

정수처리 공정별 비소 종(III, V)별 분포 및 거동

Distribution and Behavior of the Arsenic(III, V) through the Water Treatment Process

정관조, 김현희, 정의선, 김덕찬, 유재훈, 박현, 한선희

Jeong, Gwanjo · Kim, Dokchan · Jeong, Euisun · Kim, Hyunhee ·
Yoo, Jaehun · Park, Hyeon · Han, Sunhee

서울시 상수도연구소

1. 서론

비소 종 분리 방법으로는 high-performance liquid chromatography(HPLC)를 이용하여 비소 종을 분리한 후 hydride generation atomic absorption spectrometry(HG-AAS), hydride generation atomic fluorescence spectrometry(HG-AFS) 및 inductively coupled plasma mass spectrometry(ICP-MS)로 정량하는 분석방법이 시도되고 있다. HPLC를 이용한 비소 종 분리는 복잡한 유도체화 과정 없이 직접 비소 종을 분리할 수 있는 매우 우수한 방법으로 알려져 있다. 그러나 매질의 간섭에 대한 검출한계 및 분석 감도는 HPLC에 연결된 검출기에 따라 크게 달라진다. 여러 검출기 중 HG-AFS와 HG-AAS를 이용한 비소 검출은 수소화물 발생에 의해 매질로부터 비소를 분리하여 분석하는 방법으로 낮은 비용과 우수한 분석 감도를 나타내는 것으로 알려져 있다. 그러나 이 분석 방법은 시료 중에 유기물질이 존재할 경우, 수소화물 발생장치의 기·액 분리기에서 많은 거품이 발생되어 분석이 불가능하다. 따라서 기포제거제 첨가와 같은 처리과정을 위한 시간을 요하므로 빠른 분석을 요하는 일상적인 시료 분석에는 적합하지 않는 것으로 보고되고 있다. 최근 많이 사용되고 있는 ICP-MS는 고가의 장비이기는 하나 HPLC와의 연결이 간편하고 분석이 빠르며 매우 우수한 분석 감도를 가지고 있어 비소 종 분류 시 여러 연구자들에 의해 생물, 환경 등 다양한 시료분석에 자주 이용되는 유용한 방법으로 보고되고 있다.¹ 그러나 이 분석방법은 시료 중에 Cl성분이 함유된 경우, ^{75}As 측정에 주요한 간섭을 일으키는 분자 이온인 $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ 를 생성시켜 낮은 농도에서 비소 정량을 방해한다. 이에 최근에는 ICP-MS에서의 질량 위치, $m/z=75$ 에서의 매질에 의한 간섭을 제거하기 위한 유효한 방법으로 dynamic reaction cell(DRC)에 반응기체로 암모니아(NH_3)를 도입하여 $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ 를 $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}$ 로 환원하여 제거하는 DRC-ICP-MS 검출방법이 시도되고 있다. 그러나 이 분석방법은 $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ 의 제거는 우수하나 감도가 낮아 $\mu\text{g/L}$ 이하의 낮은 농도 비소 정량에는 적합하지 않다. 이것은 반응가스로 사용된 암모니아가 $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ 뿐만 아니라 As^+ 와도 반응하여 환원 제거하기 때문이라 판단된다.

이에 본 연구에서는 비소 중 분석에서 $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$, $^{40}\text{Ca}^{35}\text{Cl}^+$ 로 인한 간섭의 영향 없이 낮은 농도의 비소 중을 간편하고 빠르게 측정하기 위한 새로운 HPLC-ICP-DRCMS 검출방법을 시도하였다. 즉, HPLC를 이용하여 비소 중을 분리하였으며 ICP-MS의 dynamic reaction cell에 반응기체로 산소(O_2)를 도입하여 플라즈마 기체 내부에서 생성된 비소이온(As^+)과 반응시켜 AsO^+ 를 형성, $m/z=91$ 을 ICP-MS로 검출하였다. 위의 분석방법으로 서울시 6개 정수장 공정별(원수, 응집수, 침전수, 여과수, 정수)로 채취한 시료를 대상으로 총 비소와 형태별 중 분류를 실시하여 서울 시민이 음용하는 한강·팔당 상수원수계 내의 비소 분포 및 특성을 조사하고, 6개 정수장 공정별, 즉, 응집, 침전, 여과, 소독의 정수처리과정에서 비소 중별 거동 및 제거 특성을 검토하여 서울시 상수원수와 수돗물에 대해 안전성을 평가하고자 했다. 또한, 수질환경보전과 관련하여 분석 수준의 미속으로 중별 기준 설정이 불가능했으나 이후 비소에 의한 발암성과 유전적 독성으로 비소에 대해 총량적 규제가 아닌 중(species)별 엄격한 기준치 설정에 대비하고자 실시했다.

2. 실험방법

2.1 분석조건

비소 중 분류 분석을 위해 HPLC는 PerkinElmer Series 200 Quaternary Pump와 Hamilton PRP-X100(anion-exchange, 4.1 mm × 150 mm, 5 μm) 컬럼을 장착한 PerkinElmer Series 200 autosampler를 사용하였다.

이동상으로는 10 mM ammonium nitrate와 10 mM ammonium phosphate를 사용했으며 ammonium hydroxide를 이용하여 pH 9.4로 조절하였다. HPLC의 운전조건은 Table 1에 나타내었다. 비소 검출기로 사용된 ICP-MS는 HPLC와 연결하기 전에 비소 표준용액에 대해 ICP-MS를 최적화했으며 컬럼과 nebulizer는 PEEK tubing(0.25 mm i.d.)을 사용하여 연결하였다.

2.2 시약

비소 표준물질은 Spex(Metuchen, NJ, USA)사 1000 mg/L As, 1000 mg/L As(III), 1000 mg/L As(V)를 구매하여 사용하였다.

이동상 조제에 사용된 ammonium nitrate와 ammonium phosphate의 pH 조절에 사용된 ammonium hydroxide는 sigma-aldrich(Steinheim, Germany)사 시약을 구매하여 사용하였다. Flushing solvent로 사용된 methanol은 Burdick & Jackson(Muskegon, MI, USA)사 HPLC-grade methanol를 사용하였으며 시료 전처리에 사용된 질산과 염산은 Eco-research(UP-10N, UP-10H, Korea)사 class-8을 사용하였다.

Table 1. Operating conditions for chromatographic system

Parameter	Setting
Column	Anion exchange, Hamilton PRP-X100, 4.1 × 150 mm, 5 μm
Column temperature	Ambient
Isocratic mobile phase	10 mM ammonium nitrate and 10 mM ammonium phosphate(monobasic); pH 9.4
Injection volume	100 μL
Flow rate	1.5 mL/min
Autosampler flushing solvent	5% v/v methanol
Detection	PerkinElmer/SCIEX ELAN DRC II ICP-MS
Total analysis time	4 min

2.3 이동상(mobile phase)

비소 중 분류를 위한 이동상으로는 10 mM ammonium nitrate와 10 mM ammonium phosphate monobasic을 혼합하여 단일이동상(isocratic mobile phase)으로 사용하였다.

Ammonium nitrate와 ammonium phosphate를 탈이온수에 녹인 후 ammonium hydroxide(1:1)을 이용하여 pH를 9.4로 조절하였다. Flushing solvent는 HPLC급 methanol를 탈이온수에 희석하여 조제한 5% v/v MeOH를 사용하였다.

2.4 비소 중(III, V) 분석 반응기체(O₂)의 최적화

HPLC와 ICP-MS를 결합한 하나의 on-line 프로그램인 TotalChrom 프로그램을 이용하여 비소 중 분류 시 반응기체의 최적조건을 설정하고자 했다.

표준물질로는 Spex사 1000 mg/L As(III)와 1000 mg/L As(V)를 탈이온수에 혼합하여 조제한 비소 혼합표준용액 3 μg/L을 사용하였다. Hamilton PRP-X100 anion-exchange HPLC 컬럼을 이용하여 As(III)와 As(V)를 체류시간에 따라 분리한 후 컬럼과 ICP-MS nebulizer를 연결하는 peek tubing을 통하여 분리된 이온이 ICP-MS의 플라즈마에 유입되며 As(III)와 As(V) 모두 플라즈마 내부에서 As⁺로 이온화된다. 이온화 된 비소는 DRC에 주입된 반응기체(O₂)와 반응하여 AsO⁺로 변형되며 ICP-MS 검출기에서 m/z=91로 검출된다.

탈이온수가 아닌 이동상(10 mM ammonium nitrate + 10 mM ammonium phosphate)중의 비소 측정 시 반응기체의 최적조건을 설정하기 위해 산소를 0.1~1.0 mL/min 변화시켜 시험을 실시하였다. 다음 Fig. 1은 반응기체의 주입량에 따른 As(III)와 As(V)의 분석 크로마토그램을 나타낸 것이다

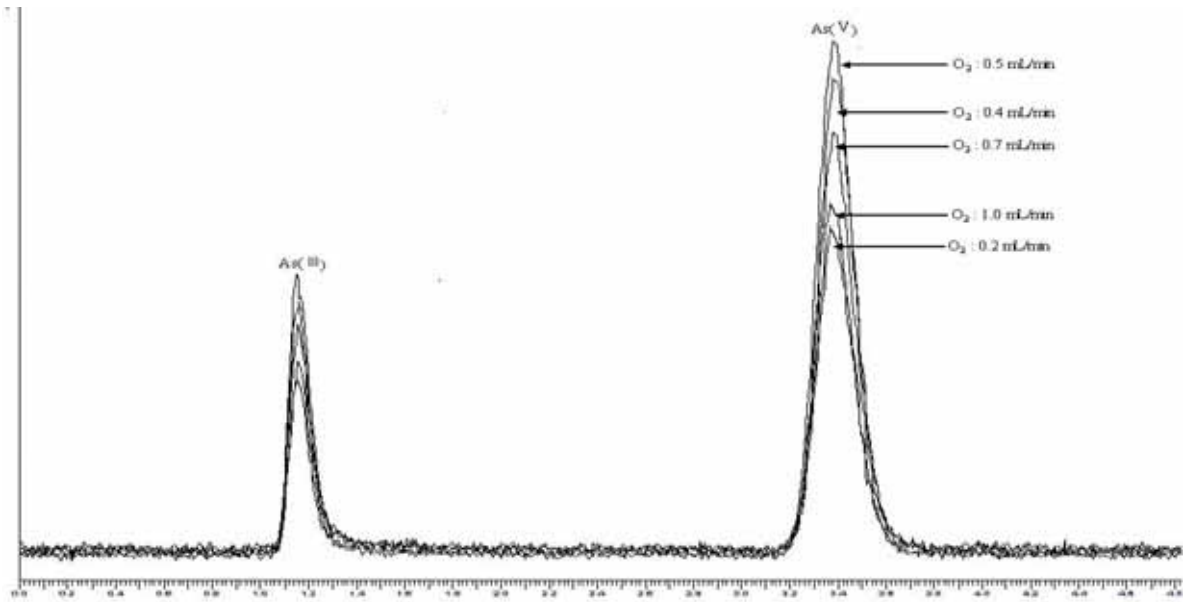
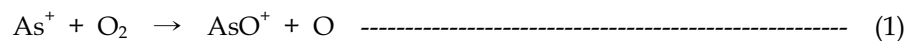
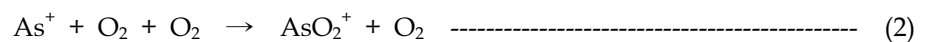


Fig. 1. Chromatograms of arsenic speciation with different flow rate of reaction gas(3 $\mu\text{g/L}$ standard solution).

Fig. 1에 나타낸 크로마토그램은 HPLC-ICP-DRCMS의 TotalChrom 프로그램을 이용하여 반응기체 주입량 변화에 따라 측정된 각각의 크로마토그램을 동일한 scale로 overlap한 크로마토그램이다. Fig. 1에서 보듯이 반응기체로 산소를 0.1~1.0 mL/min 변화시켜 시험한 결과, 모두 우수한 바탕값과 분리도를 나타냈다. 특히 반응기체를 0.5 mL/min 유속으로 주입 할 때 이동상 중의 비소가 산소와 반응하여 최대의 AsO^+ 가 생성됨을 관찰할 수 있었으며 DRC에서 반응식(1)과 같이 비소이온과 산소가 반응하기 위한 가장 적절한 조건임을 알 수 있었다.



그러나 반응기체의 주입량이 0.4 mL/min 이하인 경우, 비소이온과 산소의 반응이 충분하지 못해 분석 감도가 낮게 나타났으며, 0.6 mL/min 이상일 경우에도 위의 반응식 (2)와 같이 DRC에서 비소와 과량의 산소가 반응하여 더욱 산화된 생성물이 생성되어 분석 감도가 낮아짐을 알 수 있었다.



따라서 DRC에서의 AsO^+ 최적 생성조건은 바탕시료로 탈이온수와 이동상(10 mM AN + 10 mM AP)을 사용한 경우, 모두 반응기체를 0.5 mL/min 유속으로 주입할 때 우수한 바탕값과 분리도를 나타냈으며 DRC에서 최대의 AsO^+ 가 생성되기 위한 가장 적절한 조건임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 비소 중 분류 시 산소의 주입량을 0.5 mL/min로 주입하여 비소를 분석하였다.

2.5 시료 채취

분석 시료는 2005. 9~2006. 9까지 1년 동안 분기별(12, 4, 8)로 3회 걸쳐 서울시 6개 정수장 공정별로 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 전처리 과정 후 ICP-DRCMS를 이용하여 총 비소 농도를 측정하였고, HPLC-ICP-DRCMS를 이용하여 비소 형태별 종을 분석하여 서울시 상수원수계에서의 비소 분포와 6개 정수장 공정별(응집, 침전, 여과, 소독) 정수처리과정에서 비소 종별 거동 및 제거 특성을 검토하여 서울시 상수원수와 수돗물에 대해 안전성을 평가하고자 했다.

2.6 시료 전처리

총 비소 측정을 위해 채취한 시료는 100 mL Teflon 용기에 시료 30 mL를 취하고 질산 3.0 mL 가하여 밀폐시킨 후 microwave digester를 이용하여 무색의 깨끗한 용액이 될 때까지 처리하였다. 또한 비소 종 분석을 위해 채취된 시료는 산 처리 없이 0.45 μm membrane filter를 이용하여 여과한 후 분석하였다.

2.7 비소 종별 검정곡선 작성

비소 종 분류 분석을 위한 검정곡선 작성을 위해 Spex사 1,000 mg/L As(III), As(V) 표준물질을 탈이온수에 단계별로 희석하여 0.10, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 및 9.0 $\mu\text{g/L}$ 표준용액을 조제하였다. 조제된 표준용액은 HPLC에 주입되며 음이온교환 컬럼을 통하여 As(III)와 As(V)로 체류시간에 따라 분리한 후 컬럼과 ICP-MS nebulizer를 연결하는 peek tubing을 통하여 분리된 이온과 이동상이 ICP-MS의 플라즈마에 유입되며 As(III)와 As(V) 모두 플라즈마 내부에서 As^+ 로 이온화된다. 이온화 된 비소는 DRC에 주입된 반응기체(O_2)와 반응하여 AsO^+ 로 변형되며 ICP-MS 검출기에서 $m/z=91$ 로 검출된다.

시험결과, 검정곡선은 As(III)와 As(V)에 대해 모두 $r^2=0.998$ 이상의 우수한 직선성을 나타냈으며 다음 Table 2와 같이 As(III)에 대해 검출한계 0.10 $\mu\text{g/L}$, 정확도(RSD)는 4.3%, 회수율은 95%로 나타났으며, As(V)에 대해 검출한계 0.08 $\mu\text{g/L}$, 정확도(RSD)는 3.6%, 회수율은 96%로 나타났다.

Table 2. Analytical characteristics of methods for the determination of As(III) and As(V) by HPLC-ICP-DRCMS using oxygen

	As(III)	As(V)
Detection limits/ μgL^{-1} , AsO^{a}	0.10	0.08
Precision (RSD%) ^b	4.3%	3.6%
Recovery (%) ^c	95.2% [0.22, 0.50]	96.4% [0.69, 0.50]

^aCalculated as three times the background standard deviation and based on the peak area corresponding to 0.5 μgL^{-1} As as arsenite and arsenate, respectively. ^bCalculated based on the peak area corresponding to 0.7 μgL^{-1} As as arsenite and arsenate, respectively($n=7$). ^cPercentage recoveries expressed as mean \pm s from three independent analysis. Values in brackets are the inorganic arsenic concentration of the unspiked samples and concentration of added species in μgL^{-1} .

3. 결과 및 토론

3.1 정수처리 공정별 비소 함량

서울시 6개 정수장 공정별로 채취한 시료 중에 존재하는 총 비소와 종별 분포를 조사한 결과, 6개 취수원수 중에 존재하는 비소의 약 90%가 As(V)의 형태로 존재하는 것을 확인하였으며 정수처리 공정, 즉 응집, 침전, 여과, 소독공정에서의 비소 함량의 약 91%가 As(V)의 형태로 존재하는 것으로 나타났다.

비소는 원수에서 0.66~0.88 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.77 $\mu\text{g/L}$), 응집수에서 0.18~0.40 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.29 $\mu\text{g/L}$), 침전수에서 0.12~0.23 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.17 $\mu\text{g/L}$), 여과수에서 0.11~0.17 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.13 $\mu\text{g/L}$), 정수에서 0.11~0.15 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.13 $\mu\text{g/L}$)의 범위로 나타났다. 응집, 침전, 여과, 소독공정을 거치면서 원수에 함유되어 있는 비소의 약 83%가 침전되어 제거되는 것으로 나타났다.

비소 종별 분포를 조사한 결과, As(V)의 경우, 원수에서 0.60~0.79 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.70 $\mu\text{g/L}$), 응집수에서 0.15~0.39 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.26 $\mu\text{g/L}$), 침전수에서 0.11~0.23 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.15 $\mu\text{g/L}$), 여과수에서 0.10~0.16 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.12 $\mu\text{g/L}$), 정수에서 0.10~0.15 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.12 $\mu\text{g/L}$)의 범위로 나타났다. As(III)는 모두 시료에서 검출한계 0.10 $\mu\text{g/L}$ 이하로 불검출 되었다. As(V)는 응집, 침전, 여과, 소독공정을 거치면서 원수에 함유되어 있는 As(V)의 약 82%가 침전되어 제거됨을 알 수 있었다.

3.2 정수처리 공정별 비소 거동

Fig. 2에 서울시 6개 정수장 공정별 비소 분포 및 제거 특성을 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 6개 정수장 모두 응집, 침전, 여과, 소독공정 중 응집공정에서 비소의 침전 제거율이 가장 높게 나타났다.

공정별 평균 비소 농도는 원수 0.70 $\mu\text{g/L}$, 응집수 0.26 $\mu\text{g/L}$, 침전수 0.15 $\mu\text{g/L}$, 여과수 0.12 $\mu\text{g/L}$, 정수 0.12 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다. 여과공정 이후의 비소 농도는 최대 0.15 $\mu\text{g/L}$ 이하의 낮은 수준으로 이것은 우리나라의 먹는물 수질기준 50 $\mu\text{g/L}$ 보다 훨씬 낮은 함량이며 EPA와 WHO의 기준인 10 $\mu\text{g/L}$ 에 대해서도 약 1/70 수준으로 매우 낮은 농도로 검출됨을 확인하였다. 그러나 비소에 대한 EPA의 MCLG가 “0”으로 설정되어 있고 비소에 대한 독성과 발암성을 고려할 때 비소 제거를 위한 상수도 정수처리 기술개발 등 수질개선에 대한 대책이 요구된다.

원수 대비 공정별 평균 비소 제거율을 응집공정에서 62%, 침전공정에서 15%, 여과공정에서 5%, 소독공정에서 0.5% 제거율로 응집·침전공정에서 약 77%가 제거되었으며 약 6%가 여과·소독공정에서 제거됨 알 수 있었다.

또한 시료 채취 시 6개 정수장 정수의 잔류염소 평균 농도는 0.73~0.94 mg/L이고 정수약품(polyaluminiumchloride, PACl) 주입량은 7.6~28.0 mg/L, 분말활성탄(powdered activated carbon, PAC)은 3~5 mg/L의 범위로 주입되었다. 각 정수장별 활성탄 투입량과 비소 제거율 사이의 상관관계를 고려해 볼 때 활성탄 주입 농도 5 mg/L 처리까지는 비소 제거율 사이에 유의한 상관관계를 나타내지 않았다.

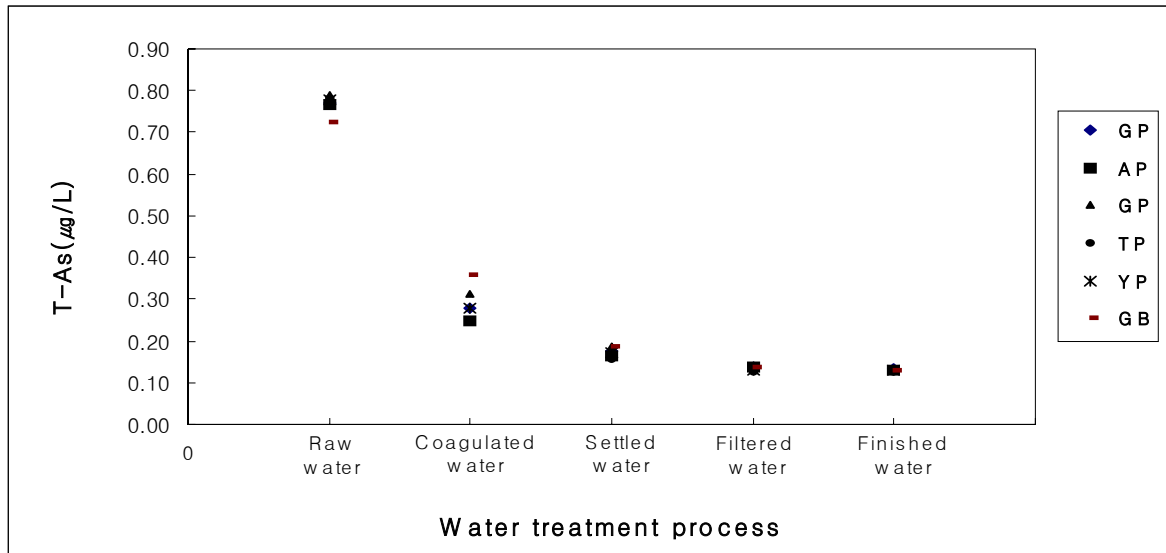


Fig. 2. Total arsenic concentration from individual water treatment process.

(GP : Gwangam water treatment plant, AP : Amsa water treatment plant, GP : Guui water treatment plant, TP : Ttukdo water treatment plant, YP : Yeongdeungpo water treatment plant, GB : Gangbuk water treatment plant)

3.3 정수처리 공정별 비소 종별 분포 및 제거 특성

서울시 6개 정수장 공정별 비소 종별 분포를 조사한 결과, 비소는 주로 As(V)의 형태를 이루고 있었으며 As(III)는 대부분 검출한계 0.10 µg/L 이하로 미량 존재하는 것으로 나타났다.

Fig. 3에 서울시 6개 정수장 공정별로 As(V) 농도를 나타내었다. 그림에서 보듯이 6개 정수장 모두 응집, 침전, 여과, 소독공정 중 응집공정에서 As(V)의 침전 제거율이 가장 높게 나타남을 알 수 있었다.

공정별 평균 비소(V) 농도는 원수 0.70 µg/L, 응집수 0.26 µg/L, 침전수 0.15 µg/L, 여과수 0.12 µg/L, 정수 0.12 µg/L로 나타났다. 여과공정 이후의 비소 농도는 최대 0.15 µg/L 이하의 낮은 수준으로 이것은 우리나라의 먹는물 수질기준 50 µg/L 보다는 훨씬 낮은 함량이며 EPA와 WHO의 기준인 10 µg/L에 비해서도 약 1/70 수준으로 매우 낮은 농도로 검출됨을 알 수 있었다. 그러나 비소에 대한 EPA의 MCLG가 “0”으로 설정되어 있고 비소에 대한 독성과 발암성을 고려할 때 수질개선에 대한 대책이 요구된다.

원수 대비 공정별 평균 비소(V) 제거율을 응집공정에서 63%, 침전공정에서 15%, 여과공정에서 4%, 소독공정에서 0%의 제거율로 응집·침전공정에서 78%가 제거되었으며 4%가 여과에서 제거됨 알 수 있었다.

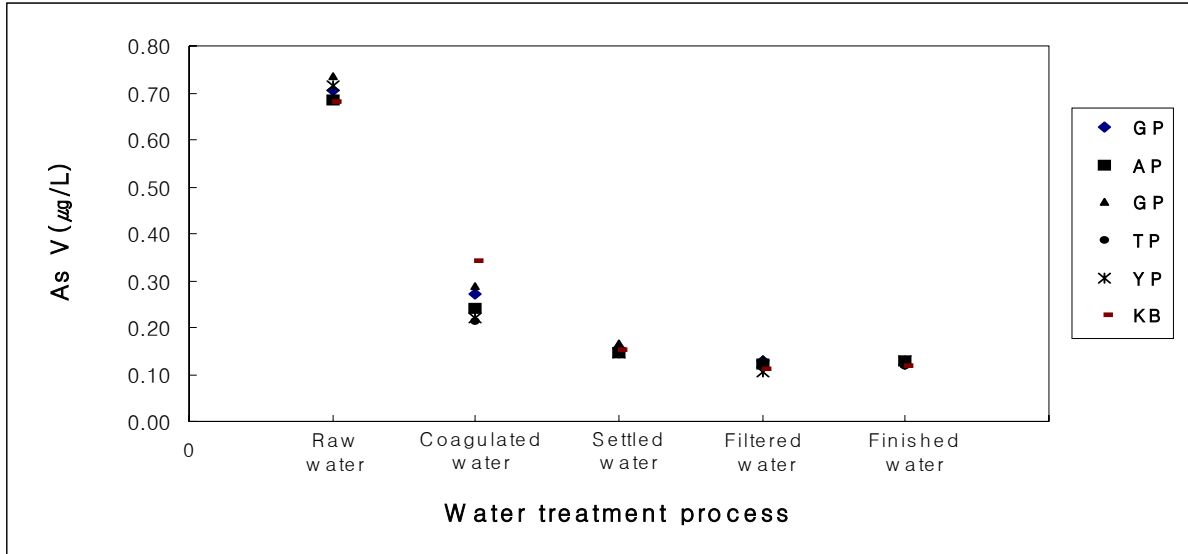


Fig. 3. As(V) concentration from individual water treatment process.

(GP : Gwangam water treatment plant, AP : Amsa water treatment plant, GP : Guui water treatment plant, TP : Ttukdo water treatment plant, YP : Yeongdeungpo water treatment plant, GB : Gangbuk water treatment plant)

4. 결론

HPLC를 이용하여 비소 종을 체류시간에 따라 분리한 후 peek tubing을 통하여 분리된 이온을 ICP-DRCMS 플라즈마에 주입하며 반응기체를 DRC에 주입하여 플라즈마에서 생성된 간섭물질을 제거하거나 다른 화학종을 형성하여 비소를 정량화 했다. 위의 분석방법으로 서울시 6개 정수장 공정별로 채취한 시료를 대상으로 총 비소 및 형태별 종 분류를 실시하여 서울시 상수원수계에서의 비소 분포 및 특성을 조사하고, 6개 정수장 정수처리 공정별 비소 종별 거동 및 제거 특성을 고찰한 결과는 다음과 같다.

- 1) 서울시 6개 취수원수 중에 존재하는 비소의 약 90%가 As(V)의 형태로 존재하는 것을 확인 하였으며, 정수처리 공정별, 응집, 침전, 여과, 소독공정에서의 총 비소 함량의 약 91%가 As(V)의 형태로 존재하였다.
- 2) 원수에서 0.66~0.88 µg/L(평균 0.77 µg/L), 응집수에서 0.18~0.40 µg/L(평균 0.29 µg/L), 침전수에서 0.12~0.23 µg/L(평균 0.17 µg/L), 여과수에서 0.11~0.17 µg/L(평균 0.13 µg/L), 정수에서 0.11~0.15 µg/L(평균 0.13 µg/L)의 범위로 나타났다. 응집, 침전, 여과, 소독공정을 거치면서 원수에 함유되어 있는 비소의 약 83%가 침전되어 제거되는 것으로 나타났으며, 응집·침전공정에서 약 77%가 제거되었고 6%가 여과·소독공정에서 제거될 알 수 있었다.
- 3) 비소 종별 분포를 조사한 결과, As(V)의 경우 원수에서 0.60~0.79 µg/L(평균 0.70 µg/L), 응집수에서 0.15~0.39 µg/L(평균 0.26 µg/L), 침전수에서 0.11~0.23 µg/L(평균 0.15 µg/L), 여과수에서 0.10~0.16 µg/L(평균 0.12 µg/L), 정수에서 0.10~0.15 µg/L(평균 0.12 µg/L)의 범

위로 나타났다. As(III)는 모두 시료에서 검출한계 0.10 $\mu\text{g/L}$ 이하로 미량 존재하는 것으로 나타났다.

- 4) As(V)의 경우, 정수처리 공정별 원수 대비 평균 제거율은 응집공정에서 63%, 침전공정에서 15%, 여과공정에서 4%, 소독공정에서 0%의 제거율로 응집·침전공정에서 78%가 제거되었으며 4%가 여과에서 제거됨 알 수 있었다.

물속의 비소는 pH 7 부근에서 H_2AsO_3^- , H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} 형태로 그 표면에 (-)전하를 띠며 콜로이드 입자 등 입자 상호 (-)전하 때문에 입자가 접근하여도 서로 반발하면서 안정된 분산상태로 수중에 존재하며, 정수처리과정에서 (+)전하를 띠는 응집제에 의해 중화되어 수중의 콜로이드 입자 등 다양한 입자 상호간에 van der waals 인력에 의하여 전기적 반발력을 상실한 입자가 상호 접촉, 인력에 의해 결합하여 침전지에서 제거 가능한 무거운 입자를 형성하여 침전제거 된다.

한강·팔당수계에서의 비소 분포 및 정수처리 공정별 거동 특성을 고찰한 결과, 비소 종별 분포는 As(III)보다 주로 As(V)의 형태로 존재하는 것으로 나타났다. 비록 검출 농도가 EPA와 WHO의 기준인 10 $\mu\text{g/L}$ 에 비해서도 훨씬 못 미치는 수준으로 미량 검출되었으나 비소에 대한 EPA의 MCLG가 “0”으로 설정되어 있고 비소에 대한 독성과 발암성을 고려할 때 비소 제거를 위한 상수도 정수처리 기술개발 등 수질개선에 대한 지속적인 연구가 필요시 된다.

참고문헌

1. Gurleyuk, H., and Wallschlager. D., “Determination of chromium(III) and chromium(VI) using suppressed ion chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry,” *J. Anal. At. Spectrom.*, **16**, 926~930(2001).
2. Richardson, S. D., and Ternes, T. A., “Emerging contaminants and current Issues,” *Anal. Chem.*, **77**, 3807-3838(2005).
3. Skonieczny, R. F., and Kiefer, H., “Part II, Analytical Chemistry of Inorganic and Organic Compound,” Wiley interscience, New York, **10**, 205(1987).
4. Kumaresan, M., and Riyazuddin, P., “Overview of speciation chemistry of arsenic,” *Current Science*, **80**, 837-846(2001).
5. Nakazkto, T., Yaniguchi, T., Tao, H., Tominaga, M., and Miyazaki, A., “Ion-exclusion chromatography combined with ICP-MS and hydride generation-ICP-MS for the determination of arsenic species in biological matrices” *J. Anal. At. Spectrom.* 2000, **15**, 1546.