

전염소처리와 막힘형 한외여과를 이용한 정수처리에서 철과 망간의 제거

이해빈 · 추광호* · 최상준

경북대학교 환경공학과, 대구대학교 건설환경공학부*

Removal of Iron and Manganese from Drinking Water by a Combined Chlorination/Dead-end UF System

H.B. Lee · K.H. Choo* · S.J. Choi

Department of Environmental Engineering, Kyungpook National
University, *Department of Architectural, Civil, and Environmental
Engineering, Daegu University

1. 서론

기존의 정수처리 공정은 응집, 침전, 여과, 소독으로 구성되어 있어 주요 처리 대상이 현탁물질과 염소소독에 의해 불활성화되는 병원성 미생물에 국한되어 있다. 그러나 환경오염으로 인해 원수의 수질은 점점 악화되고 있으며 이에 따라 안전한 먹는 물 생산이 위협을 받고 있으며 특히 중·소규모 정수장의 경우에는 갈수기 때에 안정된 수질을 확보하는데 어려움을 안고 있다. 특히, 철은 낮은 pH나 유리탄산(CO₂)이 많은 물에서는 급수관에서 쉽게 용출되어 적수와 불쾌한 맛을 유발하며, 망간은 호소에 부영양화가 진척되면서 저니에서 용출될 수 있으며, 흑수와 불쾌한 맛 및 색도 유발하여 미관상 좋지 않은 현상을 나타낸다. 또한 철과 망간은 물 속의 휴믹 물질과 결합하여 산화에 대한 저항성이 큰 착물을 형성하기도 한다 [1]. 소규모 정수장에서 지하수나 저리로부터 원수를 공급하는 경우 철과 망간이 공존하여 용해되어 나오는 경우가 많으며, 이때 용해된 철과 망간은 2가의 이온으로서 침전이나 여과 공정에서 제거하기 어려우므로 염소, 오존 등의 산화제에 의한 전처리공정을 필요로 한다[2].

따라서 본 연구에서는 원수 중에 용존성 이온으로 존재하는 철과 망간을 염소산화에 의한 전처리과정을 거쳐 불용성의 산화물로 전환시켜 한외여과막으로 분리하는 혼성공정에 대하여 고찰하고자 한다. 회분식 실험과 연속 실험을 통해 철과 망간의 제거특성과 막힘형 여과방식(dead-end flow)에서의 막투과 특성을 심도 있게 살펴보았다.

2. 실험 재료 및 방법

본 연구에서 회분식 실험에 사용한 원수는 대구시에 위치한 정수장의 원수를 취수하여 사용하였고, 실험에 사용된 원수 중에 철/망간의 농도가 현재 수질기준치인 0.3 mg/L을 초과하는 원수시료를 채취하는데 제한이 있어 원수에 2가의 철과 망간을 인위적으로 첨가하여 각각의 농도를 약 1.0 mg/L, 0.5 mg/L 수준으로 높여 실험을 수행하였다. 먼저 원수에 철과 망간을 첨가한 원수에 염소를 주입한 회분식 실험을 통하여 철과 망간을 산화하는데 필요한 염소량, 철과 망간의 제거율 등을 살펴보고자 하였다.

연속실험을 위해 대구시내의 K 정수사업소에 한외여과 시스템을 설치하였으며(Fig. 1), 사용된 분리막은 한외여과 증공사막으로 분획분자량 100,000(막세공으로는 약 10 nm)이며, 한외여과 시스템은 내압식(inside/out type)의 막힘형 여과방식을 원수의 유입은 정유량 운전 하에서(68.5 L/m²-h) 막투과 압력의 변화를 측정하여 막오염 경향성을 파악하였다. Table 1은 연속실험의 운전조건을 요약한 것이며 운전 주기는 40분으로 여과 39분, 역세 1분으로 이루어졌다. 필요한 경우 화학적 세정은 구연산(pH 4)과 효소함유 중성세제(pH 10)를 이용하여 수행되었다.

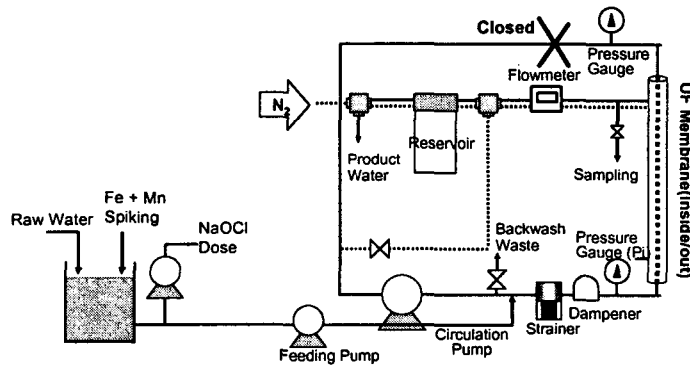


Fig. 1. Schematic diagram of a dead-end UF system.

3. 결과 및 고찰

3.1. 회분식 실험에서 염소주입에 따른 철과 망간의 제거특성

원수에 철을 1.0 mg/L의 농도로 소량 첨가한 후 염소농도를 0.5-3.0 mg/L as Cl₂의 범위에서 변화시키면서 전염소처리에 따른 철의 제거효과를 평가하였다. 염소주입 농도에 따라 철의 초기 제거 효율이 점차 증가하였으며, 반응시작 후 철의 제거율이 선형적으로 증가하여 10분 후에 약 80%의 제거율을 보였고 30분 이상 반응 후에는 약 90% 이상의 제거율을 얻을 수 있었다. 이로부터 염소처리에 의한 철의 산화가 10분 이내의 단시

간에 이루어짐을 알 수 있었다. 원수에 망간을 0.5 mg/L의 농도로 소량 첨가한 후 염소주입 농도에 따른 망간 제거율을 평가하였으며 염소 주입량이 2 mg/L as Cl₂ 가 될 때까지의 망간 제거율은 미미하였으나, 2 mg/L as Cl₂ 이상의 주입량에서 높은 제거율을 나타내었으며, 이것은 낮은 염소 주입량에서는 망간 이외의 다른 성분과의 경쟁반응으로 염소가 소모되었기 때문으로 사료된다.

3.2. 전염소처리와 막힘형 한외여과공정의 연속운전 특성

Fig. 2는 연속운전 동안의 막힘형 한외여과막의 투과특성을 나타낸 것이다. 연속운전 동안의 압력상승은 유입수 내 입자성 물질과 산화된 철과 망간 입자가 중공사막 내부에 축적되어 발생하는 루민막힘 혹은 막오염 현상에 의해 야기되는 것으로서, 실험조건 A에서의 전여과막(prefilter)의 위치 조절을 통해 입자에 의한 루민막힘 영향을 해결하였으며 모래여과수를 유입수로 사용하여 실험한 결과(C, D), 산화된 철과 망간의 입자가 야기하는 막오염에 의한 압력상승임을 확인할 수 있었다[3]. 철과 망간 입자가 한외여과막의 투과도에 미치는 영향을 비교하기 위해 철과 망간 단일시스템의 특성을 관찰하였는데(D), 망간이 주입된 경우에 염소처리 이후에 뚜렷한 압력 상승을 확인할 수 있었으며 이것으로부터 전염소처리에 의해 산화된 망간이 중공사막 내부에서 보다 심각한 막오염 현상을 초래하는 것으로 결론지을 수 있었다.

Fig. 3은 연속운전에서 원수와 투과수의 철/망간농도, UV₂₅₄와 탁도변화를 나타낸 것이다. 철의 제거율(a)은 염소주입 없이도 유출수에서 항상 0.2 mg/L 이하의 낮은 값을 나타내었는데 이것은 주입된 철 2가가 용존산소에 의해 철 3가로 쉽게 산화되어 침전물 입자를 형성하여 한외여과막에 의해 배제되어 높은 제거율을 얻을 수 있었던 것으로 판단된다. 망간의 경

Table 1. Summary of Operating Conditions of Dead-end UF System

Dead End	Operation Time, Day	Feed Water	Fa, mg/L	Mn, mg/L	Chlorine Dose, mg/L as Cl ₂
A-1	0 00 - 40 48	RW	No	No	No
A-2	40 48 - 51 52	RW	1	0.5	No
A-3	51 52 - 55 47	RW	1	0.5	1
A-4	55 47 - 58 75	RW	1	0.5	3
B-1	58 75 - 63 53	RW	No	No	No
B-2	63 53 - 72 51	RW	1	0.5	No
B-3	72 51 - 73 35	RW	1	0.5	3
B-4	73 35 - 74 98	RW	1	0.5	No
C-1	74 98 - 77 81	SF	No	No	No
C-2	77 81 - 84 84	SF	1	0.5	No
C-3	84 84 - 88 84	SF	1	0.5	3
D-1	88 84 - 92 84	SF	1	No	No
D-2	92 84 - 96 93	SF	1	No	3
D-3	96 93 - 100 59	SF	No	0.5	No
D-4	100 59 - 104 68	SF	No	0.5	3

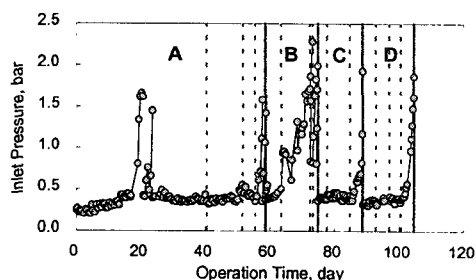


Fig. 2. Variation of pressure with time during dead-end UF system.

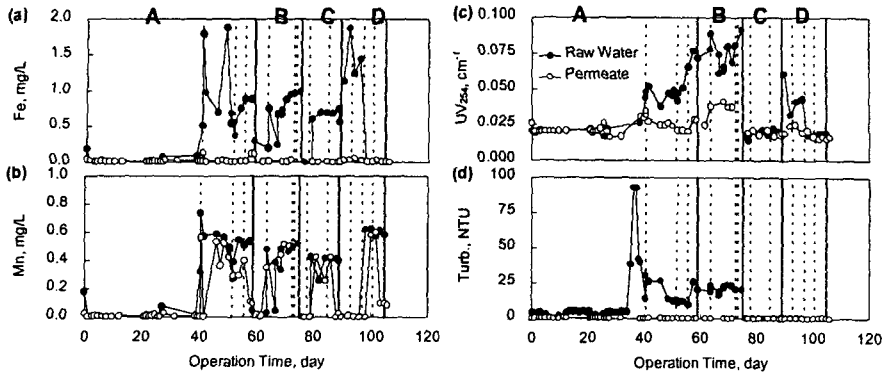


Fig. 3. Variation of Fe/Mn, turbidity, UV_{254} of raw water and permeate during dead-end UF system.

우(b)에 있어서는 염소를 1-3 mg/L as Cl_2 주입하였음에도 불구하고 유출수의 망간농도가 0.4-0.6 mg/L로서 제거율이 낮았으며 이것은 회분식 실험에서와 유사하게 배경물질과의 경쟁반응에 의해 망간의 산화가 원활하게 이루어지지 못했던 것으로 보여진다. 상수처리 유입원수보다 상대적으로 탁도와 유기물의 농도가 낮은 모래여과수를 실험수로 사용하여 비교실험을 한 결과(C, D), 염소산화에 의해 여과수내 철과 망간의 제거율은 각각 98%(>0.02 mg/L), 93%(>0.03 mg/L)이상을 유지하였다. 이로써 배경물질인 탁도에 의한 염소 소모로 철과 망간 산화가 원활하게 이루어지지 않은 것임을 알 수 있었다.

연속운전 동안 자연산 유기물의 제거정도(c)와 탁도변화(d)를 관찰하였는데 투과수의 UV_{254} 흡광도는 0.02 cm^{-1} 부근에서 유지할 수 있었고 계절적 변화에 따라 탁도에 커다란 변동이 나타났으나 투과수의 탁도는 0.3 NTU 이하의 안정되고 양호한 값을 보였다.

4. 참고문헌

- [1] M. Kabsch-Korbutowicz and T. Winnicki, Application of modified polysulfone membranes to the treatment of water solutions containing humic substances and metal ions, *Desalination*, **105**, 41 (1996)
- [2] D. Ellis, C. Bouchard, and G. Lantagne, Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration, *Desalination*, **130**, 255 (2000)
- [3] M. Alborzfar, G. Jonsson and C. Gron, Removal of natural organic matter from two types of humic ground water by nanofiltration, *Wat. Res.*, **32**(10), 2983(1998)