

## 망간코팅 여재를 이용한 수용액상의 망간 제거연구

김석준 · 김원기 · 이승목\* · 양재규\*

관동대학교 환경공학과

\*광운대학교 교양학부

## Removal of Manganese(II) from Aqueous Solution Using Manganese Coated Media

Seok-Jun Kim · Won-Gee Kim · Seung-Mok Lee\* · Jae-Kyu Yang\*

Department of Environmental Engineering, Kwandong University

\*Division of General Education, Kwangwoon University

(Received 11 November 2009, Revised 5 February 2010, Accepted 22 March 2010)

### Abstract

This study investigated the applicability of manganese coated media such as manganese coated sand (MCS), manganese coated sericite (MCSe) and manganese coated starfish material calcined at 550°C (MCSf) to remove Mn(II) in synthetic wastewater. Manganese coated media prepared at different pH was applied in the treatment of soluble Mn(II) in batch and column experiments at various Mn(II) concentrations. The amount of Mn coated on three different media was approximately 800~1100 mg/kg. From the stability test, negligible dissolution of Mn was observed above pH 3.0. In batch test, more than 40% of Mn(II) was removed by all sand media at various manganese concentrations. In order to see the effect of additional oxidant for the removal of Mn(II), 4 mg/L of hypochlorite was added in Mn(II) solution during column experiment. Breakthrough of Mn(II) was greatly retarded in the presence of hypochlorite in all column reactors packed with different media. Among the manganese coated media, MCSf prepared at pH 4 indicated the highest removal capacity. The removal efficiency of Mn(II) was also increased in the multi-layer system (0.5 g of MCS, MCSe, and MCSf each).

**keywords** : Adsorbent, Manganese(II), Manganese coated sand, Starfish

### 1. 서론

망간은 다양한 화학반응을 통해 지하, 지표에서 수중으로 용해되며, 지각의 약 0.1%를 차지하는 천연구성요소로 대개 불용성의 성질을 갖는 원소이다(Williams and Culp, 1986). 국내의 소규모 및 중규모 정수장에서 생산되는 음용수 중에서도 일부 망간이 검출되고 있으며, 현재 국내의 정수기준에서는 망간의 농도를 0.3 mg/L 이하로 제한하고 있으나, 안정적으로 정수를 공급하기 위하여 유럽과 같은 선진국에서는 정수기준을 0.05 mg/L 이하로 유지하고 있어, 장래 수질기준의 강화가 예상되어 망간을 보다 효과적으로 처리, 제거할 수 있는 공정이 필요하다(정성욱 등, 2001; 환경부, 1998, 2008).

망간은 물속에 녹아 있을 때는 2가이며 무색이지만 산소 또는 염소와 접촉하면 4가의 검은색을 띠며 물에 잘 녹지 않는 침전물이다. 망간 산화미생물에 의한 생물학적 처리법의 경우 물리화학적 처리방법과 비교시 처리시간이 긴 것과 처리효율이 상대적으로 낮기 때문에 대부분 폭기, 염소, 이산화염소, 과망간산칼륨, 오존 등의 산화에 의한 처리법

과 망간사 및 기존 여재에 의한 접촉여과법, 이온교환법이 있으며, 이 밖에 석회 연화처리법과 같은 제거 방법을 적용하고 있다(김범수 등, 2006a, 2006b; 김진근 등, 2005; 한국수자원공사, 2005). 원수에 존재하는 망간은 일반적으로 정수처리공정에서 염소에 의한 산화과정 및 여과지를 통해 대부분 제거되며, 이때 모래여과지의 여과사는 산화망간의 형태로 존재하는 망간에 의해 망간사가 되어 초기에 여과사로 이용되었던 여과사와는 다른 독특한 특성을 지닌다(Sommerfeld, 1999).

전운모는 일반적으로 이팔변체 구조를 가지며 섬유상 조직을 나타내는 미립질의 백운모를 지칭하는 용어로서 알칼리 원소의 양이 높으며(김원사와 최준규 등, 2005), 입자의 크기가 극 미립이기 때문에 전연성과 흡착성이 탁월하여 고가의 화장품등의 주요원료로도 사용되고 있다(Tokubo, 1986).

불가사리는 뛰어난 복원력과 해양 생태계에서 천적이 없으며 전복, 굴, 가리비, 홍합 등을 주된 먹이로 하기 때문에 국내의 양식업에 큰 피해를 주고 있다. 국내에서는 수협 등에서 이를 해결하기 위하여 어망 등을 사용하여 포획된 불가사리를 어민들로부터 구매하여 불가사리를 회수 및 처분을 하고 있다. 회수된 불가사리의 재활용 방안으로는 불가사리의 퇴비화, 슬러지 탈수보조제, 폐광폐수처리제, 인 제거용 흡착제로서 목적을 두고 연구된 바 있다(김근한 등,

\* To whom correspondence should be addressed.  
leesm@kd.ac.kr

2002; 유대현 등, 2004; 이일영 등, 2002).

본 연구에서는 폐수산물인 불가사리의 재활용 방안 도출은 물론 여과사로 널리 사용되는 주문진사와 천연성과 흡착성이 크다고 알려진 견운모의 적용성을 보다 높이기 위한 방안 도출을 위해 이들을 각각 담체로 사용하고 산화제의 기능을 갖는 산화망간을 코팅시킨 manganese coated sand(MCS), manganese coated sericite(MCSe), manganese coated starfish material calcined at 550°C(MCSf)를 제조하고 다양한 반응조건하에서의 회분식 Mn(II) 제거실험과 이들을 단독 및 병합으로 충전한 칼럼반응기를 이용하여 Mn(II)의 처리효율을 비교하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험재료

본 실험에서 사용한 모래는 주문진 여과사를 사용하였고, 모래표면의 불순물 제거 및 세척을 위하여 0.1 N HNO<sub>3</sub> 용액을 사용하여 표면을 처리하였으며, 증류수를 사용하여 수 회 세척하여 건조기에서 표면의 수분을 제거하였다. 견운모는 모래와 동일한 표면처리를 거친 후 건조기에서 표면의 수분을 제거하였다. 불가사리는 동해연안의 항만에서 수거한 불가사리를 사용하였다. 불가사리는 수분을 제거한 후 5~6 cm의 크기로 파쇄한 후 전기로(Chang Sin Science Co. C-MF)에 넣어 550±5°C에서 회화 시킨 후 사용하였으며, 산화망간 코팅을 위한 담체로 사용한 모래, 견운모, 불가사리 회화물은 모두 14~16 mesh (1.18~1.4 mm)의 크기를 사용하였다.

### 2.2. Mn(II)첨착 모래, 견운모, 불가사리 제조

MCS, MCSe 및 MCSf 제조시 코팅에 사용한 망간용액은 Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O(Junsei Co.)를 사용하였으며 초순수(Milli-Q water)를 사용하여 제조하였다. MCS와 MCSe 제조시 용액의 pH를 4와 9로 조절하였으며, MCSf는 시료 내에 매우 높은 칼슘 성분을 포함하고 있어 pH 조절이 용이하지 않을 뿐만 아니라, 매우 낮은 pH(1~2)에서는 과립형상의 붕괴를 초래하여 pH를 조절하지 않은 망간용액을 사용하였다. 망간용액 0.05 M을 50 mL씩 삼각플라스크에 나누어 담은 후 모래, 견운모, 회화 불가사리를 각각 100 g씩 주입하여 항온진탕기를 사용하여 100±5°C로 혼합하면서 24시

간동안 수분을 증발시키면서 진탕 교반하였다. 수분이 제거된 매질에 증류수를 사용하여 수 회 세척하면서 코팅되지 않은 잔여 망간을 제거하였다. 이후 매질을 건조기에 넣고 표면의 수분을 완전히 제거하여 Fig. 1과 같은 MCS, MCSe 및 MCSf를 제조하였다. 제조한 MCS, MCSe 및 MCSf의 망간코팅 함량을 알아보기 위해 미국 EPA 3050B 분석법을 사용하여 망간함량을 분석하였으며, 원자흡광광도계(Shimadzu Co. SpectrAA-6800)를 사용하여 분석하였다.

### 2.3. 실험방법

연속식 실험에 앞서 MCS, MCSe 및 MCSf에 의한 Mn(II)제거 특성을 알아보기 위해 회분식 실험을 실시하였으며, 망간용액은 Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O(Junsei Co.)을 사용하였다. 망간의 코팅안정성을 알아보기 위하여 MCS-4(pH 4 제조), MCS-9(pH 9 제조), MCSe-4(pH 4 제조), MCSe-9(pH 9 제조), MCSf를 100 mL의 회분식 반응조에 각각 0.5 g씩 주입하였으며, 증류수에 0.1 N NaOH와 HNO<sub>3</sub>를 사용하여 pH 2~7까지 각 매질별 코팅된 산화망간의 안정성 실험을 수행하였다. 망간의 농도별 제거 효과를 알아보기 위하여 100 mL 회분식 반응조에 각각의 매질을 0.5 g씩 주입한 후 망간의 주입농도를 1~12 mg/L까지 변화시켜 망간 주입농도에 따른 망간제거 실험을 수행하였으며, 모든 회분식 실험은 24시간 동안 교반하여 진행하였다.

MCS, MCSe 및 MCSf에 의한 연속식 칼럼 실험은 다음과 같이 수행하였다. 2 mg/L의 망간(Mn(II)) 용액을 1.4 mL/min의 속도로 상향류로 주입하여(직경 1 cm, 높이 12 cm의 칼럼 안에 아래쪽으로부터 여과사 2 g, 망간코팅 여재를 1.5 g 충전하고) 실험하였다. 또한 산화제의 주입여부에 의한 망간제거 효율을 알아보기 위해 동일한 조건에 NaOCl 4 mg/L (as ClO)을 첨가하여 연속식 실험을 수행하였다. 또한 MCS, MCSe 및 MCSf를 각각 0.5 g씩 완전 혼합하여 칼럼에 충전 후 동일조건에서 용존 망간 제거 실험을 수행하였다. 실험 후 채취한 샘플은 여과하여 원자흡광광도계(Shimadzu Co. SpectrAA-6800)를 사용하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. MCS, MCSe 및 MCSf의 망간코팅함량

MCS, MCSe 및 MCSf의 망간코팅함량을 아래의 Fig. 2

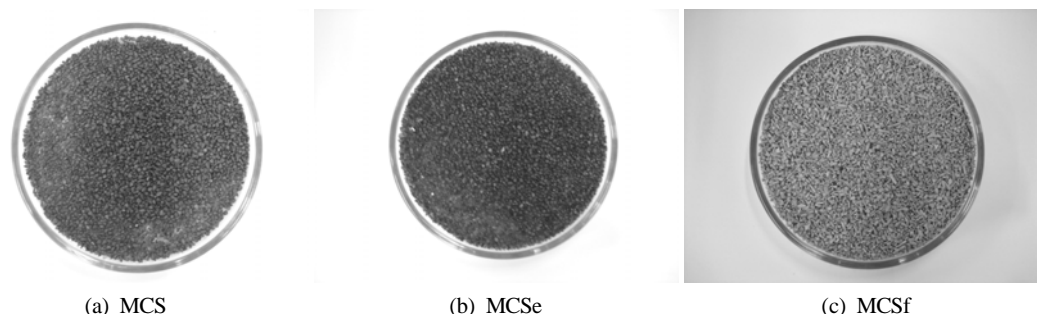


Fig. 1. Pictures of the prepared manganese coated media.

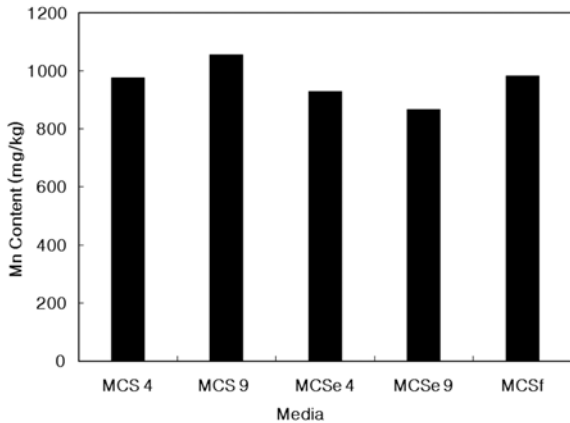


Fig. 2. Manganese contents on MCS, MCSe and MCSf.

와 같이 나타났다. 0.05 M 농도에서 코팅한 MCS-4의 코팅 함량은 976 mg/kg, MCS-9의 코팅량은 1056 mg/kg, MCSe-4는 928 mg/kg, MCSe-9는 866 mg/kg, MCSf의 코팅량은 982 mg/kg으로 나타났으며, 전체적으로 코팅된 망간의 평균치는 962 mg/kg이었으며 망간코팅함량은 코팅 용액의 pH 변화 그리고 특히 담체로 사용한 매질의 종류를 달리 함에 따른 뚜렷한 코팅량의 변화 경향을 나타내지 않는 것으로 보아 코팅용액의 pH 및 매질의 종류는 산화망간의 코팅에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

3.2. pH변화에 따른 코팅안정성

MCS, MCSe 및 MCSf에 코팅된 산화망간의 안정성을 평가하기 위해 pH 변화에 따른 용출실험을 수행한 결과를 아래의 Fig. 3에 나타내었다. 회분식 실험 결과 pH가 낮은 2~3에서의 MCS, MCSe 및 MCSf의 내산성이 떨어져, pH 2의 영역에서는 평균 0.98 mg/L, pH 2.5에서는 0.29 mg/L의 Mn(II)이 검출되었다. 이는 현재 국내 수질환경기준인 0.3 mg/L보다 높거나 근접한 값이며, pH 3에서는 0.12 mg/L의 Mn(II)이 검출되었다. 매질에 코팅된 망간의 안정성 실험을 수행한 결과 pH 3.5 이상에서는 각 여재에 코팅된 망간이 용출되지 않음을 알 수 있었으며, 코팅 후 여재 자체에서의 망간도 검출되지 않았다.

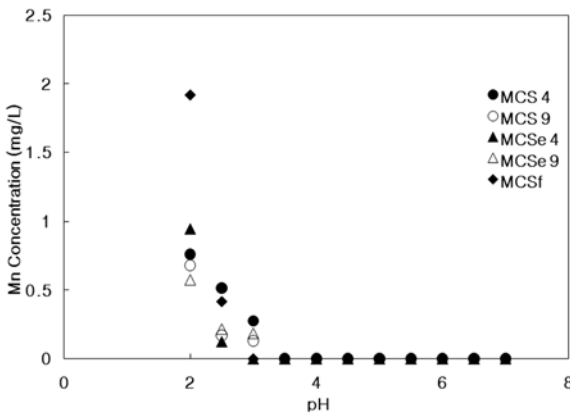
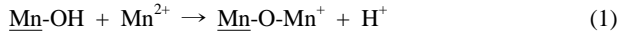


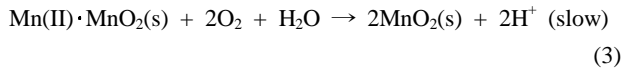
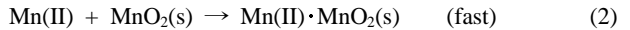
Fig. 3. Stability test of MCS, MCSe and MCSf at different solution pH (media = 5 g/L, pH = 2~7).

3.3. 회분식 실험에 의한 망간제거

용존 망간의 주입농도를 1~12 mg/L까지 단계적으로 변화시켜 회분식 실험을 수행한 결과는 Fig. 4와 같이 나타났다. 회분식 실험 결과 주입농도가 증가할수록 제거율이 조금씩 감소하는 경향을 나타냈다. MCS와 MCSe의 망간제거율은 평균 약 40%대로 나타났으며 MCSf 망간 제거율은 평균 70%로 높게 나타났다. 용존 망간의 주입농도가 12 mg/L일 때 MCS와 MCSe에 의한 망간의 제거량은 1080 mg/kg에 해당하였다. 산화망간(MnO<sub>2</sub>)이 코팅된 각 매질에 의한 용존 상태의 망간 제거 기작은 반응식 (1)과 같은 코팅된 산화망간 표면(Mn-OH)에 의한 흡착반응과 반응식 (2) 및 (3)과 같은 접촉산화 반응에 의한 복합적인 효과에 의한 것으로 판단된다. 접촉산화반응에서는 망간산화물 표면에 Mn<sup>2+</sup> 이온이 흡착되는 상대적으로 빠른 반응속도를 갖는 단계와 이후 망간산화물 표면에 흡착된 Mn<sup>2+</sup> 이온이 용존 산소에 의해 산화가 이루어지는 반응속도가 상대적으로 느린 단계로 이루어지는 것으로 알려져 있다(임재우, 2008).



식 (2)와 (3)은 각 여재에 코팅된 망간산화물에 의한 용존망간(Mn(II))의 접촉 산화 반응식을 나타낸 것이다.



용존 망간 제거를 위한 실험시, MCSf를 사용한 경우 초기 pH를 2.8로 한 것은 MCSf의 고알칼리도에 의한 평형상태의 pH 상승을 고려한 것이다. MCSf의 경우 MCS와 MCSe와 달리 모든 망간 주입농도 조건에서 더 큰 제거율을 나타낸 결과는 불가사리를 회화시켜 만든 무기성 담체가 갖는 높은 알칼리도에 의한 수용액상의 pH 상승이 보다 크게 나타난 결과라고 판단된다. 실제로 반응시

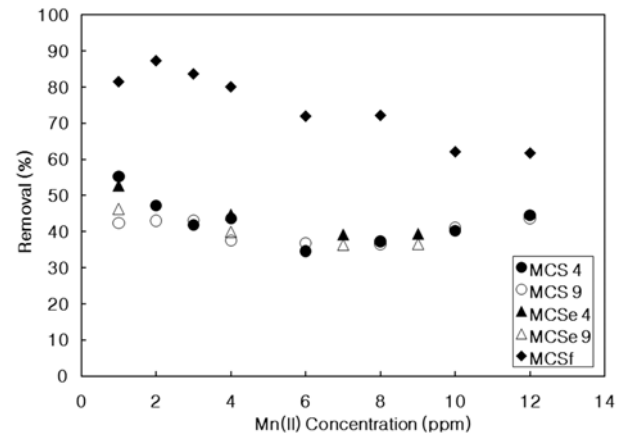
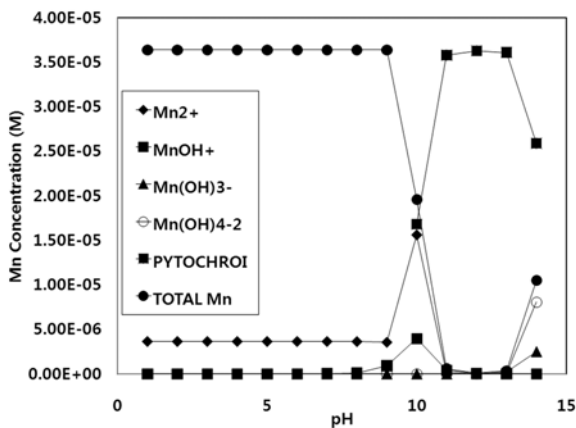


Fig. 4. Removal of Mn(II) by MCS, MCSe and MCSf at different Mn(II) concentrations in a batch reactor (media = 5 g/L).

**Table 1.** Change of solution pH after removal reaction at different Mn(II) concentration in a batch reactor

Concentration (mg/L)	MCS-4		MCS-9		MCSe-4		MCSe-9		MCSf	
	Initial pH	Final pH	Initial pH	Final pH	Initial pH	Final pH	Initial pH	Final pH	Initial pH	Final pH
1	6	6.93	6	6.52	6	6.81	6	7.02	2.8	8.6
2	6	6.57	6	6.5	6	6.89	6	6.87	2.8	8.58
3	6	6.44	6	6.35	6	6.74	6	6.88	2.8	8.34
4	6	6.53	6	6.39	6	6.84	6	6.78	2.8	8.12
6	6	6.34	6	6.44	6	6.8	6	6.75	2.8	7.72
8	6	6.45	6	6.57	6	6.81	6	6.72	2.8	7.77
10	6	6.38	6	6.4	6	6.8	6	6.7	2.8	7.73
12	6	6.45	6	6.44	6	6.6	6	6.65	2.8	7.59



**Fig. 5.** Speciation of Mn(II) obtained by MINTEQA2 software as a function of solution pH.

간이 끝난 후 용액의 pH는 Table 1과 같이 MCSf는 초기 pH보다 상승해 있는 것을 알 수 있었으며, 기존의 선행연구에서도 이와 같은 현상이 보고된 바 있다(유목련 등, 2007). 이러한 용액의 pH 상승효과는 반응식 (1)과 같은 양이온형의 흡착반응이 유리해지는 결과와 이에 따른 겹축산화반응의 부가적인 상승효과를 기대할 수 있는 것과 함께 침전화 반응에 의한 제거율의 상승효과를 고려할 수 있다. 이러한 3가지 가능성 중에서 침전화반응에 의한 제거율은 거의 무시할 수 있음을 종분화 시뮬레이션 프로그램인 MINTEQA2에 의한 용존 망간의 화학종분포 결과 (Fig. 5)로부터 알 수 있었다. 즉 용존 망간의 경우 pH 9까지는 대부분 자유 2가 망간(Mn<sup>2+</sup>) 형태로 존재하여 MCSf에 의한 유발된 pH 상승 조건에서도 침전화되지 않음을 알 수 있었다.

**3.4. MCS, MCSe, 및 MCSf를 흡착제로 이용한 연속식 망간제거**

MCS, MCSe 및 MCSf에 의한 연속식 실험을 수행한 결과를 아래 Fig. 6에 나타내었다. 칼럼 실험시 주입용액의 초기 pH는 조절하지 않은 상태에서 연속식 실험을 수행하였는데 유출용액의 pH는 5.5 부근으로 측정되었다. 주입한 Mn(II) 용액의 칼럼반응기내 체류시간은 MCS와 MCSe를 사용한 경우는 41 sec이었으며, MCSf를 사용하였을 때에는 142 sec이었다. 연속식 실험결과 모든 칼럼에서 염소를 주입하였음에도 불구하고 파파가 좀 느려지긴 했지만 초기

반응시간에서 파파가 발생하였다. 이러한 이유는 반응이 칼럼반응기내에서의 pH가 5.5 부근으로서 약 산성을 갖는 것에 기인한 것이라고 판단된다. 김충환 등(2007)은 2단 망간 모래에 의한 고농도 망간 처리 실험에서, 원수 및 2단 여과수의 평균 pH가 6.9이었을 때 망간의 처리효율은 37.8%에 불과하였으나 원수와 2단 여과수의 평균 pH를 각각 7.88과 7.66으로 향상시켰을 때 95.0%로 향상되었다고 보고하였다. 연속식 실험을 진행할 때 산화제로 NaOCl을 주입하여 각 매질의 연속식 실험을 비교한 결과 pH 4에서 제조한 MCS와 MCSe의 경우 NaOCl 산화제 주입에 영향을 받지 않는 용존 망간의 제거율을 보였으나 pH 9에서 제조한 이들 두 매질에서는 NaOCl을 가함에 따라 용존 망간의 제거 효율이 더 높게 나타났다. 이와 같이 제조한 pH를 달리하여 제조한 MCS 및 MCSe에서 산화제 주입시 다른 용존망간의 제거효율을 나타내는 까닭은 코팅된 산화망간의 물리화학적 특성이 다른 것에 기인한 것이라고 판단된다. MCS와 MCSe 제조시 코팅에 사용한 Mn(II)가 MnO<sub>2</sub>로 산화되는 속도는 pH에 의존한다. 즉 pH가 높은 조건에서는 Mn(II)가 MnO, MnOOH 그리고 MnO<sub>2</sub>로 빠르게 산화가 이루어지지만 pH가 낮은 제조 조건에서는 MnO<sub>2</sub>로의 완전한 산화가 이루어지지 못한 것에 기인하여 나타난 것으로 판단된다.

일반적으로 수화이산화망간(MnO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O)이 코팅된 망간모래에 염소를 포함한 처리대상수를 흘려주면 Mn<sup>2+</sup>는 MnO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O의 촉매작용에 의해 잔류염소와 반응하여 빠르게 MnO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O가 되고 기존 MnO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O 표면에 결합이 되는 것으로 알려져 있다(김범수 등, 2006b).

MCSf와 각각의 여재를 혼합하여 충전한 칼럼의 경우도 NaOCl을 주입한 연속식 실험에서 Mn(II)제거 효율이 더 높게 나타났다.

**4. 결론**

MCS, MCSe 및 MCSf에 의한 회분식 및 연속식 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) pH 및 담체의 종류를 달리하여 망간코팅 매질을 제조한 결과, 전체적으로 코팅된 망간의 평균 농도는 962 mg/kg이었으며 망간코팅함량에 큰 차이가 없는 것으로 보아 담체의 종류 및 제조 용액의 pH는 산화망간의 코

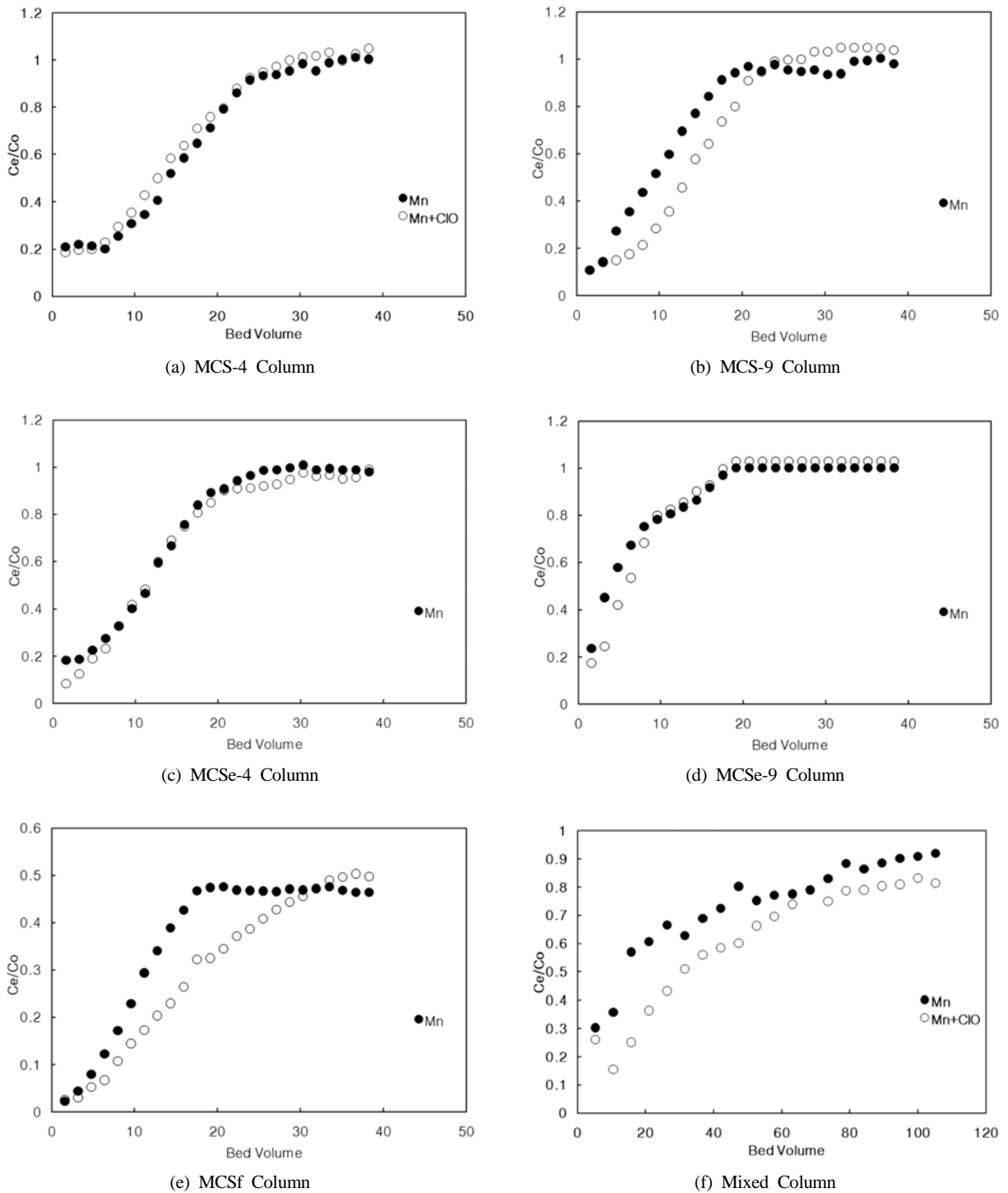


Fig. 6. Breakthrough curves of Mn(II) from several column systems.

팅에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다.

- 2) 산화망간이 코팅된 모든 매질들에서 pH가 낮은 2~3 조건에서는 내산성이 떨어져서 Mn의 용출농도가 수질 규제치보다 보다 높거나 근접한 값이었지만, pH 3.5 이상에서는 망간의 용출이 확인되지 않았다.
- 3) 망간의 주입농도를 증가시키면서 회분식 실험을 실행한 결과 용존 망간의 제거 효율은 MCSf에서 가장 높게 나타났다으며, MCS와 MCSe는 평균 약 40%, MCSf는 평균

약 70%의 망간제거율을 나타냈다. 이는 MCSf 주입시 수용액의 pH 상승에 따른 결과라고 판단된다.

- 4) 연속식 실험을 수행한 결과, pH 4에서 제조한 MCS와 MCSe의 경우 NaOCl 산화제 주입에 영향을 받지 않는 용존 망간의 제거율을 보였으나 pH 9에서 제조한 이들 두 매질에서는 NaOCl을 가함에 따라 용존 망간의 제거 효율이 더 높게 나타났다. 이와 같은 현상은 코팅된 산화망간의 물리화학적 특성이 다른 것에 기인한 것이라

고 사료되며 이에 대한 후속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

## 사 사

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI05-01-02) 지원의 일부와 강원지역환경기술개발센터에서 시행한 환경기술연구개발사업 지원의 일부로 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

김근한, 이일영, 최봉종, 이승목, 김승호(2002). 수산폐기물과 불가사리를 이용한 폐광폐수처리. *대한환경공학회지*, **24**(3), pp. 489-497.

김범수, 윤재경, 안효원, 김충환(2006a). 정수에서의 생물학적 망간 처리. *상하수도학회지*, **20**(1), pp. 44-52.

김범수, 윤재경, 안효원, 김충환(2006b). 망간모래여과공정에서 망간제거에 미치는 영향인자. *상하수도학회지*, **20**(1), pp. 86-93.

김원사, 최준규(2005). 삼성광산 일대의 건운모광화작용에 대한 광물학적 및 성인적 연구. *한국지구과학회지*, **26**(7), pp. 674-682.

김진근, 정산기, 김종숙, 박세진(2005). 상수처리에서 망간제

거. *상하수도학회지*, **19**(5), pp. 595-604.

김충환, 윤종섭, 임재림, 김성수(2007). 2단 망간모래여과에 의한 고농도 망간 처리. *상하수도학회지*, **21**(4), pp. 504-508.

유대현, 이재광, 이면주(2004). 불가사리를 이용한 하수 소화슬러지 탈수보조제 제조에 관한 연구. *대한환경공학회지*, **26**(1), pp. 64-68.

유목련, 양재규, 김무늬, 이승목, 이남희(2007). 망간사에 의한 망간제거 특성 평가. *대한환경공학회지*, **29**(5), pp. 571-576.

이일영, 김근한, 최봉종, 이승목(2002). 수산폐슬러지 및 불가사리를 이용한 인 제거 연구. *대한환경공학회지*, **24**(1), pp. 79-87.

임재우(2008). 다기능성 모래매질을 이용한 지하수 중 Mn(II)과 As(V) 처리에 관한 연구. 석사학위논문, 광운대학교.

정성욱, 이진필, 김학성(2001). 정수공정에서 산화 및 여과에 의한 망간제거. *대한환경공학회지*, **23**(4), pp. 661-669.

한국수자원공사(2005). 철·망간 제어 매뉴얼.

환경부(1998). 세계보건기구 먹는물 수질관리 지침.

환경부(2008). 먹는물 수질관리 지침.

Sommerfeld, E. O. (1999). Iron and Manganese Removal Handbook. AWWA, pp. 74-80.

Tokubo, K. (1986). Application of powders to cosmetics their properties and reform of their function. *Frangrance Jour*, **80**, pp. 60-66.

Williams, R. B. and Culp, G. L. (1986). Handbook of Public Water Systems. *Clup/Wesner*, pp. 633-644.