

광폭 전기집진기의 집진특성에 관한 연구 - II. 펄스 하전 파형의 영향 -

김 용 진[†], 하 병 길, 정 상 현, 홍 원 석, 하 대 홍*, 유 주 식**

한국기계연구원 열유체환경연구부, *한서대학교 항공기계학과, **안동대학교 기계교육과

A Study on the Collection Characteristics of a Wide Plate-Spacing Electrostatic Precipitator - II. Effect of Wave Form of Pulse Energization -

Yong-Jin Kim[†], Byung-Kil Ha, Sang-Hyun Jeong,
Won-Seok Hong, Dae-Hong Ha*, Joo-Sik Yoo**

Korea Institute of Machinery & Metals, Yuseong, P.O. Box 101, Daejeon 305-343, Korea

**Department of Aeronautical and Mechanical Engineering, Hanseo University, Seosan 356-706, Korea*

***Department of Mechanical Engineering Education, Andong National University, Andong 760-749, Korea*

(Received May 12, 2001; revision received August 30, 2001)

ABSTRACT: This study investigates the effect of the wave form of pulse energization on the collection characteristics of a wide plate spacing electrostatic precipitator. For the semi-pulse energization, the peak current and voltage of the energization increases with increase of the pulse period, and the corona current increases, as pulse ratio decreases. For the micro-pulse energization, the corona current increases with increase of the pulse voltage. The collection efficiency of semi-pulse and micro-pulse energization is larger than that of DC charge.

Key words: Wide plate spacing electrostatic precipitator(광폭 전기집진기), Semi-pulse energization(세미 펄스 하전), Micro-pulse energization(마이크로 펄스 하전)

기 호 설 명

a : 큰 펄스의 강도(intensity) [mA, kV]
 b : 작은 펄스의 강도 [mA, kV]
 P_f : 펄스의 주파수 [Hz]
 P_r : 펄스의 비
 P_p, P_p^* : 펄스의 주기 [sec], 무차원 펄스 주기
 P_w : 펄스의 폭 [sec]

SCP : 비코로나 전력 [Watt·min/m³]
 V_{DC} : 직류 전압 [kV]
 V_{PS} : 펄스 전압 [kV]

1. 서 론

본 연구에서는 "Part I. 집진판 간격과 방전극의 영향"에 이어서 광폭 전기집진기에서 인가된 펄스 하전의 파형이 집진기의 전류-전압 특성 및 집진효율에 미치는 영향을 조사한다.

펄스 하전이 인가된 전기집진기에서는 방전극이 펄스형의 고전압을 받게 된다. 이에 따라 일반적인 음(-)극의 직류 하전에 의한 코로나는

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-868-7475; fax: +82-42-868-7335

E-mail address: yjkim@kimm.re.kr

점다발(tuft) 형상의 특성을 가지나, 순간적인 초고전압을 일정 주기로 인가하면 방전극 전체면에 코로나를 형성시켜 전장 속의 코로나 전류 밀도 분포는 DC만에 의한 전류 밀도분포보다 상대적으로 더 균일하게 되어 입자 하전 효과가 상승하게 되는 반면에 평균 전계 강도와 분진의 부착력이 낮아져서 탈진율이 높아지기 때문에 역전리를 감소시킬 수 있다. 또한 전기집진기에서 입자의 하전은 일반적으로 포화대전(saturated charge)에 빨리 도달되므로 궁극적으로 집진효율은 인가되는 전장의 세기를 좌우하는 최대 피크 전압의 세기에 크게 영향을 받게 된다. 따라서 평균 인가 전압이 같은 경우에도 펄스 하전의 주기와 피크 전압의 변화로 인하여 집진 효율을 상승시킬 수 있다.⁽¹⁻⁵⁾

펄스 하전은 세미 펄스 하전(semipulse energization)과 마이크로 펄스 하전(micropulse energization)으로 나눌 수 있다. 세미 펄스 하전은 코로나 개시 이상의 전압을 항상 유지하지 않고 일정 주기 동안은 코로나 개시 전압 이하의 전압을 인가하는 것이다. 이렇게 함으로써 순간적으로 강한 코로나 전류를 형성할 수 있으면서도 소비전력을 상대적으로 줄일 수 있기 때문에 DC와 동일한 소비전력에서 집진효율을 향상시킬 수 있다. Fig. 1에 세미 펄스 하전에 대한 기호를 나타내었다.

마이크로 펄스 하전은 스파크를 일으키지 않는 $250 \mu\text{s}$ 이하의 폭을 가지는 펄스를 말한다. 이것은 세미 펄스 하전보다 더 높은 피크 전압을 집진기에 부가할 수 있으므로, 순간적인 더욱 강력한 코로나 전장을 형성할 수 있으며 스파크를 억제할 수 있다. 그리고 직류 전원 시스템과는 달리 시간에 따라 항상 높은 전계 강도와 코로나

전류를 유지하지 않고, 순간적으로 초고압 전원과 전류를 공급하여 전체적인 소비전력은 오히려 낮아지고, 고비저항 분진이 집진된 분진층에서 형성되는 높은 전계 강도를 피할 수 있으므로 역코로나를 방지할 수 있다.^(1,2)

2. 실험장치 및 방법

앞에서 언급한 바와 같이, 본 실험에서는 세미 펄스 고전압 하전 장치와 마이크로 펄스 고전압 하전 장치를 사용하였다.

세미 펄스 고전압 하전 장치(semipulse concept)는 전압 변환기(transformer)와 제어반으로 구성되었다. 디지털 하전 제어방식을 채택하였으며 정전압 제어와 정전류 제어의 변환이 가능하고, 직류와 세미 펄스 전류를 공급할 수 있다. 또 세미 펄스의 크기와 주기 및 펄스비를 조절할 수 있도록 제작되었다.

마이크로 펄스 고전압 하전 장치는 직류 전압 변환기와 펄스용 변환기의 두 개의 전압변환기와 제어반으로 구성되어 있다. 직류의 최대 인가 전압은 60 kV이고 펄스의 최대 피크 인가 전압은 70 kV이며 각각 분리와 중첩이 가능하다. 이 장치에서 사용된 직류는 교류의 정류과정에서 발생하는 교류의 리플(ripple) 성분이 없는 순수 직류 하전을 사용하였다.

인가 전압과 코로나 전류의 파형을 측정하기 위하여 Fluke 97 Scope-meter를 사용하였다. 여기에 컴퓨터를 접속시켜 파형을 ASCII 파일로 저장하여 인가 전압과 전류의 파형에 대한 자료를 획득하였다.^(3,6)

그리고 인가된 펄스 하전의 파형에 따른 집진 효율 특성을 알아보기 위하여 집진판 간격을 450 mm로 설정하고 DC 인가 전압 60 kV, 54 kV 및 45 kV에 대한 각각의 펄스 전압을 0 kV, 30 kV, 50 kV로 하였을 경우의 TP 방전극에 대하여 전압-전류 특성과 집진효율을 측정하였다.

3. 결과 및 논의

본 연구에서는 실용화 방전극을 설치한 광폭 전기집진기에서 세미 펄스 하전과 마이크로 펄스 하전에 대하여 전기 및 집진특성 실험을 수행하였다.

인가 전압이 집진기의 성능에 미치는 영향은

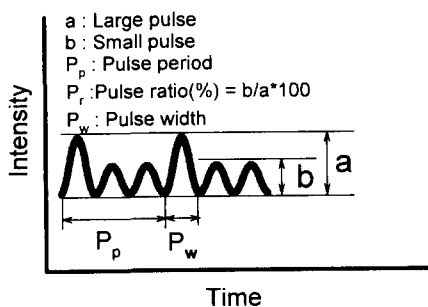


Fig. 1 Nomenclature of semipulse waveform.

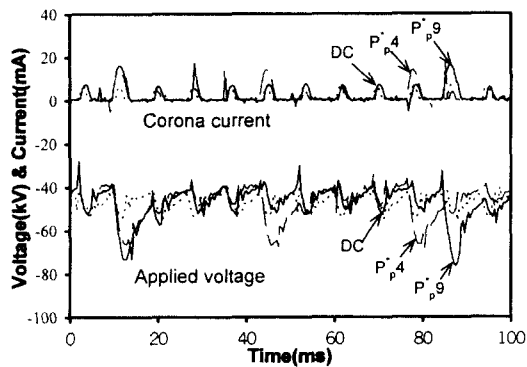


Fig. 2 Wave form of semipulse energization.

평균 전압과 함께 피크 전압의 영향이 큰 것으로 알려져 있으며 코로나 전류가 높을수록 집진효율이 높게 나타난다. 피크 전압은 높고 코로나 전류는 동일하면서도 집진효율을 향상시키기 위한 방법으로써 세미 펄스 하전 방식과 마이크로 펄스 하전 방식을 사용한다.

먼저 코로나 전류와 인가 전압에 대한 세미 펄스 하전과 마이크로 펄스 하전의 형태를 Fig. 2 와 Fig. 3에 나타내었다. 세미 펄스 하전의 평균 인가 전압이 같은 경우의 전압과 전류의 파형은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 세미 펄스에서 무차원 펄스 주기(P_p^*)가 1인 경우는 그림에서 보는 바와 같이 특별히 높은 펄스 전압이 없이, 정류 과정에서 발생하는 일정 간격의 리플 성분만이 연속적으로 존재하는 직류로 정의하고, 2 이상인 경우를 펄스 하전이라고 정의한다. 한 예로, 그림에서 보는 바와 같이 무차원 펄스 주기, P_p^* 가 4인 경우는 4번째 리플마다 상대적으로 높은 펄스 전압이 형성되며, 9인 경우에는 9번째마다 높은 펄스 전원이 나타나게 된다. 또한 그림에서 보는 바와 같이, 전원공급장치의 특성상 무차원 펄스 주기값이 커짐에 따라 피크 전압과 전류가 높아지는 것을 볼 수 있다. 피크 전압은 코로나 방전에서 매우 중요한 역할을 하며 입자의 하전량에 직접적인 영향을 주기 때문에 높은 피크 전압을 갖는 세미 펄스 하전의 경우가 더 높은 집진효율을 나타낸다는 것을 예측할 수 있다.

마이크로 펄스는 세미 펄스와는 달리 Fig. 3에서 보는 바와 같이 기본 파형인 직류의 파형에 파장 $250 \mu s$ 의 펄스를 겹쳐 놓은 것이다. 그리고 세미 펄스의 파장은 $8.3 ms$ 이지만 마이크로 펄스

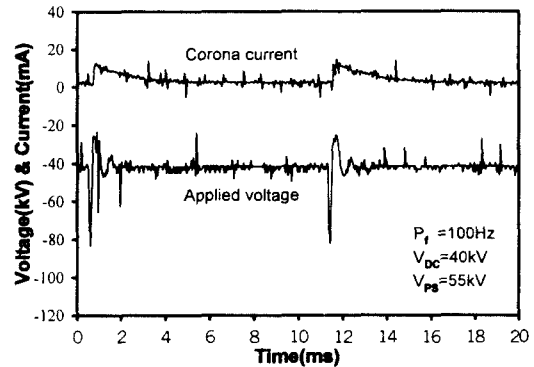


Fig. 3 Waveform of micropulse energization.

는 $250 \mu s$ 정도로 매우 짧다. 파장이 짧음으로 인하여 얻을 수 있는 효과는 높은 피크 전압에서 강력한 코로나 방전을 하고 역전리나 스파크가 발생하기 전에 고전압이 해제된다는 것이다.

Fig. 4는 무차원 펄스 주기가 4이고 펄스비가 다른 경우에 대하여 동일한 평균 인가 전압에 대하여 펄스비(작은 펄스/큰 펄스 $\times 100$)에 따른 코로나 전류의 변화를 나타낸 그림이다. 동일 인가 전압에서 펄스비가 감소할수록 코로나 전류가 높아진다. 평균 인가 전압이 같은 경우 펄스비가 감소한다는 것은 피크 전압이 증가한다는 것을 말하며 이에 따라 강력한 코로나 전류의 증가가 유발되기 때문이다. 즉 피크 전압의 증가에 따른 코로나 전류의 증가현상 때문이다.

Fig. 5에는 세미 펄스 하전의 피크 전압과 코로나 전류의 관계를 나타내었다. 동일한 전류에

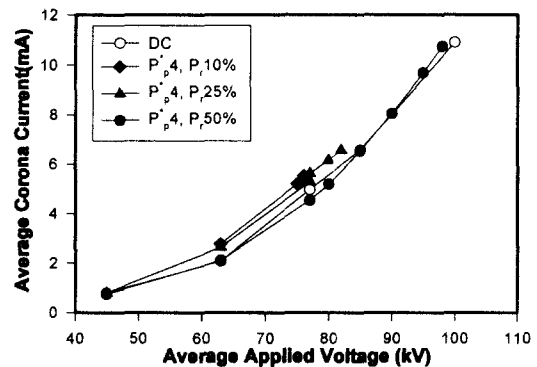


Fig. 4 Corona current as a function of average applied voltage for several pulse ratios with dimensionless pulse period of 4.

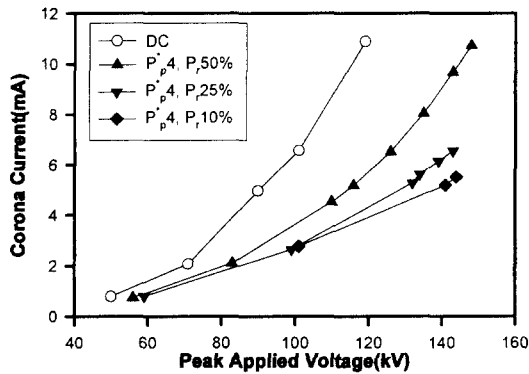


Fig. 5 Peak corona current as a function of peak applied voltage for several pulse ratios with dimensionless pulse period of 4.

서 DC보다는 세미 펄스 하전인 경우가 피크 전압이 높은 것을 볼 수 있으며 펄스비가 높을수록 피크 전압이 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것으로부터 비코로나 전력이 같은 경우 무차원 펄스비가 낮은 경우의 집진효율이 더 높을 것이라는 것을 예측할 수 있다.

다음에는 방전극의 형상에 따른 시험 플라이 애쉬의 전체에 대하여 전기집진기 유입 질량농도와 출구 유출 질량농도에 의하여 산출되는 총괄 집진효율(이하 집진효율) 특성을 조사하여 Fig. 6 와 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6와 Fig. 7은 사각(RT) 방전극과 비틀림 강체(TP) 방전극 모델에 대하여 DC와 세미 펄스 하전에 대한 집진효율을,

Part I에서 언급한 비코로나 전력의 함수로 표현하고 있다. Fig. 6은 집진판 간격이 300 mm인 경우이고 Fig. 7은 450 mm인 경우이다. 두 결과는 모두 비코로나 전력이 같을 경우 TP형 방전극의 집진효율이 기존의 RT 방전극보다 높고 세미 펄스 하전이 DC보다 높은 집진효율을 나타낸다는 것을 보여주고 있다. DC보다 펄스 하전의 집진효율이 높은 것은 펄스 하전시의 높은 피크 전압에 의하여 강력한 하전이 이루어지며 역전리의 억제효과 때문이다. 또한 RT형 방전극보다 TP형의 방전극의 집진효율이 높은 이유는 강체형의 TP형의 방전극의 경우가 집진기 내의 평균 전계 강도를 높일 수 있었기 때문이다.

Fig. 8에는 마이크로 펄스 하전에서 펄스 전압의 크기에 따른 코로나 전류를 평균 인가 전압의 함수로써 나타내었다. 그림에서 각각의 곡선은 펄스의 크기를 고정시키고 DC 전압을 변화시키면서 그때의 전류를 측정하여 나타낸 것이다. Fig. 8은 평균 인가 전압이 같은 경우에도 펄스 전압이 증가함에 따라 코로나 전류가 증가하는 것을 보여주고 있다.

Fig. 9는 집진판 간격이 450 mm이고 TP형 방전극인 경우에 있어서 마이크로 펄스 하전의 직류 전압과 펄스 전압 및 펄스 주파수가 집진효율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. Fig. 9의 결과로부터 직류와 펄스의 조합이 집진효율과 전압-전류 특성 및 비코로나 전력에 미치는 영향으로 인하여 다음과 같은 중요한 사실들을 발견할 수 있었다.

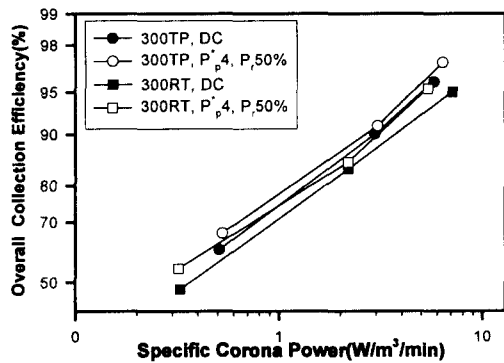


Fig. 6 Dependency of overall collection efficiency on the type of discharge electrode for DC and semi-pulse energization with plate spacing of 300 mm.

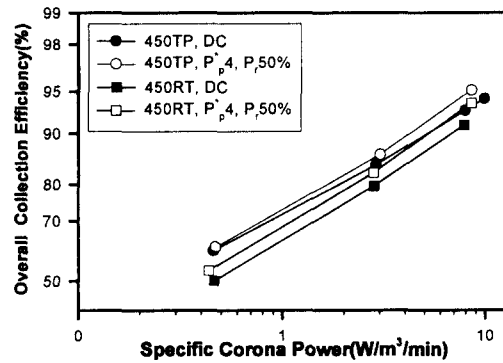


Fig. 7 Dependency of overall collection efficiency on the type of discharge electrode for DC and semi-pulse energization with plate spacing of 450 mm.

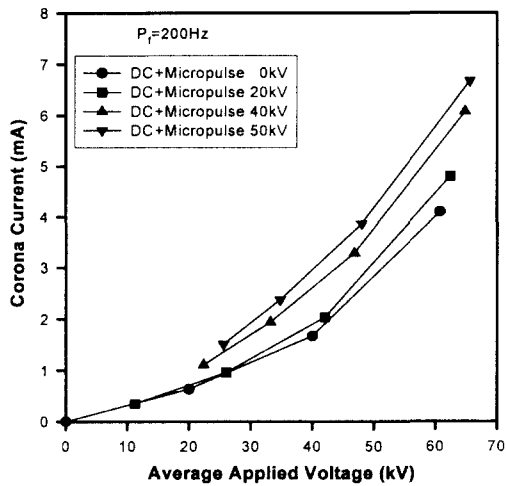


Fig. 8 Dependency of corona current on the voltage of micro pulse energization with pulse frequency of 200 Hz for a discharge electrode of TP type and plate spacing of 450 mm.

펄스 주파수를 100 Hz로 고정하고 직류 전압을 고정시키고 펄스 전압을 변경하는 경우와 펄스 전압을 고정하고 직류 전압을 상승시킨 경우에 대하여 각각 비코로나 전력의 변화에 대한 집진효율의 변화율을 구하면 후자의 경우는 49.8(%/SCP)이고 전자의 경우는 98.2(%/SCP)이다. 즉, 펄스 전압을 변경하는 경우가 직류 전압을 변경하는 경우보다 상대적으로 매우 높은 효율 변화율을 보여준다.

그리고 펄스 주파수가 집진효율에 미치는 영향은 다음과 같다. 직류 전압과 펄스 전압을 고정하고 펄스 주파수를 변화시킬 경우 펄스 주파수가 증가할수록 비코로나 전력의 증가와 함께 집진효율은 상승하지만 비코로나 전력(SCP) 증가에 대한 집진효율 증가율(집진효율의 변화량/SCP 변화량)은 28.7(%/SCP)로 직류나 펄스의 전압변화에 비하여 매우 낮게 나타났다.

마이크로 펄스 하전에 있어서 비코로나 전력의 증가에 대한 집진효율의 증가율이 커지면 비코로나 전력을 조금만 증가시켜도 집진효율을 크게 증가시킬 수 있다. 따라서 (집진효율의 변화량/SCP 변화량)과 집진기의 경제성은 비례한다고 할 수 있다. (집진효율의 변화량/SCP 변화량)의 값은, 직류 인가 전압 변화에서의 값을 1로 하였

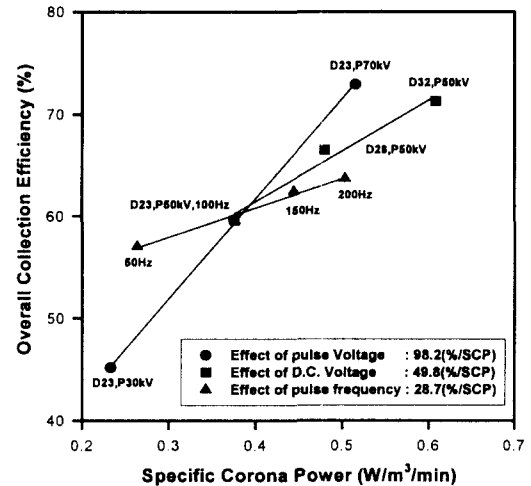


Fig. 9 Effect of micro-pulse energization on the collection efficiency with plate spacing of 450 mm and a discharge electrode of TP type.

을 경우, 펄스 전압 변화에서는 2로 가장 높고 펄스 주파수 변화에서는 0.57로 가장 낮게 나타났다.

4. 결 론

실험실 규모의 광폭 전기집진기를 제작하여 인가된 펄스 하전의 파형이 집진기의 전류-전압 특성 및 집진특성에 미치는 영향을 조사하였다. 주요 결과들을 요약하면 다음과 같다.

(1) 세미 펄스 하전 : 무차원 펄스 주기가 길어지면 피크 전압과 전류가 높아진다. 그리고 동일 인가 전압에서 펄스비가 감소할수록 코로나 전류가 높아진다. 한편 동일한 전류에서 DC보다 높은 피크 전압을 나타내며 펄스비가 높을수록 피크 전압이 낮게 나타난다.

(2) 마이크로 펄스 하전 : 평균 인가 전압이 같은 경우에도 펄스 전압이 증가함에 따라 코로나 전류가 증가한다.

(3) 두 종류의 펄스 하전에 있어서 모두 TP형 방전극의 집진효율이 RT형 방전극보다 높다. 그리고 펄스 하전이 DC보다 높은 집진효율을 나타낸다.

(4) 마이크로 펄스 하전에 있어서 비코로나 전

력의 증가에 대한 집진효율의 증가율은 펄스 전압을 변화시켰을 때가 직류 인가 전압을 변화시켰을 때보다 높다. 그러나 펄스 주파수 변화에 대한 집진효율의 증가율은 직류 인가 전압 변화에 따른 효율 변화보다 낮다.

후 기

본 연구는 환경부 G7 연구의 일환으로 수행되었으며, 환경부 및 두산중공업(주)의 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Fitch, R. A. and Drummond, J. E., 1986, Enhanced charging of fine particles by electrons in pulse-energized electrical precipitator, IEE Proceedings, Vol. 134, Part A, No. 1, pp. 37-44.
2. Tachibana, N. and Matsumoto, Y., 1990, Intermittent energization on electrostatic precipitators, J. of Electrostatics, Vol. 25, pp. 55-73.
3. Ha, B. K., 1999, A Study of Collection Efficiency Improvement for High Resistivity Coal Fly Ash Particles Using Pilot Electrostatic Precipitator, Ph.D. Thesis, Pukyong University.
4. Kim, Y. J., Jeong, S. H., Hong, W. S., Ha, B. K., Hwang, T. K., Ok, Y. W., Ryu, J. I. and Ham, B. H., July 1, 1999, A Study of Micro Pulse Energization on the Collection Electrode Spacing of Electrostatic Precipitator, Proceeding of The 1st Korean Aerosol and Particle Conference, Yong-Pyong Resort, Korea, pp. 149-150.
5. Kim, Y. J., Jeong, S. H., Hong, W. S., Ha, B. K., Hwang, T. K., Ok, Y. W. and Ham, B. H., May 14, 1999, Collection Characteristics of Electrostatic Precipitator Using Micro Pulse Energization, Proceeding of Spring Conference of Korean Air and Environmental Association, Korea Foreign Language University, Yong-In, Korea, pp. 157-158.
6. Kim, Y. J., Jeong, S. H., Hong, W. S., Ha, B. K., Ham, B. H., Moon, S. C. and Byoun, T. S., 1998, Experimental Study of a Moving Electrode Electrostatic Precipitator, Proceeding of 7th International Conf. of ESP, pp. 596-601.