

# CHROMIUM(VI) 2

수용성 흠  
(WATER-SOLUBLE FUME)



김치년

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 $\mu\text{g}/\ell$	-
	작업 중 증가된 농도	10 $\mu\text{g}/\ell$	-

## 독성학적 요약(Summary of Toxicology)

크롬 및 다른 크롬 화합물들의 독성은 광범위하게 검토되었다.<sup>1), 2), 3), 5), 13), 14), 15)</sup> 독성 영향은 화합물의 용해도, 물리적 형태에 따라 다양하다. 높은 농도의 크롬 노출은 상부 호흡기관을 자극할 수 있으며 극단적인 경우 비중격천공을 유발할 수 있다. 그러나 암 유발과는 관련이 없는 것으로 나타났다.<sup>16)</sup> 크롬 미스트와 같은 국소적인 노출 효과는 일반적으로 진신 효과와 관련이 없다. 6가 크롬 화합물은 피부, 호흡기, 신장에 악영향을 미칠 수 있다. 3가 크롬 화합물은 독성이 적다.

국제암연구소(IARC)에서는 크롬산 생산, 크롬산 염료 생산, 크롬 도금 산업에서의 크롬 화합물의 발암성은 충분한 근거가 있다고 보고하였다.<sup>2)</sup> 크롬산 생산, 도금, 도장에 관한 5편의 암 역학 연구가 IARC에서 검토 이후 발표되었다.<sup>16), 17), 18), 19), 20)</sup> 전반적으로 과거 크롬산 생산 산업에서 상대적으로 높은 노출이 높은 위험과 관련이 있었다는 증거가 있다. 그러나 50년대 후반과 60년대 초반에 제조 공정 변경으로 노출이 줄어들어 폐암 위험이 감소할 수 있다. IARC<sup>2)</sup>는 용접 흄과 가스의 발암성에 대한 제한된 근거를 발견하였다(Group 2B).

## TLV-TWA

수용성 6가 크롬 화합물의 TLV-TWA는 0.05 mg/m<sup>3</sup>이다.<sup>21)</sup> 가용성 크롬산염은 모든 IARC 분류(Group 1)에 근거하여 인체 발암 물질 A1으로 분류한다.<sup>2)</sup> TLV-TWA의 설정 근거는 '호흡기 자극과 암, 피부염 및 가능한 신장 손상의 가능성을 최소화하는 것'이다.<sup>22)</sup> 다른 크롬 화합물에 대해서는 별도의 TLV가 있다.<sup>21)</sup>

## 요약(Summary)

BEI의 권고는 수용성 및 약간의 수용성(Sparingly soluble)이 있는 크롬 화합물에 적용한다. 교대 근무가 끝날 때(작업 종료 후) 채취한 소변 중 크롬 농도는 장기간 노출량과 근무일 동안의 노출량 합계를 의미한다. 교대 근무 동안 소변 중 크롬

배설량의 실제 증가는 근무 마지막 주 종료 후에 분석한 소변 중 농도보다 1일 노출의 더 나은 지표이다. 1일 노출량 추정치의 경우, 교대근무 전과 후 시료를 채취하고 분석해야 한다.

## 소변 중 크롬산(CHROMIUM IN URINE)

### 분석 방법(Analytical Methods)

소변 중 총 크롬은 일반적으로 중수소 램프 바탕보정(Deuterium background correction)이 가능한 전열 원자화(Electrothermal atomization, 흑연로) 흡광광도계로 분석한다.<sup>4), 23), 24), 25)</sup> 다른 분석 기술도 가능하나 직업적 노출이 없는 정상인 크롬 농도를 감지하기에는 민감도가 떨어질 수 있다. 시료 분석 중에 잠재적으로 심각한 오염 문제가 발생할 수 있으므로 엄격한 정도 관리 프로그램을 사용하여 제어할 수 있어야 한다.<sup>26)</sup>

### 시료 채취 및 저장(Sampling and Storage)

소변은 산으로 세척한 플라스틱 병에 채취해야 한다. 시료 오염을 최소화하기 위하여 시료는 작업자가 샤워를 하고 옷을 갈아입은 후에 채취하여야 한다. 근무 전 소변 시료를 채취하는 시간은 중요하지 않다. 근무 마지막에 채취한 소변 시료는 전체 근무 기간 동안 노출을 의미하는 최소 2시간 방광 내의 농도이다. 소변 시료는 분석할 때까지 냉장 또는 냉동 보관해야 한다. 소변을 안정화시키는 데 사용되는 방부제는 사용 전에 크롬 포함 여부를 확인해야 한다.

### 직업적 노출이 없는 생물학적 수준

#### (Biological Levels Without Occupational Exposure)

흑연로 원자 흡광광도계로 측정된 비직업적 노출 집단의 소변 내 크롬 농도는 1  $\mu\text{g}/\ell$  미만이다. 일반 원자 흡광광도계 및 비색법으로 측정된 오래된 문헌은 더 높은 값(최대 5  $\mu\text{g}/\ell$ )을 보고하였다.<sup>3)</sup> 저자들은 측정값이 높은 것은 분석 중 시료의

오염으로 인한 것일 수 있다고 추측하였다. 금속 정련 산업공장 주변 거주자들은 소변에서의 크롬 농도가 증가하였다.<sup>27)</sup> 일반 인구집단의 배경농도 수준은 0.2에서 2  $\mu\text{g}/\ell$  로 보고되었다. 소변으로의 크롬 배설은 대조군과 비교했을 때 임신 중이 증가하였다.<sup>28)</sup>

### 동력학(Kinetics)

스테인리스강 용접공, 특히 MMA 용접기술을 사용하는 용접공에서 관찰되는 것처럼 크롬은 3위상(Triphasic)으로 제거된다.<sup>6, 7, 8, 9, 10, 11, 29, 30)</sup> 반감기는 약 7시간, 15~30일, 3~5년이다.<sup>5)</sup>

인간의 3가 크롬과 6가 크롬 섭취에 대한 생리학적 약물 동력학 모델은 개발되었다.<sup>31)</sup> 생리학적 폐 구획(Lung compartment)은 포함되지 않았다. 이 모델은 창자에서 3가 크롬과 6가 크롬이 서로 다른 흡수를 보였고 모든 체액과 조직에서 6가 크롬이 3가 크롬으로 급속하게 환원되었으며, 소변 내 크롬 제거는 농도 수준에 따라 다르게 나타났다.


### 측정 해석에 영향을 미치는 요인들

#### (Factors Affecting Interpretation of Measurements)

크롬의 용해도, 원자가 및 물리적 형태(안개, 먼지, 연기)는 체내의 크롬 흡수, 분포, 제거에 영향을 미친다.<sup>3, 5)</sup> 따라서 다양한 직업의 근로자들이 특정 형태의 크롬과 비슷한 농도이지만 위에서 언급한 요인 때문에 크롬의 체외 배설은 다양한 농도로 이루어진다.

축적된 크롬의 분포와 제거 동력학은 근무일 동안의 노출 기간과 수년간의 이전 노출에 영향을 받는다. 6가 크롬에 만성적으로 노출된 용접공은 15~20년의 기간 동안 크롬에 대한 직업적 노출이 거의 없거나 전혀 없는 새로운 용접공과 비교했을 때 신장 클리어런스(Renal clearance)가 증가하였다.<sup>3, 32)</sup>

주변 환경의 크롬 배경농도의 가변성은 상대적으로 작다.

시료 채취나 분석이 수행되는 동안 오염된 시료는 데이터 해석에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 흡연은 소변 중 크롬 농도를 증가시킨다.<sup>23, 33)</sup> 



1. World Health Organization: Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace, Vol. 1, p. 102. WHO/HPR/OCH96.1. WHO, Geneva (1996).
2. 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).
3. 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).
4. 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).
5. Aitio A; Jarvisalo J; Kiiilunen 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).
6. 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).
7. 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).
8. 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).
9. 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).
10. 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).
11. 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).
12. 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).
13. U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological Profile for Chromium (Update), ATSDR, Atlanta, GA (1998).
14. Nieboer E; Yassi A; Haines AT; Jusys AA: Effects of chromium compounds on human health, Ontario, Ministry of Labour, Toronto (1984).
15. Langard S; Norseth T: Chromium, In: Handbook on the Toxicology of Metals, 2nd ed., Vol. II, pp. 193 – 210, L. Friberg, G.F. Nordberg, V.B. Vouk, Eds, Elsevier Science Publishers, New York (1986).
16. Gibb HJ; Lees PSJ; Pinsky PF; Rooney BC: Lung cancer among workers in chromium chemical production, *Am J Ind Med* 38:115 – 126 (2000).
17. Boice Jr JD; Marano DE; Fryzek JP; et al.: Mortality among aircraft manufacturing workers, *Occup Environ Med* 56:581 – 597 (1999).

18. Davies JM; Easton DF; Bidstrup PL: Mortality from respiratory cancers and other causes in United Kingdom chromate production workers. *Br J Ind Med* 48:299–313 (1991).
19. Korallus U; Ulm K; Steinmann–Steiner–Hadlenstaett W: Bronchial carcinoma mortality in the German chromate–producing industry: the effects of process modification. *Int Arch Occup Environ Health* 65:171–178 (1993).
20. Mancuso TF: Chromium as an industrial carcinogen, Part I. *Am J Ind Med* 31(2):129–139 (1997).
21. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Chromium and inorganic compounds. In: 2002 TLVs® and BEIs®: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices, p. 22. ACGIH, Cincinnati, OH (2002).
22. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Chromium. In: Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th ed. ACGIH, Cincinnati, OH (2001).
23. Kayne FJ; Komar G; Laboda H; Vanderlinde RE: Atomic absorption spectrophotometry of chromium in serum and urine with a modified Perkin–Elmer 603 atomic absorption spectrophotometer. *Clin Chem* 24:2151–2154 (1978).
24. Guthrie BE; Wolf WR; Veillon C: Background correction and related problems in the determination of chromium in urine by graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Anal Chem* 50:1900–1902 (1978).
25. Kiilunen M; Jarvisalo J; Makitie O; Aitio A: Analysis, storage stability and reference values for urinary chromium and nickel. *Int Arch Occup Environ Health* 59:43–50 (1987).
26. Schaller KH; Angerer J; Weltel D; Drexler H: External quality assurance program for biological monitoring in occupational and environmental medicine. *Rev Environ Health* 16:223–232 (2001).
27. Norseth T: Chromium and nickel. In: Biological Monitoring and Surveillance of Workers Exposed to Chemicals, p. 49–59. A. Aitio, V. Riihimaki, and H. Vainio, Eds. Hemisphere Publishing Corp., New York (1984).
28. Morris B; MacNeil S; Fraser R; Gray T: Increased urine chromium excretion in normal pregnancy. *Clin Chem* 41(1):1544–1545 (1995).
29. Muti A; Cavatorta A; Pedroni C; et al.: The role of chromium accumulation in the relationship between airborne and urinary chromium in welders. *Int Arch Occup Environ Health* 43:123–133 (1979).
30. Mutti A; Pedroni C; Arfini G; et al.: Biological monitoring of occupational exposure to different chromium compounds at various valency states. *Int J Environ Anal Chem* 17:35–41 (1984).
31. O’Flaherty EJ; Kerger BD; Hays SM; Paustenbach DJ: A physiologically based model for the ingestion of chromium (III) and chromium (IV) by humans. *ToxicolSci* 60:196–213 (2001).
32. Tossavainen A; Nurminen M; Mutanen P; Tola S: Application of mathematical modelling for assessing the biological half–times of chromium and nickel in field studies. *Br J Ind Med* 37:285–291 (1980).
33. Stridsklev IC; Hemmingsen B; Karlsen JT; et al.: Biologic monitoring of chromium and nickel among stainless steel welders using the manual metal arc methods. *Int Arch Occup Environ Health* 65:209–219 (1993).