

천연 유기산을 이용한 배관 스케일 세정제 성능에 관한 연구

A Study on the Performance of Pipe Scale Cleaner using Natural Organic Acid

강형석(Hyung Seok Kang)¹, 양원석(Won Suk Yang)², 김영일(Young Il Kim)^{3*},
김선혜(Sean Hay Kim)³, 최동희(Dong Hee Choi)⁴

¹서울과학기술대학교 주택도시대학원, ²서울과학기술대학교 일반대학원, ³서울과학기술대학교 건축학부, ⁴수지고등학교

¹Graduate School of Housing and Urban Planing, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, 01811, Korea

²Graduate School, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, 01811, Korea

³School of Architecture, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, 01811, Korea

⁴Suji High School, Yongin, 16821, Korea

(Received August 22, 2017; revision received September 12, 2017; Accepted: September 13, 2017)

Abstract Scales generated inside pipes cause negative effects on heat transfer performance, pressure loss and flow rate due to increased thermal resistance and reduced flow cross-sectional area. If these scales are not prevented or eliminated, thermal-fluid performance of the facilities can be deteriorated, or in extreme cases, accidents such as explosion due to overheating can occur. There are two ways to remove the scales, physically and chemically. Removing the scales physically needs specific machines which are expensive, and removing them chemically may provoke corrosion or shorten the age of the facilities. In this study, an eco-friendly pipe scale cleaner using natural organic acid is developed by applying the concept of a limestone cave generation. The manufactured scale cleaner is applied to remove the scales in industrial, water heating and urinal pipes. The results show that this cleaner removes scales more effectively and safely compared to existing scale treatments. Scale removal efficiencies of this work is 1.2~10.7 times for industrial pipes and 1.8~15.5 times for boiler water heating pipes higher than those of conventional cleaners.

Key words Pipe scale cleaner(배관 스케일 세정제), Natural organic acid(천연유기산), Gravimetric analysis method(중량분석법), Removal efficiency(제거 효율), Urinary gravel(요석)

† Corresponding author, E-mail: yikim@seoultech.ac.kr

기호설명

AP : 처리 후 질량 [g]

n : 실험 횟수

IP : 배관과 초기스케일의 총 질량 [g]

RE : 제거 효율 [%]

1. 서 론

각종 배관 속의 용수 중의 Ca^{++} , Mg^{++} 이온과 염류들에 의하여 칼슘화합물, 탄산염 및 금속산화물 등의 불용성 물질을 형성하며 관석이 석출되는데, 이 물질들이 배관 내부에 부착되는 현상을 스케일이라고 한다.⁽¹⁾ 스케일은 열교환기 등에 부착이 되어 시간이 지나면서 점점 더 두껍게 성장한다. 이는 단열막 혹은 열저항의 역할을 하는데, 이는 총합열전달계수(Overall heat transfer coefficient)의 저하 즉 열전달 성능의 저하를 가져온다.⁽²⁾ 또한 배관 내부 유효면적의 감소로 인하여 열전달 장치 내에서 압력손실이 증가하고 유량이 감소한다. 이러한 문제점들은 산업설비의 냉각탑, 증발기, 열교환기, 공정배관(식품, 펄프, 제지 공정 등), 공조 시스템, 난방설비, 급탕 공급설비, 폐수 처리설비, 기타 산업용 및 일반 용도의 급수설비 등에서 발생한다.⁽³⁾

설비 또는 배관 내에 부착한 스케일은 주기적으로 제거해야 한다. 그렇지 않을 경우 스케일이 생성된 면의 온도 증가로 고온 부식이 유발될 수 있다. 특히 보일러의 경우에 열저항의 증가로 내부 온도 상승을 유도하여 심할 경우 과열로 인한 폭발 등의 사고의 위험을 초래할 수 있다.

생성된 스케일을 제거하는 방법으로는 청관제 또는 배관 세정제로 불리는 유해한 인산, 인산염이나 염산 등의 강산의 화학약품을 사용하여 스케일을 처리하는 화학적인 방법과 스케일이 생성된 부위를 깎는 기계 시공을 하거나 관 자체나 부속품을 교체하는 물리적인 방법 등이 있다.^(4, 5) 그러나 화학적인 방법 및 물리적인 스케일 제거 방법은 부식 유발과 배관 및 관련 설비의 수명을 크게 저하시키며, 자기 방식 또는 전해 방식을 이용한 자석장치나 초음파 설비 등은 대단히 고가이며 설치하려면 배관을 잘라서 특수 설비를 삽입하거나 지속적인 전원공급이 필요하기에 비용적인 측면에서 효율적이지 않다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 기존의 스케일 제거방법의 단점을 보완할 수 있는 석회동굴 생성과정을 응용한 친환경적인 천연 유기산 배관 스케일 세정제를 제조하였다. 그리고 이를 화장실의 공업용수 배관, 난방 배관, 소변기 배관 등에 적용하여 스케일 제거 성능에 대하여 연구하였다.

2. 본 론

2.1 이론적 고찰

2.1.1 석회동굴 생성과정

스케일의 성분 중 가장 많은 성분은 불용성의 탄산칼슘(CaCO_3)이며, 이것은 고온에서 일부 분해되거나 강산에서 분해된다. 석회암은 탄산칼슘이 주성분인 퇴적암으로 Fig. 1은 석회동굴과 석회동굴의 생성과정에 대한 화학식을 나타낸 것이다.^(7, 8, 9)

석회동굴이 형성되는 과정을 살펴보면, 지표에서 스며드는 빗물이나 지하를 흐르는 지하수(H_2O)가 공기 중의 이산화탄소(CO_2)와 만나 탄산(H_2CO_3)을 이루게 되고, 이것이 석회암과 만나면 석회암이 녹으면서 동굴이 형성되기 시작한다. 석회암이 계속 녹으면서 동굴은 점차 확장되고 중유석, 석순, 석주와 같은 동굴생성물이 만들어진다. 석회석은 순수한 물에는 용해하지 않으나, 이산화탄소를 함유하는 물에는 용해하여, 수용성인 탄산수소칼슘($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)을 생성하며 녹는다. 그리고 탄산칼슘에 산을 작용시키면 이산화탄소를 발생한다. 이산화탄소를 함유하는 물이 땅속의 석회석을 만나면 용해하여 공동(空洞)을 만드는데, 이것이 석회석동굴이며, 이와 같이 용해한 물이 지열 등에 의해서 분해되어 탄산칼슘이 침전한다. 이 침전물이 석회석동굴 속에서 이루어질 때 중유석이나 석순 등을 생성한다.

석회동굴의 형성과정에서 석회석의 주성분인 탄산칼슘(CaCO_3)이 약산성인 탄산(H_2CO_3)에 용해되어 수용성인 탄산수소칼슘($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)을 생성하며 녹는다는 점에 착안하였다. 스케일 또한 주성분이 탄산칼슘(CaCO_3)이므로 약산성인 천연유기산에 용해시켜 수용성인 탄산수소칼슘($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)을 생성시켜 이를 물로 씻어 제거할 수

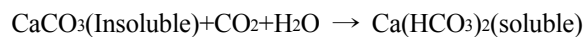
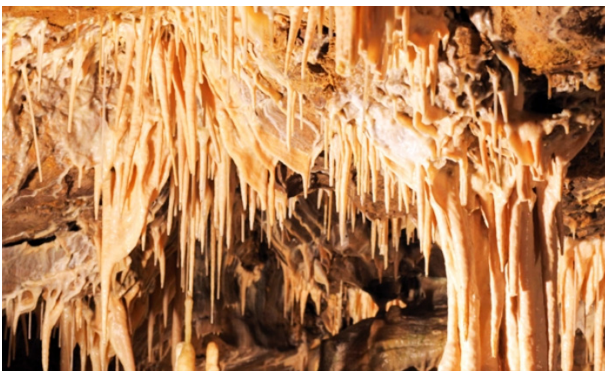


Fig. 1 Process of lime cave formation.

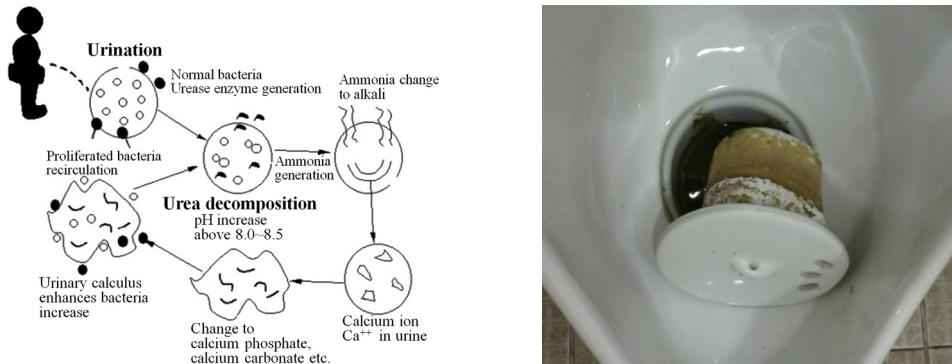


Fig. 2 Cause of urinary calculus.

있다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 각종 배관의 스케일 제거를 위하여 친환경적인 천연유기산 세정제를 개발하고 성능을 확인하고자 한다.

2.1.2 요석(Urinary Calculus) 생성 원리

화장실 소변기의 악취 및 배관 막힘의 발생원인은 소변기 배관 오염원인 요석 때문이다. 요석은 소변에 포함되어 있는 탄산 및 인산이 칼슘과 화학반응을 일으켜 발생하는 탄산칼슘이나 인산칼슘을 말하며, 보통 배수관 및 변기 주위에 발생하여 부패 세균의 서식지가 되어 화장실 악취의 주원인이 된다.⁽¹⁰⁾ 특히 요석은 악취 뿐 아니라 배수관을 막히게 하여 배수관의 수명을 단축시키는 요인이 되고 있다. Fig. 2는 요석과 요석이 생성되는 과정을 나타낸다.

신축 건물의 경우 요석 형성이 빠르지 않기 때문에 배관의 막힘 현상이 적고 악취가 발생하지 않지만 이 또한 시간이 흐르면서 요석의 형성과 함께 악취가 발생하고 그 상태에서 6~7년이 지나면 배관은 요석으로 가득 차고 악취는 심해지기 시작한다. 신축 건물도 이러한 상태가 되면 요석의 제거는 어렵게 되고 결국 배관 교체가 요구된다. 따라서 요석은 발생하기 전에 예방하는 것이 최선의 방법이다. 종래의 요석 제거방법은 물리적 방법으로 고압이나 와이어를 이용하는 방법 그리고 화학적으로 질산, 염산, 황산 등의 유해한 강산을 이용하는 방법이 있으나 생성된 요석 표면만 녹일 뿐이며 점성이 없어서 접촉시간도 짧으며 더 나아가 이 방법은 정화조 내의 미생물의 존립과 활성화에 심각한 영향을 주며, 수질과 토양오염을 유발한다. 따라서 요석 생성의 방지 및 제거를 위하여 개선된 방법이 요구된다.

2.2 실험

2.2.1 실험재료 및 방법

본 연구에서는 석회동굴의 생성반응을 응용하여 다양한 식품재료와 천연 재료를 이용하여 배관의 스케일 제거 시료를 제조하였는데, 이때 다양한 식품재료와 천연 재료를 이용하였다. 이때 처리 수(水)의 수소이온(H^+) 농도를 증가시키기 위하여 천연 유기산 재료를 이용하였으며 이산화탄소 발생량을 늘이기 위해 CO_2 발생이 많은 재료를 이용하였다.

실험에 사용한 재료는 천연 유기산과 킬레이트제인 사과산(Malic acid), 말레익산(Maleic acid), 구연산(Citric acid), 말론산(Malonic acid), 옥살산(Oxalic acid)이다. 이러한 재료들은 국산 A화학의 99% 순정 시약을 구입하여 사용하였으며 탄산수소나트륨($NaHCO_3$, 중조)은 B식품원료사의 식품용을 구입하여 실험하였다. 화장실 소변기 요석 제거실험에 사용한 증점제는 알긴산나트륨(Sodium alginate), 카라기난, 구아검(Guar gum)으로 C식품원료사의 식품용을 구입하여 사용하였다. 천연계면활성제는 글루코시드 계열 비이온 계면활성제를 D상사로 부터 구입하여 사용하였다.

실험에 이용한 배관은 공업용수 배관과 보일러 난방 배관이다. 공업용수 배관으로는 경기도 화성 산업단지 내 자동차부품 금형 회사 건물의 17년 이상 된 급수 배관 3.0 m를 이용하였다. 보일러 난방 배관은 해수목욕탕

해체 공사 중 얻은 배관들을 이용하였다. 배관 스케일 성분 분석을 위하여 X선 회절분석기(XRD, Bruker DE/D8 Advance, 독일)와 에너지 분산형 X선 형광분광계(X-ray fluorescence, XRF, ARL QUANT'X, Thermo fisher scientific/USA)를 사용하였다. 또한 화장실 소변기 요석제거 전 후의 암모니아 농도 측정을 위하여 NH₃-Handysampler(Anogas95, 일본)를 이용하였다.

2.2.2 배관 스케일 세정제 제조

기존의 스케일 제거 방법으로는 염산, 질산과 같은 강산 및 인산, 인산염 등을 이용하는 방법이 있으나 본 연구에서는 석회동굴 생성반응을 응용하여 무기물(칼슘화합물, 금속산화물 등) 스케일과 요석 등을 쉽게 용해할 수 있도록 이산화탄소를 충분히 발생시킨 후 수용성으로 변한 스케일을 물을 이용하여 간단하게 제거, 배수가 가능하도록 하였다. 이때 식품 또는 화장품 재료로 사용되는 천연유기산 및 천연 계면활성제 등을 이용하였다. 순수한 물에는 용해하지 않으나, 이산화탄소를 함유하는 물에는 용해되어, 탄산수소칼슘을 생성하며 녹는다는 Fig. 3의 화학식을 응용하여 배관 세정제를 제조하였으며 이를 사용하여 스케일 제거 실험을 진행하였다.

먼저 여러 천연 유기산을 1종류씩 공업용수 배관과 난방 배관에서 채취한 스케일에 대한 용해도 실험을 하였다. 그리고 2종류 이상의 천연 유기산을 일정한 비율로 수용액에 배합하여 교반한 후 일정량의 천연 계면활성제와 혼합하여 배관 스케일 세정제 용액을 제조하고 이를 탄산수소나트륨과 함께 사용하여 실험하였다. 그러나 화장실 소변기 요석 제거제는 강산과 같은 단순 액체는 충분한 접촉시간을 유지하기 어렵기 때문에 증점제를 혼합하여 1,000 cps(Centipoise) 정도의 점도를 가진 배관 스케일 세정제 용액을 제조하였다.

2.2.3 배관 스케일 성분 분석

공업용수 배관을 각각 20 cm 크기로 자른 후 그 중 하나의 공업용수 배관 벽면에 부착된 산화물과 유기 퇴적물로 이루어진 스케일을 채취하여 110℃에서 건조 후 미세분말로 만든 후 이를 600℃에서 60분간 연소시켜 부착되어 있는 유기물을 제거한 후에 XRD와 XRF를 이용하여 분석하였다.

2.2.4 배관 스케일 제거 실험

앞서 제조한 배관 스케일 세정제와 증조를 이용하여 공업용수 배관과 난방 배관 내 스케일 제거 전과 후를 중량분석법으로 측정하였다. 세정대상 오염물질은 공업용수 배관(30 cm)과 난방 배관 내 스케일이다. 공업용수 배관은 일정 크기로 자르고 난방 배관과 함께 증류수 욕조에 담근 후 배관 스케일 세정제를 일정량 주입하였다. 증류수 욕소에서 서서히 교반되면 상온에서 1시간 반응 접촉 후에 처리한 배관을 110℃에서 40분간 건조 후 무게를 측정하였다. 스케일 처리 전과 처리 후의 배관 무게를 비교함으로써 반응 전후 스케일 제거능력을 측정하였다.

배관 스케일에 대한 제거효율은 초기 배관의 무게와 배관 스케일 세정제와 접촉 후 배관의 무게를 비교하는 중량분석법⁽¹⁾을 사용하였다. 식(1)은 중량분석법 계산식으로, 시료의 개수는 5개이며 실험 후 산술평균하여 결과를 나타냈다.

$$RE = \frac{IP - AP}{AP} 100(\%) \tag{1}$$

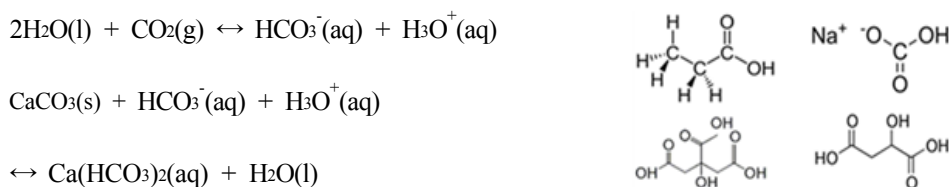


Fig. 3 Chemical reaction of lime cave generation theory.

배관 스케일 세정제의 스케일 제거 성능 비교대상으로 기존의 인산염 계통의 차아염소산나트륨(NaOCl), 가성소다(NaOH) 계통의 청관제를 3종 추가 구입하여 위와 같은 실험을 진행하였다. 모든 실험과정은 사진 촬영 및 육안으로 확인할 수 있도록 준비하고 화장실 요석, 공업용수 배관 및 난방 배관 스케일에 제거 실험 전후 과정을 확인하였다.

2.2.5 화장실 요석 제거 실험

화장실 소변기 약취의 주원인은 배관 벽면에서 형성된 요석에 세균과 소변 유기물이 성장하면서 암모니아성 약취를 발생시킨다. 그러므로 요석을 제거하면 약취도 제거가 가능하다.

본 연구에서는 실험실시험이 어려워 학교와 상가의 오래된 소변기를 대상으로 요석제거 현장시험을 실시하였다. 사람들의 왕래가 적은 시간을 이용하여 냄새와 요석이 많은 남자 화장실 소변기에 제조한 점증된 배관 스케일 세정제를 넣고 1~2시간 반응을 시킨 후 수돗물로 세척하였다. 요석제거 전과 후를 육안으로 관찰하였으며 암모니아 측정기기를 이용하여 암모니아 농도를 측정하여 결과를 비교하였다.

3. 결 과

3.1 공업용수 배관 스케일 조성 분석 결과

전 처리 한 공업용수 배관 스케일에 대한 XRF와 XRD 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 공업용수 배관 스케일의 주성분은 탄산칼슘(CaCO₃), 산화칼슘(CaO) 등의 칼슘과 탄산염, 산화규소(SiO₂), 산화알루미늄(Al₂O₃), 산화철(Fe₂O₃), 산화망간(MnO) 등으로 이루어져 있는 것을 확인할 수 있었다.

기기분석 결과를 바탕으로 공업용수 배관 스케일의 가장 많은 조성 비율 순으로 Table 1에 나타내었다. 그 결과 Ni, Cu, Zn, Cl, P 등의 이온 및 화합물이 있었으나 미량이므로 표현하지 않았으며 가장 많이 함유된 물질은 칼슘과 탄산염 화합물로 나타났다.

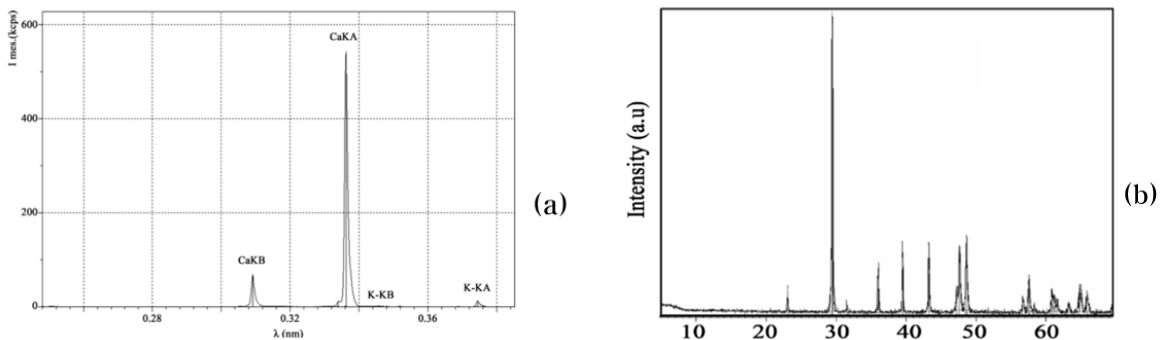


Fig. 4 Analysis results of (a) XRF and (b) XRD for industrial water piping scales.

Table 1 Composition of industrial water pipe scale

Component	Concentration(weight %)
CaCO ₃ , CaO	69.3
Silica(SiO ₂)	12.7
Iron oxide(Fe ₂ O ₃)	11.5
Magnesium oxide(MgO)	3.9
Alumina(Al ₂ O ₃)	3.3
Manganese(II) oxide(MnO)	0.8
Potassium oxide(K ₂ O)	0.6

3.2 천연유기산의 용해력 평가 실험

본 연구에서는 천연유기산을 사용한 배관 스케일 제거 효과에 대한 용해력 평가 실험을 하였다. 천연 유기산은 식품과 화장품 재료로 사용되는 비교적 pH가 낮은 안전한 약산이다. 여러 가지 천연유기산을 이용하여 배관 스케일의 용해도 평가 결과 Fig. 5와 같이 사과산, 옥살산과 구연산의 경우 pH가 4 이상 증가하여도 용해도가 저하하지 않지만 말레익산과 말론산의 경우 pH가 3 이상이 되면 스케일의 용해도가 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 pH가 변화하여도 옥살산, 구연산과 사과산은 비교적 안정된 용해도를 나타내었다.

3.3 배관 스케일 제거 효율 실험 결과

약산성을 지닌 천연유기산과 약알칼리성을 지닌 탄산수소나트륨이 반응하면 $\text{NaHCO}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCO}_3 + \text{CO}_2$ 가 된다. 이때 제조된 시료는 CO_2 를 발생하는 배관 스케일 세정제가 된다. 석회동굴 생성 원리를 나타내는 화학식 $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 을 보면 순수한 물에는 용해하지 않고, 이산화탄소를 함유하는 물에는 용해되어, 중탄산칼슘을 생성하며 녹는다는 것을 알고 이를 실험을 통하여 검증하였다.

Table 2는 일정 크기로 자른 공업용수 배관과 난방 배관 내 스케일에 대하여 비교군 3종과 본 연구에서 제조한 배관 스케일 세정제의 제거 반응 전후 효과를 중량분석법으로 측정된 결과이다. 배관 스케일 세정제의 스케일 제거 효율이 공업용수 배관은 1.2~10.7배, 난방 배관은 1.8~15.5배 높은 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 공업용수 배관과 난방 배관에 대한 스케일 제거과정의 사진이다. 육안으로 확인한 결과 스케일이 생성된 배관들이 단 시간에 93% 이상의 우수한 효율로 제거되었다. 본 실험을 통하여 세정제를 사용하였을 때 이산화탄소의 농도가 높아짐을 함께 확인하였다. 이산화탄소의 농도가 높아지면서 위의 화학반응식에 따라 탄산칼슘이 생성되는 반응이 진행됨을 알 수 있었다.

Table 2 Evaluation of scale removal efficiency(%)

(n = 4)

Component	Removal efficiency(%)	
	Industrial water pipe	Water heating boiler pipe
Conventional cleaner	NaOCl	9
	NaOH	14
	Phosphate	78
This study	Pipe scale cleaner	96

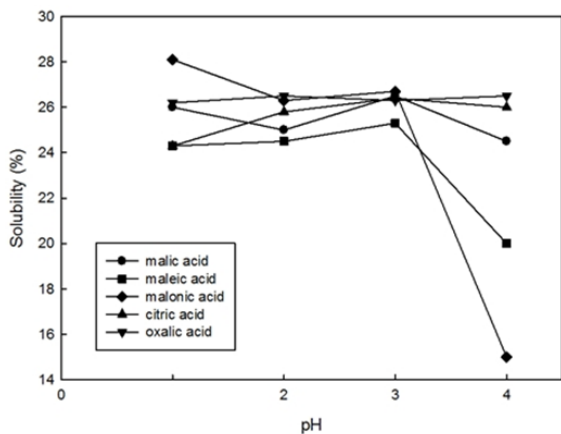


Fig. 5 Solubility of scale of natural organic acid with respect to pH.

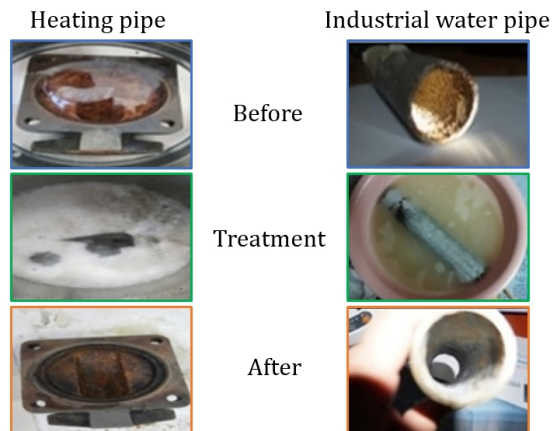


Fig. 6 Photograph of scale removal before and after processing of pipes.

3.4 화장실 요석 제거

공업용수 배관과 난방 배관 스케일에 대한 실험과 마찬가지로의 방법으로 화장실 소변기의 요석을 제거하는 실험을 진행하였다. 실험 초기에는 점성이 없는 용액 상태 또는 분말 형태로 제조하였으나 단순 용액은 접촉시간이 짧거나 분말형태는 요석에 대한 접촉 반응면적이 일정하지 않아 요석제거는 효과적이었으나 배관 세정제를 요석 생성부위에 충분히 접촉시키는데 어려움 있어 개선이 필요하였다. 따라서 증점제를 사용하여 점성을 가진 배관 스케일 세정제를 제조하여 요석제거 실험을 진행하였다. 실험 진행은 학교와 상가 화장실에서 실시하였으며, 앞에서 제조한 배관 스케일 세정제를 사용한 요석제거 실험에 진행 사항을 Fig. 7에 나타내었다. 그 결과 육안으로 확연히 요석이 잘 제거되었음을 확인하였다.

Table 3은 배관의 요석처리 전후의 화장실 암모니아 농도 변화를 암모니아 측정기로 측정한 결과이다. 소변기 요석처리 전의 암모니아 농도는 0.73 ppm으로 측정 되었으나, 요석 처리 후 암모니아 농도는 0.14 ppm으로 암모니아 농도가 80.8% 감소하여 확실히 요석이 잘 제거되었음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 석회동굴의 생성과정을 응용하여 배관 스케일 세정제를 제조하고 공업용수 배관, 난방 배관 및 화장실 소변기 요석들에 대한 스케일 제거 효과를 확인하였다.

- (1) 공업용수 배관 스케일의 성분 중 가장 많이 함유된 물질은 칼슘과 탄산염화합물로 나타났다.
- (2) pH증가에 따른 천연유기산 용해도 실험결과 pH가 4 이상 증가하여도 사과산, 옥살산, 구연산은 비교적 안정된 용해도를 나타냈으나, 말레익산과 말론산의 경우 pH가 3 이상으로 증가하면 스케일의 용해도가 급격히 감소하였다.
- (3) 기존 화학 세정제와 배관 스케일 세정제의 스케일 제거 효율을 중량분석법을 이용하여 비교한 결과 배관 스케일 세정제의 스케일 제거효율이 공업용 배관은 1.2~10.7배, 난방 배관은 1.8~15.5배 더 우수한 것을 알 수 있었다.
- (4) 증점제를 사용한 배관 스케일 세정제를 화장실 소변기의 요석을 제거 전 후 암모니아 농도를 측정한 결과 요석 처리 전 0.73 ppm에서 처리 후 0.14 ppm으로 약 80.8% 감소되었다.
- (5) 본 연구에서 제조한 천연유기산을 이용한 배관 스케일 세정제는 배관 스케일 및 화장실 요석 제거와 세척력이 우수하다는 것을 알 수 있었다.
- (6) 본 연구에서 개발한 배관 세정제는 유해성분이 없으므로 인산, 인산염 또는 유해한 강산 배관 세정제 사용이 불가한 배관이나 설비에 적용이 가능하여 스케일 제거에 크게 기여할 것으로 판단된다.



Fig. 7 Photograph of scale removal of toilet urinal.

Table 3 Ammonia results before and after treatment

Before processing	After processing	Removal effect(%)
0.73	0.14	80.8

References

1. Mansoori, G. A., 2001, Physicochemical Basis of Arterial Blockage/Fouling, Prediction and Prevention. Department of Chemical Engineering, University of Illinois at Chicago, on-line publication, pp. 69-75.
2. Hong, C. K. and Choi, M. S., 1999, A Study of CaSO₄ Scale Formation and Heat Transfer in a Vertical Tube Evaporator, The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 23, No. 11, pp. 1363-1370.
3. Seo, H.-S., Kim, K.-W., and Moh, J.-H., 2000, An Experiment on the Scale Mitigation in Plate Heat Exchangers, The Society of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers of Korea, pp. 188-193.
4. Herro, H. M., 1989, Deposit-Related Corrosion in Industrial Cooling Water Systems, Presented at the National Association of Corrosion Engineers Corrosion '89 meeting, New Orleans, Louisiana, April 17-21.
5. Kern, D. O. and Seaton, R. E., 1959, A theoretical analysis of thermal surface fouling, Brit. Chem. Eng., Vol. 14, No. 5, pp. 258-264.
6. Xu, Z.-M., Zhang, Z.-B., and Yang, S.-R., 2007, Costs due to utility fouling in China, ECI Engineering Conferences International Symposium Series, Heat Exchanger Fouling and Cleaning VII, July 1-6.
7. Electric Power Research Institute, Dispersants for Tube Fouling Control, 2001, Vol. 2 : Short-Term Trial at ANO-2, Report 1003144, Palo Alto, California, USA.
8. Burcham, J., 2009, Learning about caves; how caves are formed, Journey into amazing caves, Project Underground. Retrieved September 8.
9. Larson, C., 1993, An Illustrated Glossary of Lava Tube Features, Bulletin 87, Western Speleological Survey, pp. 56-61.
10. Grases, F., Sanchis, P., Isern, B., Perelló, J., and Costa-Bauzá, A., 2007, Uric Acid as Inducer of Calcium Oxalate Crystal Development, Scandinavian Journal of Urology and Nephrology, Vol. 41, No. 1, pp. 26-31.
11. Robert, C. and Robert, A. M., 2003, Effect of a fucose-rich polysaccharide preparation on the age-dependent evolution of the skin surface micro-relief, L Pathologie Biologie., Vol. 51, No. 10, pp. 586-590.