

# 비소 및 가용성 무기화합물\*(2)

연세대학교 보건대학원 / 김치년 교수

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

실험식(Empirical formula) : As

BEI 권고수준

Determinant	Sampling Time	BEI	Notation
Inorganic arsenic plus methylated metabolites in urine	End of workweek	35 µg As/L	B

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

## 흡수(Absorption)

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

### 피부를 통한 흡수

원위실험에서 수용액상의 비소가 피부를 통해 체내로 침투하였다.<sup>12)</sup> 사람피부에 대한 비소의 피부흡수 자료는 제한적이다.<sup>13)</sup> 일부 살충제나 제초제로 사용되는 비소 유기화합물(cacodylic acid, monosodium methanearsonate)은 피부에 흡수되며 소변에서도 검출되었다.<sup>14)</sup>

### 위장을 통한 흡수

음식(특히 해산물)은 직업적 비소 노출을 제외하면 일반적인 주요 노출경로이다. 음식에 존재하는 비소는 주로 유기화합물의 형태이다. 작업환경에서는, 호흡기계 점막 섬모운동의 청소작용(mucociliary clearance) 후의 입자가 체내로 유입된다. 사람과 동물에서 수용성 비소화합물의 위장흡수 양은 섭취한 양의 90% 이상이다. 위장으로의 흡수율은 입자크기와 위액의 산도에 의해 결정된다. 해산물에 존재하는 유기 비소화합물은 섭취 후 쉽게 흡수된다.<sup>9)</sup>

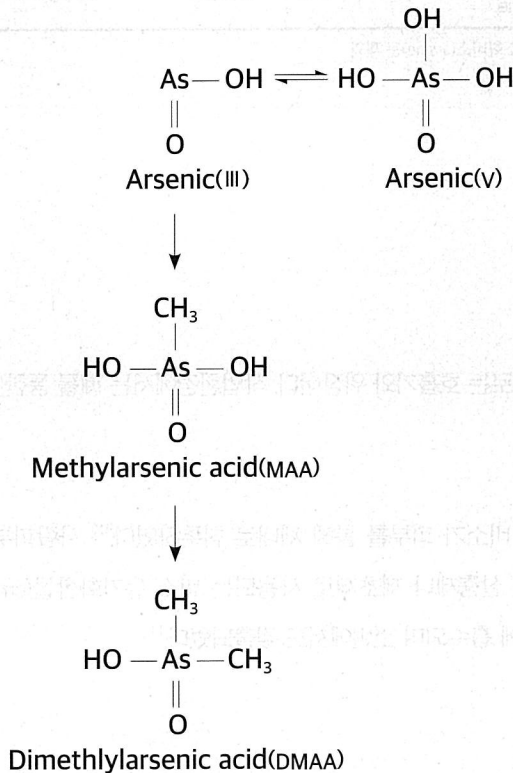
## 제거(Elimination)

무기비소의 주요 제거경로(elimination pathway)는 대사와 소변으로의 배설이다. 소변으로 배설되는 양은 흡수된 양의 약 60%이다.<sup>15)16)</sup> 비소화합물은 머리카락과 손톱에 축적된다.<sup>17)18)</sup> 체내 제거양상을 고찰하면, 비소 및 그 대사물질은 작업 일주일 이상 축적되는 것을 알 수 있다.<sup>15)16)19)</sup>

### 대사과정 및 생화학적 작용

사람에서의 비소 대사과정은 <그림 1>과 같다.

사람 소변으로 배설되는 주요 대사물질은 dimethylarsinic acid이다.<sup>9)20)21)</sup>



<그림 1> 사람에서 무기비소의 주요 대사경로<sup>8)</sup>

적은 양의 비소가 흡수되면 대사과정은 일차반응(first order process)으로 이루어지며 노출 농도와 대사물질의 생화학적 농도의 관계가 일직선이 된다. 경구로 매일 섭취되는 비소량이 500 μg 이상 되면 메틸화과정은 포화되며 dimethylarsinic acid 형성이 일직선을 유지하지 않는다.<sup>15)22)</sup>

3가 비소는 체내에서 5가 비소로 산화되어 소변으로 배설한다. 또한 체내에서 5가 비소가 3가 비소로 환원되기도 한다.<sup>23)</sup> 3가 비소는 메틸화되어 무기 비소보다 독성이 적은 methylarsonic acid와 dimethylarsinic acid가 된다.

직업적으로 삼산화비소(3가 비소)에 노출되거나 sodium arsenite(3가 비소)를 섭취한 후 소변의 무기비소는 20%; methylarsonic acid는 20%; 그리고 dimethylarsinic acid는 60%가 분포한다.<sup>23)</sup>

일반적으로 음식물에 포함된 유기 비소화합물은 대사과정을 거치지 않는다. 최근의 연구에서 홍합과 같은 해산물에는 소변에서 검출되는 dimethylarsenic acid를 포함하지 않는다고 보고하였다.<sup>24)25)26)</sup>

Arsenosugar가 존재하는 해초류를 섭취하는 경우, 소변 중 비소 농도가 증가한다.<sup>27)</sup>

## 독성학적 요약(Summary of Toxicology)

비소 독성에 관한 내용은 다양하게 기술되어있다.<sup>1)4)28)29)30)</sup> 일반적으로 비소의 급성독성은 원자가에 따라 다르며 3가 비소화합물(아비산염, arsenite)이 5가 비소화합물(비산염, arsenate)보다 독성이 강하다.

사람들이 1~2 mg/kg의 많은 용량의 비소를 섭취하면 복통, 구토, 설사를 유발하고 사망에 이른다.

비소가 과량 포함된 식수를 장기간 섭취하는 경우, 피부착색과 손발바닥 각질화 그리고 피부암이 증가한다. 비소 노출은 중추신경과 말초신경 그리고 혈관에 영향을 준다. 삼산화비소의 흡입 노출은 폐암을 증가에 관련이 있고 또한 과량의 섭취는 간암, 신장암, 방광암 증가에 관련 있다고 제안하였다.

## TLV-TWA

삼수소화비소(arsine)를 제외한 비소 및 무기비소화합물의 TLV-TWA 0.01 mg/m<sup>3</sup>은 폐암을 예방하기 위한 권고기준(A1, 사람에게 확실한 발암성 물질)이다. 삼수소화비소의 TLV-TWA 0.005 ppm(0.016 mg/m<sup>3</sup>)은 급성 독성을 예방하기 위한 기준이며 BEI는 권고되지 않았다. ☹

## 참고문헌

1. U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological Profile for Arsenic. TP 88-02. ATSDR, Atlanta, GA (1989).
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).
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).
12. Dutkiewicz, T.: Experimental Studies on Arsenic Absorption Routes in Rats. *Environ. Health Perspect.* 19:173-177 (1977)
13. Norris, L.A.: Exposure of Applicators to Monosodium Methanearsonate and Cacodylic Acid in Forestry. In: *Dermal Exposure Related to Pesticide Use*, pp. 109-121. R.C. Honeycutt, G. Zweig, and N.N. Ragsdale, Eds. ACS Symposium Series 273. American Chemical Society, Washington, DC (1985).
14. Grandjean, P.: *Skin Penetration: Hazardous Chemicals at Work*, p. 44. Taylor & Francis Ltd., London (1990).
15. Buchet, J.P.; Lauwerys, R.; Roels, H.: Urinary Excretion of Inorganic Arsenic and Its Metabolites after Repeated Ingestion of Sodium Metaarsenite by Volunteers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 48:111-118 (1981).
16. Vahter, M.; Friberg, L.; Rahnsten, B.; et al.: Airborne Arsenic and Urinary Excretion of Metabolites of Inorganic Arsenic Among Smelter Workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 57:79-1 (1986).
17. Yamauchi, H.; Takahashi, K.; Mashiko, M.; Yamamura, Y.: Biological Monitoring of Arsenic Exposure of Gallium Arsenide- and Arsenic-Exposed Workers by Determination of Inorganic Arsenic and Its Metabolites in Urine and Hair. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 50:606-612 (1989).
18. Aizawa, Y.; Takata, T.: Biological Monitoring of Arsenic Exposure. In: *Biological Monitoring of Exposure to Industrial Chemicals*, pp. 91-94. V. Fiserova-Bergerova and M. Ogata, Eds. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH (1990).
19. Morita, M.; Uehiro, T.; Fuwa, K.: Determination of Arsenic Compounds in Biological Samples by Liquid Chromatography with Inductively Coupled Argon Plasma—Atomic Emission Spectrometric Detection. *Anal. Chem.* 53:1806-1808 (1981).
20. Smith, T.J.; Crecelius, E.A.; Reading, J.C.: Airborne Arsenic Exposure and Excretion of Methylated Arsenic Compounds. *Environ. Health Perspect.* 19:89-93 (1977).
21. Crecelius, E.A.: Changes in the Chemical Speciation of Arsenic Following Ingestion by Man. *Environ. Health Perspec.* 19:147-50 (1977).
22. Farmer, J.G.; Johnson, L.R.: Assessment of Occupational Exposure to Inorganic Arsenic Based on Urinary Concentrations and Speciation of Arsenic. *Br. J. Ind. Med.* 47:342-348 (1990).
23. Bogdan, G.M.; Aposhian, H.V.: Enzymatic Reduction of Arsenate to Arsenite in Rat and Rabbit Liver. *Toxicologist* 11:1254 (abstract) (1991).
24. Arbouine, M.W.; Wilson, H.K.: the Effect of Seafood Consumption on the Assessment of Occupational Exposure to Arsenic by Urinary Arsenic Speciation Measurements. *J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis.* 6:153-160 (1992).
25. Buchet, J.P.; Pauwels, J.; Lauwerys, R.: Assessment of Exposure to Inorganic Arsenic Following Ingestion of Marine Organisms by Volunteers. *Environ. Res.* 66:44-51 (1994).
26. Hakala, E.; Pyy, L.: Assessment of Exposure to Inorganic Arsenic by Determining the Arsenic Species Excreted in Urine. *Toxicol. Lett.* 77:249-258 (1995).
27. Ma, M.; Le, X.C.: Effect of Arsenosugar Ingestion on Urinary Arsenic Speciation. *Clin. Chem.* 44(3):539-550 (1998).