



트리클로로에틸렌(Trichloroethylene)(6)



연세대학교
보건대학원 교수
김치남

CAS 번호 : 79-01-6

동의어 : Trichloroethene

분자식(Molecular formula) : C₂HCl₃

RECOMMENDED BEI®

| 분석물질 | 시료채취시간 | BEI® | 경고주석 |
|-------------------|------------------------------------|----------|------|
| 소변 중 트리클로로아세트산 | End of shift at end of workweek | 15 mg/L | Ns |
| 혈액 중 트리클로로에탄올* | End of shift at end of workweek | 0.5 mg/L | Ns |
| 혈액 중 트리클로로에틸렌 | End of shift at end of workweek | - | Sq |
| 호기 중 트리클로로에틸렌 | End of shift at end of workweek | - | Sq |

* Without hydrolysis; Ns(Nonspecific); Sq(Semi-quantitative)



혈액 중 트리클로로에틸렌

비직업적 노출에 의한 생물학적 수준

트리클로로에틸렌에 노출되지 않으면 사람의 혈액 중에는 트리클로로에틸렌이 존재하지 않았다. 트리클로로에틸렌에 직업적 노출 또는 오염된 물 공급과 같은 환경적 요인으로 인한 노출 시는 혈액 중 트리클로로에틸렌이 검출될 수 있다.

혈액 중 트리클로로에틸렌의 동력학

혈액 중 트리클로로에틸렌 농도는 노출 시작 후 빠르게 상승하며 노출 중단 후 혈중 농도는 큰 편차와 함께 급격히 감소하였다(Monster 등, 1976). 혈액 중 트리클로로에틸렌은 지방에 축적될 수 있다. 공기 중 트리클로로에틸렌 농도 50, 100 ppm에 6시간 동안 노출되었을 때, 12~13시간의 반감기를 가지며, 2시간 후에 혈액 중 트리클로로에틸렌은 최고농도로 상승하였다(Muller 등, 1974). 트리클로로에틸렌으로 인해 발생한 남자 3명(나이, 28~36세)의 급성 중독의 경우 혈액 중 트리클로로에틸렌의 평균 반감기는 21.7시간으로 관찰되었다(Kostrzewski 등, 1993).

권고기준의 타당성

휴식 중인 사람의 경우 트리클로로에틸렌 100 ppm에 노출된 직후 혈액 중 트리클로로에틸렌 농도가 1.2 mg/L이었고 16시간 후에는 0.07 mg/L이었다(Muller 등, 1974). Lapare(1995) 등은 실험 지원자에게 6.5시간 동안 트리클로로에틸렌 12.5 ppm과 25 ppm에 각각 노출 시켰으며 지원자의 혈액 중 트리클로로에틸렌 농도는 0.17 mg/L와 0.33 mg/L로 보고하였다. 그러나 작업 부하가 있는 경우는 혈액 중 트리클로로에틸렌 농도가 현저히 증가되었다(Lapare 등, 1995; Vesterberg와 Astrand, 1976), 주류를 동시에 섭취한 경우는 트리클로로에틸렌 대사의 감소로 혈액 중 트리클로로에틸렌 농도가 증가하였다(Muller 등, 1975).

권고사항

ACGIH의 BEI 위원회에서는 트리클로로에틸렌 노출에 대한 특이도가 높은 지표로서 혈액 중 트리클로로에틸렌 모니터링을 권고하고 있다. 그러나 시료채취 시간의 한계 특성 때문에 혈액 중 트리클로로에틸렌 농도가 작업장 공기 중 트리클로로에틸렌 농도를 크게 반영하지는 않는다. 따라서 혈액 중 트리클로로에틸렌 측정은 노출의 확인 또는 선별 검사로 제안하였다. 이러한 이유로 혈액 중 트리클로로에틸렌을 반 정량적(Semiquantitative, Sq) 경고주석으로 표기하였다.

기타 참조 기준값

ACGIH 이외의 기타 참고치는 없다.

호기 중 트리클로로에틸렌

분석방법

가스크로마토그래피 분석법은 특이도와 민감도가 높은 전자포획 검출기(electron-capture detector)를 장착하여 분석한다(Ertle 등, 1972; Monster와 Boersma, 1975). 케니스터(Canister)로 채취한 경우는 질량분석검출기를 장착하여 정교한 방법(예: 극저온 농도 샘플링, 열 탈착)으로 분석한다(Pleil과 Lindstrom, 1997; Pleil 등, 1998).

시료 채취와 보관

호기 시료 채취는 노출이 중단된 후 가능한 빠른 시점에 오염되지 않게 채취하여야 한다. 시료 채취는 밀봉된 유리 용기에 저장하고 가능한 바로 분석을 해야 하며, 또는 케니스터에 보관해야 한다(Pleil 과 Lindstrom, 1997). 채취된 시료는 고무 및 플라스틱과의 접촉에 의해 흡착될 수 있으므로 유의해야 한다.

호기 중 트리클로로에틸렌의 동력학

호기 중 트리클로로에틸렌의 농도는 노출 시작 직후에 혼합 호기에서 급격히 상승하고 흡입 농도 40%에서 안정화 되었다(Bartonicek, 1962; Fernandez 등, 1975; Monster 등, 1979; Nomiya와 Nomiya, 1974a). 트리클로로에틸렌 노출 농도를 2배로 하여 7시간 동안 노출 시켰을 때, 호기에서 변하지 않은 트리클로로에틸렌 농도가 비례적인 증가로 이어졌다(Lapare 등, 1995). 노출이 끝난 후, 호기 중 트리클로로에틸렌 농도는 감소하였다. 소실곡선(elimination curve)에서 약 20분, 3시간, 30시간에서 반감기 감소지수가 관찰되었다(Fernandez 등, 1975). 긴 반감기 때문에 호기 중 트리클로로에틸렌 농도는 작업 시간동안에 증가하였다. 트리클로로에틸렌 50 ppm에서 8시간 동안 단일 노출 후 폐포 공기 중 농도(C_{alv}) 감소는 아래의 방정식에 의해 산출할 수 있다.

$$C_{alv} = 2.6 \times e^{-2.3xt} + 1.6 \times e^{-2.3xt} + 0.25 \times e^{-2.3xt}$$

여기서, t = 시간, 노출 종료 후 시간, e = 자연대수의 밑수



Fernandez 등에 의해 보고된 위의 산출 식은 다른 연구(Nomiyama와 Nomiyama, 1974b)와 노출 시뮬레이션 모델(Fernandez 등, 1977)에 의해 입증되었다. 반복적 노출 후의 포화도 감소곡선을 설명하는 승산 계수(multiplying coefficient)는 트리클로로에틸렌의 체내 축적으로 인해 크게 나타났다.

Droz(1992)뿐만 아니라 BEI 다큐멘테이션 “서론”에서 생물학적 모니터링의 다양성에서 설명된 바와 같이 상수는 신체 조건과 근로자의 활동에 의해 영향을 받는다.

측정 결과 해석에 영향을 미치는 요인

시료채취 및 분석과정

특이도가 높은 고감도 가스크로마토그래피 분석방법이 유용하다. 호기 시료채취시간은 정량분석 수치와 및 노출 후의 평가에 많은 영향을 준다. 호기 시료의 오염과 손실에 주의해야 한다.

노출

호기 중 트리클로로에틸렌의 경우 트리클로로에틸렌 노출의 특이적인 지표(specific indicator)이다. 트리클로로에틸렌의 경우 가정용 제품(탈지제, 접착제)에서도 발생되며 냄새 또는 오염된 물 공급으로 인해 발생할 수 있으므로 직업적으로 노출된 사람이 아니라도 호기에서 관찰될 수 있다.

인구집단

호기 중 트리클로로에틸렌 농도는 근로자의 체내 지방과 작업 중 활동 수준뿐만 아니라 작업 후에도 영향을 받는다(BEI Documentation의 “서론” 부분인 생물학적 모니터링의 다양성 참조). 알코올과 알데히드 탈수소효소 결핍 인구집단의 호기 중 트리클로로에틸렌 농도는 정상 인구의 호기보다 높게 관찰된다. ☺

참고 문헌

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Trichloroethylene. In: Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th ed, ACGIH, Cincinnati, OH (2001).
2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: 2006 draft Documentation supporting the Notice of Intended Changes for a Trichloroethylene TLV. Available for purchase online at: <http://www.acgih.org/store/> (2006).
3. Bartonicek V: Metabolism and excretion of trichloroethylene after inhalation by human subjects. *Br J Ind Med* 19:134 - 141 (1962).
4. Droz PO: Quantification of biological variability. *Ann Occup Hyg*, 36:295 - 306 (1992).
5. Ertle T; Henschler D; Muller G; Spassowski M: Metabolism of trichloroethylene in man, 1. The significance of trichloroethanol in long-term exposure conditions. *Arch Toxikol* 29:171 - 188 (1972).
6. Fernandez JG; Droz PO; Humbert BE; Caperos JR: Trichloroethylene exposure. Simulation of uptake, excretion, and metabolism using a mathematical model. *Br J Ind Med* 34:43 - 55 (1977).
7. Fernandez JG; Humbert BE; Droz PO; Caperos JR: Trichloro-ethylene exposure. Percentage studies of absorption, excretion and metabolism by human subjects (in French). *Arch Mal Prof* 36:397 - 407 (1975).
8. Kostrzewski P; Jakubowski M; Kolacinski Z: Kinetics of trichloroethylene elimination from venous blood after acute inhalation poisoning. *Clin Toxicol* 31:353 - 353 (1993).
9. Lapare S; Tardif R; Brodeur J: Effect of various exposure scenarios on the biological monitoring of organic solvents in alveolar air. II, 1,1,1-Trichloroethane and trichloroethylene. *Int Arch Occup Environ Health* 67:375 - 394 (1995).
10. Monster AC; Boersma G: Simultaneous determination of trichloroethylene and metabolites in blood and exhaled air by gas chromatography. *Arch Occup Environ Health* 35:155 - 163 (1975).
11. Monster AC; Boersma G; Duba WC: Kinetics of trichloroethylene in repeated exposure of volunteers. *Int Arch Occup Environ Health*, 42:283 - 292 (1979).
12. Monster AC; Boersma G; Duba WC: Pharmacokinetics of trichloroethylene in volunteers, influence of workload and exposure concentration. *Int Arch Occup Environ Health* 38:87 - 102 (1976).
13. Muller G; Spassovski M; Henschler D: Metabolism of trichloroethylene in man. II. Pharmacokinetics of metabolites. *Arch Toxikol* 32:383 - 395 (1974).
14. Muller G; Spassovski M; Henschler D: Metabolism of trichloroethylene in man. III. Interaction of trichloroethylene and ethanol. *Arch Toxikol* 33:173 - 189 (1975).
15. Nomiya K; Nomiya H: Respiratory elimination of organic solvents in man; benzene, toluene, trichloroethylene, acetone, ethyl acetate and ethyl alcohol. *Int Arch Arbeitsmed* 32:85 - 91 (1974b). Nomiya K; Nomiya H: Respiratory retention, uptake and excretion of organic solvents in man; benzene, toluene, trichloroethylene, acetone, ethyl acetate and ethyl alcohol. *Int Arch Arbeitsmed* 32:75 - 83 (1974a).
16. Pleil J; Fisher J; Lindstrom A: Trichloroethene levels in human blood and exhaled breath from controlled inhalation exposure. *Environ Health Perspect* 106: 573 - 580 (1998).
17. Pleil J; Lindstrom A: Exhaled human breath measurement method for assessing exposure to halogenated volatile organic compounds. *Clin Chem* 43:723 - 730 (1997).
18. Vesterberg O; Astrand I: Exposure to trichloroethylene monitored by analysis of metabolites in blood and urine. *J Occup Med* 18(4):224 - 226 (1976).