

### 1. 서론

전라북도 부안군 위도면은 격포항에서 14km 떨어져 있는 연안도서로 6개의 유인도와 24개의 무인도로 이루어진 14.14km<sup>2</sup>의 면적에 1,563명의 인구가 살고 있으며 8개의 법정리와 11개의 행정분리로 구성되어 있다. 위도는 격포항에서 정기여객선으로 40분 거리에 위치하고 있으며 섬의 생김새가 고슴도치와 닮았다하여 고슴도치 위자를 붙여 위도라 했다고 전해지고 있다. 이곳은 낚시터로도 유명한 곳으로 청정해역인 섬 주변 어느 곳에서나 낚시대를 드리우면 도미, 우럭, 농어, 광어 등 고급어종이 낚이고 있어 많은 태공들이 즐겨 찾는 곳이다. 또한 주변이 수려하여 위도 팔경이 있고 맑은 물과 은빛모래 그리고 수심이 얕아 안전사고의 위험이 없는 천혜의 자연폭장 도장금 해수욕장이 있으며 겨울부터 늦봄까지 섬 곳곳에 빨간 동백이 만개하여 장관 이룬다. 위도면은 상수도 공급이전까지 지하수 및 우물로 식수를 해결하고 있으며 관광객이 집중되는 여름에는 식수가 절대적으로 부족한 실정이었다. '94년 위도해수욕장 관광지 조성공사 계획을

# 4

## 위도정수장의 망간제거 사례

글 이미경 \_ 부안군 상수도사업소



수립하여 유역면적 A=0.55km<sup>2</sup>, 유효저수량 343,340m<sup>3</sup>의 소규모 상수원을 개발하고 2,800톤 시설용량의 정수장을 설치하여 수돗물을 공급함으로써 21세기 서해안 관광도시의 입지를 확고히 하고 있다. 위도정수장 실시설 계상의 수질은 1등급으로 수처리 과정에서 문제는 크게 발생하지 않을 것으로 판단되어 급속여과방법을 채택하여 정수장을 건설하였으나 저수지 담수 후 시험가동 중에는 원수에 다량의 망간이 함유되어 있어 색도를 유발하였다. 여기서는 원수의 망간 제거과정에 대하여 소개하고자 한다.



그림 1) 위도정수장 및 수원지 전경

## 2. 상수도 시설현황

### (1) 위도정수장

① 저수지 : 343,342톤(유효저수량)

② 취수시설 : 취수틀 형식

③ 정수시설 : 2,800톤/일

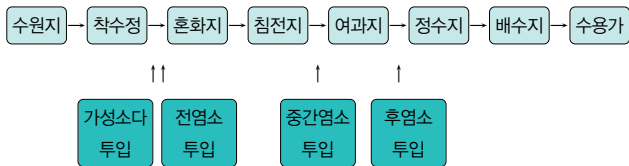
- 착수정 1지, 혼화지 2지, 침전지 2지, 급속여과지 2지, 정수지 2지
- 송수펌프 25HP×3대
- 염소투입시설 : 차아염소산나트륨 발생기

④ 배수시설 : 1,320톤

- 배수지 2지, 배수관로 17km

⑤ 전기시설 : 6,600V/380V

### ⑥ 정수처리 공정



⑦ 수용가 : 580세대

⑧ 급수량 : 평상시 약 500톤/일, 여름 피서철 1,200톤/일

## 3. 정수장의 망간제거

일반적인 정수처리(응집→침전→여과) 후 염소투입을 한 결과 정수지에서 수돗물이 연한 카키색으로 변하였다. 일단 정수처리 한 물을 수질검사를 실시한 결과 정수에서 망간 농도가 0.35ppm으로 수질기준(0.3ppm)을 초과하여 색도를 유발하였다.

위도정수장의 수원에는 위도 남단 도장산 계곡에 제방을 축조하여

계곡수 및 우수를 저수시켜 상수원으로 사용하는데 부안 지질의 특성상 망간이 원수에 1.81ppm~0.01ppm까지 용존하고 있었다. 여름철인 7~9월까지 망간이 평균 1.4ppm으로 높게 함유되어 있고, 5~6월이 0.01ppm, 그 외에는 0.2~0.3ppm이 함유되어 있다(그림 2), 표 1) 참조.

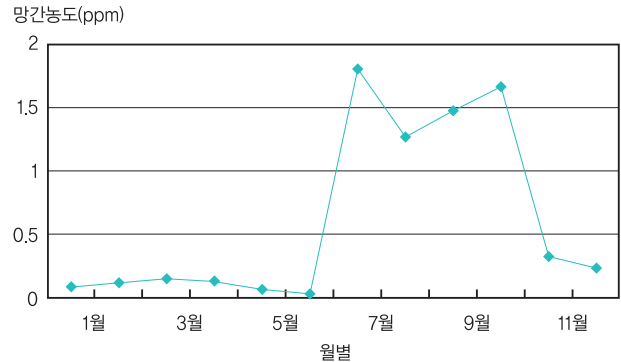


그림 2) 원수에 망간 함유 농도

망간은 지구상에 철 다음으로 많이 존재하는 중금속으로 퇴적암 등에 많이 포함되어 있는데 위도는 백악기말의 신기화산분출암으로 이루어진 지질적 특성으로 인하여 위도정수장 원수에 망간이 발생하는 원인으로 파악하고 있다. 암석에 포함된 망간이 우수 등의 산성비에 의해 용해되어 저수지로 유입된다. 위도와 14km 떨어져 있는 부안변산반도국립공원지역도 백악기말 신기화산분출암으로 이루어져 있는데 이곳에 설치된 부안담광역상수도 원수에도 망간이 많이 함유되어 있는 것을 보아도 지질적인 특성으로 인한 것으로 사료된다.

망간은 물속에 용해되어 있을 때는 무색이지만 수돗물에서 망간의 특징은 염소에 산화되어 흑수를 발생(망간농도의 200~400배의 색도 유발)시키며 수도관에 침전한다. 먹는물 기준은 0.3ppm이나 0.02ppm 이상에서 색도를 유발하게 되어 주의를 요한다.

망간의 제거방법으로는 염소 또는 과망간산칼륨과 같은 약품에 의해서 수중의 가용성 망간화합물을 산화해서 통상의 응집침전, 여과 혹은 접촉여과에 의한 여과나 이단여과의 과정으로 불용해성의 망간산화물로서 제거하는 방법과 생물을 이용하는 방법으로 크게 나누어진다.

(2003년)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
농도(ppm)	0.08	0.11	0.15	0.14	0.06	0.01	1.81	1.26	1.48	1.67	0.32	0.23

표 1) 원수에 망간 함유 농도

**(1) 약품산화에 의한 제거**

이 방법에서는 염소 또는 과망간산칼륨 등의 약품(산화제)을 사용해서 망간을 산화하고 응집침전 및 여과에 의해서 망간을 제거한다.

**① 전염소처리에 의한 제거**

이 방법에서는 원수에 알카리제를 주입하여 pH를 상승시킨 후 염소를 주입하여 잘 혼합해서 수중의 망간을 산화시키고 급속여과방식에 의해서 망간산화물을 제거한다.

염소주입은 불연속점염소처리를 하고 통산 여과수에서 0.5~1ppm 검출하도록 한다.

여과는 급속 모래 여과지로 하지만 장기간에 걸쳐서 전염소를 계속 투입하면 여과사의 표면은 점차적으로 망간산화물로 피복되어 흑색으로 변하고 망간사와 동일한 작용을 나타내게 된다.

이 결과 pH 조정을 생략해도 망간의 제거가 일어난다.

망간의 산화는 이론적으로는 pH 9 이하에서는 대개 일어나지 않지만 망간의 산화물이 존재하면 이것이 촉매로 되어서 산화가 촉진된다. 여과지의 역세척시 망간사의 망간제거능력을 보지하기 위해서 반드시 유리잔류염소를 포함한 정수를 사용하지 않으면 안 된다.

**② 과망간산칼륨에 의한 제거**

이 방법으로는 과망간산칼륨을 사용해서 망간을 산화하고 응집침전 및 여과의 과정에서 망간을 제거한다. 과망간산칼륨은 염소보다도 산화력이 강하므로 중성에서도 단시간에 확실하게 망간을 산화할 수 있다. 이 방법은 망간양의 변동이 적은 물의 처리에 적용하고 있다.

이론적으로는 망간 1mg/l에 대해서 과망간산칼륨 1.92mg/l가 대응하지만 수중에는 철, 유기물 등의 환원성 물질이 있으므로 이들을 고려해서 Jar-test를 하고 용액에 의해서 약간 미남색을 나타내는 점을 한도로 해서 주입율을 정한다. 또 처리수에 대해서도 과망간산칼륨이 과잉으로 주입되고 있지 않음을 확인한다. 과망간산칼륨을 과량 주입할 시 과망간산이온으로 잔류하여 처리수가 핑크색으로 착색하므로 세심한 주의가 필요하다.

과망간산칼륨의 주입에 의해 생성된 망간산화물은 매우 미세한 입자로 응집침전처리에서는 제거하기 어려우므로 여과지에 부담이 있고 여수중에 누출하지 않도록 주의하지 않으면 안 된다.

**③ 염소와 과망간산칼륨의 병용에 의한 제거**

염소와 과망간산칼륨을 병용해서 망간을 제거하는 방법은 원수

중에 암모니아성질소, 유기물, 철 등이 많이 포함되어 있고 대량의 염소를 주입하지 않으면 망간의 산화를 할 수 없는 경우등에 실시한다. 주입에 있어서 과망간산칼륨을 먼저 주입하면 재망간의 효과가 적으므로 주입은 동시 또는 염소를 먼저 주입한다. 그러나 원수 중에 포함되어 망간량의 변동이 적은 경우에는 과망간칼륨을 정량주입하고 일정량의 망간을 산화시키고 남은 망간을 염소와 생성한 망간산화물의 접촉작용에 의해 산화시키는 방법도 있다. 이 방법에서는 과망간산칼륨의 과잉 주입을 방지할 수 있다.

**(2) 접촉여과에 의한 제거**

**① 망간사에 의한 제거**

이 방법은 망간을 포함한 원수에 전염소처리를 하고 망간사를 여재로서 급속여과 해서 접촉산화에 의해 제거를 하는 것이다. 수중의 망간이온은 유리잔류염소가 존재하면 산화물로 되어 망간사 표면에 접촉 고정되며 이때 망간사의 피막은 불활성으로 되고 접촉산화력을 잃지만 유리잔류염소에 의해 바로 부활되어 망간 제거능력을 연속적으로 보지할 수 있다.

$Mn^{2+} + MnO_2 \cdot H_2O + H_2O$	$\rightarrow$	$MnO_2 \cdot MnO \cdot H_2O + 2H^+$
망간사의 피막		망간사의 불활성 피막
$MnO_2 \cdot MnO \cdot H_2O + Cl_2 + H_2O$	$\rightarrow$	$2MnO_2 \cdot H_2O + 2H^+ + 2Cl^-$
망간사의 불활성 피막		망간사의 활성피막

탁질이 적고 망간을 포함하는 지하수 등은 응집침전을 필요로 하지 않으므로 이 방법에 의한 제거를 적용하고 있다. 염소 주입량은 이론적으로 망간량의 1.29배이지만 실제에는 수중의 유기물이나 산화되기 쉬운 물질의 존재를 고려해서 여과수의 유리잔류염소가 0.5~1.0ppm으로 되도록 주입을 한다. 원수 중에 철이 많이 포함되어 있으면 망간사의 표면이 철의 산화물로 덮여서 망간제거 효과를 잃는 경우가 있다. 이 경우는 철을 제거하고서 망간사에 의한 여과를 한다.

**② 이단여과에 의한 제거**

이단여과는 다량의 철이 망간과 공존하고 있는 경우에 적용하는 방법으로 철 및 망간의 제거를 일련의 조작으로 하는 것을 할 수 있다.

이단여과에서는 세사리 또는 조사를 이용한 일차여과지와 통상의 급속여과지를 이차여과지로서 조합해서 사용한다. 이단여과에 의한 망간 제거는 원수에 대해서 염소를 주입한 후 일차여과

지로 사층에서 석출한 수산화철의 촉매작용에 의해 대부분의 철을 제거하고 다음으로 이차 여과지에서 망간으로 남아있는 철을 산화해서 사층에서 제거하는 방법이다. 산화제로서 과망간산칼륨 또는 염소와 과망간산칼륨을 사용해도 좋다.

### (3) 철박테리아에 의한 제거

이 방법은 철박테리아 중 Clonothrix와 같이 망간을 산화침착하는 종류나 Leptothrix와 같이 철과 함께 망간을 산화할 능력이 있는 종류를 완속여과지 표면에 번식시켜서 연속적으로 여과를 하고 망간을 제거하는 방법이다. 이 방법은 철박테리아를 이용하는 방법이므로 철박테리아의 성육에 적합한 환경이 아니면 실행할 수 없다. 이 때문에 원수에 대해서 기존 철박테리아가 생식하고 있는가 혹은 발육할 수 있는가 등의 조사가 필요하다. 또 수질 철박테리아의 생식에 영향을 주므로 변동이 없는 것이 바람직하다.

위도정수장 원수의 망간 농도는 계절적으로 변동이 심하므로(여름철 높게검출) 약품산화에 의한 제거방법 중 과망간산칼륨에

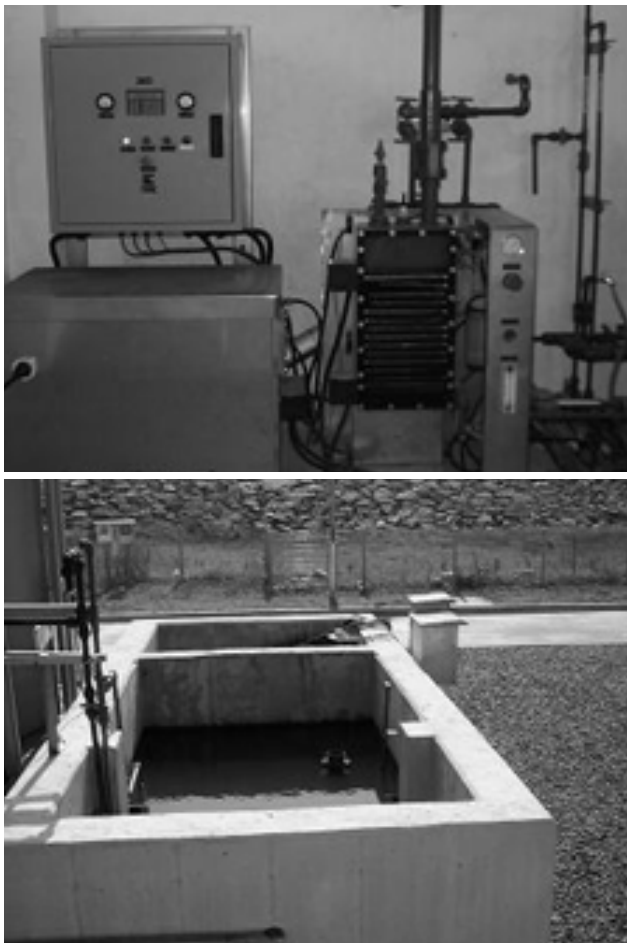


그림 3) 염소(차아염소산나트륨)발생기 및 착수정 유출관 입구 투입

의한 제거보다는 전염소를 투입하여 망간을 제거하는 방법을 선택하였다. 또한 위도정수장에 전염소를 투입할 수 있는 펌프시설 설치되어 있어 투입 배관을 착수정으로 변경하는 방법으로 전염소 투입이 가능하게 되었다.

① 약품 투입 위치 선정 : 착수정 유출관 입구에 염소 투입 염소와 원수의 혼합이 잘 이루어져야 망간이 제거되므로 투입지점 선정이 중요하다. 착수정 유출관이 와류가 형성되어 염소와 망간의 자연 혼합이 가장 잘 이루어지므로 착수정 유출관 입구에 염소 투입배관을 설치하였다. 혼화지는 교반기가 설치되어 있어 혼합은 잘 되지만 응집제를 투입하고 있어 염소와 응집제가 결합할 우려가 있다(그림 3) 참조.

### ② 원수에 알칼리제 투입으로 pH 상승

원수의 pH가 높을 경우(9 이상) 망간의 산화반응이 빠르게 일어나게 되므로 염소 투입에 의한 pH 감소를 막고 효율적인 망간제거를 위하여 알칼리제를 투입하였다. 위도정수장 원수의 pH는 대략 6.8~7.0으로 pH를 9로 높이기 위해서는 알칼리제 1ppm 주입시 pH가 0.04 상승하므로 소석회를 50ppm을 주입해야 하지만 소석회 미세입자로 백탁현상 및 여과지의 여과효율이 떨어질 뿐만 아니라 응집범위를 벗어나게 되어 탁도가 상승 되므로 소석회를 4~5ppm으로 줄여서 투입 하여 pH를 7.2정도로 보정해 주었다. 소석회 투입배관을 혼화지에서 착수정으로 변경하

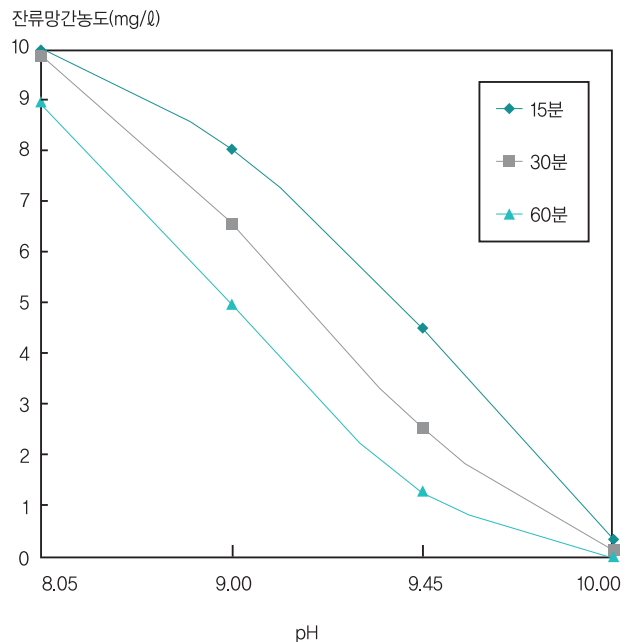


그림 4) 원수에 알칼리제 투입으로 pH 상승

여 전염소 투입지점 이전에 투입함으로써 pH를 상승시켜 염소와 망간의 산화가 효과적으로 일어나게 되었다.

③ 염소 투입률 결정 :

여과수에 0.5~1ppm이 잔류되도록 염소 투입

전염소를 투입함으로써 여과지의 모래여과사에 망간산화물이 침착함으로써 망간의 효율적인 제거가 이루어지게 되므로 여과수에 잔류되어있는 염소농도가 0.5~1ppm이 되도록 전염소를 투입하면 된다. 망간을 빠른 시일 내에 제거하기 위하여 여과지 유입수에 잔류염소농도를 최저 0.9ppm으로 정하였다. 위도정수장 원수의 망간함유량은 1.2ppm으로 전염소를 5ppm을 투입했을때 여과지 유입수에 0.9~1.2ppm이 잔류되었다. 유입수에 잔류염소 농도가 최소 0.9ppm이 유지되도록 1일 4회 잔류염소 측정을 실시하여 염소 투입율을 보정 해 주었으며 여과사를 매일 샘플 채취하여 망간사로 변화는 과정을 체크했다.

이때 주의할 점은 여과지 역세척 할 때 염소를 함유한 물로 역세척을 실시해야 한다. 염소가 함유되지 않았을 경우 모래여과사에 침착한 망간산화물이 용해되므로 역세척 전에 반드시 잔류염소 농도를 확인하고 0.5ppm이 되도록 역세수조에 염소(클로로칼키)를 투입하여 역세척을 실시하였다.

④ 정수 샘플 채취하여 망간제거 여부 확인

여과사를 매일 샘플 채취하여 망간사로 변화는 과정을 체크한 결과 전염소를 투입한지 1주일까지는 여과사에 변함이 없었

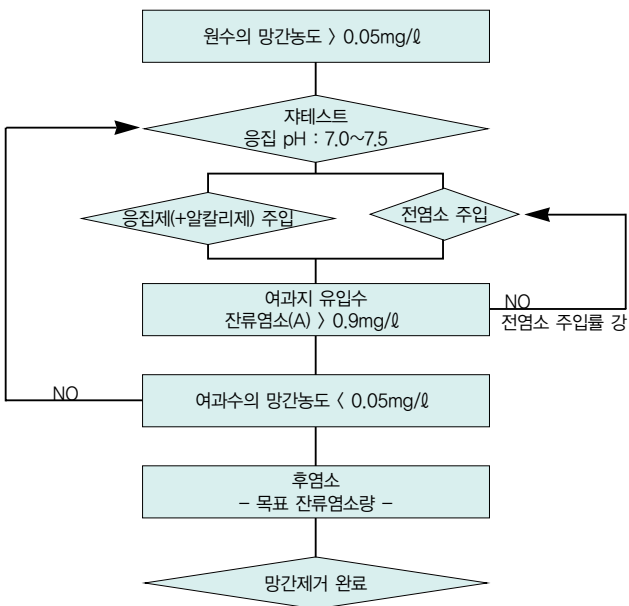


그림 5) 전염소 투입으로 모래여과사를 망간산화하여 망간을 제거하는 과정



그림 6) 급속여과지 모래여과사의 망간산화

나 2주일이 지나면서 미세하게 육안으로도 확인이 가능하게 되었다.

전염소를 투입한지 2주 정도 지나자 망간이 제거되었으며, 시험가동을 시작한지 2달만에 먹는물 수질기준및검사에 관한 규칙에 명시된 먹는물 전항목 수질검사에 합격(9월 24일)하여 위도면민과 해수욕장을 찾는 관광객에게 수도물을 최초로 공급할 수 있게 되었다 여과지 모래여과사가 까만색의 망간사로 변하는데는 3개월 정도가 소요되었으며 현재까지 위도정수장의 정수에서 망간농도는 거의 검출되지 않고 있다. 망간의 제거는 응집 및 침전 공정에서는 약 7~10% 정도 제거되고 대부분은 여과지의 망간사에서 제거된다.

망간제거를 위한 전염소 투입으로 여과지동 역세척 조작대 및 난간에 부식이 일어나 난간대는 우레탄 방청페인트를 도색하였으며 역세척 조작대는 내부의 PLC 등이 부식되어 오작동 우려가 발생됨에 따라 외부로 이설할 예정이다.

또한 산화망간이 침전지등 벽체에 침착하여 정수시설 전체에 (혼화지, 침전지, 여과지 등) 검은색으로 도색되어 정수장의 깨끗한 이미지를 저해한다.

위도 정수장은 망간이 여름철에 많이 검출되어 전염소 투입량이 많아지는 반면 원수의 pH가 6.5 정도로 낮아 정수에서 pH를 7



그림 7) 전염소 투입으로 인한 여과지등 내부 부식 및 시설물 망간산화물 침착

정도로 유지시키고 망간의 효과적인 제거를 위하여 가성소다 투입시설을 설치하여 pH를 보정해주고 있으며, 침전지에서 염소가 소비되는 것을 방지하기 위하여 중간염소 투입시설을 설치하였다.

또한 원수 취수방식이 취수틀 구조로 수원지 바닥면에서 3m위치에 취수구가 고정되어 있다보니 2003년 1~5월까지 망간농도가 0.106mg/l 인 반면 2004년 1~5월까지 농도는 0.170mg/l 으로서 약 60%가 증가되었고, 원수 수질이 3급수로 판정되어 취수

구조를 변경할 예정이다. ☹

## WEF 정기회의 및 전시회(WEFTEC '04) 안내

우리 협회에서는 하수도부분의 해외 최신 기술습득 및 국제적인 정보 교류를 위한 장을 마련하고자, 아래와 같이 WEF 주최의 정기회의 및 전시회(WEFTEC '04)에 참가할 참관단을 모집할 계획입니다.

1. 일 시 : 2004년 10월 2일 ~ 6일(전시회 일정)
2. 장 소 : 미국 루이지애나주 뉴올리언즈
3. 신청기한 : 8월초(미정)

☞ 문의처 : 하수도팀 최성현 (Tel : 02-384-8151~4)

※ 보다 자세한 사항은 참관일정이 정해지는 대로 협회 홈페이지 및 공문 등을 통해 공지예정

교육  
훈련

정보

행사

시험

[www.kwwa.or.kr](http://www.kwwa.or.kr)

물은 생명 그리고 미래입니다