

고전압 임펄스를 이용한 용수의 스케일 발생 제어에 관한 연구

정재환*, 김철호*, 이준호*, 김태희**, 장인성***

호서대학교 전기공학과*, 호서대학교 나노바이오트론닉스학과**, 호서대학교 환경공학과***

Study on Scale Control of Hard Water using High Voltage Impulse Generation

Jae-hwan Jung*, Chul-ho Kim*, June-Ho Lee*, Tae-hui Kim**, In-soung***

Dept. of Electrical Eng., Hoseo Univ.,* Dept. of Nanobionics Eng., Hoseo Univ.,**

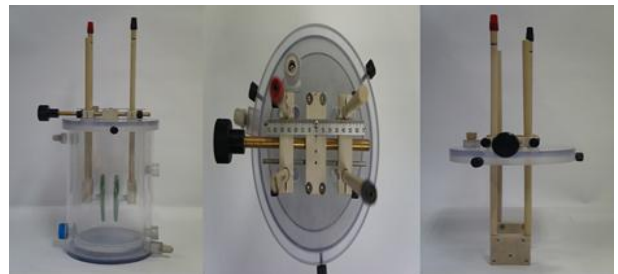
Dept. of Environmental Eng., Hoseo Univ.,***

Abstract - 본 연구는 고전압 임펄스를 이용하여 용수의 스케일 발생 제어가 가능한 조건을 찾는 것을 목표로 하고 있으며 약 100[ppm]의 농도를 갖는 용액을 1[L]제조하여 임펄스 전압 5[kV], 8[kV], 12[kV]를 4시간동안 인가한 회분식 조건의 실험으로써 임펄스 전압의 크기가 증가함에 따라 칼슘이온의 제거율이 8.7[%], 15.6[%], 16.3[%]로 나타났다. 또한 임펄스전압 20[kV]를 20시간동안 인가한 조건에서 칼슘이온의 제거율이 약 50[%]에 도달하였다. 연속식 실험은 회분식 실험과 달리 투입과 배출을 중단 없이 연속적으로 용액을 순환시키는 실험으로써 임펄스 전압이 인가되는 반응기가 수용한 용액에 체류 시간에 따라 칼슘제거율을 비교하였다. 일정시간이 되면 배출되는 용액의 칼슘제거율을 측정하였다. 정량펌프와 정량호스를 이용하여 유량을 8.33[mL/min]으로 조절한 후 임펄스전압 12[kV]를 20시간 인가한 결과 임펄스 전압이 인가되는 반응기내에서 제조된 용액이 체류되는 시간 이후 칼슘제거율이 체류시간에 따라 포화(Saturation)되는 경향을 보였다.

공급통에서 임펄스 전압이 인가되는 반응기를 통과하여 마지막 용액 배출통으로 용액이 흘러가는 구조이다. 공급할 용액을 수용할 수 있는 공급통(Input solution tank)은 50[L]의 용액을 수용할 수 있으며 배출할 용액을 수용할 수 있는 배출통(Out put solution tank) 또한 50[L]의 용액을 수용할 수 있게 제작하여 설치하였다. 용액은 2[L]의 플라스크 용기를 이용하여 칼슘농도가 약 100[ppm]이 되도록 하여, 공급용액의 양을 20[L]로 제조하였다. 일정한 유량으로 공급과 배출시키기 위해 정량펌프(Master Flex L/S)를 사용하였으며, 해당 기기는 RPM 정, 역방향과 유량 속도제어가 가능하며 10~600[RPM]으로 조절이 가능하다. 정량호스(LS/13)를 사용하여 정량적으로 유량을 조절하였다. 실험장치를 도시화시켜 그림 2에 나타내었다.

1. 서 론

최근 안정적인 발전용수를 공급하기 위해서 용수 운전시 배관표면에 발생하는 스케일 형성이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 스케일의 주요 물질은 칼슘카보네이트(CaCO₃)이다. 경수(Hard water)에는 과포화된 상태의 미네랄 이온들이 녹아 있기 때문에 불안정한 상태로 존재하게 된다. 따라서 온도가 높아짐에 따라 이온들의 용해도는 낮아지고 이온이 결정화 되어 배관표면에 스케일을 형성하게 된다. 현재 이러한 스케일을 처리하기 위해 대표적으로 화학적인 방법인 이온교환수지와 물리적 방법인 역삼투법을 적용하고 있다. 하지만 높은 에너지소비와 스케일억제 효율저하, 유지관리 비용의 증가 등 많은 단점을 발생시키고 있다. 따라서 본 연구는 고전압 임펄스(High Voltage Impulse, HVI)를 이용하여 경수 운전에 의해 발생하는 스케일을 제어하는 것에 목표를 두고 있다.[1, 2]

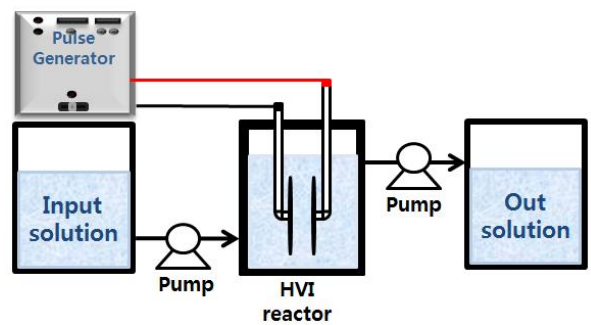


〈그림 1〉 연속식의 고전압 임펄스 인가반응기

2. 본 론

2.1 회분식 실험장치

본 실험에서 사용한 Impulse generator는 임펄스 전압 0~30[kV]주파수 100~300[Hz] 펄스길이[4~40μs]로 조절이 가능하다. 임펄스 전압의 크기는 고전압 프로브(NORTH STAR PVM-6 1000:1)와 오실로스코프(Lecroy 104xi-A)를 이용하여 측정하였다. 반응기의 재질은 아크릴이며, 1.7[L]의 용액을 수용할 수 있으며, 전극 크기는 지름 3.5[mm]인 평판전극을 사용하였다. 전극과 전극의 사이의 간격은 10[mm]로 고정시켜 실험하였다.



〈그림 2〉 연속식 실험장치

2.2 회분식 실험조건

스케일(CaCO₃)을 생성시키기 위한 조건으로 NaHCO₃ 5.0[mM]과 CaCl₂ 2.5[mM]을 1[L]의 초순수에 용해시켜 약 100[ppm]의 농도를 갖는 용액을 제조하였다. 칼슘이온의 양은 이온크로마토그래피로 정량적으로 측정 하였으며, 시간 별로 칼슘이온의 양을 측정하여 감소된 수치를 백분율하여 칼슘이온제거율로 나타내었다. 용액의 순환을 돕기 위해 반응기 하단에 교반기를 설치하고 반응기 내부에 마그네틱 바(Magnetic bar)를 회전시켜 인공적으로 용액을 순환시켰다.

2.3 전극코팅

제조된 용액은 높은 전도도와 고전압 임펄스를 인가하기 때문에 전극의 코팅이 필요로 하였다. 전극을 코팅하지 않은 상태에서 임펄스 전압을 인가하면 높은 전류가 흘러 Breakdown 현상이 발생하여 지속적인 실험에 어려움이 있어 전극을 코팅하였다. 절연재료 중 에폭시는 절연이 우수하고 가공이 용이하기 때문에 몰드형 에폭시를 이용하여 전극을 코팅하였다. 전극 코팅두께를 최대한 얇게 제작해야 했으며, 전극 코팅시 에폭시가 경화될 때 기포가 발생하면 그 부분이 공극이 되어 전계집중 현상이 발생되어 코로나가 발생하였기 때문에 이러한 조건을 만족시키기 위해 코팅을 하기위해서 전극코팅기기를 제작하였다. 전극 코팅기기에 마이크로미터(Micrometer)를 설치하여 정확한 코팅두께를 측정하며 제작하였으며 코팅된 에폭시의 두께는 200~300[μm]이다. 코팅기기를 그림 3에 나타내었다.

2.2.1 연속식 실험조건

연속식 실험에서 사용한 반응기는 회분식 실험에서 사용한 반응기보다 더 많은 용액을 수용하기 위해 크기를 증가시켰다. 반응기의 재질은 폴리카보네이트(Polycarbonate)이며 4[L]의 용액을 수용할 수 있으며 해당 반응기를 그림 1에 나타내었다. 연속식 실험은 회분식 실험과 달리 투입과 배출을 중단없이 연속적으로 진행되는 실험으로써 첫 번째 용액



〈그림 3〉 전극코팅 기기

3. 결 론

실험결과 회분식 실험에서 임펄스 전압의 크기를 5[kV], 8[kV], 12[kV]로 증가함에 따라 칼슘이온 제거율이 8.7[%], 15.6[%], 16.3[%]로 증가하며 임펄스 전압 12[kV]를 20시간 인가할 때 칼슘제거율이 약 50[%]에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 칼슘 이온의 제거율은 임펄스의 전압크기와 시간에 의존하는 것으로 나타났다. 또한 연속식 실험에서는 용액이 이동할 때 임펄스 전압이 인가되는 반응기 내의 체류시간에 따라 칼슘이온제거율이 포화(Saturation)되는 경향을 확인할 수 있었다. 따라서 일정한 임펄스 전압의 인가조건에서 칼슘이온제거율은 용액이 임펄스전압이 인가되는 반응기내의 체류시간에 의존하는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국서부발전(주)의 연구지원으로 수행되었음

[참 고 문 헌]

- [1] Won Tae KIM, Cheolho Bai and Young I. Cho, "A study of CaCO₃ fouling with a microscopic imaging technique," International Journal of Heat and Mass Transfer 45 597-607, 2002
- [2] Leonard D. Tijing, D.H. Lee, D.W. Kim, Y.I Cho, C.S Kim, "Effect of high-frequency electric fields on calcium carbonate scaling", Desalination 279 47-53, 2011.