

## 화장품과 식품 재료를 이용한 각종 산업장비 녹(rust) 세정에 관한 연구

염석재<sup>1</sup> · 정선도<sup>2</sup> · 오은하<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>(재)씨젠의료재단, 이사, 이사대우

<sup>2</sup>신한대학교 임상병리과, 교수

(2020년 12월 30일 접수: 2021년 2월 11일 수정: 2021년 2월 15일 채택)

## A Study on Rust Cleaning of Various Industrial Equipment Using Cosmetic and Food Materials

Seok-Jae Yeom<sup>1</sup> · Sundo Jung<sup>2</sup> · Eunha Oh<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Seegene Medical Foundation, Life & Environment Science center, Seoul 04805, Korea

<sup>2</sup>Department of Biomedical Laboratory Science, Shinhan University, Uijeongbu 11644, Korea

(Received December 30, 2020; Revised February 11, 2021; Accepted February 15, 2021)

**요약** : 부식은 환경과의 반응에 의한 금속의 열화이다. 이는 완전히 제거하기가 어렵다. 부식은 보호 장벽이 파괴 된 후 빠르게 진행되며 매트릭스로의 금속 양이온 확산, 산화물 형성과 국소 pH 변화 같은 금속 표면과 국소 환경의 조성 특성을 변경하는 여러 반응이 일어난다. 강과 철의 부식에 대한 연구는 이론적, 실제적 관심사이며 상당한 관심을 받고 있다. 산업용 산세척, 산 스케일 제거, 세척 및 유정 산성화에 널리 사용되는 산 용액은 금속 재료에 대한 부식 공격을 억제하기 위해 부식 억제제를 사용해야한다. 녹을 물리적으로 제거하려면 고가의 특수 장비가 필요하며 이를 화학적으로 제거하면 부식을 유발하거나 금속의 수명을 단축 할 수 있다. 본 연구에서는 퍼머 환원제와 킬레이트 개념을 적용하여 화장품 및 식품 소재를 이용한 친환경 녹 세정제를 개발하였고 산업 및 온수 관, 각종 산업 기기의 녹을 제거하기 위해 적용하여 보았다. 그 결과, 녹 세정제는 기존 처리 방식에 비해 녹을 더 효과적이고 안전하게 제거하는 것으로 나타났다. 동일한 시간에서 녹 제거 효율은 기존의 방법보다 공업용 배관의 경우 1.75 ~ 2.5 배, 보일러 온수용 배관의 경우 1.56 ~ 2.2 배 우수하였다.

**주제어** : 녹 세정제, 부식, 퍼머 환원제, 킬레이트, 중량분석법

**Abstract** : Corrosion is the degradation of metals by reaction with the environment. It is difficult to completely remove. Corrosion proceeds rapidly after the protective barrier is destroyed, and several reactions occur that alter the composition and properties of the metal surface and local environments, such as diffusion of metal cations into the matrix, the formation of oxides, and local pH changes. The

<sup>†</sup>Corresponding author

(E-mail: waoeh@mf.seegene.com)

study of corrosion of steel and iron is of theoretical and practical interest and is receiving considerable attention. Acid solutions, which are widely used in industrial pickling, acid descaling, cleaning and acidification of oil wells, require the use of corrosion inhibitors to suppress corrosion attacks on metallic materials. Physical removal of rust requires expensive special equipment, and chemical removal of it can cause corrosion or shorten the life of the metal. In this study, an eco-friendly rust cleaner was developed using cosmetics and food materials by applying the concept of perm reducing agent and chelate, and applied to remove rust from industrial and hot water pipes and various industrial devices. As a result, it was found that rust cleaners remove rust more effectively and safely compared to conventional treatment methods. At the same time, the rust removal efficiency was 1.75 to 2.5 times better for industrial piping and 1.56 to 2.2 times better for boiler hot water than conventional methods.

*Keywords : Rust cleaner, corrosion, permeant waving reducing agent, chelate, Gravimetric analysis method*

## 1. 서론

녹(rust)이란 금속의 표면에 생기는 산화물 생성 물로써 철의 녹이란 철(Fe)과 산소와 수분 등이 반응하여 형성되는 일반적으로 적색의 물질로써 산화철( $Fe_2O_3$ , Hematite)이라 한다[1-3]. 철에 녹이 생성되는 과정을 살펴보면 금속 국부전지(micro-cell)가 되어 철이 이온화되면서 전자가 금속 주변의 산소와 수분과 반응하여  $OH^-$  을 발생시키고  $Fe^{2+}$  이온과 결합하여  $Fe(OH)_2$  을 형성한다[4, 5].  $Fe(OH)_2$  에 산소가 반응하여  $Fe^{3+}$  이 되어 녹이라 불리는 산화철( $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ )을 형성한다.

주택의 수도관으로 많이 쓰이는 아연도 강관(백관)의 경우 관 내부에 아연 도금막이 일부분 벗겨지면 부식이 진행되게 되는데, 부식이 시작되면 Fe 관에 비해 전위 값이 작게 되어 전위부식이 진행된다. 즉, 전위 값이 작은 부식 물질 쪽으로 Fe 전자가 이동하여 부식 물질은 계속 증가하게 된다.

한편 전자를 잃은 Fe는 이온화가 진행되어  $Fe^{2+}$  이온으로 물에 분산용해되며 점차 관의 두께가 얇아지게 된다. 이렇게 얇아지는 철관에서는 전위 값의 차이가 많아지면서 Fe의 이온화는 가속되어 결국관이 파괴되어 누수를 발생시키는 국부적으로 발생하는 점 부식(pitting)으로 진행된다[6-9].

현재까지도 산업현장의 녹 제거 해결 방안으로서, 강산 처리나 블라스팅(blasting), 화학처리, 그라인딩(grinding)과 같은 처리 방법이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 이러한 방법은 또 다른 환경에서의 유해성과 2차 오염을 유발하고 있다. 그리고 화학적인 방법 및 물리적인 녹 제거 방법은 또 다른 부식 유발과 금속의 수명을 크게 저하시키며,

자기 방식 또는 전해 방식을 이용한 대단히 고가이므로 비용적인 측면에서 효율적이지 않다[10,11]. 본 연구에서는 기존의 녹 제거 방법이 아닌 화장품과 식품재료를 응용한 새로운 방법의 녹 세정제를 제조하였다. 그리고 이를 공업용수 배관, 산업용품, 대형 배관 등 다양한 장비에 적용하여 녹 제거 성능에 대하여 연구하였고 실제 산업 환경에서 Field Test를 실시하여 보았다.

## 2. 실험

### 2.1. 이론적 고찰

금속부식은 산화과정인데 수분, 염소 이온과 같은 부식유발 음이온, 유황(S)과 질소( $N_2$ ) 등의 기체 산화물 등이 존재하면 부식이 쉽게 진행되어 금속 고유의 성질을 저하한다. 부식은 금속의 다른 부분 사이, 또는 접촉하고 있는 금속 사이의 전자 이동반응에 의해 발생한다. 예를 들면 기체와 수분이 접촉하고 있는 Fe 표면에 녹이 슨다. 부식된 금속은 금속 본래의 구조나 특성을 잃기 때문에 경제적으로 커다란 손실을 가져오는데, 매년 철 생산량의 대략 1 / 4 이 녹이 슨 것을 대체하는데 사용된다. 현재의 녹 제거 방법은 염산, 황산 등의 강산성을 사용하므로 금속에 손상을 준다[12-15].

미용실에서의 파머의 원리인 산화-환원(redox) 반응을 이용하여 금속인 모재에는 영향을 주지 않고, 발생한 금속의 부식(rust)만을 제거하고, 다시 재활용이 가능한 강산처리 방법 아닌 pH가 중성인 녹 세정제이다.

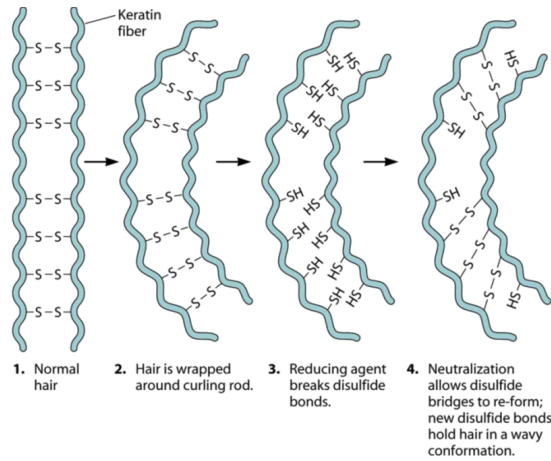


Fig. 1. Principle of permanent waving.

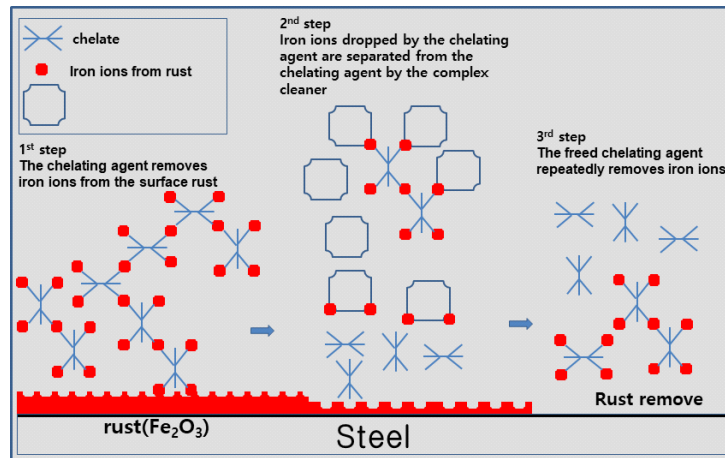


Fig. 2. Rust removal using the permanent waving reducing agent and chelate.

본 연구는 대중적으로 사용하는 화장품과 식품 재료를 이용하여 녹을 제거하는 방법이다.

녹(rust)은  $Fe_2O_3$  혹은  $Fe_3O_4$ 로 구성되어 있는데, 전자는 우리가 흔히 녹이라고 부르는 적색 녹이고, 후자는 적 녹과 관석이 생기는 것을 방지하는 성질을 가지고 있는 부동태 피막(Passive films)이란 보호막을 형성하는 성질을 가지고 있다[16, 17].

선택적으로 적녹( $Fe_2O_3$ )을 제거하기 위해서 환경에 무리가 가지 않는 소재를 이용하여 선택적 킬레이트 반응을 일으켜서, 모재에 영향을 주지 않고 적색 녹을 제거하였다.

## 2.2. 실험재료 및 방법

### 2.2.1. 시약 및 기기

본 연구에서는 모발 미용 원리를 응용하여 다양한 화장품과 식품재료를 이용하여 녹 세정제를 제조하였다.

실험에 사용한 재료는 미용 퍼머용 환원제와 킬레이트제인 Amidinocysteine, Acetyl Cysteine, Methyl Thioglycolate, Ethanolamine Thioglycolate, Cysteamine, 에틸렌다이아민, 글루콘산나트륨 등 이다.

이러한 재료들은 Sigma의 순정 시약을 구입하여 사용하였으며 세스퀴탄산나트륨(Sodium Sesqui-

carbonate) 탄산수소나트륨( $\text{NaHCO}_3$ , 중조)은 T 식품원료사의 식품용을 구입하여 실험하였다.

증점제로는 Guar gum, Sodium alginate, 한천 등으로 E 식품원료사의 식품용을 구입하여 사용하였다. 천연계면활성제는 glucoside 계열 비이온 계면활성제를 G사의 공업용 제품을 구입하여 사용하였다.

실험에 이용한 산업용 장비는 공업용수 배관과 보일러 난방 배관, 각종 산업용 장비 등이다.

배관은 양주 산업단지 내 염색회사의 10년 이상 된 공업용수배관과 온수용 보일러 배관을 이용하였다. 배관 성분 분석을 위하여 X선 회절분석기(XRD, Bruker DE/D8 Advance, Germany)과 X선 형광분광계(X-ray fluorescence, XRF, Thermo fisher scientific, USA)를 사용하였다.

### 2.2.2. 녹(rust) 세정제 제조

기존의 녹 제거 방법으로는 염산, 황산과 같은 강산 및 인산 등을 이용하는 방법이 있으나 본 연구에서는 퍼머 환원반응을 응용하여 산업장비의 유지(윤활유) 등의 오염물, 녹과 금속산화물 등이 쉽게 용해할 수 있도록 제조하였으며 이를 사용하여 녹 제거 실험을 진행하였다.

40 °C에서 120분간, 2 종류 이상의 퍼머용 환원제와 2종의 킬레이트제, 중조, 세스퀴탄산나트륨, 증점제 등을 일정한 비율로 수용액과 배합하고 교반한 후 일정량의 계면활성제와 혼합하여  $\pm 50$  cps(Centipoise), pH 6.8 ~ 7.5 정도의 점도와 중성의 pH를 가진 녹 세정제 용액을 제조하였다.

### 2.2.3. 배관 성분 분석

공업용수 배관을 각각 10 cm 크기로 자른 후 공업용수 배관 벽면에 부착된 녹과 유기물로 이루어진 오염물을 채취하여 110°C에서 건조 후 미세분말로 만든 후 이를 500 ~ 600 °C에서 60분간 연소시켜 부착되어 있는 유기물을 제거한 후에 XRD과 XRF를 이용하여 분석하였다.

### 2.2.4. 다양한 산업장비 녹 제거 실험

기초실험으로 제조한 녹 세정제를 다양한 산업장비인 녹이 많이 발생해 있는 못, 철근, 철판 및 산업용 배관 등을 녹 세정제 원액 또는 희석배율에 따라 제거 실험을 실시하였다. 또한 제조한 녹 세정제를 이용하여 공업용수 배관과 보일러 배관 내

녹 제거 전과 후를 중량분석법으로 측정하였다. 세정대상 오염물질은 공업용수와 난방 배관 내 녹과 스케일 등의 오염물이다.

공업용수 배관들은 일정 크기로 자르고 난방 배관과 함께 증류수 욕조에 담근 후 녹 세정제를 원액 또는 일정량의 희석액에 처리하였다. 증류수 욕조에서 서서히 교반되면 상온에서 1시간 반응 접촉 후에 처리한 배관을 110 °C에서 40 분간 건조 후 무게를 측정하였다.

처리 전과 처리 후의 배관 무게를 비교함으로써 반응 전후 녹과 오염물 제거능력을 측정하였다. 배관 녹과 오염물에 대한 제거효율은 초기 배관의 무게, 비교군의 처리전후 배관무게와 배관 녹 세정제 처리전후 배관의 무게를 비교하는 중량분석법[18, 19]을 사용하였다.

식(1)은 중량분석법 계산식으로, 동일한 크기의 시료의 개수는 5개이며 실험 전후 산술평균하여 결과를 나타냈다.

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

AP : 처리 후 질량 [g]

IP : 배관과 초기 오염물의 총 질량 [g]

n : 실험 횟수

RE : 제거 효율 [%]

녹 세정제의 녹 제거 성능 대조군으로 인산염 계통의 녹 제거제, 염산, 황산 계통의 녹 제거제 등 3종을 구입하여 위와 같은 동일한 접촉시간 조건에서 실험을 진행하였다.

모든 실험과정은 사진 촬영 및 육안으로 확인하도록 하여 공업용수 및 보일러 배관 녹과 오염물에 대한 제거 실험 전후 과정을 확인하였다. 다양한 실험을 바탕으로 울산 H제철의 수출용 용접 가스 배관에 대한 현장 적용 시험을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 녹 세정제의 제거 효과

제조한 중성 pH의 녹 세정제를 녹이 많이 발생해 있는 못, 철근, 철판 및 산업용 배관 등의 산업장비에 녹 세정제 원액 또는 희석배율에 따라 dipping하여 녹 제거 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

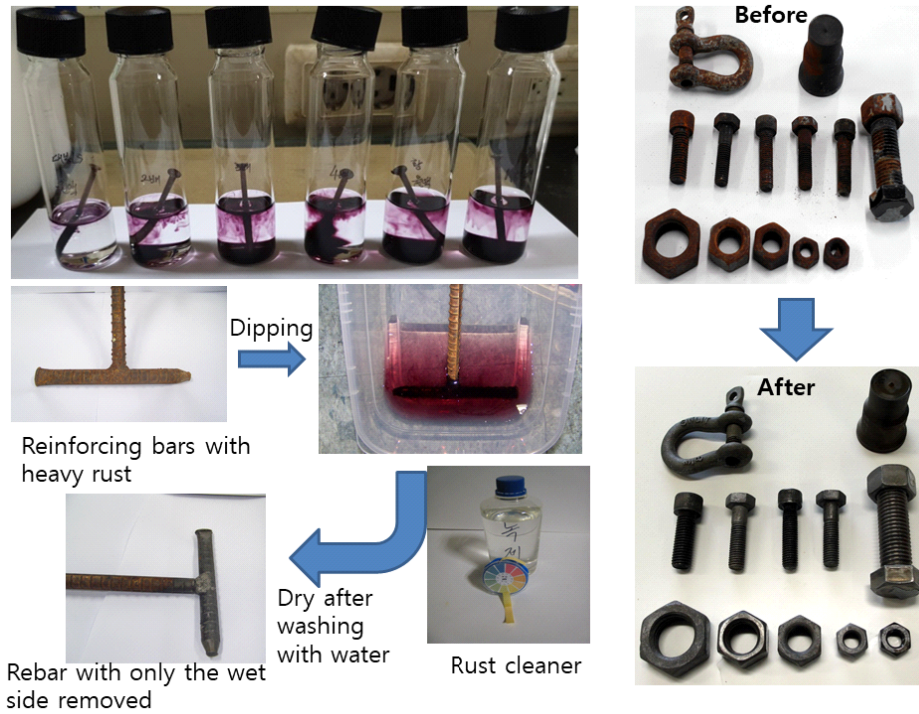


Fig. 3. Effect of rust removal for various industrial equipment.

그림에서 보듯이 심한 녹이 발생한 산업장비들을 제조한 녹 세정제에 원액 또는 희석액에 dipping 하는 즉시 빠르게 산화철이 떨어져 나오며 진한 보라색상을 띄면서 우수한 녹 제거 효과를 나타내었으며 건조 후에도 일정기간 녹이 발생하지 않은 상태를 나타내었다.

### 3.2. 녹 배관 조성 분석 결과

공업용수 배관에 대한 XRD와 XRF 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서와 같이 공업용수 배관의 주성분은 산화철( $Fe_2O_3$ ), 탄산칼슘, 산화칼슘( $CaO$ ) 등의 산화철, 칼슘과 탄산염, 산화규소( $SiO_2$ ), 산화알루미늄( $Al_2O_3$ ), 산화망간( $MnO$ ) 등으로 이루어져 있는 것을 확인할 수 있었다.

분석결과, 공업용수 배관의 가장 많은 성분 비율 순으로 Table 1에 나타내었다. 그 결과 K, Cu, Zn, P 등의 이온과 산화물 등이 있었으나 아주 적은 함량이므로 Table 1에 나타내지 않았으며 주로 많이 검출된 물질은 칼슘과 탄산염 화합물과 녹의 주성분인 산화철( $Fe_2O_3$ )로 나타났다.

### 3.3. 녹 제거 효율 실험 결과

Table 2는 일정 크기로 자른 공업용수와 보일러 배관 내 녹과 스케일 등의 오염물에 대하여 대조군 3종과 본 연구에서 제조한 녹 세정제의 반응 전후 효과를 중량 분석법으로 측정한 결과를 나타내었다[20].

기존 3종(염산계, 황산계 및 인산계)의 대조군들보다 본 연구 녹 세정제의 녹과 오염물 제거 효율이 동일 접촉시간(1 시간)에서 공업용수 배관은 1.75 ~ 2.5배, 난방 배관은 1.56 ~ 2.2배 우수한 것을 확인할 수 있었다.

특히 본 연구의 녹 세정제는 다른 대조군보다 빠른 시간에 녹을 제거할 수 있다는 장점을 지니고 있었다.

Fig. 5는 공업용수 배관과 난방 배관에 대한 녹과 오염물 제거과정이다. 육안으로 확인한 결과 녹과 오염물이 생성된 배관들이 1시간 이내의 빠른 시간에 91 % 이상의 우수한 효율로 제거되었다.

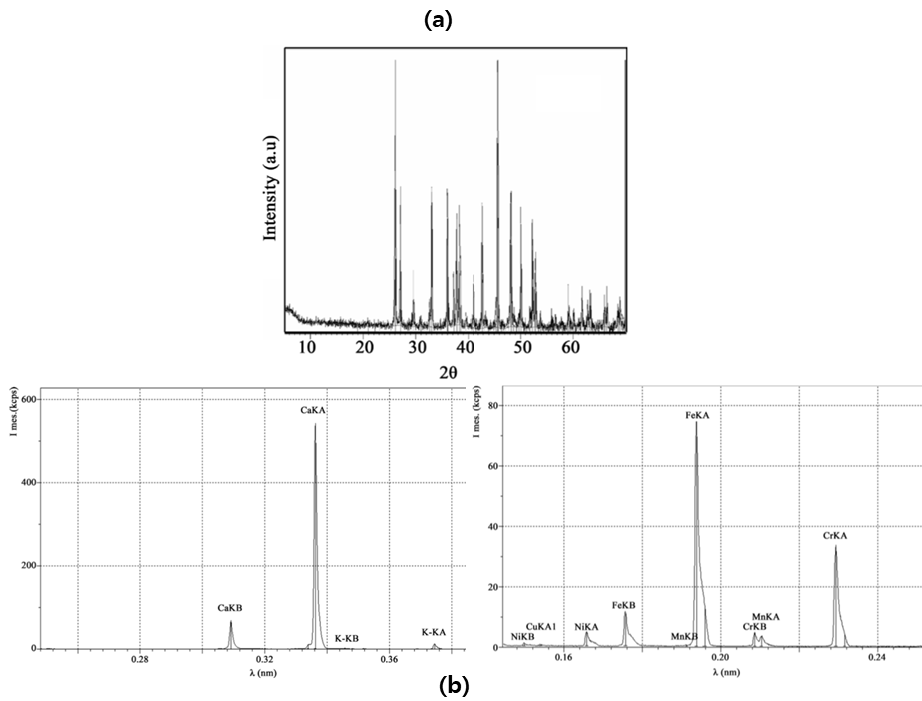


Fig. 4. Analysis results of XRD(a) and XRF(b) for Pipe.

Table 1. Composition of industrial water pipe scale and rust

Component	Concentration(weight %)
CaCO <sub>3</sub> , CaO	47.2
Iron oxide(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	42.6
Silica(SiO <sub>2</sub> )	3.5
Magnesium oxide(MgO)	2.8
Alumina(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2.1
Manganese(II) oxide(MnO)	0.7

Table 2. Evaluation of scale and rust removal efficiency (%)

Component		Removal efficiency (%)	
		Industrial water pipe	Water heating boiler pipe
Control cleaner	Hydrochloric acid	52	58
	Sulfuric acid	54	47
	Phosphate	38	42
This study	Rust cleaner	95	91

(n=5)



Fig. 5. Photograph of scale removal before and after processing of pipes.

### 3.3. 산업현장 녹 제거 결과

앞선 다양한 실험을 바탕으로 울산 H제철의 수출용 용접 가스배관에 대한 현장 적용 시험을 실시하였다.

현장테스트 대상은 6 m길이의 수출용 가스배관으로 강판(steel plate)을 구부리고 용접하는 과정에서 발생하는 내부 녹이 생성된 배관이다.

Fig. 6은 현장 테스트 전후 결과 사진이며 기존에는 내부 grinding 작업으로 많은 작업인원과 오랜 작업시간으로 효율적인 생산성이 나오지 않으나 본 연구의 세정제를 이용하여 녹 세정제의 내부 표면접촉 작업으로 30분 이내의 시간에 효율적으로 녹을 제거하였다.





Fig. 6. Industrial field test results for rust cleaner.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 퍼머 미용의 환원제와 킬레이트 반응을 응용하여 화장품과 식품 재료로 중성 pH의 녹 세정제를 제조하고 각종 산업용장비 및 배관들에 대한 녹 제거 효과를 확인하였다.

대조군인 기존 화학 세정제 3종과 제조한 녹 세정제의 제거 효율을 중량 분석법을 이용하여 비교한 결과 본 연구의 녹 세정제의 제거효율이 공업용 배관은 1.75 ~ 2.5배, 난방 배관은 1.56 ~ 2.2배 더 우수한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 녹 세정제는 화장품과 식품의 재료로서 강산과 같은 유해성이 없으므로 강산, 인산염 또는

유해한 녹 세정제 사용이 불가한 배관이나 설비에 적용이 가능하여 녹 제거 필요 다양한 산업현장에서 새로운 녹 제거방법으로 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

#### References

1. A.Y. Musa, A.A.H. Kadhum, A.B. Mohamad, M.S. Takriff, E.P. Chee, "Inhibition of aluminum corrosion by phthalazinone and synergistic effect of halide ion in 1.0 M HCl", *Current Applied Physics*, Vol 12, pp.



- 325–330, (2012).
2. D. Jamil, A. Al-Okbi, S. Al-Baghdadi, A. Al-Amiery, A. Kadhim, T. Gaaz, A. Kadhum, A. Mohamad “Experimental and theoretical studies of Schiff bases as corrosion inhibitors”, *Chemical Central Journal*, Vol 12, pp. 1–9, (2018)
  3. J. Aljourani, K. Raeissi, M. Golozar, “Benzimidazole and its derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl solution”, *Corrosion Science*, Vol 51, pp. 1836–1843, (2009).
  4. M. Yadav, L. Gope, T. K. Sarkar, “Synthesized amino acid compounds as eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid solution: electrochemical and quantum studies”, *Research on Chemical Intermediates*, Vol. 42, pp. 2641–2660, (2016).
  5. A. Amin, K. Khaled, Q. Mohsen, H. Arida, “A study of the inhibition of iron corrosion in HCl solutions by some amino acids”, *Corrosion Science*, Vol 52, pp. 1684–1695, (2010).
  6. A. Fiala, A. Chibani, A. Darchen, A. Boulkamh, and K. Djebbar, “Investigations of the inhibition of copper corrosion in nitric acid solutions by ketene dithioacetal derivatives,” *Applied Surface Science*, Vol 253, No.24 pp. 9347–9356, (2007).
  7. S. A. Umoren, O. Ogbobe, I. O. Igwe, and E. E. Ebenso, “Inhibition of mild steel corrosion in acidic medium using synthetic and naturally occurring polymers and synergistic halide additives,” *Corrosion Science*, Vol 50, No.7 pp. 1998–2006, (2008).
  8. A. Chetouani and B. Hammouti, “Corrosion inhibition of iron in hydrochloric acid solutions by naturally henna,” *Bulletin of Electrochemistry*, Vol 19, No.1 pp. 23–25, (2003).
  9. K. Khaled, M.A. Amin, “Corrosion monitoring of mild steel in sulphuric acid solutions in presence of some thiazole derivatives – molecular dynamics, chemical and electrochemical studies”, *Corrosion Science*, Vol 51, pp. 1964–1975, (2009).
  10. G. Junlin, Z. Guozhi., “Study and Application of Environmental and Efficient KM Metal Cleaner”, *Corrosion and Protection*, Vol 29, No.6 pp. 15–17, (2008).
  11. I. B. Obot, M. M. Solomon, R. Suleimana, M. Elanany, “Progress in the development of sour corrosion inhibitors: Past, present, and future perspectives”, *J. Industrial and Engineering Chem.*, Vol 79, pp. 1–18, (2019).
  12. K. Azzaoui, “Eco friendly green inhibitor Gum Arabic (GA) for the corrosion control of mild steel in hydrochloric acid medium”, *Corrosion Science*, Vol 129, pp. 70–81, (2017).
  13. J. Liqiang, Z. Jingwu, L. Hua., “Study on Acid Fog Inhibitor and Corrosion Inhibition for Pickling Process of Hydrochloric Acid”, *Corrosion Science and Prevention Technology*, Vol 16, No.2, pp. 98–101, (2004).
  14. N. Raghavendra, J.I. Bhat, “Green approach to inhibition of corrosion of aluminum in 0.5 M HCl medium by tender arecanut seed extract: insight from gravimetric and electrochemical studies”, *Research on Chemical Intermediates*, Vol 42, pp. 6351–6372, (2016).
  15. P. E. Alvarez, M. Fiori-Bimbi, A. Neske, “Rollinia occidentalis extract as green corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol 58, pp. 92–99, (2018).
  16. T. H. Lee, K. H. Ryu, H. D. Kim, S. Choi, “Effect of oxide film on ECT detectability of surface IGSCC in laboratory-degraded alloy 600 steam generator tubing”, *Nuclear Engineering and Technology*, Vol 51, pp. 1381–1389, (2019).
  17. S. Zhang, R. Shi, Y. Tan, “Corrosion behavior of the oxide films modified with zincizing treatment on AISI 1020 steel”, *J. Alloys and Compounds*, Vol 711, pp. 155–

- 161, (2017).
18. P. K. Mathur, L. N. Srivastava, "Gravimetric estimation of silver as silver tetraisothiocyanato dianilinechromate(III), Fresenius" *J. Analytical Chem.*, Vol 262, No.2, 110, (1972).
  19. M. A. Migahed, I. F. Nassar, "Corrosion inhibition of Tubing steel during acidization of oil and gas wells", *Electrochim. Acta.*, Vol 53, pp. 2877–2882 (2008).
  20. C. Verma, E. E. Ebenso, L. O. Olasunkanmi, I. B. Obot, "Adsorption Behavior of Glucosamine Based Pyrimidine-fused Heterocycles as Green Corrosion Inhibitors for Mild Steel: Experimental and Theoretical Studies", *J. Phys. Chem. C.*, Vol 120, pp. 11598–11611, (2016).
  21. A. Zeino, I. Abdulazeez, M. W. Jawich, "Mechanistic study of polyaspartic acid (PASP) as eco-friendly corrosion inhibitor on mild steel in 3% NaCl aerated solution", *J. Molecular Liquids*, Vol 250, pp. 50–62, (2018).
  22. K. F. Khaled, "Monte Carlo simulations of corrosion inhibition of mild steel in 0.5 M sulphuric acid by some green corrosion inhibitors", *J. Solid State Electrochem.*, Vol 13, No 13, pp. 1743–1756, (2009).
  23. A. Kahyarian, A. Schumaker, A. Brown, "Acidic corrosion of mild steel in the presence of acetic acid: Mechanism and prediction", *Electrochimica Acta*, Vol 258, pp. 639–652, (2017).