

슬러지 전처리 공정을 위한 고전압 펄스 전원시스템의 개발

박 상욱* 이 경태, 손 병학,
동아테크(주)

Development of a High Voltage Pulse Generator to Process of Underwater

Park Sang Wook*, Lee Kyung Tac, Son Byung Hak,
DongA Tech. Co. Ltd.

Abstract - 폐수에서 발생하는 슬러지(Sludge)의 효과적 인 처리를 위한 전기적 충격파를 발생시키는 장치로 고전압 펄스 전원 시스템을 제작하였다. 제작한 고전압 펄스 전원 시스템의 제원은 최대 출력 전압 60 kV, 최대 반복 주파수 500 Hz 이며, 한 펄스 당 최대 출력 에너지는 20 J 이다.

1. 서 론

혐기성 소화는 유기물을 혐기성 조건에서 유기산과 메탄균에 의해 유기물을 소화하여 유용한 가스인 메탄과 수소로 변환하여 처리하는 방법이다. 이러한 혐기성 소화에 있어 많은 부분을 차지하고 있는 활성슬러지는 혐기성균에 의한 분해가 부분적으로 이루어짐에 따라 처리 효율이 떨어지는 원인이 되고 있다. 따라서 이러한 활성슬러지를 펄스 고전압을 가하여 처리를 하게 되면 shock wave, ultraviolet radiation, high electric fields와 화학적으로 생물세포에 작용하는 라디칼의 형성 등으로 처리효율이 올라갈 수 있다. 이러한 처리효율의 증대와 경제성을 알아보기 위해서 실험규모의 실험이 진행되어져 왔으며, 이에 대한 가능성이 입증되었다. 이러한 처리의 pilot 실험을 위해서는 실험실 규모를 벗어난 보다 높은 에너지를 공급할 수 있는 펄스전원시스템이 필요하다.

이 고전압 펄스 전원장치는 슬러지 전처리 반응기에 최대 20 J/pulse를 공급할 수 있는 평균출력 10 kW급 펄스전원장치와 이를 제어하기 위한 제어시스템으로 구성된다. 이 두 개의 시스템은 각각의 별개의 구성되어 구분되어져 있다. 정상조업 중에는 항상 최적의 운전상태를 유지하여야 하며 운전실에서 제어와 감시가 가능하도록 제작하였다.

2. 본 론

2.1 고전압 펄스 전원 시스템 사양

펄스전원시스템은 슬러지 전처리를 위한 반응기에 평균출력 10 kW를 공급한다. 펄스 폭(FWHM)이 약 600 ns 정도이고, 최대 첨두 펄스전압이 60 kV, 최대 첨두 펄스전류가 1.8 kA인 대출력 펄스를 발생시킬 수 있으며, 최대 500 Hz의 주파수로 6개월 이상 연속운전(1×10¹⁰ 펄스)이 가능하여야 한다.

이 설비는 펄스 당 20 J을 공급할 수 있도록 설계되었으며, 주요한 상세 사양은 다음과 같다.

- Input power voltage 3 Phase, 380 VAC
- Control voltage Single, 120 VAC
- Primary voltage 20 kV max.
- Secondary output voltage 60 kV max.
- Energy 20 J/pulse max.
- Pulse repetition rate 500 Hz max.

2.1.1 펄스 전원 시스템

펄스 발생기는 기본적으로 콘덴서 충전을 위한 직류 고전압 발생 회로, 펄스 반생을 위한 초기 충전 스위치 회로와 펄스 증압회로로 구성된다. 직류 고전압 회로는 +20 kV, 10 kW 용량의 정전류형 인버터 전원을 사용하였다. 초기 충전 스위치는 스위치의 수명을 고려하여 대전류 고속 스위칭이 가능한 thyatron을 사용하였는데, 이 스위치는 군사용으로 개발되어, 현재 널리 이용되고 있으며, 가속기연구소에서의 경험을 통해 안정적이고 우수한 스위치로서 확인이 된 바 있다.

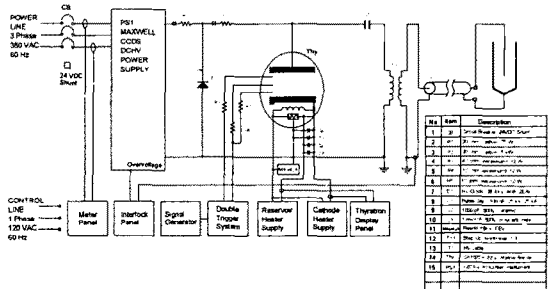


그림 1. 고전압 펄스 전원장치의 회로도

(1) 직류 고전압 전원 장치

고전압 펄스 전원장치에 사용되어진 전원 장치는 미국 General Atomics사의 20 kV, 10 kJ 용량의 콘덴서 충전용 고전압 인버터 전원으로 이 전원장치의 상세 사양은 다음과 같다.

- Input voltage 3 phase 380 VAC
- Output voltage 20 kV max.
- Output power 10 kJ/sec
- Polarity Positive
- Efficiency > 90 %
- Regulation 0.1 % for 2 kHz rep-rate or less
- Protection Over-voltage

만약 좀더 높은 전원 용량이 필요할 때면, 상기의 전원장치를 병렬로 연결하여 용량을 증가시킬 수 있으며, 이에 대비한 충분한 주 캐비넷 공간 확보를 고려해서 설계하였다.

(2) 고전압 스위치

고전압 스위치로 쓰일 싸이라트론 스위치는 고압 운전에서의 가장 중요한 요소로써, 적정 스위치 선정시 신중

안 선택을 해야 하는 민감한 부분이다. 현재 이 시스템에서 사용되어진 스위치는 EEV사의 CX1625AX 싸이라트론인 Hollow Anode, Metal/Ceramic Pentode 타입으로, 일반적인 싸이라트론이 단방향성 스위치인데 반해, CX1625AX 싸이라트론은 양방향성 스위치로 역전류도 흘릴 수 있는 Hollow Anode를 가지고 있다. 또한 앞서 말한 인버터 전원장치의 추가로 발생하는 입력 전원 증가에 대한 마진도 고려 대상이 되어야 한다. 이 스위치를 사용함으로써 비용면에선 이득이 없을지라도 주 회로를 좀더 간략하게 만들 수 있는 장점이 있으며, 이는 또한 정비와 유지 보수의 유리한 장점이기도 하다.

이 싸이라트론 스위치의 상세 사양은 다음과 같다.

- Model CX1625AX
- Filled gas Deuterium
- Cooling Oil
- Peak forward anode voltage/current 35 kV/15 kA max.
- Peak reverse anode current 10 kA max.
- Voltage/Current reversal >50 %
- Reservoir voltage/current 6.3/7.0 V/A
- Heater voltage/current 6.3/37.5 V/A
- Average anode current 5 A max.
- Rate of rise of current >150 kA/ μ s
- Jitter 1 ns

(3) 펄스 캐패시터

펄스 캐패시터는 미국 CSI사에서 주문 제작하여 예상되는 역전압에도 충분히 견딜 수 있도록 하였으며, 캐패시터의 상세 사양은 아래와 같다.

- Capacitance 50 nF
- Tolerance 5 %
- Rated voltage 25 kV DC
- Peak current 15 kA
- Current RMS 50 A
- Current duty cycle 0.01
- Voltage reversal 90 %
- Ringing frequency 540 kHz
- Maximum inductance < 100 nF
- Design life > 10¹⁰ Shot
- Approx. WT. 20 kg
- Approx. length 82 cm

(4) 펄스 트랜스포머

펄스 트랜스포머는 미국 North-star사에서 주문 제작 사양으로 만들어지며, 이 제품의 상세 사양은 아래와 같다.

- Maximum output voltage 60 kV
- Load capacitance 1000 pF
- Rise-time 500 ns
- Overshoot percentage 5 %
- Operating repetition rate 1000 pps
- Turn ratio 1 : 3

2.2 주 회로 시뮬레이션

설정된 주 파라메타들과 부하 저항인 반응기의 등가 회로를 사용하여 주 회로에 대한 시뮬레이션을 실시한 결과가 그림 2이며, 시뮬레이션 회로도도 이에 따른 입력과 출력에 대한 결과치를 나타내고 있다.

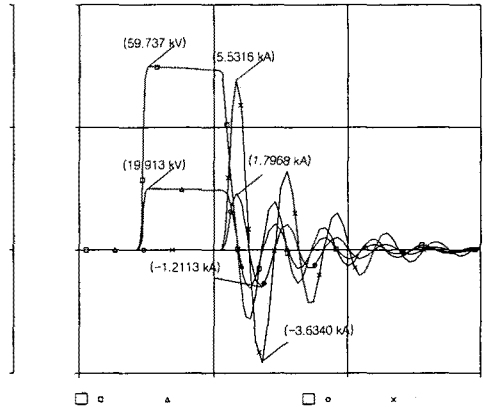
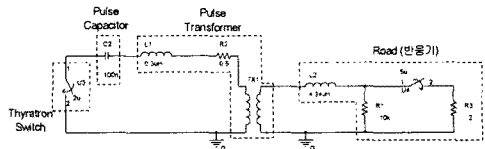


그림 2. 주 회로 시뮬레이션
 입력전압(1차측) = 19.913 kV, 입력전류(1차측) = 5.53 kA
 출력전압(2차측) = 59.737 kV, 출력전류(2차측) = 1.79 kA

2.3 고전압 펄스 전원시스템의 구성

고전압 펄스전원 시스템은 크게 고전압 펄스 발생부분인 고압 펄스 탱크와 이를 제어하는 콘트롤 부분으로 나눌 수 있다.

2.3.1 고압 펄스 탱크

고압 펄스 탱크를 구성하는 주요 부품으로는 펄스 캐패시터, 펄스 트랜스포머, 싸이라트론이 있으며, 그 배치

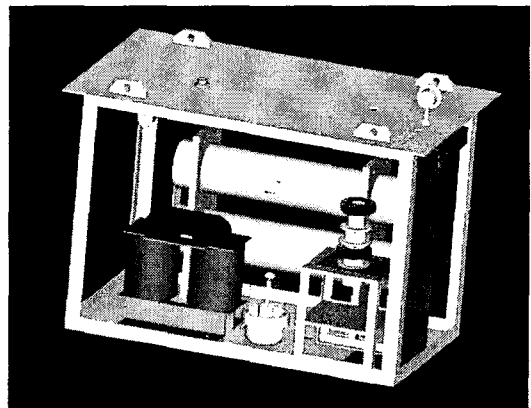


그림 3. 고압 펄스 탱크 조립도

도 및 조립도는 그림 3.과 같다.

탱크 내부는 절연유로 채워져 있으며, 고전압 부품들의 전압 차이에 따른 절연 전압 간격을 상호간 유지할 수 있도록 배치하였다.

2.3.2 19인치 콘트롤 Rack

고압 펄스전원 장치의 입력과 출력의 조정 및 펄스 전원장치의 현 상태를 관찰할 수 있는 부분이 콘트롤 Rack 이다. 콘트롤 Rack은 19인치 Rack안에 구성되어졌

으며, 각 부분의 위치와 구성은 그림 4와 같다.

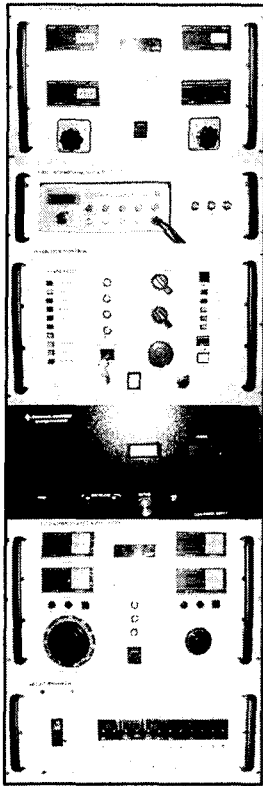


그림 4. 콘트롤 19인치 Rack

- 1) 입/출력 전원 표시기
- 3상 입력전원 및 고압 직류
출력전원의 전압과 전류 표시.
- 2) 운전 주파수 조상기
- 1~500 Hz까지 조상.
- 3) 인터록 표시기(PLC)
- 고압전원장치의 각종 인터록
신호들에 대한 표시.
- 4) 인버터 전원장치
- 고압직류전원 입력 장치.
- 5) 싸이클로트론 히터/레지스터
전원공급 장치
- 싸이클로트론 콘트롤용.
- 6) 입력 전원 차단기
- 19" Rack 구성 부분들의 전원
공급 차단기 설치부.

2.4 개방 시험 및 시운전

구성된 고전압 펄스 발생 장치를 실험하기 위해서 부하측을 개방시킨 개방 시험 및 시운전을 통한 시스템의 부하 능력 시험 및 펄스 트랜스포머의 상태를 점검하였다. 부하는 스파크 갭 스위치를 사용하였다.

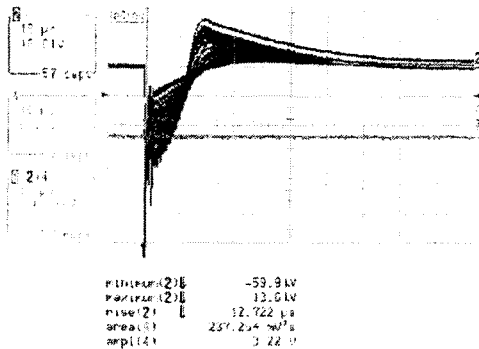


그림 5. 펄스 전원장치의 개방 시험
1차측 입력 전압 = 20 kV
2차측 첨두 출력 전압 = 53.9 kV

그림 5.에서와 같이 부하 개방 시험으로 시스템이 첨두전압 약 60 kV를 이상 없이 잘 견뎌내고 있음을 알 수 있다.

스파크 갭 스위치를 부하로 공기중 방전시험을 실시한 결과가 그림 6.과 그림 7.에 나타나 있다. 그림에서와 같

이 공기중 방전 현상에서는 스파이크상 전압이 많이 발생하는 것으로 확인되어 졌다.

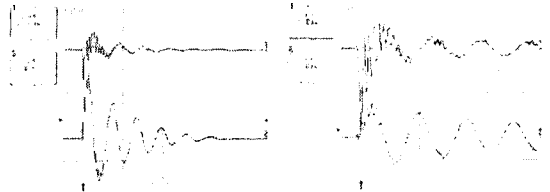


그림 6. 스파크갭을 이용한 출력 시험(500 Hz)
1차측 입력 전압 = 13 kV
2차측 출력 전압 = 39 kV
2차측 출력 전류 = 1.18 kA

그림 7. 스파크갭을 이용한 출력 시험(200 Hz)
1차측 입력 전압 = 17 kV
2차측 출력 전압 = 78 kV
2차측 출력 전류 = 1.56 kA

그림 8.은 출력 시험이 끝난 고압 펄스 전원 장치를 현장에 설치한 모습이다.

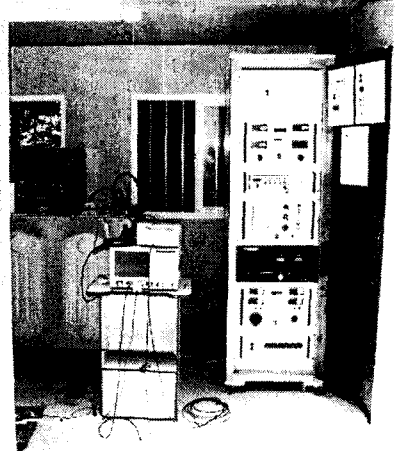


그림 8. 고전압 펄스 전원장치의 현장 설치

3. 결 론

본 (주)동아테크에서는 효과적인 슬러지 전처리를 위하여 최대 첨두 출력 전압 60 kV와 최대 반복 주파수 500 Hz로 한 pulse당 20 J의 에너지를 부하에 발생시킬 수 있는 고전압 펄스전원장치를 개발하여 현재 운전 중에 있다.

앞으로 펄스 트랜스포머 및 여러 가지 주 파라메타들에 대한 성능 개선을 통한 시스템의 업 그레이드로 향상된 부하 처리 능력을 갖는 고전압 펄스 전원 시스템을 지속적으로 발전 시켜갈 계획이다.