

일부 종합병원 중앙공급실에서의 Ethylene Oxide 노출에 관한 연구

서울대학교 보건대학원 산업보건학교실

서 상 옥 · 백 남 원

— Abstract —

A Study on Worker Exposure to Ethylene Oxide in Central Supply Sterilizing Room of Hospital

Sang Ok Seo and Nam Won Paik

*Division of Industrial Health, School of Public Health Seoul National University,
Seoul, Korea*

This study was conducted at five Ethylene Oxide(EO) sterilizing processes in hospitals located in Seoul from August 8 to August 30, 1994. The main purposes of this study were to assess the TWA (Time Weighted Average) and short term exposures to EO and to evaluate factors affecting EO concentrations in sterilizing room. Results are summarized as follows.

1. The TWA concentrations of the sterilizing operators ranged from <0.005ppm to 3.04ppm and those of two sterilizing rooms out of five exceeded 1ppm, the Korean and ACGIH standards.

2. When the door of the sterilizer is opened at the end of the sterilization cycle, the short term concentrations of operators ranged from <0.005ppm to 11.4ppm, and those of three sterilizing room out of five exceeded 5ppm, the ACGIH short term exposure limit(STEL). The short term concentrations of area samples ranged from 0.24ppm to 49.2ppm and those of four sterilizing room out of five exceeded 5ppm.

3. Factors affecting EO exposure level were aeration type, the location of storage site for sterilized item, amount of gas, use period of sterilizer($p<0.005$).

4. Following recommendations are suggested to minimize exposure to EO.

The use of EO gas should be reduced by using another available sterilization methods, and the sterilizers and gas tank storage site should be isolated from other work areas. Combination of local and general ventilation system should be installed. Metal carts or baskets for sterilization load should be used, and work environment and medical monitoring should be performed regularly.

Key Words : EO(Ethylene Oxide), Hospital, Sterilizer, Exposure, TWA concentration, STEL concentration.

I. 서 론

Ethylene Oxide(이하 EO로 명칭)는 소독 살균제(Reich, 1990), 유기합성 농약, 염료의 원료 등으로 사용되며 또한 병원에서 열과 수분에 민감한 의약품품을 멸균하기 위한 냉열균법에 널리 이용되고 있다(박명희, 1980). 그러나 EO는 guanosine의 N-7 position DNA와 공유결합해 N-7 hydroxyethylguanine을 형성하여 돌연변이를 일으키며, hemoglobin의 histidine에 결합하여 N-3-(2-hydroxyethyl)-histidine을 형성하기도 한다. 이러한 특성 때문에 EO는 유전 독성물질의 중요한 부류로 분류되고 있다(Kim 등, 1993). 일반적으로 EO는 흡입을 통해 체내에 흡수되어 눈과 호흡기관, 점막, 피부에 자극을 일으키고 두통, 오심, 구토, 설사를 유발하며 용혈작용과 중추 신경계 기능저하를 일으킨다. 또한 만성적으로 EO에 노출될 때에는 식약, 알러지성 피부염, 폐수종 등을 일으키는 것으로 알려져 있다. 이밖에 EO에 노출될 때 나타나는 결과로서 자연 유산율, 위암 및 백혈병 발생률의 증가와 DNA adducts, Hb adducts의 형성 및 염색체 이상과 자매염색체 교환(Sister Chromatid Exchange, SCE)의 발생 빈도 증가가 보고되고 있다. 따라서 우리나라 노동부와(노동부, 1991) 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)(ACGIH, 1993)는 작업환경중 EO에 대한 허용기준을 1ppm으로 정하고 있으며, 특히 ACGIH에서는 EO를 잠재적인 발암물질인 A₂(Suspected Carcinogen)로 규정하고 있다. 또한 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)은 EO에 대한 허용기준을 8시간 시간 가중 평균농도(Time Weighted Average, TWA)가 0.1ppm 이하가 되도록, 그리고 Short-Term Exposure Limit(STEL)는 하루 15 분이상 폭로되지 않는 한도에서 5ppm을 넘지 않도록 권고하고 있다(ACGIH, 1991).

병원에서의 EO 가스를 이용한 멸균과정은 멸균기에 EO 가스를 주입하여 일정시간동안 멸균이 이루어지도록 하는 과정과 진공펌프를 이용하여 멸균기내의 가스를 제거하고 여과공기를 주입하여 통

기시키는 과정 그리고 마지막으로 기계내의 압력이 대기압과 같아지면 멸균기계의 문을 열어 별도의 통기시설(aerator)로 옮겨 잔류가스를 제거하는 과정으로 나누어진다. 이러한 과정에서 EO 가스는 주로 멸균이 끝난 후 통기하기 위해 멸균기계의 문을 여는 순간 실내로 방출되며 그밖의 주요 노출원으로는 올바르게 관리되지 못한 통기시설, 멸균한 물품(Reich, 1990), 배기시설 주위와 하수구로 들어가는 배출구(Haney 등, 1990; Elias 등, 1993), 멸균기계로 공급되는 가스탱크 저장 장소 등이 있다.

EO의 노출 수준에 영향을 미치는 요인으로는 작업장의 환기상태(Samuels와 Eastin, 1980), 중앙공급실의 배치상황, 멸균기계의 특성, 멸균과정, 멸균 후의 통기방식, 근로자들의 작업행동(Sampson, 1994) 등이 있으며 노출을 줄일 수 있는 적절한 개선대책을 수립하기 위해서는 주요 노출원에서의 올바른 시료 채취와 설정한 요인에 대한 전반적인 조사가 함께 이루어져야 할 것으로 본다.

그러나 위에서 전술한 바와 같이 EO 가스가 높은 독성이 있음에도 불구하고 현재 우리나라에서는 EO 가스 취급 작업장에 대한 환경측정을 통한 연구가 거의 없는 상태이고 독성에 대한 올바른 인식조차 되어 있지 못한 형편이다. 따라서 멸균과정에서 사용하는 EO 가스에 대한 정확한 작업환경평가를 통해서 EO 가스의 노출 실태를 파악하고 그 결과를 토대로 작업환경에 대한 적절한 개선대책을 수립하는 것이 요망된다.

따라서 본 연구의 목적은 일부 종합병원을 대상으로 EO 가스 멸균 과정에서 작업환경 조사연구를 통해 EO 가스의 노출을 관리하기 위한 기초 자료를 제공하는데 있다.

본 연구의 구체적 목적은 다음과 같다.

- ① 일부 종합병원의 중앙공급실을 대상으로 공기중 EO 가스의 농도를 측정하여 근로자들의 노출 실태를 평가하고
- ② EO 가스의 노출에 영향을 미치는 작업환경 요인들을 규명하며
- ③ 규명된 각 인자들에 대한 EO 가스 농도와의 상관관계를 분석하여 노출을 줄일 수 있는 개선대책을 수립한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 1994년 8월 8일부터 8월 30일까지 서울 지역에 위치한 종합병원 5 개소의 중앙공급실을 대상으로 시행되었다.

2. 연구 방법

(1) 공기중 EO 농도 측정

시료의 채취와 분석은 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 추천하는 공정시험법인 method 1607법에 따라 진행하였다(NIOSH, 1984). 개인용 시료는 600mg 활성탄관(Charcoal tube)을 시료채취 전후에 비누거품법으로 유량을 보정(calibration)한 저유량 시료채취펌프(Low flow sampler, Gilian and SKC, USA)에 연결하여, 0.01-0.05Lpm으로 전체 작업시간동안 근로자의 호흡위치(breathing zone)에서 채취하였다. 또한 중앙공급실 내부의 공기중 농도를 평가하기 위해 멸균기계 문 위(Korpela 등, 1983), 통기시설 문 위, 멸균기계 앞, 밸브 연결부위, 배기시설 주위, 문 주위 등에서 개인 시료와 같은 조건으로 지역시료를 채취하였다. 그리고 고농도의 노출이 예상될 때 즉, 멸균 후 통기시킴을 위해 멸균기계의 문을 열 때와 멸균한 물품을 옮길 때(Reich, 1990) 단시간동안(15분간) 개인시료와 지역시료를 채취하였다. 시료채취가 끝난 활성탄관은 즉시 양 끝에 캡을 씌우고 테플론 필름(Teflon film)으로 봉한 후 냉장보관하여 실험실로 옮겼으며 시료는 냉동보관하면서 15일 이내에 분석하였다.

벤젠 : 이황화탄소 = 99 : 1 로 섞은 용매 3ml를 5ml 유리병에 넣고 얼린 후, 현장에서 포집한 활성탄관을 깨뜨려서 유리섬유를 제거하고 활성탄의 앞층과 뒷층을 분리하여 각각을 유리병에 넣고 1시간 동안 흔들어 주면서 탈착시켰다. 탈착후에는 시료 1ml를 취하여 3ml 유리병에 넣고 48% HBr 20μl를 가하여 약 30초 동안 흔들어 준 후 Na₂CO₃ 75mg을 천천히 가하여 유도체화시켰다(derivatization).

Ethylene Oxide+HBr+H⁺→2-Bromoethanol (Cummins 등, 1987)

분석은 2-bromoethanol 분석 조건(표 1 참조)에 맞추어 조정된 가스 크로마토그래피(Gas Chromatography, HP 5890, Hewlett Packard, U.S.A.) 전자포획검출기(Electronic Capture Detector, ECD)를 사용하였다(Esposito 등, 1984). 시료액 2μl를 미량주사기(Microsyringe, ITD Corporation)를 사용하여 주입하고 곡선(peak)의 면적을 구한 후, 표준액의 주입에 의한 면적과 이를 비교하여 농도를 산출하였다.

2-bromoethanol의 전형적인 크로마토그램은 그림 1과 같으며 이를 GC Mass로 동정한 결과를 그림 2에 나타내었다.

(2) 작업환경에 영향을주는 요인

EO 가스의 노출수준에 영향을 미치는 요인을 찾아내기 위하여 다음과 같은 사항들을 조사하였다.

1) 작업장의 환기상태 : 멸균기계에 국소배기장치가 부착되어 있는지 여부와 병원내의 전체환기 시스템과 팬, 공기청정기의 작동여부.

2) 중앙공급실 배치상황 : 중앙공급실의 전반적인 배치 상황, 면적, 멸균기계, 통기시설, 가스탱크 저장장소 등이 근로자의 작업공간과 격리되어 있는지 여부, 멸균한 물품의 저장장소가 별도로 존재하는지 여부.

3) 멸균기계의 특성 : 멸균기계의 모델명, 구입년도, 총 용량, 배기구와의 연결상태, 기계에 대한 정

Table 1. The Systems and Operating Conditions of GC

Variable	Condition
Systems	
Gas Chromatography	Hewlette Packard 5890
Detector	ECD(electronic capture detector)
Column	50m×0.32mm×0.3μm film HP-20M(Carbowax 20M) Capillary Column Hewlette Packard, U.S.A.
Operating Conditions	
Carrier Gas	N ₂
Flow Rate	0.7 ml/min
Injection Mode	Split
Injection Volume	2 μl
Injector Temperature	220℃
Detector Temperature	250℃
Oven Temperature	150℃

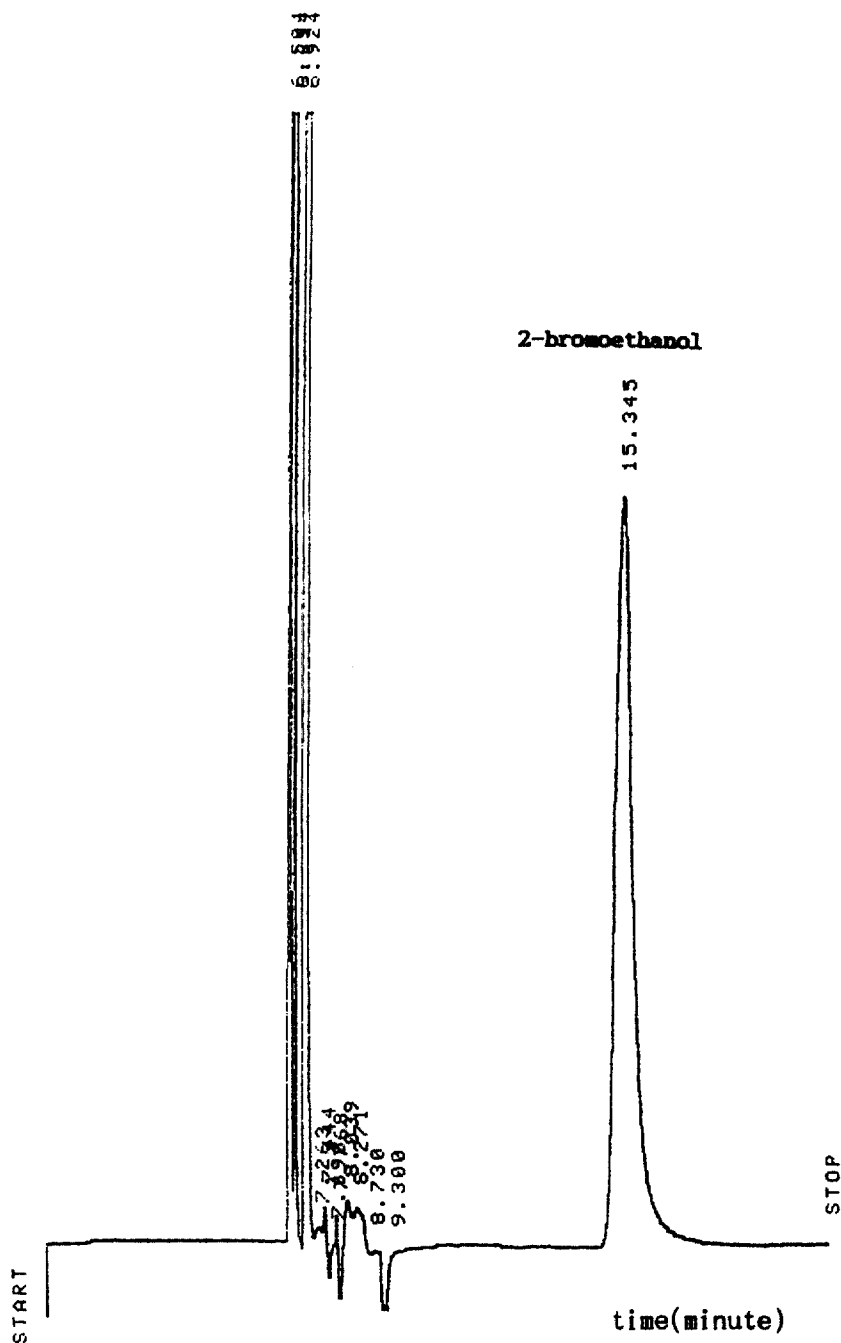


Fig. 1. Gas Chromatogram of 2-Bromoethanol by HP-20M Capillary Column.

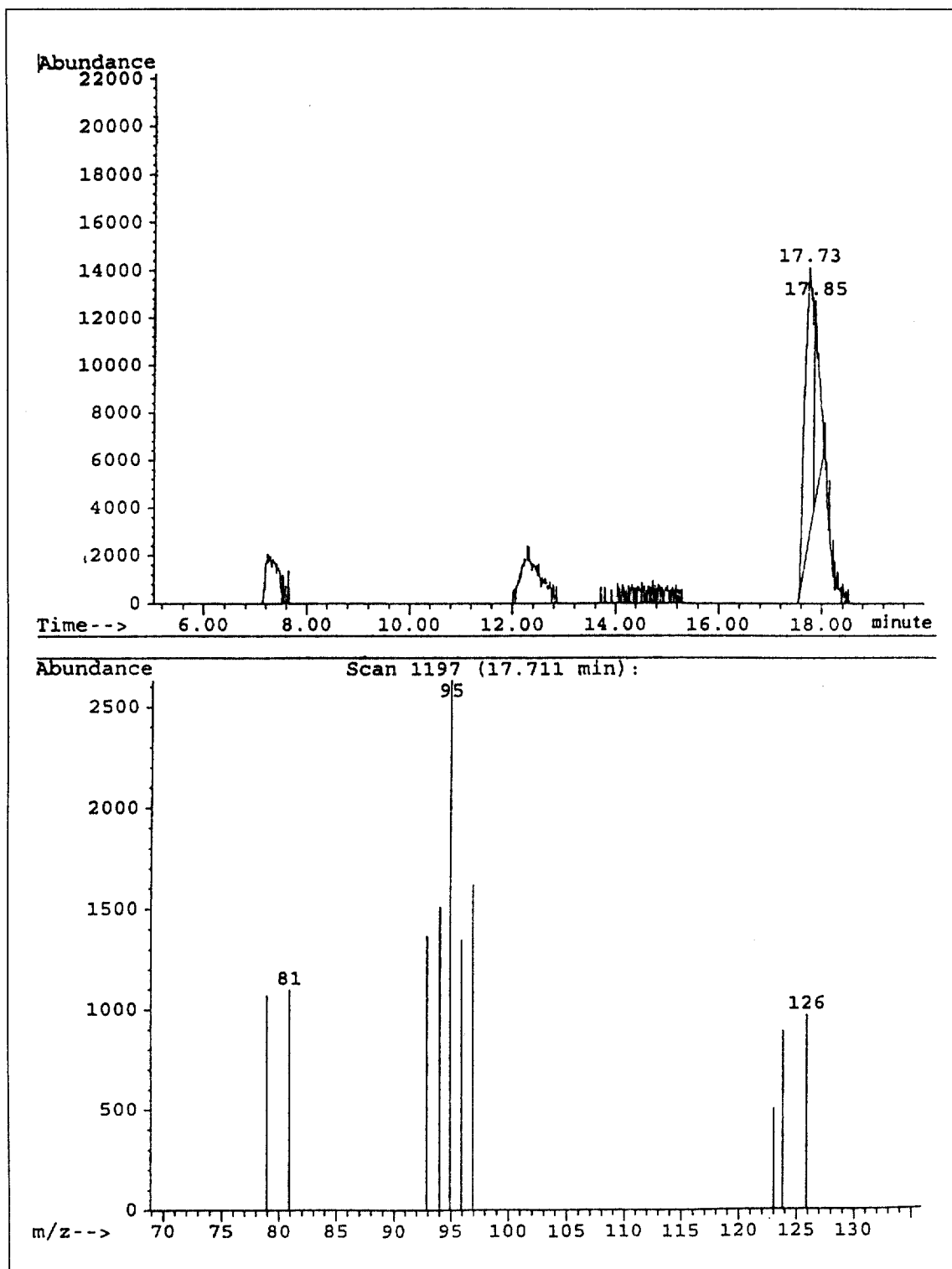


Fig. 2. Mass Gas Chromatogram of 2-Bromoethanol by HP-20M Capillary Column.

기적인 점검여부와 기계에 대한 경고장치 유무.

4) 멸균과정 : 각 병원에 있어서 한달평균 사용하는 EO 가스량과 가스조성, 멸균 스케줄, 멸균시간과 통기시간.

5) 멸균 후의 통기 방식 : 각 병원을 멸균기계 내에서 자동환기시키는 경우, 멸균후 통기시설로 옮겨 환기시키는 경우, 그냥 방치시키는 경우로 나누어 파악.

6) 근로자들의 작업행동 : 멸균이 끝난 후 기계의 문을 열고 멸균한 물품을 옮길 때 적절한 보호용구를 착용하는지 여부, 기타 운반시설의 이용여부, 문을 여는 방식, 물품을 옮기기 전에 기다리는지 여부, 기계 문을 연 직후의 근로자의 위치와 통기시설로 옮길 때 걸리는 시간, 그의 근로자의 일상적인 업무와 구체적인 작업위치, EO 가스에 대한 인식정도, EO 가스에 대한 교육과 모니터링의 실시여부.

7) 온도와 습도 : Hygrometer를 이용하여 전체 작업시간동안 약 2시간마다 반복측정.

III. 결과 및 고찰

1. 중앙공급실의 특성

(1) Ethylene Oxide 멸균공정의 일반 현황

표 2에서 보는 바와 같이 조사한 병원 5개소 모두 EO 멸균기계를 1대씩 가지고 있었고, EO 멸균을 직접 실시하는 사람은 병원규모와 관계없이 한 명이 었다. D병원 한 곳을 제외하고는 대부분 다른 부서 사람들에게 대하여 접근을 제한하고 있지 않았으며 B, D 두 병원의 경우 EO 멸균기계가 근로자의 작업공간과 격리된 장소에 있었다. EO 멸균 후 멸균기계의 문을 열 때 항상 가스마스크를 착용하여 호흡기를 통한 노출을 방지하고 장갑 등을 착용하여 피부가 노출되지 않도록 하여야 하나, 실제 작업장에서 사용되는 것은 면장갑과 비닐장갑이 대부분이었다.

(2) Ethylene Oxide 멸균기계 및 멸균작업 조건
각 중앙공급실에 있는 EO 멸균기계는 Castle, Amsco, Cryotherm 세 종류로 그 크기 및 멸균작업조건은 표 3과 같다.

EO의 주요 노출원인 EO 멸균기계의 용량은 20 l에서 249 l로 멸균기계에 따라 차이가 났으며 사용하는 EO 가스량은 11kg/month에서 50kg/month 사이였다. EO 가스의 일반적인 성분조성은 EO와 Freon으로 EO : Freon=12 : 88의 비율로 함유된 것이 대부분이었고, 멸균을 할 때와 통기할 때의 온도는 대부분 55℃였다. 멸균시간은 1시간 30분에서 2시간 사이였으며 통기시간은 0시간에서 18시간 사

Table 2. General Status of Central Supply Sterilizing Room in Hospital

Hospital	No. of Workers (Operator)	No. of EO Sterilizer	Location (floor)	Area (m ²)	Protective Glove	Accessibility	Isolation of Sterilizer
A	15(3)	1	6	53.5	Non use	Yes	No
B	21(2)	1	underground 2	39.5	Use	Yes	Yes
C	11(1)	1	3	60.6	Use	Yes	No
D	11(3)	1	3	83.6	Use	No	Yes
E	8(1)	1	3	30.8	Use	Yes	No

Table 3. EO Sterilizer and Sterilizing Conditions

Hospital	Type of Sterilizer	Volume of Sterilizer (l)	Amount of Gas (kg/month)	Period of Use (yr)	EO:Freon Ratio	Sterilizing Time (hr)	Aerating Time (hr)
A	castle	249	50	11	12:88	2	18
B	castle	249	17	6	12:88	2	15
C	castle	249	25	9	30:70	1.5	14
D	amsco	238	25	6	12:88	1.8	15
E	cryotherm	20	11	17	12:88	2	0

이로 차이가 컸다. 조사된 멸균기계의 통기방식은 3가지로 A, B병원은 멸균 후 멸균기계에서 자동환기시키고 C, D병원은 멸균 후 물품을 통기시설로 옮겨 환기시키며, E병원은 멸균 후 실내에서 그냥 방치시키고 있었다. 멸균이 끝나고 통기시키기 위해 문을 열 때 작업환경중으로 확산되는 EO 가스량을 줄이기 위해 국소배기시설 이외에도 멸균한 물품을 담은 선반과 이동 운반차(cart)를 사용할 것이 권장되는데 이를 적절히 사용하고 있는 곳은 A, B, D병원 3곳이었다.

2. 중앙공급실의 공기중 Ethylene Oxide의 농도 분포 및 평가

일반적으로 작업환경중 유해물질의 농도분포는 정규분포보다는 대수정규분포(lognormal distribution)를 하는 것으로 알려져 있다(ACGIH, 1989). 그림 3은 연구대상 중앙공급실 전체의 개인 시료와 지역 시료의 EO 농도를 대수누적분포로 나타낸 것이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 본 연구에서도 EO 농도분포가 근사적으로 대수정규분포를 하고 있음을 알 수 있다(Hines와 Spear, 1984). 따라서 개인 시료와 지역 시료의 EO 평균 농도를 기하평균

으로 구하여 평가하였고, 각각의 농도값은 작업시간 동안의 실측 시간 가중 평균치로 나타내었다.

본 연구의 조사대상 사업장에서 측정한 공기중 EO 농도를 표 4에 나타내었다. 표 4는 병원의 중앙공급실별로 멸균을 담당하는 근로자와 중앙공급실에서 일하는 다른 근로자들에 대한 EO 농도의 실측 시간 가중 평균치를 구한 것이며, 멸균기계 위와 앞, 멸균기계 뒤에 연결된 배기 덕트, 통기시킬 때 통기시설 위와 뒤, 멸균한 물품 저장장소와 가스 저장장소 등에서 포집한 시료에 대한 EO 농도의 실측 시간 가중 평균치를 구한 것이다. 각 사업장의 평균농도는 기하평균으로 계산하였다.

그림 4에서 보는 바와 같이 멸균을 담당하는 근로자의 경우 병원별로 TWA 농도값이 0.005ppm이하에서 3.036ppm까지 그 농도 범위가 넓었으며, 우리나라 노동부와 미국산업위생전문가협회(ACGIH)의 허용기준농도인 1ppm을 넘는 병원은 A, E 두 병원이었다. 중앙공급실 내부에서 일하는 다른 근로자의 경우 TWA 농도값이 0.005ppm이하에서 0.419ppm까지로 ACGIH의 허용기준농도인 1ppm을 초과하지는 않았다. 개인 시료의 전체 평균농도(Geometric Mean)는 멸균을 담당하는 근로자의

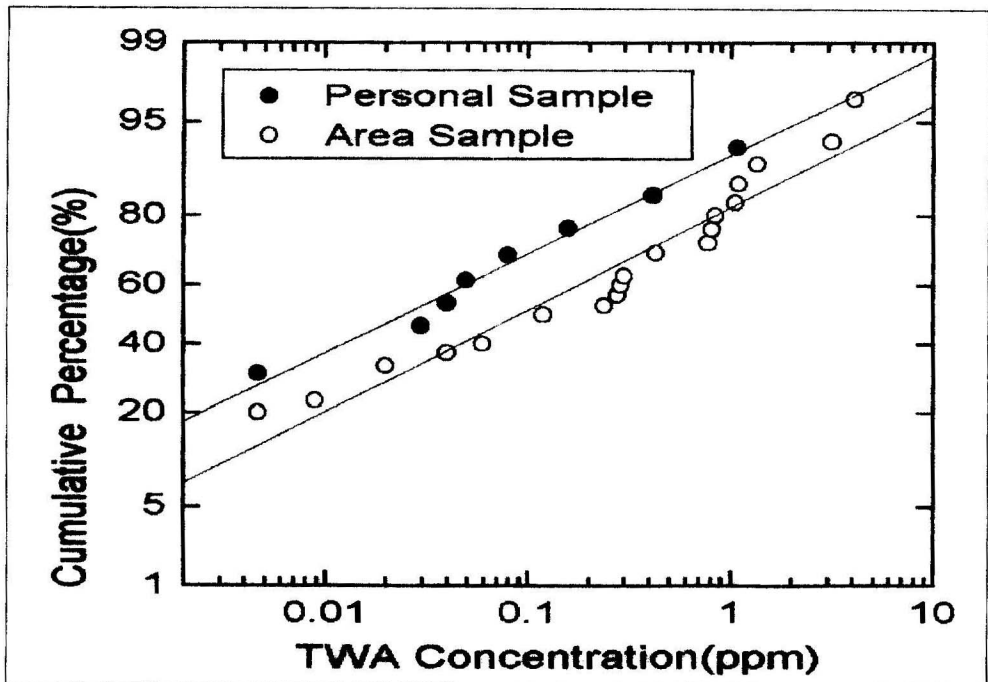


Fig. 3. Cumulative Distribution of Ethylene Oxide Concentrations by Type of Samples.

경우 0.078ppm, 그리고 그 장소에서 일하는 다른 근로자의 경우 0.031ppm으로 평균을 담당하는 근로자의 측정값이 다른 근로자의 측정값보다 약 2배가 높음을 알 수 있다. 그러나 C 병원의 경우 평균을 담당하는 근로자보다 중앙공급실 내부에서 일하

는 다른 근로자의 측정값이 더 높았는데 그 이유는 평균을 담당하는 근로자의 일상적인 작업위치가 멸균기계와 격리된 공간에 있었던 것에 반하여 다른 근로자의 작업위치는 같은 공간에 있었기 때문으로 사료된다.

지역시료의 전체 평균농도는 0.042ppm, 범위는 0.005ppm이하에서 8.692ppm까지로 각 병원에 따른 농도를 파악해 보면 우리나라 노동부와 ACGIH의 작업환경 허용기준농도인 1ppm을 초과하는 경우는 E 병원 한 곳이었고, NIOSH의 허용기준농도인 0.1ppm을 초과하는 경우는 A, C, E 세 병원이었다.

표 5는 EO 가스의 주요 노출원에서의 측정값으로 기계의 성능과 가스가 새는지 여부를 파악하기 위해 멸균기계 위와 통기시설 위, 멸균한 물품 저장장소, 가스탱크 저장장소에서의 측정값을 제시한 것이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 A, E 두 병원의 경우 멸균한 물품 저장장소에서의 측정값이 각각 1.104 ppm, 8.692ppm의 순으로 높았으며 B, C 두 병원의 경우 멸균기계 위에서의 측정값이 각각 0.848 ppm, 0.822ppm의 순으로 높았다. 이에 비하여 D 병원은 모두 0.005ppm이하로 낮게 분포하고 있었다.

각 장소에서 측정한 값의 기하평균(Geometric

Table 4. TWA Concentration of Ethylene Oxide by Hospital : Personal and Area Samples
(unit : ppm)

Hospital	Personal Sample		Area Sample
	Operator	Other Worker	
A	3.036	0.054 (0.034-0.085)	0.105 (0.016-1.104)
B	<0.005	<0.005	0.037 (<0.005-0.848)
C	0.042	0.060 (0.028-0.155)	0.205 (0.022-1.362)
D	<0.005	<0.005	0.008 (<0.005-0.043)
E	1.089	0.419	1.351 (0.297-8.692)
Geometric Mean	0.078	0.031	0.042

* Note: Ranges are included in parentheses.

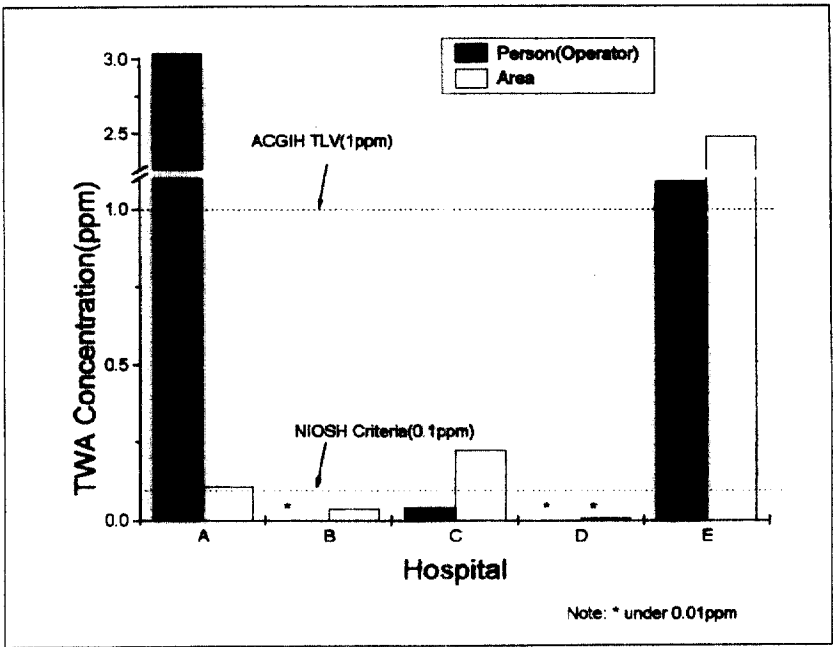


Fig. 4. TWA Concentration of Ethylene Oxide by Hospital.

Mean)을 보면 가스 탱크 저장장소가 0.676ppm으로 제일 높았고 멸균한 물품 저장장소가 0.363ppm, 멸균기계 위가 0.177ppm순으로 세 곳 모두 ACGIH의 허용기준농도를 초과하지 않았으나 NIOSH의 허용기준농도를 초과하였다.

표 6과 그림 6은 멸균이 끝나고 기계 문을 열 때

단시간동안(15분) 멸균을 담당하는 근로자와 멸균기계 위에서 측정한 시료의 농도를 제시한 것이다. 멸균을 담당하는 근로자의 경우 B, C, E 세 병원에서의 측정값이 허용기준농도인 5ppm를 초과하였으며 지역시료의 경우 A병원을 제외한 네 병원에서의 측정값이 모두 허용기준농도를 초과하였다.

Table 5. TWA Concentration of Ethylene Oxide by Main Exposure Site

Hospital	TWA Concentration (ppm)			
	Sterilizer	Aerator	Storage Site	Gas Tank
A	0.118		1.104	0.276
B	0.848		<0.005	0.775
C	0.822	0.291		0.240
D	<0.005	<0.005		
E	0.426		8.692	4.077
No. of Samples	5	2	3	4
Geometric Mean	0.177	0.038	0.363	0.676

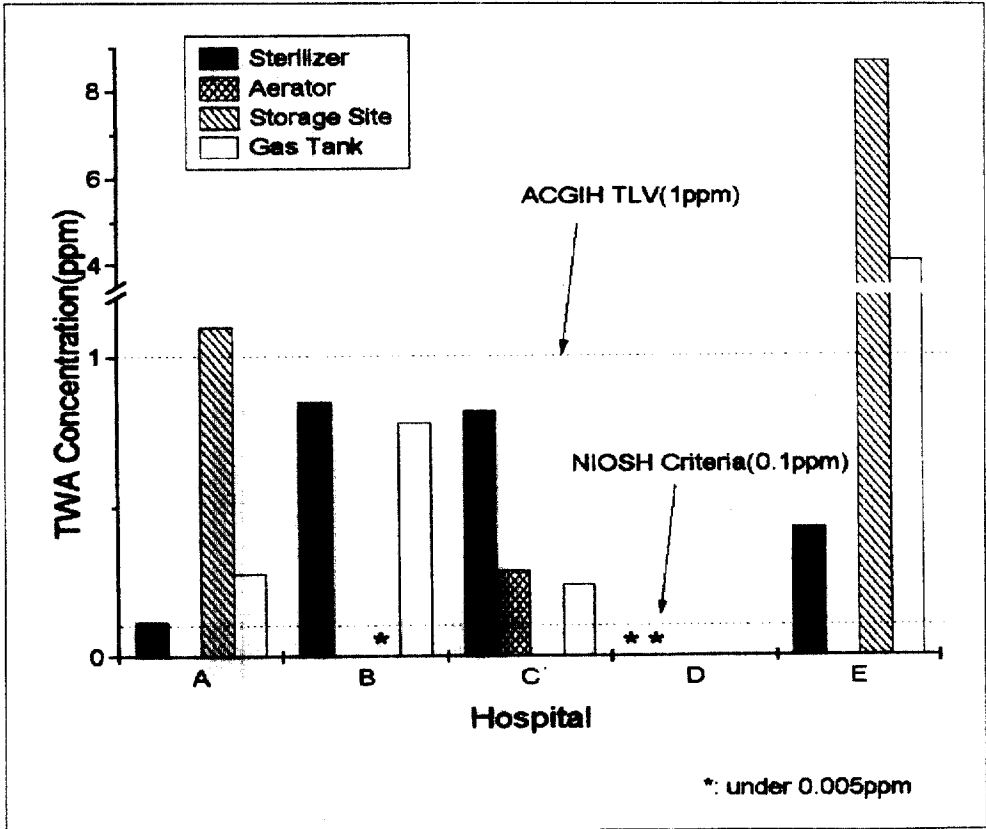


Fig. 5. TWA Concentration of Ethylene Oxide by Main Exposure Site.

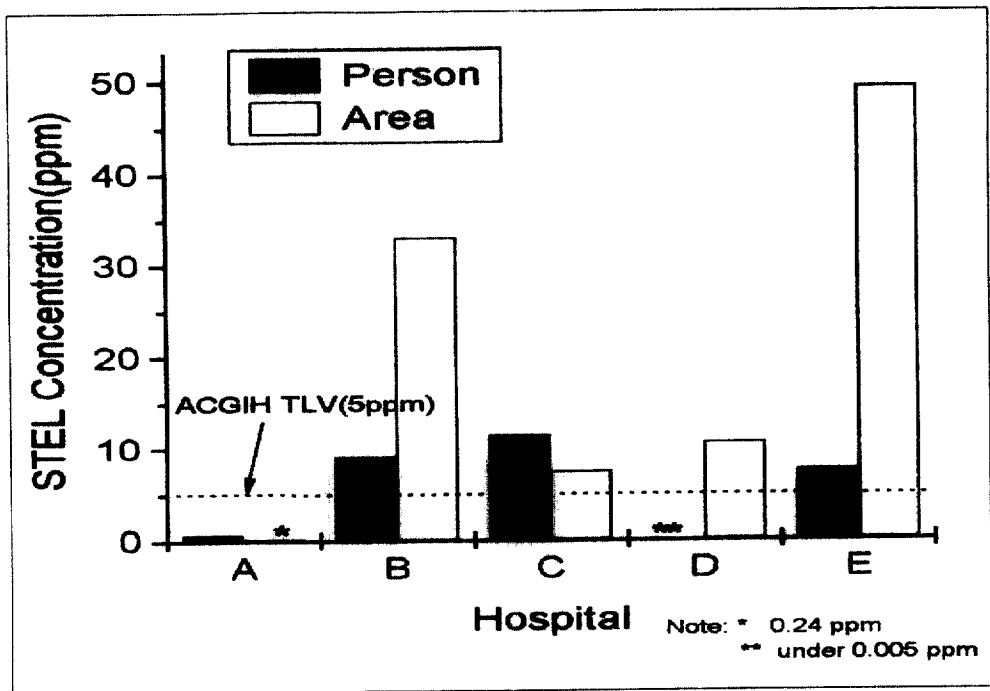


Fig. 6. Short Term Concentration of Ethylene Oxide by Hospital.

Table 6. Short Term Concentration of Ethylene Oxide by Hospital : Personal and Area Samples (unit : ppm)

Hospital	Personal Sample (Operator)	Area Sample
A	0.6	0.2
B	9.0	33.1
C	11.4	7.5
D	<0.005	10.6
E	7.5	49.2
Geometric Mean	1.2	7.9

3. Ethylene Oxide 농도에 영향을 미치는 요인

(1) TWA 농도에 영향을 미치는 요인

EO 가스의 노출을 효율적으로 제어하기 위해서는 먼저 EO 멸균실의 공기중 농도에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 것이 무엇보다 중요하다.

일반적으로 국소배기시설의 유무, 멸균후 통기방식, 중앙공급실의 배치 상황, 전체환기 등이 EO 가스 노출에 영향을 주는 인자라고 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 작업시간동안 근로자가 EO 가스에 노출되는 정도에 영향을 미치는 인자로서 멸

균후의 통기방식, 멸균기계의 위치, 가스저장 장소의 위치, 멸균한 물품 저장장소의 위치, 한달 평균 가스 사용량, 멸균기계를 사용한 기간, 멸균실의 크기, 멸균기계에 대한 경고장치(alarm)유무를 선정하여 각각의 요인에 대하여 개인시료와 지역시료의 농도를 분류하여 일원분산분석으로 통계분석을 하였다. 또한 5개 대상 병원의 각 요인에 따른 작업 조건을 표 7에 제시하였다.

1) 멸균 후 통기방식

멸균 후의 통기방식을 살펴보면 A, B병원원 멸균 후 EO 멸균기계에서 자동 환기시키고 C, D병원원 멸균 후 물품을 통기시설로 옮겨 환기시키며, E병원원 멸균 후 실내에서 그냥 방치시키고 있었다. 이에 따른 TWA농도는 개인시료와 지역시료에서 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$)

그림 7에서 보는 바와 같이 멸균 후 자동환기시키는 A, B 두 병원의 경우 멸균기계의 위치가 근로자의 작업공간과 격리되어 있고 멸균한 물품의 저장장소를 별도로 가지고 있었으며 가스 사용량이 적고 멸균기계를 사용한 기간이 짧은 B병원이 A병원에 비해 훨씬 낮은 농도분포를 보이고 있었다.

Table 7. Result of ANOVA Test for Identifying Factors Affecting TWA Concentration

Hospital	A	B	C	D	E	*p-Value
Personal sample(ppm)	0.207	0.005	0.055	0.005	0.676	
Area sample(ppm)	0.105	0.037	0.226	0.008	1.351	
Type of aeration	Auto	Auto	Aeration	Aeration	Non	Ⓐp<0.05 Ⓣp<0.01
Isolation of sterilizer	No	Yes	No	Yes	No	Ⓐp<0.05 Ⓣp>0.05
Isolation of gas tank	Yes	Yes	No	Yes	No	Ⓐp<0.01 Ⓣp>0.05
Storage site	Absent	Exist	Exist	Exist	Absent	Ⓐp<0.05 Ⓣp<0.01
Amount of gas	50kg/month	17kg/month	25kg/month	25kg/month	11kg/month	Ⓐp<0.05 Ⓣp<0.05
Period of use	11yr	6yr	9yr	6yr	17yr	Ⓐp<0.05 Ⓣp<0.05
Area of room	53.5m ²	39.5m ²	60.6m ²	83.6m ²	30.8m ²	Ⓐp<0.05 Ⓣp>0.05
Alarm	Exist	Exist	Exist	Exist	Absent	Ⓐp<0.01 Ⓣp>0.05

Note : * ⒶArea sample ⓉPersonal sample

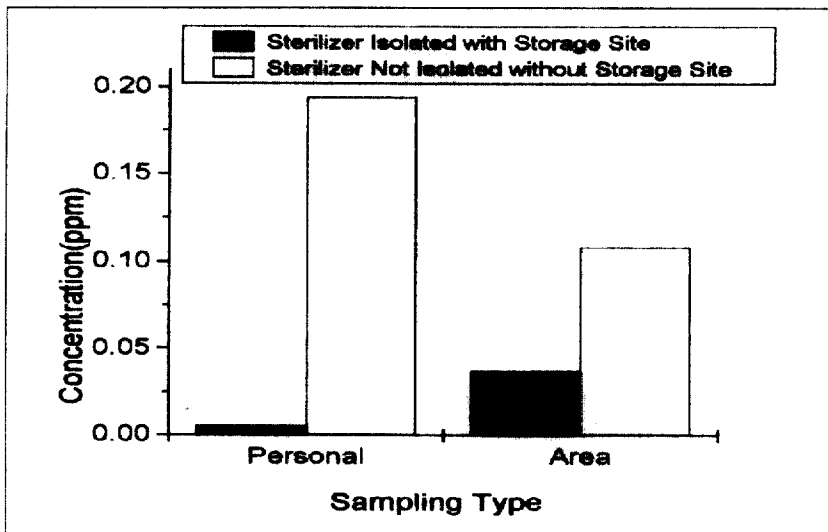


Fig. 7. TWA Concentration of Ethylene Oxide in Personal and Area Samples by Location of Sterilizer and Item Storage Site.

또한 멸균 후 통기시설로 옮겨 환기시키는 C, D 두 병원의 경우 멸균기계와 가스탱크가 근로자의 작업위치와 격리된 공간에 있었으며 멸균기계의 사용

기간이 짧은 D병원이 C병원에 비해 낮은 농도분포를 보이는 것으로 나타났는데 이를 그림 8에 제시하였다.

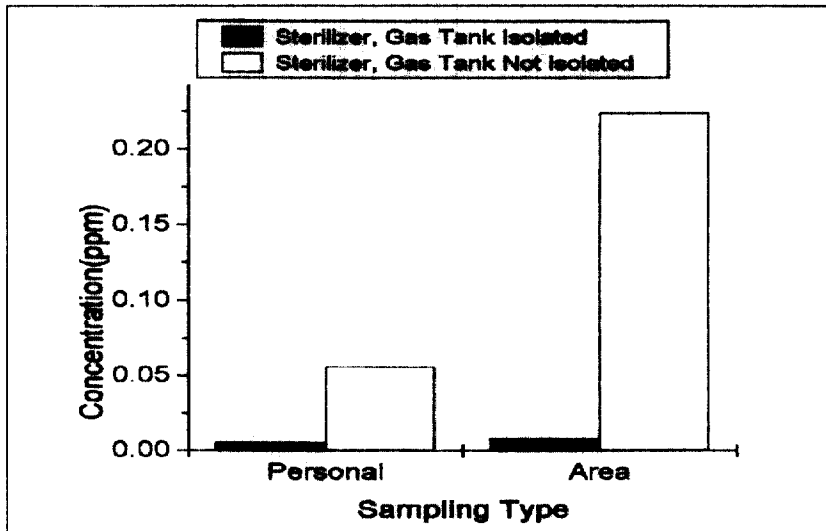


Fig. 8. TWA Concentration of Ethylene Oxide in Personal and Area Samples by Location of Sterilizer and Gas Tank.

2) 국소 배기장치

EO 가스의 노출을 가장 효율적으로 제어할 수 있는 국소 배기 장치는 조사한 병원 5개소 중 1 곳에만 설치되어 있었으나 멸균기계 문에서의 기류 속도를 측정해 본 결과 0m/s로 성능면에서 볼 때 거의 작동한다고 볼 수 없었다. 따라서 국소배기장치에 따른 TWA농도 차이의 유의성 검정 여부는 생략하였다.

3) 멸균기계 격리 여부

멸균기계를 근로자의 작업공간으로부터 격리된 장소에 둔 곳은 B, D 두 병원이었으며 멸균기계 격리 여부에 따른 TWA농도 차이는 지역시료의 경우에서만 유의한 것으로 나타났다($p<0.01$).

4) 가스탱크 격리 여부

가스탱크를 근로자의 작업공간으로부터 격리된 장소에 배치한 곳은 A, B, D 세 병원이었으며 가스탱크 격리여부에 따른 TWA농도 차이는 지역시료의 경우에서만 유의한 것으로 나타났다($p<0.01$).

5) 멸균한 물품 저장장소 유무

멸균한 물품 저장장소를 별도로 설치하여 운영하는 병원은 B, C, D 세 병원이었으며 멸균한 물품 저장장소 유무에 따른 TWA농도 차이는 개인시료와 지역시료에서 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$).

6) 가스사용량

조사 대상 병원 5개소의 한달 가스 사용량은 A, C, D, B, E 병원 순으로 많았으나 TWA농도는 E, A, C, B, D 병원 순으로 높게 나타나 가스 사용량이 증가할수록 TWA농도가 높다고 보기는 힘들었다. 따라서 TWA농도에 영향을 주는 것은 단순한 가스 사용량이 아니라 위에 열거한 여러 요인들이라고 볼 수 있다.

즉, E병원의 경우 다섯 병원중 멸균기계의 용량이 20l 이고 가스 사용량도 11.3kg/month로 가장 많았으나 개인시료와 지역시료 모두에서 가장 높은 농도가 검출되었다. 이 병원은 멸균후 통기하지 않고 멸균한 물품을 그냥 방치시키고 있었고, 멸균기계와 EO 가스탱크가 근로자의 작업공간으로부터 격리되어 있지 않았으며 멸균한 물품을 저장하는 장소를 별도로 가지고 있지 않았다. 또한 멸균기계를 사용한지 17년이나 되었으며 멸균기계에 대한 경고 장치도 가지고 있지 않아 멸균기계의 성능이 의심스러웠는데 이러한 요인들이 상호작용을 하여 EO 가스의 노출정도에 영향을 주었다고 생각한다.

7) 멸균기계 사용기간

멸균기계 사용기간을 10년 미만, 10-15년, 16년 이상으로 나누어 멸균기계 사용기간에 따른 TWA농도 차이를 본 결과 개인시료와 지역시료에서 모두

Table 8. Result of ANOVA Test for Identifying Factors Affecting Short-Term Concentration

Hospital	A	B	C	D	E	*p -Value
Personal sample(ppm)	0.612	9.022	11.389	<0.005	7.538	
Area sample(ppm)	0.235	33.102	7.501	10.554	49.238	
Aeration type	Auto	Auto	Aeration	Aeration	Non	④p >0.05
Use of facility	Yes	Yes	No	Yes	No	⑤p >0.05
Work practice	bad	bad	bad	good	bad	⑥p >0.05
Period of use	11yr	6yr	9yr	6yr	17yr	⑦p <0.05
Alarm	Exist	Exist	Exist	Exist	Absent	⑧p >0.05
						⑨p >0.05

Note : * Area sample Personal sample

유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$).

8) 멸균실의 크기

멸균실의 크기를 바닥면적으로 40㎡미만, 40㎡-80㎡, 80㎡초과로 나누어 멸균실의 크기에 따른 TWA농도 차이를 본 결과 지역시료에서만 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$).

멸균실의 크기는 밀폐 정도를 반영하고 있는 변수로, 조사한 병원의 중앙공급실의 면적은 30.8㎡에서 83.6㎡로 보통 소량의 가스가 새어나왔을 때 전체 공간으로 쉽게 퍼질 수 있는 면적인 28㎡보다 모두 넓었다. 조사기간이 여름철이어서 모든 창문과 문을 열어 놓고 있어 전체 환기량을 크게 증가시켰으며 공기중 EO 가스를 희석 교체시킴으로써 근로자의 노출을 줄이는 요인으로 작용했다. 그러므로 문을 닫아놓는 겨울철에는 EO 가스에 대한 근로자의 노출이 이보다 늘어날 것으로 예상된다.

9) 경고장치(alarm) 설치 유무

EO 가스 노출시 작동하게 되어있는 경고장치가 설치된 병원은 E병원을 제외한 다른 네 곳으로 경고장치 설치 유무에 따른 TWA농도 차이는 지역시료의 경우에서만 유의한 것으로 나타났다($p < 0.01$).

위의 결과들을 그림 9-13에 나타내었다.

(2) STEL 농도에 영향을 미치는 요인

일반적인 사업장과는 달리 EO 가스를 사용하는 멸균실에서는 멸균 사이클이 끝난후, 기계 문을 열

고 멸균한 물품을 꺼낼때 EO 가스에 대하여 순간적으로 높게 노출된다. 따라서 멸균기계 문을 연 후 15분간의 EO 농도를 측정하였고, 그 결과를 가지고 공기중 EO 가스의 농도에 영향을 주는 요인으로 설정한 멸균후의 통기방식, 이동시설의 사용여부, 근로자의 작업행동 등에 대하여 일원분산분석을 실시하여 그 분석결과를 표 8에 제시하였다.

위의 결과에서 보듯이 설정한 여러 요인들에 대한 유의성 검증에서 시료 수가 적었고, 이외의 다른 요인을 고려하지 못한 한계점 등이 있을 수 있다.

B병원의 경우 멸균후 자동환기 되는 통기방식과 기타 여러 비슷한 조건을 갖는 A병원에 비해 단시간 측정값이 매우 높았는데 이것은 아마도 멸균기계의 통기 성능에 문제가 있기 때문인 것으로 생각된다.

멸균한 물품을 통기시설로 옮겨 환기시키는 C, D 두 병원의 경우 이동시설을 사용하며 근로자의 작업행동이 좋은 D병원의 근로자에 대한 측정값이 0.005ppm이하로 측정값이 11.4ppm인 C 병원에 비해 매우 낮은 값을 보이고 있다($p < 0.05$).

그리고 E병원의 경우 지역시료의 단시간 측정값이 49.2ppm으로 매우 높았는데 이는 멸균한 물품을 옮길 때 이동시설을 사용하지 않았고, 근로자의 작업행동도 좋지 않았으며 멸균후 멸균한 물품을 그냥 방치시키는 등의 요인에 그 원인이 있는 것으로 보인다.

통기방식에 따른 TWA농도와 STEL농도를 그림 14에 나타내었다.

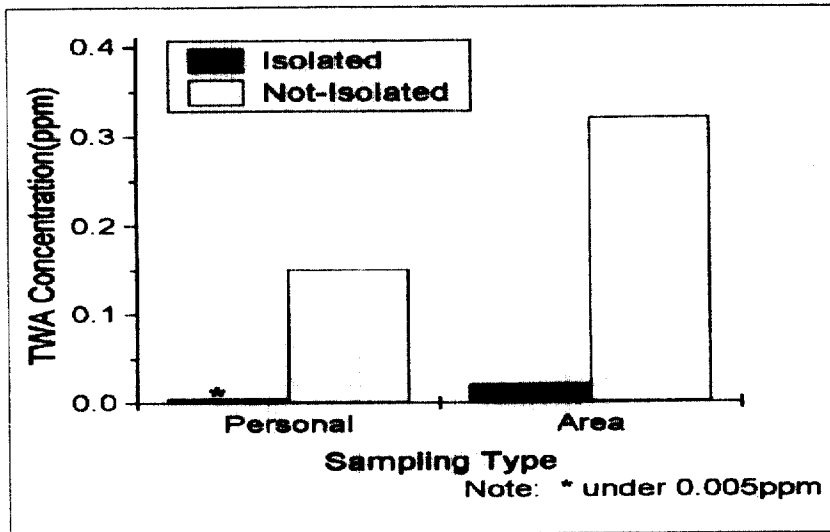


Fig. 9. TWA Concentration of Ethylene Oxide in Personal and Area Samples by Isolation of Sterilizer.

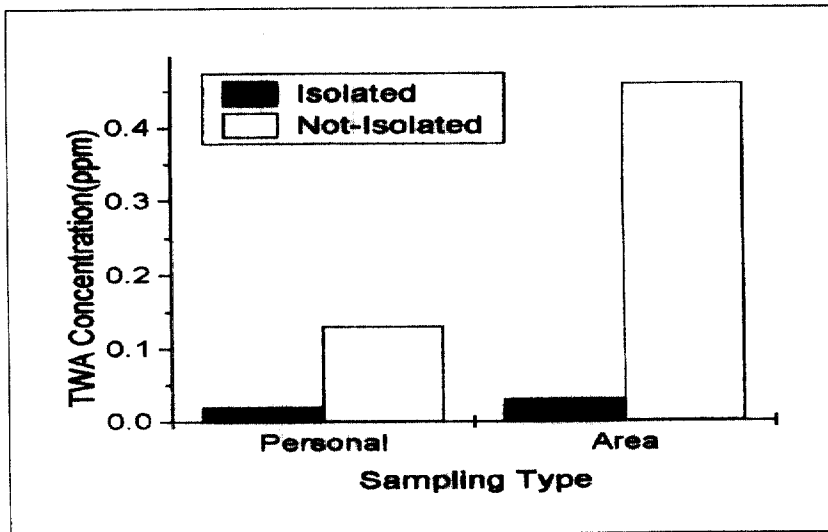


Fig. 10. TWA Concentration of Ethylene Oxide in Personal and Area Samples by Isolation of Gas Tank.

4. Ethylene Oxide의 노출을 줄이기 위한 개선대책

(1) 공학적인 개선대책

1) 환기

① Identification of Contamination Sources and Desired Airflow Patterns

EO 가스가 방출될 수 있는 주요 노출원과 그 장

소에 있어서의 적절한 공기흐름의 방향을 파악한다.

② Development of Contamination Removal Systems(Combined Localized Exhaust and Dilution Ventilation)

주요 노출원인 멸균기계와 통기시설 문 위, 하수구 연결 밸브, 가스탱크 주위에 국소배기장치물(Caldwell, 1989) 설치하고 작업실 내에서 오염물질이 지

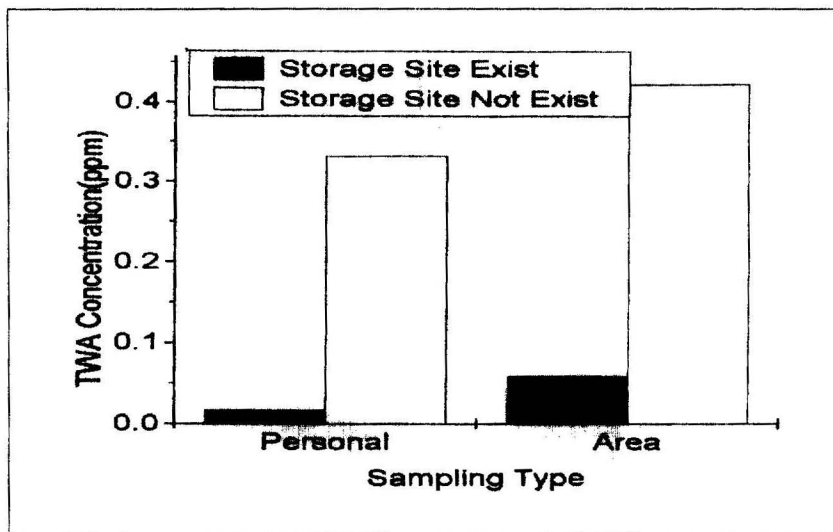


Fig. 11. TWA Concentration of Ethylene Oxide in Personal and Area Samples by Storage Site.

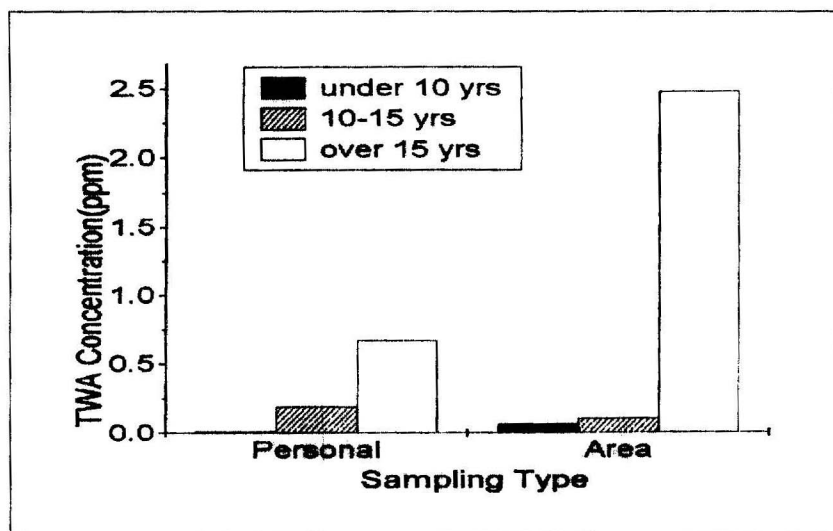


Fig. 12. TWA Concentration of Ethylene Oxide in Personal and Area Samples by Period of Use.

속적으로, 빨리 희석되도록 공기를 제거, 치환하는 전체 환기시스템을 함께 실시한다. 그림 15에서 보는 바와 같이 멸균기계가 있는 공간 위에서 공기를 공급하고, 배기는 멸균기계 뒷부분에서 이루어지도록 한다. 또한 멸균기계위에 격자창(grille)을 설치하여 멸균기계 앞 공간에서 배기가 이루어지는 멸균기계의 뒷 공간으로-한쪽 방향으로(unidirectional)-계속적으로 공기가 흐르도록 한다.

③ Identification of Air Volume Rates Required to Maintain Desired Air Balances.

위에서 언급한 설계에 따르면 멸균기계가 있는 앞 공간을 양압(Positive Pressurization)상태가 되도록 하여 더러운 공기가 확산되는 것을 방지하고 있다. 따라서 이러한 시스템에 부합되도록 공기 공급량과 배기량을 결정하여 유지하는 것이 필요하다(Danielson, 1982).

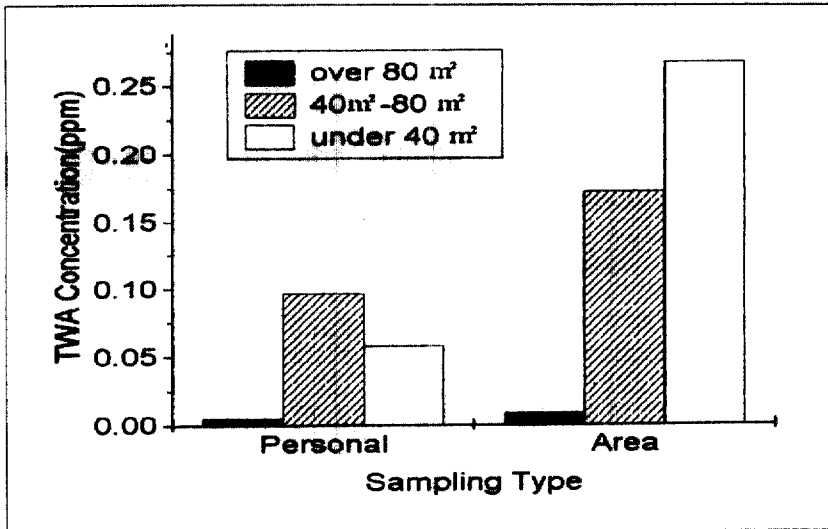


Fig. 13. TWA Concentration of Ethylene Oxide in Personal and Area Samples by Area of Room.

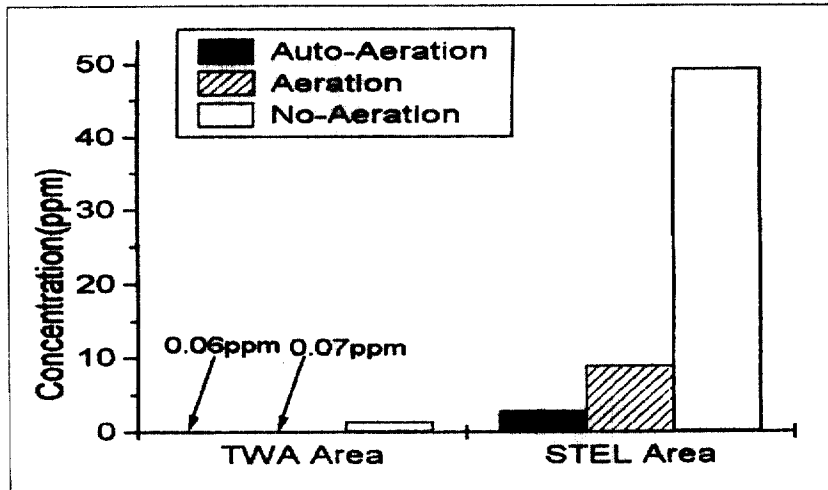


Fig. 14. Concentration of Ethylene Oxide by Aeration Type.

2) 격리

멸균기계와 멸균한 물품 저장장소를 근로자의 작업위치와 격리된 공간에 위치하도록 한다. EO 가스 탱크는 별도의 가스저장실에 보관하여야 하며 탱크 주밸브의 가스 누출여부를 수시로 점검해야 한다. 또한 가스탱크로부터 멸균기계까지 연결된 파이프 이음새의 가스누출여부도 수시로 확인해야 한다.

3) 대체

꼭 EO 가스로 멸균하지 않아도 되는 물품들은 스팀 멸균이나 다른 멸균방법으로 대체하여 EO 가스 사용량을 줄이도록 한다.

4) 다른 공학적인 대책

가스가 새거나 액체 누출시 즉시 알 수 있고 멸균 기계의 사이클과 안전 상황을 파악할 수 있는 경고 장치를 멸균기계 위에 설치한다.

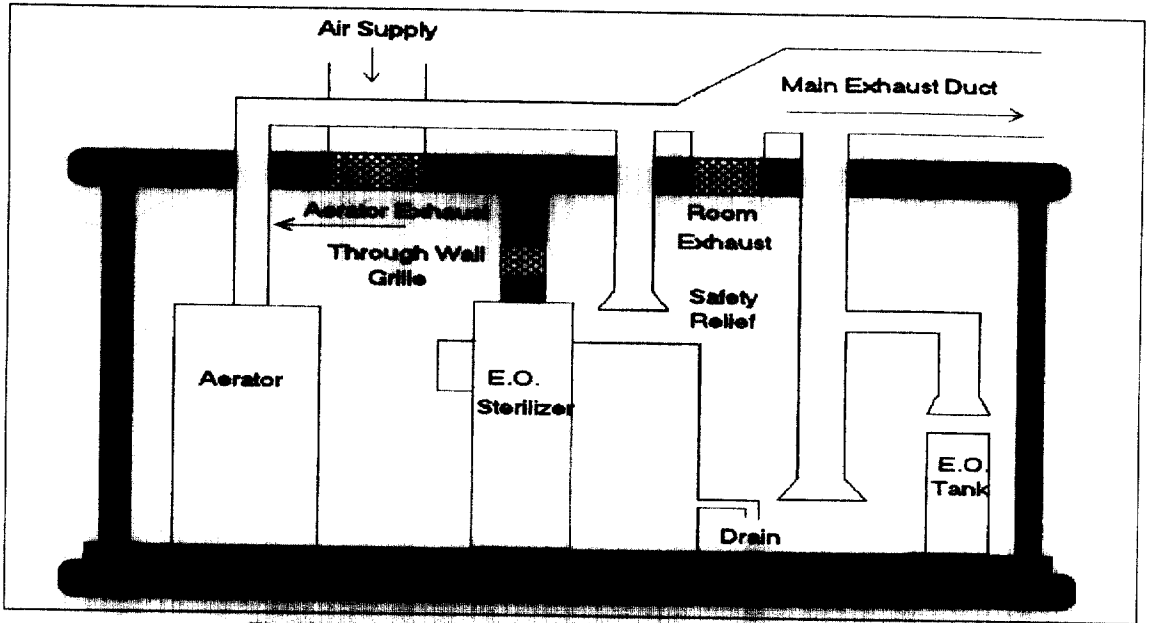


Fig. 15. Combined Use of Local Exhaust and Dilution Ventilations.

(2) 관리상의 개선대책

1) 근로자의 작업행동

멸균사이클이 끝나면 멸균기계 문을 약 2-5cm 정도 열어두고, 작업자는 15분-20분 정도 멸균실을 떠나 기다린 후 멸균한 물품을 옮기며 이 때 얼굴 전체를 가릴 수 있는 Shield나 보호안경, 가스 마스크를 쓰고 Nitrile rubber, Butyl rubber, Neoprene 으로 만든 장갑을 끼도록 한다. 또한 Chlorinated polyethylene으로 만든 의복이나 polyethylene-coated Tyvek®, Saranex-coated Tyvek® 같은 EO 가스에 저항성이 있는 물질로 코팅된 의복을 착용하도록 한다. 만약 작업시간동안의 공기중 농도가 1ppm을 초과한다면 Respirator나 가스 마스크 등을 착용하도록 한다(Danielson, 1982).

멸균한 물품을 통기시설로 옮길 때 걸리는 시간을 최소화 하기 위해 운반차(carts)와 선반, 바구니 등을 사용하도록 하며 통기시설을 멸균기계 바로 옆에 설치해서 멸균한 물품을 옮길 때 걸리는 시간을 최소화 하도록 한다.

2) 근로자 교육

EO 가스의 독성과 멸균기계의 올바른 사용방법, 가스가 새거나 액체 누출시의 응급대처 방안 등에 대하여 지속적으로 교육을 실시한다(Lamontagne,

1992).

3) 모니터링

작업환경 측정과 OSHA의 규제에 따른 의학적인 모니터링을 지속적으로 실시한다.

4) 접근 제한

표 9와 같은 표지를 사용하여 멸균을 담당하는 근로자를 제외한 다른 사람들의 접근을 통제한다.

Table 9. Notice for Toxicity of Ethylene Oxide

Danger
Ethylene Oxide
Cancer Hazard and Reproductive Hazard
Authorized Personnel Only
Respirators and Protective Clothing May Be Required
To Be Worn in This Area (Danielson, 1982)

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 1994년 8월 8일부터 8월 30일까지 서울 지역에 위치한 종합병원 5개소의 중앙공급실을 대상으로 멸균실에서의 공기중 EO(Ethylene Oxide) 노출을 조사하였다. EO 가스의 시간 가중 평균 치값(Time-Weighted Average, TWA)과 고농도

노출시의 값(Short-Term Exposure Limit, STEL)을 알아 보고 EO 멸균실의 공기중 농도에 영향을 미치는 요인들을 조사, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공기중 EO 가스농도는 대수정규분포하고 있으며, 멸균을 담당하는 근로자의 경우 병원별로 8시간 시간 가중 평균치가 0.005ppm이하에서 3.036ppm까지로 그 농도범위가 넓었고 대상병원 5개소 중 2개 병원이 우리나라와 ACGIH의 허용 기준농도인 1ppm을 초과하였다.

2. EO 가스노출의 주요 발생원인 멸균기계, 통기시설, 멸균물품 저장장소, 가스탱크 저장장소에서 EO 농도를 측정한 결과 각각의 농도에 대한 기하평균값이 0.177ppm, 0.038ppm, 0.363ppm, 0.676ppm으로 모두 ACGIH의 허용기준 농도인 1ppm을 초과하지 않았으나 통기시설 위에서 측정한 값을 제외한 3곳에서의 측정값이 NIOSH의 허용기준 농도인 0.1ppm을 초과하였다.

3. 멸균이 끝난후 멸균기계 문을 열 때 단시간(15분간) 측정한 농도는 근로자의 경우 0.005ppm이하에서 11.4ppm까지로 3곳이 허용기준농도인 5ppm을 초과했으며 지역시료의 경우 그 농도는 0.2ppm에서 49.2ppm까지로 4곳이 허용기준을 초과하였다.

4. 작업시간동안 EO 가스의 노출에 영향을 미치는 요인으로서는 멸균후의 통기방식, 멸균한 물품 저장장소의 유무, 가스 사용량, 멸균기계를 사용한 기간 등이 있으며 ($p < 0.05$), 멸균기계 문을 열 때 발생하는 EO 가스의 노출수준을 줄이기 위해서는 근로자의 올바른 작업행동이 매우 효과적이다.

5. 노출을 줄이기 위해서는 가능하다면 멸균 기계와 멸균한 물품 저장장소, 가스 탱크 저장장소를 근로자의 작업 공간으로부터 격리시키고, 멸균 기계문 위와 배기하수구통로 등에 국소배기장치를 설치하며, EO로 멸균할 필요가 없는 물품의 경우 다른 멸균 방법으로 대체하는 것이 좋다. 그리고 멸균 기계에서 통기시설로 물품을 옮길 때 소요되는 시간을 최소화하기 위해서는 적절한 근로자의 작업 행동과 보호 용구의 착용, 기타 운반 시설의 설치가 필수적이다. 또한 EO의 독성과 멸균기계의 올바른 사용방법, 응급시의 대처 방안 등에 대하여 정기적인 교육을 실시해야 하며 작업환경 측정과 의학적인 모니터

링을 지속적으로 행하여야 한다.

REFERENCES

- Reich AR : *Essential of Modern Hospital Safety*, 1990, 3-35
- American Society for Healthcare Central Service Personnel of the American Hospital Association : *Recommended Practice for Central Service*, 1989, 12-19
- Kim YK, Park MH : *A Study on Infection in Hospital. The Korean Journal of Pathology* 1980; 14(55)
- Kim JS, Lee SE and Chung HW : *Chromosome aberration and Glutathion-S-Transferase Activity in Peripheral Lymphocytes of Workers Exposed to Ethylene Oxide. Kor. J. of Epi.* 1993;15(2):212-221
- Administration of Labor : *Korean Criteria for Hazardous Material. Notification No. 91-21*, 1991, 50
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*, 1993, 21
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : *Guide to Occupational Exposure Values*, 1991, 51
- Haney PE, Raymond BA and Lewis LC : *Ethylene Oxide. AORN. J.* 1990;51(2):480-486
- Elias JD, Wylie DN, Yassi A and 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
- Samuels TM, Eastin M : *ETO Exposure can be reduced by Air Systems. Hospitals* 1980;66-68
- Sampson SS : *Survey of Ethylene Oxide Handling in Nova Scotia Hospitals. Appl. Occup. Environ. Hyg.* 1994;9(7):479-484
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) : *NIOSH Manual of Analytical Methods*, 1984, *Ethylene Oxide Method* 1607
- Korpela DB, Mcjilton CE and Hawkinson TE : *Ethylene Oxide Dispersion from Gas Sterilizer. Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1983;44(8):589-591
- Cummins KJ, Schultz GR, Lee JS, Nelson JH and Reading JC : *The Development and Evaluation of a Hydrobromic Acid-Coated Sampling Tube for Measuring Occupational Exposures to Ethylene Oxide. Am.*

- Ind. Hyg. Assoc. J.* 1987;48(6):563-573
- Esposito GG, Williams K and Bongiovanni R : *Determination of Ethylene Oxide in Air by Gas Chromatography.* *Anal. Chem.* 1984;56:1950-1953
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants, ACGIH Inc.* 1989, 21-33
- Hines CJ, Spear RC : *Estimation of Cumulative Exposures to Ethylene Oxide Associated with Hospital Sterilizer Operation.* *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1984; 45(1):44-47
- Caldwell DJ : *Evaluation of an Add-on Local Exhaust Ventilation System for an Ethylene Oxide Sterilizer.* *Appl. Ind. Hyg.* 1989;4(4):88-91
- Danielson NE : *Ethylene Oxide Use in Hospitals.* American Society for Hospital Central Service Personnel of the American Hospital Association, 1982.
- Lamontagne AD, Kelsey KT, Ryan CM and Christiani DC : *A Participatory Workplace Health and Safety Training Program for Ethylene Oxide.* *Am. J. Ind. Med.* 1992;22:651-664