



# 과망간산칼륨을 이용한 용해성 망간 제거: 중탄산염 영향 및 최적조건

## Manganese removal by $\text{KMnO}_4$ : Effects of bicarbonate and the optimum conditions

이용수·도시현·권영은·홍성호\*

Yong-Soo Lee·Si-Hyun Do·Young-Eun Kwon·Seong-Ho Hong\*

송실대학교 화학공학과

Department of Chemical engineering, Soongsil University

### ABSTRACT

This study is focused on manganese (Mn(II)) removal by potassium permanganate ( $\text{KMnO}_4$ ) in surface water. The effects of bicarbonate on Mn(II) indicated that bicarbonate could remove Mn(II), but it was not effectively. When 0.5 mg/L of Mn(II) was dissolved in tap water, the addition of  $\text{KMnO}_4$  as much as  $\text{KMnO}_4$  to Mn(II) ratio is 0.67 satisfied the drinking water regulation for Mn (i.e. 0.05 mg/L), and the main mechanism was oxidation. On the other hand, when the same Mn(II) concentration was dissolved in surface water, the addition of  $\text{KMnO}_4$ , which was the molar ratio of  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  ranged 0.67 to 0.84 was needed for the regulation satisfaction, and the dominant mechanisms were both oxidation and adsorption. Unlike Mn(II) in tap water, the increasing the reaction time increased Mn(II) removal when  $\text{KMnO}_4$  was overdosed. Finally, the optimum conditions for the removals of 0.5 - 2.0 mg/L Mn(II) in surface water were both  $\text{KMnO}_4$  to Mn(II) ratio is 0.67 - 0.84 and the reaction time of 15 min. This indicated that the addition of  $\text{KMnO}_4$  was the one of convenient and effective methods to remove Mn(II).

**Key words:** Potassium permanganate, Manganese, Surface water, Bicarbonate

**주제어:** 과망간산칼륨, 망간, 지표수, 중탄산이온

## 1. 서 론

우리나라의 수자원은 지표수에 대한 의존도가 높다. 특히, 최근에는 가뭄으로 인한 수량 부족 및 수질 악화에 대한 사회적 관심이 증가하고 있어, 안정적인 수량 및 수질의 확보를 위한 새로운 개념의 기술 적용에 대한 연구가 이루어지고 있다(Park et al., 2016; Kim et al., 2003).

지하 저수지 기술은 지표수를 지하 대수층 내에 인위적으로 주입 및 저장하여 필요시에 양수하여 상수원으로

로 이용하는 기술로 안정한 수량 확보뿐만 아니라 지하 대수층의 정화 기능을 이용한 수질개선도 가능한 것으로 알려져 있다. 수질오염 사고 대비와 가뭄에도 상수원으로 이용 가능하다(Almulla et al., 2005; Kuehn and Muller, 2000; Ok, 2013). 또한, 직접취수를 위한 댐건설로 인한 단점을 최소화시킬 수 있다(Kim et al., 2009).

지하 저수지 기술 적용에 따른 수질측면에서의 주된 관심사는 대수층에 다량으로 존재하는 망간에 대한 대응이다. 선행 연구 결과들은 지표수 유입에 따른 대수층의 화학적 조건 변화로 인한 망간 용출을 관찰하였고(Hiscock and Grischek; 2002), 지표수에 망간이 다량 존재하는 경우에는 대수층 내의 지하수를 오염시킬 가능

Received 31 March 2016, revised 11 April 2016, accepted 14 April 2016

\*Corresponding author: Seong-Ho Hong (E-mail: shong@ssu.ac.kr)

pp. 123-130

pp. 131-137

pp. 139-145

pp. 147-154

pp. 155-165

pp. 167-177

pp. 179-185

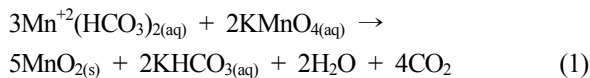
pp. 187-196

pp. 197-206

pp. 207-213

성도 있다고 경고되었다(Gerke et al., 2016). 또한 실질적으로, 국외에서는 지표수나 지하수에 존재하는 망간의 다양한 화학반응으로 인해 정수처리장에서 오염이 발생된 사례가 있으며(Khoe and Waite, 1989), 국내의 경우, 낙동강 주변 지질층의 암석 기원은 망간 성분이 함유되어 있어 양수 스크린 및 관정 내의 폐색과 수중 펌프의 성능 저하 등을 유발할 가능성이 있다고 보고되었다(Kim et al., 2009). 망간은 심미적인 규제권고물질이지만, 오염된 식수를 과량섭취 할 경우 식욕부진, 불면증 등 증세가 일어나며, 심각할 경우에는 신경 손상, 언어 및 행동 장애 증상이 나타난다고 알려져 있다(Röllin et al., 2011). 이러한 망간의 부작용으로 유럽 등 선진국에서는 안전한 먹는 물을 공급하기 위해 망간 농도 기준을 0.05 mg/L 이하로 유지하고 있으며(WHO, 2011), 우리나라의 경우에도 2011년부터 먹는 물 기준을 0.05 mg/L 이하로 강화하였다(ME, 2015).

용존성 망간은 대표적으로 산화법, 접촉산화법 그리고 생물처리법으로 제거할 수 있다(Jusoh et al., 2005; Patil et al., 2016; Xuwen et al., 2010). 산화법은 폭기, Cl<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub> 등을 이용하여 용해성 망간을 산화하여 생성된 이산화망간의 콜로이드를 침전 또는 여과 등으로 제거하는 방법이다(Mettler et al., 2001). Choo et al.(2005)은 회분식 반응실험을 통해 다양한 염소농도에 따른 호소수에 존재하는 망간의 제거율을 확인하였다. 반면에 Crittenden et al.(2012)는 식(1)과 같이 KMnO<sub>4</sub>가 용해성 망간을 제거 할 수 있다고 보고하였다. KMnO<sub>4</sub>를 적용한 경우의 상대적이점은 망간 농도 대비 주입하는 KMnO<sub>4</sub>의 양이 양론적으로 예측 가능하여 운영이 편리하다는 것이다.



본 연구는 KMnO<sub>4</sub> 주입에 따른 용해성 망간 제거에 대한 연구로, 우선적으로 중탄산이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)에 의한 망간 제거영향을 확인하였다. 용매 종류(수돗물 vs. 지표수)에 따른 용해성 망간제거 최적 조건(KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 몰비)을 도출하였다. 또한, 고농도 망간 제거 가능성도 확인하였다.

**Table 1.** General characteristics of a water from Tap water and H river

	pH	Turbidity (NTU)	DOC (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
Tap water <sup>a</sup>	7.22-7.45	0.07-0.1	0.6-1.2	-	-	19.0-21.2	3.9-5.1
H river <sup>b</sup>	7.57-7.72	0.3-0.35	5.58-6.75	0.05	0.05-0.06	30.8-32.1	5.7-6.1

<sup>a,b</sup>: sampling at January~April.2016

## 2. 연구방법

### 2.1 실험재료

용해성 망간은 MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O(Sigma Aldrich, USA)를 초순수(AquaMAX™-Ultra 350, Younglin, Korea)에 용해시켜 준비했다. 산화제는 KMnO<sub>4</sub>(Sigma Aldrich, USA)를 초순수에 용해시켰다. 중탄산이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)은 NaHCO<sub>3</sub>(DUCKSAN, Korea)을 초순수에 용해시켜 사용하였다.

실험에 사용된 용매는 수돗물과 지표수이다. 수돗물은 동일한 조건을 위해 초기 5분 동안의 물은 버리고 사용하였으며, 지표수는 H 강에서 채수하여 부유물질 제거를 위해 1.2 μm filter로 여과한 후 사용하였다. 수돗물과 지표수의 특징은 Table 1와 같다.

### 2.2 실험방법

실험은 jar-tester(Samwoo science, Korea)를 이용하여 회분식반응실험(batch test)을 진행하였고 사용된 반응기의 부피는 1 L였다.

중탄산이온 영향 및 KMnO<sub>4</sub> 주입량에 따른 망간 제거 실험은 망간(초기농도: 0.5 mg/L)이 용해된 수돗물과 지표수를 이용하여 실험하였으며, 교반속도는 50 rpm을 유지하였고 특정시간(5, 10, 15, 30, 45, 60, 120 min)에 10 mL의 시료를 채취한 후 0.45 μm filter (Millipore, Germany)로 여과하였다. 각 용매에 pH 8를 조성하기 위해 중탄산이온의 농도는 40~100 mg/L 사이를 적용하였고, KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 이론적 몰비 성립여부와 다양한 몰비에 따른 제거율 확인을 위해 KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 몰비는 0.17, 0.33, 0.5, 0.67 그리고 1.34를 주입하였다. KMnO<sub>4</sub>를 이용한 고농도 용해성 망간(1~2 mg/L)의 제거 실험에서 주입된 KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 몰비는 0.25~1 이다.

여과된 액(filtrate)에 잔존하는 망간의 농도는 고주파 유도 결합 플라즈마 (ICP-OES : Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer, Perkin Elmer, U.S.A)로 분석하였다. 망간 표준범위는 ICP Standards (Inorganic Ventures, U.S.A)를 이용하여 파장 257.6 nm에서 측정하였으며, 검정곡선의 상관계수는 R<sup>2</sup>=0.99999였다.



### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 중탄산이온 영향

용매별 중탄산이온 존재여부에 따른 용해성 망간 제거 결과를 Fig. 1에 나타냈다.

우선적으로 pH를 측정하였는데, 중탄산이온을 주입하지 않았을 경우에는 수돗물과 지표수의 pH는 7.4±0.1과 7.6±0.05로 유지되었고, 중탄산이온을 주입한 경우에는 모든 경우에 초기 pH8과 동일하게 유지되었다.

중탄산이온을 주입하지 않은 수돗물과 지표수의 망간은 단순 교반으로는 제거가 거의 되지 않았다. 수돗물을 pH 8로 조성하기 위해 중탄산이온을 약 92 mg/L 주입한 경우, 수돗물과 지표수에서의 망간 제거율은 약 7±1 %로 동일하였다. 하지만, 지표수에 pH 8로 조성하기 위해 중탄산이온을 약 40 mg/L 주입하였을 때는 거의 제거가 되지 않고 중탄산이온을 주입하지 않은 경우와 유사하였다. 따라서 중탄산이온 존재만으로는 용해성 망간의 제거가 일어나지 않으며, 일정농도 이상 (본 실험에서는 약 92 mg/L) 존재해야만 망간을 제거할 수 있음을 알 수 있었다.

Buamah et al.(2007)는 지하수에 다양한 중탄산이온 농도와 pH 범위에 따른 용해성 망간 제거 실험을 수행하였는데, 중탄산이온 농도 및 pH가 높을수록 망간 제거율이 높다고 보고하였다. 또한, Robb and Robinson (1995)는 pH 6 이상일 경우 용해성 망간 제거가 가능하다고 보고하였고, pH 10.6 이상에는 산화속도가 빨라져 침전으로 통해 제거율이 높아지는데, 알칼리성 수중상태에서는 용해성 망간이 중탄산이온과 결합하여 콜로이드 형태의 MnO<sub>2</sub>를 형성하여 고액분리가 가능하다고 하였다.

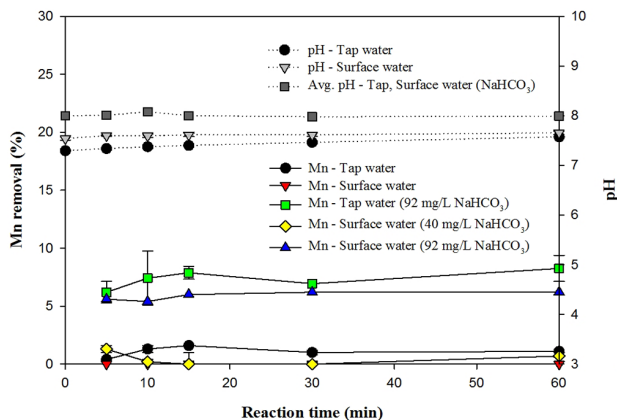
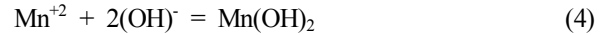
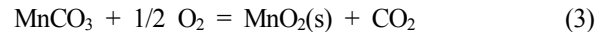
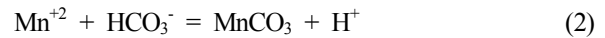


Fig. 1. Effects of bicarbonate on the removal of Mn<sup>2+</sup>.



따라서, 수돗물과 지표수에 존재하는 용해성 망간은 중탄산이온의 농도와 pH 조절로 제거가 할 수 있음을 알 수 있었다. 하지만, 그 제거율이 미비하여 산화제인 KMnO<sub>4</sub> 주입이 필요함을 알 수 있었다.

#### 3.2 수돗물에서의 KMnO4/Mn(II) 몰비에 따른 용해성 망간 제거

KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 몰비 변화에 따른 용해성 망간 (초기 농도 0.5 mg/L) 제거를 Fig. 2에 나타내었다.

실험결과, 주입되는 KMnO<sub>4</sub>의 농도에 따라 망간 제거 경향이 다르며 KMnO<sub>4</sub>의 최적 주입농도가 존재함을 알 수 있었다. 저농도 KMnO<sub>4</sub>를 주입한 KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 몰비 0.17은 초기에 상대적으로 높은 제거율(약 80%)을 보이다가 반응이 진행될수록 망간 제거율이 감소하여 제거율 약 60%에서 평형을 이루었다. 이러한 결과는 저농도의 KMnO<sub>4</sub>는 망간과의 결합이 불안정하며 다시 용액상으로 용해됨을 의미한다. KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 몰비 0.33 주입 경우의 제거율도 약 85%로, 먹는 물 기준(0.05 mg/L)을 만족시키지 못하였다. 또한 고농도 KMnO<sub>4</sub>를 주입한 KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 몰비 1.34로 주입된 경우에도 망간 제거율이 약 50%로 먹는 물 기준을 만족시키지 못하였다. 하지만 KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 몰비 0.5(KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 이론적 몰비의 0.75 배)와 0.67(KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) 이론적 몰비)인

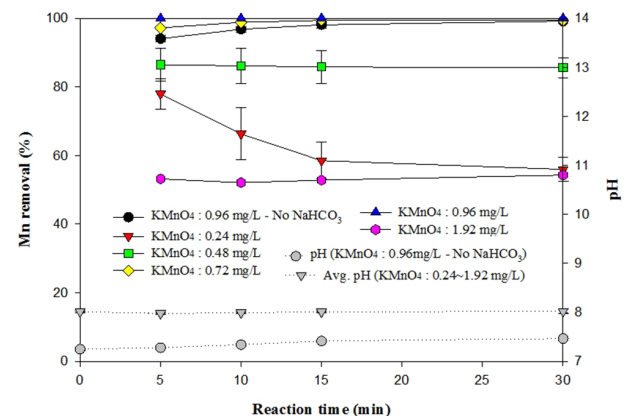


Fig. 2. Mn<sup>2+</sup> removal by various molar ratios of KMnO<sub>4</sub>/Mn(II) in tap water.

경우에는 먹는 물 기준을 만족시켰으며, 교반 15분 후의 망간 제거율은 100 %였다.

따라서, 용해성 망간 제거를 위한 최적  $KMnO_4/Mn(II)$  이론적 몰비는 양론식에 의해 주어지는 이론적 몰비로 예측될 수 있음을 알 수 있었다. 본 실험에서 도출된 수돗물에 용해된 망간의 제거를 위한 최적  $KMnO_4/Mn(II)$  몰비는 0.5~0.67 였다.

추가적으로 중탄산이온 존재 유무에 따른  $KMnO_4$  ( $KMnO_4/Mn(II)$  몰비 0.67)를 이용한 용해성 망간 제거를 살펴보았다. 중탄산이온을 주입하지 않은 경우, 초기 용해성 망간 제거율은 약 95%였으며 반응시간 15 분부터는 100% 제거하였다. 반응초기부터 약 100%의 제거율을 보인 것으로부터 중탄산이온이 존재는 용해성 망간 제거를 촉진시킴을 확인하였다. 중탄산이온이 존재하지 않는 경우의 pH는 반응초기에 7.3±0.1이었으며 반응이 진행됨에 따라 약 7.6±0.1까지 점진적으로 상승하였다.

### 3.3 지표수에서의 $KMnO_4/Mn(II)$ 몰비에 따른 용해성 망간 제거

지표수에서의  $KMnO_4/Mn(II)$  몰비에 따른 용해성 망간 (초기농도 0.5 mg/L) 제거를 Fig. 3에 나타내었다.

지표수에서의  $KMnO_4$  주입에 따른 용해성 망간은 반응초기(약 15분까지)에는 급격히 제거되며 점차적으로 둔화되지만 꾸준히 증가함을 알 수 있었다. 저농도의  $KMnO_4$  (몰비 0.17, 0.33 그리고 0.5)를 주입할 경우, 반응초기에 각각 약 5, 20 그리고 50%의 제거율을 보였으며, 반응시간 15분 후부터 제거속도가 둔화되어 각각 약 20, 40 그리고 70%까지 제거율이 상승되었다.

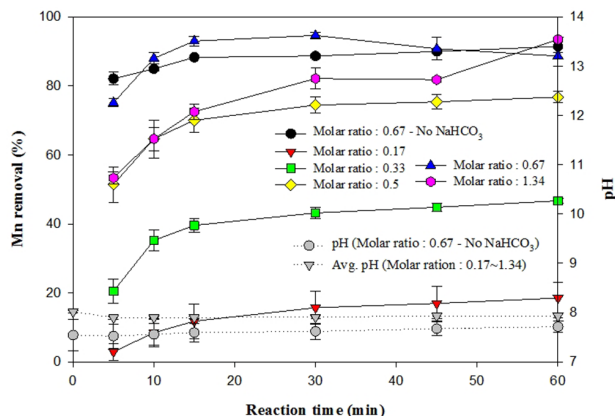
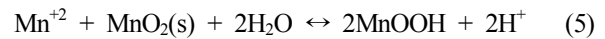


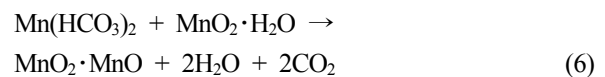
Fig. 3.  $Mn^{+2}$  removal by various molar ratios of  $KMnO_4/Mn(II)$  in surface water.

이러한 결과는 수돗물과 지표수에서의  $KMnO_4$ 를 이용한 용해성 망간제거의 주된 메커니즘이 다르다는 것을 시사한다. 즉 수돗물에서는 용해성 망간의 산화에 의한 제거가 주된 메커니즘이며, 지표수에서는 망간이 산화(반응시작 후 약 15분까지) 및 흡착(반응시작 후 약 15분 이후)에 의해 제거됨을 좀 더 명확히 보여준다. 용해성 망간의 산화 망간 표면흡착은 다음과 같은 반응식으로 표현된다(Posselt et al., 1968; Taffareal and Rubio, 2010).



$KMnO_4/Mn(II)$  몰비 0.17~0.67로 주입된 경우를 비교해 보면, 수돗물에서의 용해성 망간 제거가 지표수에서의 망간 제거보다 우수하였다. 망간 0.5 mg/L에 대한 양론식에 근거한 이론적  $KMnO_4/Mn(II)$  몰비 0.67로 증가할수록 수돗물과 지표수에서의 망간 제거율의 차이는 감소하였다. 따라서 지표수에서는  $KMnO_4$ 를 소모시키는 용존 이온들이 존재하며, 이에 따라 용해성 망간의 제거율이 감소하는 것으로 판단된다. Phatai et al.(2013)는 지하수에 인위적으로 칼슘 또는 마그네슘을 주입하고  $KMnO_4$ 을 이용한 용해성 망간 제거 실험을 수행하여 공존하는 물질에 의해 망간 제거율이 감소함을 관찰하였다. 본 실험에서 적용된 지표수는 수돗물보다 상대적으로 다양한 종류의 이온들이 존재할 것이라는 가정을 적합한 것이며, 따라서 이들이  $KMnO_4$ 와 반응하고 용해성 망간의 제거율을 감소시키는 것으로 사료 된다.

하지만 이론적 몰비 이상의 고농도  $KMnO_4$ 를 주입하고 충분한 반응(반응시간 60분)을 시켜준 경우에는, 지표수에서의 용해성 망간 제거율이 수돗물에서의 제거율보다 더 높았고, 먹는 물 기준도 만족시켰다. 이러한 결과는 앞서 제시된 생성된 망간산화물 및 망간외의 금속산화물들에 의한 용해성 망간 흡착제거 또는 자가촉매반응에 의한 망간 산화 가속화에 의한 것으로 사려 된다. Yu et al.(2015)과 Kim et al.(2003)는  $KMnO_4$ 와 망간의 반응으로 생성되는  $MnO_2$ 는 자가촉매반응을 일으켜 망간의 산화속도를 가속화 시킨다고 발표하였다.



수돗물에서의 고농도  $KMnO_4$ 는 용해성 망간과 반응하고 남게 되는데, 이들이 수돗물에 잔류하는 망간으로 측정되는 것으로 판단된다. 반면에, 지표수에서



의 고농도  $\text{KMnO}_4$ 는 반응이 진행될수록 지표수에 존재하는 망간뿐만 아니라 다양한 이온들을 산화/침전시켜  $\text{KMnO}_4$  자체도 모두 소비되며 용해성 망간도 계속적으로 산화 및 흡착제거하는 것으로 사려 된다.

따라서, 지표수에 적용되는  $\text{KMnO}_4$ 를 이용한 용해성 망간제거는 양론식에 근거한 이론적 몰비 또는 그보다 높은 몰비를 적용하고 충분한 반응시간이 제공되는 것도 가능하다는 것을 알 수 있다.

본 실험에서 도출된 용해성 망간의 먹는 물 기준을 만족시키는 조건은  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비가 0.67 (양론식에 의해 예측된 이론적 몰비)이면서 반응시간이 15분 이상이거나  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비가 1.34 이면서 반응시

간이 60분인 경우였다. 또한 중탄산이온이 존재하지 않는 경우 ( $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비 0.67)에도 반응시간 45분 이후부터는 먹는 물 기준을 만족하였다. 모든 실험에서의 pH는 반응이 진행됨에 따라 큰 변화가 없었다.

### 3.4 $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$ 몰비와 교반시간 선정

$\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비와 반응시간에 따른 지표수에서의 용해성 망간(0.5 mg/L) 제거 결과를 Fig. 4에 나타내었다.  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비 0.67(양론식에 근거한 이론적 몰비)를 주입한 경우, 반응시간 15분부터 먹는물 기준을 만족시켰다. 또한  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비가 0.84

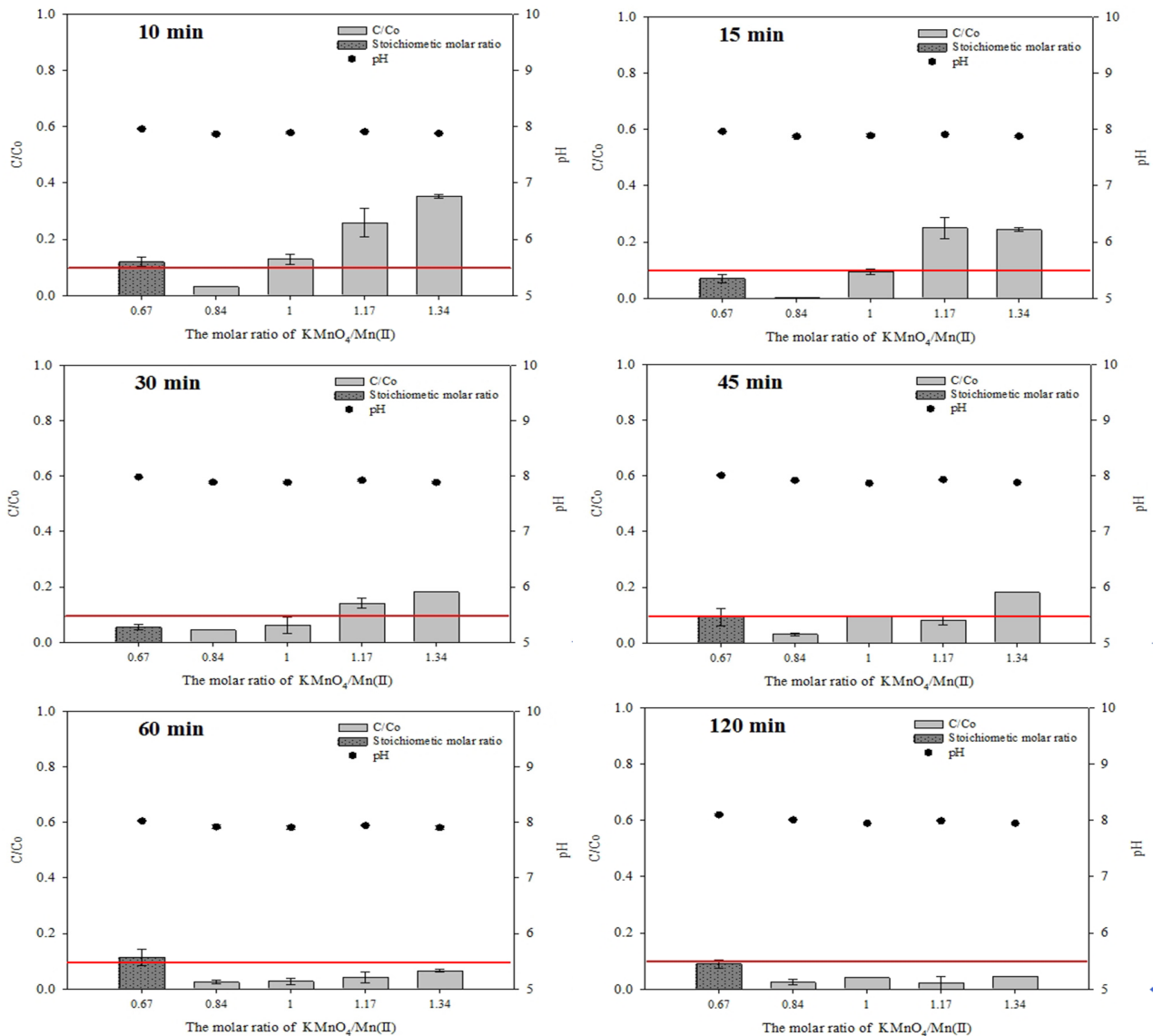


Fig. 4.  $\text{Mn}^{2+}$  removal depending on the molar ratio of  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  and reaction times.

pp. 123-130

pp. 131-137

pp. 139-145

pp. 147-154

pp. 155-165

pp. 167-177

pp. 179-185

pp. 187-196

pp. 197-206

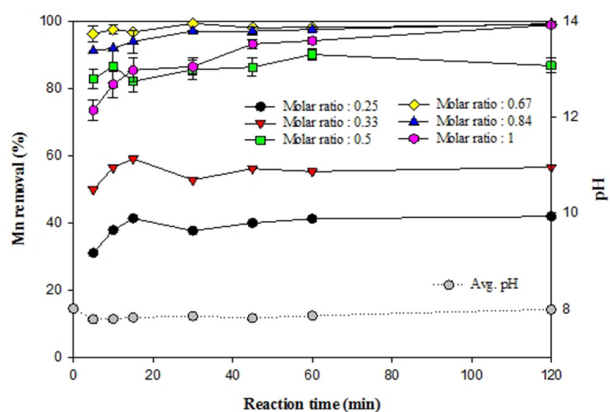
pp. 207-213

(이론적 몰비의 1.25배)와 1.0(이론적 몰비의 1.5배)인 경우에도 반응시간 약 15분에 먹는 물 기준을 만족시켰다. 그리고  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비 1.17(1.75배)과 1.34(2배)를 주입한 경우에는 교반시간 약 60 분부터 안정하게 먹는물기준을 만족시켰다.

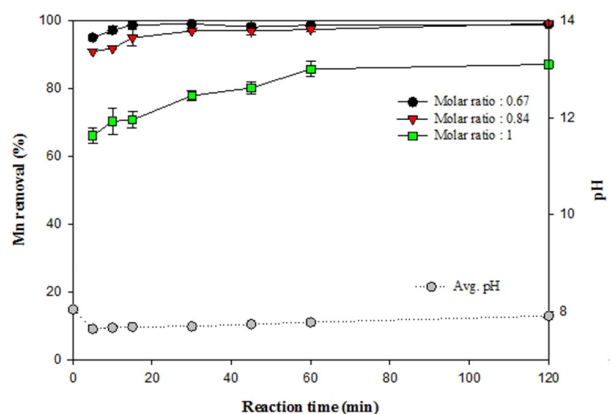
따라서 지표수에 존재하는 0.5 mg/L 용해성 망간 제거를 위한 최적  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비 및 반응시간은 0.67~0.84(이 몰비는 0.5 mg/L 망간에 대한  $\text{KMnO}_4$ 의 양론에 근거한 이론적 몰비와 이론적 몰비의 1.25배)와 교반시간 약 15분으로 설정될 수 있다. 이를 통해 0.5 mg/L가 용해된 지표수에서는 최적 조건을 이용하여 효율적인 제거가 가능할 것으로 보인다.

### 3.5 고농도 망간(1~2 mg/L) 제거를 위한 $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$ 몰비 선정

고농도 용해성 망간 제거 실험결과를 Fig. 5에 나타내었다.



(a) Mn = 1 mg/L



(b) Mn = 2 mg/L

Fig. 5.  $\text{Mn}^{+2}$  removals by  $\text{KMnO}_4$  in surface water.

초기농도 1 mg/L의 용해성 망간 제거를 위한  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  이론적 몰비는 0.67이며, 최적  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비는 0.67~0.84(이론적 몰비의 1.25 배)로 확인되었다.  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비 0.67~0.84가 주입된 경우, 반응 초기부터 95% 이상의 망간이 제거되었으며, 이는 먹는 물 기준도 만족시키는 수준이었다.  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비 1(이론적 몰비의 1.5배)가 주입된 경우, 반응초기 망간 제거율이 약 80%로 먹는 물 기준에 부적합했지만, 반응시간이 증가함에 따라 제거율이 높아져 45분부터 먹는 물 기준에 적합하였다. 이론적 몰비보다 낮은 0.25~0.33에서는 약 60% 이하의 제거율로 반응시간이 증가해도 먹는 물 기준에 부적합하였다.

초기농도 2 mg/L의 용해성 망간 제거도 일관성 있는 결과를 얻을 수 있었다. 망간 2 mg/L에 대한  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  이론적 몰비는 0.67이며, 최적  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비는 0.67~0.84(1.25배) 였다. 마찬가지로  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비 0.67~0.84를 주입한 경우, 반응초기부터 먹는 물 기준을 만족시켰다.  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비 1(1.5배)로 주입 경우에는 반응초기 망간 제거율 70%였으며, 반응시간이 증가함에 따라 망간 제거율 80%까지 높아졌다(120분). 이 또한 반응시간이 120분 이상 증가한다면 먹는 물 기준을 만족시킬 수 있을 것으로 사려된다.

따라서 고농도의 용해성 망간 제거를 위한 최적  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비는 저농도 망간(0.5 mg/L)의 주입 농도와 같이 초기 용해성 망간 농도에 필요한 이론적 몰비 및 이론적 몰비의 1.25배이며 반응시간도 저농도 망간제거 경우와 같은 15분으로 매우 편리하게 운영될 수 있음을 확인하였다.

## 4. 결 론

중탄산이온에 의한 망간 제거 경향을 확인하였으며 용매에  $\text{KMnO}_4$  주입에 따른 최적 용해성 망간 제거 조건을 도출하였다.

1) 중탄산이온은 용해성 망간을 제거시키는 성분이지만 중탄산이온만으로는 0.5 mg/L 이상의 용해성 망간을 제거할 수가 없어 산화제  $\text{KMnO}_4$  주입이 필요하다. 또한 각 용매에  $\text{KMnO}_4$  주입 경우, 중탄산이온 존재는 용해성 망간 제거를 촉진시킴을 확인하였다.

2) 수돗물에서의 최적 용해성 망간 제거 조건은 최적  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비(양론식에 근거한 이론적 몰비)에 의해 결정되며, 지표수에서의 최적 용해성 망간 제거 조건



은  $\text{KMnO}_4/\text{Mn(II)}$  몰비과 반응시간에 의해 결정된다.

3) 용해성 망간 0.5~2 mg/L 제거를 위한 최적 조건은  $\text{KMnO}_4$  양론식에 근거한 이론적 몰비에서 이론적 몰비의 1.25배로 주입하여 반응시간을 15분으로 하는 것이다.

## 사 사

본 연구는 국토교통부 물관리연구개발사업의 연구비지원(과제 15AWMP-B066761-03)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Almulla, A., Hamad, A., Gadalla, M. (2005) Aquifer storage and recover(ASR): a strategic cost-effective facility to balance water production and demand for Sharjah, Desalination, 174, pp. 193-204
- Buamah, R., Petrusovski, B., Schippers, J.C. (2007) Adsorptive removal of manganese(II) from the aqueous phase using iron oxide coated sand, Journal of Water Supply: Research and Technology, pp. 1-12
- Choo, K.H., Lee, H.B., Choi, S.J. (2005) Iron and manganese removal and membrane fouling during UF in conjunction with prechlorination for drinking water treatment, Journal of Membrane Science, 267, pp. 18-26
- Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J., Tchobanoglous, G. (2012) MWH's Water treatment: Principles and Design, 3rd ed, Wiley, New York, pp. 1553-1568
- Gerke, T.L., Little, B.J., Maynard, J.B. (2016) Manganese deposition in drinking water distribution systems, Science of Total Environment, 541, pp. 184-193
- Hiscock, K.M., Grischek, T. (2002) Attenuation of groundwater pollution by bank filtration, Journal of Hydrology, 266, pp. 139-144
- Jusoh, A.B., Cheng, Low, W.M., Nora'aini, A., Noor, M.J.M.M. (2005) Study on the removal of iron and manganese in groundwater by granular activated carbon, Desalination, 182, pp. 347-353
- Khoe, G.H., Waite, T.D. (1989) Manganese and Iron related problems in Australian water supplies, Environmental Technology Letter, 10, pp. 479-490
- Kim, C.H., Kim, H.C., Ahn, H.W. (2003) Development of Manganese Removal Processes for Bank Filtered Water, Journal of Korea Technological Society of Water and Waste Water Treatment, 11(3), pp. 35-42
- Kim, G.B., Kim, B.W., Shin, S.H., Park, J.H. (2009) Iron and Manganese Removal through Well Development at River Bank Filtration Site, The Journal of Engineering Geology, 19(3), pp. 389-400
- Kuehn, W., Mueller, U. (2009) Riverbank filtration: an overview, American Water Works Association, Journal, 92(12), pp. 60
- ME(Ministry of environment). (2015) Drinking water quality standards, 621, pp. 1-3
- Mettler, S., Abdelmoula, M., Hoehn, E., Schoenenberger, R., Weidler, P., Gunten, U.V. (2001) Characterization of Iron and Manganese Precipitates from an In Situ Ground Water Treatment Plant, GROUND WATER, 39(6), pp. 921-930
- Ok, C.S. (2013) Water Treatment Effects and Securing to Water Supply Resources by River Bank Filtration, Journal of Korean Society of Urban Environment, 13(1), pp. 67-74
- Park, N.S., Jung, E.T., Nam, B.H. (2016) Aquifer Storage and Water Quality Enhancement of Surface Water, The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers, 64(3), pp. 25-31
- Patil, D.S., Chavan, S.M., Oubagaranadin, J.U.K. (2016) A review of technologies for manganese removal from wastewaters, Journal of Environmental Chemical Engineering, 4, pp. 468-487
- Phatai, P., Wittayakun, J., Chen, W.H., Futralan, C.M., Grisdanurak, N., Kan, C.C. (2013) Removal of manganese (II) and iron(II) from synthetic groundwater using potassium permanganate, Desalination and Water Treatment, 52, pp. 5942-5951
- Posselt, H.S., Anderson, F.J., Weber, W.J. (1968) Cation sorption on colloidal hydrous manganese dioxide, Environmental Science & Technology, 2(12), pp. 1087-1093
- Robb, G.A., Robinson, J.D.F. (1995) Acid Drainage from Mines, The Geographical Journal, 161(1), pp. 47-54
- Röllin, H.B., Nogueira, C.M.C.A. (2011) Manganese: Environmental Pollution and Health Effects, Encyclopedia of Environmental Health, pp. 617-629
- Taffarel, S.R., Rubio J. (2010) Removal of  $\text{Mn}^{2+}$  from aqueous solution by manganese oxide coated zeolite, Minerals Engineering, 23(14), pp. 1131-1138
- WHO. (2011) Manganese in Drinking-water (Background for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality), WHO/SDE/WSH/03.04/104/Rev/1, pp. 2-6
- Xuwen, H.E., Huimin, Y., Yong, H.E. (2010) Treatment of mine water high in Fe and Mn by modified manganese sand, Mining Science and Technology, 20, pp. 571-575
- Yu, W., Campos, L., Shi, T., Li, G., Graham, N. (2015) Enhanced removal of manganese in organic-rich surface water by combined sodium hypochlorite and potassium permanganate during drinking water treatment, Royal society of Chemistry, 5, pp. 27970-27977

pp. 123-130

pp. 131-137

pp. 139-145

pp. 147-154

pp. 155-165

pp. 167-177

pp. 179-185

pp. 187-196

pp. 197-206

pp. 207-213