

본 분석기법은 유해인자별 작업환경 측정 및 특수건강진단 시료를 분석할 때 간편하게 활용할 수 있는 방법으로 산업보건관련 유관기관에 실질적인 도움을 주고자 합니다. 이 분석기법들 중에는 공식적으로 검증, 채택되지 아니한 기법이 있음을 알립니다.

일부 주사기 제조업과 병원 종사자의 에틸렌옥사이드 노출수준 비교

대한산업보건협회
안선희, 신정아, 김강윤, 최호춘
이기인

개요

에틸렌옥사이드는 촉매를 통해 공기나 산소와 직접 산화시켜 생산되고 있다. 에틸렌옥사이드는 미국에서 필수적인 화학생산품으로 1997년 보고된 결과에 의하면 약 72억 lb가 생산된다고 하였다(C & E News, 1997). 이중 60% 이상이 부동산, 공업용 화

학물질, 용매, 폴리에스터 레진 등으로 사용되며, 15% 정도가 다양한 비이온화 계면활성제로 사용된다. 이 외 폴리에틸렌글리콜, 글리콜에테르, 에탄올아민과 폴리 글리콜생산에 사용된다. 에틸렌옥사이드 전체 사용량 중 매우 적은 양이 병원, 의류, 식료품 등의 소독 살균제로 사용되고 있다(Gardiner 등, 1993). 생산되는 에틸렌옥사이드의 2% 이하가 살균제로 사용되지만, 대부분의 근로자가 노출되는 주요 원인이 된다(NIOSH, 1989).

최근 들어 국내에서 병원근로자에 대한 산업보건학적 관심이 높아짐에 따라, 병원의 물품을 소독하는 과정에서 사용하는 에틸렌옥사이드 가스에 대한 노출실태를 파악하고, 작업환경에 대한 적절한 개선대책의 수립이 필요한 실정이다.

Elias 등(1993)은 의료용품 소독제로 사용되는 에틸렌옥사이드가 소독실의 배기 동안 펌프나 이젝터에서, 소독사이클의 마지막에 소독실의 문이 개폐될 때, 자동 환기 시스템이 없는 소독실의 경우 소독 후 물품을 통기실로 옮길 때 근로자와 작업실의 공기 중으로 노출될 수 있다고 하였다. 또 가스 교환 시 배선에 남아있는 에틸렌옥사이드에 노출될 수 있다고 보고하였다.

우리나라 노동부와 미국 산업위생전문가 협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 이하 ACGIH)에서는 에틸렌옥사이드를 발암성 의심물질(A2: suspected human carcinogen)로

표 1. 에틸렌옥사이드의 노출기준 비교

	우리나라 노동부	ACGIH	NIOSH	OSHA
TWA [^] (ppm)	1	1	0.1	1
STEL [^] (ppm)	-	-	5	5

[^]: Time Weighted Average
[^]: Short Term Exposure Limit

분류하였고, 사람에게 염색체 손상과 생식부 작용을 일으키는 물질로 규정하고 있다(노동부, 2002; ACGIH, 2002). 에틸렌옥사이드의 노출기준은 우리나라 노동부가 1 ppm(TWA)이며(노동부, 2002), ACGIH는 TLV-TWA로 1 ppm을 권고하고 있으며, OSHA는 PEL-TWA 1 ppm, PEL-STEL 5 ppm을 권고하였다. NIOSH에서는 0.1 ppm(TWA), 5 ppm(STEL)으로 권고하고 있다(ACGIH, 2002; LaMontagne 와 Kelsey, 1999).

병원의 에틸렌옥사이드를 취급하는 중앙공급실에서 에틸렌옥사이드에 노출되는 시간은 매우 제한적이다. 하루 8시간 동안 에틸렌옥사이드에 노출되는 시간이 15분을 초과하는 경우는 매우 드물기 때문에 TWA보다는 STEL 기준을 적용하는 것이 적절하다. 그러나 ACGIH나 우리나라 노동부는 STEL 기준이 정해져 있지 않은 문제점이 있다.

기존에 연구된 에틸렌옥사이드 노출과 관련된 연구는 그리 많지는 않으나, Sobaszek 등(1999)의 연구에서 환경시료는 8시간 동안 소독기 앞과 통기실 근처에서 측정되었고, 개인노출수준은 7~34분 동안 loading, unloading, 저장 및 실린더 교체를 하는 근로

자의 호흡위치에서 측정되었다. Lille 병원은 1978년에 처음 소독살균시설을 갖추었고 1992년에 교체하였다. 기계를 교체하기 전 250 L의 에틸렌옥사이드 15 %와 프레온 85 %를 혼합한 가스를 사용하였고, 음압환경에서 근로자들이 작업을 했다. 가스는 13 kg의 실린더로 제공되며 실린더는 한달에 한번 교체 사용하였다. 소독하는 시간은 15시간이었다. loading room과 unloading room 사이에 소독기를 배치해 두었고, unloading room은 살균된 물질을 소독기에서 꺼내고 저장하는데 이용하였다. 1992년에 새로 설치된 소독기는 기존의 안전과 관련된 문제점을 크게 보완한 것이었다. 두 번째 소독기는 설치 후 계속 사용해왔으며 에틸렌옥사이드 10 %와 이황화탄소 90 %를 혼합하여 사용하였다. 가스 실린더 교체시 노출농도가 90 ppm으로 단시간 노출 기준을 초과하였다. 통기실에서 에틸렌옥사이드 농도는 6.18 ppm으로 OSHA 에틸렌옥사이드 허용기준 1 ppm(PEL-TWA)과 5 ppm 단시간 노출기준(STEL)을 넘었다. 1992년에 소독기 한대를 교체한 후 unloading room에서 0.9 ppm이 검출되었으나, 단시간 노출기준은 실린더 교환시 5 ppm을 초과하였다.

Hori 등(2002)은 일본에 소재한 6개 병원

의 5곳에서 환경시료와 개인노출수준을 측정 분석하였다. 10개의 살균소독기에 사용된 가스는 에틸렌옥사이드 20%에 이황화탄소 80%를 혼합하여 사용하였고, 세탁실 한 곳에서는 에틸렌옥사이드 10%에 이황화탄소 90%를 혼합하여 사용하였다. 대다수의 병원에서는 pre-vacuum sterilization 방법을 사용하였고, clean room과 non-clean room 사이에 소독기를 배치해두었다. 살균해야 할 물질을 백에 포장하여 non-clean room에서 clean room쪽으로 살균되어 나오게 된다. 소형 실린더는 non-clean room에 있으며, 소독기에 에틸렌옥사이드를 직접 넣어주게 된다.

본 원고에서는 최근 병원 근로자에 대한 산업보건학적 관심이 높아짐에 따라 병원 중앙공급실에서 소독 기구를 꺼낼 때 에틸렌옥사이드에 노출되는 근로자와 주사기 제조업에서 멸균작업을 수행하는 근로자에 대하여 NMAM #1614방법에 따라 개인 및 지역시료를 포집하여 에틸렌옥사이드 노출수준을 비교하고자 하였다.

실험방법

1. 실험 대상

10개 병원의 소독 및 멸균장소인 중앙공급실에 소독 기구를 넣고 소독이 끝난 후 소독 기구를 꺼낼 때 작업자에서 개인시료

포집기를 이용하여 HBr이 코팅된 petroleum charcoal tube(SKC, 226-38-03)로 0.05-0.15 l/min의 유속으로 포집하였다. 지역시료는 멸균기가 작동하는 동안 에틸렌옥사이드가 주입되는 부근에서 포집하였다. 개인시료의 포집시간은 50분 이하, 지역시료의 포집시간은 150분 이하로 하였다.

또 주사기 제조업에서 멸균처리를 수행하여 에틸렌옥사이드에 노출되고 있는 근로자에 대하여 병원의 중앙공급실과 같은 방법으로 개인 및 지역시료를 포집하였다.

2. 표준시료

NMAM #1614 방법에 따라 표준용액 제조 및 전처리 과정을 진행하였다. 공기 중 시료 24를 포집 할 경우 허용기준 TLV-TWA 1 ppm에 대하여 0.5~2.0 TLV의 표준용액농도를 만들었다.

10 ml 용량 플라스크에 2-Bromoethanol(95%, Aldrich) 1 ml를 넣은 후 DMF(N,N-Dimethyl-formamide, 99.5%, Aldrich)로 표선을 채워 59.03 µg/µl의 표준용액 I을 만들고, 25 ml 용량 플라스크에 표준용액 I을 3 ml 넣고 DMF로 표선을 채워 7.084 µg/µl의 표준용액 II를 만들었다.

바이알에 1 ml DMF를 넣고 표준용액 I, II를 주입하여 세 농도의 표준용액을 만들었다(표 2).

표 2. 에틸렌옥사이드 표준용액 농도수준

표준용액	STD 1	STD 2	STD 3
농도	3 µl(표준용액 II) 21.252 µg	1 µl(표준용액 I) 59.036 µg	2 µl(표준용액 I) 118.072 µg

3. 시약조제

내부표준물질 : 50 ml 용량 플라스크에 HFBI(N-heptafluorobuthyrylimidazole, 97 %, Alfa) 1 ml를 넣고, Isooctane(2,2,4-trimethylpentane, 99 %, Aldrich)으로 표선을 채워서 2 % HFBI/Isooctane을 제조하였다.

4. 시료 전처리

① 표준용액 I, II를 주입하여 만든 세 농도의 표준용액을 잘 섞은 후 상온에 5분간 놓아둔다(시료인 경우 활성탄관을 앞, 뒤로 나누어 바이알에 담고 1 ml DMF를 넣고 10 초간 섞어준 후 상온에서 5분간 놓아둔다).

② 2 % HFBI/Isooctane 1 ml를 시험관에 취한 후, 바이알속 표준용액 및 시료를 10 μ 취해서 넣는다.

③ 1분간 교반기에서 섞은 후 상온에 5분간 놓아둔다.

④ 증류수 2 ml를 넣고 1분간 교반한다.

⑤ 3분간 2000 rpm에서 원심분리 후 위층만 취하여 바이알에 담고 GC-ECD로 분석한다.

5. 기기 및 분석조건

공기중 에틸렌옥사이드 분석은 GC/ECD(CP-3800, Varian)을 이용하여 분석하였다. 극성 컬럼 CP-WAX(30 m \times 0.32 mm \times 0.32 mm)를 사용하였고, 검출기 온도는 300 $^{\circ}$ C, 주입구 온도는 200 $^{\circ}$ C, 컬럼 온도는 80 $^{\circ}$ C에서 3분간, 1분에 10 $^{\circ}$ C씩 올린 후 110 $^{\circ}$ C에서 1분간 승온 분석을 한다. 이동상은 질소(N₂)가스로 유량은 28 ml/min, 주입

량은 1 μ 로 분석하였다(표 3).

표 3. 에틸렌옥사이드 GC/ECD 조건

조 건	분석조건
검출기	GC/ECD(CP-3800, Varian, U.S.A.)
컬럼	CP-WAX(30m \times 0.32 mm \times 0.32 mm)
이동상 가스	N ₂
온도 조건	주입기: 200 $^{\circ}$ C 검출기: 300 $^{\circ}$ C
	컬럼: 80 $^{\circ}$ C(3분) \times (10 $^{\circ}$ C/min) \times 110 $^{\circ}$ C(1분)
유량(ml/min)	N ₂ : 28(ml/min), Air: 300(ml/min)
주입량	1 (μ)

6. 통계분석

본 조사에서는 병원과 주사기 제조업에서 포집된 시료에 대한 농도수준에 통계적인 차이가 있는지 병원내 개인시료포집과 지역시료, 주사기 제조업내 개인시료와 지역시료의 농도수준에 차이가 있는지 알아보기 위하여 SAS 8.01 통계프로그램을 이용하여 t-test를 실시하였다.

결과 및 고찰

에틸렌옥사이드의 표준검량곡선은 표 4에 정리하였다. 표준검량곡선 $Y = 0.1748X + 0.0705$, 상관계수는 0.9999이었고, 검출한계는 1.562 μ g/시료였다.

에틸렌옥사이드 표준용액의 크로마토그램은 그림 1과 같이 나타났다. 공기 중에서 포집된 에틸렌옥사이드가 2-브로모에탄올로 변화되므로 표준용액으로 사용한 2-브로모

표 4. 에틸렌옥사이드 표준검량곡선

표준용액 ($\mu\text{g}/\text{시료}$)	n	Area	I.S.	Area/I.S.
공시료	3	0.0	37011	0.0
21.252	3	154092	37711	4.0861
59.036	3	407787	38338	10.6366
118.072	3	795746	37754	21.0771

$Y = 0.1748X + 0.0705$
 $r = 0.99996$
 검출한계* = 1.562($\mu\text{g}/\text{시료}$)

*검출한계: $3SE/b(SE)$: 표준오차 b: 검량곡선의 기울기, AIHA, 1988)

에탄올의 머무름 시간은 2.283분이었고, 내부 표준 물질 HFBI(N-heptafluorobuthyrylimidazole)의 머무름 시간은 4.177분이었다.

병원 중앙공급실의 소독 및 살균과정에서 발생하는 에틸렌옥사이드의 개인포집 시료의 기하평균농도는 0.026 ppm($<LOD-0.09$ ppm), 공급실의 지역포집 시료의 기하평균농도는 0.112 ppm($<LOD-8.41$ ppm)이었다. 일반적으로 병원에서의 소독은 기기의 안정화 단계를 거쳐 가스주입과 소독, 환기 순으로 이루어지는데 대부분의 병원에서는 측정이 이루어지는 6-8시간 동안 환기를 하였다. 그러나 충분히 환기가 되지 않은 상태에서 소독된 기구를 꺼내게 되면 에틸렌옥사이드에 미량 노출될 수 있다.

주사기 제조업에서는 주사기를 진공포장 상태로 에틸렌옥사이드를 이용하여 멸균하고 가스가 제거된 후 주사기를 뿔 때 개인포집 시료를 측정하였다. 개인포집 시료의 기하평균 농도는 8.985 ppm(3.41-18.79 ppm), 지역포집 시료의 기하평균농도 3.097 ppm(0.14-16.55 ppm)이었다. 주사기 제조업의 개인포집 시료는 작업자가 소독 및 멸균

처리 후 완전히 에틸렌옥사이드가 제거되지 않은 상태에서 꺼내는 작업을 하였으므로 에틸렌옥사이드의 노출기준보다 높게 나타난 것으로 생각된다.

병원과 주사기 제조업에서 에틸렌옥사이드에 노출된 농도는 통계적으로 유의한 차를 보였으며($p < 0.001$), 병원에서 개인시료와 지역시료 간 그리고 주사기 제조업에서 개인시료와 지역시료 간에는 통계적인 유의한 차이가 없었다. 그러나 병원과 주사기 제조업 모두 환기시스템을 잘 설치되어 있었으므로 환기시스템으로 인한 노출농도의 차는 아닌 것으로 보인다.

Hori 등(2002)은 6개 병원의 5곳에서 환경시료와 개인시료를 측정하였는데 개인노출 수준은 모두 불검출이었으며, 2 개소의 병원에서 밤 동안 측정된 에틸렌옥사이드의 농도와 실린더가 놓여있던 장소에서 3.5 ppm, 4.8 ppm이 검출되었다. 그 외 환경시료에서 0.06-0.86 ppm으로 나타났다. 서상옥과 백남원(1995)은 서울에 위치한 종합병원 5 개소의 중앙 공급실을 대상으로 에틸렌옥사이드를 측정한 바 있는데, 멸균을 담당하는 작업

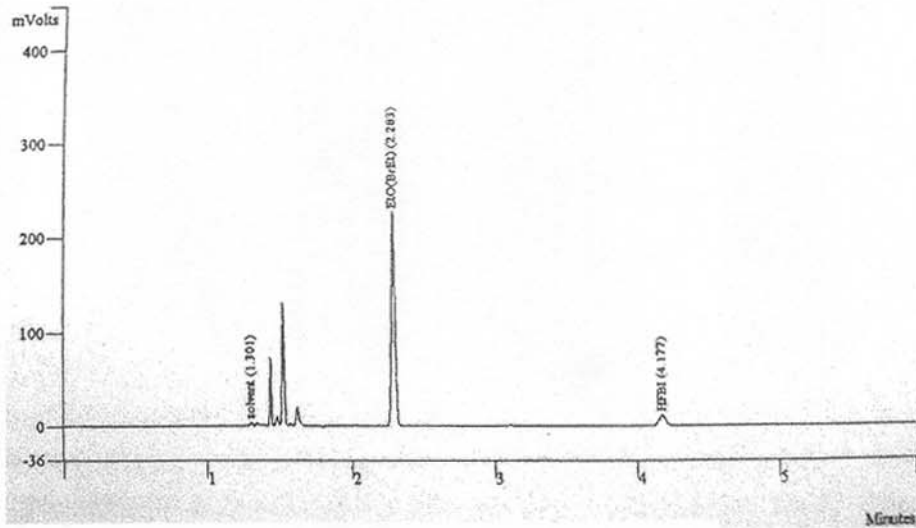


그림 1. 에틸렌옥사이드 크로마토그램

자의 경우 병원별로 TWA 농도가 0.005-3.036 ppm까지로 범위가 넓었으며, 우리나라 노동부와 ACGIH의 허용농도 기준이 1 ppm을 넘는 병원은 두 곳이었다. 환경시료의 농도는 0.005-8.682 ppm으로 우리나라와 ACGIH의 허용기준농도인 1 ppm을 초과하는 병원은 한 곳이었으며, NIOSH의 0.1 ppm을 초과하는 병원은 3 곳이었다. Wesolowski와 Sitarek(1999)는 13개 병원에서 개인시료 농도 0.0056 ppm이었고, 환경시료 농도 0.01 mg/m³ 이상이었다고 하였다. Koda 등(1999)은 2개 병원에서 환경시료를 단시간포집하였을 때 1.2 ppm이었고, 작업자의 호흡위치 근처에서 최대 단시간포집 농도는 300 ppm이었다.

우리나라 노동부(2002)의 에틸렌옥사이드 노출기준은 1 ppm으로 지정되어 있다.

노출기준 1 ppm 기준으로 포집장소에 따

른 농도는 병원의 개인포집 시료는 모두 노출기준의 1.0배 이하였고, 지역포집 시료일 경우 노출기준의 1.0배 이상이 2개 시료(15.4%)였다.

또 주사기 제조업의 개인포집 시료는 100% 모두 노출기준인 1 ppm 이상의 농도를 보였으며, 지역포집 시료는 노출기준의 1.0배 이상이 85.7%를 차지하였다(표 6).

결과를 종합해 보면, 병원 중앙공급실에서 에틸렌옥사이드에 노출되는 농도는 매우 미량으로써 개인시료 포집농도를 기준으로 볼 때 NIOSH에서 정한 REL-TWA 0.1 ppm에도 미치지 않는 농도임을 알 수 있다. 병원 근로자의 경우 노출시간이 10-15 분 정도인 점을 감안하면 NIOSH에서 정한 단시간노출기준(Short-term exposure limit, STEL)인 5 ppm을 적용하는 것이 적당할 것으로 생각되는데, 개인 시료에서는 5 ppm을 초과하는

표 5. 포집장소별 에틸렌옥사이드 농도

포집장소*	구분	n	에틸렌옥사이드 농도(ppm)				환기유무
			기하평균	기하표준편차	최소값	최대값	
병원	개인	6	0.026	1.848	<LOD	0.09	○
	지역	13	0.112	8.017	<LOD	8.41	
주사기 제조업	개인	5	8.985	2.303	3.41	18.79	○
	지역	7	3.097	5.803	0.14	16.55	

*P<0.05

표 6. 포집장소별 에틸렌옥사이드 농도 분포

포집장소	구분	1.0 배 이하		1.0 배 이상	
		n	%	n	%
병원	개인	6	100.0	-	-
	지역	11	84.6	2	15.4
주사기 제조업	개인	-	-	5	100.0
	지역	1	14.3	6	85.7

경우는 발생되지 않았다. 그러므로 병원 중 앙공급실의 작업환경은 양호한 것으로 판단되며, 지속적인 환기시설 등의 정기점검, 교육 및 작업관리가 이루어진다면 양호한 상태가 계속적으로 유지될 수 있을 것이다.

반면 주사기 제조업에서 멸균작업을 수행하는 근로자의 경우에는 에틸렌옥사이드의 노출농도가 우리나라 노출기준인 1 ppm을 모두 초과하고 있어, 환기시스템이 설치되어 있다고 하더라도 에틸렌옥사이드가 완전히 환기가 된 이후에 멸균된 주사기를 꺼내는 등 작업수칙을 지킬 수 있도록, 작업관리 및 교육을 집중적으로 실시해야 할 것으로 생각된다. 또한 제한적으로나마 보호구에 대한 지급도 필요할 것으로 생각된다.

본 조사는 일부 병원과 주사기 제조업을 중심으로 이루어진 것으로서 시료의 수가

적어 전체적인 경향을 파악하는데 제한점을 갖고 있으므로 좀 더 조사가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

맺음말

에틸렌옥사이드는 발암성 의심물질(A₂)로 전체 사용량 중 매우 적은 양이 병원, 의류, 식료품 등의 살균제로 사용되고 있다. 소독을 목적으로 하는 병원과 주사기 제조업에서 사용되는 에틸렌옥사이드의 개인 및 지역시료를 NIOSH #1614 방법으로 포집 및 분석하여 에틸렌옥사이드의 노출수준을 알아보고자 하였다.

1. 에틸렌옥사이드의 표준검량곡선 $Y = 0.1748X + 0.0705$, 상관계수는 0.99996이었고,

검출한계는 1.562 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 였다. 2-브로모에탄올의 머무름 시간은 2.283분이었고, 내부표준물질 HFBI(N-heptafluoro buthyrylimidazole)의 머무름 시간은 4.177분에 나타났다.

2. 병원의 소독 살균과정에서 발생하는 에틸렌옥사이드의 개인포집 시료의 기하평균농도는 0.026 ppm(LOD -0.09 ppm)이었고, 공급실의 지역포집 시료의 기하평균농도는 0.112 ppm(LOD -8.41 ppm)으로 개인포집 시료보다 높게 나타났다. 주사기 제조업에서 개인포집 시료의 기하평균 농도는 8.985 ppm(3.41-18.79 ppm)로 지역포집 시료의 기하평균농도 3.097 ppm(0.14-16.55 ppm)보다 높게 나타났다.

3. 에틸렌옥사이드 노출기준 1 ppm 기준으로 포집장소에 따른 농도 분포는 병원의 개인포집 시료는 100 % 모두 1.0배 이하였고, 지역포집 시료일 경우 1.0배 이하가 84.6 %였다. 또한 주사기 제조업의 개인포집 시료는 100 % 모두 1.0배 이상이었고, 지역포집 시료는 1.0배 이상이 85.7 %를 보였다.

본 조사결과, 병원 중앙공급실에서 에틸렌옥사이드 노출농도는 모두 노출기준인 1 ppm 이하였으나, 주사기 제조업의 멸균작업장 근로자의 에틸렌옥사이드 노출농도는 모두 노출기준인 1 ppm을 초과하고 있는 것으로 나타났다.

그러므로 에틸렌옥사이드의 노출을 감소시키기 위한 노력은 의료기구 소독이 이루어지고 있는 제조업을 중심으로 먼저 이루어져야 하고, 병원의 중앙 공급실은 환기시설 등의 정기 점검을 통해 에틸렌옥사이드

가 누출되는 일이 없도록 철저한 관리가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

서상옥, 백남원. 일부 종합병원 중앙 공급실에서의 에틸렌옥사이드 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지. 1995;5(1):68-86.

노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고시 제 2002-8호). 2002: 노동부.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. 2002. 33.

C & E News(July 23, 1997)

Collins M, Barker NJ. Direct Monitoring of Ambient Air for Ethylene Oxide and Ethylene Dibromide. Am Lab 1983;15:72-81.

Critchfield FE, Johnson JB. Colorimetric Determination of Ethylene Oxide by Conversion to Formaldehyde. Anal Chem 1957; 29: 797-800

Elias JD, Wylie DN, Yassi A, Tran N. Eliminating worker exposure to ethylene oxide from hospital sterilizers: An evaluation of cost and effectiveness of an isolation system. Appl Occup Environ Hyg 1993; 8(8): 687-692.

Gardiner TH, Waecher JM, Donald ES. Patty's Industrial Hygiene and Toxicology 1993;3 38-348(2A).

Hori H, Yahata K, Fujishiro K, Yoshizumi K, Li D, Goto Y, Higashi T. Personal Exposure Level and Environmental Ethylene Oxide Gas Concentration in Sterilization Facilities of Hospitals in Japan. *Appl Occup Environ Hygiene*. 2002;17(9):634-639.

Koda S, Kumagai S, Ohara H. Environmental monitoring and Assessment of Short-term Exposure to Hazardous Chemicals of a Sterilization Process in Hospital Working Environments. *Acta Med Okayama* 1999;53(5):217-230.

Kring EV, McGibney PD, Thornley GD. Laboratory Validation of Five Commercially Available Methods for Sampling Ethylene Oxide in Air. *Am Ind Hyg Assoc J* 1985;46(10):620-624.

LaMontagne AD, Kelsey KT, Ryan CM, Christiani DC. A participatory workplace health and safety training program for ethylene oxide. *Am J Ind Med* 1992;22:651-664.

LaMontagne AD, Kelsey KT, Ryan CM, Christiani DC. A participatory workplace health and safety training program for ethylene oxide. *Am J Ind Med* 1992;22:651-664.

Mullins HE. Sub-Part-Per-Million Diffusional Sampling For Ethylene Oxide

With the 3M #3550 Ethylene Oxide Monitor. *Am Ind Hyg Assoc J* 1985;46(10):625-631.

National Institute for Occupational Safety and Health: Control technology for ethylene oxide sterilization in hospitals. DHHS(NIOSH) Pub. No. 89-120. NIOSH, Cincinnati, OH(1989).

NIOSH. NIOSH Manual of Analytical Methods #1614, 1994.

Pilney RJ, Coyne LB. "Collection and Analysis of Airborne Ethylene Oxide." Paper presented at the American Industrial Hygiene Conference, Houston, Texas, 1980.

Puskar MA, Szopinski FG and Hecker LH. Laboratory and field Validation of a JXC Charcoal Sampling and Analytical Method for Monitoring Short-Term Exposures to Ethylene Oxide. *Am Ind Hyg Assoc J* 1998;49(5):237-243.

Qazi AH, Ketcham NH. A New Method for Monitoring Personal Exposure to Ethylene Oxide in the Occupational Environment. *Am Ind Hyg Assoc J* 1977;38:635-647.

Wesolowski W, Siarek K. Occupational exposure to ethylene oxide of hospital staff. *Int J Occup Med Environ Health* 1999;12(1):59-65. 