

옥내급수관내 세척을 위한 유기산 기반의 세정제 개발연구

이재훈, 박기만, 박용배, 배재흠*
 수원대학교 화공생명공학과
 (jhbae@suwon.ac.kr*)

Development of Organic Acid -based Cleaning Agents

- 1) for Cleaning the Indoor Water Supply Pipes
- 2)

Jae Hoon Lee , Ki Man Park, Yong Bae Park, Jae Heum Bae*
 Department of Chemical and Biochemical Engineering, The University of Suwon
 (jhbae@suwon.ac.kr*)

서론

옥내급수관내의 부식은 통수능 감소, 출수불량, 적수발생, 누수현상 등의 문제점을 야기한다. 또한 급수관내에 발생된 스케일 등은 국민들의 수도물에 대한 불신감을 가져올 뿐만 아니라 철, 구리, 납 등 인체에 유해한 중금속이 용출될 수 있어 위생적 측면에서도 큰 영향을 초래할 수 있다. 이로 인해 환경부의 2007년 수도법 개정안에서는 불특정 다수가 이용하는 건축물에 준공검사 후 5년이 경과한 날부터 1년 주기로 급수관의 상태에 대하여 일반검사를 실시하고, 결과 검사항목 검사기준을 초과하는 경우에는 옥내급수관의 세척을 의무적으로 실시하도록 하고 있다[1].

현재 옥내급수관의 세척방법으로 사용되는 세척공법들은 국내 환경과 잘 맞지 않아 경제성, 기술성, 적용성 측면에서 크게 문제가 되고 있어 현재 보급이 되고 있지 않다. 반면 국내에서 아직까지 시행되고 있지 않은 화학세정에 의한 옥내급수관의 세척은 상기 제시된 공법들에 비해 경제성, 기술성, 적용성 측면에서 우수하기는 하나, 인체 유해성 및 안정성 측면에서 많은 우려를 가지게 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유기산을 주성분으로 하여 산화제, 반응 촉진제 등과 같은 여러 첨가물질들을 적절한 농도로 배합하여 인체 유해성 및 안정성 측면을 고려한 옥내급수관 세척용 친환경 소재의 세정제를 개발하고자 하였다.

실험방법

1. 오염물 및 주요성분

옥내급수관내에 생성된 스케일 성분을 XRF 분석한 결과 산화철(Fe_2O_3)이 65.20%로 가장 많은 비율을 차지하여 산화철을 주요 세정 대상 오염물로 선정하여 실험을 하였다. 산화철은 KANTO CHEMICAL사에서 구입하여 pore size가 $1\mu m$ 인 여과지에 여과시켜 미분말을 제거 시킨 후 사용하였다. 세정제의 주요성분으로 산성을 지닌 유기화합물인 유기산을 선정하였고 여기에 산화제, 반응촉진제와 같은 보조첨가물을 첨가하여 제조 후 산화철의 용해력 평가 실험을 하였다. 실험에 사용된 유기산으로는 Citric acid, Malic acid, Oxalic acid, Gluconic acid, Glycolic acid, Tartaric acid를 선택하였다. 유기산의 경우 순수에 1~10wt%로 희석하여 산화철 용해력 평가실험을 하였다. 보조첨가물로는 무기산인 염산(HCl)를 선정하여 1~2wt%로 희석하여 사용하였고 촉매제로는 아스코르브산(ascorbic acid)을 선정하였으며 산화철이 급수관내에 재부착하는 것을 방지하기 위해 계면활성제로 LAE-3(호남석유(주))를 선정하여 0.1~1wt%로 희석하여 사용하였다.

2. 용해력 측정방법

용해력 측정실험은 105℃의 건조기 내에서 건조하여 수분을 완전히 제거한 1.0000g의 산화철을 배합세정제 50mL에 넣고 혼합하여 상온에서 1h, 2h 동안 자석식 교반기를 이용해 교반하였다. 다음으로 이들 혼합액을 수분을 완전히 제거하고 초기무게를 측정 한 Pore size가 1 μ m의 여과지를 이용하여 감압·여과하였다. 여과 후 여과지내에 남아있는 산화철의 무게를 정확히 측정하기 위해 105℃의 건조기내에서 2시간 동안 건조하여 수분을 완전히 제거하고 데시게이터에서 30분간 방냉 후 여과지와 잔류한 산화철의 무게를 측정하였다. 산화철의 용해 효율은 측정된 여과지의 무게를 이용하여 아래의 식으로 계산하였다[2].

$$\text{산화철의 용해 효율(\%)} = \frac{\text{초기산화철의 무게} - \text{잔류산화철의 무게}}{\text{초기산화철의 무게}} \times 100$$

실험결과 및 고찰

1. 기초실험

세정제의 주요성분을 결정하기 위해 각각의 유기산을 희석하여 산화철 용해력 평가 실험을 하였다. Fig. 1에 유기산을 10wt%로 희석하여 산화철 용해력 측정실험을 하여 결과를 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 oxalic acid가 1, 2시간에서 모두 가장 높은 효율을 보였으며 그 다음으로 citric acid, malic acid가 산화철에 대한 좋은 용해력을 보여 배합세정제의 적합한 주요성분으로 판단되어진다.

앞의 실험에서 좋은 효율을 보인 oxalic acid(OA), citric acid(CA), malic acid(MA)의 농도를 1~15wt%로 변화시켜 농도에 따른 산화철 용해력 평가실험을 진행하였으며 oxalic acid의 경우 10wt% 이상에서는 용해가 되지 않아 15wt%의 농도를 실험에서 제외시켰다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 1~10wt%까지는 산화철의 용해율이 상승하나 10wt% 이상부터는 더 이상 효율이 증가하지 않는 것을 볼 수 있었다. 실험결과를 바탕으로 배합세정제의 주요성분으로 oxalic acid가 바람직한 것으로 판단되나 oxalic acid의 경우 문헌을 통한 조사에서 실제 8~9wt% 정도만 용해되어 이를 고려하여 세정제를 배합할 필요가 있음을 알 수 있었다[3]. 이런 유기산들의 용해특성과 배합세정제의 경제성을 고려해 전체 배합세정제의 농도를 10wt% 미만으로 선정하였고 가장 좋은 효율을 보인 oxalic acid의 농도를 기준으로 citric acid와 malic acid를 배합하는 것으로 결정하였다.

2. 보조첨가물의 선정 및 농도 결정

배합세정제에 첨가 될 보조첨가물의 농도를 결정하기 위하여 계면활성제인 LAE-3과 철이온의 환원을 돕는 환원제 역할을 할 것으로 예상되어지는 아스코르브산을 선정하여 기초실험에서 선정된 유기산 10wt%에 0.1~1wt%로 배합하여 산화철 용해력 평가를 진행하였다. 첫번째로 계면활성제인 LAE-3의 산화철 용해력 평가를 진행한 결과 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 LAE-3이 0.1wt%만 첨가되었음에도 모든 유기산에서 기초실험에서의 결과보다 산화철의 용해효율이 증가된 것을 볼 수 있었다. 이는 계면활성제의 특성인 분산력과 침투력에 의한 결과로 판단되어진다. 이 결과로 계면활성제인 LAE-3은 0.1wt%첨가하는 것으로 결정하였다. 두번째로 산화철에 대하여 강한 환원력을 가져 용해력을 촉진하는 것으로 알려진[4] 아스코르브산의 농도실험을 각각의 유기산에 0.1~1.0wt%로 첨가하여 산화철의 용해력 평가 실험을 진행한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 실험결과 모든 유기산에서 환원제가 첨가됨으로써 산화철에 대한 용해력이 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과로 아스코르브산의 농도의 함량의 변화를 주거나 또 다른 형태의 환

원제를 찾아야 할 것으로 생각된다.

3. 배합세정제의 농도결정

배합세정제내의 유기산의 최적농도를 결정하기 위하여 위에서 선정된 유기산을 이용하여 산화철 용해력 평가를 진행하였다. 첫 번째로 배합세정제내에 단일산에서 효율이 가장 좋았던 oxalic acid의 농도를 8wt%, citric acid와 malic acid의 농도를 각 1wt%로 배합 후 산화철 용해력 평가 실험을 하였다. 실험결과 효율은 oxalic acid 10wt%와 거의 비슷한 용해효율을 보였다. 하지만 oxalic acid 10wt%와 같이 세정제 배합 시 유기산이 용해되는 시간이 다소 지연되는 이유로 oxalic acid의 농도를 낮추기로 결정하여 oxalic acid 6wt%에 citric acid와 malic acid의 농도를 각 2wt%로 배합하여 산화철 용해력 평가를 진행하였다. 실험결과 유기산들이 용해되는 시간이 많이 단축되었으며 산화철 용해력은 위의 실험과 마찬가지로 oxalic acid 10wt% 보다 거의 비슷하거나 약간 상승하는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과로 유기산의 배합농도는 oxalic acid 6wt%, citric acid와 malic acid 각 2wt%로 결정하였다. 실험결과는 Fig. 5에 나타내었다. 두 번째 실험으로 실제 옥내급수관내에 생기는 산화철을 포함한 다른 유기물 또는 무기물을 산화시킬 목적으로 첨가될 염산에 대한 산화철 용해력 평가 실험을 진행하였다. 염산의 경우 인체 유해성이 있으므로 두 번째 실험에서 선정된 유기산 배합비율에 1~2wt%의 적은 농도로 첨가하여 실험을 진행하였다. Fig. 6에 나타낸 것과 같이 염산의 농도가 증가 할수록 효율이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 염산의 농도가 증가할수록 효율이 높아질 것으로 예상되어지지만 인체 유해성을 고려해 2wt%로 선정하였다.

결론

본 연구를 통해 옥내급수관 세척을 위한 화학세정제내의 유기산의 주성분 및 최적농도와 보조첨가물의 선정과 최적농도를 산화철 용해력 평가 실험을 이용하여 결정하였다. 옥내급수관 세정제의 주요성분인 유기산의 경우 가장 효율이 좋았던 oxalic acid, citric acid, malic acid를 최대 10wt%로 배합하였다. 또한 유기물 또는 무기물 등에 강한 산화력을 가지는 염산(HCl)과 분산력과 세정제의 침투력을 향상 시켜주는 계면활성제를 선정하였고 철을 환원시켜 효율을 향상시켜주는 환원제 또한 선정하였다. 위의 실험결과로 유기산 및 다른 보조첨가제의 농도가 비교적 적은 농도로 배합되어 그동안 사용되어 온 화학 세정제보다 안전하고 환경친화적일 것으로 판단되어진다. 하지만 본 실험에서 사용된 실험방법으로는 실제 옥내급수관에 적용하였을 때 관의 재질 특성이나 스케일(scale) 정도에 따라 생길 수 있는 문제점 등을 예측하기 힘들 것으로 생각되어진다. 그러므로 이번 실험을 바탕으로 실제 옥내급수관에 적용 시에 표면관찰 등의 실험을 통하여 더 정확한 실험이 요구되어진다. 또한 본 연구에서 선정된 보조첨가물외에 부식방지제, 살균제 등의 첨가제를 더 선정하여 좀 더 개선된 화학세정제의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Yeom C. M, Cho Y. S., "Techniques for Cleaning and Regeneration of Indoor Service Pipe", J of the Korean Society Water Wastewater, 18(4), pp.411~417, (2004)
2. "Dupont™ Glyclean[®] eGA", DuPont Co., Ltd.
3. McCoy J. W., INDUSTRIAL CHEMICAL CLEANING, Chemical Publishing Co. New York(1984)
4. Lee, W. P., "Characterization of the Yong Dong illite ore deposit and removal of iron oxide using L-ascorbic and oxalic acids" Master's thesis, Yonsei university (June 2006)

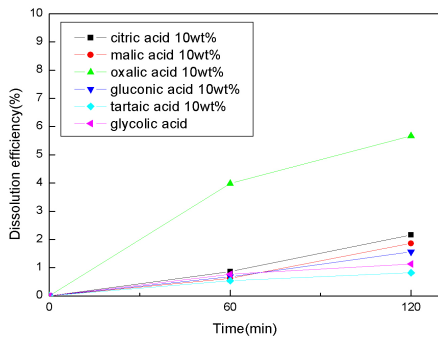


Fig. 1 Test results of Fe₂O₃ solubility by various dilute organic acid

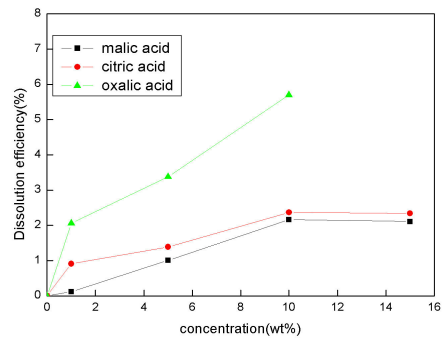


Fig. 2 Test results of Fe₂O₃ solubility by three kinds of dilute organic acids with different concentration

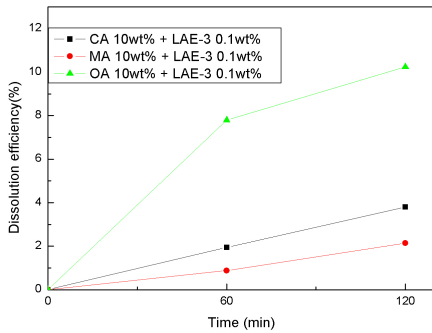


Fig. 3 Test results of Fe₂O₃ solubility for determination of LAE concentration in three kind of dilute organic acids

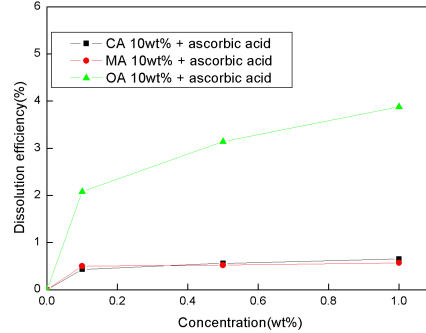


Fig. 4 Test results of Fe₂O₃ solubility for determination of ascorbic acid concentration in dilute organic acids

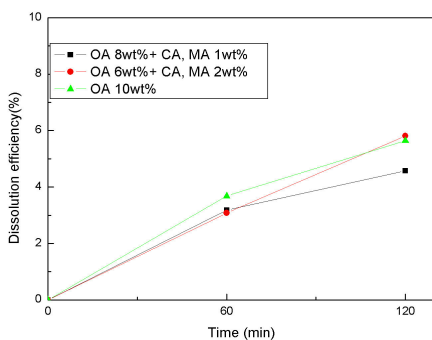


Fig. 5 Test results of Fe₂O₃ solubility by three kinds formulated organic cleaning agents with different concentration

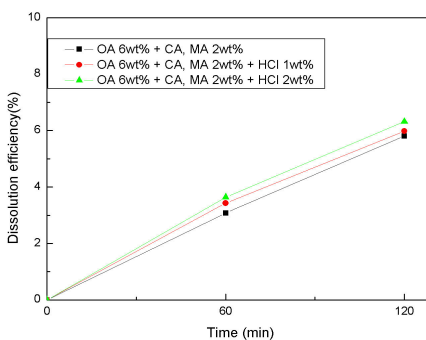


Fig. 6 Test results of Fe₂O₃ solubility for determination of HCl concentration in dilute organic acids