

# CHROMIUM(VI) 3

수용성 흠  
(WATER-SOLUBLE FUME)



김찬연

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	-

## 소변 중 크롬산(Chromium In Urine)

### 타당성(Justification)

스테인리스강의 MMA 용접은 수용성 6가 크롬을 흡의 형태로 방출한다. 아래에 요약된 연구들은 작업 현장에서 이루어졌으며 주로 스테인리스강의 MMA 용접공의 수용성 6가 크롬의 호흡기 영역 공기 중 농도와 소변 중 크롬 배설량의 관계를 근거로 BEI의 타당성을 설명하고 있다.

### 일주 근무 작업종료 및 당일 작업종료 시 수집된 소변 중 크롬 측정

#### (Chromium Measurements in Urine Collected at the End of Shift and End of Workweek)

스테인레스강 MMA 용접 작업을 대상으로 수용성 크롬에 대한 직업적 노출을 연구한 10편의 문헌을 <표 1>에 요약하였다.

이들 연구들의 작업종료 후 소변 중 크롬 농도는  $10.7\sim 58 \mu\text{g/g Creatinine}$ 이었다. 이러한 수준은  $0.03\sim 0.16 \text{ mg/m}^3$ 의 수용성 6가 크롬 또는  $0.05\sim 0.20 \text{ mg/m}^3$ 의 총 크롬의 만성 노출에 해당한다. 총 321명의 노동자가 이들 연구에 포함되었다. 수용성 6가 크롬 TLV-TWA( $0.05 \text{ mg/m}^3$ )에 해당하는 작업종료 후 소변 중 크롬 농도는 회귀방정식으로부터 평균  $25.6 \mu\text{g/l}$ 가 산출되었다. 이 값은  $0.08 \text{ mg/m}^3$ 의 공기 중 총 크롬에 해당하는 소변 중 크롬 농도 추정치를 포함한다(스테인리스강 용접 흡은 약 60%의 가용성 크롬을 함유한다고 가정한다).

이러한 MMA 용접공의 독립적인 작업장 연구는 개인 호흡기 영역의 공기시료 채취로 수행하였다. Jelmert 등<sup>11)</sup>의 연구에서는 공기시료채취기를 용접 헬멧 밖에 설치하였다. 이 연구에서는 호흡기(명시되지 않은 특정 유형) 보호는 소변 중 수치와 상관성이 없었다. 호흡기 보호 장치를 착용한 사람들은 그렇지 않은 사람들보다 소변 중 농도가 높았다. Stridsklev 등<sup>10)</sup>은 헬멧 안에서 공기시료를 채취하였다. 필터 마스크 형태의 호흡 보호구를 착용한 사람들은 공기 흐름 헬멧 또는 호흡기 보호구를 착용하지 않은 사람들보다 상당히 낮은 소변 중 농도값을 보였다. Matczak 등<sup>12)</sup>의 연구에서 <표 1>에 제시한 소변 중 크롬 농도는 저자들이  $0.05 \text{ mg/m}^3$ 의 공기 중 6가 크롬 농도로 보정한 것이라고 언급하였다.

이 연구에서의 공기시료 채취기는 얼굴 가리개(Face guard) 뒤에 설치하여 채취하였다. 공기 시료와 소변 분석 모두 좋은 분석 방법을 사용하였다. 모든 연구는 적어도 7년 동안 MMA 용접을 경험한 용접공을 대상으로 실시한 것이다. 자료에 나타난 차이점들은 어떤 재료를 용접하였는지 그리고 작업 형태의 차이에서 발생할 수 있다.

〈표 1〉 스테인리스강 MMA 용접의 공기 중 개인노출 수용성 6가 크롬 농도와 작업종료 후 소변 중 농도와와의 관련성

공기 중 평균 크롬농도mg/m <sup>3</sup>	작업종료 후 소변 중 총 크롬 평균농도 (μg/l) <sup>A</sup>	회귀방정식B	노출기준 TLV 수준의 소변 중 총 크롬 농도 (μg/l) <sup>A</sup>	참고문헌
0.1	-	none given (n=23) (r=0.95; p<0.01)	35 <sup>D</sup>	Glyseth et al. <sup>4</sup>
-	0.05	y=446x + 5.6(n=6) (r=0.96; p<0.01)	28	Mutti et al. <sup>8</sup>
-	0.065	y=384x + 11(n=9) (r=0.88; p<0.01)	30	Mutti et al. <sup>9</sup>
0.15	-	y=100x + 26(n=5) (r=0.91; p<0.05)	31	Rahkonen et al. <sup>7</sup>
0.12	-	none given(n=53) (r=0.72; p<0.001)	32 <sup>D</sup>	Sjogren et al. <sup>5</sup>
0.2	0.16	y=265x + 25 (r=0.88; n=25)	38	Tola et al. <sup>3</sup>
0.5	-	none given(n=19) (r=0.86; p<0.01)	21 <sup>D</sup>	Welinder et al. <sup>2</sup>
0.75	0.035	none given(n=30) (r=0.88, p<0.0001)	16	Jelmert et al. <sup>11</sup>
0.64	0.030	none given(n=136) (r=0.78, p<0.001)	18	Stridsklev et al. <sup>10</sup>
0.21	-	none given(n=15)	15.8 <sup>E</sup>	Matczak et al. <sup>12</sup>

A 소변 중 농도단위 μg/g creatinine을 μg/l 로 전환할 때 creatinine 농도를 1g/l 로 가정<sup>9</sup>

B 회귀방정식 산출을 위해 저자가 사용한 측정치의 수(n)

C 논문에서 자체적으로 추정

D Cr(VI)을 총 크롬의 60%로 가정하여 논문에서 자체적으로 추정

E 회귀방정식으로 추정(논문에는 기술되어있지 않음)

새롭게 노출된 스테인리스강 MMA 용접공에 대한 연구에서 저자들은 만성 크롬 노출이 15~20년인 고령 노동자의 신장 클리어런스(Renal clearance)가 증가한 것과 비교하여 새로 노출된 노동자의 크롬 체외 배설이 정상 신장 클리어런스(Renal clearance)보다 낮다고 보고하였다.<sup>1), 6), 8), 9)</sup>

상기 결과는 수용성 6가 크롬에 대한 TLV-TWA인 0.05 mg/m<sup>3</sup>에 상응하는

25  $\mu\text{g}/\ell$  의 BEI의 타당성을 지원하며 서로 합리적으로 일치한다.

### 건강 영향(Health Effects)

국제암연구소(International Agency for Research on Cancer)는 1989년에 발표된 크롬산 생산 산업(13편), 크롬산염 안료 산업(6편), 크롬 도금 산업 24편의 역학 연구에서 암을 대상으로 연구하였다고 언급하였다. 암에 대한 문헌에서는 6가 크롬의 용해성 형태보다 상대적으로 불용성인 화합물과 주로 관련되어 있다고 보고하였다.

신장은 다양한 크롬 화합물에 대한 동물과 인간의 급성 노출 표적 기관이지만 용량-반응 관계는 확실하지 않다. 대부분의 인체 자료는 급성 과다 노출로부터 보고되었다. 사람에게 만성적인 수용성 크롬 노출에 대한 영향을 다룬 문헌은 거의 없었다.<sup>7)</sup>

5편의 연구에서 용접공을 대상으로 작업종료 후의 소변 중 크롬농도가 30  $\mu\text{g}/\text{g}$  Creatinine인 경우 신장 기능의 변화 가능성을 조사하였다.

Welinder 등<sup>8)</sup>은 9명의 은퇴한 용접공을 연구했고(은퇴한 지 평균 4년) 신장 기능 검사에 변화가 없음을 밝혀냈다.

Littorin 등<sup>14)</sup>은 현재 고용된 용접공을 대상으로 작업종료 후 측정된 평균 11  $\mu\text{g}/\text{g}$  Creatinine(범위, 1.5~71  $\mu\text{g}/\text{g}$  Creatinine)의 소변 중 크롬 농도의 영향을 연구하였다.  $\beta$ -헥소사미니다아제, 리소자임,  $\beta$ 2-마이크로볼린, 알부민 결과는 대조군과 차이가 없었다.

Mutti 등<sup>8)</sup>은 소변 중 평균 크롬 농도가  $5.3 \pm 0.7$   $\mu\text{g}/\text{g}$  Creatinine인 39명의 MMA 용접공에서 글루쿠론산분해효소, 단백질, 리소자임에 대한 비정상적인 결과를 발견하지 못했다. 그러나 용접 강재에 특수 전극 용접을 사용하는 36명의 용접공에서 용접공의 22%는 비정상적인 글루쿠론산분해효소, 10%는 단백뇨를 발견하였다. 작업종료 후 소변 중 평균 크롬 농도는  $33.3 \pm 6.9$   $\mu\text{g}/\text{g}$  Creatinine이었다. 소변 중 크롬과 비정상 검사의 유병률 사이의 용량-반응 관계는 없었다. 🍷

1. 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).
2. 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).
3. 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).
4. 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).
5. 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).
6. 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).
7. 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).
8. Mutti 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).
9. 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).
10. 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).
11. Jelmert O; Hansteen I-L; Langard S: Chromosome damage in lymphocytes of stainless steel welders related to past and current exposure to manual metal arc welding fumes. *Mutat Res* 320:223 – 233 (1994).
12. Matczak W; Trzcinka-Ochocka M; Chmielnicka J: Urinary excretion of chromium as an indicator of exposure to various chromium forms in MMA/SS welders. *Int J Occup Med Environ Health* 8(4):301 – 313 (1995).
13. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Topics in Biological Monitoring, p. 30. ACGIH, Cincinnati, OH (1995).
14. Littorin M; Welinder H; Hultberg B: Kidney function in stainless steel welders. *Int Arch Occup Environ Health* 53:279 – 282 (1984).