

펄스 및 직류 중첩형 전기집진기용 고전압 전원장치 개발 연구

論 文

50B-12-6

A High Voltage Power Supply for Electrostatic Precipitator with Superimposing Voltage Pulse on DC Source

金鍾洙* · 林根熙* · 李星眞** · 金承敏** · 曹昌鎬**

(Jongsoo Kim · Geunhie Rim · Sungjin Lee · Seungmin Kim · Changho Cho)

Abstract - The trend of the regulations on environmental issues are getting tight. Responding to this trend new technologies such as moving electrodes, wide pitch and pulsed power supply are also introduced in the electrostatic precipitator(EP) systems. The introduction of wide pitch and moving electrodes enhances the system performance of the EPs by improving air-flow and by improving the ash reentrainment on rapping. The power supplies for the EPs developed up to date include thyristor-based dc or intermittent type, SMPS(switching mode power supply) type and the pulsed-power supply type. The use of the pulsed ones is known to improve dust-collecting efficiency of high resistivity ash and reduces back corona occurrence in the collecting plate. There are two kinds of pulsed-power supplies; one with pulsed transformers and the other with direct dc switching devices. The latter uses rotary spark gap switches or semiconductor switches. Both have the merits and demerits: the spark gap switches are simple and robust but has short life time, hence, high maintenance cost, whereas the semiconductor switches have long life time but are costly. In this study, A high voltage power supply with superimposing voltage pulse on dc source was developed for EPs. This study describes circuit topology, operating principle of the scheme, and analysis of experimental results on Dong-Hae Power Plant. The pulsed power supply consists of a variable dc power supply with ratings of 60kV, 800mA and pulse generator which is made of high voltage thyristor-diode switch strings, an LC resonant tank and a blocking inductor. The pulse generator generates variable pulse-voltage up to 70kV using a high frequency resonant inverter with a variable dc source. Two prototypes were built and tested on 250MW DongHae power plant to verify the possibility of the commercial use and the normal operation in the transient states.

Key Words : Electrostatic Precipitator, Pulsed Power Supply

1. 서 론

전기집진기는 화력발전소의 석탄 보일러에서 발생하는 분진을 포집 제거하는 장치로 초고압 전원을 공급하는 전원장치, 분진이 통과 포집되는 집진기부 및 기타 장치로 구성되어 있다.

최근 대기오염과 관련된 환경 규제가 더욱 더 강화됨에 따라 이동전극형, 광폭형, 마이크로 펄스 전원장치같이 새로운 기술^[1]이 집진효율의 향상을 위해 전기집진기에 적용되고 있다. 이동전극형 전기집진기는 집진판을 회전시켜 집진판에 붙은 먼지를 수거하는 방식으로 기존의 추타 방식에 비해 분진의 재비산 등을 방지하여 집진효율을 향상시킬 수 있는 전기집진기이며 광폭형 전기집진기는 집진기내의 공기의 흐름을 원활하게 하여 집진효율을 증대시키고 장치의 제조원가를

절감시킬 수 있는 기술이지만 기존 전기집진기 보다 더 높은 전압을 인가할 수 있는 새로운 전원장치가 필요하다.^[2] 초고압 마이크로 펄스 전원장치(이하 펄스전원장치)는 분진의 저항이 큰 경우, 직류전원장치에서 빈번하게 발생하는 역전리 현상을 최소화하고, 코로나 발생을 균일하게 발생시키므로써 집진효율을 증대시키는 전기집진기용 전원장치이다.^[3]

전기집진기용 전원장치는 싸이리스터 위상 제어 및 정류기를 통해 전기집진기에 직류 전원을 공급하는 직류하전장치, 직류하전을 간헐적으로 공급할 수 있게 하는 간헐하전 장치, SMPS 및 펄스전원장치로 분류된다.

현재 화력 발전소의 전기집진기에 주로 이용되는 전원장치는 직류전원장치 또는 전원주파수인 60Hz를 이용한 간헐하전방식의 전원장치이다. 보일러에서 발생하는 분진의 비저항이 큰 경우, 집진판에 붙은 분진들이 추타에 의해 수거되기 전에 전리되어 집진기 속으로 다시 되돌아가는 역전리 현상이 일어나 집진효율이 크게 저하되게 한다. 간헐하전방식의 전원장치는 역전리 현상을 완화시키기 위해 역전리 현상이 발생하면 전기집진기에 인가하는 전압을 낮추거나 중지시켜 정상적인 집진 상태로 돌아가게 하는 방식이다.^[4] 그러나 이

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院

** 正 會 員 : 斗山重工業(株)

接受日字 : 2001年 8月 20日

最終完了 : 2001年 11月 7日

방식은 분진의 비저항이 $10^{13}\Omega$ 이상이 되면 역시 역전리 현상에 대처할 수 없는 방식이다. 이에 대한 대처 방식으로 보일러의 배기가스에 조절제(SO₃, NH₃ 등)를 주입하여 분진의 비저항을 낮게하여 집진효율을 증대시키는 방법이 이용되고 있다.^[5] 그러나 이 방식은 집진판의 부식 증대 등 전기집진기의 유지·보수비용 증가 및 운전비용 증대를 초래한다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 제안된 방식이 이동전극형 집진기와 펄스전원 장치이다. 이동전극형 집진기는 집진판을 이동하는 방식으로 전기집진기의 설치비가 상대적으로 고가이며, 기 설치된 전기집진기의 개조가 필요하다. 그러나 펄스전원장치는 전원장치만의 교체만으로 고저항 분진에 대해 집진효율을 향상시킬 수 있는 방법으로 전기집진기의 신설이나 개·보수에 있어 매우 유리하다.

본 연구에서 개발한 펄스전원장치^[6]는 직류전압(DC60kV 800mA) 발생회로와 펄스전압(70kV, 400mA) 발생회로로 분리되는 2_전원법으로 구성되어 있다.

직류전압 발생회로는 3상 위상제어 회로 및 초고압 변압기를 통해 0~60kV의 직류전압을 발생하고 펄스전압 발생회로는 위상제어회로와 고압 변압기를 통해 0~5kV를 출력하는 정류 회로와 공진형 인버터 및 초고압 스위치로 구성되어 고주파 공진형 인버터 방식에 의해 0~70kV의 펄스전압을 발생시키는 방식이다.

전기집진기 전원장치의 상용화에서 가장 중요한 요소는 전기집진기 내에서 발생하는 스파크에 대한 대처 능력으로 위의 펄스전원장치를 250MW급 동해화력 발전소의 전기집진기에 적용하여 스파크 발생 시에 보호회로의 적절한 대처능력 및 스파크에 의한 전압 서어지가 제어회로에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 초고압 마이크로 펄스 전원 장치 구성

시운전용 펄스전원장치는 그림 1과 같이 직류전압(DC60kV 800mA) 발생회로와 펄스전압(70kV, 400mA) 발생회로로 분리되는 2_전원법으로 구성되어 있다. 그림1은 시운전에 사용한 펄스전원장치의 주 회로도이다.

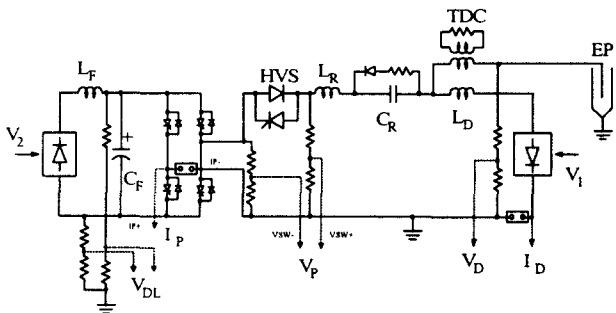


그림 1. 초고압 마이크로 펄스 전원장치의 주 회로도

직류전압 발생회로는 3상 위상제어 회로 및 초고압 변압기를 통해 0~60kV의 직류전압(V₁)을 발생하고 그림 1의 L_D는 블로킹 인덕터로 필터 기능 및 스파크 발생 시에 서어지 전류의 급격한 상승을 완화시켜 위상제어 회로 및 고압 변압

기를 보호하고 펄스전원과 직류전원을 전기적으로 분리하는 인덕터이다. L_D는 스파크가 발생한 후 스위치가 차단되는 기간에 전류의 최대치를 정해진 값으로 제한할 수 있도록 설계한다.

펄스전압 발생회로는 위상제어회로와 고압 변압기를 통해 0~5kV를 출력하는 정류 회로와 공진형 인버터 및 고압스위치로 구성된다. 고주파 공진형 인버터 방식에 의해 0~70kV의 펄스전압을 발생시키는 방식으로 시스템을 소형·경량화할 수 있으며 고압스위치를 영전류에서 스위칭하므로써 스위칭 손실을 저감하여 장치의 효율 증대 및 제작 가격을 낮출 수 있는 방식을 채택하였다.

펄스전압 발생회로의 L_F는 필터 기능 및 스파크 발생 시에 위상제어 회로 및 고압 변압기를 보호하는 인덕터로 L_D의 설계 기준과 필터 기능을 위한 필터 계수도 함께 설계한다.

정류용 캐패시터 C_F는 필터 계수 및 공진캐패시터(C_R)와 공진 인덕터(L_R)의 공진에 미치는 영향이 최소화되는 순수한 전압원으로 작용하도록 캐패시터 용량을 설정하였으며, 공진캐패시터(C_R)와 공진 인덕터(L_R)는 전기집진기(EP)에 인가되는 펄스전압의 폭과 펄스 전류의 크기를 고려하고 EP의 펄스 전압이 공진캐패시터(C_R) 전압의 두 배인 70kV가 되도록 공진캐패시터(C_R)와 공진 인덕터(L_R)의 정격을 설계하였다.

초고압 스위치(HVS)는 싸이리스터와 다이오드가 역병렬로 연결된 주 스위치, 스너버 회로, BOD(BreakOver Diode)로 구성된 TDS(Thyristor Diode Switch)모듈을 설계하고 전압 정격에 맞도록 100개를 직렬로 연결하였다. 직렬로 연결된 TDS 모듈들을 동시에 점호될 수 있도록 점호신호의 동기를 일치시키고 제어회로와 절연을 시키기 위해 원형 펄스 변압기를 이용한 구동회로를 설계, 제작하였다.^[7] 인버터는 BOD만 제거된 TDS 모듈을 전압 정격에 맞게 직렬로 구성하였다.

직류전압(V_D), 펄스 전압(V_F), 인버터 입력직류전압(V_{DL})은 다수의 저항과 캐패시터를 이용한 측정회로를 구성하여 제어회로에 입력시킨다. 또한, 집진기 전류(I_D) 및 펄스 전류(I_F)는 주회로에 직렬로 저항을 삽입하여 측정된 전압을 제어회로에 입력시킨다. 제어회로와 측정회로는 광에 의해 절연된다.

그림 1에서 C_R에 병렬로 연결된 저항, 다이오드 및 캐패시터로 이루어진 크로우바 회로가 필요하다. 스파크가 발생하면 서어지 전류에 의해 C_R가 역방향으로 전압이 충전되고 모든 스위칭 동작이 정지된 상태에서 정상상태와는 반대의 극성으로 충전된 상태로 있게되어 C_R의 수명에 치명적인 영향을 미치게 된다. 그러므로 이 회로에 의해 방전 경로를 구성해 주무로서 스파크에 의한 서어지 전류로부터 C_R 및 시스템을 보호한다. 또한 스파크 발생 시에 발생하는 서어지 성분이 입력측 회로에 미치는 영향을 감쇄시키기 위하여 TDC(Transient Damping Coil) 회로가 필요하다. 이 회로는 변압기와 2차측에 순저항으로 구성되며 서어지 용량을 고려하여 공심형 변압기를 설계 제작하였다. 그림 2는 시운전용으로 제작 중인 고압 탱크의 내부 사진이다.

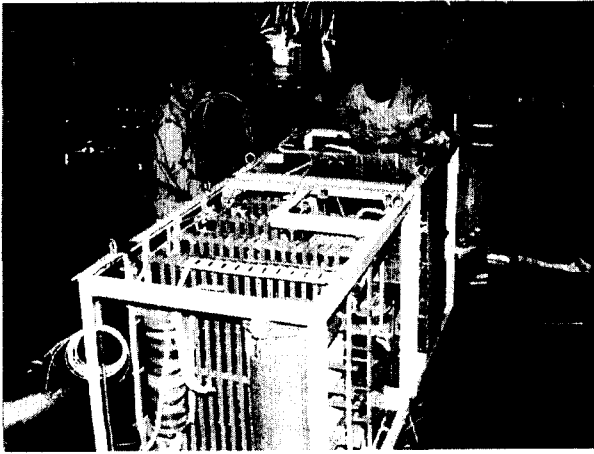


그림 2 . 초고압 마이크로 펄스 전원장치의 탱크 내부

3. 펄스전압 발생원리

직류전압은 3상 위상제어회로와 초고압 변압기에 의해 제어된 전압(V_1)이 다이오드 정류회로와 L_D 를 통해 전기집진기 EP에 인가된다. 펄스전압은 3상 위상제어회로와 고압 변압기에 의해 제어된 전압(V_2)이 다이오드 정류회로, L_F 및 C_F 에 의해 평활된 직류전압이 인버터에 공급된다. 이 전압은 인버터, HVS, L_R 및 C_R 에 의한 고주파 공진 방식에 의해 전기집진기에 펄스전압을 인가한다. 펄스전압은 2~200Hz의 범위에서 정해진 빈도로 인가된다. 펄스전압을 발생시키는 방법은 그림 3의 주회로의 동작 원리 및 펄스 파형을 통해 자세히 설명한다.

그림 3.에서 (a)는 인버터의 T1, T2, HVS의 싸이리스터가 도통되어 전기집진기의 전압이 상승하는 모드이고, (b)는 LC 공진회로에 의해 전류의 흐름이 역전되어 각각의 스위치에 병렬로 연결된 다이오드를 통해 전류가 흐르는 모드이며, (c)는 인버터의 T3, T4가 도통되어 정상적인 역전류가 흐르는 모드이다. (d)는 위의 각 모드에서 전기집진기에 걸리는 전압 및 전기집진기에 흐르는 전류 파형을 나타낸다.

그림 3.(d)에서 $t=t_0$ 순간에 그림 1의 인버터 스위치 T1, T2 및 HVS를 도통시키면 그림 3.(a)와 같이 회로가 구성되어 그림 3.(d)처럼 전류($I_P(t)$)가 흐르기 시작하며 전기집진기에 펄스전압($V_{EP}(t)$)이 인가되기 시작한다. 전류의 흐름이 부가되는 시점 $t=t_1$ 에서 전류는 반대로 흐르며 그림 3.(b)와 같이 회로가 구성된다.

$t=t_1 \sim t_2$ 사이에는 C_R 와 L_R 에 축적된 에너지가 C_F 에 되돌려지고 있어 이 기간이 긴 경우 원하는 펄스전압에 도달하는 시간이 늦어지거나 도달할 수 없게 된다. $t=t_2$ 에서 T3, T4 싸이리스터가 켜지고 그림 3.(c)와 같은 회로가 구성되어 C_F 의 에너지가 C_R 와 L_R 에 전달되게 된다. $t=t_3$ 시점에서 HVS의 싸이리스터와 다이오드는 모두 꺼진 상태로 되어 한 개의 펄스 발생 주기가 끝나게 된다. 이 회로에서 인버터의 입력 C_F 의 전압은 최대 5kV이며 그림 3의 $t_0 \sim t_1$, $t_2 \sim t_3$ 구간에서 공진캐패시터에 에너지를 공급하므로써 집진기의 전압은 70kV까지 상승시킬 수 있으며 인버터에 인가되는 전압을 제어하므로써

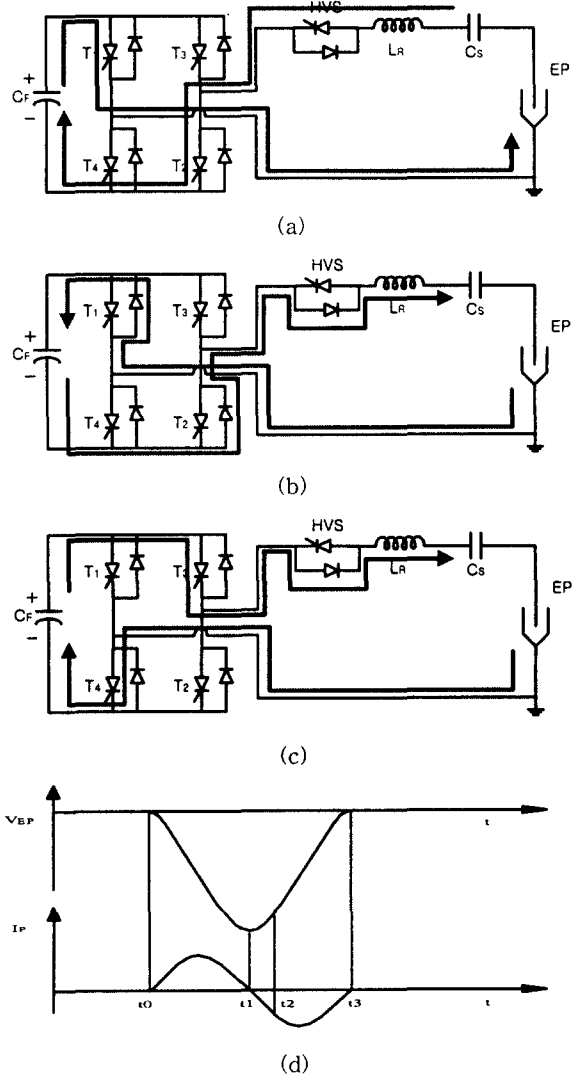


그림 3. 주회로의 동작 원리 및 펄스 파형

전기집진기에 인가되는 펄스전압의 크기를 제어할 수 있다. 원하는 전압까지 상승시키기 위해서는 그림 4에서처럼 위와 같은 과정이 반복됨에 따라 집진기 전압은 인버터의 직류전압만큼씩 상승하며 인버터에서 공급하는 에너지와 전기집진기에서 소모되는 에너지가 동일한 시점에서 평형이 이루어지게 된다.

그림 4는 펄스전압 발생장치의 전압 상승 원리를 설명하는 그림으로 상단 파형은 T1, T2, HVS의 트리거 신호와 T3, T4 트리거 신호가 교번해서 4회 반복되는 파형이고, 중단 파형은 전기집진기를 통해 흐르는 전류 파형이며, 하단은 전기집진기에 인가되는 파형이다. 그림 4에 보이는 것처럼 펄스전압 발생장치가 처음 동작을 시작할 때는 전기집진기에 걸리는 전압은 C_F 에 걸린 전압과 동일하며 그림 3의 동작이 반복됨에 따라 전기집진기의 전압 및 전류는 증가하게 되며 공급에너지와 소모에너지가 동일한 안정 상태에 도달하면 전기집진기의 전압 및 전류는 일정하게 된다. 그러므로 펄스용 변압기 및 인버터부의 전압은 전기집진기의 전압보다 상대적으로 낮게 구성할 수 있어 타 방식의 펄스전원장치에 비해 크기 및 유지보수에 유리하다.

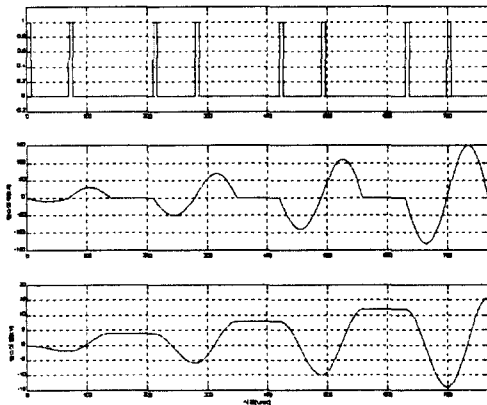


그림 4. 과도 상태에서의 펄스 전압, 전류 파형

정상상태에서 펄스 발생 원리는 다음과 같다. 그림 3에서 L_R 과 선로의 인덕턴스 합을 L 로 하고 인버터의 C_F, C_R 및 전기집진기의 등가 정전용량(C_{EP})의 직렬합을 C 로 한다. 정상상태에서 또한 펄스전류 $I_p(t)$ 와 등가 정전용량(C)에 걸리는 전압 $V_C(t)$ 의 초기값은 각각 $I_p(t_0) = 0, V_C(t_0) = 0$ 이라고 하고 그림 3.(a)의 회로가 형성되면, 이 때 $I_p(t)$ 와 $V_C(t)$ 는 아래와 같다.

$$I_p(t) = \frac{-V_{CF}}{\rho} \sin \omega_0 t \quad (1)$$

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t I_p(t) dt = V_{CF}(1 - \cos \omega_0 t) \quad (2)$$

여기서, $\rho = \sqrt{LC}$ 이고, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 이다.

$t = t_1 \sim t_3$ 구간에서 수식을 간단히 하기 위해 $t_1 \sim t_2$ 구간을 영으로 하면 $I_p(t_2) = 0$ 이 되고, $V_C(t_2) = 2V_{CF}$ 로 되며 그림 3.(c)의 회로가 형성되어 이 구간에서 $I_p(t)$ 와 $V_C(t)$ 는

$$I_p(t) = \frac{V_{CF} + V_C(t_2)}{\rho} \sin \omega_0 t = \frac{3V_{CF}}{\rho} \sin \omega_0 t \quad (3)$$

$$V_C(t) = V_C(t_2) - \frac{1}{C} \int_{t_2}^t I_p(t) dt = 2V_{CF} - 3V_{CF}(1 - \cos \omega_0 t) \quad (4)$$

이고, $t = t_3$ 지점에서 $I_p(t_3) = 0$ 이고, $V_C(t_3) = -4V_{CF}$ 이다.

이후, 다시 $t = t_0 \sim t_3$ 가 반복되면 $I_p(t_0) = 0$ 이고, $V_C(t_0) = -4V_{CF}$ 이며 $t = t_0 \sim t_1$ 구간에서 $I_p(t)$ 와 $V_C(t)$ 는

$$I_p(t) = \frac{-V_{CF} - V_C(t_0)}{\rho} \sin \omega_0 t = \frac{-5V_{CF}}{\rho} \sin \omega_0 t \quad (5)$$

$$V_C(t) = V_C(t_0) - \frac{1}{C} \int_{t_0}^t I_p(t) dt = -4V_{CF} + 5V_{CF}(1 - \cos \omega_0 t) \quad (6)$$

이고, $t = t_2$ 지점에서 $I_p(t_2) = 0$ 이고, $V_C(t_2) = 6V_{CF}$ 이다.

$t = t_2 \sim t_3$ 구간에서 전류는 다시 반전되고, 이 구간에서 $I_p(t)$ 와 $V_C(t)$ 는

$$I_p(t) = \frac{V_{CF} + V_C(t_2)}{\rho} \sin \omega_0 t = \frac{7V_{CF}}{\rho} \sin \omega_0 t \quad (7)$$

$$V_C(t) = V_C(t_2) - \frac{1}{C} \int_{t_2}^t I_p(t) dt = 6V_{CF} - 7V_{CF}(1 - \cos \omega_0 t) \quad (8)$$

이고, $t = t_3$ 지점에서 $I_p(t_3) = 0$ 이고, $V_C(t_3) = -8V_{CF}$ 로 된다. 식(3~8)에 보이는 것처럼 $I_p(t)$ 와 $V_C(t)$ 는 공진이 반복됨에 따라 $I_p(t)$ 는 $\frac{2V_{CF}}{\rho}$ 만큼, $V_C(t)$ 는 와 $2V_{CF}$ 만큼 증가한다. 그러나 스위치의 도통 저항과 선로저항 등을 모두 더한 저항(R_1), 전기집진기의 등가저항(R_2)를 고려하고 공진회로가 정상 상태에 도달한 것으로 가정하면

$$I_p(s) = \frac{V_{ab}(s)(Cs + 1)}{R_2CLs^2 + (R_1R_2C + L)s + R_1 + R_2} \quad (9)$$

$$V_C(s) = \frac{V_{ab}(s)}{CLs^2 + (R_1C + L/R_2)s + (R_1 + R_2)/R_2} \quad (10)$$

이다. 여기서 $V_{ab}(t) = -V_{CF} \sin \omega_0 t$ 는 인버터의 출력측 전압이다. 이 때 스위칭 주파수 $\omega_0 = \sqrt{\frac{R_1 + R_2}{R_2LC}}$ 이며, 정상상태에서 $V_C(t)$ 의 최대값은

$$V_{C,max}(t) = V_{ab}(t) \frac{R_2\rho}{\rho^2 + R_1R_2} = K \cdot V_{ab}(t) \quad (11)$$

으로 제한된다. 따라서, 과도상태에서 공진 캐패시터에 걸리는 전압,

$$V_C(t) = (1 - e^{-at}) \cos \omega_0 t \quad (12)$$

이며, $a = \frac{1}{2}(\frac{R_1}{L} + \frac{1}{R_2C})$ [1/s] 이다.

4. 실증 시험

시운전용 펄스전원장치는 동해 화력 발전소의 전기집진기에 설치, 시험하였다. 동해화력발전소는 250MW급 발전소로 전기집진기는 2실 5챔버로 10대의 간헐하전방식의 전원장치가 설치되어 있다. 총 집진 면적은 43.848m², 집진판 길이는 18m, 동해화력발전소 1호기의 전기집진기는 250MW 발전기 보일러에 설치되어 있으며 2실 5챔버로 10대의 간헐하전방식의 전원장치가 설치되어 있다. 총 집진 면적은 43.848m²이며 집진판의 길이는 18m, 집진판 간격은 300mm이며 앞쪽 3대의 챔버는 일반형 전기집진기, 뒤쪽 2대의 챔버는 이동전극형 전기집진기가 설치되어 있다. 시운전용 펄스전원장치는 1실의 1번 챔버와 2실의 2번 챔버에 2대를 설치, 운영하고 있다.

전기집진기 전원장치의 상용화에서 가장 중요한 요소는 전기집진기 내에서 발생하는 스파크에 대한 대처 능력으로 본 시험을 통해 시운전용 펄스전원장치의 스파크 발생시 대처능력 및 스파크에 의한 전압 서어지가 제어회로에 미치는 영향을 분석하였다.

전기집진기는 분진을 효과적으로 포집하기 위해 분진의 이온화를 극대화시켜야 한다. 이를 위해서는 최대한의 에너지가 전기집진기에 유입될 수 있도록 가능한 한 전압 또는 전류를 상승시켜야 한다. 이때, 최대 에너지가 전기집진기에 유입되는 시점은 전기집진기 내부에서 스파크의 발생 직전이

된다. 그러므로 최대에너지를 전기집진기에 유입시키기 위해서는 전기집진기 내부에서 스파크가 발생하는 것은 필연적이다. 그러나 스파크가 발생하면 집진기의 집진극과 집진판은 단락상태로 되어 서어지 전류가 흐르게 되고 이로 인해 그림 1의 C_R 및 HVS에 치명적인 해를 줄 수 있으므로 크로우바 회로, TDC 회로와 같은 보호회로 및 아래 설명된 제어회로에 의한 보호가 필요하게 된다.

스파크는 직류 저압에 의한 직류 스파크와 펄스 전압에 의한 펄스 스파크로 나눌 수 있다.

보통 펄스 스파크는 펄스전압의 정점 근처에서 발생하는데 이 지점은 그림 3.(a)에서 그림 3.(b)의 회로가 형성되는 시점 즉, HVS의 싸이리스터 스위치로 흐르던 전류가 다이오드를 통해 흐르도록 전류가 역전되는 시점이다. 이때 스파크가 발생되면 전기집진기 출력은 단락되고 공진형 캐패시터 전압이 역전되며 전류는 계속해서 HVS의 싸이리스터 스위치로 흐르려 한다. 그런데 이 시점은 HVS의 싸이리스터 스위치가 차단되는 시점이거나 차단된 직후로 HVS의 싸이리스터 스위치가 재도통되지 않는 경우 싸이리스터 스위치가 파손되는 고장을 유발하게 한다. 그러므로 그림 5(2번 채널 파형)에서처럼 싸이리스터가 꺼지는 시점(그림 3.(d)의 t_1 직전)에서 싸이리스터에 재점호 신호를 주어 스파크가 발생해도 자연스럽게 싸이리스터 스위치가 도통되게 하여 싸이리스터 스위치를 보호해야 한다. 그림 5는 정상운전 중에 전기집진기에 인가되는 펄스 전압 파형(4번 채널), 인버터 스위치 T_1 , T_2 의 점호신호(3번 채널), 인버터 스위치 T_3 , T_4 의 점호신호(1번 채널) 및 HVS의 싸이리스터 스위치 점호신호(2번 채널)이다. 그림 5(2번 채널 파형)에서 HVS의 싸이리스터 스위치는 그림 3.(d)의 t_1 직전에서 재점호 신호가 인가됨을 볼 수 있으며 이러한 재점호 신호에 의해 그림 6에서 처럼 펄스 스파크 발생해도 HVS의 싸이리스터 스위치가 도통되어 스파크에 의한 서어지 전류로부터 시스템을 보호할 수 있게 한다. 그림 6에서 스파크 발생 시에 전기집진기 전압이 부전압 최대에서 영전압으로 급격하게 변동되고, 이때 전류는 HVS의 싸이리스터 스위치를 통해 양전류가 흐름을 확인할 수 있다. 그리고, 펄스 스파크에 의해 발생된 서어지 전류는 TDC(Transient Damp Coil)에 의해 소멸시키며, 펄스 스파크 발생 시는 하전의 일시중지, 펄스 전압 크기 및 펄스 발생 빈도를 정해진 값만큼 떨어뜨린다.

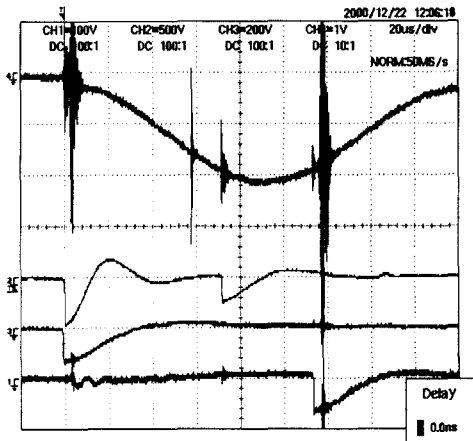


그림 5. 각각의 스위치 점호 신호 및 펄스 전압 파형

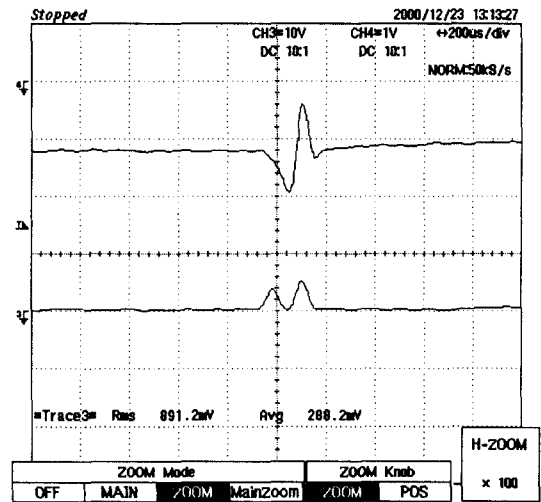


그림 6. 펄스 스파크 발생 시의 펄스 전압 및 전류 파형

그림 6에서 4번 채널 파형은 스파크가 발생하는 시점에서 전기집진기에 인가되는 전압을 센서를 통해 검지한 전압이며, 3번 채널 파형은 전기집진기를 통해 흐르는 펄스 전류 파형이다.

또한, 직류스파크가 발생하면 HVS에 걸리는 전압은 최대 130kV까지 상승할 수 있으며 HVS 내의 과전압 보호회로에 의해 스위치들이 보호되며 크로우바 회로에 의해 스파크에 의한 서어지 에너지가 소모되며, 그림 7과 같이 전원장치는 하전을 일시적으로 중지(8.3msec~83msec)하여 서어지 전류에 의한 과도 에너지를 소멸시킨 후 단계적으로 지령치를 미리 설정된 값까지 상승시킨다. 그림 7에서 4번 채널 파형은 전기집진기의 전압 파형으로 스파크 검지에 이용되는 신호이고 2번 채널 파형은 직류하전 지령치로 스파크 발생시에 직류하전 지령치가 서서히 상승되는 것을 보여주고 있다.

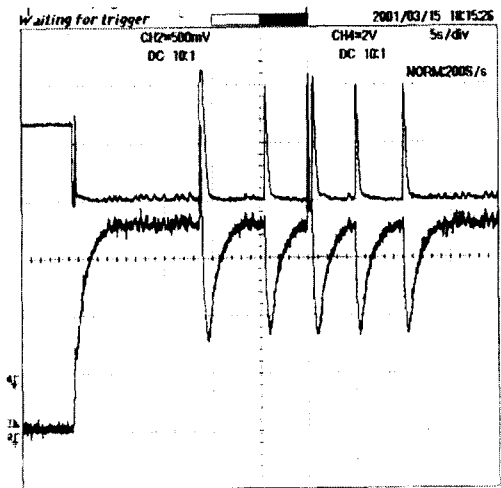


그림 7. 스파크 발생 직류 하전 지령치 파형

그림 8은 시운전용 펄스전원장치로 전기집진기에 하전하고 있는 전압, 전류 파형으로 (a)는 직류하전 시(채널 3 : 전압, 채널 4 : 전류), (b)는 펄스하전시(채널 3 : 전압, 채널 4 : 전

류), (c)는 직류+펄스하전 시(채널 3 : 전압, 채널 4 : 전류)의 전압, 전류 파형이다. 펄스 전압의 폭은 (b)에 보이는 것처럼 약 180 μ s이며, (c)에서 펄스 인가 주기는 20pps이다.

5. 결 론

본 연구에서는 한국전기연구원과 두산 중공업(주)에서 공동 개발한 전기집진기용 펄스전원장치를 통해 화력 발전소에 설치하여 현장시험을 실시하였다.

개발된 펄스전원장치^[6]는 직류전압(DC60kV 800mA) 발생회로와 펄스전압(70kV, 400mA) 발생회로로 분리되는 2_전원 방법으로 구성되어 있다.

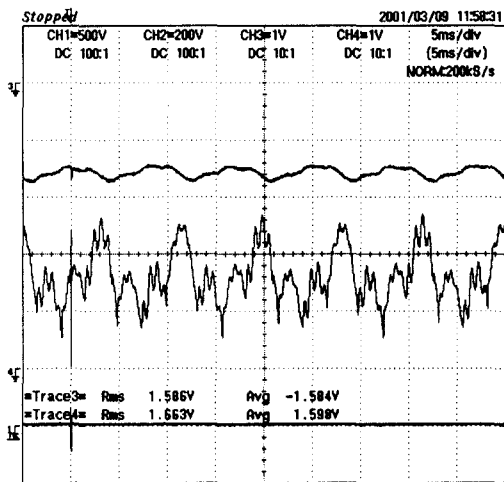
직류전압 발생회로는 3상 위상제어 회로 및 초고압 변압기를 통해 0~60kV의 직류전압을 발생하고 펄스전압 발생회로는 위상제어회로와 고압 변압기를 통해 0~5kV를 출력하는 정류 회로와 공진형 인버터 및 초고압 스위치로 구성되어 고주파 공진형 인버터 방식에 의해 0~70kV의 펄스전압을 발생시키는 방식이다. 이 방식은 인버터부와 공진회로를 이용한 펄스 성형(Pulse Forming)부로 구성되어 집진기내에서 소모되는 유효전력 만을 공급하고 잉여에너지는 공진회로의 캐패시터에 회수(Recovery)되는 특성을 가진 방식으로 전기집진기의 소모전력을 최소화할 수 있는 방식이다. 따라서, 펄스 변압기 방식^[8]이나 고전압 직접 스위칭 방식^[9]에 비해 고효율인 펄스전원 장치를 구성할 수 있을 것으로 기대된다.

개발된 펄스 전원장치의 현장 시험을 통해 전기집진기 내부에서 스파크가 발생해도 스파크 보호회로의 적절한 동작에 의해 펄스전원장치가 정상적으로 동작됨을 확인하였으며 상용화 가능성을 입증하였다.

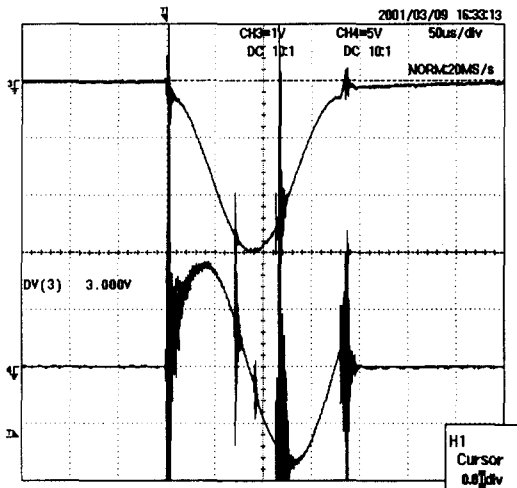
향후, 개발된 펄스전원장치의 다양한 성능시험을 통해 다른 방식의 전기집진기용 전원장치와 제성능의 비교 실험이 필요하며, 개발된 펄스전원장치의 소형화 및 저가화를 위한 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

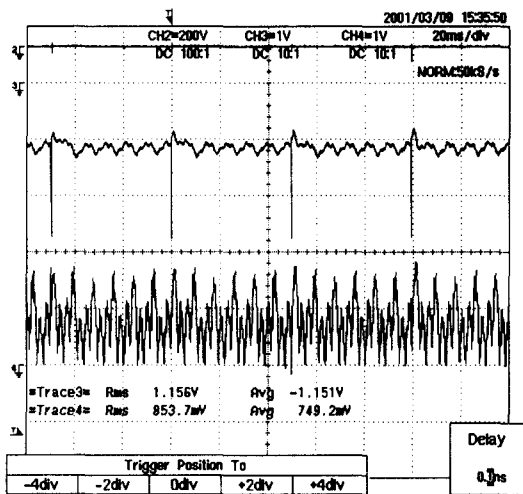
- [1] Misaka,T., Akasaka, A. et al, "Electrostatic Precipitator Combined Pulse Charging Section with Moving Electrode Section for High Resistivity Dust", Proc. of 6th Asian Conf. on Electrical Discharge, Oita, Japan, PP. 45-50, 1996.
- [2] G.H Rim, W.H.Kim, J.S.Kim, et al "A Semi-Pulse Power Supply for Wide Pitch Electrostatic Precipitators on a 500MW Power Plant", Proceedings of ICPE '95. 1995.
- [3] 김종수의 6인. "펄스하전 방식에 의한 전기집진 장치 성능 개선", 하계학술대회. pp2243 ~ 2245, 1997. 7.
- [4] "Pulse 하전식 전원장치 개발" 보고서, 한국중공업, 1992. 11. ~ 1995. 11.
- [5] 화력 원자력 발전 기술 협회, "화력발전소 환경 보전 기술 설비", Vol. 41, No. 6, PP779-794, 1990.
- [6] "Micro-Pulse 하전식 EP용 초고압 전원장치 개발" 보고서, 한국중공업, 1995. 11. ~ 1998. 11.
- [7] W.H.Kim, I. Kang, J.S.Kim, et al "A Gate Driver for High Voltage Thyristor Diode Switch", Proc., ICPE '98, Seoul, PP 855-858, 1998.
- [8] Hiriyuki Katayama, et al "Electrostatic Precipitators Technology with New Energization System", Mitsubishi



(a) 직류 하전(ch3:20kV/div, ch4:500mA/div)



(b) 펄스 하전(ch3:20kV/div, ch4:100A/div)



(c) 직류 하전 + 펄스 하전(ch3:20kV/div, ch4:500mA/div)

그림 8. 정상운전 시의 펄스전원장치의 전압, 전류 파형

Heavy Industries, Ltd. Technology Review Vol.32 No. 1(Feb. 1995)

[9] 서경원, 이영신, 이정석, 채재우, "중첩펄스 전기집진기의 전력 및 집진 특성", Trans. KIEE. Vol. 49C, NO. 3, MAR. 2000.

저 자 소 개



김 종 수 (金 鍾 洙)

저1959년 12월 26일 생. 1982년 서울대 공과대학 전기공학과 졸업. 1991년 경남대 공과대학 전기공학과 졸업(석사). 1999년 경남대 공과대 전기공학과 졸업(공박). 1982년~현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전기물리연구 그룹 책임연구원.



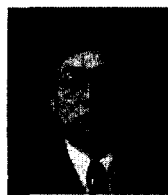
김 승 민 (金 承 敏)

1970년 11월 15일 생. 1996년 경북대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1998). 1998년~현재 두산중공업 기술연구원 시스템 진단제어 연구팀 주임연구원



임 근 희 (林 根 熙)

1955년 10월 7일 생. 1978년 서울대 전기공학과. 1988년 미국 Virginia Polytech Institute & State University 전력전자(석사). 1992년 동대학 전력전자(공박). 1978년~현재 한국전기연구원 산업전기연구단장 (책임연구원). 1998~현재 IEEE Paper referee Transaction on IA, and PE



조 창 호 (曹 昌 鎬)

1953년 2월 6일 생. 1975년 고려대 기계공학과 졸업. New Jersey Institute of Technology 석사(1986). Univ. of Iowa 박사(1990). 1975년~1982년 국방과학연구소. 1992년~현재 두산중공업 기술연구원 시스템 진단제어 연구팀 수석연구원



이 성 진 (李 星 眞)

1967년 1월 7일 생. 1989년 부산대 전자공학과 졸업. 동대학원 메카트로닉스협동과정 재학 중. 1991년~1999년 삼성중공업 기전연구소. 2000년~현재 두산중공업 기술연구원 시스템 진단제어 연구팀 선임연구원