

CHROMIUM(VI)

수용성 흠
(WATER-SOLUBLE FUME)



김치연

연세대학교
보건대학원 교수

CAS 번호 : 7440-47-3

분자식(Molecular formula) : Cr(VI)

BEI 권고

평가 대상물질	시료채취 시간	BEI	경고주석
소변중 총 크롬	1주일 마지막 작업 종료 후	25 µg/l	-
	작업 중 증가된 농도	10 µg/l	-

생물학적 노출 지표의 기초(Basis for Biological Exposure Index)

소변중 총 크롬 BEI는 TLV-TWA에서 정의한 호흡기 영역에서 측정된 수용성 크롬[Cr(VI)]과 작업 종료 후에 측정된 소변중 농도나 근무 중 관찰된 소변중 크롬 증가의 상관관계를 근거로 권고하였다. BEI는 수용성 크롬 노출과 상관관계가 있다. BEI는 폐암, 기능적 임상 변화, 피부나 호흡기 자극과 같은 잠재적 건강 영향을 예측하지 못하므로 이들 건강 영향에 대한 예방과는 관련이 없다. 또한 BEI는 전기 도금작업에서의 수용성 크롬 노출로 인한 급성 국소 자극 효과는 예측하지 못하기 때문에 적용하기 어렵다.

사용 및 특성(Uses and Properties)

크롬 및 그 화합물의 직업적 사용 및 특성에 대한 상세한 내용은 다음과 같다.¹⁾
^{2), 3)} 크롬은 안료 및 유제액에 사용된다. 또한 크롬 합금 및 도금에 널리 사용된다. 크롬산 생산, 크롬 도금 및 스프레이 페인팅, 크롬 안료 제조 및 합금 용접, 절단, 연삭 시 직업적으로 크롬 노출이 발생할 수 있다.

크롬은 녹는점이 1,900 °C, 끓는점이 2,676 °C인 단단한 금속이다. 6가 크롬은 작업장에서 발견되는 가장 일반적인 원자가 유형 중 하나이고 나머지는 3가 크롬이다.

6가 크롬의 용해도는 화학적 형태에 따라 수용성에서 불용성으로 다양하다. 수용성 6가 크롬 화합물은 크롬산(Chromic acid), 삼산화크롬(Chromium trioxide), 나트륨, 칼륨, 암모늄, 리튬, 세슘, 루비듐(알칼리 크롬산염)의 모노크롬산 및 중 크롬산염을 포함한다. 수용성 형태의 발생은 스테인리스강에 대한 MMA(Manual Metal Arc) 용접작업이 가장 일반적이다. 그러나 위에 열거된 작업 이외에서 노출이 발생할 수도 있다. 크롬의 발생 범위는 용접 조건에 따라 크게 달라질 수 있지만⁴⁾ 일반적으로 스테인리스강을 대상으로 MMA 용접작업 시 약 60%의 수용성 흡을 생성한다.⁴⁾ 용접 흡은 호흡 영역의 공기 시료를 채취한 후 간단히 물로 추출하게 되면 주로 수용성 6가 크롬을 반영한다. 수용성 크롬 노출과 소변으로 배출되는 크롬 농도의 상관성은 많은 연구에서 입증되었다. 이러한 방식으로 얻은 공기 중 크롬 농도는 생물학적 모니터링에 따라 '수용성 크롬'이라고 불린다.⁵⁾

미국산업안전보건연구원(NIOSH)은 1930년부터는 용접 공정에서 노출이 대부분

이었지만, MMA 용접 중요성은 감소하고 있다고 보고하였다.⁶⁾ NIOSH는 1988년에 대략 185,000명의 크롬 노출 근로자가 용접기, 화로, 열 절단기를 사용하여 근무하고 있다고 추정하였다.⁷⁾

비직업적인 노출 가능성(Possible Nonoccupational Exposure)

크롬은 자연적으로 발생하는 금속이며(주로 3가 상태에서 발생) 인체에 필요한 미량의 금속이다. 식이 섭취와 흡연은 비직업적인 크롬 노출의 가장 중요한 원인이다. 성인이 매일 섭취하는 크롬의 평균량은 약 25 μg 이다. 수돗물 공급과 주변 공기에 일반적으로 미량의 크롬을 포함한다.^{5), 8)} 일반 인구의 소변 농도의 중간값(Median value)은 0.4 $\mu\text{g}/\ell$ (범위, 0.24~1.8)이다.^{9), 10)}

흡수(Absorption)

크롬의 흡수는 크롬의 원자가와 용해도로 좌우된다. 흡수 정도는 입자크기가 증가할수록 감소하고 크롬 화합물의 물의 용해도가 증가할수록 증가한다.^{5), 11)} 흡, 증기 또는 미스트 형태의 가용성 형태의 6가 크롬은 흡입(Inhalation)으로 쉽게 흡수된다.^{5), 11)} 피부 흡수도 보고되어 있다.^{12), 13)} 위장관 경로를 통한 수용성 6가 크롬 흡수는 투여량의 10%이며 나머지 투여량은 대변으로 제거된다.¹⁴⁾ 크롬 복합체의 형태, 용해도, 다양한 조직에서의 리간드 형성으로 다양한 흡수, 배설이 관찰된다. 어떤 경로로든 신체에 들어간 6가 크롬은 3가 크롬으로 환원된다.

제거(Elimination)

수용성 6가 크롬 제거의 주요 경로는 소변이다.^{5), 15)} 수용성 크롬 화합물은 노출 중이나 첫 번째 노출 후에 소변으로 빠르게 배출된다.^{5), 11), 16), 17), 18), 19), 20)} 나중에는 수년 동안 소변 중 크롬 농도를 고농축으로 유지하고 만성적인 노출이 된 근로자에게는 제거가 느려진다.¹⁶⁾ 환원된 크롬 형태(적혈구, 어느 정도의 뼈와 신장)의 세포 내 감소

및 흡착은 배설의 지연과 관련된 중요한 결정인자일 수 있다. 만성적인 크롬 노출은 신장에서 크롬의 제거를 증가시킨다. 6가 크롬은 흡수된 후 환원되어 3가 크롬의 형태로 소변으로 제거된다. 크롬은 대변으로도 제거되지만 대개 흡입된 크롬이 위장관을 통해 제거된 결과이다.¹⁴⁾ 교대근무 전 시료 크롬 농도는 과거 노출을 반영하고 교대근무 후 시료는 과거와 현재 노출 모두를 반영한다.

대사경로 및 생화학적 상호작용 (Metabolic Pathways and Biochemical Interactions)

수용성 6가 크롬은 세포막을 쉽게 통과하고 효소에 의해 3가 크롬으로 환원된다.^{5), 21), 22)} 3가 크롬은 단백질에 결합하고 조직에서 발견될 뿐만 아니라 크롬의 체내에서 순환되는 주요 형태이다.^{5), 11), 13), 23)} 주로 간, 신장, 비장, 폐에서 발견되며 직업적으로 용접흡(Welding Fume)에 장기 노출되어 폐에 입자가 축적되는 용접공에게서 배설 농도가 증가한다.^{24), 25)}



1. World Health Organization: Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace, Vol. 1, p. 102. WHO/HPR/OCH96.1. WHO, Geneva (1996).
2. Deutsche Forschungsgemeinschaft: Alkali chromates[Cr(VI)]. In: Biological Exposure Values for Occupational Toxicants and Carcinogens: Critical Data Evaluation for BAT and EKA Values, Vol. 1, pp. 191–201. D. Henschler and G. Hehnert, Eds. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, FRG (1994).
3. International Agency for Research on Cancer: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 49, Chromium, nickel, and welding. IARC, Lyon, France (1990).
4. Karlsen JT; Farrants G; Torgrimsen T; Reith A: Chemical composition and morphology of welding fume particles and grinding dusts, Am Ind Hyg Assoc J 53:290–297 (1992).
5. Franchini R; Mutti A; Cavatorta E; et al.: Chromium. In: Biological Indicators for the Assessment of Human Exposure to Industrial Chemicals, pp. 31–52. EUR8903 EN. Commission of the European Communities, Luxembourg (1984).
6. International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 49, Chromium, Nickel, and Welding, p.450. IARC, Lyon, France (1990).
7. NIOSH U.S. National Institute for Occupational Safety and Health: National Occupational Exposure Survey. NIOSH, Cincinnati, OH (March 29, 1989).
8. Kumpulainen J; Letho J; Koivistoinen P: Determination of chromium in human milk, serum and urine by electrothermal atomic absorption spectrometry without preliminary ashing. Sci Total Environ 31:71–80 (1983).
9. Iyengar V; Woittiez J: Trace elements in human clinical specimens: evaluation of the literature data to identify reference values, Clin Chem 34:474–481 (1988).
10. Paustenbach DJ; Panko JM; Fredrick MM; et al.: Urinary chromium as a biological marker of environmental exposure: what are the limitations Regul Toxicol Pharmacol 26(1 Pt. 2):S23–S34 (1997).
11. Aitio A; Jarvisalo J; Kiilunen M; et al.: Chromium. In: Biological Monitoring of Toxic Metals, pp. 369–382. T.W. Clarkson, L. Friberg, G.F. Nordberg, and P.R. Sager, Eds. Plenum Press, New York (1988).
12. Baranowska–Dutkiewicz B: Absorption of hexavalent chromium by skin in man. Arch Toxicol 47:47–50 (1981).
13. Kelley WF; Ackrill P; Day JP; et al.: Cutaneous absorption of trivalent chromium: tissue levels and treatment by exchange transfusion, Br J Ind Med 39:397–400 (1982).
14. Langard S (Ed.): Biological and Environmental Aspects of Chromium, pp. 154–155. Elsevier Biochemical Press, New York (1982).

15. Sunderman FW: Kinetics and biotransformation of Cr and Ni. In: Proceedings of the International Conference on Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases, pp. 1–19. World Health Organization, IARC, CEC, Geneva (1985).
16. Welinder H; Littorin M; Gullberg B; Skerfving S: Elimination of chromium in urine after stainless steel welding. *Scand J Work Environ Health* 9:397–403 (1983).
17. Tola S; Kilpio J; Virtamo M; Haapa K: Urinary chromium as an indicator of the exposure of welders to chromium. *Scand J Work Environ Health* 3:192–202 (1977).
18. Glyseth B; Gundersen N; Langard S: Evaluation of chromium exposure based on a simplified method for urinary chromium determination. *Scand J Work Environ Health* 3:28–31 (1977).
19. Sjogren B; Hedstrom L; Ulfvarson U: Urine chromium as an estimator of air exposure to stainless steel welding fumes. *Int Arch Occup Environ Health* 51:347–354 (1983).
20. Zober A; Wettle D; Schaller KH: Study of the kinetics of chromium and nickel in biological material during a week of arc welding work using chromium–nickel containing filler metals. *Schweissen Schneiden (Welding Cutting)* 36:461–464 (E162–E164) (1984).
21. Lewalter J; Korallus U; Harzdorf C; Weidemann H: Chromium bond detection in isolated erythrocytes: a new principle of biological monitoring of exposure to hexavalent chromium. *Int Arch Occup Environ Health* 55:305–318 (1985).
22. Jones RE: Hexavalent chrome: threshold concept for carcinogenicity. *Biomed Environ Sci* 3:20–34 (1990).
23. Minoia C; Cavalleri A; D'Andrea F: Urinary excretion of total and hexavalent chromium in workers exposed to trivalent and hexavalent chromium. In: *Trace Element Analytical Chemistry in Medicine and Biology*, pp. 623–626. P Bratter and P Schramel, Eds. Walter de Gruyter, Berlin (1983).
24. Rahkonen E; Junttila ML; Kalliomaki PL; et al.: Evaluation of biological monitoring among stainless steel welders. *Int Arch. Occup Environ Health* 52:243–255 (1983).
25. Kalliomaki P; Rahkonen E; Vaaranen V; et al.: Lung retained contaminants, urinary chromium and nickel among stainless steel welders. *Int Arch Occup Environ Health* 49:67–75 (1981).