

OC2) 고전압펄스전기장의 인가전압과 온도가 칼슘 농도의 저감에 미치는 영향과 속도론적 해석

김담하¹⁾ · 김재현 · 장인성¹⁾

호서대학교 안전환경기술융합학과, ¹⁾호서대학교 환경공학과

1. 서론

용해도곱상수 (K_{sp})가 작은 탄산칼슘 ($CaCO_3$)에 의해 주로 배관 내에서 발생하는 스케일 형성은 통수능력 및 열교환기의 열전달 효율을 낮추고 불필요한 에너지 소비의 원인이 되며 장비의 유지 및 관리 비용을 증가시키는 문제점이 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. 본 연구에서는 HVI 기술을 이용하여 수중의 Ca^{2+} 을 $CaCO_3$ 로 석출시켜 제어하는 연구를 수행하며 HVI 인가전압과 온도에 따른 Ca^{2+} 농도의 저감 효과를 관찰하고, 그 결과를 속도론적 관점에서 해석하였다.

2. 자료 및 방법

$CaCl_2$ 와 $NaHCO_3$ 를 초순수에 용해시켜 $100 Ca^{2+} mg/L$ 의 초기농도를 가지는 인공시료를 제조하였다. HVI 장치는 전력 4.5 kW 최대 인가전압 30 kV, 펄스 길이 4-40 μs , 주파수 100-300 Hz로 조절 가능하도록 제작하였다. 발생된 전압과 전류의 파형은 오실로스코프 (104xi-A, Lecroy Inc., US)로 관찰하였다. 항온수조를 이용하여 시료의 온도를 조절하였다. HVI를 인가한 후 일정 시간마다 시료를 채취하여 이온크로마토그래피로 Ca^{2+} 농도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

HVI 반응기 내 시료의 온도를 각각 25°C, 40°C, 60°C로 조절하고, HVI 인가전압을 5 kV, 10 kV, 15 kV로 변화시켜가며 시간에 따라 Ca^{2+} 농도를 측정하였다. HVI 인가전압과 온도가 증가할수록 Ca^{2+} 농도는 감소하였다. $CaCO_3$ 생성반응은 Ca^{2+} 과 HCO_3^- 각각 1차반응이어서 전체 반응차수는 총 2차반응으로 나타났다. Ca^{2+} 농도 감소 자료를 이용하여 반응속도상수, k를 구하였고 이를 Table 1 에 정리하였다. 25°C, 0 kV의 조건과 60°C, 15kV 조건에서의 결과를 비교하여 보았을 때 반응속도상수 (k) 값이 약 6.88배 정도 증가하였음을 확인하였다.

Table 1. Comparison of reaction rate constants (k) under different T and applied voltage

Temperature	rate constant (k), L/(mmol·day)			
	applied voltage, kV			
	0	5	10	15
25°C	2.6×10^{-3}	4.1×10^{-3}	5.5×10^{-3}	7.9×10^{-3}
40°C	2.9×10^{-3}	6.0×10^{-3}	7.9×10^{-3}	8.7×10^{-3}
60°C	3.2×10^{-3}	13.4×10^{-3}	14.7×10^{-3}	17.9×10^{-3}

4. 참고문헌

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.