

지하수 중 Al 분석법-옥신법의 금속간섭 영향 연구

음용수질과

홍인석 · 두옥주 · 정보경 · 유영아 · 전수진 · 조태희 · 김경식 · 권옥현 · 김영수

The effects of Interference by Metals on Oxine methods for Aluminum analysis in Underground water.

Division of Drinking Water

In-Suck Hong, Ok-Ju Tu, Bo-Kyung Jung, Young-A Yoo, Su-Jin Jeon
Tae-Hee Cho, Gyung-sik Kim, Ohk-Hyun Kwon and Young-Soo Kim

=Abstract=

The present study was accomplished in order to investigate analytical safety on determination of Al used 8-hydroxyoxyquinoline from other metals in underground water.

4 metals added on 2mg/l Al sol'n's in order to investigate interference of metals.

Added concentration of Zn, Cu was 0.01, 0.1, 0.5, 1.0mg/l and Fe, Mn was 0.05, 0.1, 0.2, 0.4mg/l.

The Results were as follows

1. Only Zn, Fe, Cu and Mn had the possibility of effect on the determination of Al according to the analyzed data of the underground waters of Seoul from Jan, 1997. to Nov. 1997.
2. On the underground waters of Seoul, the correlation coefficients of Zn,Cu,Mn and Fe with Al were represented as 0.3 on Zn and Cu.
3. The optimized pH of determination of Al was pH5~7 . The occasion of adding with Cu, Mn, Zn and Fe was the same.
4. When the metals was added, 1.0mg/l Cu has represented a little significant effect of interference (increase 0.1 mg/l), but 1.0mg/l Zn, 0.4mg/l Fe and 0.4mg/l Mn was disappear.

According to the results of the present study, oxine methods of the determination of Al in underground water was safety from interference of metals ,except Cu had a little interference.

서 론

Al은 지구 외부지구에서 3번째로 풍부한 원소로서 암석과 토양 중에 폭 넓게 분포하고 있다. 그러나 지구의 일반적인

자연수질 중의 Al 농도는 0.5mg/l를 넘지 않을 정도로 낮은 것으로 측정 보고되고 있으며¹⁾ 일부 지역의 Al 함량이 높은 물의 경우는 대부분 지질학적으로 낮은 토양 pH의 영향에서 기인하는 것으로 알려져 있다²⁾. '94년 하반기에 조사한 국

내 주요 수계 하천 중의 Al 평균 농도는 0.205mg/l (범위: 0.022~0.875mg/l)로 조사 보고 되었다²⁾.

물 중 Al의 유해성은 신경계통에 장애를 일으키는 것으로 일부 보고되고 있으며 특히 수돗물 중의 Al과 알츠하이머병의 발병과 상관관계가 있음이 역학조사를 통하여 알려져 있지만 실험적인 증명은 아직까지 이뤄지지 못하고 있다³⁾. 일반 먹는물을 통하여 섭취되는 Al의 양은 음식을 통한 Al의 1일 평균섭취 추정량인 88mg과 비교해 볼 때 작은 일부분의 양에 불과하며 경구를 통하여 섭취된 Al은 체내에 잘 흡수되지 않고 인산염과 복합체로서 일부만 체내로 흡수되므로⁴⁾ 음용수 중 Al의 국내기준은 유해적 측면보다는 백탁(白濁)과 이미(異味) 그리고 철 등과 결합하여 발생하는 물의 변색등을 고려한 심미적측면에서 규제기준으로 설정하고 있다.⁵⁾

자연수 중 Al의 분석방법으로는 ICP법^{6,7)}, AA법^{6,8,10)}, 옥신법(8-hydroxyo-quinoline)^{9,10)}, Eriochrome cyanine R법⁶⁾, PCV법(pyrocatechol violet)¹¹⁾ 등이 있으며 그 외에도 최근의 FIA법 등 다양한 방법들이 연구되어 오고 있다¹²⁻¹⁶⁾. EPA에서는 Al분석법으로 ICP법과 AA법을 규정하고 있으나 국내의 환경부 먹는물 검사규정에서는 옥신법과 AA법을 채택하고 있다⁵⁾.

AA법 상에서는 Al분석시 아산화질소-아세틸렌의 고온불꽃을 이용하도록 되어 있지만 Al은 원자상태로의 열분해가 어려운 원소로 분석감도가 낮고(MDL: 0.1mg/l, EPA Method 7020), 흑연로 분해방법을 이용할 경우에는 정량의 재현성이 그다지 좋지 않다. ICP법은 높은 분석감도를 가지고 있지만 ICP가 고가의 장비인 관계로 이를 갖추기가 용이하지 않다. 옥신법은 옥신과의 결합으로 형성되는 Al-옥신착물의 발색을 기본장비인 흡광광도계로 측정하는 방법으로 전처리 및 용매추출시 손이 많이 가고, 용매로 사용하는 클로로포름으로 인한 건강상의 문제가 있지만 생성되는 Al(C₈H₈ON)₃ 착물이 안정하고 분석감도가 좋아(MDL: 0.02mg/l) 흔히 이용되어 지고 있다.

옥신은 역사가 오랜 유기시약의 하나로 여러가지 금속과 킬레이트를 형성하는 특성을 가지고 있어서 금속이온들의 분석에 다채로운 효능이 있지만 한편으로는 특정 금속과의 반응에서의 특이성이 적은 단점이 있다. 따라서 Al-옥신 킬레이트 결합에 있어서 최적 pH와 가리움제 및 용매 추출법 등의 연구를 통하여 전처리를 통한 타 중금속과의 간섭을 배제 할 필요가 있다¹⁷⁾. Al분석법인 옥신법은 외국에서 만들어 진 데다가^{8,9)}, 국내에서는 본 방법에 대한 중금속 간섭영향의 연구보고가 된 바 없어 Al이 음용수 기준으로 채택되어 있는 지금에 와서는 정확한 Al의 정량법으로 정착을 위한 연구가 필요

하게 되었다. 우리 연구원에서는 1995년 1월부터 먹는물수질 기준으로 Al이 포함되어 규제됨에 따라 음용수 적부기준으로 Al을 분석해 오고 있다²⁹⁾. 본 연구는 먹는물 중의 옥신법을 이용한 Al 정량검사시 공존 중금속들에 의한 간섭영향정도들을 조사하여 본 방법을 이용한 먹는물 중의 Al 정량 안정성을 확보하며 적부판정의 정확도를 높이기 위한 시도로 시행되었다.

재료 및 방법

'97년초부터 약 11개월 간의 서울시 지역 지하수들을 대상으로 중금속의 농도 분포를 조사한 결과 농도가 높고 발생 빈도가 큰 중금속이었던 Zn, Cu, Mn, Fe 4종을 Al의 옥신을 이용한 정량시 간섭을 보기 위한 처리 금속 종으로 선택하고, 이들을 먹는 물 수질기준, 수질 중 존재범위 및 정량한계(AA법) 등을 고려하여 각각 4단계 농도수준으로 처리한 후, 환경부 먹는물검사규정 중의 옥신법에 준하여 각 실험들을 2~3회 반복 시행하였다.

1. pH 실험 : 옥신을 첨가한 후 HCl과 NaOH를 소량첨가하여 pH 1~13까지 7수준으로 조절하고 이때의 생성된 착물을 용매추출하여 흡광도를 측정하였다. 첨가한 각 중금속들의 농도는 모두 최소 공통 부적기준인 1mg/l 수준으로, Al의 농도는 Al 부적기준인 0.2mg/l 수준으로 처리하였다.

2. 중금속 간섭효과 실험 : Zn과 Cu는 0.01, 0.1, 0.5, 1.0mg/l으로 각 4단계, Mn과 Fe는 0.05, 0.1, 0.2, 0.4mg/l로 각 4단계를 Al 0.2mg/l 수준의 3차중류수액에 처리한 뒤 옥신법에 의해 Al을 정량하였다.

3. 산첨가 가열 전처리에 의한 간섭차단효과 실험 : HCl을 첨가하고 가열한 후 NH₄OCl을 첨가하여 식히는 가열전처리 과정을 생략하고 중금속의 간섭효과 시험을 시행하였다.

4. 상관분석 및 통계처리 : 수질분석 자료들을 이용하여 Al과 타 중금속 농도간의 상관관계를 조사하였고 이때 SAS 6.04 통계프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 일반지하수 중의 함유 중금속들의 분포 특성

'97년 초부터 약 11개월간의 본 연구원에 검사의뢰된 서울시지역의 일반지하수 559건 중의 먹는 물 검사기준에 의거 검사된 중금속들의 함유분포는 표 1과 같다.

서울시 지역 지하수 총 559건을 검사한 표 1을 보면 Zn,

Al, Cu, Fe, Mn 5금속들이 주로 검출되고 있었고 Cr⁺⁶와 Pb는 각 1건 그리고 Cd, Se, As는 검출되지 않았다. 본 실험에 이용된 AA기기의 정량한계(MDL) 이상 검출된 빈도는 Zn이 전체 지하수 중 81.0%였고, Al이 58.7% 그리고 Mn, Cu, Fe 순이었고, 전체 지하수 중 부적합이 발생된 빈도는 Fe이 가장 높은 7.3%, 그 다음으로 Zn이 5.7% 그리고 Mn, Al, Cu, Pb, Cr⁺⁶ 등의 순이었다. 이상의 지하수 분석결과에서 Al의 정량에 영향을 미칠 수 있는 금속 중은 Zn, Cu, Fe, Mn 4종 뿐이었으므로 본 연구에서는 이들 중금속 4종을 Al의 간섭영향 실험 대상으로 선정하였다.

2. 함유 중금속들의 Al 농도에 미치는 상관분석

서울지역 일반지하수 중 함유하는 중금속들과 Al과의 상관을 보기 위하여 표 1의 중금속 분석자료를 이용하여 통계분석한 상관분석표는 표 2 와 같다.

위의 표 2를 보면 Zn이 0.2994, Cu가 0.2825의 낮은 정도의 상관을 보였고(Zn:p<0.001이하, Cu:p<0.05이하), Fe와 Mn

은 거의 상관을 보이지 않았다. 전체 지하수 중 Al과 중금속 간의 공존(共存)의 일치도는 Zn이 281건으로 50.3%이었고, Cu, Fe, Mn이 95~80건으로 17.0~14.3% 정도의 분포를 보이고 있었다.

3. pH에 의한 옥신-Al의 선택성 실험

pH는 Al의 화합결합형태 및 물 중 Al 용출량에 영향을 미치며 옥신과 중금속간의 착물결합에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다^{17,18)}.

pH 5.8~8.5정도의 일반지하수를 대상으로 옥신법에 준하여 실험시 옥신법에서의 pH 변동은 최종적으로 초산나트륨을 첨가함으로써 약산과 강염기의 염의 pH 평형반응으로서 pH가 약 5~6 수준을 유지하는 것으로 측정되었다.

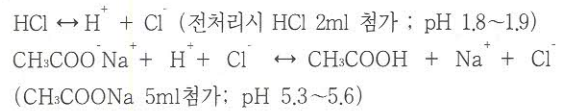


Table 1. Distribution of heavy metals on 559 underground waters in seoul from Jan, 1997 to Nov, 1997.

Metals	Mean ± SD	No. of Detection / MDL	No. of Unfitness / MRL
Zn	0.266 ± 0.587 mg/ l	453 / 0.002mg/ l	32 / 1.0mg/ l
Cu	0.068 ± 0.116 mg/ l	131 / 0.008mg/ l	0 / 1.0mg/ l
Al	0.06 ± 0.05 mg/ l	328 / 0.02mg/ l	3 / 0.2mg/ l
Fe	0.41 ± 0.68 mg/ l	125 / 0.05mg/ l	41 / 0.3mg/ l
Mn	0.235 ± 0.603 mg/ l	147 / 0.005mg/ l	25 / 0.3mg/ l
Pb	1.889 mg/ l	1 / 0.04mg/ l	1 / 0.05mg/ l
Cr ⁺⁶	0.113 mg/ l	1 / 0.02mg/ l	1 / 0.05mg/ l
Cd	-	0 / 0.002mg/ l	0 / 0.002mg/ l
Se	-	0 / 0.005mg/ l	0 / 0.01mg/ l
As	-	0 / 0.005mg/ l	0 / 0.05mg/ l

Table 2. Pearson correlation coefficients of Fe, Cu, Mn and Zn with aluminum on 559 underground waters in Seoul from Jan, 1997 to Nov, 1997.

	Fe	Mn	Zn	Cu
Corr. Coefficients	0.1088	0.1548	0.2994	0.2825
Prob > R , H0	0.2941	0.1474	0.0001	0.0111
No. of Observation	95	89	281	80

옥신법에서 Al정량시 pH에 의한 최적 선택성을 보기 위하여 각 pH 단계별 Al-Oxine 착물의 390nm에서 흡광도를 측정 한 결과는 그림 1, 2 와 같다.

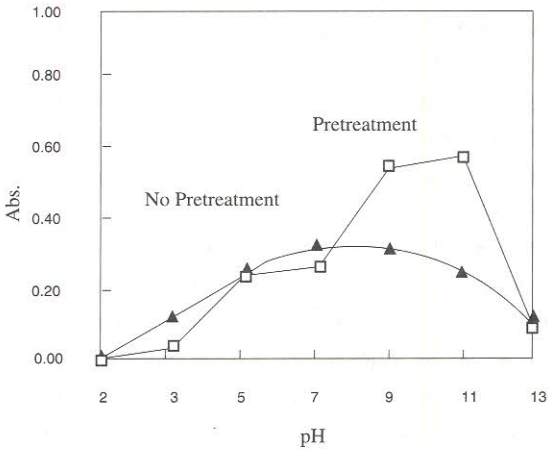


Fig. 1. pH selection of Al on Al sol'n by reagents of pretreatment.

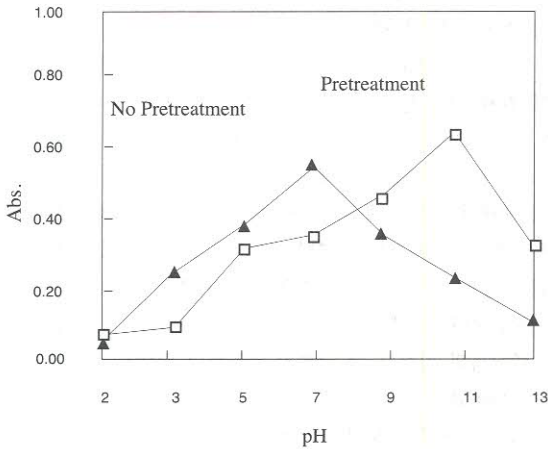


Fig. 2. pH selection of Al on Al sol'n with Cu, Fe, Mn and Zn by reagents of pretreatment

전처리 시약으로서 HCl, NH₃OCl, phenanthroline, sodium acetate를 첨가한 경우의 pH 단계별 흡광도는 그림 1, 2 모두 pH 9~11에서 최대를 보이고 있으나 이때의 높은 흡광도 값은 분석시료의 짙은 적자색 발색에서 기인된 것으로 옥신-Al착물이 갖는 노란색으로 인한 흡광도가 아니었으며, 또 전처리시약이 무첨가 된 경우에는 적자색의 발색이 나타나지 않을 때 이는 전처리시약으로 인한 발색인 것을

알 수 있다.

순수한 Al-옥신 착물만의 pH 단계별로 흡광도를 본 전처리시약 무첨가의 경우들에서 보면 그림 1, 2 모두 pH 7에서 최대의 흡광도를 나타내는 것으로 나타나 1mg/l 농도의 Cu, Zn, Mn, Fe 들의 공존하는 경우와 무 공존시에서 모두 유사한 양상을 나타내었다. 따라서 전처리시의 pH에 의한 발색간섭 영향을 고려할 때 타 중금속의 공존 유무와 관계없이 pH가 5~7 범위일 때가 가장 적합하다고 보며 만일 적자색 발색의 혼입으로 인한 흡광도의 증가는 시료의 높은 pH로 인한 전처리시약에서 기인한 발색일 가능성이 있으므로 pH에 대한 확인이 필요하다고 본다.

4. 공존 중금속의 간섭효과 실험

옥신법에 의한 Al의 분석시 공존하는 중금속들에 의한 간섭영향을 조사하기 위해 Zn, Cu, Mn, Fe를 처리한 후 흡광도를 측정 한 결과는 그림 3, 4와 같다.

그림 3에서 Zn의 경우는 1mg/l의 수준에서도 거의 영향을 받지 않은 것으로 나타났으나 Cu의 경우에는 다소 영향을 받는 것으로 나타나 Cu의 1mg/l 수준에서는 Cu 처리농도의 약 10% 증가를 보였고 Cu의 처리 농도증가에 따른 일정한 흡광도값의 증가양상을 보이고 있어 Cu의 고농도 존재시에는 Cu 간섭의 영향을 고려해야 할 것으로 본다. 그림 4의 Fe와 Mn의 경우 다소 전체 곡선의 상승과 하향이 나타났으나 이는 옥신법의 산첨가 가열전처리시에 Al의 낮은 농도수준에서(0.02~0.05mg/l) Al 표준물질의 검량선이 다소 불안정한 직선성을 보이고 있어 이에 따른 검량선 작성상의 오차에서 기인된 것으로 보여 이를 간과하면 Fe, Mn 이들 두금속에 있어서는 부적기준(MDL:0.3mg/l) 이상인 0.4mg/l까지의 공존에서 별다른 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 혼합 중금속에서의 Al 흡광도 측정값을 그림 3에서 보면 소폭의 증가가 나타나고 있는데 이는 Cu에 의한 영향인 것으로 추정된다. 따라서 옥신법을 이용한 Al정량은 Fe와 Mn의 0.4mg/l, Zn의 1mg/l 량의 공존시에서도 간섭이 나타나지 않았고, 다만 Cu의 경우에 1mg/l 수준에서 다소 영향이 있는 것으로 나타났다. 이상의 Fe, Cu, Zn, Mn의 농도는 모두 먹는물 규격기준 부적농도 이상이므로 부적을 넘지 않은 일반 지하수 중에서 본 옥신법은 Al정량 및 적부 판정시에 공존 중금속에 의한 간섭 영향을 그다지 받지 않는 안정한 것으로 볼 수가 있다.

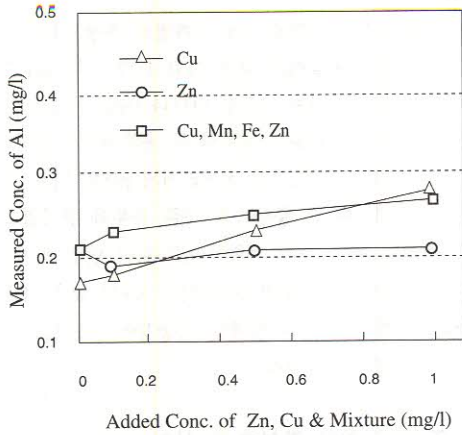


Fig. 3. Measured Conc. of Al(mg/l) by Adding of Zn, Cu and Mixture.

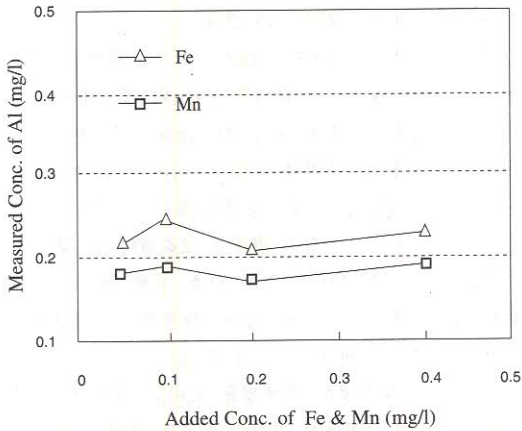


Fig. 4. Measured Conc. of Al(mg/l) by Adding of Fe and Mn.

5. 가열전처리에 의한 중금속 간섭의 차단 효과

육신법상에는 HCl첨가 가열처리후 NH₃OCl을 첨가 냉각하

는 가열전처리단계가 있는데 이 과정의 시행여부에 따라 타 중금속이 함유된 경우 Al의 정량농도에는 차이가 발생하였다. 이 정량 차이분에 대한 타 중금속들의 간섭영향 정도를 보기 위하여 Zn, Fe, Mn, Cu 등 중금속들이 부적이상으로 과량 존재된 지하수 시료 49건을 대상으로 Al의 변동분에 대해 상관분석한 결과인 표 3을 보면 Zn과 Fe에서 0.6~0.5수준의 상관이 나타났고 이중 Zn에서만 유의하게 나타났으며 ($p < 0.001$), Mn과 Cu에서는 상관이 거의 나타나지 않아 이 단계를 생략 함으로서 미치는 정량값의 영향은 Zn의 공존에 따른 것으로 나타났다.

이 가열전처리 단계의 시행 여부에 따라 발생한 Al 측정값의 변동분에 대해 공존하는 Fe, Cu, Mn, Zn 들의 통합 및 개개 영향력의 정도(설명력)를 보기 위하여 이에 대한 Model 식을 $Al = Zn + Fe + Mn + Cu$ 로 설정하고 이를 다중 회귀분석한 결과 이 Model식이 갖는 Al 변동값에 대해 갖는 설명력은 ($r^2 = 0.3827$) 38.27%였다. 이를 stepwise 방법으로 영향력이 낮은 중금속 변수들을 소거한 결과 Zn만이 유의하였는데 ($p < 0.001$), 이때 Zn이 갖는 설명력은 ($r^2 = 0.3434$) 34.34%로 거의 대부분의 Al의 변동분을 설명하고 있어 가열 전처리조작의 시행여부에 따른 Al정량값의 차이는 Zn에 높은 공존량에 의한 영향만이 주요하였다.

육신법에서 HCl첨가 가열처리후 NH₃OCl이 첨가냉각되는 가열전처리조작을 하지 않고 중금속들의 농도 단계별 간섭효과 시험을 시행한 결과가 그림 5와 6 이다. 이를 보면 Al 0.2mg/l의 동일한 농도에 처리한 Fe, Mn, Cu, Zn 모든 금속들에게서 처리한 농도증가에 따라 Al 흡광도 측정값에 대한 간섭량이 증가되는 경향을 보였다. Fe, Cu, Zn에서는 처리농도값의 30~50%의 수준으로 Al 측정값이 증가되는 경향을 보였으나 Mn에서는 증가의 경향이 두드러지지 않았다. 혼합 중금속의 경우는 각 금속의 영향력이 더해진 정도의 증가치로 나타났다.

그림 5, 6에서 보면 가열전처리단계를 생략 할 경우 Cu, Fe, Mn, Zn의 공존 농도량에 비례하여 Al 정량농도값이 모두 증가관계임을 나타냈는데 이는 이 단계의 생략은 타 중금

Table 3. Pearson correlation coefficients of Fe, Cu, Mn and Zn with the differences of Al measurement according to pretreatment of heating with HCl, NH₃OCl.

	Fe	Mn	Zn	Cu
Corr. Coefficients	0.5113	0.1793	0.5860	0.1083
Prob > R H0	0.0741	0.5225	0.0001	0.7248
No. of Observation	13	15	49	13

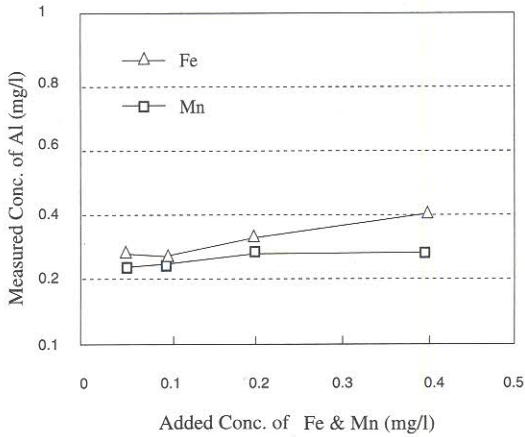


Fig. 5. Distributions of measured Al on 0.2mg/l Al sol'n without heating, HCl and NH₃OCl by adding of Fe and Mn.

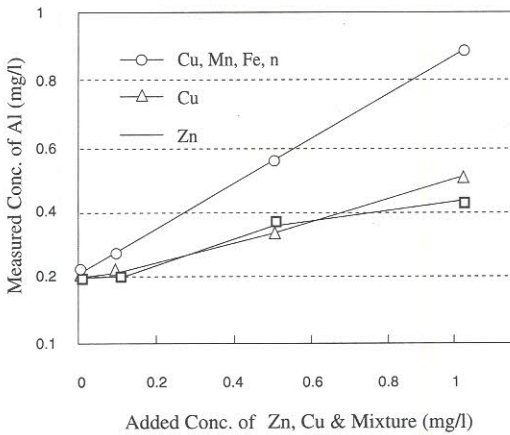


Fig. 6. Distributions of measured Al on 0.2mg/l Al sol'n without heating, HCl and NH₃OCl by adding of Cu, Zn and Mix.

속들이 과량 공존 할 경우 정의오차를 갖게 하는 것으로 먹는 물의 인체안전성을 강화하는 측면이 있고, 또 중금속 등의 부적이상 공유시 Al의 부적합으로 지표될 수도 있어 긍정적인 면이 있다. 따라서 Al의 정확한 농도의 정량의 문제가 아닌 신속한 간이 음용수적부검사를 필요로 할 시에는 가열전처리 조작을 생략하고 측정하므로써 가열과 냉각처리의 소요되는 시간단축 및 가열용 초차로의 이송 및 시약처리의 한 단계의 생략을 기할 수 있어 시간과 비용면에서 효과적일 수 있다고 사료된다. 하지만 하천수와 같이 유기물의 함유가 많은 경

우에는 유기물질리간드와 결합한 Al태에 대한 정량누락을 가져올 수가 있어¹⁹⁾ Al 정량의 감소를 가져올 수 있으므로 이는 지하수 같이 오염되지 않은 순수한 물에 국한된다.

앞의 그림 3, 4에서 옥신법이 Zn, Fe, Mn, Cu에 대하여 안정한 결과를 갖은 것과 비교해 볼 때 HCl첨가 가열처리후 NH₃OCl첨가 냉각과정은 중금속들의 간섭영향제거에 효과적인 것임을 알 수 있다.

결론

1995년 1월부터 국내에서 음용수의 적부기준으로 Al이 신규 포함되어 규제됨에 따라 각 시도 보건환경연구원에서는 이를 옥신법이나 AA법 또는 ICP법을 이용하여 분석해 오고 있는데 우리 연구원에서는 옥신법을 이용하여 Al을 검사해 오고 있다. 본 연구는 '97년 1월부터 11월까지 약 11개월간에 걸친 서울시 지역의 지하수 559건의 수질검사 결과를 통하여 중금속과 Al의 지하수 중 존재분포를 조사하고 Al의 옥신법에 의한 검사시 공존하는 중금속들의 간섭영향의 정도를 규명하여 본 법의 Al 정량시의 안정성을 확보하고 Al 적부판정의 정확도를 높이려는 시도로 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 서울시 지역의 지하수 중 Al과 공존하는 중금속 종류로는 Zn, Cu, Mn, Fe 4종이었고, Al과의 공존비율은 Zn이 50.3%로 가장 높았으며 Cu, Fe, Mn은 17~14.3% 정도로 나타났다.

2. 559건 지하수의 중금속 측정결과를 이용하여 Al과 상관 분석한 결과 Zn과 Cu가 0.3 정도의 낮은 상관을 나타내었고, 고농도의 중금속이 측정된 59건의 시료를 대상으로 HCl과 NH₃OCl이 첨가되는 가열전처리과정의 시행여부에 따라 발생된 Al 측정농도 변동분과의 상관분석에서는 Zn이 0.59, Fe가 0.51로 다소 높았는데 Zn만이 유의하였고(p<0.001), 이 변동분에 대한 각 금속들의 총 기여도는 38.3%였는데 Zn이 34.3%를 차지하고 있어 (p<0.0001) 가장 큰 영향력을 보이고 있었다.

3. pH에 의한 옥신법에서의 Al정량의 선택성은 전처리를 할 경우 짙은 적자색의 발색이 pH9~11범위에서 일어나 pH 5~7 범위가 최적인 것으로 나타났고, 이것은 1mg/l의 Zn, Cu, Fe, Mn의 혼합공존시에서도 유사한 결과로 나타났다.

4. HCl과 NH₃OCl이 첨가되는 가열 전처리과정을 생략할 경우 Fe, Cu, Zn은 처리 농도의 30~50%의 증가의 경향이 나타났으나 Mn에서는 증가 경향이 두드러지지 않았다.

5. 공존 중금속들에 의한 옥신법 Al정량의 간섭효과는 Cu 를 1mg/l 처리시 다소 영향을 받는 것으로 나타났으나(Cu 처리농도의 약 10%증가), Fe과 Mn에서는 0.4mg/l 수준에서도 별다른 영향을 받지 않았고, Zn에서는 1mg/l 까지도 영향을 받지 않는 것으로 나타나 음용지하수 중의 Al 분석법-옥신법은 부적을 넘지 않은 중금속들의 공존시에는 안정한 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

- Samuel, D. F. and Osman, M. A. : Chemistry of natural water. Butterworth press, USA, 10(1981).
- 이선우 : 우리나라 주요하천의 Al 현황 및 정수대책. 한국수자원공사. 수도, 22(3):73(1995).
- 박석기, 안승구, 엄석원: 해설 먹는물의 수질관리, 제1판. 동화기술, 서울, p.189(1996).
- 보건사회부 : 음용수 수질관리지침서. 일지문화사, 서울, p.456(1990).
- 환경부 : 먹는물 수질기준 및 검사등에 관한 규칙. 1995.
- WPCF, APHA and AWWA : Standard methods for the examination of water and waste-water, 17th Ed., USA, 3-63(1989).
- Boudot and Jean-Pierre : Validation of an operational procedure for aluminium speciation in soil solutions and surface waters. Sci.Total Environ. 158:237(1994).
- Takahashi, Hiroyuki and Kamiguchi, Hiroyuki : Some methods for the analysis of aluminum in water. Osaka-shi Suidokyoku Suishitsu Shikensho Chosa Kenkyu narabini Shiken Seiseki. 47:61(1996).
- 일본수도협회 : 상수시험방법, p.381(1985).
- 일본약학협회편 : 위생시험법주해. 금원출판주식회사, 東京, p.1150(1995).
- Seip, H. M., Muller, L. and Naas, A. : Aluminium speciation : Comparison of spectrophotometric analytical methods and observed concentrations in some acidic aquatic systems in southern Norway. Water Air Soil Pollut. 23:81(1984).
- Paul, M. B. and Michael A. A.: Speciation of aluminum in aqueous solutions using ion chromatography. Anal. Chem. 61:539(1989).
- Clarke, N. and Danieleson, L. G. : The determination of quickly reacting aluminium in natural waters by kinetic discrimination in a flow system. Int. J. Environ. Anal. Chem. 48:77(1992).
- Berden, M. and Clarke, N.: Aluminium speciation: variations caused by the choice of analytical method and by sample storage. Water Air Soil Pollut. 72:213(1994).
- Hasan, B. A., Khalaf, K. D., Morales-Rubio, A. and Guardia, M. : FIA - spectro photometric determination of 8-hydroxyquinoline with p-aminophenol. Fresenius' J. Anal. Chem. 354:216(1996).
- Sakla, A. B., Bishara, S. W. and Hassan, R. A. : Microdetermination of metals in organometallic compounds by the oxine method after closed flask combustion. Anal. Chim. Acta. 73:209(1974).
- Charles, T. D. : A procedure for fraction of aqueous aluminum in dilute acidic-water. Intern. j. Environ. Anal. Chem. 16:267(1984).
- Andren, C. : Aluminium speciation : Effects of sample storage. Water Air Soil Pollut. 85:811(1995).
- Tam, S. C. : Simulated acid rain and the importance of organic ligands on the availability of aluminum in soil. Water Air Soil Pollut. 36:193(1987).