

해부실습실의 잔류 오염 관리: 3단계 대응 존 기반 접근

이재환¹, 남용석¹, 정수정²

¹경북대학교 의과대학 해부학교실, ²대전대학교 한의과대학 해부학교실

Residual Contamination Management in Anatomy Labs: A Three-Zone Approach

Jae-Hwan Lee¹, Yong-Seok Nam¹, Soo-Jung Jung²

¹Department of Anatomy, College of Medicine, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

²Department of Anatomy, College of Korean Medicine, Daejeon University, Daejeon, Republic of Korea

Abstract : Anatomy laboratory practice is an essential component of medical and healthcare education, in which various chemical agents such as formalin, ethanol, and glycerin are commonly used for cadaver preservation. Although these substances are generally used at relatively low concentrations, repeated exposure in enclosed laboratory environments may cause residual contamination on clothing, skin, and equipment surfaces, potentially leading to continuous inhalation or contact exposure even after laboratory sessions. In particular, formaldehyde, the major component of formalin, is classified as a hazardous chemical and a Group 1 carcinogen by the International Agency for Research on Cancer (IARC), raising concerns regarding long-term repeated exposure. This study reviewed the exposure characteristics and residual contamination risks associated with low-concentration formalin-based preservation solutions used in anatomy laboratories and explored the applicability of a three-zone management system (Hot Zone, Warm Zone, and Cold Zone) as a spatial safety management strategy. Through a narrative review of previous literature and industrial safety management systems, major exposure pathways and potential risk factors in anatomy laboratory environments were analyzed. The review suggests that even low-level exposure may contribute to cumulative exposure when combined with repeated exposure and residual contamination, potentially resulting in secondary exposure to surrounding individuals and environments. Therefore, safety management in anatomy laboratories should extend beyond personal protective equipment to include decontamination procedures and space-based control systems. In conclusion, the three-zone management system may serve as a practical strategy for reducing residual contamination and secondary exposure risks in anatomy laboratory environments.

Keywords : Dissection, Residual contamination, Formalin exposure, Secondary exposure, Safety management

저자(들)는 ‘의학논문 출판윤리 가이드라인’을 준수합니다.

저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

Received: May 11, 2026; **Revised:** June 2, 2026; **Accepted:** June 10, 2026

Correspondence to: 정수정 (대전대학교 한의과대학 해부학교실) **E-mail:** soojung@dju.ac.kr

서론

해부학 실습은 의학교육에서 핵심적인 교육 과정으로, 인체 구조에 대한 실제적 이해를 가능하게 하는 가장 기본적이고 필수적인 교육 방법이다[1]. 특히 카데바(cadaver)를 활용한 해부 실습은 교과서나 영상 자료만으로는 얻기 어려운 입체적 구조 이해, 해부학적 변이의 인지, 그리고 임상적 적용 능력을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다[2,30]. 이러한 이유로 해부학 실습은 의학교육의 핵심적인 교육 방법으로 활용되고 있다. 그러나 해부실습 과정에서는 필연적으로 다양한 화학물질과 생물학적 물질에 노출될 가능성이 존재한다[3]. 특히 카데바 고정을 위해 사용되는 포르말린(formalin), 에탄올(ethanol), 글리세린(glycerin) 등은 조직의 부패를 방지하고 장기간 보존을 가능하게 하는 필수적인 물질이지만, 반복적인 노출이 이루어질 경우 건강에 영향을 미칠 수 있는 잠재적 위험 요인으로 간주된다. 이러한 화학물질은 단순히 실습 중에만 노출되는 것이 아니라, 실습 종료 이후에도 의복이나 피부에 잔류하여 지속적인 노출을 유발할 수 있다는 점에서 중요한 관리 대상이 된다[4]. 특히 포르말린의 주요 성분인 포름알데하이드(formaldehyde)는 대한민국 「화학물질관리법」에 따라 유해화학물질(유독물질)로 지정되어 관리되는 물질이며, 동시에 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에 의해 인간 발암물질(Group 1 carcinogen)로 분류된 물질로, 직업적 노출 환경에서 장기간 반복적으로 노출될 경우 상기도 암, 비인두암, 백혈병 등의 발생 위험 증가와 관련이 있는 것으로 보고되어 있다[5]. 또한 포름알데하이드는 강한 점막 자극성을 가지는 물질로, 비교적 낮은 농도에서도 눈 자극, 코 자극, 인후통, 기침 등의 증상을 유발할 수 있으며, 특히 밀폐된 실내 환경에서는 이러한 증상이 더욱 쉽게 나타날 수 있다[6,7]. 최근 국내 의학교육인증평가에서는 해부실습실의 환기 시스템과 실내 공기질 관리의 중요성을 강조하고 있으며, 실습실 전체 환기시설뿐 아니라 국소 배기장치 및 환기 기능이 포함된 해부대의 설치와 운영이 안전한 실습환경 조성의 핵심 요소로 제시되고 있다. 따라서 해부실습 환경에서의 노출 관리는 개인보호구 착용뿐 아니라 시설 기반의 환경관리 체계를 함께 고려할 필요가 있다[31]. 최근 산업보건 및 직업환경의학 분야에서는 단순한 일회성 노출보다는 반복적이고 장기적인 저농도 노출이 건강에 미치는 영향을 중요하게 고려하고 있다[8]. 이러한 관점에서 해부실습 환경 역시 단순한 급성 독성 평가만으로는 충분한 안전관리가 이루어졌다고 보기 어려우며, 반복적인 실습 참여와 장기간 노출을 고려한 관리 전략이 필요하다. 또한 해

부실습 환경에서 중요한 문제는 단순한 실습 중 노출뿐 아니라 실습 이후 잔류 오염(residual contamination)이다. 실습 과정에서 화학물질이 의복, 피부, 장비 표면 등에 부착될 경우, 실습 종료 이후에도 지속적인 흡입 또는 접촉 노출이 발생할 수 있으며, 이러한 잔류 물질이 외부 환경으로 이동할 경우 타인에게 2차 노출(secondary exposure)을 유발할 가능성이 존재한다. 이러한 현상은 산업안전 분야에서 가정반입 노출(take-home exposure) 또는 직업연관 2차 노출(para-occupational exposure)로 알려져 있으며, 광산, 화학공장, 병원 등 다양한 직업 환경에서 중요한 안전 문제로 인식되고 있다[9,10].

현재 대부분의 해부실습실에서는 개인 보호구(Personal Protective Equipment, PPE) 착용 중심의 관리가 이루어지고 있으나, 실습 종료 이후 잔류 오염 관리에 대한 체계적인 공간 기반 통제 시스템은 상대적으로 부족한 실정이다[11]. 특히 실습 종료 이후 환복 절차, 이동 동선, 오염 제거 단계 등에 대한 명확한 기준이 없는 경우가 많으며, 이는 잔류 오염이 외부 환경으로 확산될 가능성을 증가시키는 요인이 될 수 있다. 산업안전 및 재난 대응 분야에서는 오염 확산을 통제하기 위해 고오염구역(Hot Zone), 오염제거구역(Warm Zone), 비오염구역(Cold Zone)으로 구분하는 공간 기반 관리 체계를 활용하고 있다[12]. 이러한 접근법은 화학물질 누출, 감염병 대응, 방사선 사고 등 다양한 상황에서 효과적으로 사용되고 있으며, 오염 확산을 단계적으로 통제하는 데 유용한 전략으로 평가되고 있다[13].

따라서 본 연구의 목적은 해부실습 환경에서 사용되는 저농도 포르말린 기반 주입액의 노출 특성과 잠재적 위험성을 체계적으로 정리하고, 실습 종료 이후 잔류 오염 관리의 중요성을 강조하며, 산업안전 분야에서 활용되는 3단계 대응 존(Hot-Warm-Cold Zone) 개념을 해부실습 환경에 적용 가능한 안전관리 모델로 제안하는 데 있다. 본 연구는 직접적인 환경 농도 측정이나 실험적 평가를 수행한 연구가 아니라, 기존 문헌과 산업안전 관리 체계를 종합적으로 고찰하여 해부실습 환경에 적용 가능한 공간 기반 안전관리 모델을 제안하는 서술적 리뷰(narrative review) 형식의 연구이다.

해부실습 환경에서의 화학물질 노출 특성

해부실습에서 사용되는 카데바 고정액은 일반적으로 포름알데하이드, 에탄올 또는 메탄올, 페놀, 글리세린 등을 포함한 혼합액으로 구성되며, 국가 및 기관에 따라 구성에

차이가 존재한다. 최근에는 포르말데히드 사용량을 감소시키거나 대체 보존기법을 적용하려는 연구도 활발히 진행되고 있다[32,33]. 각 성분은 조직 보존과 해부학적 구조 유지에 중요한 역할을 한다[14]. 이러한 혼합액은 조직의 부패를 방지하고 장기간 보존을 가능하게 하는 동시에, 해부 과정에서 조직의 형태와 질감을 유지하는 데 필수적인 기능을 수행한다. 최근에는 전통적인 포르말린 고정 외에도 교육 효과와 노출 감소를 목적으로 다양한 보존 방법이 연구되고 있다[33]. 그러나 이러한 보존액은 화학적 특성에 따라 다양한 노출 경로를 통해 인체에 영향을 미칠 수 있다. 대표적인 노출 경로는 다음과 같다. 1) 흡입 노출(inhalation exposure), 2) 피부 접촉(dermal exposure), 3) 점막 접촉(mucosal exposure), 4) 간접 접촉(secondary contact)이다[15].

특히 포르말린은 휘발성이 높은 물질로, 실내 공기 중으로 쉽게 확산될 수 있으며, 환기가 충분하지 않은 환경에서는 공기 중 농도가 증가할 가능성이 있다[16,35]. 이러한 특성은 해부실습실과 같이 밀폐된 실내 환경에서 중요한 관리 대상이 된다. 에탄올은 비교적 낮은 독성을 가지는 물질로 알려져 있지만, 높은 휘발성을 가지기 때문에 공기 중 농도가 증가할 경우 점막 자극이나 두통 등의 증상을 유발할 수 있다. 특히 반복적인 노출이 이루어질 경우 이러한 증상이 누적될 가능성이 있다[17]. 글리세린은 상대적으로 낮은 독성을 가지는 물질로 평가되지만, 에어로졸 형태로 존재할 경우 호흡기 자극을 유발할 수 있으며, 특히 장기간 반복 노출이 이루어질 경우 점막 건조나 불편감을 유발할 수 있다[18]. 반면 국내 해부실습 환경에서 사용되는 페놀은 피부 및 점막 자극성과 전신 독성을 나타낼 수 있으며, 메탄올 또한 흡입 및 피부 노출 시 신경계 독성을 유발할 수 있어 적절한 관리가 필요하다[17,34].

실제 해부실습 환경에서는 개인 보호구를 착용하더라도 완전한 노출 차단이 이루어지지 않는 경우가 존재한다[19]. 예를 들어, 대부분의 학생과 교원은 실습 시 실습가운(laboratory gown)을 착용하지만, 실습가운으로 완전히 덮이지 않는 신체 부위, 예를 들어 다리, 발, 신발, 얼굴, 목 부위 등은 보존액이나 조직액에 직접적으로 노출될 가능성이 있다. 특히 해부 과정 중 절개, 세척, 조직 이동 등의 과정에서 액체가 튀거나 흘러내리는 상황이 발생할 수 있으며, 이때 바닥에 떨어진 고정액이 신발이나 바지 하단 부에 부착되는 경우가 흔하게 관찰된다[19].

또한 실습가운 자체가 보호 장비로 기능하더라도, 카테바 또는 조직 표면과 반복적으로 직접 접촉하는 경우 고정액이 섬유를 통해 투과(permeation)하여 내부 의복까지 오염되는 상황이 발생할 수 있다[20]. 특히 장시간 실습이

이루어지는 경우, 실습가운이 젖은 상태로 유지되거나, 소매나 앞면이 반복적으로 접촉될 경우 이러한 투과 가능성이 증가할 수 있다. 이러한 상황은 겉으로는 오염이 명확히 인지되지 않더라도 내부 의복이나 피부에 잔류 화학물질이 존재할 수 있음을 의미한다. 이와 같은 사례는 해부실습 환경에서의 노출이 단순히 공기 중 농도에 의한 흡입 노출뿐 아니라, 피부 접촉 및 의복 매개 노출(clothing-mediated exposure)을 통해 이루어질 수 있음을 시사한다. 따라서 해부실습 환경에서의 노출 특성은 단순한 화학물질 농도뿐 아니라, 실습 과정 중 발생하는 실제 작업 상황과 개인 보호구의 물리적 한계를 함께 고려하여 평가되어야 한다[4].

이러한 화학물질의 노출 특성은 단순한 독성 수준뿐 아니라 다음과 같은 요인에 의해 영향을 받을 수 있다. 1) 노출 시간, 2) 노출 빈도, 3) 환기 상태, 4) 작업 공간 크기, 5) 개인 보호구 사용 여부, 6) 보호구의 재질 및 투과성, 7) 실습 과정 중 물리적 접촉 빈도이다. 따라서 해부실습 환경에서의 노출 위험 평가는 단순한 농도 측정뿐 아니라, 반복적인 노출 환경과 공간적 특성, 그리고 실제 작업 행동(work practice)을 함께 고려하여 이루어져야 한다[21].

해부실습실에서는 일반적으로 고글(goggles), 실습용가운(laboratory gown), 마스크(mask), 라텍스 장갑(latex gloves), 팔토시(arm sleeves), 장화(rubber boots) 등 다양한 개인보호장비(Personal Protective Equipment)가 사용되고 있으며, 이러한 장비는 화학물질과 생물학적 물질로부터 신체를 보호하는 데 중요한 역할을 한다. 그러나 개인보호장비를 착용하더라도 모든 노출을 완전히 차단하는 것은 현실적으로 어렵다. 예를 들어, 포르말린과 같은 휘발성 물질은 공기 중으로 쉽게 확산되기 때문에, 고글을 착용하더라도 고글과 얼굴 사이의 미세한 틈을 통해 기화된 고정액이 눈의 각막(cornea)에 접촉할 가능성이 존재한다. 또한 마스크를 착용한 상태에서도 공기 중에 존재하는 화학물질이 코나 입을 통해 흡입되어 호흡기계통의 점막(mucosa)에 자극을 유발할 수 있으며, 이러한 노출은 반복될 경우 점막 손상이나 불편감으로 이어질 수 있다. 더불어 실습용 가운은 몸통과 팔 부위를 보호하는 역할을 하지만, 가운으로 완전히 덮이지 않는 신체 부위, 예를 들어 목, 얼굴, 다리, 발, 신발 등의 영역은 여전히 오염 가능성이 존재하며, 이러한 노출은 실습 종료 이후에도 지속적인 잔류오염을 유발할 수 있다[22,23]. 따라서 개인보호장비의 사용은 필수적인 안전조치이지만, 보호장비만으로 모든 노출을 완전히 예방할 수 없다는 점을 고려한 추가적인 관리 전략이 필요하다[4,36].

잔류 오염과 2차 노출 위험

해부실습 환경에서 중요한 문제 중 하나는 실습 종료 이후에도 지속될 수 있는 잔류 오염이다. 실습 과정에서 사용된 화학물질은 공기 중으로 확산될 뿐 아니라, 의복, 피부, 장갑, 신발, 장비 표면 등에 부착될 수 있으며, 이러한 잔류 물질은 실습 종료 이후에도 일정 시간 동안 지속적으로 노출을 유발할 수 있다. 특히 의복에 부착된 화학물질은 실습 종료 이후에도 외부 환경으로 이동할 수 있으며, 이는 다음과 같은 상황에서 추가적인 노출을 유발할 가능성이 있다. 해부 실습 후 1) 실습복 상태로 외부 공간 이동, 2) 오염 가능성이 있는 의복 상태로 귀가, 3) 가족 또는 동료와 신체 접촉, 4) 공용 공간 이용 등이 있다[3,24].

이러한 노출은 일반적으로 낮은 농도에서 이루어지지만, 반복적으로 발생할 경우 누적 노출로 이어질 수 있으며, 이는 장기적인 건강 영향과 관련될 가능성이 있다[37]. 또한 잔류 오염은 개인뿐 아니라 주변 환경에도 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 오염된 의복이 차량 내부에 화학물질을 확산시키거나, 가정 내 공기 질에 영향을 미칠 가능성이 있으며, 특히 어린이나 노약자와 같은 취약 집단이 노출될 경우 건강 영향이 더 크게 나타날 수 있다. 따라서 해부실습 환경에서의 안전관리는 단순히 실습 중 노출을 줄이는 것뿐 아니라, 실습 종료 이후 잔류 오염을 효과적으로 관리하는 것을 포함해야 한다[8,25].

3단계 대응 존(고오염구역-오염제거구역-비오염구역) 기반 안전관리 모델

산업안전 및 재난 대응 분야에서는 오염 확산을 효과적으로 통제하기 위해 공간을 기능별로 구분하는 관리 체계를 활용하고 있으며, 그 대표적인 예가 Hot Zone, Warm Zone, Cold Zone으로 구성된 3단계 대응 존 시스템이다. 이러한 시스템은 오염 발생 지역을 중심으로 단계적으로 오염 제거 절차를 수행하도록 설계되어 있으며, 오염 확산을 최소화하는 데 효과적인 전략으로 평가되고 있다[26].

고오염구역은 오염 발생 가능성이 가장 높은 구역으로, 해부실습 환경에서는 실제 해부가 이루어지는 공간이 이에 해당한다. 이 구역에서는 화학물질과 생물학적 물질에 직접적으로 노출될 가능성이 높기 때문에, 개인 보호구 착용과 작업 절차 준수가 필수적이다. 오염제거구역은 오염 제거와 개인 위생 관리가 이루어지는 구역으로, 고오염구역에서 작업을 마친 후 이동하여 오염된 의복을 제거하고 손 씻기, 장비 정리, 환복 등의 절차를 수행하는 공간이다.

이 구역은 오염이 완전히 제거되기 전 단계에 해당하며, 오염 확산을 방지하는 중요한 역할을 한다. 비오염구역은 오염 제거 절차가 완료된 이후 출입이 허용되는 구역으로, 오염이 제거된 상태에서만 출입이 허용되는 공간이다. 이 구역에서는 일반적인 교육 활동이나 행정 업무가 이루어지며, 오염 물질이 유입되지 않도록 관리하는 것이 중요하다. 이러한 공간 기반 관리 체계를 해부실습 환경에 적용할 경우, 오염 제거 절차를 단계적으로 수행할 수 있으며, 잔류 오염이 외부 환경으로 확산되는 것을 효과적으로 방지할 수 있다.

특히 비오염구역으로의 이동은 단순한 공간 이동이 아니라 오염 제거 절차가 완료된 이후에 이루어져야 하는 단계로 이해되어야 한다. 이상적으로는 전신 샤워(showering)와 환복(change of clothing)이 모두 수행된 상태에서 비오염구역으로 이동하는 것이 바람직하며, 이는 피부와 의복에 잔류한 화학물질이 외부 환경으로 확산되는 것을 방지하기 위한 핵심적인 관리 원칙이다.

그러나 일부 교육기관에서는 해부실습실 인근에 샤워시설이 구비되지 않은 경우도 존재한다. 이러한 환경에서는 전신 샤워가 즉시 이루어지기 어려울 수 있으므로, 최소한 실습 종료 직후 환복을 실시하는 것이 필요하다. 환복은 의복에 부착된 화학물질을 제거하고 외부 환경으로의 오염 확산을 줄이는 가장 기본적인 조치로, 실습복을 그대로 착용한 상태로 비오염구역이나 외부 공간으로 이동하는 것은 가능한 한 피해야 한다. 또한 눈과 호흡기계의 점막 손상을 최소화하기 위해 실습 종료 직후 생리식염수를 이용한 안구 세척(ocular irrigation using sterile saline)과 구강 및 인후 세척(oral and pharyngeal rinsing)을 통해 점막에 부착된 화학물질을 제거하는 것이 권장된다[27,28]. 이러한 조치는 비교적 간단하지만 반복적인 저농도 노출 환경에서 점막 자극을 줄이고 장기적인 건강 영향을 예방하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 특히 귀가 후에는 샤워 시설이 구비된 장소에서 반드시 전신을 세척하여 피부와 모발에 잔류한 화학물질을 제거하는 것이 필요하며, 이는 개인 건강 보호뿐 아니라 가족이나 주변인에 대한 2차 노출을 예방하는 데 중요한 예방적 조치로 간주될 수 있다.

해외 의과대학 및 해부교육 기관에서는 포름알데히드 노출 저감을 위한 다양한 관리 전략이 적용되고 있다[36]. 대표적으로 국소배기장치(local exhaust ventilation)가 내장된 해부대 사용, 실시간 공기질 모니터링, 저포름알데히드 또는 포름알데히드 대체 고정기법의 도입, 개인보호구 착용 지침 표준화 등이 시행되고 있다[32]. 또한 일부 기관에서는 해부실습실 출입 동선과 환복 공간을 분리하여 실습 종료 후 잔류 오염의 외부 확산을 최소화하기 위한 공

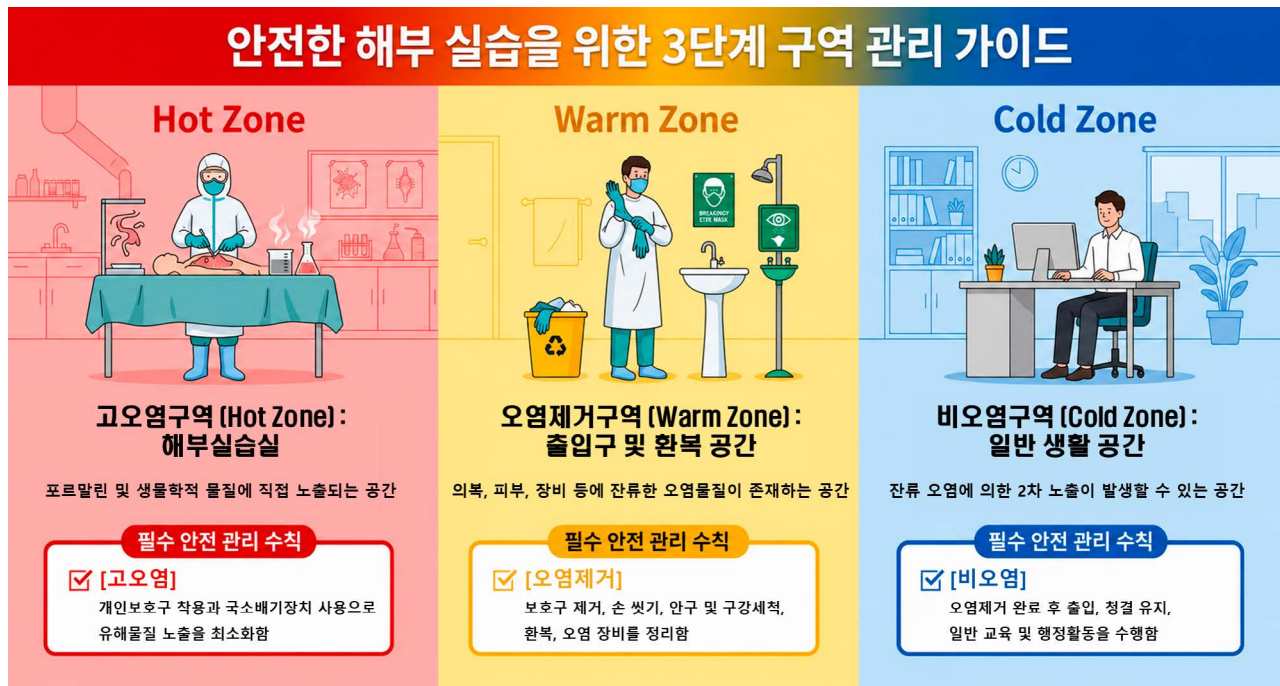


Fig. 1. Three-zone management system for the anatomy laboratory.

간 기반 관리체계를 운영하고 있다[23]. 이러한 해외 사례는 국내 해부실습실의 안전관리 체계를 고도화하는 데 참고할 수 있는 유용한 모델이 될 수 있으며, 향후 국내 환경에 적합한 표준지침 개발을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

체질인류학 및 의학교육 관점에서의 의미

체질인류학은 인간의 생물학적 특성과 환경 간 상호작용을 연구하는 학문 분야로, 인간이 특정 환경에 노출될 때 나타나는 생리적 반응과 건강 영향을 이해하는 데 중요한 역할을 한다. 이러한 관점에서 해부실습 환경은 단순한 교육 공간이 아니라, 특정한 화학적 및 생물학적 노출이 이루어지는 특수한 환경으로 이해될 수 있다. 특히 의학교육 과정에서 반복적으로 이루어지는 해부실습은 학생과 교원이 장기간 동일한 환경에 노출되는 특성을 가지며, 이러한 반복 노출은 개인의 건강 상태뿐 아니라 교육 환경의 안전성과도 밀접하게 관련되어 있다[29,38].

또한 체질인류학적 관점에서는 개인 간 생리적 반응의 차이를 고려하는 것이 중요하다. 예를 들어, 동일한 농도의 화학물질에 노출되더라도 개인의 체질, 건강 상태, 면역 반

응 등에 따라 증상의 정도가 다르게 나타날 수 있으며, 이는 안전관리 기준을 설정할 때 고려해야 할 중요한 요소가 된다. 따라서 해부실습 환경에서의 안전관리는 단순한 작업 환경 관리 차원을 넘어, 인간의 생리적 특성과 환경 간 상호작용을 고려한 종합적인 접근이 필요하다.

본 연구에서는 해부실습 환경에서 사용되는 저농도 포르말린 기반 보존액이 급성 독성 측면에서는 상대적으로 낮은 위험도를 가지더라도, 반복적인 노출과 잔류 오염 관리 미흡 시 장기적인 건강 위험으로 이어질 수 있음을 제시하였다[3,16,37]. 특히 해부실습 환경은 다음과 같은 특성을 가진다. 1) 밀폐된 실내 환경, 2) 반복적인 노출, 3) 다양한 노출 경로 존재, 4) 잔류 오염 가능성이다. 이러한 특성은 단순한 단회성 노출보다 누적 노출의 중요성을 강조하는 요인이 된다.

현재 대부분의 해부실습실에서는 개인 보호구 착용과 환기 관리에 중점을 둔 안전관리 체계를 운영하고 있으나, 실습 종료 이후 잔류 오염 관리에 대한 체계적인 절차는 상대적으로 부족한 경우가 많다. 따라서 향후 해부실습 환경에서의 안전관리 전략은 다음과 같은 방향으로 발전할 필요가 있다. 1) 잔류 오염 관리 절차 표준화, 2) 공간 기반 오염 통제 시스템 도입, 3) 해부 실습 내 포르말린 농도 모니터링 체계 구축이다.

결론

또한 본 연구는 개념적 관리 모델을 제안하는 서술적 리뷰 형식의 연구로서, 실제 해부실습 환경에서의 화학물질 농도 측정이나 노출 수준 평가를 수행하지 않았다는 한계를 가진다. 향후 환경 모니터링과 개입 효과 평가를 포함한 실증적 연구를 통해 본 모델의 적용 가능성과 효과를 검증할 필요가 있다. 해부실습 환경에서 사용되는 저농도 포르말린 기반 보존액은 단일 노출 수준에서는 비교적 낮은 위험도를 가지지만, 반복적인 노출과 잔류 오염이 결합될 경우 장기적인 건강 영향으로 이어질 가능성이 존재한다[3]. 특히 실습 종료 이후 의복 및 피부에 잔류한 화학물질이 외부 환경으로 이동할 경우, 개인뿐 아니라 타인에게도 간접적인 노출을 유발할 수 있으며, 이는 교육 환경의 안전성과 직접적으로 관련되는 중요한 문제로 간주된다. 따라서 해부실습 환경에서의 안전관리는 단순한 개인 보호구 사용을 넘어, 잔류 오염 관리와 공간 기반 통제 시스템을 포함하는 종합적인 접근이 필요하다. 특히 3단계 대응 존(고오염구역, 오염제거구역, 비오염구역) 기반 관리 체계는 해부실습 환경에서 적용 가능한 실질적인 안전관리 전략으로, 교육 환경의 안전성을 향상시키고 장기적인 건강 보호에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Ghosh SK. Cadaveric dissection as an educational tool for anatomical sciences in the 21st century. *Anat Sci Educ*. 2017;10:286-99.
- Aziz MA, McKenzie JC, Wilson JS, Cowie RJ, Ayeni SA, Dunn BK. The human cadaver in the age of biomedical informatics. *Anat Rec*. 2002;269:20-32.
- Raja DS, Sultana B. Potential health hazards for students exposed to formaldehyde in the gross anatomy laboratory. *J Environ Health*. 2012;74:36-40.
- Licina D, Morrison GC, Bekö G, Weschler CJ, Nazaroff WW. Clothing-mediated exposures to chemicals and particles. *Environ Sci Technol*. 2019;53:5559-75.
- Protano C, Buomprisco G, Cammalleri V, Pocino R. The carcinogenic effects of formaldehyde occupational exposure: a systematic review. *Cancers (Basel)*. 2021;14:165.
- Paustenbach D, Alarie Y, Kulle T, Schachter N, Smith R, et al. A recommended occupational exposure limit for formaldehyde based on irritation. *J Toxicol Environ Health*. 1997;50:217-63.
- Rovira J, Roig N, Nadal M, Schuhmacher M, Domingo JL. Human health risks of formaldehyde indoor levels: an issue of concern. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*. 2016;51:357-63.
- Lentz TJ, Dotson G, Williams PRD, Maier A, Gadagbui B, Pandalai SP, et al. Aggregate exposure and cumulative risk assessment—integrating occupational and non-occupational risk factors. *J Occup Environ Hyg*. 2015;12:S112-26.
- Anua SM, Semple S, Shakri SFM, Safuan S, Mazlan N, Asri AAM. A review of the take-home exposure pathway of workplace hazards. *Int J Med Toxicol Leg Med*. 2019;22:13-8.
- Kalweit A, Herrick RF, Flynn MA, Spengler JD, Berko JK, Levy JJ, et al. Eliminating take-home exposures: recognizing the role of occupational health and safety in broader community health. *Ann Work Expo Health*. 2020;64:236-49.
- Owolabi JO, Tijani AA, Ihunwo AO. A need to protect the health and rights of anatomists working in dissection laboratories. *Risk Manag Healthc Policy*. 2022;15:889-93.
- Gallant BJ. Hazardous Waste Operations and Emergency Response Manual. Hoboken: Wiley; 2006.
- Kenar L. Prehospital management and medical intervention after a chemical attack. *Emerg Med J*. 2004;21:84-8.
- Arango LT, Garzón-Alzate A. Preservation of animal cadavers with a formaldehyde-free solution for gross anatomy. *J Morphol Sci*. 2018;35:136-41.
- Mirabelli MC, Holt SM, Cope JM. Anatomy laboratory instruction and occupational exposure to formaldehyde. *Occup Environ Med*. 2011;68:375-8.
- Adamovic D, Čepić Z, Adamović S, Stošić M, Obrovski B, Morača S, et al. Occupational exposure to formaldehyde and cancer risk assessment in an anatomy laboratory. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:11198.
- Nazaroff WW, Weschler CJ. Methanol and ethanol in indoor environments. *Indoor Environ*. 2024;1:100049.
- Kim MD, Chung S, Dennis JS, Yoshida M, Aguiar C, Allier SP, et al. Vegetable glycerin e-cigarette aerosols cause airway inflammation and ion channel dysfunction. *Front Pharmacol*. 2022;13:1012723.
- Mathangasinghe Y, Samaranyake U. An audit on medical students' exposures to occupational hazards during cadaveric dissections. *Sri Lanka Anat J*. 2019;3:50-5.
- Schwoppe AD, Costas PP, Mond CR, Nolen RL, Conoley M, Garcia DB, et al. Gloves for protection from aqueous formaldehyde: permeation resistance and human factors analysis. *Appl Ind Hyg*. 1988;3:176-81.
- Wantke F, Focke M, Hemmer W, Bracun R, Wolf-Abdolvahab S, Götz M, et al. Exposure to formaldehyde and phenol during an anatomy dissecting course: sensitizing potency of formaldehyde in medical students. *Allergy*. 2000;55:84-7.

22. Akbar-Khanzadeh F, Pulido E. Using respirators and goggles to control exposure to air pollutants in an anatomy laboratory. *Am J Ind Med*. 2003;43:326-31.
23. Tanaka K, Nishiyama K, Yaginuma H, Sasaki A, Maeda T, Kaneko S, et al. Formaldehyde exposure levels and exposure control measures during an anatomy dissecting course. *Sangyo Eiseigaku Zasshi*. 2003;45:247-56.
24. Kurose T, Kodera H, Aoyama H, Kawamata S. Formaldehyde concentration in the air and in cadavers at the gross anatomy laboratory in Hiroshima University. *Kaibogaku Zasshi*. 2004;79:145-8.
25. Sexton K, Hattis D. Assessing cumulative health risks from exposure to environmental mixtures-three fundamental questions. *Environ Health Perspect*. 2007;115:825-32.
26. Phelps S. There is no cold zone: the hazardous materials zone model and mass terrorism chemical weapon events. *J Emerg Manag*. 2006;4:43-9.
27. Monson S, Tufte MJ, Forshee JL. Tips to minimize the likelihood of fainting in a cadaveric dissection lab. *Am Biol Teach*. 2020;82:421-4.
28. Bhat D, Chittoor H, Murugesh P, Basavanna PN, Doddaiiah SK. Estimation of occupational formaldehyde exposure in cadaver dissection laboratory and its implications. *Anat Cell Biol*. 2019;52:419-25.
29. Yoo HY, Song CH, Han UH, Kim HT. The Effect of Education Program of Cadaver Dissection for the Paramedical Students. *Anat Biol Anthropol*. 2014;27:1-8.
30. Noël GPJC, Verheggen R, Oomen A, Stassen LPS. Flammability and combustion hazard of preserved human cadavers. *Clin Anat*. 2020;33:876-9.
31. Heo YR, Lee JH. The need for the standards for anatomy labs in medical school evaluation and accreditation. *Anat Biol Anthropol*. 2023;36:81-6.
32. van der Heyden KA, Gibbon VE, Mpolokeng KS. A South African case study on anatomical embalming for human body donation programmes with toxicological considerations. *Ann Anat*. 2024;255:152296.
33. Waschke J, Bergmann M, Braeuer L, Brenner E, Buchhorn A, Deutsch A, et al. Recommendations of the working group of the Anatomische Gesellschaft on reduction of formaldehyde exposure in anatomical curricula and institutes. *Ann Anat*. 2019;221:179-85.
34. Park KR, Park JH, Bae AN, Lee JH. Current Status of Fixation Methods and Management of Cadavers in Medical Colleges/Medical Graduate Schools. *Anat Biol Anthropol*. 2022;35:41-5.
35. Aung WY, Sakamoto H, Sato A, Yi EEPN, Thein ZL, Nwe MS, et al. Indoor formaldehyde concentration, personal formaldehyde exposure and clinical symptoms during anatomy dissection sessions, University of Medicine 1, Yangon. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:712.
36. Abraham J, Souza AD, Bhat AK, Pandey AK, Pillay M, Prasanna LC. A survey on practices of embalming techniques and usage of soft embalming methods in Indian medical institutes. *Med J Armed Forces India*. 2025;81:170-6.
37. Soonklang N, Srisukhumbowornchai N, Ounjai P, Thongkorn S, Chaisiwamongkol K, Pumirat P, et al. Evaluation of formaldehyde exposure among gross dissection after modified embalming solution and health assessment. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022;29:69758-69769.
38. Crosado B, O'Carroll AM, O'Donoghue D, Santer RM. Phenoxylethanol-based embalming for anatomy teaching: An 18 years' experience with Crosado embalming at the University of Otago in New Zealand. *Anat Sci Educ*. 2020;13:347-57.

간추림 : 해부학 실습은 의학교육에서 필수적인 과정으로, 카데바 고정을 위해 포르말린, 에탄올, 글리세린 등이 사용된다. 특히 포르말린의 주요 성분인 포름알데하이드는 국제암연구소(IARC)에서 Group 1 발암물질로 분류된 유해화학물질로, 반복 노출 시 건강 위해 가능성이 제기되고 있다. 본 연구는 해부실습 환경에서의 저농도 포르말린 기반 보존액 노출과 잔류 오염 가능성을 검토하고, 이를 줄이기 위한 공간 기반 안전관리 전략으로서 3단계 대응 존(고오염구역[Hot Zone], 오염제거구역[Warm Zone], 비오염구역[Cold Zone]) 시스템의 적용 가능성을 고찰하였다. 관련 문헌과 산업안전 관리 체계를 바탕으로 주요 노출 경로와 잠재적 위험 요인을 분석한 결과, 반복 노출과 잔류 오염은 누적 노출 및 2차 노출로 이어질 가능성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 해부실습실 안전관리는 개인 보호구뿐 아니라 오염 제거 절차와 공간 기반 통제 시스템을 포함하는 통합적 접근이 필요하다.

찾아보기 낱말 : 해부실습, 잔류 오염, 포르말린 노출, 2차 노출, 안전관리