

정수기용 역삼투 폐분리막 필터의 세정 및 성능 향상 연구

조 영 주 · 임 지 원[†]

한남대학교 화공신소재공학과
(2017년 6월 20일 접수, 2017년 6월 23일 수정, 2017년 6월 23일 채택)

Cleaning of the Waste Reverse Osmosis Membrane Filters for the Household Water Purifier and Their Performance Enhancement Study

Young Ju Cho and Ji Won Rhim[†]

Department of Advanced Materials and Chemical Engineering, Hannam University, 1646 Yuseongdae-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34054, Korea

(Received June 20, 2017, Revised June 23, 2017, Accepted June 23, 2017)

요 약: 본 연구에서는 사용 후 폐기되는 정수기용 역삼투(Reverse Osmosis; RO)막 필터를 세정하여 새 필터의 수준으로 복원시키는 연구를 수행하였다. 화학적 세정액으로는 수산화나트륨, 중아황산나트륨, EDTA 용액을 사용하였으며 마이크로버블 발생 장치와 함께 in-situ의 방법으로 세정하였다. EDTA를 0.1%의 농도로 제조한 뒤 마이크로버블과 함께 사용하여 30분 세정하였을 때 가장 좋은 결과를 나타내었다. 이때 폐 필터와 세정 후 폐필터의 성능을 비교해 보았을 때 투과도는 19.9%, 회수율은 49.5% 증가하였으며 NaCl 100 mg/L 용액에 대한 염제거율은 2.3% 감소되었는데, 이는 새 필터와 동등한 수준으로 회복이 되었다. 또한 전자현미경 분석을 이용하여 막 표면의 오염물의 제거를 육안으로 확인하였다. 이로써 전량 매립 또는 소각 되어지는 정수기용 폐 RO막 필터의 세정을 통하여 재사용이 가능할 것으로 판단된다.

Abstract: In this study, the regeneration investigation for waste reverse osmosis membrane filters which were discarded after use for the household water purifiers has been carried out. Sodium hydroxide, sodium bisulfate, and ethylenediamine tetra acetic acid(EDTA). as the chemical cleaning agents were used. And they were in-situ cleaned with the micro-bubble generator as well. The best result was obtained when both 0.1% EDTA and micro-bubbles were used for 30 min cleaning. Thus, when the performance of the brand new RO membrane and restored RO membrane were compared, the flux, 19.9%, the recovery ratio 45% were enhanced while the salt rejection was reduced for NaCl 100 mg/L solution, in other words, it has been recovered to the original brand new RO membrane filter. Also the removal of pollutants on membrane surface was confirmed in a naked eye through the scanning electron microscopy. Finally, this research has provided the possibility of the re-use of the waste RO membrane filters of household water purifier which were reclaimed or incinerated after use.

Keywords: cleaning, waste membrane filter, reverse osmosis, household water purifier, micro-bubble

1. 서 론

전 세계적으로 물부족 위기와 물의 중요성이 더욱 강조되는 분위기 하에서 물산업의 핵심소재로서 분리막 시장은 연평균 10% 내외의 성장률을 가진 매우 매력적인 시장이다[1-3]. 향후에도 물산업 육성정책과 같은 정부의 강력한 물산업 육성 의지와 세계적인 분리막 시장

의 확대에 힘입어 분리막에 대한 관심은 급격히 증가하고 있다. 그럼에도 불구하고 국내의 경우 물산업의 핵심소재인 분리막, 관련 소재개발에 대한 원천기술 확보 및 관련 연구 인력은 여전히 부족하다고 판단되며 이에 선진국과의 격차가 좁혀지지 않고 있는 실정이다[4]. 특히 분리막의 경우 기존의 수처리 소재는 강도가 미흡하고 장기간 운전 시 발생하는 막오염(Membrane fouling)

[†]Corresponding author(e-mail: jwrhim@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7803-2959>)

및 이로 인한 물리화학적 세정으로 막의 수명이 점차 짧아지거나 낮은 공극률로 인해 고유량/저에너지 운전이 불가능하다는 단점이 있다[5-9].

우리나라는 물 부족 국가로서 수자원에 대한 관심이 증대되고 있으며 특히 음용수 확보에 대한 관심이 크다. 1990년대 낙동강 폐놀 유출사고 등과 같은 수질오염 사고와 가축 매몰로 인한 침출수 문제, 원자력 발전에 따른 방사성 이온이 포함된 수질에 대하여 마실 수 있는 물에 대한 사람들의 안전 불감증으로 인하여 엄격한 관리가 필요하다[10,11]. 이에 보다 안전한 음용수 확보를 위하여 수돗물을 추가로 처리하는 방법으로서, 가정용 정수기 설치가 보편화되었다.

정수기에 사용되는 분리막은 보통 한외여과막(UF)과 역삼투막(RO)이 있으며, 이 중 역삼투막을 사용하는 정수기가 정수기 시장의 대부분을 차지하고 있다. 역삼투막 필터는 침전필터, 프리카본 필터 다음에 장착하는 필터로써 중금속, 유기물 및 무기이온을 제거한다. 역삼투막 필터의 교환 주기는 정수기의 사용량에 따라 다른데, 가정용 정수기의 경우 보통 24개월을 기준으로 하고 있고, 교환주기가 지남에 따라 새 필터로 교환해 주어야 한다. 국내에서 역삼투막 필터의 경우 약 300만 개/년 정도가 사용되고 있으며, 매년 이와 비슷한 양이 전량 폐기되고 있다. 사용 후 한 번 손상을 입게 된 막은 투과도와 배제율을 감소시키게 되며[12-15] 현재 각 정수기 제조회사에서는 전량 매립 또는 소각을 하고 있다. 그렇기 때문에 2차적으로 환경오염을 야기시키게 되며, 따라서 사용 후 버려지는 폐필터의 오염도를 진단하여 복원시켜 재사용하는 연구가 필요하다. 또한 분리막 모듈의 가장 큰 문제점인 막오염(fouling) 현상에 대한 메커니즘 규명을 통한 막 오염의 사전 저지 기술의 체계적인 개발이 요구된다.

기존의 막 오염 세정법으로는 스폰지볼[16], air bubble[17]과 같은 도구를 이용한 물리적 세정이 있으며 역세(back washing)[18], 삼투역세(osmotic backwashing)[19]와 같은 유체의 흐름을 이용한 세정, 산 또는 염기, 계면활성제 등을 이용한 화학적 세정이 있다. 이와 같은 방법을 이용하여 막 오염을 저해 또는 감소시키는 연구가 진행되고 있으며 실용화가 충분히 이루어진 상태이다. 하지만 기존의 정수기용 폐필터의 경우 복원시켜 재사용 하는 연구가 전무한 실정이므로 본 연구에서는 전량 매립 또는 소각되어지고 있는 나권형 형태의 가정용 정수기 역삼투막 필터에 수산화나트륨, 중아황산나트륨,

EDTA를 사용하는 화학세정과 마이크로버블을 동시에 사용하여 새 필터의 성능만큼 복원시켜 재사용이 가능하지에 대하여 알아보려고 하였다. 이를 위하여 사용하지 않은 새 필터에 대한 성능평가로 회수율, 투과도, 제거율을 측정하였으며, 복원시킨 필터에 대하여도 동일한 성능평가를 실시하여 성능의 향상을 조사하였다.

2. 실험

2.1. 실험 장치 및 재료

가정용 정수기에 사용되는 새 필터와 교환주기에 도달한 오염된 폐필터를 국내 (주)코웨이사로부터 제공받아 사용하였으며 이때 필터는 보편화된 직경 2인치 및 길이 14인치의 나권형 모듈을 이용하였다. 역삼투막 필터의 성능평가를 위한 공급수로는 염화나트륨(OCI, Seoul, Korea)의 것을 사용하였으며 공급수 제조에 사용된 초순수는 영린 퓨어시스템(Seoul, Korea)의 것으로 직접 제조하여 사용하였다. 오염된 폐 역삼투막 필터를 세정하기 위한 화학적 세정제로는 Ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA, 99%, Aldrich), Sodium hydroxide (NaOH, 98%, OCI), Sodium bisulfate (SBS, ~95%, Fluka Analytical)을 사용하였다. 물리적 세정으로는 O₂ 버블사의 마이크로 발생장치를 이용하여 마이크로버블을 발생시켜 사용하였다.

2.2. 역삼투막 필터의 성능평가

역삼투막 필터의 성능을 알아보려고 회수율, 제거율, 투과도에 대하여 성능평가를 실시하였다. 성능평가 장치의 공정도는 Fig. 1과 같다. 공급액은 NaCl 100 mg/L로 하였으며 운전 압력을 4기압으로 설정하였다. 이때 필터 내부로 들어가는 유입수의 유량을 1 L/min으로 일정하게 유지시키며 30분 간격으로 총 240분 동안 성능평가를 실시하였다. 막을 통과한 후 처리수와 농축수는 다시 공급액으로 들어가도록 순환시켜주었으며 용존고형물(Total Dissolved Solid; TDS) 측정 장치를 이용하여 처리수의 농도를 측정하였다. 이때 공급액의 온도는 상온으로 유지시켜 주었다. 성능평가 결과 회수율, 제거율, 투과도는 아래의 식 (1~3)을 이용하여 산출하였다.

$$\text{회수율 (Recovery ratio, \%)} = \frac{Q_f - Q_b}{Q_f} \times 100 \quad (1)$$

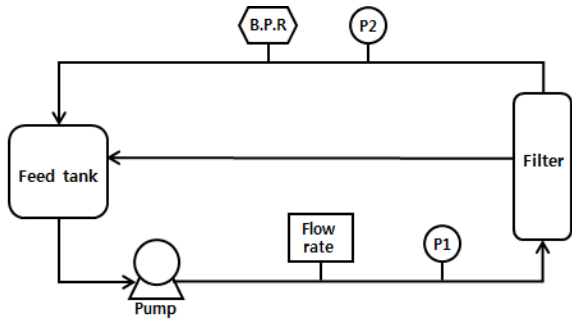


Fig. 1. Experimental diagram of the filter performance evaluation for RO membranes.



Fig. 2. Cleaning apparatus of used RO membrane filter.

이때, Q_f 는 막 공급수량, Q_b 는 막 여과설비로부터의 배출수량을 의미하며, 처리수 100 mL당 발생하는 농축수의 양으로 산출하였으며 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

$$\text{제거율 (Rejection, \%)} = \frac{C_f - C_p}{C_f} \times 100 \quad (2)$$

C_f 는 공급액의 농도, C_p 는 처리수의 농도를 의미한다.

$$\text{투과도 (Flux, LMH)} = \frac{Q}{A \times T} \quad (3)$$

Q 는 투과량을 의미하며, A 는 막의 유효면적, T 는 운전 시간을 의미한다. 투과량은 30분 간의 운전 시간 동안의 투과량을 의미하며, 막의 유효 면적은 정수기 필터의 하우징을 분해하여 막의 유효면적을 측정 후 식에 대입하여 사용하였다.

2.3. 역삼투막 필터의 세정

오염된 필터 폐필터의 세정 효과를 극대화하기 위하여 화학적 세정액을 이용한 화학적 세정과 마이크로버블을 이용한 세정을 동시에 수행하였다. 화학 세정액을

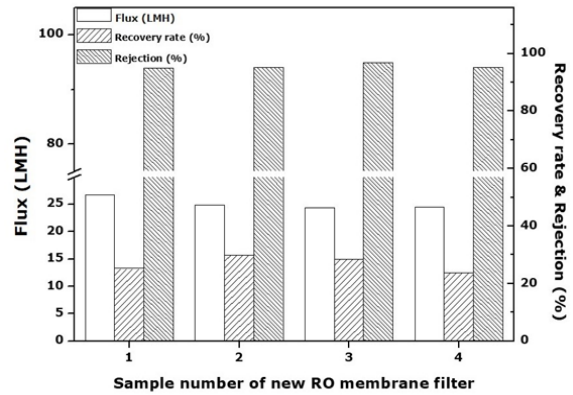


Fig. 3. Performance evaluation of unused RO membrane filters.

마이크로버블과 연결되어있는 수용액 탱크에 주입한 뒤 세정액 내부에 마이크로버블을 발생시켜 필터로 순환시켜 주었다. 마이크로 버블은 분당 30 cc의 유량으로 발생시켜 주었으며 버블의 사이즈는 5~30 μm 로 발생되게 하였다. 세정 시 별도의 압력은 가해주지 않았으며 세정 시간은 30분으로 고정시켜 실시하였다. Fig. 2는 실제 세정에 사용한 장치의 사진이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 사용하지 않은 역삼투막 필터와 사용한 역삼투 필터에 대한 성능평가

사용하지 않은 역삼투막 필터와 세정 후의 폐필터의 성능을 비교하고자 새 필터와 사용한 폐필터에 대하여 성능평가를 실시하였다. 4개의 필터에 대하여 투과도, 회수율, 제거율을 평가하였으며 새 필터의 성능평가 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 공급액은 NaCl 100 mg/L의 농도로 하였으며 1 L/min의 유량으로 일정하게 공급해주었다. 이때 운전압력은 4기압으로 유지시켜주면서 성능평가를 실시하였다.

샘플 1에 대한 성능평가 결과 투과도는 26.8 LMH, 회수율은 27.3%, 제거율은 93.9%로 도출되었으며 샘플 2의 경우 각각 24.9 LMH, 29.7%, 제거율 94%을 나타내었고, 샘플 3과 4의 경우 24.4 LMH의 동일한 값을 나타내었으나 회수율은 샘플 3의 경우가 29%, 샘플 4의 경우 26.5%의 값으로 서로 다른 값을 나타내었다. 또한 제거율도 샘플 3의 필터의 경우 94.9%를 나타내었으며 샘플 4는 94.2%의 결과를 나타내었다. 위의 결과를 종합적으로 보았을 때 사용하지 않은 새 필터의 성

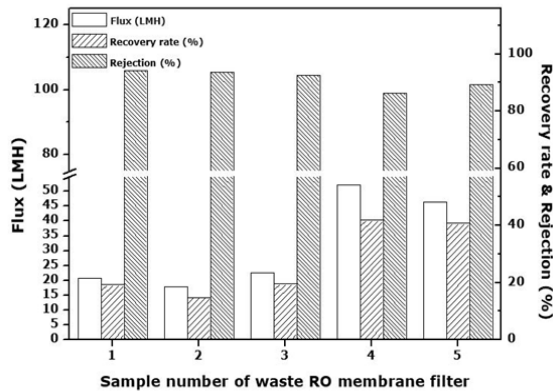


Fig. 4. Performance evaluation of unused RO membrane filters.

능평가 결과 투과도는 25.13 LMH, 회수율은 28.13%, 제거율은 94.2%를 나타내었다. 성능평가 결과, 필터의 각각 마다 성능평가 결과 성능의 차이가 있음을 알았다. 샘플 1의 새 필터의 경우 26.8 LMH로서 다른 필터에 비해 2 LMH 정도의 높은 투과도를 나타내었으며 회수율은 샘플 2의 경우가 29.7%로 가장 높게 측정되었고, 제거율은 샘플 3의 필터가 94.9%로 가장 높은 결과를 나타내었다.

사용한 폐필터의 경우 새 필터 성능평가 방법과 동등한 방법으로 성능평가를 실시하였다. 폐필터의 오염 정도는 각 지역의 수질상태 및 사용자의 생활 습관에 따라 각기 다르며 전량 매립 또는 소각되어지는 현재의 상황에서 이의 출처를 알기는 어렵다. 따라서 버려지는 폐필터를 수거해와 무작위로 5개의 필터를 선정하여 성능평가를 수행하였다. 무작위로 선정된 폐필터에 대한 성능평가 결과는 Fig. 4에 나타내었다.

성능평가 결과 각 필터 마다 회수율, 투과도, 제거율이 각기 다른 것을 알 수 있었으며 성능 평가한 필터의 경우 두 가지의 경우로 구분할 수 있었다. 첫 번째 경우는 샘플 1, 2, 3번과 같이 제거율이 새 필터에 비하여 높으며, 회수율과 투과도는 새 필터에 비하여 떨어지는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 막 표면의 오염물질로 인하여 회수율과 투과율이 감소하게 되고, 오염원에 의하여 막의 표면에서 공급액에 대하여 장애물 역할을 하는 오염원이 증가하였기 때문에 제거율이 높게 나타난 결과로 사료된다. 따라서 막 표면의 오염원을 세정하여 복원하여 재사용 하는 방법이 필요할 것으로 사료된다. 샘플 4와 5의 결과, 회수율과 투과도는 새 필터에 비하여 월등히 높으며 제거율은 새 필터보다 떨어지는 결과

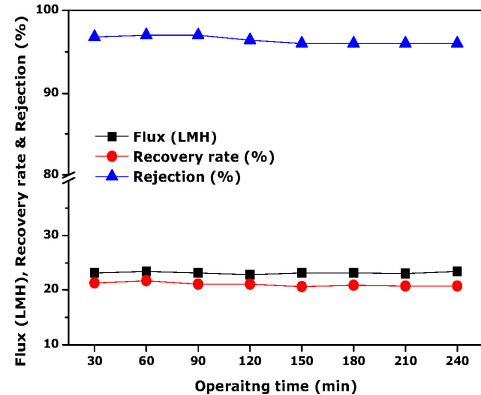


Fig. 5. Performance evaluation of RO membrane filter cleaned with sodium hydroxide.

를 나타내었다. 이는 막 표면이 오염물질 또는 다른 이물질 등으로 인하여 손상된 것으로 보이며 폐필터의 복원이 아닌 힐링 과정을 통하여 다른 고분자로 코팅 한 뒤 재사용하는 방법으로 연구를 진행하든가 또는 폐기해야 할 것으로 사료된다.

3.2. 세정제에 따른 성능평가

폐 역삼투막 필터의 성능을 새 역삼투막 필터의 수준으로 복원하기 위하여 화학적 세정과 물리적 세정을 동시에 진행하였다. 동일한 조건에서 세정제의 종류에 따른 세정 효과를 알아보기 위하여 NaOH, SBS, EDTA를 이용하여 마이크로버블과 함께 세정을 실시하였다. 앞서 실험한 폐필터의 성능평가에서 회수율과 투과도는 새 필터보다 낮으며, 제거율은 새 필터보다 높은 샘플 1, 2, 3 필터에 대하여 세정을 수행하였다.

첫 번째 세정제로는 NaOH를 0.1%로 제조하여 세정제 내부에 마이크로버블을 발생시켜 세정해 주었으며 상온에서 실시해 주었다. 세정 후 필터 내부에 세정제가 잔류되지 않도록 증류수로 충분히 세척해주었다. 그 후 회수율, 투과도, 제거율에 대한 성능평가를 실시하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다.

수산화나트륨을 이용하여 샘플 1의 필터를 세정한 결과 투과도는 평균적으로 23.1 LMH, 회수율은 20.89%, 제거율은 96.85%의 결과를 나타내었다. 이는 기존의 폐필터의 성능평가 결과보다 향상된 결과로서 수산화나트륨과 마이크로버블을 이용한 세정이 효과가 미비하지만 있음을 알 수 있었다. 수산화나트륨은 산화 특성을 가졌기 때문에 분리막 표면에서 오염된 입자를 제거할 수 있게 되며, 이로 인하여 막 표면에 형성되어

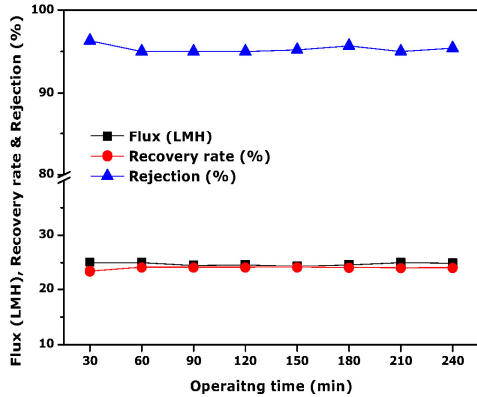


Fig. 6. Performance evaluation of RO membrane filter cleaned with sodium bisulfate.

있던 케이크층이 제거되면서 투과도와 회수율이 증가 되고, 제거율은 감소한 것으로 사료된다. 막 표면의 오염물질이 동식물성 유지에 의한 것이라면 수산화나트륨을 사용하여 세정하였을 때 액 중에서 비누화 작용을 거쳐 액체의 표면장력이 저하되고 유지의 유화 분산을 촉진시켜 세정을 하게 된다. 하지만 실험 결과 새 필터의 수준만큼 복원되지 못하였기 때문에 막 표면의 오염원은 동식물성 유지에 의한 주된 원인이 아닌 것을 알 수 있었다. 또한 수산화나트륨과 같이 알칼리성 세정제를 이용한 세정은 가수 분해 및 가용화에 의하여 생성된 유기 오염원을 제거하였기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

다음은 중아황산나트륨을 이용하여 세정한 뒤 성능평가를 실시한 결과이다. 실험 조건은 Fig. 5의 조건과 동일하게 하였으며 이의 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

중아황산나트륨을 이용하여 샘플 2의 필터를 세정한 결과 투과도는 24.7 LMH, 회수율은 23.9%, 제거율은 95.4%의 결과를 나타내었다. 이는 앞서 세정제로 사용된 수산화나트륨보다 세정 효과가 뛰어난 것을 알 수 있었다. 중아황산나트륨을 이용한 세정도 수산화나트륨을 이용한 세정과 마찬가지로 폐필터의 성능평가 결과 보다 회수율과 투과도는 증가하였으며 제거율은 감소하는 경향을 나타내었다. 이와같은 결과는 막의 표면과 기공으로부터 침전된 염(스케일)을 산세정제인 중아황산나트륨을 이용하여 세정하였기 때문에 나타난 결과로 사료된다. 또한 오염물질과 산 세정제는 가수분해, 비누화반응 혹은 킬레이트화를 통하여 서로 상호작용하게 되는데 이로 인하여 오염물질이 제거되어 나타난 결과로 사료된다. 중아황산나트륨은 환원 중화제로서

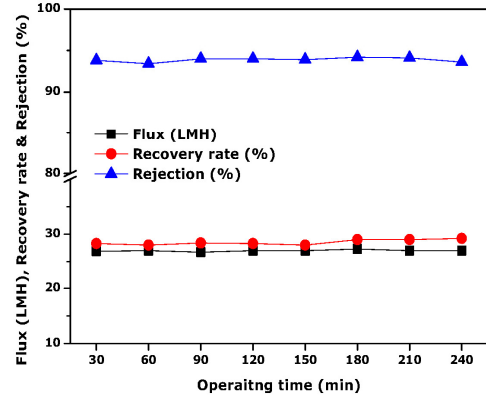


Fig. 7. Performance evaluation of RO membrane filter cleaned with ethylenediamine tetra acetic acid.

막 표면의 오염원이 미생물인 경우에 이를 방지하는 역할을 하게 된다. 따라서 사용이 끝난 후 교체시기가 지나게 되면 막 표면에 잔류하게 되는 미생물을 제거하는 역할을 하기 때문에 성능평가를 통하여 미생물에 대한 세정 효과가 있음을 알 수 있었다.

마지막으로 계면활성제인 EDTA를 이용하여 세정한 뒤 성능평가를 실시한 결과이다. 실험 조건은 Fig. 5의 조건과 동일하게 하였으며 이의 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

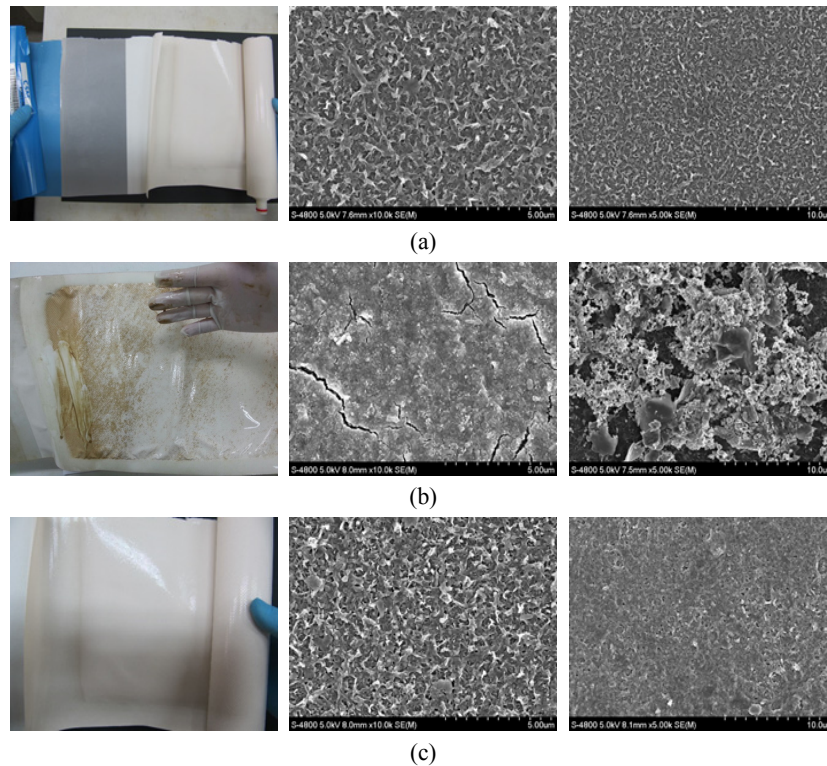
EDTA를 이용하여 샘플 3의 필터를 세정한 결과 투과도는 27.03 LMH, 회수율은 28.1%, 제거율은 93.9%의 결과를 나타내었다. 수산화나트륨과 중아황산나트륨을 이용하여 세정한 결과와 마찬가지로 투과도와 회수율은 증가하였으며, 제거율은 감소하는 경향을 나타내었다. EDTA는 수소결합의 형성에 기여할 수 있는 6개의 분자형태를 가지고 있기 때문에 세정 효과가 가장 크게 나타난 것으로 사료된다. 또한 EDTA는 계면활성제로서, 계면활성제는 친수성 및 소수성의 구조를 모두 가지는 화합물이다. 이는 인접한 분자에 대하여 표면장력을 감소시키게 되고 우수한 세정 효과를 얻을 수 있게 된다. 또한 막에 의한 오염원이 유기물이라면 유기물은 소수성이기 때문에 소수성을 나타내는 형태는 막 표면에 부착되게 되고 친수성을 나타내는 머리 부분은 물쪽으로 향하게 되어 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있게 된다.

각 필터에 대하여 세정 전과 후의 성능평가 결과를 Table 1에 나타내었다. 이때 세정 전과 후의 값으로 향상 또는 감소된 값을 백분율로 환산하였다.

투과도와 회수율, 제거율의 감소 또는 증가된 값을

Table 1. Percentage of Improved or Reduced Values by Cleaning Agent

	투과도	회수율	제거율
SAMPLE 1 (Cleaning agent : NaOH 0.1%)	+10.79%	+12.55%	-0.97%
SAMPLE 2 (Cleaning agent : SBS 0.1%)	+38.67%	+65.52%	-0.2%
SAMPLE 3 (Cleaning agent : EDTA 0.1%)	+19.87%	+49.46%	-2.30%

**Fig. 8.** SEM images of (a) unused RO membrane filter, (b) used RO membrane filter and (c) cleaned RO membrane filter.

보면 EDTA를 세정제로 사용하였을 때 막 표면의 오염 물질의 제거가 가장 잘되며 막의 투과도와 회수율이 증가한 것으로 보아 가장 우수한 세정제임을 알 수 있었다. 중아황산나트륨을 세정제로 사용하였을 경우 수산화나트륨과 EDTA로 세정한 필터보다 투과도와 회수율이 가장 높은 결과를 나타내었으나 제거율의 차이가 크지 않은 것으로 보아 세정보다는 막에 손상을 가해 주어 나타난 결과로 사료된다.

3.3. SEM 분석을 통한 세정 효과 고찰

위의 세정제 중 가장 성능이 우수한 세정제인 EDTA를 이용하여 세정한 효과를 알아보기 위하여 SEM 분석을 실시하였다. 사용하지 않은 새 필터의 내부의 막에 대하여 분석하였으며 폐필터의 경우 Fig. 4와 같이 성능

평가를 실시하였을 때 필터 1과 동일한 성능을 지니는 다른 필터에 대하여 내부를 열어 막 표면을 관찰하였다. 또한, 세정 후 필터에 대하여는 세정제에 따른 성능 평가를 실시한 후 Figs. 5, 6, 7에 나타내었으며, 하우징을 분쇄하여 SEM 분석을 실시하였다. 새 필터와 세정 전 폐필터, 세정 후 폐필터에 대한 SEM 분석은 Fig. 8에 나타내었다.

새 필터의 경우 육안으로 보기에 표면에 이물질이 쌓여있지 않아 막 표면을 관찰할 수 있었으며 표면은 매끄러운 것을 확인할 수 있었다. 반면에 사용한 폐필터의 경우 오염물질이 막 표면에 축적되어 표면이 보이지 않을 정도로 오염물질이 쌓여있고, 손으로 만져보았을 때 묻어나는 정도가 심한 것을 알 수 있었다. 세정 후 필터의 경우 육안으로 보기에 새 필터와 동일한

수준으로 복원된 것을 다시 한 번 확인할 수 있었으며 막 표면의 오염물질이 제거되어 새 필터와 비슷한 분석 결과를 나타내었다. 이로써 세정을 통하여 막 표면의 오염물질이 제거된 것을 알 수 있었으며 이는 본 연구에서 실시한 세정조건으로 폐필터에 대하여 복원이 가능할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 사용 후 버려지는 정수기용 RO 분리막 필터를 세정제를 사용한 화학세정과 마이크로버블을 이용한 물리적 세정을 동시에 진행하여 새 필터의 수준으로 복원시키고자 하였다. 보편화된 세정제인 수산화나트륨, 중아황산나트륨, EDTA를 화학 세정액으로 하고 마이크로버블을 세정제 내부에 발생시켜 순환식으로 세정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

새 필터, 사용한 폐필터, 세정 후의 폐필터에 대하여 회수율, 투과도 제거율의 성능평가를 실시하였다.

새 필터의 경우 투과도는 26.8 LMH, 회수율은 27.3%, 제거율은 93.9%로 측정되었으며 폐필터의 성능평가 결과 회수율과 투과도는 새 필터보다 낮고, 제거율은 새 필터보다 우수한 폐필터에 대하여 복원과정(세정)을 통하여 새 필터의 수준으로 복원시키고자 하였다.

수산화나트륨과 중아황산나트륨, EDTA를 마이크로버블과 각각 사용하였을 때 EDTA로 세정하였을 때 막 표면의 오염물질의 제거가 가장 잘 되었으며 이는 인접한 분자에 대하여 표면 장력을 감소시켰기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

EDTA를 이용하여 세정하였을 때 세정 전의 필터의 성능보다 투과도는 19.87%, 회수율은 49.46% 증가하였으며 제거율은 2.3% 감소되었다. 이로서 새 필터와 동등한 수준으로 회복이 된 것을 확인하였으며 SEM 분석을 하여 막 표면의 오염물질 제거를 확인하였다.

감 사

본 논문의 연구를 위해 필요한 역삼투모듈을 (주)코웨이로부터 제공받았으며 이에 감사드립니다. 또한 본 논문은 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 유용자원재활용기술개발사업의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다(과제번호 : 2016002240003).

Reference

1. H. Streathmann, "Membrane separation processes: Current relevance and future opportunities", *AIChE J.*, **47**, 1077 (2001).
2. T. H. Kim, "Current R&D trend of nanofiber membranes", *Membr. J.*, **22**, 395 (2012).
3. W. D. Mores and R. H. Davis, "Direct observation of membrane cleaning via rapid backpulsing", *Desalination*, **146**, 135 (2002).
4. I. H. Cho and J. T. Kim, "Trends in the technology and market of membrane bioreactors (MBR) for wastewater treatment and reuse and development directions", *Membr. J.*, **23**, 24 (2013).
5. W. Gao, H. liang, J. Ma, M. Han, Z.-L. Chen, Z.-S. Han, and G.-B. Li, "Membrane fouling control in ultrafiltration technology for drinking water production: A review", *Desalination*, **272**, 1 (2011).
6. X.-Y. Li and X.-M. Wang, "Modeling of membrane fouling in a submerged membrane bioreactor", *J. Membr. Sci.*, **278**, 151 (2006).
7. F. Meng, S.-R. Chae, A. Drews, M. Kraume, H.-S. Shin, and F. Yang, "Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material", *Water Res.*, **43**, 1489 (2009).
8. D. H. Shin, S. I. Cheong, and J. W. Rhim, "Ions removal contaminated water with radioactive ions by reverse osmosis membrane process", *Membr. J.*, **26**, 401 (2016).
9. K. J. Kim and S.-H. Yoon, "Wastewater treatment using membrane bioreactors (MBR)", *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **12**, 239 (2001).
10. J. I. Cho, G.-T. Kim, and Y.-C. Ahn, "A study on characteristics of filters for domestic household water purifier", *KOSME*, **37**, 541 (2013).
11. G.-N. Kim, Y.-H. Jung, J.-J. Lee, J.-K. Moon, C.-H. Jung, and E. S.- Chung, "Development of electrokinetic-flusing equipment for a remediation of soil contaminated with radionuclides", *J. Kor. Rad. Waster soc.*, **6**, 1 (2008).
12. Q. Li, Z. Xu, and I. Pinnau, "Fouling of reverse

- osmosis membranes by biopolymers in wastewater secondary effluent: Role of membrane surface properties and initial permeate flux”, *J. Membr., Sci.*, **290**, 173 (2007).
13. T. Y. Cath, V. D. Adams, and A. E. Childress, “Experimental study of desalination using direct contact membrane distillation: a new approach to flux enhancement”, *J. Membr.,* **228**, 5 (2004).
 14. A. K. Ghosh, B.-H. Jeong, X. Huang, and Eric M. V. Hoek, “Impacts of reaction and curing conditions on polyamide composite reverse osmosis membrane properties”, *J. Membr. Sci.*, **311**, 34 (2008).
 15. S. Belfer, Y. Purinson, R. Fainshtein, Y. Radchenko, and O. Kedem, “Surface modification of commercial composite polyamide reverse osmosis membranes”, *J. Membr., Sci.*, **139**, 175 (1998).
 16. C. Yanagi and K. Mori, “Advanced reverse osmosis process with automatic sponge ball cleaning for the reclamation of municipal sewage”, *Desalination*, **32**, 391 (1980).
 17. S. Judd, “The status of membrane bioreactor technology”, *Trends Biotechnol.*, **26**, 109 (2008).
 18. Z. Wang, J. Ma, C. Y. Tang, K. Kimura, Q. Wang, and X. Han, “Membrane cleaning in membrane bioreactor: A review” *J. Membr., Sci.*, **468**, 276 (2014).
 19. K. L. Hickenbottom, N. T. Hancock, N. R. Hutchings, E. W. Appleton, E. G. Beaudry, P. Xu, and T. Y. Cath, “Forward osmosis treatment of drilling mud and fracturing wastewater from oil and gas operations”, *Desalination*, **312**, 60 (2013).