

# CARBON MONOXIDE(4)

호기 중 일산화탄소  
(CARBON MONOXIDE IN END-EXHALED AIR)



김치연

연세대학교  
보건대학원 교수

CAS 번호 : 630-08-0

분자식(Molecular formula) : CO

## BEI 권고

평가 대상물질	시료채취 시간	BEI	경고주석
혈액 중 Carboxyhemoglobin(CO-Hb)	작업종료 후	3.5% of hemoglobin	B, Ns
호기 중 Carbon monoxide	작업종료 후	20ppm	B, Ns

## 분석 방법(Analytical Method)

호흡 분석을 위한 휴대용 장비는 테프론 확산 전극(Teflon-bonded diffusion electrode)으로 일산화탄소의 전기화학적 산화작용을 활용한다.<sup>6, 7)</sup>

## 시료 채취 및 저장(Sampling and Storage)

어느 정도의 일정한 일산화탄소 농도에 대한 노출 평가를 하기 위해서는 종말 호기(End-exhaled air)를 근무 마지막 시점에서 채취하여야 한다. 호기 시료를 작업장 밖에서 수집하는 경우, 샘플링은 노출이 있는 후 10~15분 이내에 수행하여야 한다. 그렇지 않으면 BEI를 적용할 수 없다. 응급 시나 현장 진단 확인을 위한 경우 필요에 따라 호기 시료를 채취할 수 있다(BEI는 이러한 상황엔 적용하지 않는다). 20초 동안 호흡을 유지한 후에 시료를 채취하는 것을 추천한다.<sup>8, 9)</sup>

호기 시료 채취 중에 오염되는 것은 방지해야 한다. 휴대용 장비를 사용할 수 없는 경우, 호기 시료를 튜브나 사란 주머니(Saran bag)에 모으고 이동한다.<sup>6)</sup> 흡연 습관은 모니터링 해야 한다. 현재 담배 흡연자들에게서 얻은 호기 시료를 BEI와 비교해선 안 된다.

## 직업적 노출이 없는 경우의 생물학적 수준

직업적 노출이 없는 인구집단을 대상으로 측정된 종말 호기 중 이산화탄소 농도는 다음과 같다.<sup>1, 2, 3, 6)</sup>

- 내인성 생성 : 2ppm 이하, 임신 중에는 15ppm까지 증가하고 용혈성 빈혈 환자에서는 30ppm까지 증가한다
- 도시 인구 : 6~12ppm
- 도시 고속도로 통근자 : 30ppm 이상
- 흡연자 : 담배, 하루에 한 갑, 평균 30~35ppm / 하루 2~3갑, 평균 40~45ppm, 시가 최대 130ppm
- 8시간 동안 50ppm의 메틸렌클로라이드 노출 : 9~15ppm(일산화탄소는 메틸렌클로라이드의 대사산물이다)

## 동력학(Kinetics)

일산화탄소 노출이 다소 일정하게 유지되면, 폐포 공기의 일산화탄소 농도는 8시간 노출 중 후반에 최고치에 도달한다. 노출이 지속되면 폐포 공기의 농도는 반감기가 5시간(범위, 2~7시간)으로 감소한다.<sup>4)</sup>

## 측정 해석에 영향을 미친 요인들

### 분석 절차 및 시료 채취

호기 분석에 사용할 수 있는 휴대용 장비는 테프론 확산 전극에서 일산화탄소의 전기 화학적 산화를 이용하여 특이도와 민감도가 충분하며 정밀성을 갖추고 있다. 노출 시작 3시간 동안이나 노출 종료 후 15분 이상 혹은 크게 변동하는 노출 동안 채취한 호기 시료 결과는 BEI와 비교될 수 없다. 오염방지를 위한 예방조치가 반드시 필요하다.

### 노출

일산화탄소에 직업적으로 노출되지 않은 개인의 종말 호기의 일산화탄소 농도는 일산화탄소의 내인성 생성, 흡연 습관, 환경 노출에 따라 다르다. 이러한 배경 수준의 변화는 25ppm의 TLV-TWA 이하 노출 평가를 방해한다. 그러므로 BEI는 담배 흡연자와 혼잡한 도로에서 최근에 노출된 사람들에게는 적용할 수 없다. 일산화탄소는 또한 작업자가 직업적으로나 비직업적으로 노출될 수 있는 메틸렌클로라이드의 산물이다.

### 인구

일산화탄소는 산소 운반 능력이 감소하거나 산소 가용능력이 감소한 사람들에게 위험이 증가할 수 있다(CO<sub>Hb</sub> 지수 참조).

## 정당성(Justification)

폐포 공기의 일산화탄소와 CO<sub>Hb</sub>는 평형을 이룬다. Stewart 등<sup>6)</sup>의 자료에 따르면 종말 호기 중 일산화탄소 20ppm은 3.5%의 CO<sub>Hb</sub>에 해당된다. 추가 연구<sup>8)</sup>에서는 25ppm의 일산화탄소에 8시간 노출된 근로자의 종말 호기에서 20ppm의 일산화탄소

가 가장 많이 측정될 것이라는 추정을 증명하였다. 근무가 끝나면 이 호기 농도는 헤모글로빈의 3.5%의 COHb와 평형을 이룬다.

만약 샘플이 BEI가 적용되지 않는 비상상황에서 수집된 경우 다음 방정식을 사용하여 대략적인 노출을 추정할 수 있다.

$$C_{inh} = 2.5 (C_t e^{0.14t} - 10)$$

$C_{inh}$ 과  $C_t$  : 노출 중 흡입 공기나 노출 종료 후 측정된  
t시간의 일산화탄소 농도(ppm)

e : 자연 대수

$$\%COHb = -0.5 + \left( \frac{C_t}{5} \right)$$

진단 목적을 위한 종말 호기 측정은 호기를 채취할 때의 혈액에 존재하는 COHb 수준을 추정하는 데 사용할 수 있다.<sup>9)</sup>

### 현재 유용한 데이터베이스(Current Database Available)

호기 중 일산화탄소 측정에 대한 제한된 정보가 제공된다.

### 권고사항(Recommendation)

ACGIH는 일산화탄소에 대한 현재 노출의 지표로서 근무 마지막에 수집된 최종 호기 공기의 일산화탄소 모니터링을 권장한다. 종말 호기 시료는 교대가 끝나거나 최고 노출 시간에 수집 되어야 한다. 일산화탄소 노출 농도가 다소 일정한 경우에만 사용되는 BEI 농도로 20ppm을 추천한다. 종말 호기의 일산화탄소 농도는 8시간의 노출을 반영한다. BEI는 응급상황에서 처음 수집한 3시간이나 노출 종료 후 15분 이내에 수집한 샘플에는 적용되지 않아야 한다. 혼잡한 고속도로 통근자와 담배흡연자에 대한 노출을 모니터링하려면 특별한 고려사항이 필요하다.

### 기타 참고 수준(Other Reference Values)

작업장의 화학물질 건강 위험 조사에 대해 독일위원회(German Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds)는 다음과 같은 생물학적 허용치(BAT)<sup>10)</sup>를 추천한다. : 노출 종료시점이나 근무 마지막에 수집된 혈액 시료의 5%의 COHb

### 일산화탄소 노출의 다른 지표(Other Indicators of Carbon Monoxide Exposure)

일산화탄소에 대한 노출을 모니터링하기에 적합한 종말 호기 및 COHb 이외의 생물학적 결정 인자는 문헌에서 발견되지 않았다. 🐾

### BEI의 역사적 변화(Historical BEIs)

	Action	Determinant	Sampling Time	BEI	Notation
1984	Proposed	→ Carboxyhemoglobin in blood	→ End of shift	→ Less than 8%	→ R
		→ (CO) in end-exhaled air	→ End of shift	→ Less than 40 ppm	→ R
1986	Adopted	→ Carboxyhemoglobin in blood	→ End of shift	→ Less than 8%	→ R
		→ (CO) in end-exhaled air	→ End of shift	→ Less than 40 ppm	→ R
1987	Revised	→ Carboxyhemoglobin in blood	→ End of shift	→ Less than 8%	→ B, Ns, Sc
		→ (CO) in end-exhaled air	→ End of shift	→ Less than 40 ppm	→ B, Ns, Sc
1991	Proposed	→ Carboxyhemoglobin in blood	→ End of shift	→ 3,5% of hemoglobin	→ B, Ns
		→ (CO) in end-exhaled air	→ End of shift	→ 20 ppm	→ B, Ns
1993	Adopted	→ Carboxyhemoglobin in blood	→ End of shift	→ 3,5% of hemoglobin	→ B, Ns
		→ (CO) in end-exhaled air	→ End of shift	→ 20 ppm	→ B, Ns



참고문헌

1. U.S. Environmental Protection Agency: Air Quality for Carbon Monoxide. EPA/600/8-90/045A. U.S. EPA, Washington, DC(1990).
2. Stewart, R.D.: The Effect of Carbon Monoxide on Humans. *Ann. Rev. Pharmacol.* 15:409 – 423(1975).
3. Stewart, R.D.: The Effects of Carbon Monoxide on Humans. *J. Occup. Med.* 18:304 – 309(1976).
4. Peterson, J.E.; Stewart, R.D.: Predicting the Carboxyhemoglobin Levels Resulting from Carbon onoxide Exposures. *J. Appl. Physiol.* 39:633 – 638(1975).
5. Walden, S.M.; Gottlieb, S.O.: Urban Angina, Urban Arrhythmias: Carbon Monoxide and the Heart. *Ann. Int. Med.* 113:337 – 338(1990).
6. Stewart, R.D.; Stewart, R.S.; Stam, W.; et al.: Rapid Estimation of Carboxyhemoglobin Level in Fire Fighters. *JAMA* 235:390 – 392(1976).
7. Bay, H.W.; Blurton, K.F.; Sedlak, J.M.; et al.: Electrochemical Technique for the Measurement of Carbon Monoxide. *Anal. Chem.* 46:1837 – 1839(1974).
8. Kurt, T.L.; Anderson, R.J.; Reed, W.G.: Rapid Estimation of Carboxyhemoglobin by Breath Sampling in an Emergency Setting. *Vet. Hum. Toxicol.* 32:227 – 229(1990).
9. Ringlod, A.; Goldsmith, J.R.; Helwig, H.I.; et al.: Estimating Recent Carbon Monoxide Exposures. *Arch. Environ. Health* 5:308 – 318(1962).
10. Deutsche Forschungsgemeinschaft: List of MAK and BAT Values 2000: Maximum Concentrations and Biological Tolerance Values at the Workplace, p. 178. Report 36. Commission for Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, Wiley-VCH, Weinheim, FRG(2000).