

서울지역 병·의원 산화에틸렌 멸균작업 종사자의 자기보고 산업위생 관리실태: 환기, 호흡보호구 및 안전교육

황정호^{1,4,5} · 김윤희^{2,4} · 김인아^{1,3,4} · 김서연^{1,4} · 황주영^{1,5} · 민지희^{1,3,4} · 김기연^{5*}

¹한양대학교병원 서울직업병안심센터, ²국민건강보험공단 건강보험연구원, ³한양대학교 의과대학 직업환경의학과
⁴한양대학교 보건대학원, ⁵서울과학기술대학교 일반대학원 안전공학과

Self-Reported Occupational Hygiene Practices among Ethylene Oxide Sterilization Workers in Seoul Hospitals and Clinics: Ventilation, Respiratory Protection, and Safety Training

Jungho Hwang^{1,4,5} · Yulhee Kim^{2,4} · Inah Kim^{1,3,4} · Seoyeon Kim^{1,4} · Juyeong Hwang^{1,5} ·
Jeehee Min^{1,3,4} · Ki-Youn Kim^{5*}

¹Seoul Occupational Disease Surveillance Center, Hanyang University Seoul Hospital,
Seoul 04763, Republic of Korea

²National Health Insurance Service Health Insurance Research Institute, Wonju 26463, Republic of Korea

³Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine,
Hanyang University, Seoul 04763, Republic of Korea

⁴Graduate School of Public Health, Hanyang University, Seoul 04763, Republic of Korea

⁵Department of Safety Engineering, Graduate School, Seoul National University of Science and
Technology, Seoul 01811, Republic of Korea

ABSTRACT

Objectives: This study described work characteristics and self-reported occupational hygiene practices among ethylene oxide sterilization workers in hospitals and clinics, and assessed their reported knowledge of relevant controls.

Methods: This descriptive cross-sectional study analyzed questionnaire data from 54 workers at 39 facilities in Seoul between August and December 2024. The four primary indicators were ventilation equipment, respirator type, practical training, and discordance between workers' subjective ventilation ratings and their reported equipment status. Reported lack of information on mechanical ventilation served as an auxiliary indicator. Wilson score 95% confidence intervals (CIs) were calculated.

Results: Forty-nine workers (90.7%) directly operated sterilizers. Mechanical ventilation equipment was reported as absent or unknown by 29.6% (95% CI, 19.1–42.8%) of workers, and 35.2% (95% CI, 23.8–48.5%) reported wearing only a general mask or no respirator. Practical training was not explicitly reported by 77.8% (95% CI, 65.1–86.8%); among the 48 workers reporting some form of safety training, 12 (25.0%) reported practical training. Although 87.0% rated ventilation as good, 24.1% (95% CI, 14.6–36.9%) did so while also reporting that equipment was absent or unknown. Overall, 15 workers (27.8%) were unaware of either the equipment status or its operating details.

Conclusions: Across all three domains, workers reported the presence or completion of controls more often than they reported knowing how those controls were implemented. Workplace assessments should verify not only whether controls exist, but also how they operate and what workers know about them. These findings do not establish control performance or regulatory compliance, and voluntary participation limits generalizability.

Key words: Ethylene oxide, occupational exposure, respiratory protection, safety training, sterilization, ventilation

*Corresponding author: Ki-Youn Kim, Tel: 010-7759-9453, E-mail: kky5@seoultech.ac.kr
Department of Safety Engineering, Graduate School, Seoul National University of Science and Technology. 232 Gongneung-ro,
Nowon-gu, Seoul 01811, Republic of Korea

Received: August 11, 2026 Revised: August 24, 2026, Accepted: September 6, 2026

 Jungho Hwang <https://orcid.org/0000-0001-8175-7248>

 Inah Kim <https://orcid.org/0000-0001-9221-5831>

 Juyeong Hwang <https://orcid.org/0009-0002-8917-3348>

 Ki-Youn Kim <https://orcid.org/0000-0001-6889-8548>

 Yulhee Kim <https://orcid.org/0009-0001-9894-2586>

 Seoyeon Kim <https://orcid.org/0009-0002-0529-4186>

 Jeehee Min <https://orcid.org/0000-0003-1953-614X>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

산화에틸렌(ethylene oxide, EO)은 열과 습기에 취약한 의료기기와 재료의 저온 멸균에 사용되는 반응성 가스이다(Shintani, 2017). EO는 눈·피부·호흡기 자극, 신경계 영향, 생식·발달독성 및 유전독성과 관련되며, 국제암연구소는 인체 발암물질(Group 1)로 분류하고 있다(IARC, 2012; ATSDR, 2022). 국내에서도 EO는 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 별표 12의 특별관리물질로 관리된다(MoEL, 2025). 국내 EO의 노출기준은 8시간 시간가중평균 1 ppm이며(MoEL, 2020), 특별관리물질에 해당하여 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 제440조에 따른 근로자 고지과 제439조에 따른 취급일지 작성이 요구된다(MoEL, 2025). 또한 EO 취급 공정은 원칙적으로 6개월에 1회 이상의 작업환경측정 대상에 해당한다. 아울러 EO 취급 근로자는 특수건강진단 대상에 해당하며, 그 실시 주기는 작업환경측정 주기와 별도로 규정되어 있다. 그러나 이러한 법적 관리체계의 실제 이행 여건은 사업장 규모에 따라 달라질 수 있으며, 특히 상근근로자 수가 적은 의원급 의료기관은 전담 산업보건 인력 없이 EO 멸균작업이 수행되는 경우가 있어 관리수단의 명목상 존재와 현장 이행 사이의 간극이 커질 수 있다. 따라서 의료기관의 EO 멸균작업은 물질의 유해성뿐 아니라 작업단계별 방출 가능성과 산업위생 관리수단의 적용상태를 함께 평가할 필요가 있다.

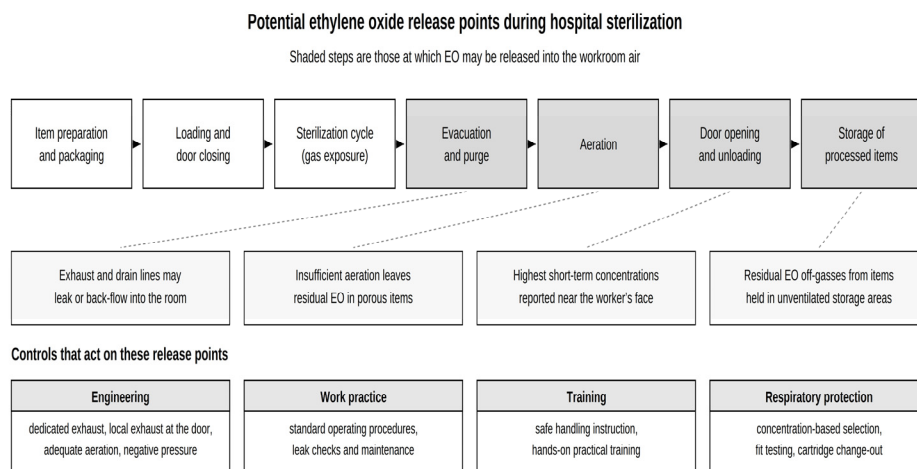
EO 노출은 장시간 연속작업보다 멸균주기의 특정 단계에서 단시간으로 집중될 수 있다. 국내 병원 연구에서는 멸균기 문 개방 시 단시간 농도 상승과 병원 간 큰 차이가 보고되었고(Seo & Paik, 1995), 일본 병원 연구에서는 에어레이션(aeration)이 불충분한 작업장에서 멸균기 문을 열고 물품을 하역하는 순간 근로자 안면 부근에서 90-200 ppm이 측정되었다(Hori et al., 2002). 또한 멸균기 문 개방, 하역, 비환기 보관, 에어레이션 및 배출계통은 반복적으로 중요한 방출지점으로 지적되었다(Koda et al., 1999; Chien et al., 2007). 국내 산화에틸렌 유통·사용 실태조사에서도 제조업은 대부분 연속작업인 반면 의료기관은 1일 1회 이하의 간헐적 취급으로 조사되었으나, 취급 근로자 수를 기준으로 하면 의료기관의 멸균공정이 주요 노출 공정으로 지목되었다(KOSHA, 2009). 다만 이는 2009년 조사 결과로, 이후 국내 의료기관의 EO 취급 실태를 갱신한 전국 단위

자료는 확인되지 않았다. 그러므로 주당 취급시간이 짧더라도 이를 곧 낮은 노출로 해석할 수 없다.

의료기관의 EO 관리는 밀폐·격리, 멸균기 문 주변의 국소배기와 전용배기, 충분한 에어레이션, 설비 유지관리, 작업단계별 노출측정, 경보기, 표준작업절차, 호흡보호 프로그램 및 근로자 교육을 결합해야 한다(NIOSH, 1989). 그러나 제도나 설비의 명목상 존재가 현장 이행을 보장하지는 않는다. 일본 의료기관 설문에서는 작업 공간 미격리, 가스 누출·배기가스 역류 및 보호복 미사용 등 관리상의 문제가 보고되었고(Yahata et al., 2000), 미국 병원 조사에서도 일부 작업장에서 가동 중인 국소배기, 공기 중 농도 모니터링, 안전취급 교육 또는 표준작업절차가 보고되지 않았다(Boiano & Steege, 2015). 규제 도입 이후에도 병원별 노출수준과 관리수행에는 변이가 지속되었다(LaMontagne & Kelsey, 1997; LaMontagne & Kelsey, 2001; LaMontagne et al., 2004). 한편 의료기관의 EO 멸균은 감염관리 영역에서 표준화된 지침이 마련되어 있으나, 해당 지침은 주로 멸균의 유효성과 물품 안전성 확보에 초점을 두므로 작업자의 EO 노출관리는 이와 별도로 평가할 필요가 있다(KOSHIC, 2014).

최근 의료기관의 EO 노출 및 관리실태를 다룬 현장 자료는 제한적이다. 1979-2020년 OSHA 작업장 조사 자료를 분석한 Christensen et al.(2025)은 보건의료를 포함한 주요 산업에서 최근 EO 측정자료가 제한적이어서 현대적 노출상황을 충분히 설명하기 어렵다고 지적하였다. 최근 직업성 EO 연구는 산업용 멸균시설의 기존 코호트 재분석과 장기 건강영향 평가에 주로 집중되어 왔다(Park, 2020). 국내에서는 병원 근로자의 공기 중 노출, 신경행동기능 및 세포유전학적 영향을 평가한 연구가 수행되었으나(Seo & Paik, 1995; Chang et al., 1998; Park et al., 1998; Lee et al., 2011), 최근 병·의원 EO 멸균작업자의 환기설비, 호흡보호구 및 안전교육을 함께 기술한 직접 조사자료는 매우 제한적이다.

근로자 대상 자기보고 설문은 다수 의료기관의 관리실태를 기술하고 후속 현장확인이 필요한 영역을 파악하는 데 활용되어 왔다. NIOSH의 의료종사자 안전보건 실태조사(Health and Safety Practices Survey of Healthcare Workers)는 이러한 방식으로 사업주 안전절차에 대한 근로자 인지도와 교육 이행 수준의 차이를 확인하였고(Steege et al., 2014), 동일한 조사체계에



Release points and controls are drawn from the published literature; they were not measured in this study.

Figure 1. Potential ethylene oxide release points during hospital sterilization and corresponding control measures. Shaded steps are those at which EO may be released into the workroom air. Release points and control measures are drawn from the published literature (NIOSH, 1989; Koda et al., 1999; Chien et al., 2007) and were not measured in the present study.

서 EO 및 과산화수소 가스플라스마 멸균작업의 예방적 관리관행이 보고되었다(Boiano & Steege, 2015). 본 연구 역시 근로자 자기보고 자료를 이용한 기술적 조사이며, 실제 노출수준이나 설비성능의 측정을 대체하기 위한 것은 아니다. EO 멸균 공정에서 노출이 발생할 수 있는 단계와 이에 대응하는 관리수단을 Figure 1에 정리하였다. 방출은 멸균 사이클 자체보다 배기와 퍼지, 에어레이션, 멸균기 문 개방과 하역 및 처리물품의 보관과 같은 특정 단계에 집중되며, 이러한 단계별 방출 특성 때문에 노출관리는 공학적 환기, 작업방법, 교육 및 호흡보호를 결합하여 평가할 필요가 있다(NIOSH, 1989; Koda et al., 1999; Chien et al., 2007).

이에 본 연구는 서울지역 병·의원 EO 멸균작업 종사자의 현재 및 과거 작업경험과 작업시간을 기술하고, 주요 산업위생 관리실태를 자기보고 자료에 기반하여 파악하고자 하였다. 본 연구에서 주요 산업위생 관리실태는 근로자가 보고한 기계환기 설비(국소배기장치, 환풍기 등), 호흡보호구 사용 및 안전교육 관련 사항을 의미한다. 구체적으로 기계환기 설비 없음 또는 모름 응답, 방독마스크형 보호구 미보고, 명시적 실습교육 미보고 및 기계환기 설비 없음·모름 응답자의 양호한 주관적 환기평가의 비율을 추정하였다. 이들 지표는 실제 설비성능, 보호구 적합성 또는 법규 준수 여부를 판정

하기 위한 척도가 아니며, 설문응답의 분포를 기술하기 위해 조작적으로 정의하였다.

II. 연구 방법

1. 연구설계 및 연구대상

본 연구는 서울지역 병·의원에서 산화에틸렌(ethylene oxide, EO) 멸균작업에 종사하는 근로자를 대상으로 수행한 기술적 단면연구이다. 사업장 설문조사 자료 수집은 2024년 8월부터 2024년 12월까지 5개월간 수행하였다. 연구진은 한국산업안전보건공단의 협조하에 조사기간 동안 서울지역 EO 사용 병·의원에 연구 참여 안내를 요청하였다. 연구 참여에 동의한 병·의원에서 EO 멸균기를 직접 조작하거나 멸균실에 출입하는 근로자 중 참여 의사를 밝힌 근로자를 사업장당 1-2명 모집하였다. 총 45개 병·의원이 참여 의사를 밝혔으나 6개소가 최종적으로 참여하지 않아 39개 병·의원의 근로자 54명이 설문에 참여하였으며, 중복 참여자와 연구동의 미확인 사례가 없어 54명 전원을 분석에 포함하였다. 본 연구는 현황 기술을 목적으로 조사기간에 확보된 전체 적격 참여자를 포함하였으며, 별도의 가설검정 기반 표본크기 산출은 수행하지 않았다. 연구대상은 자발적 참여에 따른 편의표본으로, 참여 의사를 밝힌 45개 기

관 중 39개소(86.7%)가 최종 참여하였으나 연구 참여 안내를 받은 전체 기관 수를 확보하지 못해 모집단 대비 참여율은 산출하지 못하였다.

2. 조사도구 및 연구변수

구조화된 설문지는 성별과 연령 등 일반적 특성, 현 직장과 과거 직장에서의 근무경험, EO 멸균기 조작 또는 멸균실 출입 여부, EO 업무기간과 취급빈도, 작업장 위치, 환기설비, 개인보호구, 안전교육, 작업 숙련도 및 작업 중 불편증상으로 구성하였다. 설문지는 국내외 EO 관련 문헌과 기존 직업병 감시 설문을 참고하여 연구진이 개발하였고, 산업보건 전문가의 검토를 거쳐 문항을 확정하였다. 조사는 연구자가 해당 병·의원을 직접 방문하여 설문지를 배포하고, 연구참여자가 설문 문항에 직접 응답한 후 현장에서 회수하는 자기기입식으로 시행하였다. 문항에 대한 질문이 있는 경우 방문 조사자가 문항의 의미를 설명하였으나 응답 선택에는 관여하지 않았다. 참여 기관의 종별(병원급, 의원급)은 설문 문항이 아니라 연구진의 방문조사 기록에서 확인하였다. 작업장의 지상·지하 구분은 설문 응답을 사용하였으며, 방문조사 기록과 대조한 결과 54명 전원에서 일치하였다. 별도의 타당도 및 신뢰도 검증은 수행하지 않았다.

설문문항은 예·아니오·모름으로 응답하는 범주형 문항, 복수응답 문항, 연속형 문항, 1-10점 자기평가 문항 및 자유기술 문항으로 구성하였다. 분석자료에서 기계환기 설비 유무와 주관적 환기평가는 예·아니오·모름으로, 호흡보호구 착용과 안전교육 경험은 예·아니오로 분류하였다. 호흡보호구 종류는 방독마스크, 일반마스크 및 두 종류 모두로 구분하였고, 교육방법은 구두교육, 유인물 배부, 실습교육 및 기타 항목에 대해 복수응답하도록 하였다. 작업 숙련도는 1-10점으로 평가하였으며, 작업기간과 취급시간은 연속형으로 응답받았다. 주요 분석문항의 원문, 응답범주 및 자료 코딩 관련사항은 부록으로 제시하였다(Appendix 2).

EO 작업 특성은 현재 업무경로, 현 직장 근무기간, 현재 및 과거 EO 업무기간, 총 EO 업무기간 및 주당 EO 취급시간으로 평가하였다. 현재 업무경로는 EO 멸균기를 직접 조작하는 경우, 멸균기를 직접 조작하지 않지만 멸균실에 출입하는 경우 및 업무경로가 명확하지 않은 경우로 구분하였다. 근무기간과 EO 업무기간은 연도와 개월을 합산하여 개월 단위로 환산하였다.

주당 EO 취급시간은 일일 취급시간과 주당 취급일수를 곱하여 산출하였다. 이 지표는 공기 중 EO 농도나 체내 흡수량을 의미하지 않으며, EO 멸균작업의 시간적·빈도적 특성을 나타내는 작업지표로 해석하였다. 다만 응답자가 '취급'의 범위(멸균기 조작, 물품 하역, 멸균실 체류 등)를 서로 다르게 해석하였을 가능성이 있어, 이 지표는 절대적 시간량의 비교보다는 작업의 시간적 특성을 나타내는 상대적 지표로만 사용하였다.

본 분석을 위해 주요 산업위생 관리실태를 근로자가 보고한 기계환기 설비, 호흡보호구 사용 및 안전교육의 세 영역으로 정의하였다. 이 용어는 실제 설비성능, 보호구 적합성 또는 법규 준수 여부를 의미하지 않는다. 네 가지 자기보고 지표를 다음과 같이 조작적으로 정의하였다. 첫째, 기계환기 설비 없음 또는 모름 응답은 설문에서 국소배기장치, 환풍기 등 기계환기 설비가 없다고 응답하거나 존재 여부를 모른다고 응답한 경우로 정의하였다. 기계환기 설비가 있다고 응답한 경우에는 설비 개수, 1일 가동 횟수 및 1회 가동시간을 함께 조사하였다. 아울러 기계환기 관련 '모름' 응답을 별도의 보조지표로 정의하였다. 이는 기계환기 설비의 존재 여부를 모른다고 응답하거나, 설비가 있다고 응답하였으나 가동 횟수 또는 1회 가동시간 중 하나 이상을 모른다고 응답한 경우로 정의하였으며 두 조건은 상호 배타적으로 적용하였다. 이 지표는 관련 문항에서 근로자가 '모름'으로 응답한 경우를 나타내며, 설비의 실제 관리상태나 정보제공 체계의 실패를 직접 입증하지 않는다. 둘째, 방독마스크형 보호구 미보고는 호흡보호구를 착용하지 않거나 일반마스크만 착용한 경우로 정의하였다. 방독마스크형 보호구를 사용한다고 응답한 경우에도 정화통 종류, 밀착도검사, 교체주기 및 호흡보호 프로그램 운영 여부가 조사되지 않았으므로 적정 사용으로 단정하지 않았다.

셋째, 명시적 실습교육 미보고는 안전교육 경험 여부와 관계없이 실습교육을 받았다고 보고하지 않은 경우로 정의하였다. 넷째, 기계환기 설비 없음·모름 응답자의 양호한 주관적 환기평가는 기계환기 설비가 없거나 존재 여부를 모른다고 응답하면서 작업장 환기가 잘 된다고 평가한 경우로 정의하였다. 이 두 응답은 논리적으로 상충하는 것이 아니며 자연환기나 작업장 조건에 따라 충분히 양립할 수 있다. 다만 기계환기 설비에 관한 정보 없이 환기 적정성을 판단하고 있는 상태를 나타내므로, 설비의 실제 구성과 성능을 우선적으로 확인할 필요가 있는 집단을 선

별하는 지표로 사용하였다. 주요 변수의 출처, 조작적 정의, 대안적 정의에 따른 민감도분석 및 해석 제한은 부록으로 제시하였다(Appendix 1).

작업관련 급성 자극증상은 EO 작업 중 불편증상을 보고하고, 자유기술 내용이 눈, 피부, 목 또는 호흡기 자극에 해당하며, 증상이 근무 중 악화되거나 휴식 중 완화된다고 응답한 경우로 정의하였다. 자유기술란에 기재된 만성질환 진단명 1건은 급성 자극증상의 정의에 해당하지 않아 제외하였다.

3. 통계분석

범주형 변수는 빈도와 백분율로 제시하였으며, 연속형 변수는 분포에 따라 평균과 표준편차 또는 중앙값과 사분위범위로 제시하였다. 주요 자기보고 산업위생 관련 지표의 비율에는 Wilson 방법을 이용하여 95% 신뢰구간을 산출하였다(Newcombe, 1998). 기계환기 설비 응답과 주관적 환기평가의 관계는 교차표로 제시하였다. 기관 중별, 작업장 위치 및 교육 주체에 따른 주요 지표의 분포도 기술적으로 제시하였다. 본 연구는 비확률표본을 이용한 기술적 연구이므로 집단 간 차이에 대한 가설검정은 수행하지 않았으며, 신뢰구간은 모집단에 대한 추론보다는 관찰된 표본 비율의 통계적 정밀도를 나타내는 지표로 해석하였다. 환기설비와 작업장 위치는 본질적으로 사업장 수준의 특성이므로, 2명이 참여한 15개 기관을 대상으로 주요 문항의 응답 일치 여부를 산출하고 급내상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)와 설계효과(design effect)를 추정하였다. 또한 사업장 수준 특성의 중복 반영 가능성을 확인하기 위해, 2명이 참여한 기관에서 1명을 무작위로 선택한 39명 부분집합에서 주요 지표의 비율을 1,000회 반복 산출하여 중앙값과 범위를 제시하였다.

결측값은 대체하지 않고 분석별 유효 응답자를 사용하였다. 주당 EO 취급시간 산출에서는 일일 취급시간 또는 주당 취급일수가 결측인 각 1건과, 일일 취급시간 720분이 해당 응답자의 자기보고 일일 근로시간을 초과한 1건을 제외하였다.

주요 결과가 조작적 정의와 자료정제 기준에 민감한 지를 확인하기 위해 민감도분석을 수행하였다. 기계환기 설비 지표는 '없음' 응답만을 적용하여 재산출하였고, 안전교육 자유기술란의 '현장교육' 1건을 실습교육으로 재분류하였다. 기계환기 설비 없음·모름 응답자의 양호한 주관적 환기평가 지표는 설비 상태를 모른다고

응답한 6명을 제외한 부분집단(N=48)에서 다시 산출하였다. 또한 주당 EO 취급시간은 본 분석에서 제외한 일일 취급시간 720분 응답 1건을 포함하여 재산출하였다. 비율에 대한 민감도분석에서도 Wilson 95% 신뢰구간을 제시하였다(Appendix 1).

작업관련 급성 자극증상은 사건 수가 4건으로 적어 관련요인에 대한 회귀분석을 수행하지 않았다.

모든 분석은 R version 4.6.1(R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)을 이용하여 수행하였으며, 연구보고는 STROBE 권고안을 참고하였다(von Elm et al., 2007).

4. 연구윤리

본 연구는 한양대학교병원 기관생명윤리위원회의 승인을 받아 수행되었으며, 모든 연구참여자로부터 서면동의를 받았다(IRB No. HYUH IRB 2024-05-022-003).

III. 결 과

1. 연구대상자의 일반적 특성과 EO 작업 특성

총 39개 병·의원에서 모집된 54명의 근로자를 최종 분석에 포함하였다. 여성은 46명(85.2%)이었고 평균 연령은 45.3 ± 9.3 세였다. 작업장은 지상에 위치한 경우가 36명(66.7%), 지하에 위치한 경우가 18명(33.3%)이었다. 현재 EO 멸균기를 직접 조작한다고 응답한 근로자는 49명(90.7%)이었고, 멸균기를 직접 조작하지 않으나 멸균실에 출입하는 근로자는 4명(7.4%)이었다. 나머지 1명은 멸균기 조작과 멸균실 출입을 모두 부정했지만 EO 작업기간과 빈도를 기재하여 업무경로 불명확으로 분류하였다. 참여 기관 39개소의 중별 구성은 병원급 27개소, 의원급 12개소였다. 기관 단위로는 병원급 27개소 중 멸균작업 장소가 지상인 곳이 14개소, 지하인 곳이 13개소였고, 의원급 12개소는 모두 지상이었다. 근로자 단위로는 병원급 소속이 36명(66.7%), 의원급 소속이 18명(33.3%)이었으며 의원급 근로자는 전원 지상 작업장에서 근무하였다(Table 1).

현 직장 근무기간은 중앙값 65.5개월(사분위범위 26.3-130.0개월), 현 직장 EO 취급기간은 중앙값 42.5개월(21.0-87.5개월)이었다. 과거 직장에서도 EO 관련 업무를 경험한 근로자는 12명(22.2%)이었으며, 현재와 과거 취급기간을 합산한 총 취급기간은 중앙값 63.5개월(27.0-119.5개월)이었다. 현재 주당 EO 취급시간은

Table 1. General and ethylene oxide work characteristics among the participating facilities and workers

Characteristic	Category	Valid N	n (%)	Mean (SD) or median (IQR)
Participating facilities (n = 39)				
Facility type	Hospital-level	39	27 (69.2)	
	Clinic-level	39	12 (30.8)	
Location of the sterilization area	Above ground	39	26 (66.7)	
	Basement	39	13 (33.3)	
Facility type and location	Hospital-level, above ground	39	14 (35.9)	
	Hospital-level, basement	39	13 (33.3)	
	Clinic-level, above ground	39	12 (30.8)	
Participating workers (n = 54)				
Facility type of the workplace	Hospital-level	54	36 (66.7)	
	Clinic-level	54	18 (33.3)	
Sex	Male	54	8 (14.8)	
	Female	54	46 (85.2)	
Age, years		54		45.3 (9.3)
Worksite location	Above ground	54	36 (66.7)	
	Basement	54	18 (33.3)	
Current EO work pathway	Direct sterilizer operation	54	49 (90.7)	
	Sterilization-room entry only	54	4 (7.4)	
	Unclear pathway	54	1 (1.9)	
Current-job duration, months		54		65.5 (26.3–130.0)
Current-job EO duration, months		54		42.5 (21.0–87.5)
Past EO work experience	Yes	54	12 (22.2)	
	No	54	42 (77.8)	
Past EO duration, months		12		60.0 (42.8–60.8)
Total EO duration, months		54		63.5 (27.0–119.5)
Weekly working hours		53		40.0 (40.0–44.0)
Current weekly EO handling time, min		51		50.0 (19.4–60.0)

Note. Values are n (%), mean (standard deviation), or median (interquartile range). EO, ethylene oxide. The upper panel describes the 39 participating facilities and the lower panel the 54 participating workers; percentages use the corresponding panel denominator. Facility type was ascertained from the research team's site-visit records, whereas all other variables were worker-reported. The primary analysis of weekly EO handling time excluded one record with a missing-coded daily time, one with a missing-coded weekly frequency, and one daily-time entry that exceeded the reported daily working time.

이상값을 정제한 51명에서 중앙값 50.0분(19.4–60.0 분), 평균 64.4 ± 82.1 분이었다(Table 1).

2. 주요 산업위생 관리실태

자연환기가 있다고 응답한 근로자는 22명(40.7%), 기계환기 설비가 있다고 응답한 근로자는 38명(70.4%)이었다. 반면 주관적으로 환기가 잘 된다고 평가한 근로자는 47명(87.0%)이었다. 호흡보호구를 착용한다고 응답한 근로자는 52명(96.3%)이었으나, 방독마스크형

보호구를 보고한 근로자는 35명(64.8%)이었고 일반마스크만 사용하는 근로자는 17명(31.5%)이었다. 장갑, 모자, 가운 및 보안경의 착용률은 각각 83.3%, 46.3%, 33.3% 및 51.9%였다. 기계환기 설비가 있다고 응답한 38명 중 1회 가동시간을 24시간, 즉 상시 가동으로 보고한 근로자는 23명(60.5%)이었던 반면, 가동 횟수 또는 1회 가동시간을 모른다고 응답한 근로자는 9명 [23.7%(13.0–39.2%)]이었다. 설비의 존재 여부를 모른다고 응답한 6명과 이 9명은 정의상 중복되지 않으며,

Table 2. Key self-reported occupational hygiene management practices

Domain	Category	n/N	%
Natural ventilation	Yes	22/54	40.7
	No	29/54	53.7
	Unknown	3/54	5.6
Reported mechanical ventilation equipment	Yes	38/54	70.4
	No	10/54	18.5
	Unknown	6/54	11.1
Reported operation of mechanical ventilation equipment†	Continuous (24 h) operation reported	23/38	60.5
	Other specified operating schedules	6/38	15.8
	Operating frequency or duration unknown	9/38	23.7
Subjective assessment of ventilation	Good	47/54	87.0
	Poor	6/54	11.1
	Unknown	1/54	1.9
Respiratory protective equipment use	Reported use	52/54	96.3
Reported respirator type‡	Gas-mask type or both	35/54	64.8
	General mask only	17/54	31.5
Other PPE	Gloves	45/54	83.3
	Cap	25/54	46.3
	Gown	18/54	33.3
	Goggles	28/54	51.9
Safety training	Any training	48/54	88.9
Training host*	Workplace	38/48	79.2
	OSH professional organization	8/48	16.7
	Medical-device vendor	5/48	10.4
	Private training institute	1/48	2.1
Training method*	Oral instruction	34/48	70.8
	Handout	27/48	56.3
	Practical training	12/48	25.0
Self-rated skill	Score ≥9	40/54	74.1

Note. *Multiple responses were allowed. All variables were based on worker self-reports and were not verified through workplace observation, equipment inspection, or record review. Mechanical ventilation equipment included local exhaust ventilation systems, blowers, or similar equipment as described in the questionnaire. PPE, personal protective equipment; OSH, occupational safety and health. †Among the 38 workers who reported that mechanical ventilation equipment was present, 23 reported 24-h operation, six reported other specified operating schedules, and nine did not know the operating frequency or duration. The six other specified schedules consisted of one or two reported operating episodes per day, with reported durations of 1–12 h per episode. ‡Reported respirator type used all 54 workers as the denominator, including the two workers who reported no respiratory protective equipment. Self-rated skill was 10.0 (interquartile range 8.6–10.0) on a 1–10 scale. Practical training was reported by 10 of 38 workers trained at the workplace, 4 of 5 trained by a medical-device vendor, and 1 of 8 trained by an occupational safety and health professional organization; the worker trained by a private training institute did not report practical training. Because training host was a multiple-response item, these counts sum to 15 and do not equal the 12 workers who reported practical training.

기계환기 설비의 존재 또는 가동정보에 ‘모름’으로 응답한 근로자는 모두 15명(27.8%)이었다.

안전교육을 받은 경험이 있는 근로자는 48명(88.9%)

이었다. 교육 경험자 중 근무지 자체교육은 38명, 산업안전보건 전문기관 교육은 8명, 의료기기업체 교육은 5명, 사설교육기관 교육은 1명이 보고하였다(복수응답).

교육방법은 구두교육 34명, 유인물 배부 27명이었으나 명시적으로 실습교육을 보고한 근로자는 전체 54명 중 12명(22.2%)이었으며, 이는 안전교육 경험자 48명을 기준으로 하면 25.0%에 해당한다. 안전교육을 받지 않았다고 응답한 6명은 모두 실습교육을 보고하지 않아 두 기준의 결과는 서로 일관되었다. 작업 숙련도는 중앙값 10.0점(8.6-10.0점)이었으며, 9점 이상으로 평가한 근로자는 40명(74.1%)이었다(Table 2). 교육 주최별로 실습교육을 함께 보고한 비율은 근무지 자체교육 10/38명(26.3%), 의료기기업체 교육 4/5명, 산업안전보건 전문기관 교육 1/8명이었고, 사설교육기관 교육을 보고한 1명은 실습교육을 보고하지 않았다. 교육 주최는 복수응답 문항이므로 주최별 실습교육 보고자 수의 합(15명)은 실습교육을 보고한 근로자 12명과 일치하지 않는다.

3. 동일 기관 2인 응답의 일치도와 기관당 1인 민감도분석

2명이 참여한 15개 기관에서 주요 문항의 응답 일치율은 안전교육 이수율과 호흡보호구 착용이 각각 14/15개소(93.3%), 작업장 위치와 주관적 환기평가가 각각 13/15개소(86.7%), 자연환기 유무가 12/15개소(80.0%)였으며, 기계환기 설비 유무, 호흡보호구 종류 및 실습교육 보고는 각각 11/15개소(73.3%)였다(Appendix 3). 기계환기 설비 유무가 일치하지 않은 4개소 중 3개소는 한 근로자가 설비의 존재 여부를 모른다고 응답한 경우였다. 기계환기 설비 없음·모름 응답의 급내상관계수는 0.688, 주관적 환기평가는 0.423, 실습교육 보고는 0.435였으며, 이에 따른 설계효과는 각각 1.27, 1.16 및 1.17이었다. 2명이 참여한 기관에서 1명씩을 무작위로 선택한 39명 부분집합에서 주요 지표의 비율을 1,000회 반복 산출하면 기계환기 설비 없음 또는 모름은 중앙값 28.2%(범위 25.6-30.8%), 방독마스크형 보호구 미보고는 38.5%(35.9-41.0%), 명시적 실습교육 미보고는 82.1%(76.9-84.6%), 설비 없음·모름 응답자의 양호한 환기평가는 23.1%(17.9-25.6%)로, 전체 54명 분석 결과와 크게 다르지 않았다.

4. 작업장 위치에 따른 환기 응답

지상 근무자 36명 중 13명(36.1%)은 기계환기 설비가 없거나 존재 여부를 모른다고 응답한 반면, 지하 13개소에 근무하는 18명에서는 3명(16.7%)이었고 설비가 없다는 응답은 한 건도 없었다. 자연환기가 있다는 응

답은 지상 20명(55.6%), 지하 2명(11.1%)으로 반대 양상을 보였다. 지상 근무자 36명을 기관 종별로 나누면 병원급 18명 중 4명(22.2%), 의원급 18명 중 9명(50.0%)이 기계환기 설비가 없거나 존재 여부를 모른다고 응답하였다. 지하 작업장 근무자 18명은 모두 병원급 소속이었으며 이 중 3명(16.7%)이 설비의 존재 여부를 모른다고 응답하였다. 병원급 근로자만을 대상으로 하면 지상 22.2%와 지하 16.7%로 위치에 따른 차이가 크지 않았다.

5. 주요 자기보고 산업위생 관리지표

기계환기 설비가 없거나 존재 여부를 모른다고 응답한 근로자는 16명으로, 기계환기 설비 없음 또는 모름 응답의 비율은 29.6%(Wilson 95% 신뢰구간 19.1-42.8%)였다. 방독마스크형 보호구를 보고하지 않은 근로자는 19명[35.2%(23.8-48.5%)]이었다. 명시적인 실습교육을 보고하지 않은 근로자는 전체 54명 중 42명[77.8%(65.1-86.8%)]이었으며, 기계환기 설비가 없거나 존재 여부를 모른다고 응답하면서 환기가 잘 된다고 평가한 근로자는 13명[24.1%(14.6-36.9%)]이었다. 다만 후자의 지표는 정의상 기계환기 설비 없음 또는 모름 응답의 부분집합이므로, 네 지표를 합산하거나 근로자별 해당 개수를 산출하지 않았다.

네 가지 주요 자기보고 산업위생 관리지표의 비율과 Wilson 95% 신뢰구간은 Table 3에 제시하였다. 기관 종별로 나누어 보면 병원급 근로자 36명에서 기계환기 설비 없음 또는 모름은 7명[19.4%(9.8-35.0%)], 방독마스크형 보호구 미보고 11명[30.6%(18.0-46.9%)], 명시적 실습교육 미보고 26명[72.2%(56.0-84.2%)], 설비 없음·모름 응답자의 양호한 환기평가 6명[16.7%(7.9-31.9%)]이었다. 의원급 근로자 18명에서는 각각 9명[50.0%(29.0-71.0%)], 8명[44.4%(24.6-66.3%)], 16명[88.9%(67.2-96.9%)], 7명[38.9%(20.3-61.4%)]으로 네 지표 모두 병원급보다 높았다. 다만 각 군의 표본이 작아 신뢰구간이 넓었으므로 이 차이는 탐색적 관찰로 보아야 한다.

6. 주관적 환기평가와 기계환기 설비 응답

기계환기 설비가 있다고 응답한 38명 중 23명(60.5%)은 24시간 가동한다고 보고하였고, 6명(15.8%)은 그 밖의 구체적인 가동 일정(other specified operating schedules)을 보고하였다. 나머지 9명

Table 3. Proportions of key self-reported occupational hygiene management indicators with Wilson 95% confidence intervals

Key self-reported occupational hygiene management indicator	Operational definition	n/N	%	Wilson 95% CI	Hospital-level (n = 36)	Clinic-level (n = 18)
Reported mechanical ventilation equipment absent or unknown	Reported absence or unknown status	16/54	29.6	19.1–42.8	7 (19.4)	9 (50.0)
General mask only or no respirator reported	No respiratory protection or general mask only	19/54	35.2	23.8–48.5	11 (30.6)	8 (44.4)
Practical training not explicitly reported	Practical training not explicitly reported	42/54	77.8	65.1–86.8	26 (72.2)	16 (88.9)
Ventilation rated good despite equipment reported absent or unknown	Ventilation rated good while equipment reported absent or unknown	13/54	24.1	14.6–36.9	6 (16.7)	7 (38.9)

Note. The indicators are based on worker reports and do not establish actual exposure levels, control performance, respirator adequacy, or regulatory compliance. The n/N, %, and confidence interval columns refer to all 54 workers. The two right-hand columns show n (%) within each facility-type stratum, using 36 hospital-level and 18 clinic-level workers as denominators; confidence intervals for these strata were wide and are reported in the text. The fourth indicator is by definition a subset of the indicator for mechanical ventilation equipment reported absent or unknown; the four indicators were therefore not summed. Rating ventilation as good while reporting the equipment absent or unknown is not in itself a contradiction, but the indicator is used to identify workers for whom the ventilation arrangement warrants on-site verification. Practical training was assessed against all 54 workers; among the 48 workers reporting any safety training, 25.0% reported practical training, and none of the six workers without any training reported practical training.

(23.7%)은 가동횟수 또는 가동시간을 알지 못한다고 응답하였다(Table 2). 기계환기 설비가 있다고 응답한 38명 중 34명(89.5%)은 환기가 잘 된다고 평가하였다. 그러나 기계환기 설비가 없다고 응답한 10명 중에서도 8명(80.0%)이 환기가 잘 된다고 평가했으며, 기계환기 설비의 존재 여부를 모른다고 응답한 6명 중 5명(83.3%)도 환기가 잘 된다고 평가하였다. 반대로

기계환기 설비가 있다고 응답한 38명 중 4명(10.5%)은 환기가 잘 되지 않는다고 평가하였다. 이는 실제 환기성능과 근로자 인식의 차이를 입증한 결과가 아니며 두 응답이 논리적으로 상충함을 의미하지도 않는다. 다만 설비의 존재 여부와 무관하게 대다수가 환기를 양호하게 평가하고 있어, 주관적 환기평가만으로는 기계환기 설비의 설치 및 가동 상태를 추정할 수 없

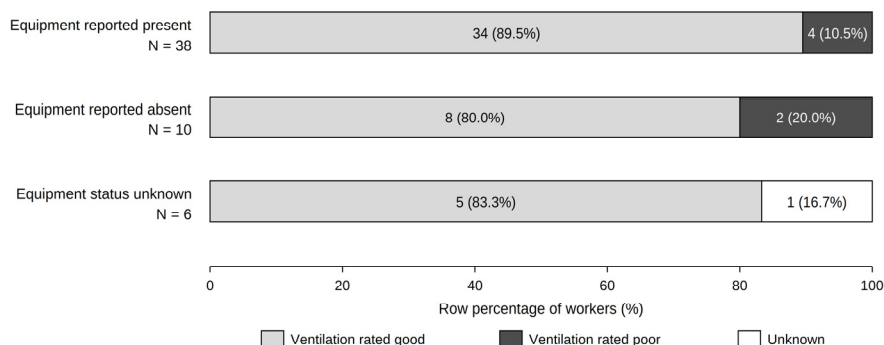


Figure 2. Subjective assessment of ventilation according to reported mechanical ventilation equipment status. Percentages are calculated within each reported mechanical ventilation equipment category. Mechanical ventilation equipment included local exhaust ventilation systems, blowers, or similar equipment as described in the questionnaire. Both variables are worker-reported. The two responses are not logically contradictory; the figure shows that subjective assessment was generally favorable regardless of the reported equipment status.

음을 보여준다(Figure 2).

7. 작업관련 급성 자극증상

작업 중 불편 증상을 보고한 근로자는 5명(9.3%)이었다. 이 중 눈 따가움 2명과 피부 따가움 또는 가려움 2명은 모두 근무 중 악화되거나 휴식 중 완화되는 양상을 보고하여, 작업관련 급성 자극증상은 4명(7.4%)에서 확인되었다. 사건 수가 적어 관리지표와의 연관성은 분석하지 않았다. 질환 진단과 관련된 자유기술 응답 1건은 본 연구의 급성 자극증상 정의에 해당하지 않아 분석에서 제외하였다.

8. 민감도분석

민감도분석에서 기계환기 설비 지표를 ‘없음’ 응답으로만 제한하면 비율은 29.6%에서 18.5%(Wilson 95% 신뢰구간 10.4-30.8%)로 감소하였다. ‘현장교육’이라고 자유기재한 1명을 실습교육 경험자로 재분류하면 명시적 실습교육 미보고는 77.8%에서 75.9%(63.1-85.4%)로 소폭 감소하였다. 기계환기 설비 상태를 모른다고 응답한 6명을 제외한 부분집단(N=48)에서 설비가 없다고 응답하면서 환기가 잘 된다고 평가한 근로자는 8명, 16.7%(8.7-29.6%)였다. 일일 EO 취급시간 720분 입력 1건을 유지한 경우 해당 응답자의 주당 취급시간은 원자료에 기재된 일일 취급시간과 주당 취급일수를 그대로 곱하여 산출하였으며(주당 취급일수 0.5일, 주당 취급시간 360분), 주당 취급시간의 평균은 70.1 ± 91.0 분으로 증가하였으나 중앙값은 50.0분으로 변화가 없었다(Appendix 1).

IV. 고 찰

본 연구는 서울지역 병·의원 EO 멸균작업 종사자 54명의 작업 특성과 주요 산업위생 관리실태를 자기보고 자료에 기반하여 분석하였다. 주요 결과는 세 가지이다. 첫째, 근로자의 29.6%가 기계환기 설비가 없거나 존재 여부를 모른다고 응답했고, 35.2%는 방독마스크형 보호구를 보고하지 않았다. 둘째, 안전교육 경험률은 높았으나 명시적 실습교육 미보고가 77.8%로 가장 빈번하였다. 셋째, 환기가 잘 된다는 주관적 평가와 기계환기 설비 응답이 일치하지 않는 사례가 24.1%에서 관찰되었다. 이러한 결과는 실제 설비성능이나 법규 준수 여부를 판정한 것이 아니라, 근로자 자기보고에서 관찰

된 관리 관련 응답분포를 기술한 것이다. 이하의 논의에서 제시하는 모든 지표는 이러한 자기보고 자료의 성격을 전제로 하며, 개별 지표마다 이를 반복하여 명시하지는 않았다.

현재 주당 EO 취급시간의 중앙값은 50분으로 길지 않았지만 이를 낮은 노출수준으로 해석할 수는 없다. EO는 멸균기 문 개방, 멸균물 하역, 에어레이션과 보관, 공급계통 연결 및 배출과 같은 특정 단계에서 단시간으로 방출될 수 있다. Hori et al.(2002)은 에어레이션이 충분하지 않은 병원에서 문 개방과 하역 순간 근로자 안면 부근 EO 농도가 90-200 ppm에 이르는 것을 관찰하였고, 국내외 연구에서도 작업단계와 환기조건에 따라 농도 변이가 컸다(Seo & Paik, 1995; Koda et al., 1999; Chien et al., 2007). 1979-2020년 OSHA 조사자료를 분석한 연구에서도 보건의료 분야의 최근 측정자료가 제한적이어서 현대적 작업환경의 재평가 필요성이 제기되었다(Christensen et al., 2025). 720분으로 입력된 일일 취급시간 1건을 유지한 민감도 분석에서도 중앙값은 50.0분으로 변하지 않았으나, ‘취급시간’의 범위에 대한 해석이 응답자마다 다를 수 있어 이 값을 노출량의 대리지표로 사용하는 데에는 제한이 있다.

기계환기 설비 응답과 관계없이 주관적 환기평가가 대체로 양호하였다는 점은 실무적으로 주목할 필요가 있다. 두 응답이 논리적으로 상충하는 것은 아니지만, 주관적 환기평가만으로는 기계환기 설비의 설치 및 가동 상태를 추정할 수 없음을 보여준다. 자기보고 노출정보와 전문가 평가의 일치도가 낮을 수 있다는 선행연구도 이러한 지표의 해석 범위를 뒷받침한다(Sembajwe et al., 2010). ‘기계환기 설비 있음’이라는 응답은 국소배기장치와 환풍기 등을 포괄하므로 국소배기와 전체 환기를 구분하거나 포집 위치, 전용배기 경로, 음압, 배기풍량, 에어레이션 및 경보기의 적정성을 판단할 수 없으며, NIOSH는 이러한 요소와 유지관리를 하나의 관리체제로 제시하였다(NIOSH, 1989). 실제로 설비가 있다고 응답한 38명 중 4명(10.5%)은 환기가 잘 되지 않는다고 평가하였고, 6명은 설비의 존재 여부 자체를, 9명은 가동 횟수 또는 1회 가동시간을 모른다고 응답한 반면 전체 근로자의 87.0%는 환기가 잘 된다고 평가하였다. 이러한 응답 양상은 설비운전 정보가 근로자에게 충분히 공유되지 않았을 가능성, 응답자가 설비의 명칭이나 기능을 다르게 이해했을 가능성, 또는 주관적 환

기평가가 창문, 공기 흐름, 냄새나 온열감 등 일반적인 작업환경에 기초했을 가능성 등으로 설명될 수 있으나 본 연구에서는 이를 직접 조사하지 않았다. 작업장 위치별로는 지하에서 기계환기 설비 보유 응답이 많고 지상에서 설비 없음 응답이 상대적으로 많았으나, 의원급 기관이 모두 지상에 위치하여 위치와 기관 종별의 영향을 분리하기 어려웠고 병원급만을 보면 설비 없음 또는 모름 응답은 지상 22.2%, 지하 16.7%로 차이가 크지 않았다. 따라서 후속 현장조사에서는 설비의 종류와 용량, 포집 위치, 실제 가동 상태 및 근로자의 관련 정보 인지 여부를 구분하여 확인할 필요가 있다.

호흡보호구 착용률은 높았지만 일반마스크만 착용한 근로자가 31.5%였고, 방독마스크형 보호구를 보고한 경우에도 적정성을 확인할 정보가 없었다. 본 연구의 '방독마스크형 보호구 미보고'는 모든 정상작업에서 방독마스크가 반드시 필요하다는 의미가 아니다. EO 관리에서는 공학적 관리와 작업방법이 우선이고 호흡보호구는 잔여위험, 유지보수, 비정상상황 또는 공학적 관리가 충분하지 않은 조건에서 프로그램의 일부로 사용되어야 하며(NIOSH, 1989), 보호성능은 정화통 적합성, 농도범위, 안면부 밀착, 교체주기, 의학적 평가, 밀착도 검사 및 유지관리에 좌우된다(KOSHA, 2020; OSHA, n.d.). 특히 정화통식 방독마스크는 EO의 파과 시점을 감각적으로 인지하기 어려워 국외 기준에서는 사용 농도범위를 제한하고 사용가능시간 종료 표시기(end-of-service-life indicator)를 요구하며, 농도가 불명확하거나 높은 상황에서는 송기식 호흡보호구를 요구한다(OSHA, n.d.). 후속 현장평가에서는 작업단계별 사용 조건, 정화통 종류, 밀착도검사, 교체주기 및 유지관리 체계를 함께 확인할 필요가 있다.

안전교육을 받았다고 응답한 근로자는 88.9%였지만 명시적 실습교육을 보고한 비율은 교육경험자 48명 중 25.0%(전체 54명 기준 22.2%)에 그쳤다. EO 근로자 대상 참여형 교육은 작업상황 토의, 장비 시연과 문제 해결 실습을 포함하여 개발되었고(LaMontagne et al., 1992), 안전보건교육 메타분석에서도 행동모델링과 충분한 연습·대화가 포함된 참여도 높은 교육이 수동적 교육보다 대체로 우수하였다(Burke et al., 2006). 다만 본 연구는 교육내용, 평가방법 또는 교육효과를 조사하지 않았으므로 실습교육 미보고를 교육 부적합이나 법규 위반으로 해석해서는 안 된다. 교육 주최별로는 근무지 자체교육 38명 중 10명(26.3%), 의료기기업체

교육 5명 중 4명이 실습교육을 함께 보고하였으나 각 범주의 응답자 수가 적어 주최별 차이를 판단할 근거는 되지 못한다. 그럼에도 이 결과는 교육의 이수 여부와 함께 누가 어떤 방식으로 교육을 제공하는지를 확인해야 교육 실태를 파악할 수 있음을 시사한다.

실습교육을 보고한 근로자와 보고하지 않은 근로자의 자기평가 숙련도 중앙값은 모두 10.0점이었다. 그러나 숙련도는 자기평가 지표이고 실제 작업수행 능력이나 비상상황 대응역량을 측정한 것이 아니므로, 실습교육 보고 여부와 작업역량의 관계는 본 자료만으로 판단할 수 없다.

본 연구 결과는 국외 조사와 부분적으로 비교될 수 있다. 미국 병원 조사에서도 EO 멸균작업이 이루어지는 일부 작업장에서 가동 중인 국소배기, 공기 중 농도 모니터링, 안전취급 교육 또는 표준작업절차가 보고되지 않았고(Boiano & Steege, 2015), 프랑스 병원 멸균장소 조사에서는 작업조건의 편차와 노출 관련 증상 및 임상 소견이 보고되었으며(Sobaszek et al., 1999), 일본 의료기관 설문에서는 작업공간 미격리와 가스 누출·배기가스 역류가 확인되었다(Yahata et al., 2000). 이러한 보고와 본 연구 결과는 규제기준이 마련된 이후에도 의료기관의 EO 관리수준이 기관별로 상당한 편차를 보인다는 점에서 일관된다(LaMontagne & Kelsey, 1997; LaMontagne et al., 2004). 다만 조사대상, 문항 구성 및 관리수단의 정의가 달라 비율을 직접 비교하는 것은 적절하지 않다.

작업관련 급성 눈·피부 자극증상은 4명에서 관찰되었다. 본 연구는 증상을 관리실태의 결과지표로 설정하지 않았으며 사건 수가 4건에 그쳐 관리지표와의 연관성도 분석하지 않았다. 이 결과를 제시한 것은 설문에서 수집한 항목을 선택적으로 누락하지 않기 위한 것이며, 아울러 후속 확인이 필요한 보호구 영역을 특정하는 데 참고가 되기 때문이다. 병원 멸균근로자 연구에서도 점막과 피부 자극증상이 보고되었으나(Bryant et al., 1989; Yahata et al., 2001), 본 연구는 증상 발생 시점의 EO 농도와 다른 소독제 노출, 피부질환·알레르기 등 대체원인을 평가하지 못하였으므로 이 결과는 임상적 인과성의 근거가 될 수 없다. 다만 보고된 증상이 눈과 피부에 국한된 반면 보안경과 가운의 착용률은 각각 51.9%와 33.3%에 그쳤고 잔류 EO와의 접촉으로도 눈·피부 자극이 발생할 수 있으므로(ATSDR, 2022), 본 연구가 다른 호흡보호구 외에 안면·피부 보

호구의 사용 실태를 후속 현장평가에서 함께 확인할 필요가 있다.

한편 EO가 림프조혈계를 주요 표적으로 하는 인체 발암물질로 분류되어 있고(IARC, 2012), EO 노출 근로자에 대한 의학적 감시의 범위와 내용이 사업장별로 상이하었다는 보고를 고려하면(LaMontagne et al., 1996), 국내 의료기관에서도 특수건강진단의 실제 수행 실태를 확인하는 후속조사가 필요하다.

본 연구는 최근 자료가 제한적인 국내 병·의원 EO 멸균작업의 현황을 근로자 자기보고 자료로 제시하였다. 최근 직업성 EO 연구는 산업용 멸균시설의 코호트 재분석이나 규제기관 측정자료 분석에 주로 집중되어 있고(Park, 2020; Christensen et al., 2025), 국내 병원 근로자를 대상으로 한 직접 연구는 주로 1990년대와 2011년에 수행되었다(Seo & Paik, 1995; Chang et al., 1998; Park et al., 1998; Lee et al., 2011). 본 연구는 작업력, 환기설비 응답, 보호구, 교육 및 증상정보를 동일한 구조화 설문으로 수집하고 주요 지표의 비율과 신뢰구간을 제시하여 최근 국내 현황을 보완하였으나, 이를 국내 전체 의료기관의 대표적 실태조사나 실제 관리성능 평가로 해석해서는 안 된다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 자발적으로 참여한 병·의원의 편의표본이다. 참여 의사를 밝힌 45개 기관 중 39개소(86.7%)가 최종 참여하였으나 안내를 받은 전체 기관 수와 기관별 적격근로자 수를 확보하지 못해 모집단 대비 참여율과 선택편향의 방향을 확인할 수 없으므로, 관찰된 비율을 서울지역 전체 병·의원의 대표적 추정치로 해석할 수 없다. 둘째, 환기설비, 보호구와 교육은 모두 자기보고이며 현장관찰, 설비 사양, 배기성능, 교육기록으로 검증하지 못하였고, 개인·지역 측정과 멸균기 사양 정보가 없어 실제 EO 노출수준을 추정할 수 없으며 작업환경측정과 특수건강진단의 이행 여부도 확인하지 못하였다. 셋째, 주요 지표는 원 설문문항을 바탕으로 조작적으로 정의한 것으로 별도의 타당도 검증을 거치지 않았고, '모름' 응답을 설비 없음과 함께 분류한 정의는 설비 부재와 정보 부재를 구분하지 못하므로 대안적 정의에 따른 민감도분석을 함께 제시하였다. 아울러 환기설비의 개수, 가동 횟수 및 1회 가동시간 문항은 원자료에서 8과 9가 각각 비해당과 모름 코드로 사용되어 1일 8회 또는 1회 8-9 시간과 같은 유효 응답이 결측으로 처리되었을 가능성을 배제할 수 없으므로, 기계환기 가동정보의 '모름' 비

율은 상한값으로 해석하였다. 넷째, 단면설계이므로 관리수단과 증상의 시간적 선후관계를 확인할 수 없으며 급성 자극증상이 4건에 그쳐 관련요인 분석은 수행하지 않았다. 다섯째, 표본 수가 작아 하위군 비교의 정밀도가 제한되며, 의원급 근로자가 18명이고 의원급 기관이 모두 지상에 위치하여 기관 종별과 작업장 위치를 분리할 수 없었다. 또한 환기설비와 작업장 위치는 본질적으로 사업장 수준의 특성이나 본 연구는 근로자를 분석단위로 하였으므로, 본문의 비율은 해당 특성을 보고한 근로자의 비율이며 해당 특성을 가진 기관의 비율이 아니다. 2명이 참여한 15개 기관에서 산출한 급내상관계수는 기계환기 설비 응답 0.688, 주관적 환기평가는 0.423, 실습교육 보고 0.435였고 이에 따른 설계효과는 1.16-1.27로, 신뢰구간이 실질적으로 왜곡되었을 가능성은 낮았다. 기관당 1명만을 포함한 민감도분석에서도 주요 지표의 비율은 전체 분석과 크게 다르지 않았다. 다만 사업장 내 응답상관을 신뢰구간에 직접 반영하지는 않았으므로, 향후 사업장 단위 표본설계에서는 군집구조를 고려한 분석이 필요하다.

실무적으로는 '환기가 잘 된다'거나 '교육을 받았다'는 포괄적 응답만으로 산업위생 관리수준을 판단하지 않고, 현장평가 시 공학적 관리, 호흡보호 프로그램 및 작업자 교육·훈련을 구체적으로 확인할 필요가 있다. 후속연구에서는 첫째, 멸균기 문 개방, 하역, 에어레이션 및 배출 등 작업단계별로 개인시료와 단시간 측정을 병행하여 자기보고된 취급시간이 실제 노출 프로파일을 어느 정도 반영하는지 확인하고, 이때 국내 표준화된 측정·분석 절차를 적용하여 기관 간 비교 가능성을 확보할 필요가 있다(KOSHA, 2019). 둘째, 간헐적 고농도 노출을 보완하기 위해 헤모글로빈 부가체 등 생물학적 지표의 활용 가능성을 검토할 수 있다(Angerer et al., 1998). 셋째, 사업장 단위 조사를 통해 멸균기 대수와 기종, 에어레이션 방식, 국소배기 및 전용배기 구성, 경보기 설치 여부, 작업환경측정과 특수건강진단의 이행 여부를 확인하고 이를 근로자 자기보고 지표와 연계하여 지표의 타당도를 평가할 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구는 서울지역 병·의원 EO 멸균작업 종사자 54명을 대상으로 환기, 호흡보호구 및 안전교육의 세

영역에서 자기보고 관리실태를 기술하였다. 세 영역의 결과는 공통된 양상을 보였다. 기계환기 설비가 있다고 응답한 38명 중 9명(23.7%)은 그 가동 횟수나 가동시간을 알지 못하였고, 설비의 존재 여부와 관계없이 87.0%가 환기를 양호하게 평가하였다. 호흡보호구 착용률은 96.3%로 높았으나 방독마스크형 보호구를 보고한 근로자는 64.8%였으며, 정화통 종류나 밀착도검사 등 보호구 프로그램의 적정성을 판단할 정보는 확인되지 않았다. 안전교육 이수율은 88.9%였으나 실습교육을 보고한 근로자는 교육경험자 48명 중 25.0%에 그쳤다. 즉 세 영역 모두에서 관리수단의 설치, 착용 및 이수 여부는 비교적 양호하게 보고된 반면, 그 수단이 실제로 어떻게 운영되고 있는지에 관한 정보는 근로자 응답에서 확인되지 않았다. 이는 관리수단의 존재 여부만으로 산업위생 관리수준을 판단하기 어려우며, 사업장 점검과 감시체계가 무엇이 갖추어져 있는가에서 그것이 어떻게 운영되고 근로자가 무엇을 알고 있는가로 확인의 초점을 옮겨야 함을 시사한다. 다만 본 결과는 자발적으로 참여한 기관의 근로자 자기보고에 근거한 것으로 실제 설비성능이나 법규 준수 여부를 판정하지 못하며, 선택편향의 방향을 확인할 수 없어 서울지역 전체 병·의원의 대표적 추정치로 해석할 수 없다. 향후 사업장 단위 현장조사에서는 기계환기 설비의 설치·가동 상태, 호흡보호 프로그램의 구성요소, 교육의 방식과 내용을 각각 구분하여 확인하고 이를 근로자의 인지 수준과 대조할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 고용노동부 위탁 「2024년 서울직업병안심센터 운영 사업」의 일환으로 수행되었습니다(서울지방고용노동청 산재예방지도과-323). 사업장 방문조사와 자료수집에 협조해 주신 한국산업안전보건공단 서울광역본부 산업보건부 및 병·의원 관계자님들께 감사드립니다.

이해상충

저자들은 본 연구와 관련하여 보고할 이해상충이 없음을 선언한다.

References

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for ethylene oxide. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services; 2022
- Angerer J, Bader M, Krämer A. Ambient and biochemical effect monitoring of workers exposed to ethylene oxide. *Int Arch Occup Environ Health* 1998;71(1):14-18 <https://doi.org/10.1007/s004200050244>
- Boiano JM, Steege AL. Ethylene oxide and hydrogen peroxide gas plasma sterilization: precautionary practices in U.S. hospitals. *Zentralsterilisation (Wiesb)* 2015;23(4):262-268
- Bryant HE, Visser N, Yoshida K. Ethylene oxide sterilizer use and short-term symptoms amongst workers. *J Soc Occup Med* 1989;39(3):101-106 <https://doi.org/10.1093/occmed/39.3.101>
- Burke MJ, Sarpy SA, Smith-Crowe K, Chan-Serafin S, Salvador RO, et al. Relative effectiveness of worker safety and health training methods. *Am J Public Health* 2006;96(2):315-324 <https://doi.org/10.2105/AJPH.2004.059840>
- Chang SH, Lee WJ, Kim CS, Hwang CH, Park JT, et al. Sister chromatid exchanges in workers occupationally exposed to ethylene oxide. *Korean J Occup Environ Med* 1998;10(4):428-437 <https://doi.org/10.35371/kjoem.1998.10.4.428>
- Chien YC, Liu HH, Lin YC, Su PC, Li LH, et al. Ethylene oxide sterilization in the medical-supply manufacturing industry: assessment and control of worker exposure. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2007;83(2):527-537 <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30825>
- Christensen B, Dahm MM, Chen IC, Kelly-Reif K. Ethylene oxide measurements from OSHA workplace investigations: patterns in exposure by industry, occupation, and over time. *Am J Ind Med* 2025;68(10):845-855 <https://doi.org/10.1002/ajim.70008>
- Hori H, Yahata K, Fujishiro K, Yoshizumi K, Li D, et al. Personal exposure level and environmental ethylene oxide gas concentration in sterilization facilities of hospitals in Japan. *Appl Occup Environ Hyg* 2002;17(9):634-639 <https://doi.org/10.1080/10473220290095970>
- International Agency for Research on Cancer(IARC). Chemical agents and related occupations. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 100F. Lyon: IARC; 2012
- Koda S, Kumagai S, Ohara H. Environmental monitoring and assessment of short-term exposures to hazardous

- chemicals of a sterilization process in hospital working environments. *Acta Med Okayama* 1999;53(5):217-223
<https://doi.org/10.18926/AMO/31633>
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Survey on the distribution and use of chemical substances: ethylene oxide. Ulsan: Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA; 2009
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Technical guideline for workplace monitoring and analysis of ethylene oxide (A-174-2019). Ulsan: KOSHA; 2019
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Guideline for selection, use and management of respiratory protective equipment (H-82-2020). Ulsan: KOSHA; 2020
- Korean Society for Healthcare-associated Infection Control and Prevention(KOSHIC). Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities. Seoul: KOSHIC; 2014
- 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(5):651-664
<https://doi.org/10.1002/ajim.4700220504>
- LaMontagne AD, Mangione TW, Christiani DC, Kelsey KT. Medical surveillance for ethylene oxide exposure: practices and clinical findings in Massachusetts hospitals. *J Occup Environ Med* 1996;38(2):144-154
<https://doi.org/10.1097/00043764-199602000-00012>
- LaMontagne AD, Kelsey KT. Evaluating OSHA's ethylene oxide standard: employer exposure-monitoring activities in Massachusetts hospitals from 1985 through 1993. *Am J Public Health* 1997;87(7):1119-1125
<https://doi.org/10.2105/AJPH.87.7.1119>
- LaMontagne AD, Kelsey KT. Evaluating OSHA's ethylene oxide standard: exposure determinants in Massachusetts hospitals. *Am J Public Health* 2001;91(3):412-417
<https://doi.org/10.2105/AJPH.91.3.412>
- LaMontagne AD, Oakes JM, Lopez Turley RN. Long-term ethylene oxide exposure trends in US hospitals: relationship with OSHA regulatory and enforcement actions. *Am J Public Health* 2004;94(9):1614-1619
<https://doi.org/10.2105/AJPH.94.9.1614>
- Lee SY, Kim YJ, Choi YJ, Lee JW, Lee YH, et al. Analysis of micronuclei and its association with genetic polymorphisms in hospital workers exposed to ethylene oxide. *J Environ Health Sci* 2011;37(6):429-439
<https://doi.org/10.5668/JEHS.2011.37.6.429>
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents [Internet]. MoEL Public Notice No. 2020-48. Sejong: MoEL; 2020 [cited 2026 Aug 1] Available from: [https://www.law.go.kr/행정규칙/화학물질및물리적인자외노출기준/\(2020-48,20200114\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/화학물질및물리적인자외노출기준/(2020-48,20200114))
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Rules on Occupational Safety and Health Standards [Internet]. MoEL Ordinance No. 450. Sejong: MoEL; 2025 [cited 2026 Aug 1] Available from: <https://www.law.go.kr/법령/산업안전보건기준에관한규칙>
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Current Intelligence Bulletin 52: Ethylene oxide sterilizers in health care facilities: engineering controls and work practices. Cincinnati: NIOSH; 1989. DHHS (NIOSH) Publication No. 89-115
<https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB89115>
- Newcombe RG. Two-sided confidence intervals for the single proportion: comparison of seven methods. *Stat Med* 1998;17(8):857-872
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Ethylene oxide, 29 CFR 1910.1047 [Internet]. Washington, DC: OSHA [cited 2026 Aug 1] Available from: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1047>
- Park KW, Kim YG, Byun JH, Kim JH, Lee YH, et al. Neurobehavioral tests in workers exposed to ethylene oxide. *Korean J Occup Environ Med* 1998;10(3):301-309
<https://doi.org/10.35371/kjoem.1998.10.3.301>
- Park RM. Associations between exposure to ethylene oxide, job termination, and cause-specific mortality risk. *Am J Ind Med* 2020;63(7):577-588
<https://doi.org/10.1002/ajim.23115>
- Sembajwe G, Quinn M, Kriebel D, Stoddard A, Krieger N, et al. The influence of sociodemographic characteristics on agreement between self-reports and expert exposure assessments. *Am J Ind Med* 2010;53(10):1019-1031
<https://doi.org/10.1002/ajim.20821>
- Seo SO, Paik NW. A study on worker exposure to ethylene oxide in central supply sterilizing room of hospital. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 1995;5(1):68-86
- Shintani H. Ethylene oxide gas sterilization of medical devices. *Biocontrol Sci* 2017;22(1):1-16
<https://doi.org/10.4265/bio.22.1>
- Sobaszek A, Hache JC, Frimat P, Akakpo V, Victoire G, et al. Working conditions and health effects of ethylene oxide exposure at hospital sterilization sites. *J Occup Environ Med* 1999;41(6):492-499
<https://doi.org/10.1097/00043764-199906000-00016>
- Steege AL, Boiano JM, Sweeney MH. NIOSH health and safety practices survey of healthcare workers: training and awareness of employer safety procedures. *Am J Ind Med* 2014;57(6):640-652
<https://doi.org/10.1002/ajim.22305>

Appendix

Appendix 1. Source variables, operational definitions, sensitivity analyses, and interpretation limits for key self-reported occupational hygiene management indicators

Indicator	Source questionnaire item(s)	Main operational definition	Main result	Sensitivity analysis	Interpretation limit
Reported mechanical ventilation equipment absent or unknown	WORK3_06; equipment described as local exhaust ventilation, ventilation fans, or similar equipment	Equipment reported as absent or status reported as unknown	16/54, 29.6% (Wilson 95% CI 19.1–42.8%)	Absent only: 10/54, 18.5% (Wilson 95% CI 10.4–30.8%)	Does not distinguish local from general ventilation or verify equipment performance
General mask only or no respirator reported	WORK3_11–WORK3_12	No respiratory protective equipment or general mask only	19/54, 35.2% (23.8–48.5%)	No alternative classification applied	Cartridge type, fit testing, replacement schedule, and program adequacy were not assessed
Practical training not explicitly reported	WORK3_18 and WORK3_26–WORK3_29	Practical training not explicitly selected, regardless of whether any safety training was reported	42/54, 77.8% (65.1–86.8%)	Reclassifying one “on-site training” free-text response as practical training: 41/54, 75.9% (63.1–85.4%)	Training content, competence assessment, and effectiveness were not evaluated
Ventilation rated good despite equipment reported absent or unknown	WORK3_06 and WORK3_10	Ventilation rated good while equipment reported absent or unknown	13/54, 24.1% (14.6–36.9%)	Excluding workers with unknown equipment status (N=48): 8/48, 16.7% (8.7–29.6%)	Compares two self-reported measures; the two responses are not logically contradictory and the indicator does not demonstrate a discrepancy with objectively measured performance
Mechanical-ventilation information reported as unknown	WORK3_06; WORK3_08–WORK3_09	Equipment status reported as unknown, or equipment reported present with operating frequency or duration reported as unknown; the two conditions were applied as mutually exclusive	15/54, 27.8% (Wilson 95% CI 17.6–40.9%)	Not applicable	Reflects “unknown” responses to the specified items; does not directly demonstrate equipment management status or a failure of hazard communication

Notes. All indicators were derived from worker self-reports. Sensitivity analyses examined plausible alternative coding rules and did not convert the indicators into validated risk scores. Weekly EO handling time was also examined by retaining one 720-minute daily-time entry, for which the reported weekly frequency was 0.5 day (weekly handling time 360 minutes); the mean changed from 64.4±82.1 to 70.1±91.0 min/week, whereas the median remained 50.0 min/week. Wilson 95% confidence intervals are also presented for the sensitivity analyses. Because the sample was a voluntary convenience sample, the confidence intervals are descriptive precision estimates for the observed sample and are not population inferences.

Appendix 2. Questionnaire items used to derive the self-reported occupational hygiene management indicators

Variable(dataset)	Item no.	Item wording(Korean, verbatim)	Response options / coding used	Use in this study
WORK1_04	2	현 직장에서 하루 평균 근무시간은 잔업/야근을 포함하여 어떻게 되십니까?	시간(연속형)	일일 취급시간의 내적 정합성 판정(일일 근무시간 초과 여부)
WORK1_06	4	업무 중 E.O 가스를 사용하여 멸균기를 작동하는 업무를 주로 하시나요?	인쇄: 1)아니오 2)예 3)모름 / 자료: 1=예, 2=아니오, 3=모름	현재 작업경로 분류(직접 조작)
WORK1_07	4-1	멸균기를 작동하는 업무를 수행하지 않더라도 업무 중에 멸균실에 출입을 하시나요?	인쇄: 1)아니오 2)예 / 자료: 1=예, 2=아니오, 8=비해당	현재 작업경로 분류(멸균실 출입)
WORK1_08, _09, _10	4-2	현 직장 근무기간 중 산화에틸렌 취급업무를 하신 기간	_08 년, _09 개월, _10 총 개월(환산치)	현직 EO 업무기간
WORK1_11, _12	4-3	산화에틸렌 취급 빈도: 하루에 ()분, 1주일에 ()일	분, 일(연속형). 999 및 9=결측코드	주당 EO 취급시간 = WORK1_11 × WORK1_12
WORK2_01, _02	5, 5-1	이전 근무 사업장에서의 E.O 멸균기 작동 업무 및 멸균실 출입 여부	1=예, 2=아니오, 3=모름, 8=비해당	과거 EO 취급 경험
WORK2_08, _09, _10	9	이전 직장 근무기간 중 산화에틸렌 취급업무를 하신 기간	년, 개월, 총 개월(환산치). 88, 888=비해당	과거 및 총 EO 업무기간
WORK3_01	10	해당 작업장은 몇 층에 위치합니까?	1=지상, 2=지하	작업장 위치
WORK3_02	10-1	환기 시스템(자연 환기: 창문, 환기구 개폐 등) 유무	인쇄: 1)없음 2)있음 / 자료: 1=있음, 2=없음, 9=모름	자연환기 보유 여부
WORK3_03, _04, _05	10-1	자연환기 개수, 1일당 횟수, 1회당 환기시간	개, 회, 시간(연속형). 9, 99=모름, 8, 88=비해당	자연환기 가동 정보
WORK3_06	10-1	환기 시스템(기계 환기: 국소배기장치, 환풍기 등) 유무	인쇄: 1)없음 2)있음 / 자료: 1=있음, 2=없음, 9=모름	지표 1: 2 또는 9에 해당하면 "기계환기 설비 없음 또는 모름"
WORK3_07, _08, _09	10-1	기계환기 개수, 1일당 가동 횟수, 1회당 가동시간	개, 회, 시간(연속형). 9, 99=모름, 8, 88=비해당	기계환기 가동 정보의 결측(모름) 비율 산출
WORK3_10	10-2	해당 작업장이 환기가 잘 된다고 생각하십니까?	인쇄: 1)아니오 2)예 / 자료: 1=예, 2=아니오, 9=모름	지표 4: WORK3_10=1 이면서 WORK3_06이 2 또는 9인 경우 불일치
WORK3_11	11	해당 작업 시 호흡보호구를 착용하시나요?	인쇄: 1)아니오 2)예 / 자료: 1=예, 2=아니오	호흡보호구 착용 여부
WORK3_12	11-1	주로 어떤 호흡보호구를 착용하시나요?	인쇄: 1)방독마스크 2)일반마스크 / 자료: 1=방독마스크, 2=일반마스크, 3=둘 다, 8=비해당	지표 2: 1 또는 3이 아니면 "방독마스크형 보호구 미보고"
WORK3_13 ~ _17	11-2	호흡보호구 외 착용 보호구(중복 응답): 장갑, 모자, 가운, 보안경, 기타	각 변수 1=착용, 2=미착용. _17은 자유기재, 8=비해당	기타 개인보호구 착용률
WORK3_18	12	산화에틸렌을 이용한 작업에 대하여 올바른 작동방법 혹은 취급안전교육을 받은 적 있으십니까?	인쇄: 1)아니오 2)예 / 자료: 1=예, 2=아니오	안전교육 이수 여부
WORK3_19 ~ _23	12-1	교육의 주체는 어디였습니까?	자료에서는 중복 응답 이진변수로 저장: _19 근무지 자체교육, _20 의료기기업체, _21 산업안전 및 보건전문기관, _22 사설교육기관, _23 기타(자유기재). 1=해당, 2=비해당, 8=교육 미이수	교육 주체(중복 응답), 주체별 실습교육 보고 여부

WORK3_24, _25	12-2	교육을 받았다면 얼마 주기로 몇 시간 동안 받으십니까? 연간 ()회 / ()시간	_24 연간 횟수, _25 시간(연속형). 99=모름, 88=비해당	교육 빈도 및 시간(기술통계)
WORK3_26 ~ _29	12-3	교육은 어떤 방식으로 받으셨습니까?(중복 선택): 구두교육, 유인물 배부, 실습 교육, 기타	_26 구두, _27 유인물, _28 실습, _29 기타(자유기재). 1=해당, 2=비해당, 8=교육 미이수	지표 3: WORK3_28이 10이 아니면 "명시적 실습교육 미보고"
WORK3_30	13	본인의 해당 작업 숙련도를 1~10점 사이로 표현해 주십시오.	1~10점(연속형)	자기평가 작업 숙련도
WORK3_31	14	E.O 가스를 이용한 작업 시 신체적으로 불편한 사항이 있으십니까?	인쇄: 1)아니요 2)예 / 자료: 1=예, 2=아니오	작업 중 불편증상 보고 여부
WORK3_32	14-1	해당 증상은 어떤 증상인가요?(자유 기입)	자유기재. 8=비해당	급성 자극증상 분류(눈, 피부 등)
WORK3_33	14-2	상기 증상이 근무 시 악화되거나 휴식 시 완화되는 양상이 있으신가요?	인쇄: 1)아니요 2)예 / 자료: 1=예, 2=아니오, 8=비해당	작업관련성 판단

Note. Item numbers refer to the printed Korean questionnaire. Item wording is reproduced as presented in the original Korean questionnaire because the operational definitions depend on the exact phrasing. For several binary items, the printed questionnaire used 1=No and 2=Yes, whereas the dataset used 1=Yes/present and 2=No/absent; all analyses followed the dataset coding. Codes 8, 88, 888, and 8888 denoted not applicable, whereas 9, 99, 999, and 9999 denoted unknown or missing, except when these values represented valid responses. Item 12-1 was stored in the dataset as multiple binary variables plus a free-text variable; consequently, dataset variable numbering from item 12-2 onward differs by four positions from the printed questionnaire.

Appendix 3. Agreement of key responses between two workers from the same facility (15 facilities)

Questionnaire item	Facilities in agreement	Agreement(%)	Wilson 95% CI
Safety training received (WORK3_18)	14/15	93.3	70.2–98.8
Respirator use (WORK3_11)	14/15	93.3	70.2–98.8
Worksite location, above ground or basement (WORK3_01)	13/15	86.7	62.1–96.3
Subjective assessment of ventilation (WORK3_10)	13/15	86.7	62.1–96.3
Natural ventilation present (WORK3_02)	12/15	80.0	54.8–93.0
Mechanical ventilation equipment present (WORK3_06)	11/15	73.3	48.0–89.1
Type of respirator reported (WORK3_12)	11/15	73.3	48.0–89.1
Practical training reported (WORK3_28)	11/15	73.3	48.0–89.1

Notes. Fifteen of the 39 participating facilities contributed two workers each. Agreement denotes that both workers selected the same response category for the item.

Among the four facilities in which responses on mechanical ventilation equipment did not agree, three involved one worker reporting the equipment status as unknown.

Intraclass correlation coefficients were 0.688 for mechanical ventilation equipment reported absent or unknown, 0.423 for subjective assessment of ventilation and 0.435 for practical training, corresponding to design effects of 1.27, 1.16 and 1.17, respectively.

Restricting the analysis to one randomly selected worker per facility (n=39) over 1,000 replications gave median proportions of 28.2% (range 25.6–30.8) for mechanical ventilation equipment reported absent or unknown, 38.5% (35.9–41.0) for general mask only or no respirator, 82.1% (76.9–84.6) for practical training not explicitly reported, and 23.1% (17.9–25.6) for ventilation rated good despite equipment reported absent or unknown.

von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, et al. The strengthening the reporting of observational studies in epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. PLoS Med 2007;4(10):e296

Yahata K, Higashi T, Yoshizumi K, Fujishiro K, Hori H, et al. An investigation on ethylene oxide sterilization management in medical institutions. Sangyo Eiseigaku Zasshi 2000;42(2):41-48 <https://doi.org/10.1539/sangyoeisei.KJ00002552> 253

Yahata K, Fujishiro K, Hori H, Higashi T. An investigation of symptoms in ethylene oxide sterilization workers in hospitals. J Occup Health 2001;43(4):180-184 <https://doi.org/10.1539/joh.43.180>

<저자정보>

황정호(사무국장/겸임교수), 김윤희(석사연구원), 김인아(교수), 김서연(석사연구원), 황주영(석사연구원), 민지희(교수), 김기연(교수)