

## 망간모래여과공정에서 망간제거에 미치는 영향인자

### Effect of Experimental Factors on Manganese Removal in Manganese Sand Filtration

김범수 · 윤재경 · 안효원 · 김충환\*

Kim, Berm-Soo · Yoon, Jaekyung · Ann, Hyo-Won · Kim, Chung-Hwan\*

한국수자원공사 수자원연구원 상하수도연구소

(2005년 10월 17일 논문 접수; 2006년 1월 27일 최종 수정논문 채택)

#### Abstract

In the drinking water treatment, the aesthetic and color problem are caused by the manganese which is occurring and present in the surface, lake and ground water. The most common treatment processes for removing manganese are known for oxidation followed by filtration. In this study, the manganese sand process was used for removing manganese with river bank filtrate as a source.

In the manganese sand process, the residual chlorine and pH are important factors on the continuous manganese oxidation. In addition, space velocity (SV) and alum dosage are play a role of manganese removal.

Even though manganese removal increased with increasing chlorine concentration, the control of residual chlorine is actually difficult in this process

As the results of tests, the residual chlorine concentration as well as manganese removal were effectively achieved at pH 7.5. The optimum attached manganese concentration on manganese sand was confirmed to 0.3mg/L by the experimental result of a typical sand converting to manganese sand.

**Key words:** manganese sand, residual chlorine, pH control, manganese removal efficiency, attached manganese concentration

**주제어:** 망간모래, 잔류염소, pH조절, 망간제거 효율, 망간부착량

#### 1. 서론

자연수중의 망간은 지하수나 지표수의 침수층, 호소의 저층수를 취수하는 경우에 많이 발생한다. 특히

망간은 정수처리공정에서 염소와 반응하여 이취미 발생은 물론 강한 색도를 유발하여 정수장애를 일으키기도 한다. 일반적으로 망간이온이 산화되어 콜로이드성 이산화망간이 생성될 경우 300~400배의 색도를 나타내며, 염소에 의한 산화속도는 느리고, 배·

\*Corresponding author Tel: 82-42-860-0382, FAX: +82-42-860-0399, E-mail: chkim@kowaco.or.kr (Kim, C.H.)

급수관으로의 부착은 일정하지 않기 때문에 그 피해 정도는 일정하지 않다(건설부, 1981). 그러나 0.02 mg/L의 저농도에서도 장기간 누적에 따라 장해가 발생한 사례가 보고되어 망간제거에 대한 충분한 연구가 필요하다(정, 2001). 우리나라에서는 먹는물 수질 기준 중 용존망간의 농도를 0.3mg/L 이하로 규제하고 있으나, 선진외국에서는 0.05mg/L로서 장래 수질 기준의 강화가 예상되어 효과적인 망간제거공정의 개발이 요구된다(김, 1999).

망간은 철보다 산화되기 어려운 금속이므로 중성 단계에서는 산화속도가 매우 느리며, 염소산화도 촉매물질이 없는 한 산화속도는 매우 느리다(淺田, 1958). 그러나 pH가 높아지면 산화되기 쉽고, 소석회를 주입하여 pH를 10.5로 유지할 경우 칼슘을 제거하는 경수연화법에서는 철이나 망간도 동시에 제거된다. 또한, pH 9.6 이상에서 공기폭기와 안트라사이트 여과지로 여과속도 100m/일에서 완전여과 할 수 있다는 보고도 있다(趙, 1993). 그러나 위의 방법도 pH 조절이 필요하고 정수처리로서는 경제적으로 무리가 있다. 이러한 이유로 망간제거를 위한 산화법에서 공기나 염소보다 산화력이 강한 산화제가 이용된다(Mouchet, 1992). 자외선이나 태양광선을 이용한 산화법이 연구된 사례가 있으나 일반적으로는 거의 사용되지 않고 있다.

한편 망간모래를 이용한 접촉산화법은 모래표면에서 촉매로 인한 빠른 산화가 일어나 산화속도가 느린 망간을 효과적으로 제거할 수 있다(Knocke, 1998). 접촉산화법의 중요 공정인자로는 pH 조절과 염소주입농도의 조절이 알려져 있으나 상호간의 최적 조건, 연계공정과와의 최적화에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 낙동강중류지역의 강변여과수를 원수로 한 파일롯플랜트 실험에서 고농도 망간제거를 위하여 망간모래를 이용한 망간접촉여과공정

Table 1. Forms of manganese under neutral condition

Item	(1) Ox Red (2) Ox Red(3)		
	Oxidation number	+2	+4
Typical form	Mn(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> MnSO <sub>4</sub>	MnO <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O	KMnO <sub>4</sub>

을 이용하였으며, 염소주입농도, pH, 공간속도(Space Velocity), 응집제주입량 및 망간부착량이 망간제거에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

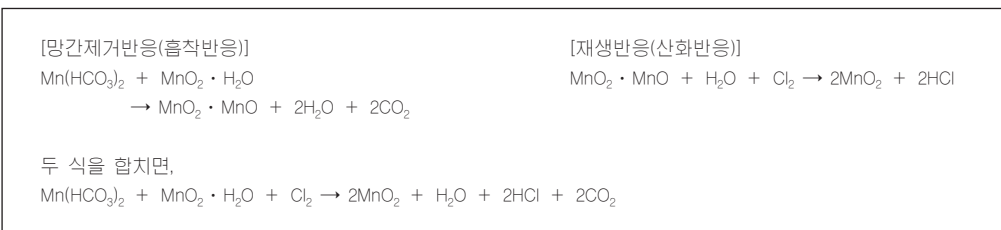
## 2. 망간모래에 의한 망간제거방법

### 2.1. 망간접촉여과

망간은 철과 함께 무색의 이온상태로 수중에 용해되어 있다. 그 용해도는 철보다 적고 일반적으로 철의 약 1/10이며, 중성부근의 수중에서 망간의 형태는 Table 1과 같다.

Table 1에서 (3)은 원자가가 +7로 높은 산화상태에 있고 자연수중에는 존재하지 않는다. 제거대상이 되는 것은 Mn(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 형태로 존재하는 Mn<sup>2+</sup>이온이다. Mn<sup>4+</sup> 이온의 망간에는 이산화망간(MnO<sub>2</sub>), 수화이산화망간(MnO<sub>2</sub> · nH<sub>2</sub>O)이 존재한다. 이산화망간은 이온상태가 아닌 고체상태로 수중에 존재하기 때문에 여과에 의해 쉽게 제거될 수 있다. 그러나 Mn<sup>2+</sup>의 산화는 용존산소만으로는 제거가 어려우며, 적절한 산화제나 촉매제가 필요하다.

용존망간을 함유한 물에 염소를 필요량만큼 가하고 수화이산화망간을 피복시킨 망간모래층에 원수를 통수하면 Mn<sup>2+</sup>은 MnO<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O의 촉매작용에 의해 염소와 반응하여 빠르게 산화되어 MnO<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O가 되고, 기존 MnO<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O 표면에 결합한다. 여기서 새롭게 생성된 MnO<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O는 같은 형태의 촉매작용을 갖고 다음의 Mn<sup>2+</sup> 이온산화의 촉매로서 작용한다(和田, 1996). 결국 망간모래에 코팅된 수화이산화망간



**Table 2.** Specifications of manganese contact filtration process

Item		Specification of system
Filer	Capacity	15-26m <sup>3</sup> /day
	Type	Filtration
	Size	D400mm(A=0.126m <sup>2</sup> ), H=1.2m
	LV, SV	120~200m/d, 4~7/hr
	Sand	D 1.0mm, Uniformity coe. ≤ 1.7
	Backwashing	Water + Air
	Chemical dosage	Chlorine(NaOCl) 3-8mg/L(Residual chlorine con. ≤ 1mg/L) Alkali(NaOH) 40-50mg/L(pH 7.5-8.5) Coagulant(Alum) 1~5mg/L(process 1)

의 촉매반응은 두 단계의 반응식으로 표현될 수 있으며, 이에 망간의 효율적인 제거가 가능하게 된다. 망간모래에 의한 망간제거 기작 모식도는 Fig. 1과 같다.

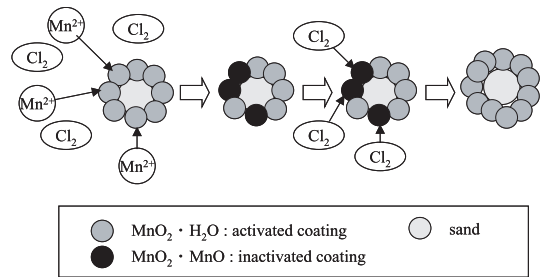
### 2.2. 영향인자

일반적으로 망간은 철보다 산화되기 어려운 금속으로 중성단계에서는 공기에 의한 산화속도가 매우 느리며, 염소산화도 촉매물질이 없는 한 산화속도가 매우 느리다. 따라서 망간모래를 이용한 망간제거에서는 효율적인 망간산화를 위한 pH와 망간모래 표면에서의 지속적인 망간산화를 위한 잔류염소농도의 제어가 중요한 인자이다. 또한 망간모래여과지의 운전에서 고려할 인자는 최대 처리유량 및 응집제 주입시 응집제의 최적 주입농도 및 망간제거를 위한 망간모래의 최소 망간부착량 또한 기본적인 인자라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 망간모래여과공정의 효율적인 운영을 위해 이들 인자에 대해 검토하였다.

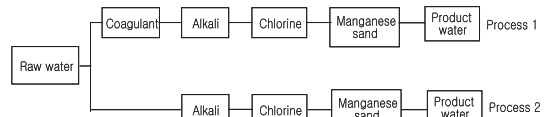
### 3. 실험재료 및 방법

본 연구에서는 낙동강중류 K지역의 강변여과수를 원수로 사용하였으며, Fig. 2와 같이 망간모래여과공정의 칼럼 2기로 구성하였다. 각 공정의 처리용량은 15~26m<sup>3</sup>/일로 여과속도 120~200m/일, SV 4~7(1/시간)로 운전하였으며, 각 공정의 장치 사양과 약품주입량은 Table 2와 같다.

공정의 운전조건은 초기 염소주입농도를 3~8 mg/L로 변화시켜 운전하였으며, 이후 원수의 pH를



**Fig. 1.** Mechanism of manganese removal.



**Fig. 2.** Two processes for manganese removal.

1 정도 상승시키고, 공정 1에 응집제 주입농도를 1~5mg/L로 변화시켜 운전하였다. 또한 망간모래여과지의 여과속도를 120~200m/일로 증가시켰으며, 각 조건에 따른 망간제거율을 조사하였다. 각 공정에 사용된 여재로는 일본원료주식회사제품의 유효경 1.0 mm, 균등계수 1.31인 망간모래를 사용하였다. 연속 실험의 주요분석항목들은 HACH사의 potable 분석계로 측정하였으며, 특히 망간, 철, 잔류염소는 분광광도계(DR 890, HACH사)로 측정하였다. 각 공정의 여재에 대한 망간부착량 측정은 일본수도용 망간사 시험방법(JWWA A103-1988)에 의하여 실험하였다.

### 4. 결과 및 고찰

본 연구의 파일럿플랜트 실험은 2002. 4~2004. 10 월까지 운전하였으며, 이 기간 동안 유입원수의 수질은 pH 평균 6.60(6.29~7.25), 수온 평균 19.4(14.9~24.2)°C, 철 평균 0.05(0~0.50)mg/L, 탁도 평균 0.19(0.03~1.05)NTU, 그리고 망간 평균 1.86(0.70~3.40)mg/L으로서 망간의 농도가 먹는물 수질기준 0.3mg/L를 약 6배 이상 초과하였다. 시기별로 운전 조건을 변화하였으며, 망간제거에 영향을 미치는 제 인자에 대한 각각의 처리효율은 다음과 같다.

#### 4.1. 염소주입의 영향

염소주입량은 원수중에 존재하는 철, 망간 및 유기

**Table 3.** Residual chlorine concentration in process 1 and 2(2002. 4. 22~12. 16)

Process		Injection(mg/L)	Before column(mg/L)	After column(mg/L)	Chloride consumption(mg/L)
Process 1	Average	5.99	3.62	2.08	1.54(42.5 %)
	Range	3.00~9.90	0.41~8.30	0.10~5.52	
Process 2	Average	5.98	3.59	2.19	1.40(39.0 %)
	Range	3.00~9.90	0.89~8.10	0.19~5.72	

**Table 4.** Changes of manganese concentration in process 1 and 2(2002. 4. 22~12. 16)

Process		Raw water(mg/L)	Before column(mg/L)	After column(mg/L)	Manganese elimination(mg/L)
Process 1	Average	2.21	2.12	0.36	1.76(83.0 %)
	Range	0.80~3.40	0.53~3.40	0.00~1.70	
Process 2	Average	2.21	2.12	0.57	1.55(73.1 %)
	Range	0.80~3.40	1.10~3.50	0.02~1.80	

물질(본 원수에 암모니아성 질소는 없음)의 농도를 고려하여 주입해야 한다. 그러나 실제공정에서는 망간모래의 관리를 위하여 유출수중의 잔류염소농도가 0.5~1.0mg/L가 되도록 주입농도를 조절하도록 하고 있다.

〈이론적인 염소주입량〉

- 암모니아성질소 농도(mg/L) 7.6
  - 철농도(mg/L) 0.63
  - 망간농도(mg/L) 1.28
  - 유기물농도(과망간산칼륨 소비량) (mg/L)
  - 여재자체의 염소소비농도 약 0.5~2.0mg/L (여과층 두께나 망간함유량에 따라 변동)
- 이러한 값 총계의 약 1.3배 정도를 주입

본 실험에서 위의 이론적 염소주입량 중에서 철 및 망간만 고려할 경우는 평균 약 3mg/L 이하이고, 여기에 유기물농도 및 여재 자체소비량 등을 고려할 경우는 3mg/L 이상이 될 것으로 추측된다. 그러나 **Table 3**에 나타난 것과 같이 실제 운전에서 잔류염소농도는 공정 1의 경우 칼럼유입수(계산주입 평균농도는 5.99 mg/L) 평균 3.62mg/L에서 칼럼유출수 2.08mg/L로서 약 1.54mg/L(42.5% 소비) 소비되었다. 특히 여기에서 초기 평균 계산주입농도 5.99mg/L일 때 수분후(관로 및 분배조 통과시간) 칼럼유입수는 평균 3.62mg/L으로 평균 2.37mg/L의 염소 소비가 급격하게 일어났으며, 망간모래칼럼에서는 상대적으로 초기

주입 직후 소비된 량보다 적은 양이 소비되었다. 공정 2에서도 공정 1과 유사한 경향을 나타내었으나 염소 소비율은 39.0%로 공정 1의 42.5%보다 낮았다.

또한 **Table 4**에 나타난 것과 같이 망간모래칼럼에서 망간의 제거효율과 염소의 소비량을 비교하여 보면 공정 1의 경우 망간모래에서 유리잔류염소가 평균 1.54 mg/L(42.5 %제거) 소비(칼럼 전-칼럼 후(생산수))되었을 때 망간은 평균 1.76mg/L(83.0%) 제거되어 유리잔류염소/Mn 반응은  $1.54/1.76 = 0.88$ 의 비율로 이론값 1.28보다 낮은 값을 나타내었다. 또한 공정 2에서는 유리잔류염소/Mn 반응이  $1.40/1.55 = 0.90$ 로 공정 1보다 높은 값으로, 망간모래자체에서의 소비량(실제 망간을 제거하는 데 관여하지 않는 소비량)을 고려하면 낮은 염소소비량을 나타내는 것으로 판단된다.

이와 같이 망간모래에 의한 염소소비량과 망간제거효율은 이론치와 다소 다른 경향을 보였고, 공정 1과 공정 2의 망간의 제거효율 차이는 동일한 실험조건에서 분석된 결과임을 감안하면, 두 공정의 망간과 염소반응량의 차이, 염소의 소비율의 차이 등과 제거효율의 경향이 일치하였다.

한편, 염소주입농도에 따른 망간제거효율을 보면 염소주입농도가 3~4mg/L일 때 생산수 망간농도는 평균 0.57(0.05~1.70)mg/L, 생산수 잔류염소농도는 평균 1.56(0.10~3.63)mg/L이었다. 또한 염소주입농도를 1~2배 정도 높여 약 4~8mg/L로 주입하였으며, 이 때 생산수 망간농도는 평균 0.14(0.01~0.57)

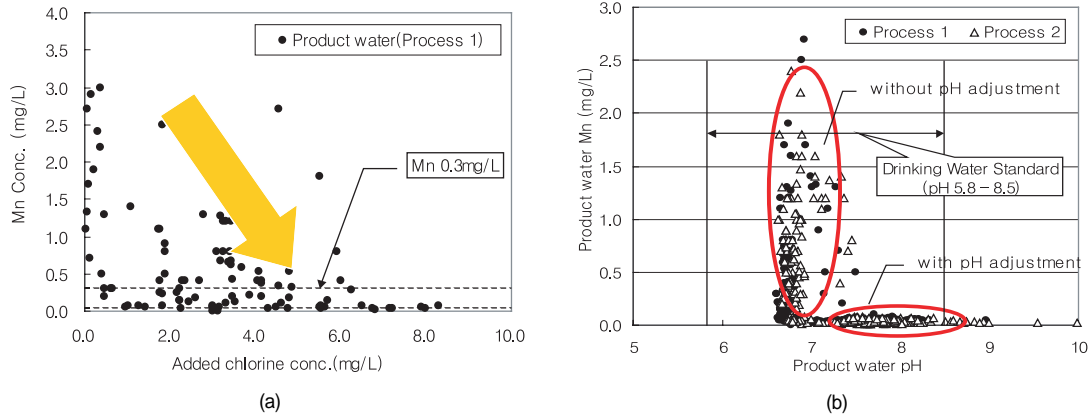


Fig. 3. The effects of chlorine dosage(a) and pH(b) on manganese removal.

mg/L, 생산수 잔류염소농도는 평균 2.60(0.30~5.52) mg/L이었다. 결과적으로 Fig. 3(a)와 같이 염소주입 농도가 높을수록 망간제거에는 효과가 있었으나, 생산수의 잔류염소농도를 0.5~1.0mg/L로 제어하는 것에는 어려움이 있었다.

#### 4.2. pH의 영향

파일롯플랜트 실험에 사용된 강변여과수 원수에 대해 망간접촉여과공정에서 염소처리만으로는 망간이 충분히 제거되지 않아 2002. 12~2004. 10월까지 알카리제를 주입하여 원수의 pH를 1정도 높이고, 염소의 이론적주입농도인 3~4mg/L를 주입하여 실험하였다. 연속실험결과 Table 5에서 보듯이 염소주입 농도 3~4mg/L, 여과지 유입전 평균 pH 7.5, SV 4~7(1/시간)의 조건에서 원수의 망간 농도가 평균 1.74(0.70~2.70)mg/L일 때 생산수 망간 농도는 공정 1이 평균 0.03(0.01~0.10)mg/L, 공정 2가 평균 0.04(0.01~0.08)mg/L로서 두 공정 모두 평균 제거율이 약 98%였다. 또한 이 때 생산수 잔류염소농도는 각각 평균 0.87(0~2.64)mg/L, 평균 0.80(0~2.56)mg/L으로 망간모래여과지 관리를 위한 잔류염소농도 0.5~1.0mg/L를 만족하였다. 결국 pH 조절 전 염소주입농도에 의한 망간제거율이 약 70%인 것과 비교하였을 때, Fig. 3(b)와 같이 원수의 pH를 조절함으로써 약 98%의 망간제거율을 얻을 수 있었으며, 본 연구의 망간 목표처리수질인 0.05mg/L를 만족할 수 있었다. 따라서 수중의 용존망간을 제거하기 위한 망간접촉여과공정에서 염소주입뿐만 아니라 원수의 pH

조절이 망간제거를 위한 여러 인자 중 가장 중요 인자인 것으로 사료된다.

#### 4.3. 공간속도(SV)의 영향

운전기간 중 망간접촉여과지의 공간속도(SV)를 4~7(1/시간) 범위로 변화시켜 망간제거에 미치는 영향을 조사하였다. pH 조절 이후의 연속실험결과 공정 1의 SV 4의 조건에서 원수의 망간농도가 평균 1.75(0.80~2.70)mg/L일 때, 생산수 망간농도는 평균 0.03(0.01~0.06)mg/L, 평균 제거율 98.3%이었으며, SV 5의 조건에서는 원수의 망간농도가 평균 1.71(0.70~2.65)mg/L일 때, 생산수 망간농도는 평균 0.03(0.01~0.10)mg/L, 평균제거율 98.2%이었다. 또한 이후 여과수량을 최대로 하여 SV 7의 조건에서 실험하였으며, 그 결과 원수의 망간농도가 평균 1.95(1.20~2.70)mg/L일 때, 생산수 망간농도는 평균 0.04(0.02~0.07)mg/L, 평균제거율 98.0%이었

Table 5. Residual chlorine and manganese concentration before and after pH control according to chlorine concentration

Item	Before pH control			After pH control
	Process 1, 2	3~4	4~8	3~4
Chloride (mg/L)	Process 1	1.56	2.60	0.86
	Process 2	1.78	2.59	0.78
Effluent manganese (mg/L)	Process 1	0.57	0.14	0.03
	Process 2	0.88	0.25	0.04

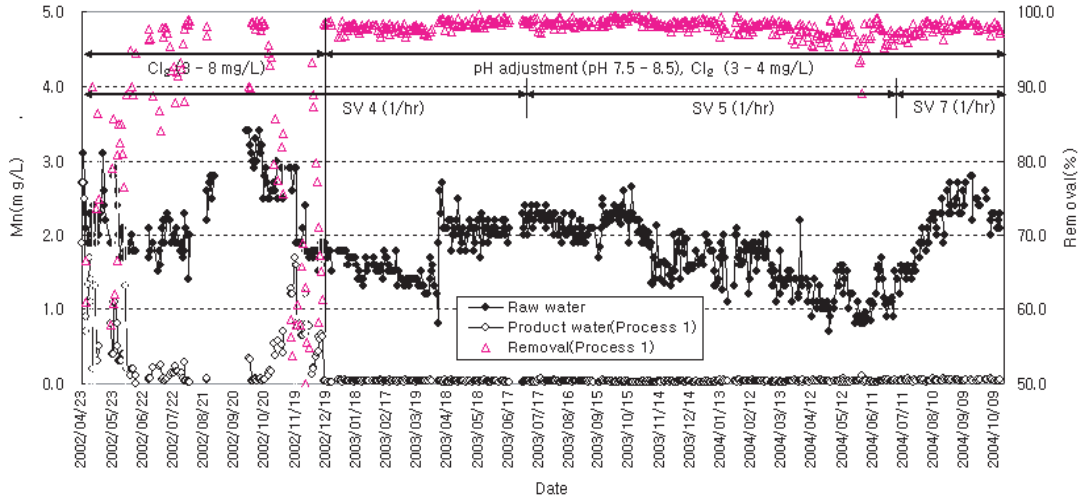


Fig. 4. Variations of manganese concentration as functions of chlorine dose, pH, and SV.

다. 결과적으로 SV 변화에 따른 망간제거율의 변화는 공정 1과 공정 2가 유사하였으며, SV 증가시 생산수 망간농도가 다소 높아지나 본 연구의 처리목수 질인 0.05mg/L까지 제거가 가능하였다, 특히 Fig. 4에서 알 수 있듯이 망간점축여과공정에서 SV 증가가 망간제거율에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이로써 망간점축여과공정에서 최대 SV 7(여과속도 200m/일)까지 처리가 가능하며, 망간제거에는 SV의 영향보다 pH 조절에 의한 영향이 큰 것을 알 수 있었다.

#### 4. 4. 응집제 주입의 영향

본 파일롯플랜트 유입원수의 평균 탁도는 0.19 NTU로서 먹는물 수질기준인 0.5NTU보다 낮은 수준이다. 그러나 향후 탁도의 수질기준이 0.1NTU로

강화 될 경우를 대비하여 2003. 6. 30부터 망간점축여과공정 중 공정 1에 응집제를 주입하였으며, 주입농도는 Alum 1, 3 및 5mg/L로 주입하였으며, Table 6에 총입자수, 수위 및 탁도의 결과를 나타내었다. 응집제 5mg/L 주입시 수두, 입자수, 탁도 모두 증가하였으며, 손실수두의 증가로 인해 잦은 역세 및 총여과지속시간의 감소 등 문제점이 야기되었다. 응집제 1mg/L 주입시에는 응집제 3mg/L 주입시보다 여과시간이 지속될수록 수두손실은 작게 나타났다. Particle counter를 이용하여 입자크기별 입자수를 측정된 결과 공정 1, 2 모두 3~5µm 사이의 입자가 가장 많이 계수되었으나, Table 6과 같이 응집제 주입을 3mg/L일 때 2~400µm 사이의 총입자수가 응집제 주입공정이 평균 23개/mL인 반면, 미주입공정이 평균 33개/mL로서 응집제 주입공정이 더 작게 계수되

Table 6. Changes of particle number, water level and turbidity with respect to alum concentrations

Process	Alum concentration	Particle number (counts/mL), 2-400µm			Maximum water level of column(cm)			Turbidity(NTU)		
		max	min	ave	max	min	ave	max	min	ave
Process 1	5 mg/L	77	20	42	302	268	289	0.44	0.19	0.30
	3 mg/L	34	16	23	289	278	285	0.19	0.14	0.17
	1 mg/L	42	18	28	276	254	258	0.23	0.12	0.17
Process 2	-	66	22	39	281	257	271	0.30	0.19	0.24
	-	40	29	33	290	268	276	0.25	0.14	0.21
	-	53	19	30	265	251	257	0.26	0.16	0.21

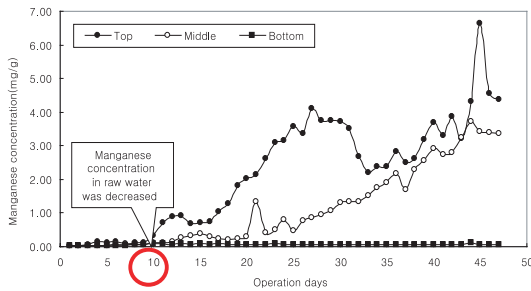


Fig. 5. Changes of attached manganese concentration on typical sand process.

었다. 또한 망간점층여과지에서 최적응집주입 조건을 결정하기 위해 응집제 주입농도별 입자분포를 측정하였으며, 그 결과 실험실 자테스트(Jar-Test) 결과에서 얻어진 Alum 주입을 3mg/L보다 높은 5mg/L 주입시 입자크기별 입자수가 응집제 미주입공정인 공정 2보다 증가하였다. 반면 Alum 주입을 1mg/L로 낮게 주입한 경우 응집제 주입을 3mg/L와 비슷한 수준으로 계수되었다. 따라서 본 실험에서는 저탁도의 원수 수질에 대해 응집제 주입시 응집제를 Alum 1mg/L의 저농도로 주입하는 것이 여과 효율적인 면은 물론 경제적인 면을 고려하여 유리할 것으로 사료된다.

#### 4.5. 망간모래의 망간부착량

본 공정의 망간부착량 측정결과 이미 이산화망간이 코팅된 망간모래의 경우 초기부착량이 0.7mg/g이였으며, 운전초기(2002. 7. 10) 여층별 망간부착량 측정결과 공정 1은 상층 6.1mg/g, 중층 7.9mg/g, 하층 2.2mg/g, 공정 2는 상층 5.4mg/g, 중층 4.5mg/g, 하층 2.3mg/g이었다. 또한 2003년 9월 22일 여층별 망간부착량 측정결과 공정 1은 상층 11.9mg/g, 중층 16.1mg/g, 하층 12.3mg/g, 공정 2는 상층 13.7mg/g, 중층 16.7mg/g, 하층 14.6mg/g이었다. 이러한 결과는 운전초기에는 칼럼의 시료채취지점이 상층과 중층의 큰 차이가 없는 점을 감안할 때 상층부분의 망간부착량이 많은 것으로 보아 상층부분부터 망간이 제거됨을 알 수 있었으나, 운전일수가 경과함에 따라 여과지 하단부분까지 여재의 망간부착량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 망간모래에 부착된 망간이 역세척에 의해 완전 박리되지 않고 일부 시간이 경과함에 따라 여재 표면에 부착되어 여재가 비대해지는

것으로 사료된다. 따라서 여과가 지속됨에 따라 망간모래가 점차적으로 비대해져 여과효율을 저하할 수 있으므로, 주기적으로 망간모래의 망간부착량을 조사하여 여재의 재생 및 교체시기를 결정하여야 할 것으로 판단된다.

한편, 효과적인 망간제거를 위한 망간모래의 최소 망간부착량을 알아보기 위해 공정 1, 2와 같은 조건의 칼럼규격 및 초기 운전조건에서 일반모래를 충전하여 일반모래의 망간부착량의 변화와 망간제거율과의 관계를 평가하였다. 망간부착량 측정을 위해 여재의 상, 중, 하층을 채취하여 실험을 실시하였다. 모래의 망간부착량 측정결과 Fig. 5와 같이 운전일수 10일이 경과한 여재의 경우 상층부분의 망간부착량이 0.32 mg/g으로 나타났으며, 그 이후 상층부분의 망간부착량이 최대 6.63mg/g까지 증가하였다. 운전 10일째부터 유출수 망간농도가 0.03mg/L 이하로 떨어져 망간모래의 망간부착량이 0.3mg/L 이상에서 비로소 망간의 제거가 원활히 일어남을 알 수 있었다.

#### 5. 결론

본 연구에서 고농도의 망간을 함유하는 원수를 대상으로 망간모래여과공정 적용시의 영향인자들에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 망간모래여과공정의 유출수 잔류염소농도를 0.5~1.0mg/L로 유지하고, 망간을 제거하기 위해서는 염소농도와 pH의 제어가 동시에 이루어져야 효과적으로 망간을 제거할 수 있었다.
2. 염소농도와 pH 조절 후의 망간모래여과조의 공간속도에 따른 망간제거에 미치는 영향을 조사한 결과 최대 SV 7(여과속도 200m/일)까지 생산수 망간농도를 0.05mg/L의 제거가 가능하였다.
3. 응집제 주입으로 손실수두의 발생이 있었으나 응집제 1과 3mg/L 주입시에는 2~200 $\mu$ m 사이의 총입자수 및 탁도제거면에서 효과가 있는 것으로 나타났다.
4. 망간모래가 망간제거를 위한 최소 망간부착량은 0.3mg/g 이상으로 나타났으며, 처리시간 경과에 따라 망간모래에의 망간부착량이 증가하는 것으로 나타나 주기적으로 여재를 평가하여 여재의 비대에 따른 여

재의 재생 및 교체주기를 결정하여야 할 것으로 판단 되었다.

### 참고문헌

1. 건설부 (1981) 상수도 유지관리 지침, 서울, pp. 143-153.
2. 김충환 (1999) 먹는물수질기준, 환경자료집, 국립환경연구원.
3. 정성욱, 이진필, 김학성 (2001) 정수공정에서 산화 및 여과에 의한 망간 제거, *대한환경공학회지*, 23(4), pp. 661-669.
4. 淺田日出夫 (1958) 汚染原水のマンガン處理に關する研究, *水道水質雜誌*, 第293號, pp.26-29.
5. 趙奉行, 藤田賢二 (1993) 曝氣ろ過池によるマンガンの除去, *水道協會雜誌*, 第703號, pp.31-39.
6. 和田洋六 (1996) 造水の技術, 地人書館, pp. 145-157.
7. Mouchet, P., From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France, *Jour. AWWA*, 84(4), pp. 158-167 (1992).
8. Knocke, W.R., Hamon, J.R. and Thompson, C.P. (1988) Soluble Manganese Removal on Oxide-Coated Filter Media, *Jour. AWWA*, 80(12), pp. 65-70.