

서울 일부지역 지하수 중 중금속 함량에 관한 연구

김형석, 박경선
경희대학교 지구환경연구소

Study on the Heavy Metal Contents in Some Seoul Area Groundwater

Hyung-Suk Kim and Kyoung-Sun Park
Institute of Global Environment, Kyung Hee University
Dongdaimoon-gu Hoeji-dong 1, Seoul 130-701, Korea

The contents of heavy metals in groundwater in Korea was studied with ICP-AES. Ultrasonic nebulizer was used to analyze Cd, As, Pb, Cr⁶⁺, Se, Zn, Fe, Mn, Al and Cu, and vapor generation accessory was used to analyze Hg in this study. The number of total samples was about 260 including 130 drinking water, 110 domestic water, 16 industrial water and 3 agricultural water. Only Al, Mn, Cu, Zn and Fe were detected in drinking water among the parameters of Cd, As, Pb, Cr⁶⁺, Se, Zn, Fe, Mn, Al, Cu, Hg and the other metals were not detected. The mean value of above five metals in drinking water was Al 0.076 ppm, Zn 0.0697 ppm, Mn 0.0443 ppm, Cu 0.0102 ppm and Fe 0.0035 ppm. The parameters of Cd, As, Pb, Cr⁶⁺ and Hg in domestic water, industrial water and agricultural water were not detected in most samples. The mean value of Cr⁶⁺ in domestic water was 0.00075 ppm and Cd was 0.00055 ppm. The proportion of outside standard in groundwater was 3.1%, drinking water was 5.4% and domestic water was 0.9%. Among the analytical results, Mn was exceeded standard 5 times, Al was 3 times, Zn and Cr⁶⁺ were 1 time each.

Key Words : ICP-AES, USN (ultrasonic nebulizer), VGA (vapor generation accessory), groundwater, Cd, As, Pb, Cr⁶⁺, Se, Zn, Fe, Mn, Al, Cu, Hg.

1. 서론

본 연구에서는 지하수 중에 들어 있는 금속의 양을 성분별로 유도 결합 플라즈마 원자 방출 분광법 (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy)를 이용하여 분석하고자 한다. ICP-AES법은 불활성 기체인 아르곤을 사용하기 때문에 방해영향이 적고, 방출 분광법을 사용하므로 동시에 다원소 분석²이 가능하므로 금속의 분석에 있어서 1965년 Fassel²에 의해 개발된 이후 원자 흡수 분광법과 더불어 원자 분광 분석법에서 가장 널리 쓰이는 방법으로 발전되어 왔다.^{3,4,5} 실험에 사용된 시료는 음용수, 생활용수, 농업용수, 공업용수의 용도로 나누어진 서울 시내의 지하수 약 260여 곳을 대상으로 하였다. 또한 분석하고자 하는

금속은 환경부 금속 수질 기준에 따라 음용수는 Cd, As, Hg, Pb, Cr⁶⁺, Se, Zn, Fe, Mn, Al, Cu의 11가지 항목으로 그 외 생활용수, 농업용수, 공업용수는 Cd, As, Hg, Pb, Cr⁶⁺의 5가지 항목으로 실험을 진행하였다.

2. 실험

2.1. 대상 시료

서울 시내에서 채취한 지하수 약 260여 곳을 음용수, 생활용수, 농업용수, 공업용수 별로 분류하여 분석하였다. 대상 시료는 음용수 약 130여 건, 생활용수 약 110여 건, 공업용수 16건, 농업용수 3건이다.

2.2. 분석 기기 및 조건

본 실험에서 사용한 spectrometer는 Varian Model Liberty-series II, Radial-sequential type이며 Hg을 제외한 나머지 금속의 분석에는 CETAC U-5000AT⁺ Ultrasonic Nebulizer(USN)를 사용하였으며 Hg은 Varian VGA 77 Vapor Generation Accessory를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 음용수의 분석 항목 Cd, As, Pb, Cr⁶⁺, Se, Zn, Fe, Mn, Al, Cu, Hg 중에서 주로 검출 되는 금속은 Al, Mn, Cu, Fe, Zn으로 자연수나 지하수 중에 넓게 존재하는 금속이며, 나머지 금속은 검출 되는 경우가 거의 없었다. 음용수에서 Al의 경우, 최고값 0.48 ppm, 평균값 0.076 ppm, Cu의 경우, 최고값 0.293 ppm, 평균값 0.0102 ppm, Fe의 경우, 최고값 0.10 ppm, 평균값 0.0035 ppm, Mn의 경우,

최고값 1.635 ppm, 평균값 0.0443 ppm, Zn의 경우, 최고값 2.516 ppm, 평균값 0.0697 ppm의 결과가 나왔다[Table 1]. 위의 네가지 금속의 분포도를 살펴 보면 Mn, Cu는 불검출로 나타난 시료가 많았으나 Al, Zn의 경우에는 대부분의 시료에서 검출되었다. Mn, Cu, Zn의 경우에는 부적합 시료가 아닌 경우 수치가 대부분 낮은 값을 나타냈으나, Al은 부적합 시료가 아닌 시료에서도 비교적 높은 값인 0.1 ppm에 가까운 값을 나타내는 경우가 많았다. 즉 음용수에서는 Fig. 1에서 나타나듯이 평균농도를 살펴보면 Al, Zn, Mn, Cu, Fe의 순이었다.

생활용수, 공업용수, 농업용수의 분석항목 Cd, As, Pb, Cr⁶⁺, Hg 는 거의 대부분 검출되지 않았다. 생활용수에서는 Cd의 경우, 최고값 0.006 ppm, 평균값 0.00055 ppm, Cr의 경우, 최고값 0.06 ppm, 평균값 0.00075 ppm의 결과가 나왔다[Table 2, Fig. 2]. Cr의 경우 수질 기준을 넘는 값으로 이는 일반적으로 천연수 중에는 포함되어 있지 않고 주로 공장 폐수에 의해 오염되는 경우가 많다.

Table 1. Analytical results of heavy metals in drinking water(ppm).

	Al	As	Cd	Cr ⁶⁺	Cu	Fe	Mn	Pb	Se	Zn	Hg
Max.	0.48	0.000	0.000	0.00	0.293	0.10	1.635	0.00	0.000	2.516	0.000
Min.	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000
Mean.	0.076	0.000	0.000	0.00	0.0102	0.0035	0.0443	0.00	0.000	0.0697	0.000

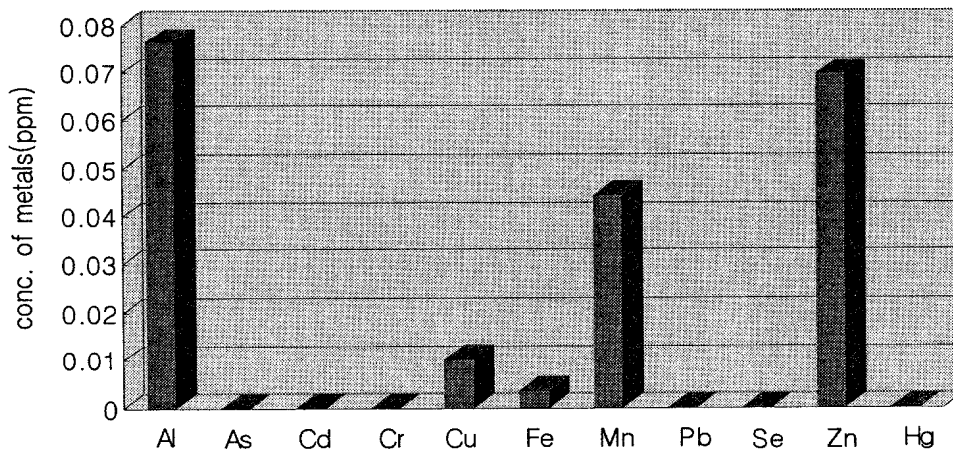


Fig. 1. Mean value of heavy metals in drinking water.

이와 같은 결과로 볼 때 지하수 중에서 생활용수, 공업용수, 농업용수에서의 금속 함유량보다 음용수에서의 금속 함유량이 심각하다고 볼 수 있다. 단, 용도별 시료에서 금속의 검출량을 알아보는 데에 공업용수나 농업용수의 시료의 수가 많지 않았다는 점이 문제가 되었다.

Table 2. Analytical results of heavy metals in domestic water(ppm).

	Cd	As	Hg	Pb	Cr ⁶⁺
Max.	0.006	0.000	0.000	0.00	0.06
Min.	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
Mean.	0.00055	0.000	0.000	0.00	0.00075

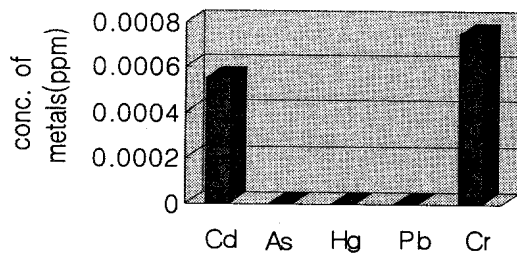


Fig. 2. Mean value of heavy metals in domestic water.

2) 용도별 지하수 약 260여건 - 음용수 약 130여건, 생활용수 약 110여건, 공업용수 16건, 농업용수 3건 - 의 분석결과, 환경부 수질 기준이상으로 나타난 건수는 음용수 7건(Al, Mn, Zn), 생활용수 1건(Cr)이었다. 공업용수에서는 의외로 검출된 금속이 없었으며 농업용수에서도 검출된 금속이 없었다. 이는 음용수 용도의 지하수 중, 약 5.4%, 생활용수 용도의 지하수 약 0.9%의 비율을 차지한다. 이는 260여 건의 전체 지하수 중의 8건으로 약 3.1%를 차지하는 것으로 지하수 오염의 심각성을 알 수 있었다[Fig 3]. 특히 부적합 결과 중, 음용수의 비율이 87.5%, 생활용수의 비율이 12.5%로 음용수의 비율이 높다[Fig 4]. 따라서 음용수로 사용 불가능한 지하수를 선별하여 지하수 수질 개선을 위해 오염원을 제거하거나 환경을 개선하는 등의 방안이 필요하다.

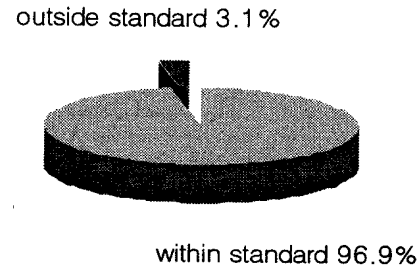


Fig. 3. Proportion of outside standard sample in groundwater.

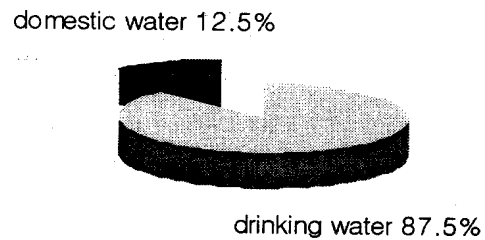


Fig. 4. Proportion of each water in outside standard results.

3) Cd, As, Hg, Pb, Se, Fe, Cu의 금속은 수질 기준치 이내로 나타났으며, 수질기준을 초과한 금속은 Mn이 5회로 가장 빈도가 많았으며, Al이 3회, Zn이 1회, Cr 1회로 나타났다. Mn 5건, Al 3건, Zn, 1건은 음용수에서 검출되었고, Cr 1건은 생활용수에서 검출되었다[Fig 5]. Mn의 경우 0.455 ppm, 0.540 ppm, 0.631 ppm, 1.106 ppm, 1.635 ppm의 값으로, 이는 Mn의 음용수 수질 기준치 0.3 ppm의 5 배 이상 검출되기도 하였다. Al의 경우, 0.24 ppm, 0.27 ppm, 0.48 ppm으로 음용수 수질 기

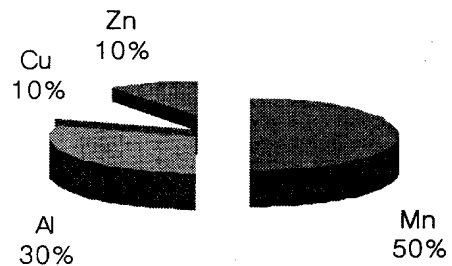


Fig. 5. Proportion of each metal in outside standard results.

Table 3. Analytical results which exceed water standard.

Parameters	Sample	Drinking water							Domestic water
		Sample1	Sample2	Sample3	Sample4	Sample5	Sample6	Sample7	Sample8
1	Cd	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	As	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	Hg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Cr ⁶⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
6	Se	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-
7	Zn	0.011	2.516	0.000	0.019	0.000	0.000	0.007	-
8	Fe	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
9	Mn	0.455	1.635	0.631	1.106	0.000	0.540	0.074	-
10	Al	0.12	0.27	0.13	0.13	0.48	0.00	0.24	-
11	Cu	0.005	0.293	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

준치 0.2 ppm을 초과하였으며, Zn의 경우, 2.516 ppm으로 역시 음용수 수질 기준 1.0 ppm을 3 배 가까이 초과한 경우가 있었다. Cr의 경우, 생활용수에서 생활용수 수질 기준치 0.05 ppm을 조금 넘은 0.06ppm의 값이 나왔다. 한 가지 지하수에서 동시에 여러 금속이 수질기준을 초과한 경우도 있었다. 이 중 수치나 빈도수로 볼 때 수질 기준치를 가장 많이 초과한 금속은 Mn이었고 그 다음으로 Al이었다. Mn은 적당량에서는 필수 원소이지만 과량에서는 유해한 금속으로 비소와 같이 무기성이 되면 독성이 강하다. 실험에서 나타난 Mn의 최고값은 1.645 ppm으로 수질 기준의 5 배이상이나 높은 값이었다. 기타 Al, Zn, Cr의 금속은 각각 최고치 0.48 ppm, 2.516 ppm, 0.06 ppm으로 그 빈도수나 수치로 볼 때 Mn의 경우 만큼 높지 않은 것으로 나타났다. Table 3은 환경부 금속 수질 기준 및 유효 숫자 표기법에 따라 수질 기준을 초과한 시료의 결과를 나타내었다.

4. 결론

1) 음용수의 분석 항목 Cd, As, Pb, Cr⁶⁺, Se, Zn, Fe, Mn, Al, Cu, Hg 중에서 주로 검출 되는 금속은 Al, Mn, Cu, Fe, Zn이었고, 나머지 금속은

검출되는 경우가 거의 없었다. 음용수에서 평균농도를 살펴보면 Al, Zn, Mn, Cu, Fe의 순이었다. 생활용수, 공업용수, 농업용수의 분석항목 Cd, As, Pb, Cr⁶⁺, Hg 는 거의 대부분 검출되지 않았다. 이와 같은 결과로 볼 때 지하수 중에서 생활용수, 공업용수, 농업용수에서의 금속 함유량보다 음용수에서의 금속 함유량이 훨씬 문제시된다고 볼 수 있다.

2) 용도별 지하수 약 260여건 - 음용수 약 130여건, 생활용수 약 110여건, 공업용수 16건, 농업용수 3건 - 의 분석결과, 환경부 수질 기준이상으로 나타난 건수는 음용수 7건(Al, Mn, Zn), 생활용수 1건(Cr)이었다.

3) Cd, As, Hg, Pb, Se, Fe, Cu의 금속은 수질 기준치 이내로 나타났으며, 수질기준을 초과한 금속은 Mn이 5회로 가장 빈도가 많았으며, Al이 3회, Zn이 1회, Cr 1회로 나타났다. Mn 5건, Al 3건, Zn, 1건은 음용수에서 검출되었고, Cr 1건은 생활용수에서 검출되었다.

참고문헌

1. S. Greenfield, I. L. Jones, H. McD McGeachin and P. B. Smith, *Anal. Chim. Acta*, 1975, 74, 225.

2. R. H. Wendt and V. A. Fassel, *Anal. Chem.*, **1965**, 37, 920.
3. 양혜순, **1994**, *LOW FLOW-LOW POWER ICP-AES의 분석적 특성*, 경희대학교 석사학위논문.
4. 박상민, *ICP-AES에 의한 관절성 류마티스 환자와 퇴행성 류마티스 환자의 머리카락 중 구리와 아연의 정량*, 경희대학교 석사학위논문.
5. 김창수, *지구환경논문집(지하수에 관한 학술회의)*, **1998**, pp 79-90.
6. J. Lee, B. Chen and H. E. Allen, *Water Science and Technology*, **1992**, 26(9-11), 2327.
7. I. Alam, *Water Research*, **1997**, 31(12), 3089-3094.
8. 김형석, 정세영 외, *지구환경연구소 논문집*, **1993**, 1, 1-19.
9. A. C. Sahayam, *Fresenius' J. of Anal. Chem.*, **1998**, 362(3), 285-288.
10. Ji, hongnian, Liao, Zhenhuan, Sun, Junmei, Jiang, Zucheng, *Fresenius' J. of Anal. Chem.*, **1998**, 360(6), 721-724.
11. Danzaki, Yuetsu, Takada, Kunio, Oku, Masaoki, Zucheng, *Fresenius' J. of Anal. Chem.*, **1998**, 361(5), 410-415.
12. Howard S. Peavy, Donald R. Rowe, George Tchobanoglous, **1998**, *Environmental Engineering*, pp 33-34, 동화기술.
13. A. Mazzucotelli, V. Bavastello, E. Magi, P. Rivaro, *Analytical Proceedings including Analytical Communications*, **1995**, 32(5), 165-166.
14. T. T. Nam, *American Laboratory*, **1995**, 27(4), 48L.
15. K. J. Fredeen, *American Laboratory*, **1990**, 22(18), 22-26.
16. G. P. Kenny, G. G. Giesbrecht, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **1996**, 74(3), 258-266.
17. 이대원, 이원 외, **1993**, *機器分析*, pp 8-75, 대한교과서주식회사
18. 윤혜경, 노영수, *환경독성학회지*, **1997**, 12(3-4), 67-73.
19. 조주식, 임영성, 허종수, *한국수질보전학회지*, **1997**, 13(1), 101-109.
20. I. Datskou, K. North, *Water, Air, and Soil Pollution*, **1996**, 90(1), 133-135.
21. C. Arquiett, M. Gerke, I. Datskou, *Water, Air, and Soil Pollution*, **1996**, 90(1), 83-87.
22. Y. E. Freedman, D. Ronen, G. L. Long, *Environ. Sci. & Tech.*, **1996**, 30(7), 2270-2277.
23. D. N. Lerner, *European Water Pollution Control*, **1996**, 6(5), 43-48.