

비소 및 가용성 무기화합물*(1)

연세대학교 보건대학원 / 김치년

CAS 번호 : 7440-38-2(비소 원소, Elemental arsenic)

실험식(Empirical formula) : As

BEI 권고수준

측정 물질	채취 시점	BEI	경고주석
무기비소+매탈화된 비소	1주일 작업 종료 시점	35 μg 비소/L	B

* 갈륨비소(gallium arsenide)와 삼수소화비소(arsine)는 제외

생물학적 노출지표(Biological Exposure Index)의 근거

비소 및 가용성 무기화합물의 직업적 노출기준 TLV-TWA($0.01 \text{ mg}/\text{m}^3$)를 근거로 노출평가를 위한 생물학적 모니터링은 소변 중 무기비소와 주요 유기대사물질인 monomethylarsonic acid(MMA)와 dimethylarsinic acid(DMA)을 함께 정량하는 방법을 권고하고 있다. 무기비소의 TLV-TWA는, 만성노출에 따른 사람에서 발암성으로 분류되는 것을 근거로 설정하였다.

직업적 비소 노출과 관련된 소변으로 배설되는 비소 대사산물에 대한 자료는 많이 확보되어 있으며 소변 배설과 발암 위험성에 대한 유용한 자료도 충분하다. BEI는 두 개의 관련성에 기초를 두고 있다.

첫 번째는 소변으로 배설되는 비소 및 대사물질이 비소노출과 폐암에 대한 건강영향 관련성이 평가되었다. 소변 중 비소 농도 $35 \mu\text{g As}/\text{L}$ 는 구리 제련소 근로자들에서 폐암에 의한 표준사망률(standard mortality ratio, SMR) 약 100에 해당한다고 예측하였다.

두 번째의 근거는 많은 작업환경 근로자의 노출연구에서 소변 중의 비소 대사산물의 총합이 $35 \mu\text{g As}/\text{L}$ 일 때 공기중의 노출농도는 TLV-TWA인 $0.01 \text{ mg}/\text{m}^3$ 의 수준이라는 것이다.

따라서 BEI는 폐암의 위험성과 현재 TLV-TWA의 노출을 추정하는데 근거를 두고 있다.

용도 및 특징(Uses and Properties)

대부분의 비소는 회색을 띠고 있으며 부서지기 쉬운 결정형 고체로 비결정형(amorphous form)과 유기형태(organic form)로 존재한다. 비소 및 화합물들은 비철금속의 용해작업, 비소 정제 및 생산, 비소가 함유된 살충제 사용, 목재 방부제, 반도체 그리고 유리 생산 등의 다양한 작업에서 발생한다.

비소화합물은 작업장에서 미스, 흡, 증기, 분진 형태로 공기 중에 존재한다. 또한 비소 화합물은 3가 무기비소(trivalent inorganic arsenic(III))와 5가 무기비소(pentavalent inorganic arsenic (V))로 분류할 수 있다.

실온에서 물에 대한 용해도는 비산(arsenic acid)은 302 g/100 mL; 삼산화비소(arsenic trioxide)는 2.1 g/100 mL; 그리고 비산칼슘(calcium arsenate) 0.013 g/100 mL이다.¹⁾ Arsenobetaine, arsenocholine, methylarsonic acid, dimethylarsinic acid는 물에 쉽게 용해된다. 삼산화비소의 증기압은 20°C일 때 12 torr이다.²⁾

가능한 비직업적 노출(Possible Nonoccupational Exposure)

비소는 토양, 암석과 같은 지구의 지각 형성물질에 포함되어 있다. 자연적으로 물과 음식 그리고 대기오염에서 발생할 수 있다.²⁾ 일부 오염된 물고기(arsenobetaine, arsenocholine 존재)를 제외하고는 홍합(dimethylarsinate 존재), 해초류(arsenosugars 존재), 해산물 식품에는 일반적으로 0.25 mg 비소/kg보다 적게 포함되어 있다. 해산물을 먹지 않는 경우 하루 음식으로 유입되는 비소는 평균 0.04 mg이며, 해산물을 섭취하는 경우는 평균 20 mg이 유입되는 것으로 추정하였다.⁴⁾

물고기에는 주로 유기형태로 존재하며 주요 화합물은 arsenobetaine와 arsenocholine이다. 이러한 물질은 소변 중에 무기비소 및 그 대사물질을 측정할 때는 영향을 주지 않지만 소변 중 총 비소 농도를 측정할 때는 물고기에 포함된 arsenobetaine와 arsenocholine이 직업적 노출모니터링에 영향을 준다.

식수에는 보통 비소가 10 $\mu\text{g arsenic/L}$ 농도로 포함되어 있으며 이는 하루 평균 150 μg 의 비소 섭취량에 해당한다.¹⁾ 대기 중 평균 비소 농도는 0.01 $\mu\text{g arsenic/m}^3$ 으로 추정되며, 이는 1일 비소 섭취량 약 0.2 μg 에 해당한다.

비소화합물 중 cacodylic acid, monosodium methanearsonate(MSMA) 그리고 disodium

methanearsonate(DSMA)는 가정집 정원에서 사용하는 살충제로 미국에 등록되어 있다. 비소가 함유된 살충제를 사용하는 경우 소변으로 배설되는 비소의 양이 증가할 수 있다.^{5) 6) 7)} 또한 흡연(1개비 당 12~42 μg 비소 함유)도 비소 노출의 오염원이 될 수 있다.^{8) 9)}

흡수(Absorption)

비소화합물의 주요 흡수경로는 호흡기와 위장이다. 작업환경에서는 폐를 통한 흡수가 주요 노출경로이다.

폐를 통한 흡수

흡연 연구에서 흡입한 양의 25%~40%가 폐에 접촉한다고 평가하였다. 흡수되는 양은 입자크기에 의해 결정된다.¹⁰⁾ 또한 에어로졸의 흡수는 용해도에 의해 영향을 받는다. 폐에서 제거현상은 이상성 모델(biphasic model)이라고 제안하였다.⁸⁾

이 모델에 따르면 폐에 잔류된 75%는 반감기 4일로 제거되며, 25%는 반감기 10일로 제거된다. 그러나 용해작업 근로자의 경우, 폐에서 비소가 2년에서 19년간 잔류하였으며 폐 제거의 반감기가 매우 길다고 제안하였다.¹¹⁾ 장기간 폐에 잔류하는 비소는 근로자가 이전에 구리 용해작업에서 흡입한 슬래그입자에 포함된 불용성 비소 때문이다. 폐에서 비소가 흡수되는 것은 근로자의 활동성과 같은 생리학적 조건에 영향을 받는다(TLV documentation의 “introduction to the BEIs”에서 생물학적 모니터링의 다양성 참조).¹²⁾

참고문헌

1. U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological Profile for Arsenic. TP 88-02. ATSDR, Atlanta, GA (1989).
2. Jonnalagadda, S.B.; Prasada Rao, P.V.: Toxicity, Bioavailability and Metal Speciation. *Comp. Biochem. Physiol.* 160C:585~95 (1993).
3. Ishinishi, N.; Tsuchiya, K.; Vahter, M.; Fowler, B.A.: Arsenic. In: *Handbook on the Toxicology of Metals*, pp. 43-83. L. Friberg, G. Nordberg, and V.B. Vouk, Eds. Elsevier, New York (1986).
4. World Health Organization: 27th Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series 696, Vol. 29. WHO, Geneva (1983).
5. Wagner, S.L.; Weswig, P.: Arsenic in Blood and Urine of Forest Workers as Indices of Exposure to Cacodylic Acid. *Arch. Environ. Health* 28(2):77~9 (1974).
6. Wojcick, G.A.; Nigg, H.N.; Braman, R.S.; et al.: Worker Exposure to Arsenic in Florida Grapefruit Spray Operations. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 11:661~667 (1982).
7. Miller, C.S.; Hoover, W.L.; Culver, W.H.: Exposure of Pesticide Applicators to Arsenic Acid. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 9(3):281~288 (1980).
8. Foa, V.; Colombi, A.; Maroni, M.; Buratti, M.: Arsenic. In: *Biological Indicators for the Assessment of Human Exposure to Industrial Chemicals*. Commission of the European Communities, Luxembourg (1987).
9. Foa, V.; Colombi, A.; Maroni, M.; et al.: Study of Kidney Function of Workers with Chronic Low Level Exposure to Inorganic Arsenic. In: *Occupational and Environmental Chemical Hazards, Cellular and Biochemical Indices for Monitoring Toxicity*, pp. 362-367. V. Foa, E.A. Emmett, M. Maroni, and A. Colombi, Eds. Ellis Horwood, Chichester, England (1987).
10. Holland, R.H.; Wilson, R.H.; Acevedo, A.R.; et al.: The Cigarette Smoke Arsenic Cancer of the Lung Problem. *Acta Un. Int. Cancer* 15:608~611 (1959).
11. Brune, D.; Nordberg, G.; Webster, P.O.: Distribution of 23 Elements in the Kidney, Liver, and Lungs of Workers from a Smeltery and Refinery in North Sweden Exposed to a Number of Elements and of a Control Group. *Sci. Total Environ.* 16:13~5 (1980).