

PC13) 고전압 펄스 전기장의 인가전압과 온도가 칼슘이온 농도 저감에 미치는 영향에 관한 연구

김담하·김재현¹⁾·장인성

호서대학교 환경공학과, ¹⁾호서대학교 안전환경기술융합학과

1. 서론

탄산칼슘 (CaCO₃)에 기인한 관 내 스케일 형성은 통수능력 및 열교환기의 열전달 효율을 낮추고 불필요한 에너지 소비의 원인이 되며 장비의 유지/관리 비용을 증가시키는 문제점이 있어서 이를 해결하기 위한 다각적인 노력이 꾸준히 수행되고 있다. 최근 고전압 임펄스 (High Voltage Impulse, 이하 HVI) 기술을 이용하여 수중 칼슘이온의 농도를 감소시키는 연구가 진행되고 있다. HVI 기술이란 수 kV의 전압을 μs 이하의 단위로 방전시켜 전기장을 형성시키는 기술로 주로 식품의 비열처리 공정 (Zhao et al., 2013)에 사용되어 왔다.

CaCO₃ 생성반응의 엔탈피 변화량 (ΔH)은 48.26 (kJ/mol) 이며, 자유에너지 (ΔG)는 -47.70 (kJ/mol) 이다. 결국 CaCO₃의 침전반응은 자발적 흡열반응이기 때문에 스케일 형성은 온도에 민감한 영향을 받는다. 그러나 온도가 CaCO₃ 형성에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 편이다. 본 연구에서는 HVI 기술을 이용하여 수중의 Ca²⁺을 CaCO₃로 석출시켜 제어하는 연구를 수행함에 있어서 인가전압과 온도에 따른 Ca²⁺ 농도의 저감 효과를 고찰하였다.

2. 자료 및 방법

CaCl₂와 NaHCO₃를 초순수에 용해시켜 100 Ca²⁺ mg/L의 초기농도를 가지는 인공시료를 제조하였다. HVI 장치는 전력 4.5 kW 최대 인가전압 30 kV, 펄스 길이 4~40 μs , 주파수 100~300 Hz로 조절이 가능하다. 항온수조를 이용하여 시료의 온도를 조절하였다. HVI를 인가한 후 일정 시간마다 시료를 채취하여 이온크로마토그래피로 Ca²⁺ 농도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

HVI 반응기 내 시료의 온도를 각각 25°C, 40°C, 60°C로 조절하고, HVI 인가전압을 5kV, 10kV, 15kV로 증가시켜가며 인가하였다. 실험 시작 21시간 후 시료의 Ca²⁺ 농도를 측정하였다. 시료의 Ca²⁺ 농도는 온도와 인가전압이 증가할수록 더욱 많이 감소하였다. 즉, CaCO₃ 석출반응은 자발적 흡열반응이기 때문에 온도가 증가함에 따라 반응이 촉진되며 HVI의 인가전압이 증가할수록 Ca²⁺ 농도가 더욱 가파르게 감소함을 확인하였다.

또한, CaCO₃가 생성되는 반응속도 상수를 다양한 운전조건에서 계산하여 Table 1에 정리하였다. CaCO₃ 생성반응은 2차 반응으로 밝혀졌고, 반응속도상수, k는 온도와 전압이 높아질수록 증가하였다. 25°C, 0 kV의 조건과 60°C, 15kV 조건에서의 결과를 비교하여 보았을 때 반응속도상수 (k) 값이 약 9배 정도 증가하였음을 확인하였다.

Table 1. Comparison of the reaction rate constant (k) calculated under different condition of temperature and applied voltage

Temperature	rate constant (k), L/(mmol·day)			
	applied voltage, kV			
	0	5	10	15
25°C	7×10^{-3}	10×10^{-3}	13×10^{-3}	20×10^{-3}
40°C	9×10^{-3}	15×10^{-3}	19×10^{-3}	24×10^{-3}
60°C	13×10^{-3}	53×10^{-3}	59×10^{-3}	66×10^{-3}

4. 참고문헌

- 조승연, 김태희, 장인성, 홍웅기, 이준호, 2017, 고전압 임펄스 기술을 활용한 경도 제거에서 경수의 초기부피와 인가시간이 칼슘이온 농도에 미치는 영향, 대한전기학회 논문지, 66(7), 1066-1071.
- 조승연, 장인성, 고전압 임펄스 기술을 활용한 슬러지 가용화, 2017, 상하수도 학회지, 31(3), 257-262.
- Cho, Y. I., Lane, J., Kim, W. T., 2005, Pulsed-power treatment for physical water treatment, International Communications in Heat and Mass Transfer, 32, 861-871.
- Zhao, W., Yang, R., Shen, X., Zhang, S., Chena., X.. 2013, Lethal nad sublethal injury and kinetics of Eshcherichia coli, Listeria monocytogenes and Staphylococcus aureus in milk by pulsed electric fields, Journal of the food control., 32, 6-12.