, *한양대 전자전기공학부

The Removal of Flue Gas
 by Using Bidirectional Pulse Generator

Jae-Ryong Jeon, Ki-Bum Seong, Kwang-Cheol Ko, Hyung-Boo Kang
 Hanyang University

Abstract - Non-thermal plasma techniques is applied in many fields. Recently acid rain, global warming, ozone depletion, and smog are preeminent environmental problems. The cause for this environmental problems is the flue gas. Non-thermal plasma techniques has an attention for the solution of flue gas. Non-thermal plasma is used for the removal of flue gas composed of NOx, etc. This field has grown dramatically. This experiment is performed by using cylinder type reactor under the condition of room temperature and atmosphere pressure. NO gas is used instead of flue gas. Bidirectional pulse generator is used instead of the unidirectional pulse generator to increase the efficiency.

2. 실 험

2.1 라디칼

펄스 코로나 방전을 이용한 배기가스의 제거에서 라디칼이 중요한 역할을 한다. 배기가스 제거 과정에서 라디칼이 분자의 이온화나 해리에 의해 생성된다(6)(7). 코로나 방전에 의해서 생성된 OH, O, HO₂와 같은 산성 라디칼에 의해 NO_x 제거가 이루어진다(7). O와 HO₂에 의해 NO가 바로 NO₂로 산화된다. NO는 또한 OH에 의해 HNO₂로 산화되고 OH와의 연속적인 반응으로 NO₂를 생성한다. 이렇게 생성된 NO₂는 OH 라디칼에 의해 HNO₃으로 산화된다. 이러한 산화 반응 뿐만 아니라 NO는 N 라디칼에 의해 N₂가 될 수 있다. 위의 반응이 지배적이지만, 제거의 일부는 오존과 다른 이온, 분자간의 반응에 의해 이루어진다. 라디칼은 NO_x 제거과정에서 없어질 뿐 아니라, 라디칼 사이의 재결합을 통해 없어진다.

표1에 라디칼 반응에 의한 NO_x 제거를 나타냈다(8).

1. 서 론

최근 급격한 산업화에 따라 산성비, 지구 온난화, 오존층 파괴, 스모그가 전세계적으로 주요한 환경문제로 대두되고 있고, 많은 사람들의 관심을 모으고 있다. 이러한 환경문제의 주원인으로 밝혀진 배기가스를 제거하는데 비평형 플라즈마가 연구되고 있다(1). 지난 몇 년간 비평형 플라즈마기술은 비약적으로 발전했고 배기가스를 제거하는 것뿐만 아니라 공기 청정, 휘발성 유기화합물 제거 등 여러 분야에서 연구되고 있다(2). 석탄을 연료로 하는 발전소나 디젤엔진에서 주로 생성되는 질소산화물(NO_x)은 배기가스의 주성분이며, 산성비에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. NO_x를 제거하는데 몇 가지 방법이 연구되고 있고 효과가 있는 것으로 알려져 있다: 전자빔 조사, 무성 또는 코로나 방전, 연면 방전, 강유전체 펄팅층을 이용한 부분 방전(3). 펄스 코로나 방전은 이미 몇몇 실험에서 알려진 대로 위의 방법들에 대하여 매우 매력적인 대안이다.

그러나, 아직 실제로 산업설비 등에는 적용되지 못하고 있는데, 최적화가 이루어지지 않았기 때문이다. 펄스 코로나 방전을 이용한 배기가스 제거의 최대 과제는 에너지 소비의 감소이다(4). 최대 효율을 얻을 수 있는 전극구조의 제작과 다양한 재료를 이용한 전극 제작 등 최대 효율을 얻기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. Shimizu는 나선형 전극을 사용하여 배기가스 제거성능을 실험하는 등, 실제로 다양한 전극 구조를 사용하여 에너지 소비를 최소로 하여 최대 효율을 얻기 위한 연구가 이루어지고 있다(2). 또한 배기가스 처리과정에서 NH₃ 등의 첨가물을 투입하여 효율을 높이려는 연구도 행해지고 있다(5).

이 실험에서는 지금까지 쓰이던 단방향 펄스 전원 대신 양방향 펄스 전원을 사용하여 효율의 최대화를 꾀하였다. 실제 배기가스 대신 배기가스의 주성분중 하나인 NO 가스를 대상으로 실험하였다. 실험은 대기압, 실온에서 행해졌다.

반응	반응 상수
NO + O → NO ₂	k ₁ = 1.0 × 10 ⁻³¹ (T/300) ^{-1.6} (M)
NO + HO ₂ → NO ₂ + OH	k ₂ = 3.7 × 10 ⁻¹² exp(240/T)
NO + OH → HNO ₂	k ₃ = 7.4 × 10 ⁻³¹ (T/300) ^{-2.4} (M)
HNO ₂ + OH → NO ₂ + H ₂ O	k ₄ = 1.8 × 10 ⁻¹¹ exp(-390/T)
NO ₂ + OH → HNO ₃	k ₅ = 2.6 × 10 ⁻³⁰ (T/300) ^{-2.9} (M)
NO + N → N ₂ + O	k ₆ = 3.1 × 10 ⁻¹¹ (at 300K)

표 1. 라디칼 반응에 의한 NO_x의 제거

2.2 양방향 펄스 전원

그림 2.1와 2.2에 양방향 펄스발생기 회로도와 일반적인 양방향 펄스 파형을 나타냈다.

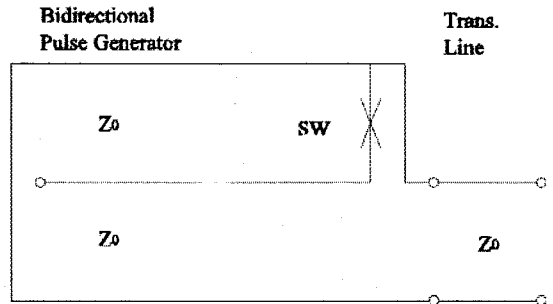


그림 2.1 양방향 펄스발생기 회로도

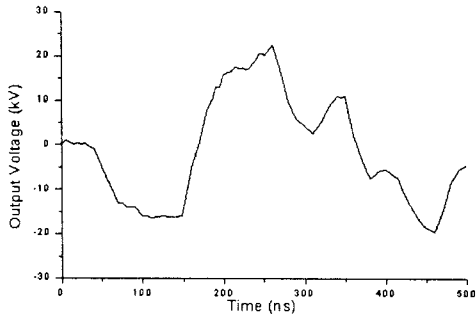


그림 2.2 일반적인 양방향 펄스 파형

2.2.1 단방향 펄스의 생성

대전력 펄스의 발생을 위한 여러 방법들 중에서 가장 기초적인 방법은 동축케이블 충전을 이용하는 방법이다 (9). 그림 2.3은 길이 L 의 동축케이블을 이용한 단방향 펄스발생기의 구성도이다. 전압 V_0 로 충전시킨 경우, 스위치 S 가 도통되면, 저항 R 의 양단에 단방향 펄스 전압이 걸리게 된다. 이 때, 회로에서 알 수 있는 바와 같이 부하저항 R 에 발생하는 전압은 $e = RV_0/(Z_0 + R)$ 가 되어 $R = Z_0$ 일 때, $V_0/2$ 가 된다. 또, 진행파의 속도를 v 라고 하면, 전파시간 T 는 $T = L/v$ 가 되어 펄스는 $2T$ 의 펄스 폭을 가지게 된다.

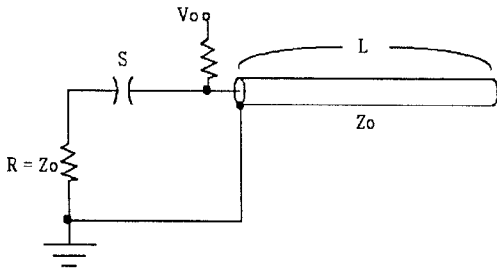


그림 2.3 동축케이블을 이용한 단방향 펄스발생기

2.2.2 양방향 펄스의 생성

본 논문에서 사용한 양방향 펄스 전원의 생성원리는 다음과 같다. 그림 2.4와 같이 스위치가 도통되었을 때, 선로에는 $V_0/2$ 크기의 오른쪽 진행파와 왼쪽 진행파가 발생한다. 오른쪽 끝은 정합된 전송선로가 연결되어 있기 때문에 반사가 일어나지 않고, 그대로 전송선에 흡수된다. 왼쪽 끝은 스위치가 닫혀져 있기 때문에 단락상태가 되어 임피던스가 0으로 보이므로, 왼쪽 진행파는 극성이 반전되어 반사된다. 길이 L 인 펄스형성선로에 진행파가 전파하는 시간을 T 라 놓으면, 출력되는 펄스의 제1반파, 제2반파의 펄스 폭은 모두 $2T$ 가 되며, 그림 2.5과 같은 모양의 전압파형이 출력됨을 알 수 있다.

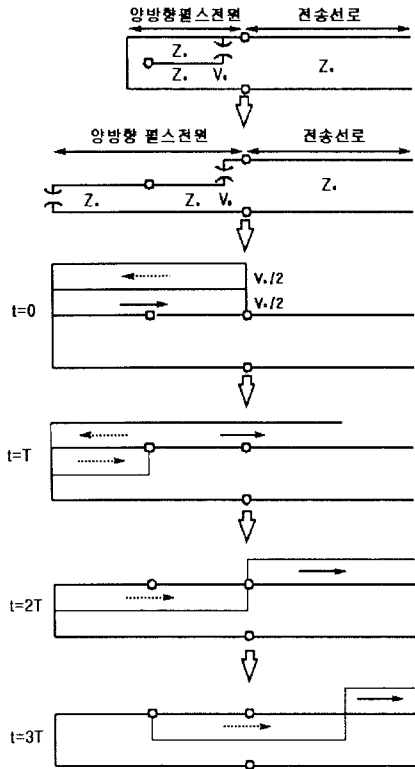


그림 2.4 양방향 펄스 발생 원리

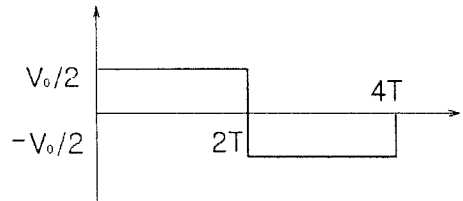


그림 2.5 양방향 전압 파형

본 논문에서 사용되는 동축케이블을 이용한 양방향 펄스 발생기의 구성도를 그림 2.6에 나타냈다. 고전압을 보다 쉽게 얻기 위하여 실제 전원부는 N 개의 동축케이블을 병렬로 하고, 전송선로에는 N 단의 동축케이블을 설치한다.

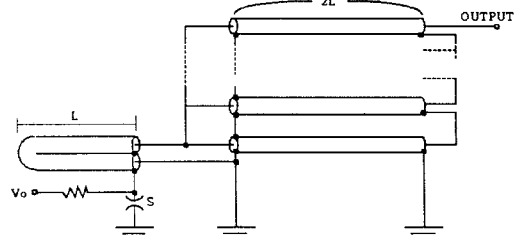


그림 2.6 동축케이블을 이용한 양방향 펄스발생기

2.3 반응장치

이 논문에서 실시하는 실험에 사용된 배기가스처리기의 단면은 그림 2.7과 같다. 중심에 위치한 텅스텐와이어(지름 1mm)와 바깥쪽의 스테인레스 스틸 원통전극(바깥지름 61.8mm, 안쪽지름 52.7mm, 길이 340mm),

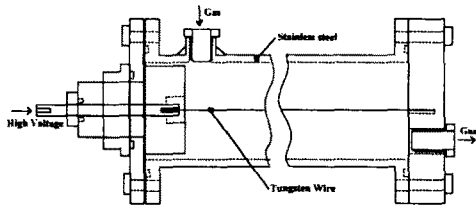


그림 2.7 배기가스처리기 단면도

좌·우면의 프랜지, 원통 양쪽 끝부분에 위치한 배기가스 출입구로 구성되어 있다. 왼쪽면 전원측의 프랜지는 절연을 위하여 테플론을 이용하였고, 오른쪽면의 프랜지는 아크릴소재를 사용하여 관측과 절연을 시도하였다.

고전압 전원으로는 Maxwell사의 CCDS Power Supply를 사용하였고, Power Supply의 최대 공급전압은 50kV이다.

3. 결 론

배기가스의 주성분인 NO가스를 대상으로 양방향 펄스 전원을 이용한 원통형 배기가스처리기를 사용하여 NO가스 제거성능을 실험하였다.

이 실험을 통하여 양방향 펄스 전원에 의한 NO가스 제거성능이 단방향 펄스 전원을 사용할 때보다 향상되었음을 알 수 있었다.

실제 배기가스를 이용한 실험이 필요할 것으로 보이며, 상용화를 위해서는 효율을 최대화하기 위하여 최적의 전극구조를 찾는 등의 더욱 많은 연구가 필요할 것으로 보인다.

(참 고 문 헌)

- [1] B. M. Penetrante, S. E. Schultheis, Eds., Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control, NATO ASI Series, vol. 34, pt. B, 1992.
- [2] K. Shimizu, K. Kinoshita, K. Yanagihara, B. S. Rajanikanth, S. Katsura, A. Mizuno, "Pulsed-Plasma Treatment of Polluted Gas Using Wet-/Low-Temperature Corona Reactors", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 33, pp. 1373-1380, 1997.
- [3] A. Mizuno, K. Shimizu, A. Chakrabarti, L. Dascalescu, S. Furuta, "NOx Removal Process Using Pulsed Discharge Plasma", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 31, pp. 957-963, 1995.
- [4] Y. S. Mok, S. W. Ham, I. S. Nam, "Evaluated of Energy Utilization Efficiencies for SO2 and NO Removal by Pulsed Corona Discharge Process", Plasma Chemistry and Plasma Processing, vol. 18, No. 4, 1998.
- [5] K. Urashima, J. Chang, J. Y. Park, D. C. Lee, A. Chakrabarti, T. Ito, "Reduction of NOx from Natural Gas Combustion Flue Gases by Corona Discharge Radical Injection Techniques", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 34, pp. 934-938, 1998.
- [6] R. H. Amirov, E. I. Asinovsky, I. S. SAmoilov, A. V. Shepelin, "Experimental Studies on NO Removal from Methane Combustion Products Using Nanosecond Corona Discharge", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control, NATO ASI Series, vol. 34, pt. B, pp. 149-164, 1992.
- [7] 최중모, 전재룡, 고평철, 강형부, "양방향 펄스전압에 의한 배기가스처리의 수치해석", 대한전기학회, 1998년도 하계 학술대회 논문집 E, pp. 1812-1814, 1998.
- [8] R. P. Dahiya, S. K. Mishra, A. Veefkind, "Plasma Chemical Investigations for NOx and SO2 Removal from Flue Gases", IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 21, NO. 3, pp. 346-348, 1993.
- [9]名古屋大学プラズマ研究所, "データブック エレクトロニクス・電気", 技術室, pp. 74, 1984.