

배기가스 처리용 양방향 펄스 전원

Bidirectional pulse generator for removal of flue gas

박정호* 한양대학교 대학원 전기공학과

고광철* 한양대학교 전자전기공학부

강형부* 한양대학교 전자전기공학부

Jeong-Ho Park Hanyang University

Kwang-Cheol Ko Hanyang University

Hyung-Boo Kang Hanyang University

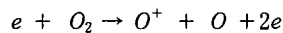
Abstract

An investigation has been made of the various plasma chemistry reactions that occur in the corona discharge of an electrostatic precipitator operating in a typical flue gas. As the results of investigation, sulphur dioxide is removed principally by reactions with OH radicals to produce sulphuric acid, while nitrogen oxides are removed principally by reduction via the N radical to molecular nitrogen. If electrostatic precipitators used for flue gases are operated with positive voltages instead of negative dc voltages, there are significant reductions in the emission of the undesirable gases SO₂, NO, and NO₂. Thus, in this paper we design the bidirectional pulse generator for removal of flue gas, where the pulse width is more than 50[nsec] and the maximum output voltage is more than 100[kV].

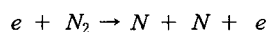
1. 서론

정전 집진기에서 코로나 방전을 이용하여 아래와 같은 화학적 방법으로 NO_x와 SO_x를 제거할 수 있다[1].

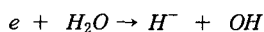
(1) 전자에 의한 산소의 산소 원자로의 해리는 오존의 발생의 포함한 많은 산화작용을 유도한다. 예를 들면, SO₂가 산화되어 SO₃가 되고 결국 수증기와 결합하여 산을 이룬다. 반대로 원자 상태의 산소가 역으로 작용하여 SO₃가 SO₂가 될 수도 있다.



(2) 질소 분자의 질소 원자로의 해리는 산화질소를 질소 분자로 변환하는 감소 반응을 유도한다.



(3) OH기를 생성하는 수증기의 분리는 황산과 질산을 직접적으로 생산하는 반응을 유도한다.



(4) O⁴ 음이온의 생성은 SO₂와 NO의 빠른 산화를 유도한다.

최근의 연구에 의하면 배기가스에 사용되는 정전 집진기가 dc 전압 대신 정극성 펄스 전압에서 사용될 때, 바람직하지 않은 기체 SO₂, NO, NO₂를 현저하게 감소시킬 수 있다. 정극성 펄스 전압의 응용은 많은 정스트리머를 형성했고, 그 침투에 강한 전계를 가지고 있다. 이런 스트리머들은 부극성 코로나에 의한 스트리머에 비해 갭의 보다 넓은 영역을 가로지르게 되고, 화학반응을 개시시킨다. 그러나, 펄스 전압은 아주 높은 피크를 가지는 1μsec 이하의 지속시간이 되어야 한다.

본 논문에서는 2개의 펄스형성선로로 구성되어 최대 출력전압이 100kV이상이고 펄스폭이 50nsec 이상인 양방향 펄스가 출력되는 배기가스 처리용 양방향 펄스 전원을 설계하였으며, EMTP를 이용하여 설계한 양방향 펄스전원의 출력 파형을 모의하였다. 양방향 펄스 발생의 원리는 그림 1과 같다 [2].

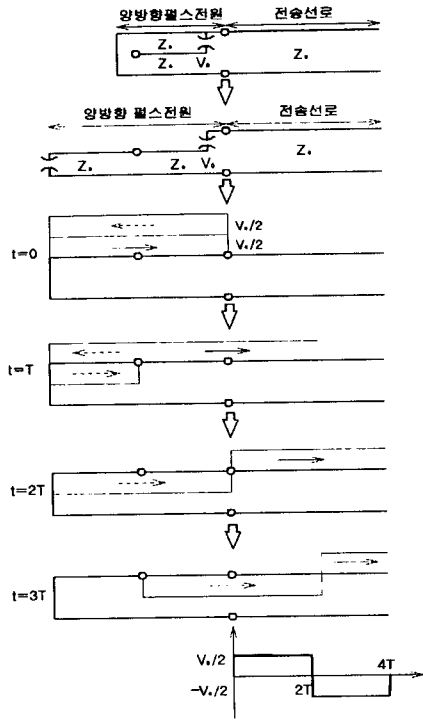


그림 1 양방향 펄스 발생의 원리

2. 양방향 펄스 전원 설계

2.1 펄스형성선로의 설계

동축형의 펄스형성선로의 특성 임피던스는 5Ω 정도로 설정한다. 선로내의 매질에는 물을 사용한다. 이 경우, 같은 출력 펄스 폭을 얻기 위해서 필요한 선로의 길이를 짧게 할 수 있다는 이점이 있다.

강관의 내반경, 외반경과 각 파라미터는 다음과 같다. 물의 비투자율 $\mu_r = 1$, 비유전율 $\epsilon_r = 80$ 으로 했다.

내측 선로의 경우

$$R_1 = 0.05505 \text{ [m]}, \quad r_1 = 0.0243 \text{ [m]}$$

$$L_1 = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{R_1}{r_1} \approx 0.1636 \text{ [\mu H/m]} \quad (2.1)$$

$$C_1 = 2\pi\epsilon / \ln \frac{R_1}{r_1} \approx 5442 \text{ [pF/m]} \quad (2.2)$$

$$Z_1 = \sqrt{\frac{L}{C}} \approx \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} 60 \ln \frac{R_1}{r_1} \approx 5.49 \text{ [\Omega]} \quad (2.3)$$

외측 선로의 경우

$$R_2 = 0.1303 \text{ [m]}, \quad r_2 = 0.05715 \text{ [m]}$$

$$L_2 \sim 0.1648 \text{ [\mu H/m]} \quad (2.4)$$

$$C_2 \sim 5400 \text{ [pF/m]} \quad (2.5)$$

$$Z_2 \sim 5.53 \text{ [\Omega]} \quad (2.6)$$

2.1.1 펄스폭 설정

출력되는 양방향 펄스의 반파시간 폭은 50[nsec] 이상으로 했다. 길이 L 인 펄스형성선로에서 진행파가 전파하는 시간을 T 로 놓으면, 출력 펄스의 제 1반파, 제 2반파의 펄스폭은 모두 $2T$ 로 된다. 따라서, $T = 25 \text{ [nsec]}$ 이상의 전기선로 길이가 필요하고 선로 내에서의 진행파의 전파속도

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \approx 3.35 \times 10^7 \text{ [m/s]} \text{ 가 되므로}$$

$$L = vT \approx 0.838 \text{ [m]} \quad (2.7)$$

따라서, $L \geq 0.838 \text{ [m]}$ 이면 50[nsec] 이상의 펄스폭이 얻어진다.

2.1.2 선로의 충전시간 설정

물의 체적저항률 ρ 는 수중의 이온분에 의해 변화하는데, 여기서는 이온교환수지로 처리하여 $1 \times 10^4 \text{ [\Omega m]}$ 정도 되게 한다. 효율 좋게 충전하려면 충전시간을 짧게, 누설저항 에너지 손실을 작게 해야한다. 누설저항 R 은

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \int_r^R \frac{dr}{2\pi r l} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{R}{r} \text{ [\Omega]} \quad (2.8)$$

가 되고, 자연방전의 시정수 T 는

$$T = RC l = \rho \epsilon \approx 7.08 \text{ [\mu sec]} \quad (2.9)$$

가 된다. 충전시간은 이것에 비해 짧고 전기선로 길이보다는 충분히 길어야 한다. 따라서, 충전시간을 전기선로 길이의 7배인 0.175 [\mu sec] 로 한다.

2.1.3 선로의 절연내력

물의 절연특성 실험식으로 日新電氣의 실험식을 이용한다[3].

$$E \cdot t^{0.37} \cdot S^{0.11} = 0.2 \quad (2.10)$$

여기서, E 는 절연파괴 전계강도 $[\text{MV/cm}]$, t 는 충전시간으로 0.175 [\mu sec] , S 는 전극의 표면적으로 $1287.7 \text{ [cm}^2\text{]}$ 이다. 따라서, 전계가 집중하는 중심도체 면적상에의 절연파괴 전계 E 는

$$E \approx 174 \text{ [KV/m]} \quad (2.11)$$

가 된다. 중심도체 표면적의 실제의 전계 E_r 는 $V_0 = 200$ [KV] 이상으로 충전한다고 가정하면,

$$E_r = V_0 / r \ln \frac{R_1}{r_1} \geq 100 \text{ [KV/cm]} \quad (2.12)$$

가 되어, 설계한 선로의 절연내력은 충분하다.

2.2 스위치, 전송선로의 설정

펄스형성선로의 주방전 스위치에는 가스 절연형 트리가트론 켈을 사용한다. 이것은 고전압·대전류용으로 전류의 상승시간도 빠르며 스위칭 시간도 짧은 이점이 있다. 펄스형성선로와 부하 사이를 연결한 펄스전송선로는 동축케이블 RG-8/U를 사용하며, RG-8/U의 특성 임피던스는 52 [Ω], 전파 시간은 5 [nsec/m]이다.

2.3 펄스형성선로의 설계도

펄스형성선로의 설계도는 그림 2와 같다. 세 개의 스테인리스 강관으로 구성되며[4], 중간도체의 길이는 다른 도체보다 약간 짧은데 이것의 길이가 변함에 따라 출력 파형이 변한다.

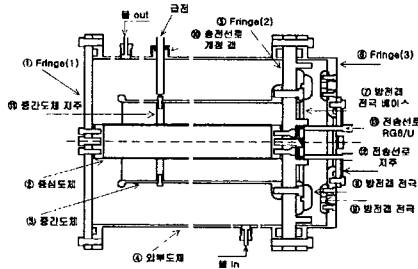


그림 2 펄스형성선로의 설계도

3. EMTF 모델링

펄스형성선로는 무손실이라 가정했다. 내측선로, 외측선로의 임피던스 및 전기선로 길이는 설계치를 사용했다. 내측선로, 외측선로를 각각 $Z=5.49$ [Ω], $\tau=25$ [nsec]와 $Z=5.53$ [Ω], $\tau=25$ [nsec]를 가진 전송선로로 모델링 하였다. 펄스형성선로의 구성을 보면 두 선로가 병렬로 연결되어 있고 중심도체에서 전송선로($Z=5.2$ [Ω], $\tau=10$ [nsec])를 통하여 5.6 [Ω]의 모의부하로 연결시켰다. 등가회로는 그림 3과 같다.

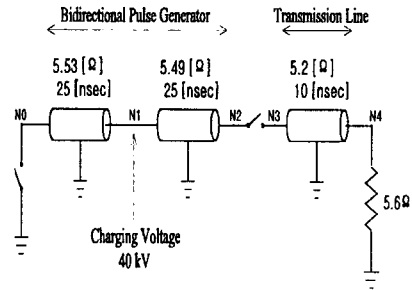


그림 3 양방향 펄스 전원의 등가회로

4. EMTF를 이용한 Simulation결과

EMTF를 이용해 그림 3의 양방향 펄스 전원의 출력전압 Simulation을 하였다[5]. 40 [kV]초기충전 전압에 출력전압은 $+20$ [kV], -18 [kV]이고 펄스폭은 각각 50 [nsec]이었다. Simulation 결과를 그림 4에 보여준다.

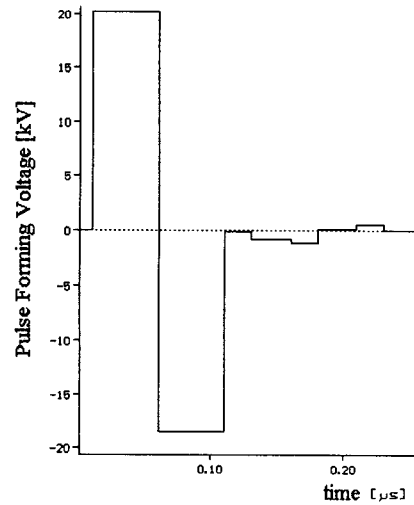


그림 4 양방향 펄스 전원의 출력전압

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 배기가스 처리를 위한 고전압 양방향 펄스 전원을 설계했다. 유전체로 물을 사용한 2개의 펄스형성선로로 구성되고, 특성 임피던스 5.5 [Ω], 펄스폭(반파) 50 [nsec] 이상, 최고출력 전압 ± 100 [kV] 이상이다.

EMTF를 이용해 제작한 장치의 simulation을 하였다. Simulation 결과, 양방향 펄스 전원 스위치의 인덕턴스분을 줄임으로서 양방향 펄스의 오버슈트

를 개선할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] John J. Lowke and Richard Morrow
"Theoretical Analysis of Removal of Oxides
of Sulphur and Nitrogen in Pulsed
Operation of Electrostatic Precipitators",
IEEE Trans. on Plasma Sci. vol. 23, 1995
- [2] Stanley Humphries Jr., "Principles of Charged
Particle Acceleration", John Wiley & Sons,
Inc., 1986
- [3] 京都ハイパワーテクノロジー研究会, "パルスバ
ワー工学の基礎と應用", 近代科學社, p140, 1992
- [4] 한국 산업 규격, "배관용 스테인리스 강관",
KS D3576, 1994
- [5] H. W. Dommel, "Digital Computer Solution
of Electromagnetic Transients in Single and
Multiphase Networks", *IEEE Trans. on Power
Apparatus and Systems*, PAS-88, 388 (1969)