

서울시 급수과정별 시설에서의 수질변화 : 2007년도 수질경향

Water Quality at the Distribution Facilities in Seoul : Case Study in 2007

이옥재, 이기선, 이정기, 김상은, 이은숙, 정의선, 이경우, 임희아, 최예덕, 이목영, 한선희

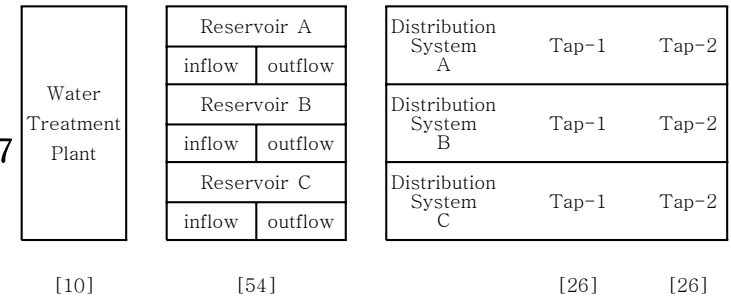
수돗물의 수질은 원천에서부터 분배까지의 급수과정에서 여러 가지 수질변화를 겪는다. 급수과정에서 수돗물을 송수하고 정류하여 수요자에게 공급하는 배수시설은 배수지, 가압장, 관중 밸브 등으로 구성되어 있으며, 그 관리 상태에 따라 시민에게 공급되는 수질에 직접적인 영향을 미치게 된다.¹⁾ 최근 수돗물은 안전성을 넘어 수돗물의 수질 고급화에 힘쓰고 있다. 환경부에서는 수돗물의 안전한 수급을 함께 먹는물로서의 지위를 향상시키기 위하여 수돗물 수질기준을 강화 및 수질검사 표본수를 확대²⁾하는 한편, 소독을 유지하면서 거부감을 완화할 수 있도록 수도꼭지에서의 잔류염소량을 0.2 mg/L에서 0.1 mg/L로 낮추었다³⁾.

그러나, 아직도 많은 수요자들은 정수장의 정수에 대해서는 수질을 믿지만, 배급수 동안에 수질변화를 우려하고 있으며, 이에 따라 수돗물의 수질에 대하여 불신을 가지고 있다. 이를 반영하듯 실제로 수돗물 수질에 대한 환경부의 설문조사에서 수돗물 불신의 원인이 막연한 불안감(43.9%)과 소독제 냄새(26.3%) 등에 의한 경우가 높게 나타나고 있다⁴⁾. 따라서 환경부에서는 급수과정에서의 수질변화를 조사하기 위하여 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙⁵⁾을 개정하고 급수과정별 시설에서의 수질검사를 정수장, 정수장으로부터 물을 공급받는 주배수지를 기준으로 하여 급수구역별로 주배수지 전후, 급수구역 유입부, 급수구역내 가압장 유출부, 광역 및 외부수계통의 수수지점, 정수계통이 다른 계통과 합쳐지는 지점 및 급수구역 관말 수도꼭지로 정함으로써, 주배수지 급수구역 단위로 세분화하여 확대 실시하고 있으며, 이로서 주배수지별 수질변화를 추적하여 공급과정 수질관리의 강화와 함께 배수구역별 관망관리 및 수질관리 최적화를 위한 자료를 확보하고 있다. 특히, 서울시의 경우에는 정수 탁도 기준을 0.1 NTU 이하로 자체 설정하고, 잔류염소량을 관말지역에서 0.1 mg/L 이상으로 낮추는 등 수돗물 고급화⁶⁾를 추진하고 있으며, 수질관리를 위한 급수과정별 시설에서의 수질검사는 정수장 공장별 10개 정수로부터 배수지 유입 및 유출수, 가압장, 유입지역 수도꼭지 및 관말 수도꼭지 등을 선정하여 분기 1회 수질변화를 측정하고 있다.

따라서 개정된 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙⁵⁾에 의해 서울시 수돗물 공급지역을 27개 주배수지별로 나뉘어 116개 지점을 선정하고 총 3회에 걸친 수질검사를 실시하여 그 결과를 정리함으로써, 많은 수요자들이 의심하는 급수과정에서의 수질변화에 대해 살펴보고자 하였다.

시료채취 지점의 계통도는 그림 1과 같다.

배수구역 단위의 급수과정별 수질검사를 위하여 정수장의 각 공장으로부터 공급되는 수돗물이 다른 배수지를 거치지 않는 주배수지를 선정하고, 주배수지 유입수와 유출수, 주배수지별 유입지역 수도꼭지(Tap-1)와 관말 수도꼭지(Tap-2) 등 총 116개 지점을 선정하였으며, 2007년 1/4분기부터 3/4분기까지 분기 1회로 3차례에 걸쳐 총 348개 시료를 채수하여 분석하였다.



분석항목 및 방법은 표 1과 같다.

Parameters	Methods	Reference
Residual Chlorine	DPD Colorimeter	먹는물 공정시험법 ⁷⁾
pH	pH Meter	먹는물 공정시험법
Turbidity	Nephelometric methods	먹는물 공정시험법
NH ₃ -N	Spectrophotometry	먹는물 공정시험법
Cu	ICP/AES	Standard method ⁸⁾
Zn	ICP/AES	Standard method
Fe	ICP/AES	Standard method
THMs	GC/MS	먹는물 공정시험법
Total colony count	Standard Plate Count	먹는물 공정시험법
Total coliform	ONPG/MUG substrate	먹는물 공정시험법
<i>E. coli</i>	ONPG/MUG substrate	먹는물 공정시험법

Table 1. Surveyed parameters and methods

2007년도에 조사된 348개 시료의 pH 평균 수질은 표 2와 같다. 6개 정수장 10개 정수에서부터 관말인 Tap-2까지 모두 pH 7.1로 급수시설에서 변화가 없었다. 이러한 경향은 2006년도에 서울시의 급수과정에서 조사된 결과⁹⁾에서, 정수장부터 관말 수도꼭지까지 연평균 pH 7.3으로 나

타난 것과 유사한 경향을 보였으며, 급수과정에 따른 시설에서 pH의 변화는 없는 것으로 조사되었다.

Table 2 Mean values¹ of water quality parameters analyzed from all data

	Water treatment plant	Reservoir (Inflow)	Reservoir (Outflow)	Tap-1	Tap-2
pH	7.1 (6.8~7.5)	7.1 (6.8~7.5)	7.1 (6.8~7.5)	7.1 (6.8~7.4)	7.1 (6.8~7.4)
Turbidity (NTU)	0.07 (0.04~0.12)	0.09 (0.03~0.35)	0.10 (0.04~0.30)	0.08 (0.03~0.19)	0.09 (0.04~0.26)
Residual Cl ₂ (mg/L)	0.69 (0.50~1.15)	0.59 (0.20~1.05)	0.54 (0.19~0.95)	0.49 (0.12~0.93)	0.38 (0.10~0.68)
NH ₃ -N (mg/L)	0.00 (0.00~0.01)	0.00 (0.00~0.00)	0.00 (0.00~0.03)	0.00 (0.00~0.00)	0.00 (0.00~0.09)
Fe (mg/L)	0.00 (0.00~0.00)	0.01 (0.00~0.19)	0.02 (0.00~0.26)	0.00 (0.00~0.05)	0.00 (0.00~0.13)
Cu (mg/L)	0.000 (0.000~0.010)	0.000 (0.000~0.000)	0.000 (0.000~0.013)	0.000 (0.000~0.010)	0.001 (0.000~0.021)
Zn (mg/L)	0.000 (0.000~0.010)	0.008 (0.000~0.111)	0.006 (0.000~0.051)	0.003 (0.000~0.026)	0.010 (0.000~0.182)
THMs (mg/L)	0.018 (0.006~0.044)	0.019 (0.005~0.041)	0.020 (0.008~0.046)	0.021 (0.009~0.043)	0.023 (0.011~0.040)
Total colony count (No. of violation) ²	0	0	0	0	0
Total coliform (positive percent)	0	0	0	0	0
<i>E. coli</i> (positive percent)	0	0	0	0	0

¹ Not detected data were considered as "zero" when mean values were calculated;

² The number of violation for Drinking Water Quality Standard in Korea;

급수과정에서 탁도는 평균 0.07~0.10 NTU로서 매우 안정적인 수질을 보였다. 이 결과는 2005년도에 서울시에서 급수과정별로 조사한 탁도의 연평균인 0.07~0.15 NTU나 2006년도에 조사된 0.05~0.16 NTU에 비하여 낮은 탁도를 보였다. 또한 본 조사에서는 2005년도와 2006년도 수행된 서울시의 급수과정별 수질검사⁹⁾¹⁰⁾에서 보였던 급수과정 동안 뚜렷한 탁도의 증가 경향과는 다른 양상을 보이고 있는데, 이는 대상 수도꼭지 지점이 모두 법적으로 정한 직수로 선정된 결과와 수도물의 안정적 공급에 따른 영향으로 판단된다. 또한 수도물 수질을 양호하게 공급하기 위해서는 물탱크를 이용하기 보다는 직결급수를 확대하여 보급하는 필요성을 보여주는 결과로도 보여진다.

그림 2에서 보이는 바와 같이 정수장 정수에서는 3차례 조사에서 모두 0.1 NTU 이하를 보이고 있으나, 배수지의 유입수와 유출수에서 탁도가 증가하고, 배수지의 수도물이 공급되는 유입지역(Tap-1)보다 높은 탁도를 보인 것은 배수지의 대부분의 시료가 0.2 NTU 이하를 보이고 있으나, 2차와 3차 조사에서 조사된 최고치인 0.35 NTU 및 0.30 NTU의 값이 평균치를 높인 것과 관련이 있으며, 이 값 또한 수질보다는 배수지 수질을 조사하기 위해 설치된 채수 꼭지의 영향에

기인한 것으로 판단된다. 평균치의 비교에서는 2005년도와 2006년도에 조사⁹⁾¹⁰⁾된 배수지 유입수 탁도인 0.13 NTU 및 0.14 NTU와 배수지 유출수에서 조사된 0.13 NTU 및 0.15 NTU에 비하여 낮은 결과를 보였으며, 가정 수도꼭지에서도 탁도 수질이 큰 변화없이 공급되고 있다고 분석되었다.

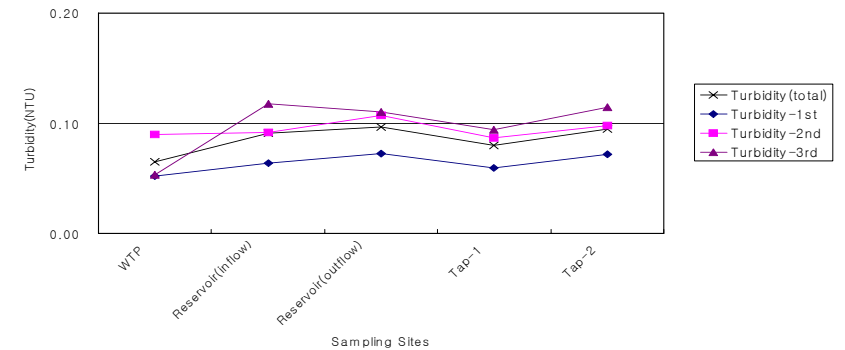


Fig. 2 Variation of turbidity(mean value) at various distribution facilities

조사대상 정수의 잔류염소량은 0.69 mg/L (0.50~1.15 mg/L)였으며, 배수지 유입수는 0.59 mg/L (0.20~1.05 mg/L), 배수지 유출수는 0.54 mg/L (0.19~0.95 mg/L)였고, 배수지에 근접한 Tap-1은 0.49 mg/L (0.12~0.93 mg/L)였으며, 관말지역인 Tap-2의 경우에는 0.38 mg/L (0.10~0.68 mg/L)로 조사되어 배급수 과정에서 차츰 감소하는 경향을 보였다. 이 결과는 2006년도에 조사⁹⁾된 정수장의 잔류염소량인 평균 0.83 mg/L와 관말 수도꼭지의 0.40 mg/L 보다는 낮은 값이었으나, 공급과정에서 감소하는 경향은 유사하였다. 특히 송수과정인 정수장으로부터 배수지까지에서는 평균 0.10 mg/L가 감소하였고, 배수지에 근접한 Tap-1의 경우에는 평균 0.05 mg/L가 감소한 반면, 관말 지역에서는 배수지 유출수와 비교하여 0.16 mg/L가 감소하는 것으로 조사됨으로서 급수과정에서 잔류염소 감소량이 크게 나타났다.

계절별 비교에서도 이러한 경향은 유사하게 나타나고 있는데, 1차부터 3차 조사 시까지 정수에서는 각각 평균 0.74 mg/L, 0.64 mg/L 및 0.71 mg/L 였던 것이 배수지 유출수에서는 0.61 mg/L, 0.48 mg/L 및 0.52 mg/L였고, 관말지역에서는 0.45 mg/L, 0.36 mg/L 및 0.32 mg/L로 각각 감소하였으나, 모든 시료에서 수도법에서 제시한 기준인 0.10 mg/L 이하를 보였다(그림 3). 감소량도 배수지로부터 관말까지 0.12~0.20 mg/L로 계절과 관련없이 감소하는 폭은 유사하였으나, 2006년도에 조사한 결과인 감소량 0.27 mg/L보다는 균일한 분포상을 보여 미생물학적 오염 방지를 위한 잔류염소의 수질 관리가 양호하게 이루어지고 있는 것으로 분석되었다.

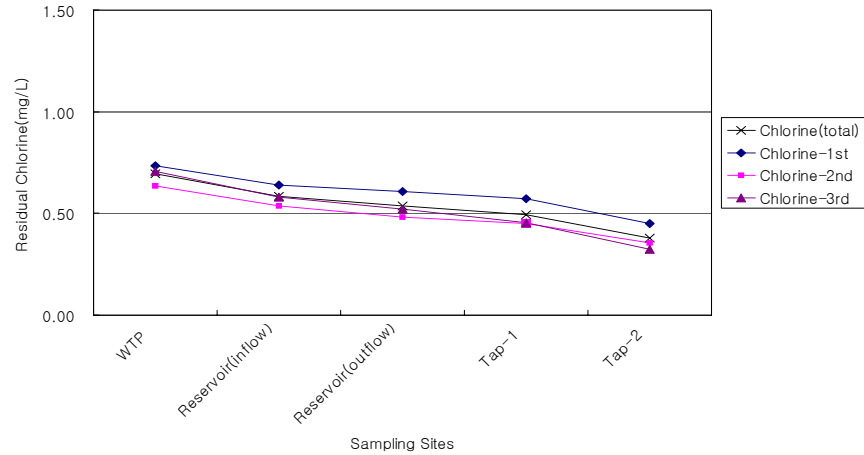


Fig. 3 Variation of residual chlorine(mean value) at various distribution facilities

한편, 염소와 휴민질에 의해 생성되는 소독부산물인 총트리할로메탄은 공급과정에서 잔류염소와 반대 경향을 보였다(그림 4). 정수에서는 평균 0.018 mg/L (0.006 ~ 0.044 mg/L)로 분석되었는데, 이는 서울시 수도물의 THMs 생성이 전염소 처리와 정수지 유입전 후염소 처리 및 염소처리 초기의 빠른 생성 반응의 복합적 특성¹¹⁾으로 배급수 시스템으로 송수되기 전에 이미 70~80%가 생성됨을 보여준다.

총트리할로메탄은 배수지 유입수에서는 0.019 mg/L (0.005 ~ 0.041 mg/L)였으며, 유출수에서는 0.020 mg/L (0.008 ~ 0.046 mg/L)로 나타났다. 유입지역에서는 0.021 mg/L (0.009 ~ 0.043 mg/L)로, 관말에서는 0.023 mg/L (0.011 ~ 0.040 mg/L)로 증가하였다. 이는 2006년도에 정수에서 조사⁹⁾된 평균 0.020 mg/L, 배수지 0.025 mg/L, 관말수도꼭지 0.028 mg/L보다 낮은 값이었으며, 전 해에 비교하여 다소 낮아진 것은 잔류염소량의 감소와 관련이 있을 것으로 판단된다.

계절적으로는 수온이 낮았던 1차 조사시기에 정수에서 0.09 mg/L 였던 것이 배수지 유출수에서는 0.012 mg/L, 유입지역에서는 0.012 mg/L 및 관말지역에서는 0.012 mg/L로 증가하는 경향을 보인 반면, 수온이 상승하는 2차와 3차 조사시기에는 정수 평균 0.019 mg/L 및 0.026 mg/L로 1차 시기보다 증가하였으며, 관말 수도꼭지에서도 0.027 mg/L로 조사됨으로서, 수온의 상승으로 인한 증가 경향이 나타났다. 이는 THMs나 HAAs가 급수과정에서 유사한 잔류염소량에도 불구하고 계절적으로 차이가 크게 나타나는 Rodriguez 등¹²⁾의 결과와도 유사한 경향을 보였다. 그러나 대상 조사시기 동안 급수과정에서 관말로 갈수록 총트리할로메탄이 증가하는 경향은 모두 유사하게 나타났다. 한편, 조사된 모든 자료에서 최고치는 0.046 mg/L로서 모든 시료에서 먹는물 수질기준인 0.1 mg/L보다는 매우 낮은 분포를 보였다.

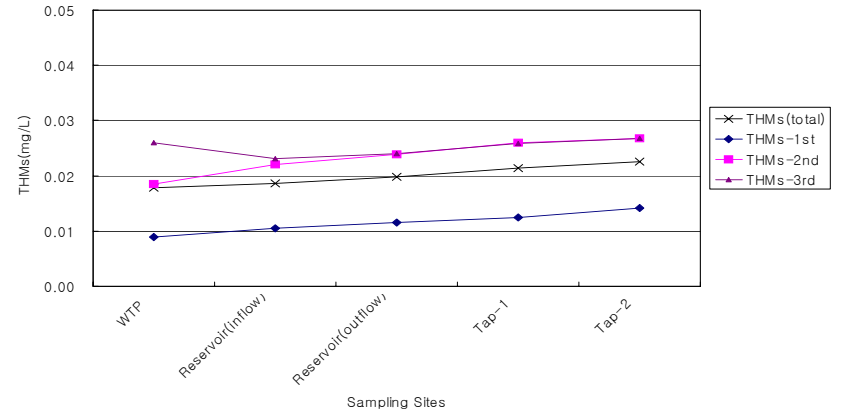


Fig. 4 Variation of THMs(mean value) at various distribution facilities

관 재질 및 분석관련 항목인 철, 구리 및 아연을 분석한 결과, 정수에서 철은 모든 시료에서 검출되지 않은 반면, 급수과정에서는 총 17회가 검출되었고, 최대치는 0.26 mg/L 였다. 구리는 총 348개 시료 중 8회 검출되었으며, 최대 0.021 mg/L가 검출되었으나, 급수과정에 따른 특이한 변화양상을 판단하기 어려웠다. 아연이 경우에는 총 시료 중 약 56%가 검출되었으며, 관말지역에서 최대 0.185 mg/L를 보였으나, 다른 급속류와 유사하게 급수과정에서 간헐적으로 검출됨에 따라, 급수과정에 따른 수질 변화로는 판단할 수 없었다. 또한 조사 계절에 따른 경향(data not shown)도 나타나지 않음에 따라 급속류의 경우, 대상 지점의 노후정도나 채수 시 배관 및 수도꼭지의 관종 등 지점 특이상태에 영향을 받는 것으로 사료되었다.

한편 암모니아성 질소는 총 348개 시료 중 3회 검출되었으며, 검출된 양도 최대 0.09 mg/L로서 먹는물 수질기준에 훨씬 못 미치는 미량이었다.

3.1.3 철, 구리, 아연 및 암모니아성

본 조사 기간동안 대상 시료인 348개 시료에서 분변성 오염지표인 총대장균군과 대장균은 모두 불검출 되었다. 배급수 계통에서 불충분한 소독에 의해 손상된 대장균군의 재성장 및 부활에 의해 대장균군이 검출된다는 보고¹³⁾에 비추어 볼 때, 대상시료의 소독은 미생물학적 안전성을 확보하기에 충분했던 것으로 생각된다.

일반세균의 경우, 대상시료 중 먹는물 수질기준인 100 CFU/mL을 초과하는 경우는 없었으며, 대상시료 중 17회가 검출되었으나, 관말지역에서 최대 28 CFU/mL가 검출된 경우를 제외하고는 모두 10 CFU/mL 이하로 나타나 충분한 소독과 잔류염소량의 유지가 미생물학적 안전성을 확보했던 것으로 판단되었다.

수돗물 배수구역에 따른 수질변화 특성 파악 및 수질관리 최적화를 위해 서울시의 정수장으로 부터 4. 공 급 물 은 수돗물을 배수지 배수구역 단위로 세분화하고, 관말지역을 포함한 배급수 시설 총 116 지점을 선정하여 탁도, pH, 유리잔류염소량, 미생물 및 THMs 등 11개 항목에 대한 수질변화를 분석하였다. 탁도는 배급수과정에서 평균 0.7 ~ 0.10 NTU의 분포로 조사되었으며, 분변성 오염지표인 총대장균군과 대장균은 전 지점에서 검출되지 않았다. 일반세균, 암모니아성질소, 구리, 아연, 철 및 동은 지점에 따라 간헐적으로 검출되어, 배급수과정의 수질 변화보다는 검사지점의 특성과 관련이 있는 것으로 판단되었다. 그러나, 유리잔류염소는 정수장(평균 0.69 mg/L)에서 배수지(유출수 평균 0.54 mg/L)와 유입지역(평균 0.49 mg/L)을 거쳐 관말(평균 0.38 mg/L)에서 감소하는 경향을 보인 반면, THMs는 정수장(평균 0.018 mg/L)에서 배수지(유출수 평균 0.020 mg/L)와 유입지역(평균 0.021 mg/L)을 거쳐 관말(평균 0.023 mg/L)까지 배급수 과정에서 증가하는 경향을 보였다. 분석된 모든 결과에서 수질기준을 초과한 경우는 없었으며, 급수과정 및 시설에서 수질이 안정적인을 판단할 수 있었다. 이러한 결과들은 향후 배수지별 수질변화를 추적하여 서울시 수돗물의 수질관리 최적화를 위한 자료로 사용될 것이다.

1. 안재찬. 2005. 상수도 송배수시스템에서의 최적 수질관리 방안에 관한 연구. 서울시립대학교 박사학위 논문
2. 환경부. 2006. 수돗물 수질검사관련 수도법령 개정내용 및 업무처리 방향. 환경부
3. 환경부. 2006. 수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙. 환경부
4. 김아람, 변지혜, 오정익, 최명수. 2007. 공동주택 수도기자재의 위생안전성 평가 및 개선방안. 2007년 환경공동학술대회. pp.725 ~ 727
5. 환경부. 2006. 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙. 환경부
6. 서울특별시 상수도사업본부. 2007. 2007 주요업무계획. 서울특별시 상수도사업본부
7. 환경부, 2002. 먹는물공정시험법, 환경부
8. AHPA-AWWA-WEF, 1999. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed.
9. 김세철, 장호, 류영무, 이은숙, 신성균, 이기선, 김형욱, 김종왕, 정관조, 정의선, 홍주희, 장현성, 김상은, 노방식, 하현주, 이목영, 한선희, 2007. 2006년 급수과정별 수질검사. In 2006 수질조사분석보고서. 서울특별시 상수도연구원
10. 장호, 류영무, 이은숙, 류영무, 한점일, 신성균, 이기선, 김형욱, 최선영, 박부신, 신수양, 김창모, 김현숙, 정관조, 정의선, 하현주, 김세철, 이목영, 한선희, 2006. 2005년 급수과정별 수질검사 결과. In 2005 수질조사분석보고서. 서울특별시 상수도연구소. pp.529 ~ 551
11. Gang, D. D., J. R. Segar, T. E. Clevenger, and S. K. Banerji, 2002. Using chlorine demand to predict tTHM and HAAs formation. *J. AWWA* 94(10):76 ~ 86
12. Rodriguez, M. J., B. S. Jean, and L. Patrick, 2004. Behavior of trihalomethanes and haloacetic acids in a drinking water distribution system. *Wat. Res.* 38:4367 ~ 4382
13. McFeter, G. A., J. S. Kippin, and M. W. LeChevallier, 1986. Injured coliforms in drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.* 51:1 ~ 5

참고문헌