

금속산업폐수의 재이용을 위한 물리화학적 전처리공정의 유기물 및 무기물제거 특성 평가 Evaluation of Organics and Inorganics Removal of Physicochemical Pretreatment Processes for Reuse of Metal Industry Wastewater

하동환 · 정진영[†]
Dong-Hwan Ha · Jin-Young Jung[†]

영남대학교 환경공학과
Department of Environmental Engineering, Yeungnam University

(2013년 2월 11일 접수, 2013년 3월 15일 채택)

Abstract : Several pretreatment processes such as softening, coagulation and precipitation, activated carbon adsorption, ion-exchange and neutralization processes were studied to remove organics and inorganics for selection of the RO based reusing system of metal industry wastewater. The effects of the hydrophobic/hydrophilic fractions of the organics on DOC removal were tested and used to optimize the combination process. Among various pretreatment processes, softening could reduce 93.4% of hardness and could remove all hydrophobic organics from the effluent of metal industry wastewater. Softening followed by coagulation process could reduce DOC (Dissolved Organic Carbon) from 5.1 mg/L to 1.6 mg/L. In addition, as a result of physicochemical pretreatment to raw wastewater of metal industry, neutralization with NaOH showed an efficient removal of iron and TDS (Total Dissolved Solids) without increase in the hardness.

Key Words : Metal Industry Wastewater, Water Reuse, Reverse Osmosis, Pretreatment, Organic Fractionation

요약 : 역삼투기반 금속산업폐수 물재이용시스템의 전처리공정을 선정하기 위해 연수화, 응집침전, 활성탄, 이온교환 및 중화침전공정에 대한 무기물 및 유기물 제거특성을 조사하였다. 유기물제거를 위해 DOC중 친수성 및 소수성 유기물을 분류하였으며, 이를 이용하여 조합공정을 최적화하였다. 다양한 전처리공정 중에서 연수화는 금속산업 방류수에 존재하는 칼슘경도(1,201 mg/L as CaCO₃)를 93.4%제거함과 동시에 소수성유기물을 모두 제거하는 것으로 나타났다. 연수화 후에 응집침전공정을 연계할 경우, 방류수에 포함된 유기물 5.1 mg DOC/L을 1.6 mg DOC/L까지 저감할 수 있었다. 또한, 금속공정 원폐수를 대상으로 가성소다를 이용한 중화침전공정을 적용하였을 때, 수중경도를 유발하지 않으면서도 철과 총용존성고형물을 효과적으로 제거할 수 있는 것으로 나타났다.

주제어 : 금속산업폐수, 물재이용, 역삼투, 전처리, 유기물분류

1. 서론

역삼투공정은 물은 쉽게 통과시키지만 용존성물질은 투과시키지 않는 반투과성막의 특징을 이용한 막여과기술로서, 수중에 포함된 다양한 물질들을 동시에 제거하여 거의 순수한 물로 구성된 처리수를 생산한다.¹⁾ 또한, 역삼투공정은 다양한 오염물질을 고농도로 함유하고 성상의 변동폭이 큰 산업폐수를 공정용수로서 재이용 가능한 수질까지 처리할 수 있어, 최근 역삼투공정을 기반으로 하는 산업폐수 재이용기술에 대한 활발한 연구와 적용이 이루어지고 있다.^{2,3)}

막오염은 막여과공정의 가장 큰 제한요소이고, 이는 크게 네가지로 분류된다.⁴⁾ 첫째, 무기물에 의한 막오염은 대부분 2가 이상인 금속이온들의 불용해성염이 포화될 때에 발생하고 이들은 막표면에 스케일층을 형성한다.¹⁾ 둘째, 유기물에 의한 막오염은 주로 세포용해에 의해 발생하는 다당류, 단백질과 핵산 등의 EPS (Extracellular Polymeric Substances)와 유기체의 분해부산물인 휴믹물질 등에 의해 일어난다. 이들은 대부분 막표면에 비가역적으로 부착하고, 특히 휴믹물질

이 칼슘, 철 등의 금속이온과 반응하여 생성하는 킬레이트화합물은 막표면에 겔층을 형성하는 것으로 알려져 있다.^{5,6)} 셋째, 미생물에 의한 막오염은 시료에 포함된 조류, 바이러스, 박테리아, 균류와 원생동물 등의 생물막형성에 의해 발생된다. 막표면에서 발생하는 농도분극현상에 의해 유기물 및 영양염류가 농축되고, 이는 미생물의 생장에 이상적인 조건을 제공하여 생물막의 형성을 촉진시킨다.⁷⁾ 이러한 생물학적 막오염은 특히 열대 및 아열대 지방에서 역삼투공정의 운전에 중요한 제한인자이다.⁸⁾ 마지막으로, 입자성물질에 의한 막오염은 콜로이드 입자의 침적에 의해 일어난다. 전체 막오염에 대한 기여도는 크지 않은 것으로 보고되고 있다.^{9,10)}

RO막은 막오염에 민감하기 때문에 역삼투공정의 장기적인 운영을 위해서는 높은 수준의 전처리가 요구된다.¹⁰⁾ 부적절한 전처리공정은 막오염을 가속화하여 막의 세정주기를 단축시키고, 생산수의 수질저하, 회수율과 막의 수명을 단축 야기하며 운전압력을 상승시킨다. 이러한 현상들은 운전비용에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 시료의 성상에 적합한 전처리공정의 선정은 매우 중요하다.¹¹⁾

[†] Corresponding author E-mail: jinjung@ynu.ac.kr Tel: 053-810-2541 Fax: 053-810-4624

본 연구에서는 역삼투기반 금속폐수 재이용시스템의 전처리공정을 선정하기 위해, 금속산업 방류수와 원폐수의 성상을 분석한 다음, 분석결과를 토대로 다양한 전처리공정의 유기물제거특성을 조사하였다. 우선, 방류수를 대상으로 연수화, 응집침전, 활성탄흡착과 이온교환공정을 적용하여, 각 공정의 무기물제거특성과 유기물분류를 통한 유기물특성별 제거특성을 조사하였다. 또한 금속산업 원폐수에 대한 중화침전공정의 전처리특성도 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 금속폐수

전처리공정의 오염물질 제거특성실험에는 포항시에 위치한 H사의 금속산업 원폐수와 방류수가 사용되었다. 주로 선강을 생산하는 H사의 폐수는 염산과 황산 등을 이용하여 금속표면을 세정한 세정폐수가 주를 이룬다. 이에 따라, 원폐수는 1.9의 낮은 pH와 4,948 mg/L의 높은 철농도를 가지는 특징을 나타내었다. H사의 기존 폐수처리공정에서는 이를 처리하기 위해서 2단계의 중화공정과 사여과공정을 적용하고 있었는데, 이 중 중화공정에서 사용되는 소석회로 인해 방류수에는 다량의 경도(1,201 mg/L as CaCO₃)가 포함되어 있었다. 금속산업 원폐수와 방류수의 물리화학적 특성은 Table 1에 나타내었다.

2.2. 전처리공정

연수화실험은 1 L비커에 500 mL의 시료와 소다회(Na₂CO₃), 가성소다(NaOH)를 첨가한 다음, Jar-tester (JT-M6C, Wisestir)를 이용하여 20 rpm(교반강도 110 /s)에서 20분간 교반하고 30분간 침전시켰다. 경도제거효율을 향상시키기 위한 실험에서는 Illite 1 g/L, Calcite 12.5 g/L, 가성소다 100 mg/L를 각각 주입하였고 300 rpm(교반강도 6,400 /s)의 고속교반과 20 kHz의 초음파처리를 30분간 시행하였다(XL-2020, Miso-

nix). 약품주입량 선정을 위해, 기초실험을 통해 선정된 20개의 각기 다른 주입량에 대한 경도제거효율을 확인하였다.

응집침전실험은 기초실험에서 유기물 제거율이 가장 뛰어난 것으로 나타난 염화제이철을 응집제로 사용하였고 그 주입량은 3.3 mg Fe/mg DOC로 하였다. 1 L 비커에 시료 500 mL를 넣고 pH를 6.2로 조절한 다음, Jar-tester를 이용해 150 rpm 조건에서 5분간 급속으로 교반한 후, 60 rpm에서 30분간 완속으로 교반하고 30분간 침전시켰다.

활성탄흡착실험에는 백화에서 생산한 입상활성탄을 사용하였다. 입상활성탄은 사용 전에 입경 0.22 mm로 분쇄한 다음 증류수로 세척하여 부유성물질을 제거하고 80°C에서 2일간 건조한 후, 105°C에서 2시간 동안 추가로 건조하여 사용하였다. 흡착실험은 1 L 배양병에 500 mL의 방류수와 10 g의 입상활성탄을 첨가한 다음, 사전에 조사된 흡착평형에 도달하는 시간인 10시간 동안 20°C, 150 rpm 조건의 진탕배양기(VS-8480, Vision)에서 혼화하였다.

이온교환은 직경 11 mm의 칼럼에 IR-120 수지를 충전하여 EBTC (Empty Bed Contact Time)는 1.5분, BV (Bed Volume)은 7.5 mL조건에서 하향류로 실험하였다.

연수화-응집침전 연계공정실험은 연수화 처리수의 상등액 500 mL을 1 L비커에 넣은 다음, 상기 응집침전실험과 동일하게 수행하였다.

중화침전은 250 mL비커에 시료 200 mL를 주입하고 2M NaOH용액을 사용하여 pH를 조정하고 Jar-tester를 이용하여 100 rpm조건에서 20분간 교반하고 30분간 침전시켰다.

2.3. 유기물 분류

전처리공정의 유기물특성별 제거효율을 확인하기 위해 극성 및 소수성도 기준으로 유기물을 분류하였다.²⁾ 시료를 XAD-4, IRA-900와 IR-120 이온교환수지에 통과시켜, 각 이온교환 수지에서 제거된 유기물을 차례로 소수성(Hydrophobics),

Table 1. Physicochemical characteristics of metal wastewater

Parameters	Unit	Raw wastewater	Effluent
pH		1.9 ± 0.2	7.1 ± 0.2
Conductivity	mS/cm	11.6 ± 0.2	5.8 ± 0.2
TDS	mg/L	5,784 ± 120	2,860 ± 157
TSS	mg/L	33.7 ± 3.4	4.8 ± 0.6
BOD ₅	mg/L	5.2 ± 0.3 ^{a)}	1.7 ± 0.6
COD _{Cr}	mg/L	66.7 ± 2.0	44.0 ± 2.7
DOC	mg/L	4.5 ± 0.4	5.1 ± 1.3
Total alkalinity	mg/L as CaCO ₃	N,D	27.0 ± 1.0
Hardness	mg/L as CaCO ₃	N,D	1,201 ± 119
Ca ²⁺	mg/L	N,D	480 ± 47.6
Iron	mg/L	4,948	0.86

N,D: Not Detected

^{a)} 1 M NaOH를 이용하여 pH를 7로 조정하고 분석하였음

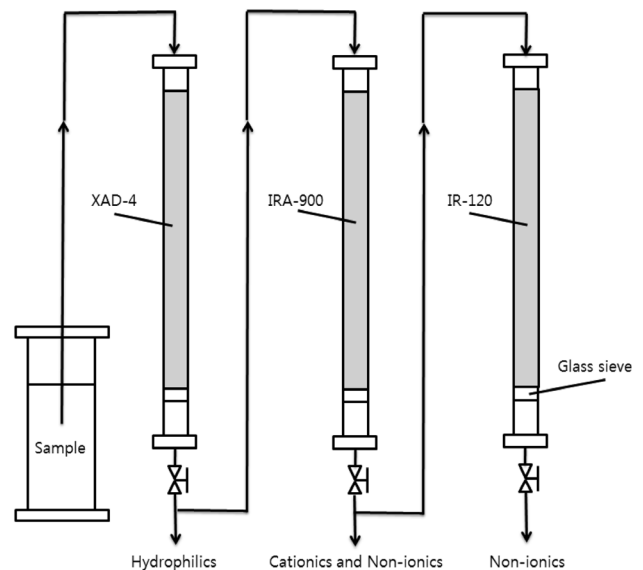


Fig. 1. Schematic diagram of the organic fractionation test.

음이온친수성(Anionics), 양이온친수성(Cationics)으로 분류하였고, 세 이온교환수지에 의해 제거되지 않은 유기물은 비이온친수성유기물(Non-ionics)로 분류하였다. 이 때 극성유기물의 분류를 촉진하기 위해 IRA-900와 IR-120수지를 이용한 처리시 pH를 각각 10.0과 4.0으로 조절하였다. 모든 실험은 duplication으로 진행하였고, 그 결과들 간에는 큰 차이가 없었으므로 결과에는 산술평균값을 나타내었다. Fig. 1에는 유기물분류실험의 모식도를 나타내었다.

2.4. 분석방법

SS (Suspended Solids), BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), 경도, 알칼리도, 철과 칼슘이온 등은 Standard Methods에 따라 분석하였고, DOC는 TOC 분석기(TOC-VCPH, Shimadzu)를 이용하여 분석하였다.¹²⁾ TDS와 전도도의 측정에는 HI 9835N (HANNA instruments)를 이용하였고, pH는 F-51BW (Horiba)를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 금속산업폐수 방류수 대상 전처리공정

3.1.1. 연수화공정의 최적화

Kweon 등의 보고에 따르면, 연수화공정은 수중 경도를 효과적으로 제거할 뿐만 아니라 유기물의 일부를 동시에 제거하여 막오염을 저감하였다.¹⁰⁾ 연수화공정은 고농도의 경도(1,201 mg/L as CaCO₃)와 저농도의 유기물(5.1 mg DOC/L)을 포함하는 방류수의 특성을 고려하였을 때, 금속산업 방류수의 RO전처리에 가장 적합한 공정으로 판단되었고, 따라서 연수화공정의 전처리효율을 최대화하기 위한 실험을 수행하였다.

우선 소다회만을 이용했을 때의 경도제거 경향을 조사하였다. 소다회주입농도 2,300 mg/L까지 수중경도는 소다회의 주입농도에 비례하여 직선적으로 감소하였고, 이후 감소속도가 급격하게 줄어들어 3,460 mg Na₂CO₃/L에 모두 제거되었다(Fig. 2).

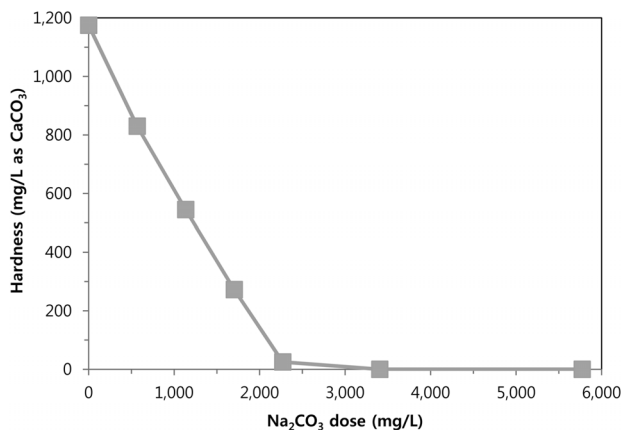


Fig. 2. Effect of Na₂CO₃ addition on hardness removal.

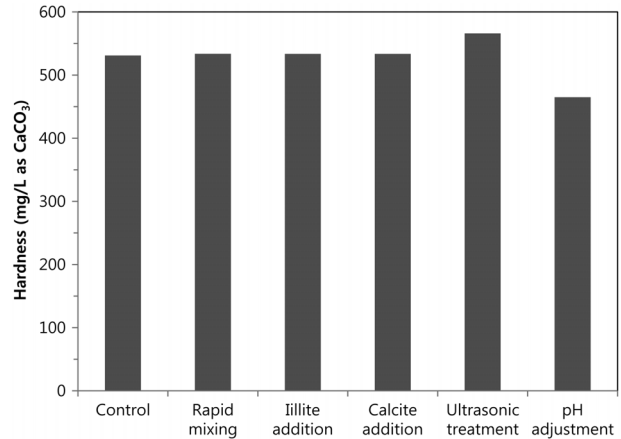
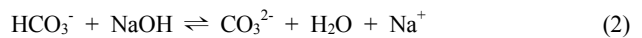


Fig. 3. Feasibility test for enhancement of hardness removal of softening process.

소다회주입만으로도 수중경도를 모두 저감할 수 있었지만 저감하기 위해서는 다량의 약품이 필요한 것으로 나타났고, 또한 소다회의 과다한 주입은 다량의 잔류탄산염을 유발하므로 소다회만을 사용하는 연수화공정은 전처리공정으로서 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

연수화공정의 경도제거효율을 높이기 위해 응집핵 첨가, 초음파처리, pH 및 교반강도 조절 등을 수행하였다. 보고에 따르면 연수화공정에서 Calcite의 주입은 반응속도와 입자크기¹³⁾ 및 입자침강속도¹⁴⁾를 증가시키고, 강한 교반강도도 응집입자의 크기를 증가시킨다.¹³⁾ 그러나 본 연구에서 이러한 조작용은 경도제거율의 향상에 도움을 주지 못하는 것으로 나타났다. Illite첨가도 경도제거율에 영향을 주지 못하였고, 초음파처리는 침전물의 입자크기를 크게 한다고 보고되었지만,¹⁵⁾ 본 실험에서는 오히려 연수화공정의 칼슘제거를 저해하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

가성소다의 주입은 연수화공정의 경도제거율을 상승시키는 것으로 나타났다. 소석회와 가성소다를 이용한 연수화의 이론적 화학식은 아래와 같다.



시료는 중성(pH 7.1)을 나타내었으므로 연수화공정에서 주입되는 소다회의 탄산이온 중 일부는 식 (1)에서 나타낸 바와 같이 물이온을 분해하면서 중탄산이온으로 전환되고, 이 과정에서 생성된 수산화이온은 시료의 pH를 상승시킨다. 여기에 가성소다를 주입하면 식 (2)와 같이 중탄산이온이 탄산이온으로 다시 전환되고, 이 때 생성된 탄산이온은 방류수에 존재하는 칼슘이온과 반응하여 용해도가 낮은 CaCO₃ (K_{sp} = 2.8 × 10⁻⁹ at 25°C)¹⁶⁾ 침전물의 형태로 칼슘이온을 시료로부터 제거할 수 있다.

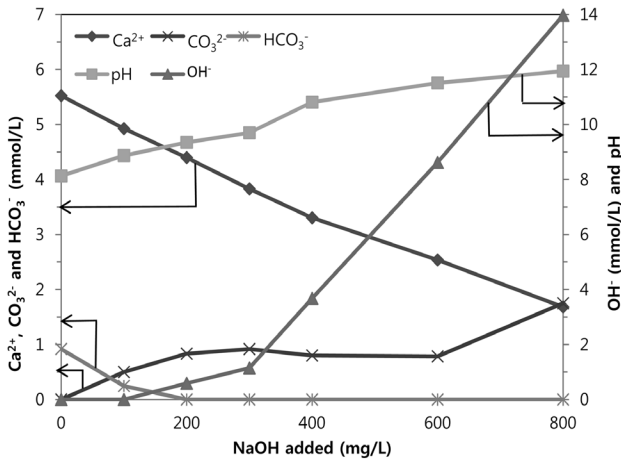


Fig. 4. Effect of NaOH addition on concentration of ions in the effluent of metal wastewater.

Fig. 4에 가성소다의 주입에 따른 pH와 수중 이온들의 농도변화를 나타내었다. 칼슘이온의 농도는 가성소다의 주입에 따라 직선적으로 감소하여, 가성소다 주입량이 800 mg/L일 때 67.3 mg/L까지 감소하였다. 수산화이온은 가성소다의 주입량이 증가함에 따라 증가하였는데, 수산화이온의 증가량은 가성소다 주입량 300 mg/L 이전까지는 가성소다주입량에 비해 상당히 낮게 나타났지만, 그 이후 주입한 가성소다에 함유된 양과 거의 일치하는 것으로 나타났다. 이는 가성소다 주입량 300 mg/L 이하에서는 대부분의 수산화이온이 중탄산이온을 탄산이온으로 전환하는데 사용되었지만, 이후 pH 10 이상에서는 대부분의 탄산염이 탄산이온형태로 존재하므로 수산화이온이 pH상승에만 관여하기 때문으로 판단된다. 가성소다 주입농도 0~300 mg/L 구간에서 중탄산이온이 탄산이온으로 전환되었고, 이러한 결과는 식 (2)와 일치한다.

약품주입량 선정을 위한 실험에서 약품의 주입량이 늘어날수록 수중 경도가 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 5). 가성소다주입농도 2,300 mg/L와 소다회주입량 1,100 mg/L 이상에서는 수중 경도를 모두 제거할 수 있었다. 그러나 수중 경도를 모두 제거하기 위해서는 많은 양의 소다회와 가성소다가 필요하므로, 약품주입량을 저감하면서도 경도를 적절하게

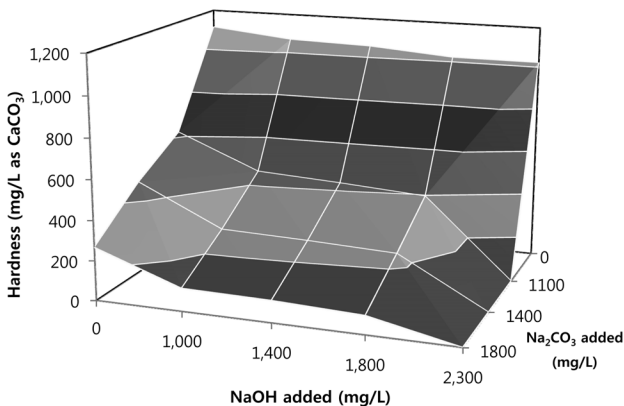


Fig. 5. Hardness removal depending on dose of NaOH and Na₂CO₃.

저감할 수 있도록 1,800 mg Na₂CO₃/L, 1,000 mg NaOH/L를 주입하여 이후 실험을 진행하였다.

이외에도 응집침전, 활성탄흡착 및 이온교환공정에 대한 기초실험과 약품주입량 선정실험을 수행하였다. 응집침전은 사전실험에서 유기물제거에 가장 효과적으로 나타난 염화제이철을 대상으로 응집제주입량을 결정하였다.

3.1.2. 방류수에 대한 단위공정의 전처리특성

각 공정의 경도제거특성을 Fig. 6에 나타내었다. 응집침전공정과 활성탄흡착공정의 경도제거율은 각각 0.4%와 0.8%로, 두 공정은 경도에 대한 제거능이 거의 없는 것으로 나타났다. 이온교환공정은 파과가 시작된 20 BV를 기준으로 경도유출농도는 76.5 mg/L, 제거율은 93.3%를 보이며 수중 경도를 효과적으로 제거할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 방류수에 포함된 고농도의 경도는 이온교환탑의 재생주기를 20 BV으로 하였고, 이는 이온교환공정의 전처리공정으로써 실질적인 적용을 불가능하게 하였다. 연수화공정은 소다회 1,800 mg/L, 가성소다 1,000 mg/L 주입기준으로 경도제거율은 93.4%, 유출농도는 90.2 mg/L를 나타내면서 방류수내 경도를 효과적으로 제거하였다. 또한 연수화공정은 약품주입량에 따라 경도제거율을 제어할 수 있으며, 약품의 추가적인 주입을 통해 방류수에 존재하는 경도를 전량 제거할 수 있는 것으로 나타났다.

금속산업 방류수내 유기물은 각각 2.9 mg/L, 0.7 mg/L, 0.7 mg/L와 0.6 mg/L의 비이온친수성, 양이온성, 음이온성 및 소성유기물로 구성되어 있었고, 이에 대한 각 공정의 유기물특성별 제거능을 Fig. 7에 나타내었다. 응집침전은 양이온친수성 및 음이온친수성 유기물을 모두 제거하여, 수중의 극성친수성유기물의 제거에 효과적인 것으로 나타났다. 활성탄흡착은 시료의 유기물을 1.2 mg DOC/L까지 감소시켜, 전체 유기물농도기준으로 제거율이 가장 높았다. 활성탄은 소성유기물을 모두 제거하고 비이온친수성유기물 86.2%, 음이온친수성유기물 85.7%를 제거하였지만, 양이온친수성유기물은 제거하지 못하는 것으로 나타났다. 연수화공정은 극

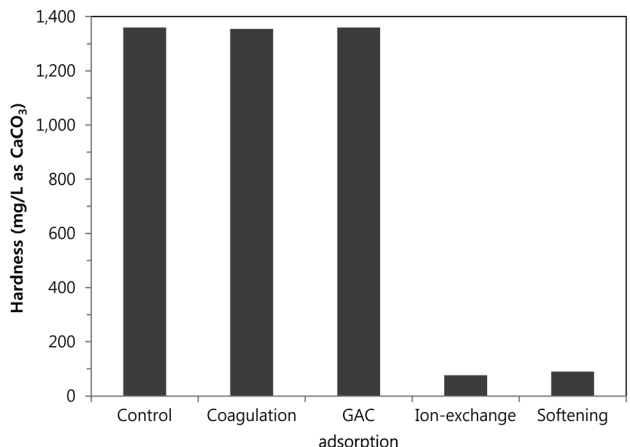


Fig. 6. Comparison of hardness removal of unit pretreatment process.

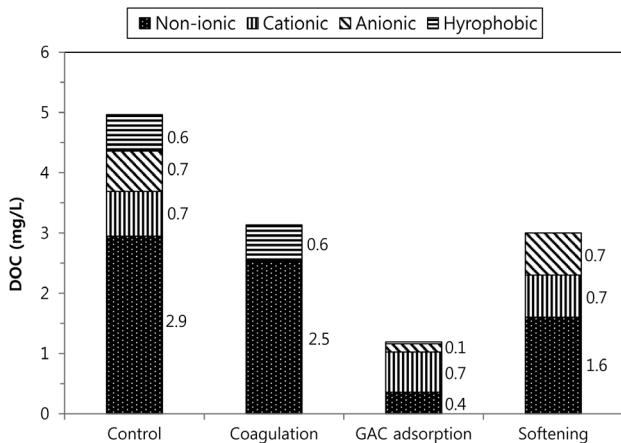


Fig. 7. Comparison of organic fractions removal of unit pre-treatment process.

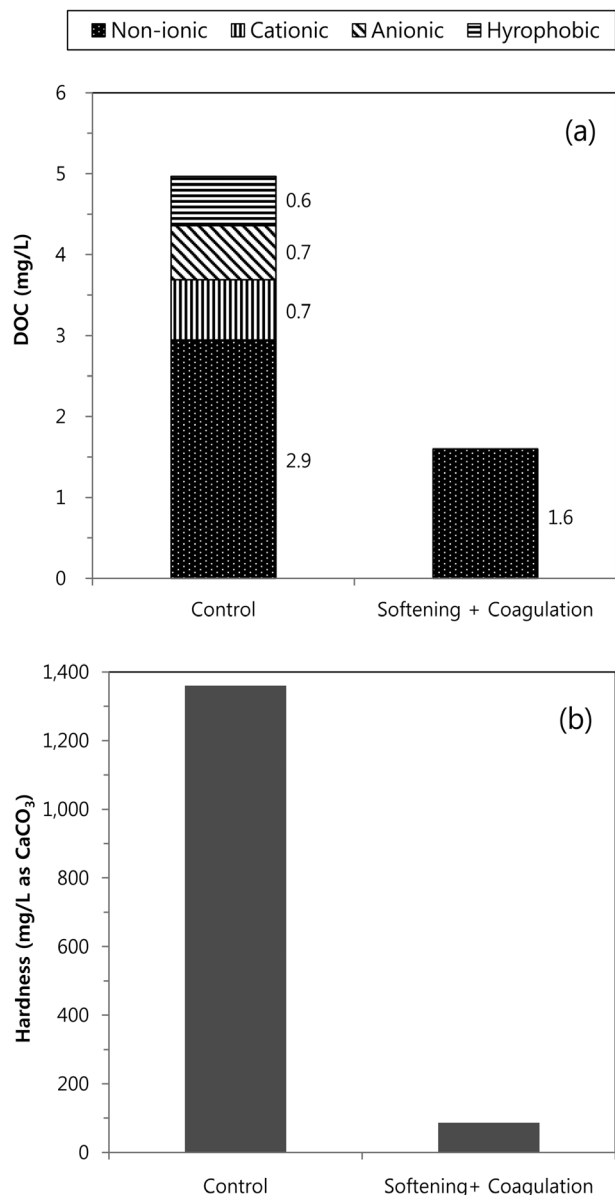


Fig. 8. (a) Organic fractions and (b) hardness removal of softening-coagulation process.

성친수성 유기물은 제거하지 못하였지만 소수성유기물을 모두 제거하였고 비이온친수성유기물의 일부를 제거하는 것으로 나타났다.

상술한 바와 같이 각 공정은 서로 상이한 정도 및 유기물 특성별 제거능을 나타내었고, 이를 바탕으로 방류수내 막오염 유발물질을 효과적으로 저감할 수 있는 공정의 조합을 도출하였다.

3.1.3. 방류수에 대한 연계공정의 전처리특성

단위 공정의 정도 및 유기물특성별 제거능에 대한 비교실험에서 가장 효과적으로 방류수내 경도를 제거할 수 있는 것으로 나타난 연수화공정과, 극성유기물을 제거할 수 없는 연수화공정의 단점을 보완할 수 있을 것으로 예상되는 응집침전공정을 연계하여 그 전처리특성을 조사하였다.

유기물특성별 제거능 조사실험결과, 연수화-응집침전 연계공정은 비이온친수성유기물의 일부(1.6 mg DOC/L)를 제외한 양이온친수성, 음이온친수성 및 소수성유기물을 모두 제거할 수 있었다(Fig. 8(a)). 이 때 소수성유기물은 연수화공정에 의해서 제거되었고, 양이온친수성유기물과 음이온친수성은 응집침전공정에 의해 제거된 것으로 판단된다. 연수화-응집침전 연계공정의 정도제거율은 연수화공정의 정도제거율과 동일한 93.4%로 나타났다(Fig. 8(b)).

연수화-응집침전 연계공정을 통해, 금속공정 방류수에 존재하는 유기물농도를 미생물에 의한 역삼투막의 오염이 증대되는 2 mg DOC/L¹⁷⁾ 이하로 저감할 수 있을 뿐만 아니라, 수중 정도물질을 효과적으로 제거할 수 있었다.

3.2. 금속산업폐수 원폐수 대상 전처리공정의 유무기물 제거특성

H사는 배출허용기준을 만족시키기 위해 기존 폐수처리공정에 소석회를 주입하여 중화침전을 시행하였고, 이는 금속공정 방류수에 다량의 경도를 유발하여 방류수를 대상으로 한 물재이용시스템의 구축시 전처리공정의 약품사용량을 상승시키는 것으로 나타났다. 따라서 수중경도를 유발하지 않으면서도 원폐수가 가지는 막손상 및 막오염인자들을 제거하기 위해, 가성소다를 이용한 중화침전공정을 적용하여 그 전처리특성을 확인하였다.

중화침전공정에서 pH가 증가함에 따라, SS는 지속적으로 감소하였고 그 감소폭은 점차적으로 감소하였다(Fig. 9(a)). 이는 낮은 pH에서 용존성인 철이 pH가 높아짐에 따라 Fe(OH)₃ 등의 형태로 침전하면서 수중의 SS를 일부 제거한 것으로 보인다. TDS는 pH 2.5까지 급감하였는데 이는 상술한 바와 같이 용존 철의 석출로 인한 것으로 판단된다. 이후 pH 10까지 약 2,500 mg TDS/L의 값을 유지하였고, pH 10 이상에서 과다한 가성소다의 주입으로 인한 TDS의 급격한 증가가 나타났다(Fig. 9(b)). TDS와 SS의 농도를 고려할 때 pH 6~10의 구간에서 가장 양호한 수질을 얻을 수 있었지만, 전처리수를 중성으로 유지하기 위해 pH를 7.5로 선정하였다. 이 때 필

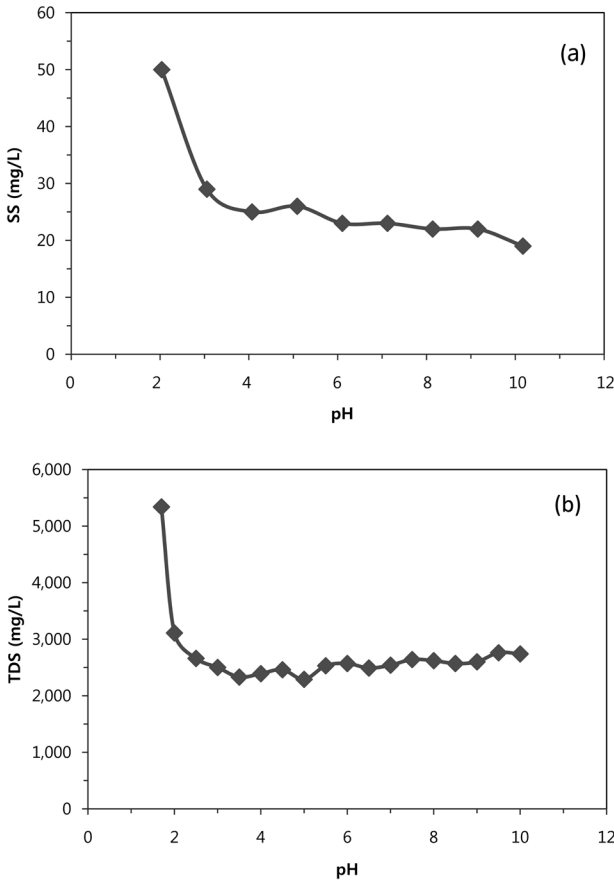


Fig. 9. Variation of SS (a) and TDS (b) concentration according to change in pH.

요한 가성소다의 주입량은 2,300 mg/L였고, 처리수의 수질은 TDS 2,640 mg/L, SS 22.5 mg/L, 철 0.9 mg/L, 유기물 3.9 mg DOC/L로 유지할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 금속폐수를 재이용하기 위한 역삼투기반 물 재이용시스템의 전처리공정을 선정하기 위해 연수화, 응집침전, 활성탄, 이온교환 및 중화침전공정의 무기물제거특성과 유기물분류를 통한 유기물특성별 제거경향을 조사하였다.

금속산업 방류수는 1,201 mg/L as CaCO₃의 고농도 농도와 5.1 mg DOC/L의 유기물을 함유하였고, 수중 유기물은 각각 2.9 mg/L, 0.7 mg/L, 0.7 mg/L와 0.6 mg/L의 비이온친수성, 양이온성, 음이온성 및 소수성 DOC로 구성되어 있었다. 원폐수는 pH 1.9의 강한 상성을 나타내었고, TDS와 철이 각각 5,784 mg/L와 4,948 mg/L로 아주 높게 나타났다.

연수화공정은 금속산업 방류수에 존재하는 칼슘농도를 93.4% 제거함과 동시에 소수성유기물을 전부 제거 가능하였다. 또한, 응집침전공정을 추가할 경우, 방류수내 극성유기물을 전량 제거하여 유기물을 1.6 mg DOC/L까지 저감할 수 있었다. 금속공정 원폐수를 대상으로 가성소다를 이용한 중화

침전공정은 수중 경도를 유발하지 않으면서도, 원폐수에 포함된 철과 TDS를 각각 0.9 mg/L와 2,540 mg/L까지 처리할 수 있었다.

사 사

본 연구는 경북녹색환경지원센터의 2012년도 연구개발사업 지원과 지식경제부 한국산업기술진흥원(KIAT)의 광역경제권 연계협력사업 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

KSEE

참고문헌

- Potts, D. E., Ahlert, R. C. and Wang, S. S., "A critical review of fouling of reverse osmosis membranes," *Desalination*, **36**(3), 235~264(1981).
- Khan, M. H., Ha D. H. and Jung, J. Y., "Optimizing the industrial wastewater pretreatment by activated carbon and coagulation: Effects of hydrophobicity/hydrophilicity and molecular weights of dissolved organics," *J. Environ. Sci. Health, Part A*, **48**(5), 534~542(2013).
- Sostar-Turk, S., Petrinic I. and Simonic, M., "Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration," *Res. Conservation & Recycling*, **44**(2), 185~196(2005).
- Fritzmann, C., Lowenberg, J., Wintgens, T. and Melin, T., "State-of-the-art of reverse osmosis desalination," *Desalination*, **216**(1-3), 1~76(2007).
- Drews, A., Lee, C. H. and Kraume, M., "Membrane fouling-a review on the role of EPS," *Desalination*, **200**(1-3), 186~188(2006).
- Redondo, J. A. and Lomax, I., "Experience with pretreatment of raw water with high fouling potential for reverse osmosis plant using FILMTEC membranes," *Desalination*, **110**(1-2), 167~182(1997).
- Redondo, J. A. and Lomax, I., "Y2K generation FILMTEC RO membranes combined with high fouling potential: summary of experience," *Desalination*, **136**(1-3), 287~306(2001).
- Baker, J. S. and Dudley, L. Y., "Biofouling in membrane systems-A review," *Desalination*, **118**(1-3), 81~90(1998).
- Vrijenhoek, E. M., Hong, S. K. and Elimelech, M., "Influence of membrane surface properties on initial rate of colloidal fouling of reverse osmosis and nanofiltration membranes," *J. Membr. Sci.*, **188**(1), 115~128(2001).
- Kweon, J. H. and Lawler, D. F., "Fouling mechanisms in the integrated system with softening and ultrafiltration," *Water Res.*, **38**(19), 4164~4172(2004).
- Al-Malek, S., Agshichev, S. P. and Abdulkarim, M., "Techno-economic aspects of conventional pretreatment before reverse osmosis (Al-Fujairah Hybrid Desalination Plant)," IDA World Congress, Singapore(2005).

12. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21th ed. Washington, DC(2005).
13. Nason, J. A. and Lawler, D. F., "Particle size distribution dynamics during precipitative softening: Declining solution composition," *Water Res.*, **43**(2), 303~312(2009).
14. Rahardiantoa, A., Gaoa, J., Gabelichb, C. J., Williamsc, M. D. and Cohen, Y., "High recovery membrane desalting of low-salinity brackish water: Integration of accelerated precipitation softening with membrane RO," *J. Membr. Sci.*, **289**, 123~137(2007).
15. Stoica-Guzun, A., Stroescu, M., Jinga, S., Jipa, I., Dobre, T. and Dobre, L., "Ultrasound influence upon calcium carbonate precipitation on bacterial cellulose membranes," *Ultrasonics Sonochem.*, **19**, 909~915(2012).
16. Shirazi, S., Lin, C. J. and Chen, D., "Inorganic Fouling of pressure-driven membrane processes-A critical review," *Desalination*, **250**, 236~248(2010).
17. Edzwald, J. K. and Haarhoff, J., "Seawater pretreatment for reverse osmosis: Chemistry, contaminants, and coagulation," *Water Res.*, **45**(17), 5428~5440(2011).