

수돗물에서 흑수발생 저감방안

김진근, 정상기 _ 한국수자원공사 수자원교육원, 한국수자원공사 수도관리처

서론

1. 망간관리의 중요성

수돗물을 바로 마시거나 끓여서 마시는 음용률은 2003년 45.8%에서 2005년 44.0%로 감소한 반면, 정수기 사용률은 2003년 33.6%에서 2005년 38.9%로 증가했다. 이러한 추세는 다양한 원인에서 기인하나 주요한 이유 중의 하나는 아직도 많은 국민들이 수돗물 수질을 불신하기 때문인 것으로 생각된다.

정부에서 2005년 전국의 18세 이상 65세 이하 일반 성인 남녀 3,200명을 대상으로 실시한 '수돗물 불신 해소 관련 전국민 여론조사' 결과에 의하면 국민의 57.8%는 수돗물이 식수로 부적합하다고 생각하고 있으며, 부적합하다고 답한 응답자의 43.9%는 막연한 불안감을, 26.3%는 냄새를, 12.2%는 녹물을 부적합 사유라고 대답했다(환경부, 2005). 즉, 막연한 불안감과 함께 심미적인 영향물질인 냄새, 탁도나 녹물 등이 수돗물 불신의 주요 원인으로 조사되었다.

수돗물 수질을 개선하기 위한 정부와 수도사업자의 지속적인 노력에도 불구하고, 1990년대 초부터 급증한 수돗물 수질에 대한 불신은 아직도 감소되지 않고 있다. 수질기준의 경우 1990년 29개 항목에서 2003년 55개 항목으로 지속적으로 증가되어 현재에 이르고 있다. 또한 수돗물의 수질을 실질적으로 향상시키기 위하여 먹는물 수질기준도 강화되었는데 대표적인 것은 탁도이다.

수돗물에서의 탁도 기준은 1999년까지는 2도 이하였으나, 1NTU 이하(1999. 7. 1), 0.5NTU 이하(2001. 7. 1), 0.3NTU 이하(2004. 7. 1, 100,000m³/d 이상 정수장에 한정됨)로 지속적으로 강화되었다. 특광역시와 광역상수도 정수장에서 생산되는 수돗물의 경우 일평균 탁도가 대부분 0.1NTU 이하로 유지되고 있다. 따라서 일정규모 이상의 정수장에서는 점토계통의 탁도 유발

물질로 인한 탁도 발생은 많지 않을 것으로 생각된다.

그러나 시민이 체감하는 탁도는 정수처리 과정 중 충분히 제거되지 않은 망간에 의한 흑수와 관 부식 등에 의한 적수(녹물)가 큰 비중을 차지할 것으로 생각된다. 즉 관 내에 침전 또는 부착된 부식 생성물과 흑색 혹은 흑갈색의 망간산화물 미립자가 수류 변동 등의 원인으로 수도꼭지를 통해 공급될 경우 많은 시민들은 탁도가 상승하거나 녹물이 발생하는 것으로 느낄 수 있기 때문이다.

녹물은 정수장에서 미처리된 용존성 철과 급배수관망의 부식 등에 의해서 발생할 수 있으나, 현재의 정수처리 기술을 고려할 때 일정 규모 이상의 정수장에서는 정수처리 과정 중 미처리된 철성분이 녹물로 검출되는 것보다는 급배수관망의 부식에 의해 발생하는 것이 대부분일 것으로 생각된다.

한편, 흑수의 발생은 급배수관망의 부식과는 무관하며 상수원에 존재하는 망간의 처리가 불충분할 경우에 일어나므로 정수장에서 망간 제거율을 높인다면 흑수 발생을 근원적으로 방지할 수 있다. 따라서 정수장에서는 망간 제거를 위해 보다 많은 노력이 필요하다(丹保 등, 1999).

본 고찰의 목적은 망간 관련 국내외 수질기준 현황, 망간 제거의 이론적 배경, 국내 주요 상수원 및 정수장에서 망간 검출농도 등을 분석함으로써 정수처리 공정에서 망간처리 효율을 향상시켜 흑수가 발생하지 않는 고품질의 수돗물 생산, 공급에 기여하는 것이다.

2. 망간의 국내외 수질기준

망간은 지각의 약 0.1%를 구성하는 금속으로 필수미량원소이며, 영양학적으로 하루에 필요한 양은 체중 1kg당 30~50 μ g으로 추정된다(Williams 등, 1986; WHO, 1993). 망간은 환경조건에 따라 0, 2, 3, 4, 6, 7의 다양한 산화수를 가질 수 있으며, 일반적

으로 수중에 존재하는 대부분의 망간은 Mn^{2+} 의 형태이다. 망간의 존재 형태 중 Mn^{2+} 와 Mn^{4+} 의 망간이 환경학적으로 중요하며 망간의 존재 형태에 따른 색도현상은 <표 1>과 같다 (Sommerfeld, 1999).

정수장에서 미처리된 망간이 급배수계통에 유입될 경우 수돗물에 존재하는 유리잔류염소와 긴 체류시간 동안 지속적으로 반응하여 망간산화물로 전환될 수 있으며, 이 경우 망간이온으로 존재할 때와 비교하여 약 300~400배의 색도가 증가한다(日本水道協會, 2000).

한편, <표 2>는 망간의 국내외 수질기준을 나타내고 있으며, 망간의 수질기준은 크게 건강상의 관점에서 설정된 기준과 심미적 측면에서 설정된 기준이 있다. 세계보건기구(WHO)는 건강학적 측면에서의 망간 기준을 0.5mg/L 이하로 규정하고 있으나 심미적 측면에서는 0.1mg/L 이하로 규정하고 있다. 일본은 망간을 성상에 관련된 항목으로 분류하며 수질기준은 0.05mg/L 이하이다. 일본에는 법적 수질기준과는 별도로 양질의 수돗물 생산을 목적으로 망간을 포함한 13개 항목으로 구성된 쾌적수질항목이 있으며, 망간의 쾌적수질 목표치는 0.01mg/L 이하이다(WHO, 1993; 厚生科學審議會 등, 2005). 미국의 망간수질기준도 일본과 동일한 0.05mg/L 이하이다.

현재 국내 먹는물 수질기준의 총 항목수는 55개이며, 이를 미생물에 관한 기준, 건강상 유해영향 무기물질에 관한 기준, 건강상 유해영향 유기물질에 관한 기준, 심미적 영향물질에 관한 기준, 소독제 및 소독부산물에 관한 기준으로 분류하고 있다. 이 중 망간은 심미적 영향물질로 분류되며, 수질기준은 0.3mg/L 이하이

다. 그러나 이러한 소분류는 상대적으로 최근에 이루어졌으며 2000년 이전에는 소그룹으로 분류하지 않고 대부분 건강상 유해물질의 차원에서 기준을 설정했다.

현재 망간에 관한 국내 수질기준은 예전에 건강상 기준의 관점에서 0.3mg/L 이하로 설정된 것으로 추정되며, WHO가 망간에 대해 건강에 관한 기준보다 5배 강화된 값을 심미적 기준으로 설정한 것처럼 국내의 수질기준도 심미적 영향물질로 분류된 망간에 대해 현재의 0.3mg/L 이하보다 훨씬 강화하여 선진국 수준인 0.05mg/L 이하나 이보다 더 낮은 기준으로 변경하는 것을 신중하게 검토해 보아야 할 것이다.

망간 제거 메커니즘

원수에 존재하는 용존성 망간은 일반적인 정수처리공정에서는 거의 제거되지 않으므로 망간에 의한 장해가 발생할 우려가 있는 경우는 망간 제거를 위한 별도의 처리공정이나 추가 처리가 필요하다.

망간은 일반적인 정수처리 조건에서는 전량 산화시키기가 어려워 산화 후 침전만으로는 완전 제거가 어렵다. 따라서 급속여과 시스템을 사용하는 국내 정수장에서는 효율적인 망간 제거를 위해 대부분 망간사여과공정을 운영하며, 전처리 유무에 따라 침전지 전단에서 산화처리를 하는 경우와 침전지 후단에서 산화처리를 하는 경우로 나눌 수 있다.

첫 번째 경우는 침전지 전단계에서 염소 등의 산화제를 주입하여 불용성 망간이온을 이산화망간으로 산화시킨 후 일부를 침전시키고 여기서 제거되지 않은 망간을 망간사여과를 통해 제거하는 경우이며, 두 번째는 망간사만을 이용한 접촉여과를 통해 망간을 제거하는 것이다. 두 번째 방법의 경우 여과지 전단에서 염소를 주입하게 되며, 이는 여과지 유입수 내의 망간이온 산화보다는 망간사의 재생을 위하여 주입하는 경우가 대부분이다.

망간의 산화는 용존 상태로 존재하는 Mn^{+2} 이온을 산화제를 사용하여 Mn^{+4} 형태의 불용성 이산화망간(MnO_2)으로 만드는 공정으로 산소, 염소, 과망간산칼륨, 이산화염소, 오존 등의 산화제에 의하여 이루어질 수 있다. 외국에서는 주로 염소와 과망간산칼륨을 망간의 산화를 위하여 사용하나 국내에서는 과망간산칼륨이 수처리제로 지정되어 있지 않아 대부분 염소를 사용한다. 국내 대부분의 정수장에서는 전염소 또는 중염소 투입시설이 갖추어져 있어 별도의 추가 시설 없이 염소를 이용한 망간 산화가 가능하다. 한편, 망간 산화에 사용되는 주요 산화제의 반응식 및

표 1 망간의 존재 형태에 따른 발색 형태

망간의 존재 형태	발색 형태
Mn^0	망간금속
Mn^{+2}	연한핑크색(pale pink)
Mn^{+3}	붉은보라색(red-violet)
Mn^{+4}	흑갈색(brown-black)
Mn^{+6}	흑녹색(dark-green)
Mn^{+7}	진자색(intense purple)

표 2 망간의 국내외 수질 기준

(단위 : mg/L)

한국	미국	일본		WHO	
0.3 이하	0.05 이하 ¹⁾	0.05 이하 ²⁾	0.01 이하 ³⁾	0.5 이하 ⁴⁾	0.1 이하 ⁵⁾

주 1) 제2종 음용수 수질 기준(Secondary Drinking Water Standards)임

2) 성상에 관한 기준임

3) 쾌적수질항목 목표치임

4) 건강학적 측면에서의 수질 기준임

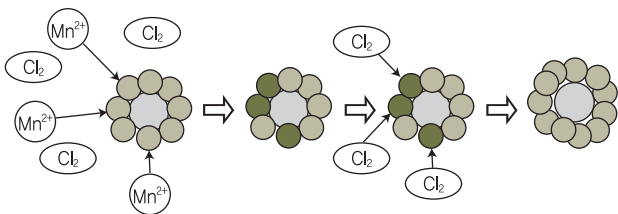
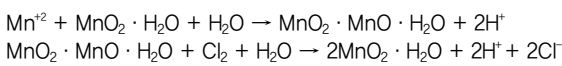
5) 심미적인 측면에서의 수질 기준임

요구량은 <표 3>과 같다(AWWA, 1998; AWWA, 1999). 망간사를 이용한 여과는 원수나 침전수를 망간이온 흡착능력이 있는 망간사의 여층을 통해 급속여과하여 원수 중의 망간이온을 망간사의 표면에 흡착하여 제거하는 방법이다. 일반적으로 사용되는 망간사에는 Manganese greensand, Anthrasand, Pyrolusite, Brim™ 등이 있다. Manganese greensand는 Glauconite(해록석)에 인위적으로 이산화망간을 피복시켜 만드는 것으로, 피복 정도는 망간사 1g당 이산화망간(MnO₂) 4mg(총중량의 0.4%) 이상이며 유효경은 0.3~0.35mm, 균등계수는 1.6이하이고 비중은 2.4정도이다(Sommerfeld, 1999). Anthrasand는 현장에서 만들어진 망간사로서 안트라사이트나 모래를 일정 시간 동안 Mn⁺² 이온에 담가둔 후 염소나 이산화염소를 고농도로 주입하여 이산화망간의 피막을 생성시키거나 전처리공정에서 산화된 이산화망간을 여재에 피복시켜 생성시킨다. 이산화망간의 피막이 생기는 기간은 현장조건에 따라 수주에서 수년이 걸릴 수 있다. 국내 정수장에서는 대부분 정수처리 과정 중에 만들어진 망간사(Anthrasand)를 이용하여 접촉여과를 실시하고 있다. 망간사에 의한 망간이온의 제거는 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있다(水道技術研究セクター, 2000). 망간사의 표면에 망간이온이 닿으면 접촉산화작용에 의하여 망간이온은 망간사의 표면에 산화물이 되어 고정됨으로써 수중에서 제거되고, 생성된 MnO₂ ·

MnO · H₂O는 불활성이며 접촉산화력을 상실하게 된다. 따라서 망간사가 지속적으로 망간이온의 흡착능을 갖기 위해서는 주기적으로 망간사를 재생시켜야 한다. 접촉산화력을 상실한 망간사에 염소 등의 산화제를 주입하면, 불활성화된 망간사가 다시 활성화되어 연속적으로 용존성 망간을 제거할 수 있다. 국내 정수장에서 망간사 재생을 위하여 주로 사용하는 방법은 망간사 여과지 전단에 전염소나 중간염소의 형태로 지속적으로 염소를 주입하는 것이다. 망간사 재생을 위해서는 보통 0.5mg/L 이상의 여과지 유출수 잔류염소를 유지하여야 하며, 요구되는 잔류염소 농도는 원수의 pH 및 수온에 따라 달라진다. 적정 잔류염소가 유지되지 않을 경우 망간사의 재생이 불충분하여 충분한 망간이온의 제거가 이루어지지 않는다(김 등, 2005). 여과를 계속하면 망간사는 점점 망간산화물로 피복되어 입경이 커진다. 여재의 직경이 과도하게 커지면 실질적인 접촉시간이 짧아져 처리 성능이 나빠지는 경우가 있다. 망간사의 교환은 원칙적으로 필요하지 않으나 망간사의 피복 증대가 여층의 저부까지 이르게 되면 세척 후 여과를 재개할 때에 망간산화물의 미립자가 여과수 중에 유출될 염려가 있으므로 여층 저부의 망간사를 새로운 여재로 교환할 필요가 있다.

망간 검출 현황

그림 1 망간접촉여과의 모식도(水道技術研究セクター, 2000)



1. 원수 및 정수장에서의 망간 농도 현황

<표 4>는 광역상수도 31개 정수장 원수의 2004년 망간 농도 분포이다. 망간은 집수구역 내의 지질학적 특성 등에 따라 매우 다른 농도 분포를 나타낸다. 조사대상 기간 중 최대농도는 금강·섬진강 수계의 부안호에서 취수하는 L정수장에서 2004년 2월에 0.53mg/L의 농도로 발생하였다. <그림 2>는 2004년도에 측정된 정수장별 원수의 망간 농도 분포이다. 조사 대상 31개 정수장 중 11개 정수장은 원수에서 정량한계 미만으로 검출되었으며, 21개 정수장에서는 일정 농도 이상으로 검출되었다. 원수의 망간 농도가 먹는물 수질기준 이상으로 검출된 곳은 호소수를 상수원으로 하는 J와 L정수장 2개소이다.

표 3 망간의 산화반응식 및 산화제 요구량

산화제	반응식	산화제 요구량(mg/mg Mn ⁺²)
산소	2MnSO ₄ + 2Ca(HCO ₃) ₂ + O ₂ → 2MnO ₂ + 2CaSO ₄ + 2H ₂ O + 4CO ₂	0.29
염소	Mn(HCO ₃) ₂ + Ca(HCO ₃) ₂ + Cl ₂ → MnO ₂ + CaCl ₂ + 2H ₂ O + 4CO ₂	1.29
이산화염소	Mn(HCO ₃) ₂ + 2NaHCO ₃ + 2ClO ₂ → MnO ₂ + 2NaClO ₂ + 2H ₂ O + 2CO ₂	2.46
과망간산칼륨	3Mn(HCO ₃) ₂ + 2KMnO ₄ → 5MnO ₂ + 2KHCO ₃ + 2H ₂ O + 4CO ₂	1.92

최대농도가 0.2mg/L 이상인 5개 정수장 중 N정수장만이 금강 중류에서 취수하며, 다른 4개소는 모두 호소에서 취수하는 것으로 조사되었다. <그림 2>에 표시된 21개 정수장 중 N, V, W정수장을 제외한 18개 정수장은 호소수를 취수원으로 하고 있다.

원수의 망간 농도 분포현황을 조사한 결과 하천수보다는 호소수를 상수원으로 하는 경우 망간 농도가 상대적으로 높으며, 이는 호소수의 수온 변화에 의한 전도현상 발생 시 호소 저층에서 용출된 망간이온이 호소 상층부로 이동하면서 발생하는 현상으로 생각된다.

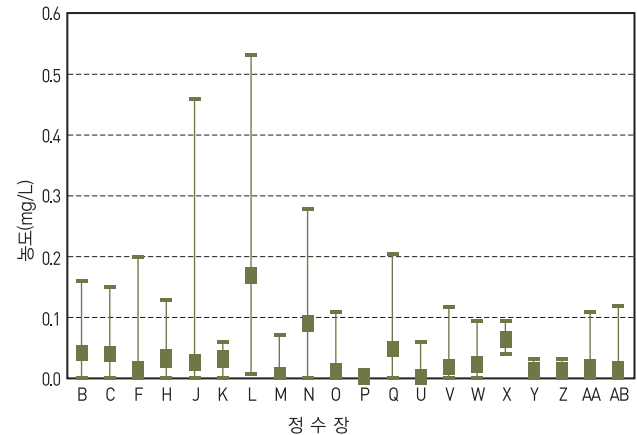
표 4 조사대상 31개 정수장 원수의 망간농도 현황 (조사기간 : 2004. 1~2004. 12)

수계	정수장명	수원	원수 중 망간농도(mg/L)		
			최대	최소	평균
한강	A	호소	0.000	0.000	0.000
	B	하천	0.160	0.000	0.041
	C	호소	0.150	0.000	0.039
	D	호소	0.000	0.000	0.000
	E	하천	0.000	0.000	0.000
	F	호소	0.200	0.000	0.015
	G	호소	0.000	0.000	0.000
	H	호소	0.130	0.020	0.036
	I	호소	0.000	0.000	0.000
	J	호소	0.460	0.000	0.028
금강· 섬진강	K	호소	0.060	0.000	0.033
	L	호소	0.530	0.007	0.169
	M	호소	0.071	0.000	0.007
	N	하천	0.280	0.000	0.092
	O	호소	0.110	0.000	0.011
	P	호소	0.009	0.000	0.004
	Q	호소	0.204	0.000	0.051
	R	호소	0.000	0.000	0.000
	S	호소	0.000	0.000	0.000
	T	하천	0.000	0.000	0.000
낙동강	U	호소	0.060	0.000	0.005
	V	하천	0.118	0.000	0.019
	W	하천	0.094	0.000	0.022
	X	호소	0.068	0.000	0.020
	Y	호소	0.031	0.000	0.013
	Z	호소	0.031	0.000	0.013
	AA	호소	0.110	0.000	0.018
	AB	호소	0.120	0.000	0.015
	AC	호소	0.000	0.000	0.000
	AD	호소	0.000	0.000	0.000
	AE	호소	0.000	0.000	0.000

<그림 3>은 부안호에서 취수하는 L정수장 원수를 대상으로 주 1회 주기로 실시한 5년간(2000. 1 ~ 2004. 12)의 수질 변화를 나타낸다. 원수의 망간 농도는 동절기(11~1월)에 매우 높고 하절기(6~8월)에는 낮아지는 일정한 경향성을 나타내었다. 이는 호소수를 취수원으로 하는 다른 정수장의 경우와 유사한 경향을 나타냈다(김 등, 2005).

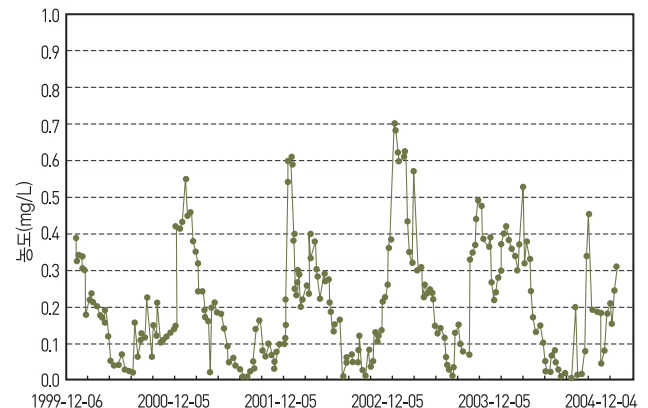
망간 농도는 호소의 수심별로 산화와 환원조건에 따라 존재 형태 및 농도가 달라진다. 일반적으로 망간은 자연상태에서 Mn^{+2} 의 형태로 가장 많이 존재하며 산화될 경우 Mn^{+4} 의 형태를 띤다. 호소가 성층화되었을 경우에는 자연적인 침강현상 등으로 호소 저층에서 높은 농도를 나타내나 전도현상 발생 시는 전층에서 일정한 농도를 나타낸다. 호소 중에 존재하는 금속성분 중 철의 경우는 전도현상이 발생하더라도 공기와 접촉 시 쉽게 산화되기 때문에 산화 후 다시 침전이 일어나 일반적으로 호소 저층에서 고농도이고 표층에서 저농도이나, 망간은 공기에 의해 산화되기가

그림 2 정수장별 원수의 망간 농도 분포(최대, 평균, 최소) (조사기간 : 2004. 1 ~ 2004. 12)



주) 원수에서 정량한계 미만으로 검출된 정수장은 표시되지 않았음.

그림 3 L정수장 원수의 망간 농도 분포(부안호에서 취수)



어려워 전도현상이 일어나면 거의 전층에서 일정한 망간 농도 분포를 갖는다.

〈그림 4〉는 2004년 12월부터 2005년 9월까지 부안호를 대상으로 수심별로 측정된 망간의 농도 분포이다. 2005년 7월 자료를 보면 수심별로 명확한 차이를 느낄 수 있다. 즉 수심 20m일 경우에는 망간의 농도가 약 1.02mg/L이나, 표층에서는 0.06mg/L로 심층의 경우가 표층의 농도보다 약 16배 정도 높은 것으로 조사되었다. 한편 전도현상이 발생한 것으로 추정되는 2005년 1월의 자료를 보면 전층에 걸쳐서 거의 일정한 값을 나타내고 있다.

따라서 성층화된 호소수의 망간 농도는 수심의 깊이에 비례하여 증가하고 전도현상이 발생할 경우에는 전층에서 거의 일정한 농도를 갖는 것으로 유추할 수 있다. 겨울철에는 수심에 관계없이 균일한 망간 농도를 보이므로 수심별로 취수구를 변경하여도 망간 농도 변화가 크지 않다. 그러나 다른 계절에는 수심별로 성층 현상이 나타나므로 조류나 탁도에 의한 영향을 최소화하기 위하여 표층수보다는 심층수를 취수할 경우 고농도의 망간을 함유한 원수가 유입될 수 있으므로 정수처리과정에서 주의가 요구된다.

〈그림 5〉는 금강 중류의 표층수를 취수하는 N정수장 원수의 망간 농도 변화를 나타낸다. 이 경우 원수의 망간 농도는 전반적으로 2~7월에 높은 값을 나타내었으나, 하천수를 취수하는 경우에 원수의 망간 농도는 수량 및 수질 변화 등 많은 요소에 영향을 받으므로 계절적 경향성은 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다.

한편 〈그림 6〉은 31개 조사대상 정수장의 정수를 대상으로 망간 농도의 분포 현황을 조사한 결과이다. 조사대상 31개 모든 정수장에서 국내 수질기준인 0.3mg/L 이하로 생산하였으나, 외국의 강화된 수질기준을 적용할 경우 일부 정수장에서 기준을 초과한 것으로 조사되었다. 연평균 농도를 기준으로 할 경우 3개소를 제외한 28개 정수장에서 〈표 2〉에 제시된 기준 중 가장 강한 기준

인 일본의 심미적 수질기준 0.01mg/L 이하로 처리한 것으로 조사되었다.

그러나 연최대농도를 기준으로 할 경우 16개소에서 기준을 초과하였으며, 가장 완화된 기준인 WHO의 0.1mg/L 이하를 기준으로 할 경우에도 2개 정수장에서는 기준을 초과한 것으로 나타나 정수처리 공정 중 망간 농도를 저감시키기 위한 지속적인 노력이 요구된다. 현실적으로 모든 조사대상 정수장에서 국내의 법적 수질기준 이하로 처리하였으나, 일부 공급지역의 관로에서 흡수가 발생한 사례가 있다.

〈그림 6〉에서 X정수장은 평균 망간제거율이 82%로 저조한 것으로 나타났으며, 이를 개선하기 위하여 2005년도에 원수 및 정수에 실시간 망간 모니터링 시스템을 구축하고 망간사를 이용한 망간 제거 기법 적용을 통해 현재는 매우 안정적으로 망간을 처리하고 있다.

L정수장의 경우는 〈그림 2〉에서 가장 높은 원수의 망간 농도를 나타냈음에도 불구하고 매우 낮은 농도의 잔류망간이 남아 있는 것으로 조사되어 정수처리 공정을 통하여 매우 효과적으로 망간이 제거되는 것을 알 수 있다. 한편, N정수장의 경우는 L정수장과 비교하여 원수의 망간 농도가 낮음에도 불구하고 잔류망간 농도가 L정수장보다 높았는데, 이는 여과지 종류 및 사용 방법, 원수 수질에 따른 망간의 존재 형태 등과 밀접한 상관관계가 있을 것으로 생각된다.

N정수장은 활성탄여과지와 모래여과지를 병행하여 사용하고 있어 동절기에 망간 제거 기능이 거의 없는 활성탄 여과지를 사용하면 경우에 따라 일시적으로 망간 농도가 높게 나타날 수 있다. 또한 일반적으로 원수의 TOC 농도가 높을 경우에는 망간이온이 다른 유기물과 착물을 형성하여 망간의 제거율이 낮은 것으로 알려져 있으며(Sommerfeld, 1999), 금강 중류에서 취수하는 N정

그림 4 부안호의 수심별 망간 농도 분포

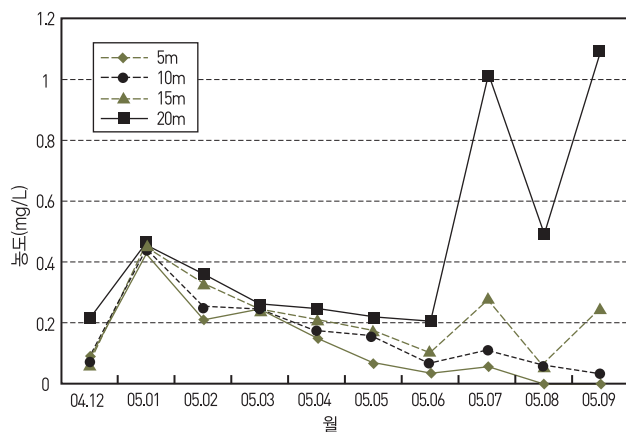
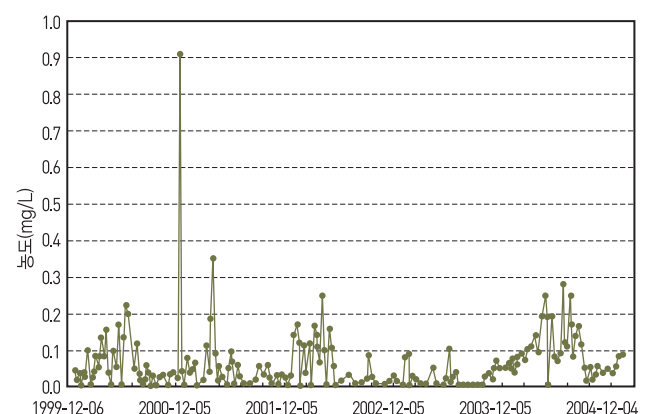


그림 5 N정수장 원수의 망간 농도 분포(금강 중류에서 취수)



수장의 경우 다른 상수원에 비해 원수 수질이 저하된 것도 하나의 원인으로 생각된다. 한편 <그림 2>와 <그림 6>의 비교를 통해서도 알 수 있듯이 원수의 망간 농도와 정수처리 후 잔류 망간 농도 간의 상관관계는 매우 낮은 것으로 조사되었다.

조사대상 31개 정수장 유입원수의 최대망간농도 및 정수처리과정에서의 망간제거율은 <그림 7>에 나타내었으며, 평균 망간제거율은 93%로 조사되었다. 이 중 망간제거율이 80% 미만인 정수장은 N과 W 2개소인데, 두 정수장 모두 모래여과지의 일부를 유기물 제거를 위한 입성활성탄여과지로 교체하여 여과과정 중 망간이온의 흡착력이 저하된 것으로 생각된다. 반면 망간사여과지를 이용한 방법은 대부분 95% 이상의 망간제거율을 나타내었다. 따라서 정수처리공정에서 망간제거율이 낮을 경우에는 망간사여과를 도입하는 것이 국내 정수처리 여건을 고려할 때 매우 효과적이라고 생각한다. 망간사 여과의 효율적인 운영에 관해서는 관련 논문(김 등, 2005)에 정리되어 있다.

결론

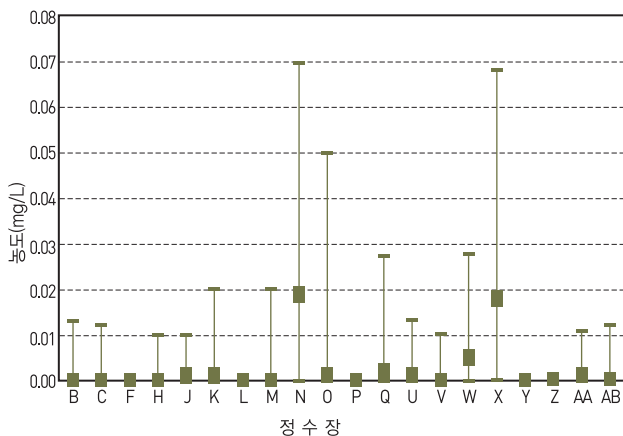
본 고찰에서는 망간과 관련한 국내의 수질기준을 비교하고, 전국의 31개 광역상수도 정수장을 대상으로 원수와 정수의 망간 농도 현황, 망간사여과지 운영현황 등을 분석하였으며 주요사항은 아래와 같다.

- 현재 0.3mg/L 이하인 먹는물에서의 망간 기준을 강화해야 할 필요성이 있다. 선진국의 경우 대부분 흡수발생 방지 등을 고려한 심미적 차원에서 먹는물에서의 망간기준을 0.05mg/L

이하로 규정하고 있으며, WHO의 경우도 건강학적 측면에서는 0.5mg/L 이하를, 심미적 측면에서는 0.1mg/L 이하를 제시하는 상황을 고려하여 선진국 수준의 0.05mg/L 이하로 법적 수질기준을 강화할 필요성이 있다.

- 31개 광역상수도 원수를 대상으로 2004년 수질자료를 분석한 결과, 원수의 최대 망간 농도는 부안호에서 취수하는 L정수장의 0.53mg/L로 조사되었으며, 29개 정수장 상수원의 경우는 원수의 망간 농도가 먹는물 수질기준보다 낮았다. 한편, 호소수를 취수하는 정수장의 경우 호소수의 망간 발생 농도는 계절별로 일정한 주기성을 나타내므로 주기적인 원수 수질검사를 통해 망간의 발생 농도를 확인하고 대처하여야 하며, 하천수의 경우는 계절별 상관성이 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다.
- 호소수에서 월별, 수심별 망간 농도 분포현황을 조사한 결과 성층현상이 일어날 경우 망간 농도는 호소 저층에서 높고 표층에서 낮은 경향을 나타내었으나, 전도현상이 발생할 경우는 전층에서 거의 동일한 망간 농도 분포를 나타내었다.
- 조사대상인 31개 정수장에서 모두 먹는물 수질기준보다 낮은 농도로 망간이 처리되었으나 일부 지역에서 흡수가 발생하는 현실을 고려하여 정수장에서의 망간 농도를 선진국 수준인 0.05mg/L 이하로 지속적으로 유지하는 것이 필요하다.
- 조사대상 정수장 중 망간 제거를 위해서는 모두 망간사여과를 운영하는 것으로 조사되었으며, 망간사여과의 경우 대부분의 경우 처리효율이 95% 이상으로 조사되어 적정하게 운영할 경우 망간 제거에 매우 효과적인 것으로 판단된다. ☺

그림 6 정수장별 정수의 망간 농도 분포(최대, 평균, 최소)
(조사기간 : 2004. 1 ~ 2004. 12)



주) 원수에서 정량한계 미만으로 검출된 정수장은 표시되지 않았음.

그림 7 정수장별 원수의 최대망간농도 및 정수처리과정 중 망간제거율

