

## 수돗물 병입수 중 PET병에서 안티몬의 용출 특성

안경희 · 박주현<sup>†</sup> · 김현구<sup>1</sup> · 이연희 · 권오상

국립환경과학원 상하수도연구과, <sup>1</sup>국립환경과학원 토양지하수연구과

### Characteristics of Antimony Contamination from PET of Bottled Tap Water

Kyung-Hee Ahn, Ju-Hyun Park<sup>†</sup>, Hyun-Koo Kim<sup>1</sup>, Youn-Hee Lee, and Oh-Sang Kwon

*Environmental Infrastructure Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea*

<sup>1</sup>*Soil & Groundwater Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea*

Received July 30, 2012/Revised September 12, 2012/Accepted September 30, 2012

Drinking water treatment plants (DWTPs) have produced the bottled tap waters (BTWs) for noncommercial use. In this study, pH and antimony concentration in seven BTWs of different storage periods, temperature and container materials were investigated. Antimony was detected with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP/MS). As a result, antimony did not exceed the drinking water standard of Korea in all samples. Because antimony was leached from the PET bottle and high temperature promoted its leaching, it was recommended to avoid the exposure to sunlight or high temperature during distribution and storage. In order to consider the commercialization of BTW, a comprehensive management plan covering from production to shelf life should be established.

**Key words:** Bottled tap water, Antimony, Drinking water, PET

#### 1. 서 론

우리나라 수돗물은 시스템화 된 생산 공정과 철저한 수질검사를 통해 생산·공급되는 안전하고 깨끗한 품질임에도 불구하고, 수돗물 이용률은 크게 개선되고 있지 않다. 최근 환경부(2011)에서 실시한 '식수이용에 대한 국민의식조사'<sup>1)</sup>에 의하면 수돗물을 끓이거나 그대로 마시는 비율은 55%로 전년 대비 0.4% 상승에 그치고 있다. 수돗물 이용을 꺼리게 되는 주된 이유는 막연한 불안감(30.2%), 맛·냄새(18.1%), 녹물(17.7%) 등으로 나타나 품질자체 보다는 심리적 요인이 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 수돗물에 대한 심미적 불안감으로 배·급수관에서의 구리와 납 등 2차오염에 대한 관심 또한 증가하고 있다.<sup>2-8)</sup>

국내 수도사업자인 특·광역시 등 지자체 및 한국수자원공사에서는 수돗물에 대한 불안감 해소와 부정적인 이미지 개선을 위해 2000년대 초부터 수돗물을 PET(Polyethylenetetraphthalate)병에 병입하여 각자의 브랜드를 만들어 생산·유통하고 있으며, 주로 공공기관이 주재하는 주요행사 및 비상급수용으로 무상공급하고 있다.

우리나라와는 달리 외국에서는 이미 오랜 전 수돗물 병입수 시장이 보편화 되었으며, 미국의 경우 다국적 기업인 펩시콜라와 코카콜라가 수돗물 병입수 시장을 주도하고 있다. 2006년 이 두 기업의 수돗물 병입수 총 매출액은 40.6억 달러로 미국 전체 먹는샘물 시장 매출액의 13%에 달하는 것으로 조사되었다.<sup>10)</sup> 일본의 경우는 수돗물의 안전성을 홍보하고 재해지역의 구호

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: soyang@korea.kr

물자 공급을 위해 생산을 시작한 후 현재는 50여개 시와 수도사업단에서 개당 100~120엔(500 mL 기준)에 판매하고 있다.<sup>10)</sup>

정부에서는 수돗물 병입수를 통한 물산업 육성을 위해 외국과 같이 유상판매 허용을 위한 입법화를 추진하고 있으며, 향후 유상판매가 허용될 경우 기존의 먹는샘물 및 해양심층수 등과 경쟁이 불가피해질 것으로 예상된다.<sup>9)</sup>

한편 국내 수돗물 병입수의 유상판매 입법화 추진과정에서 PET 용기에 기인한 유해물질의 검출 등 안전성 문제 등이 제기되었으며, 국외 수돗물 병입수에서 안티몬(Antimony, Sb) 및 알데히드류 등 미량유해물질이 검출된다는 연구결과가 확인되면서 수돗물 병입수의 안전성 논란은 계속되고 있다.<sup>11,12)</sup>

PET는 물을 병입할 때 가장 널리 사용되는 포장재질로서 현재 그 생산량은 1500억병으로 추정되고 있다.<sup>13)</sup> PET 고분자 합성에는 삼산화안티몬( $Sb_2O_3$ )이 촉매로 사용되며, 반응 후에 고분자 말단 그룹과 결합하거나 Sb glycolate의 형태로 병에 잔류하게 된다. 따라서 수돗물 병입수에서 잔류 안티몬(Sb, Antimony)이 검출되는 이유는 PET병 제조시에 사용되는 촉매제가 하나의 원인이라고 추정할 수 있으며, Michael Kracher와 William shotyk(2010)는 PET 용기에 초순수를 대상으로 한 실험을 통하여 안티몬의 용출 가능성을 확인하였다.<sup>32)</sup> 안티몬은 상온에서 백색 고체로 존재하고, 흡입 시 호흡기, 피부, 눈에 자극을 유발하며, 섭취 시 자극, 구토, 설사, 호흡곤란, 신장·간 이상 등의 증세를 보일 수 있다.<sup>14)</sup> 국제암연구소(IARC)에서는  $Sb_2O_3$ 을 인체 발암가능물질인 2B 등급으로 분류하고 있다.<sup>15)</sup>

국내 수돗물 중 안티몬은 1997년 먹는물 수질감시항목으로 지정, 시설규모 50,000톤/일 이상인 정수장을 운영하는 수도사업자는 연 1회 수질검사를 실시하고 있다. 국내의 수돗물 중 안티몬의 관리현황을 비교해 보면, 우리나라는 권고기준으로 WHO의 권고기준과 동일한  $20 \mu\text{g/L}$ 을 설정하였으며, 일본은 안티몬을 수질관리목표 항목으로 분류하고 권고기준은  $15 \mu\text{g/L}$ 로 설정하였다. 한편 미국과 유럽연합은 강제규정인 수질기준 항목으로서 관리하고 있고, 기준값도 각각  $6 \mu\text{g/L}$ ,  $5 \mu\text{g/L}$ 로 우리보다 매우 강화된 기준을 적용하고 있다.<sup>16)</sup> 또한 EU의 식품용기에 대한 규제는 European Regulation 1935/2004 규정에 근거하고 있으며 안티몬을 포함한 식품접촉물질(Food-contact materials)을 17개 그룹으로 분류하여 규정하고 있다.<sup>17)</sup> 최근에는 소비

자의 건강보호를 위하여 식품접촉플라스틱물질(Food-contact plastic materials)에 대한 Regulation No. 10/2011<sup>18)</sup>을 설정하여 식품전이한계(SML, Specific migration limits)를 초과할 수 없도록 하고 있다.<sup>19)</sup>

이와 같이 외국에서는 PET 병입수에서 안티몬의 용출에 관한 연구 및 기준 설정에 많은 관심을 갖고 있으나 국내에서는 활발히 이루어지지 않고 있으며 병입수 시장 규모가 점점 증가함에 따라 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구는 수돗물 병입에 따른 안티몬의 용출가능성을 평가하기 위해 6개 특·광역시 및 수자원공사에서 생산하는 병입수를 대상으로 용기재질 및 보관 온도 등 환경조건에 따른 안티몬의 용출 변화를 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 대상시료 및 용출실험

조사대상 시료는 6개 특·광역시 및 수자원공사에서 같은 날짜에 생산된 수돗물 병입수 7종(TW+PET)과 향후 유리병 등 포장용기의 다양화에 따른 영향을 알아보기 위해 같은 시설 및 동일 날짜에 생산된 7종의 수돗물을 유리병에 담은 수돗물 병입수(TW+Glass)로 하였다. 또한 3차 증류수(ELGA, England)를 PET병(DW+PET)과 유리병(DW+Glass)에 각각 담아 대조군 시료로 사용하였다.

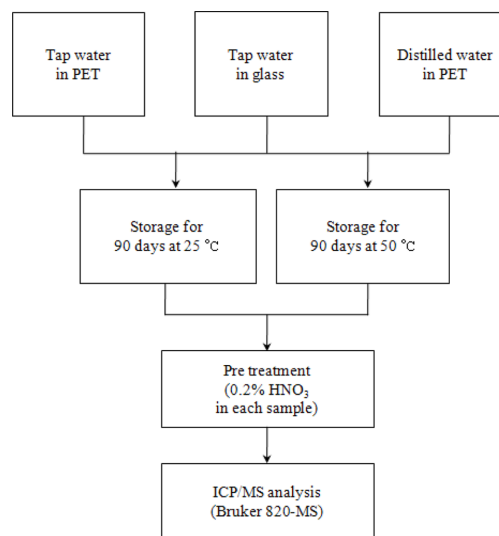


Fig. 1. Scheme of the study carried out on bottled tap water sample.

용출실험을 위한 실내 온도는 실온조건인 25 °C와 고온조건인 50 °C로 설정하였다. 고온조건은 여름철 차량 내부의 실내온도 측정결과(50~60 °C)를 토대로 설정하였으며, 유통과정에서 차량온도의 상승에 따른 안티몬의 용출특성을 알아보기 위한 것이다.

용출실험 기간은 현재 생산되는 병입수의 유통기간(최대 3개월)을 토대로 총 90일로 설정하였으며 병입일(1일)과 병입 후 3, 7, 11, 15, 30, 60 및 90일로 총 8회에 걸쳐 안티몬 농도의 변화를 분석하였다.

## 2.2. 분석기기 및 조건

본 연구에 사용된 안티몬 표준물질은 Sigma-Aldrich 사(Accustandard, USA)에서 구입하여 사용하였으며, HNO<sub>3</sub>는 (주)에코리서치사(Ultra pure 65%, Korea)에서 구입하였다. 전처리는 각각의 시료에 HNO<sub>3</sub>를 0.2% 되게 첨가한 후 Bruker사의 ICP/MS(820-MS, USA)를 사용하여 분석하였다.

ICP-MS는 10 mg/L tune solution (Bruker)을 5 µg/L로 희석하여 tuning과 mass calibration을 수행하여 안정화를 시킨 후, RF power 1.40 kw, plasma gas flow 18.0 L/min, sheath gas flow 0.20 L/min, nebulizer argon gas flow 0.98 L/min의 조건에서 표준물질 및 시료를 분석하였다. 검출한계(MDL)는 0.005 µg/L, 정량한계(MQL)는 0.015 µg/L이었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수돗물 병입수 생산 과정

수돗물 병입수를 생산하는 6개 특·광역시 및 수자원 공사 정수장의 정수처리시설 현황은 Table 1과 같다. 100만톤 이상의 정수장이 2개소이고, 4개소는 50만톤 이하였다. 전염소처리는 B 정수장을 제외한 6개소에서 시행되었으며, 정수장별로 살펴보면 오존과 생물활성탄을 이용한 고도정수처리공정을 운영하는 2개소를 제외한 대부분의 정수장은 응집-침전-모래여과-소독공정으로 구성된 표준식 정수처리공정(conventional water

treatment process)으로 운영되고 있었다. 이 공정은 입자성 물질, 병원성 미생물 및 색도 유발물질의 제거에 초점이 맞추어져 있다.<sup>20)</sup> 표준식 정수처리 공정에서는 합성 유기화합물질, 이·취미 물질 같은 조류대사산물이나 소독부산물 전구물질 같은 용존 유기물질에 대해서는 제거능이 매우 낮다.<sup>21)</sup> 이를 해결하기 위해 도입된 것이 고도정수처리시설이며 특히 오존처리 설비는 오존의 강력한 산화력을 이용하여 미생물, 세균 및 조류의 살균, 철이나 망간과 같은 무기물질의 산화, 산화분해 반응에 의한 유기물질의 제거 및 계면활성제와 같은 난분해성 유기물질을 분해성 유기물질로 전환시키는 것을 목적으로 하며, 설비의 구성은 오존발생부, 오존접촉부 및 오존파괴부의 세 부분으로 나누어지고, 활성탄 처리 등과 같은 처리기법과 조합하여 더 나은 처리효과를 기대할 수 있다.<sup>22-24)</sup>

수돗물 병입수를 생산하기 위해 정수처리 후 각 정수장에서는 병입 전처리 과정을 실시하고 있다. 모든 수돗물 병입수 생산 공정은 각 정수장에서 생산된 수돗물을 이용하여 PET병을 세척 후 진행되며, 낙동강 지류에 위치한 D 정수장을 제외한 6개 정수장에서는 병입 전처리로 활성탄 여과공정을 설치하여 소독부산물을 제어하고 있다.

A 정수장은 활성탄 여과 후 NaOCl로 소독을 하며, B와 G 정수장은 소금물을 전기분해하여 혼합 산화제(차아염소산+이산화염소+오존)를 생성하는 전기산화소독기술(MIOX, Mixed Oxidants Solution) 공정으로 소독을 실시하고, E 정수장은 UV 소독을 실시하고 있다.

미국의 경우 병입 원수로 지하수, 정제수, 수돗물, 탄산첨가수, 온천수 등이 사용될 수 있으며, 병입수의 수질, 제조과정, 표시제도(labeling)는 FDA에 의해 규제를 받는다. EPA는 수돗물을 비롯한 공공의 먹는물을 관리하며 먹는물의 생산, 배급 및 수질 등 전반적인 사항을 규제한다. 미국의 대표적 글로벌 음료 기업인 펄시콜라의 병입수인 아쿠아피나(Aquafina)는 여과처리를 하여 생산하고 있으며, 코카콜라사의 병입수인 다사니

Table 1. The status of DWTPs

Classification	A	B	C	D	E	F	G
Source water	Han river	Han river	Daechung lake	Nakdong river	Nakdong river	Dongbok lake	Daechung lake
Quantity (1,000 ton/d)	1,000	542	300	310	1,555	240	142
Process	conventional	advanced	conventional	advanced	advanced	conventional	conventional
Pre-Chlorination	○	-	○	○	○	○	○

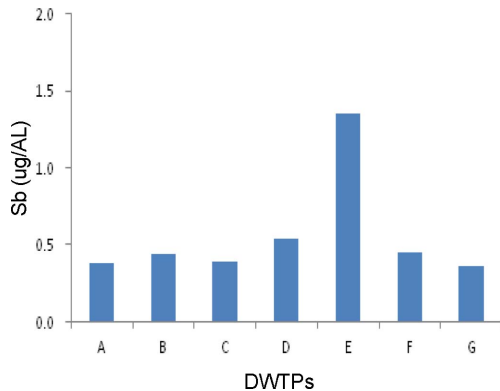
**Table 2.** Pre-treatment for bottling of tap water

Classification	A	B	C	D	E	F	G
Stationary	○	○	-	○	-	-	-
Bottling Temp. (°C)	10.5	12.7	14.5	15.6	room temp.	14.7	room temp.
PET bottles cleaning	○	○	○	○	○	○	○
Activated carbon	GAC	GAC	PAC	-	BAC	GAC	GAC
Disinfection	NaOCl	MIOX	-	-	UV	-	MIOX

(DASANI)는 미네랄 첨가를 통해 재처리하여 생산하고 있다. 미국 병입수의 25~30%가 수돗물을 원수로 사용하며, 1999년에는 2억8천500만 달러의 판매량을 보였다.<sup>25)</sup>

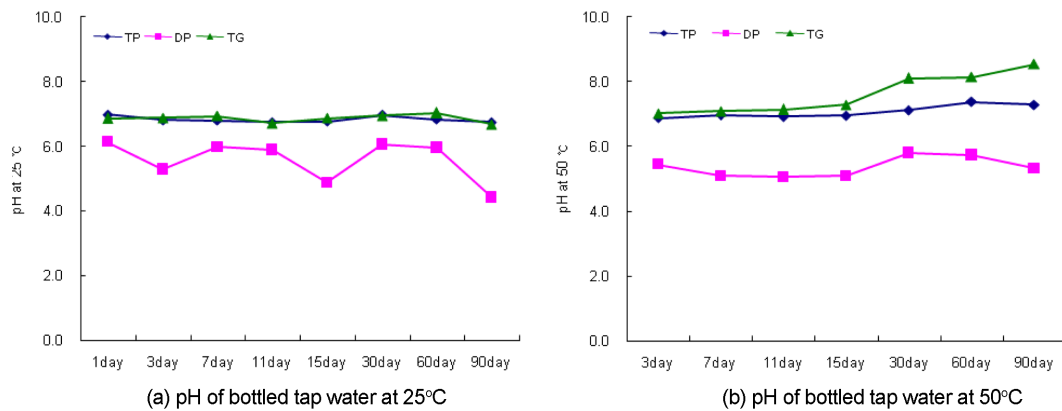
### 3.2. 병입 전 수돗물의 안티몬 농도

동일한 날짜에 생산된 수돗물 병입수 7개 제품에 대해 병입일의 안티몬 농도를 분석한 결과(Fig. 2) 평균

**Fig. 2.** Antimony concentration in bottled tap water of each brands on 1 day.

0.25  $\mu\text{g/L}$ (0.36~1.35  $\mu\text{g/L}$ )로 나타났다. E 정수장의 수돗물 병입수가 1.35  $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높았고 D 0.54  $\mu\text{g/L}$ , F 0.45  $\mu\text{g/L}$ , B 0.44  $\mu\text{g/L}$ , C 0.39  $\mu\text{g/L}$ , A 0.38  $\mu\text{g/L}$ , G 0.36  $\mu\text{g/L}$ 의 농도를 보였다. E 정수장에서 초기 안티몬의 농도가 제일 높은 이유는 수계가 같더라도 각각의 수질 특성에 따라 다르기 때문인 것으로 판단된다. 외국의 경우, 미국 Arizona에서 판매되는 9개 브랜드 병입수의 안티몬 평균 농도는 0.095~0.521  $\mu\text{g/L}$ , 지역수돗물은 0.146  $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다. 또한 2006년 여름 미국 남서부에서 판매되는 9개의 병입수에서 안티몬 농도를 조사한 결과, 초기 안티몬의 평균 농도는  $0.1957 \pm 0.116 \mu\text{g/L}$ 이었다.<sup>28)</sup> Michael Kracher와 William shotyk(2009)<sup>29)</sup>의 결과에서 132개 먹는샘물 중 안티몬 농도는 0.001~2.57  $\mu\text{g/L}$ 의 범위를 보였다.

이번 조사대상 시료의 안티몬 농도는 미국에서 조사된 수돗물 병입수의 검출수준과 유사한 것으로 나타났으며, 전국 500여개 정수장을 대상으로 모니터링 한 먹는물수질감시항목 운영결과(2011) 자료(평균 2.2  $\mu\text{g/L}$ , 0.1~5.0  $\mu\text{g/L}$ ) 값에 비해 낮은 수준이다.<sup>26)</sup> 우리나라 수돗물 중 안티몬의 검출수준은 먹는물감시항목 권고

**Fig. 3.** Effect of exposure temperature and time on pH leaching into bottled water according to temperature, materials and storage time (TP : tap water in PET, DP : distilled water in PET, TG : tap water in glass).

기준(20 µg/L)보다 낮게 유지되고 있으나 검출빈도가 높은 것으로 보고되고 있고, 검출 농도 최대값이 미국의 MCL인 6 µg/L를 초과하는 것으로 나타나 앞으로도 지속적인 모니터링과 감시가 필요하다.

### 3.3. 병입 후 안티몬 농도

국내 특·광역시 수돗물 병입수 7종에 대해 1, 3, 7, 11, 15, 30, 60, 90일의 안티몬의 농도를 조사한 결과 재질 및 온도에 따른 영향은 Fig. 4와 같다. 실험기간 온도 및 포장용기에 따른 안티몬의 평균 농도는 증류수 PET병(50 °C), 수돗물 PET병(50 °C), 수돗물 PET병(25 °C), 증류수 PET병(25 °C), 수돗물 유리병(25 °C), 수돗물 유리병(50 °C) 순으로 나타났다. 각각의 평균농도는 3.20 µg/L(±1.78), 1.72 µg/L(±0.78), 0.51 µg/L(±0.04), 0.24 µg/L(±0.11), 0.22 µg/L(±0.02), 0.21 µg/L(±0.02)이었다. PET병에서는 수돗물 병입수 및 증류수 병입수 모두 고온조건에서 높았으며, 증류수 병입수가 수돗물 병입수보다 높았다. PET병과는 달리 유리병 병입수에서 안티몬 평균 농도는 병입전 수돗물 농도와 유사하였고, 온도조건에 의한 영향도 없는 것으로 나타났다.

증류수 PET병에서 안티몬의 평균농도가 제일 높게 나타난 것은 낮은 pH의 영향으로 일반 병입수 보다 탄산수에서 안티몬의 용출률이 높다는 Keresztes et al.(2009)의 연구결과<sup>30)</sup>와 일반적으로 낮은 pH에서 안티몬의 용출이 높다는 Cheng et al.(2010)<sup>31)</sup>의 결과와도 유사하다.

실험기간 각 시료의 pH 변화는 Fig. 3과 같다. 실온조건(25 °C)에서 수돗물 PET병과 수돗물 유리병은 pH 6.7~7.0의 범위를 보였으며, 증류수 PET병은 pH 4.4~6.1로 수돗물보다 크게 낮았고, 변화폭도 컸다. 고온조건(50 °C)에서는 수돗물 PET병과 수돗물 유리병의 경우, 실험 초기에는 pH 6.9~7.3 범위를 보였으나 15일이 지난 후 변화폭이 커지면서 90일째에는 각각 pH 7.3과 8.6으로 나타났다. 고온조건에서 증류수 PET병의 pH는 5.1~5.8로 25 °C에서보다 변화폭이 작았으며, 수돗물 PET병과 같은 시간경과에 따른 pH 증가는 나타나지 않았다.

온도조건별 안티몬의 농도범위를 살펴보면 수돗물 PET병은 실온조건 및 고온조건에서 각각 0.25~1.47 µg/L, 0.28~8.16 µg/L으로 고온조건의 경우 실온조건보다 최대 4배 이상의 농도를 나타냈으며, 증류수 PET병에서도 각각 0.09~0.51 µg/L, 0.93~7.16 µg/L로 온

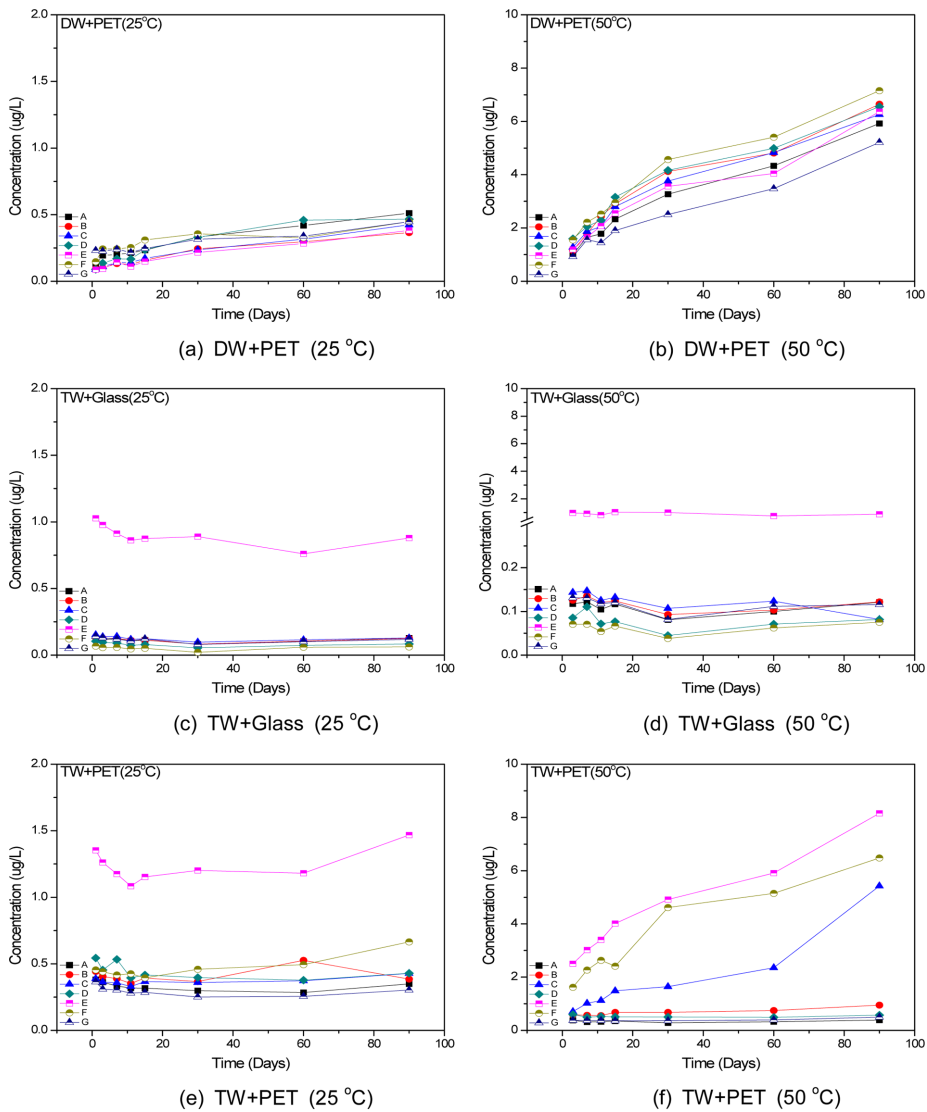
도에 따른 영향이 매우 크게 나타났다. 실온조건 및 고온조건 모두 시간경과에 따라 안티몬의 농도가 증가하였으며, 고온조건에서 특히 농도 증가가 가파르게 나타났다. 반면 유리병의 경우는 모든 시료에서 병입전 농도와 비교하여 시간경과에 따라 농도변화가 거의 없는 것으로 나타나, 유리병으로부터 안티몬의 용출은 없는 것으로 사료된다.

7종의 수돗물 병입수 중 E 병입수의 안티몬 농도가 1.08~1.47 µg/L로 제일 높았고 그 외 수돗물 병입수는 비슷한 범위를 보였다. 고온조건에서는 E 병입수의 안티몬 농도는 2.50~8.16 µg/L의 범위로 실온조건보다 약 5.6배 높은 농도를 나타냈으며, 그 외 수돗물 병입수인 E, F, C에서도 높은 농도를 보였다.

PET 병입수에서 안티몬의 용출에 미치는 온도의 영향은 미국 Arizona에서 판매되는 9개 브랜드의 병입수 조사결과에서도 확인되었는데, 안티몬의 용출이 60 °C에서는 176일 후, 70 °C에서는 12일 후에 미국의 수질 기준(6 µg/L)을 초과한 것으로 보고되었다.<sup>28)</sup> 이러한 결과는 보관온도가 증가할수록 안티몬의 용출도 급격히 증가할 수 있음을 의미한다. 또한 2006년 여름 미국 남서부에서 판매되는 9개의 병입수에서도 초기 안티몬의 평균 농도는 0.1957 ± 0.116 µg/L에서 3개월 후 0.2267 ± 0.160 µg/L로 증가하였으며, 노출시간의 증가 및 온도가 높을수록 안티몬의 농도가 증가하는 것으로 조사되었다.<sup>28)</sup>

병입수의 포장재질 중 하나인 유리병은 안티몬의 용출과 관련성이 거의 없는 것으로 나타났는데, 이는 유리병과 PET병의 안티몬의 용출을 비교를 통해 유리병보다 PET병에서 약 10배 정도 안티몬이 높게 용출될 수 있다고<sup>13)</sup> 보고한 독일의 사례에서 확인되었다. 또한 Clemens et al.(2010)<sup>31)</sup>의 결과에서도 유리병과 PET병에 담긴 물을 실험한 결과 각각 0.01555 µg/L, 0.326 µg/L의 농도를 보여 유리병에 의한 영향은 미미한 것으로 나타났다(glass/PET=0.048).

수돗물 PET 병입수 중의 안티몬 농도에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소는 PET 제조시 포함되어 있는 안티몬의 함량과, 병입전 수돗물 중 안티몬 농도 및 pH, 그리고 유통과정에서의 주변 온도로 요약할 수 있다. 따라서 수돗물 병입수에서 발생할 수 있는 안티몬의 용출로부터 위해 영향을 최소화하기 위해서는 유통과정 및 보관시 직사광선 노출을 피하고 적정온도를 유지할 수 있는 관리시스템 확보가 필요하며, 아울러 포장용기 재질개선을 위한 노력도 필요하다고 판단된다.



**Fig. 4.** Effect of exposure temperature and time on antimony leaching into bottled water according to temperature, materials and storage time (DW+PET : distilled water in PET, TW+Glass : tap water in glass, TW+PET : tap water in PET).

#### 4. 결 론

본 연구에서는 6개 특·광역시 및 수자원공사에서 생산 중인 수돗물 병입수에 대해 보관기간, 재질 및 온도에 따라 PET병에서 용출되는 안티몬의 농도를 비교하여 분석하였다. 각 조건에 따라 안티몬의 농도는 다른 변화를 보였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 수돗물 병입수 7개 제품에 대해 병입일의 안티몬 평균 농도를 분석한 결과 0.25 µg/L로 나타났다. E 정수장의 수돗물 병입수가 1.35 µg/L로 가장 높았고 D

0.54 µg/L, F 0.45 µg/L, B 0.44 µg/L, C 0.39 µg/L, A 0.38 µg/L, G 0.36 µg/L의 농도로 수돗물 자체에 함유된 안티몬의 농도는 낮은 분포를 보였다.

2) 실험기간동안 수돗물 병입수 중 안티몬의 평균 농도는 실온조건(25 °C)에서 0.51 µg/L 및 고온조건(50 °C)에서 1.72 µg/L를 나타냈으며, 대조군인 증류수 병입수의 경우 고온조건에서 3.2 µg/L로 수돗물보다 더 높게 나타났다.

3) 환경조건에 따른 안티몬의 용출은 온도가 높고, pH가 낮을 경우 증가할 수 있는 것으로 나타났으며,

보관기간이 길어지면 안티몬의 농도도 증가할 수 있음을 보여주었다. PET병과는 달리 유리병으로 부터 안티몬의 용출가능성은 매우 낮은 것으로 평가되었다.

4) 수돗물 병입수에서 발생할 수 있는 안티몬의 용출로부터 인체 위해영향을 최소화하기 위해서는 유통과정 및 보관시 직사광선 노출을 피하고 적정온도를 유지할 수 있는 관리시스템 확보와 포장용기 재질개선 등을 위한 노력이 필요하다고 판단된다.

### 참고문헌

1. 환경부, 식수음용에 대한 국민의식조사, **2011**.
2. Gulson BL, Law AJ, Korsch MJ, Mizon KJ., Effect of plumbing systems on lead content of drinking water and contribution to lead body burden. *Sci Total Environ*, **1994**, 144, 279-284.
3. Gulson BL, Matt J, Giblin AM, Sheehan A, Mitchell P, Maintenance of elevated lead levels in drinking water from occasional use and potential impact on blood leads in children. *Sci Total Environ*, **1997**, 205, 271-275.
4. Pizarro F, Olivares M, Uauy R, Contreras P, Rebelo A, Gidi V, Acute gastrointestinal effects of graded levels of copper in drinking water. *Environ Health Perspect*, **1999**, 107, 117-121.
5. Pizarro F, Olivares M, Araya M, Gidi V, Uauy R., Gastrointestinal effects associated with soluble and insoluble copper in drinking water. *Environ Health Perspect*, **2001**, 9, 949-952.
6. Pizarro F, Araya M., Vasquez M., Lagos G, Olivares M., Mendez MA., et al., Case study of complaints on drinking water quality: relationship to copper content?, *Biol Trace Elem Res*, **2007**, 116, 131-145.
7. Zietz B, Dassel de Vergara J, Kebekordes S, Dunkelberg H. Lead contamination in tap water of households with children in Lower Saxony, Germany. *Sci Total Environ*, **2001**, 275, 19-26.
8. Zietz BP, Dieter HH, Lakomek M, Schneider H, Keßler-Gaedtke B, Dunkelberg H. Epidemiological investigation on chronic copper toxicity to children exposed via the public drinking water supply, *Sci Total Environ*, **2003**, 302, 127-144.
9. 환경부, 먹는샘물관리 중장기 제도개선 정책방안 연구, **2005**.
10. 김상문, 류문현, '병입 수돗물' 시장규모 추정연구, *상하수도학회지*, **2009**, 23(6), 753-761.
11. Mutsuga, M., Kawanumr, Y., Sugita-Konishi, Y., Hara-Kudo, Y., Takatory, K., Tanamoto, K., 2006., Migration of formaldehyde and acetaldehyde into mineral water in polyethylene threphthalate (PET) bottles., *Food Additives and Contaminants* 23(2), 212-218.
12. William Shotyky, Michael Krachler and Bin Chen, 2007, Contamination of Canadian and European bottled waters with antimony from PET containers, *Journal of Environmental Monitoring*.
13. W. Shotyky, M. Krachler and B. Chen, Contamination of Canadian and European bottled waters with antimony from PET containers, *J. of Environmental Monitoring*, **2006**, 8, 288-292
14. Stemmer KL., Pharmacology and toxicology of heavy metals: antimony, *Pharmacol Therapeut A*, **1976** 1, 157-160.
15. IARC, Agents classified by the IARC Monograph, volumes 1-100, 2010.
16. 환경부, 먹는물수질감시항목 운영지침, **2012**.
17. EU, 2004, Regulation No 1935/2004 of the European Parliament and of the council of 27 October 2004 on materials intended to come into contact with food and repealing directives 80/590/EEC and 89/109/EEC.
18. EU, 2011, Commission regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come in contact with food. Official Journal of the European Commission.
19. Christina Bach, Xavier Dauchy, Marie-Christine Chagnon, Serge Etienne, Chemical compounds and toxicological assessments of drinking water stored in polyethylene terephthalate (PET) bottles:A source of controversy reviewed, *Water Research*, **2012**, 46, 571-583.
20. Prescott, L., Harley, J., and Kelin, D., Microbiology, 4th Ed, **1999**, CB/McGraw-Hill, New York, 157-180.
21. Lai, W, York, H., Tseng, I., Lin, T., Chen, J., and Wang, G., Conventional versus advanced treatment for eutrophic source water, *J. Am. Water Works Assoc.*, **2002**, 94(12), 96-108.
22. 대구광역시 상수도사업본부, 고도정수처리시설의 효율적인 운영을 위한 실공정 및 Pilot plant를 이용한 연구조사, **1998**.
23. Bruno Langlais, David A. Bruno Langlais, David A. Reckhow, Deborah R. Brink, Ozone in water treatment: application and engineering, Lewis Publishers, **1991**.
24. Francis L. Evans III, **1972**, Ozon in water and wastewater treatment, At The Science.
25. 국립환경과학원, 병입 수돗물의 적정 관리방안 연구, **2009**.
26. 환경부, 먹는물수질감시항목 운영지침 결과, **2011**.
27. 국립환경과학원, 수돗물중 미규제미량유해물질 관리방안

- 연구, **2011**.
28. W. Shotyk and M. Krachler and B. Chen, Contamination of Canadian and European bottled waters with antimony from PET containers, *J. of Environmental Monitoring*, **2006**, 8, 288-292
29. Michael Kracher, William shotyk, Trace and ultratrace metals in bottled waters:Survey of sources worldwide and comparison with refillable metal bottles, *Science of the Total Environment*, **2009**, 407, 1089-1096.
30. Kersztes, S., Tatár, E., Migucz, V.G., Virág, I., Majdik, C., Záray, G., Leaching of antimony from polyethylene terephthalate (PET) bottles into mineral water, *Science of the Total Environment*, **2009**, 407(16), 4731-4735.
31. Clemens Reimann, Manfred Birke, Peter Filzmoser, Bottled drinking water:Water contamination from bottle materials(glass, hard PET, soft PET), the influence of colour and acidification, *Applied Geochemistry*, **2010**, 25, 1030-1046.
32. Michael Krachler, William Shotyk, Trace and ultratrace metals in bottled waters:Survey of sources worldwide and comparison with refillable metal bottles, 201033. Shotyk W, Krachler m., Lead in bottled waters:contamination from glass and comparison with pristine groundwater. *Environ Sci. Technol*, **2007**, 41, 3508-3513.