

Review

우리나라 병원 의료종사자의 포름알데히드 노출 평가

Won Kim¹, Jihoon Park², Sungkyoon Kim², Chungsik Yoon^{2*}¹ Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health² Institute of Health and Environment, Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University

Abstract

Objectives: The aims of this study were to compare the exposure between formalin handling department and non-handling department, between direct handlers and indirect handlers, among several high exposure tasks, and to find influential factors to the high exposure.

Methods: Formaldehyde was measured in the histopathology, endoscopy room and outpatient department of four university hospitals in Korea. Mainly personal air sampling was taken and additional local samples were taken if necessary. For the determination of formaldehyde, the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) No 2016 method was used. To determine the 8-hour time weighted average, the daily working time was measured and short-term exposure was also evaluated to see some tasks that were expected to be exposed at high concentrations. Multiple regression analysis was performed to find the variables that influence formaldehyde concentration.

Results: In addition to formaldehyde handling department, exposure to formaldehyde has also occurred at offices and nursing room desks. Within the department that handles formaldehyde, direct handlers have higher exposure levels than indirectly exposed workers. Short term formaldehyde exposure during formalin handling tasks in hospitals was much higher than whole shift exposure. Representative work of high exposure was tissue fixation work in tissue pathology, before and after heating work of fixed tissue, organizing of tissue storage room and outpatient dispensing work.

Conclusion: High levels of formaldehyde exposure have been identified in several tasks performed at hospital facilities. In order to reduce formaldehyde exposure, it is important to keep the formalin solution sealed, seal the tissue storage room and install the local ventilation system.

Keywords: Carcinogen, Formalin, Formaldehyde, Hospital, Histopathology

서론

포름알데히드는 국제암연구소 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 에서 백혈병을 유발하는 충분한 근거가 있다고 규정된 물질인 Group 1 (2012년, 100F) 이다 [1]. 포름알데히드에 노출되는 직업군은 방부처리업무, 장례식 종사자, 병리학자, 해부학자, 의류 제조업자 등이 있다. 일반 시민들도 실내의 가구, 카펫, 의류 등에서 발생하는 포름알데히드에 노출될 수 있다.

병원에서 의료종사자도 포름알데히드에 노출될 수 있는데 대표적인 직군은 조직병리실과 내시경실, 그리고 암 병동의 항암제조실 등에 근무하는 작업자들이다. 이들은 포름알데히드가 수용액 상태로 있는 포르말린(통상 37% 내외가 가장 많이 사용됨)을 사용하면서 노출된다.

포름알데히드는 일부 병원에서 소독제로 사용되기도 하는데 카트리지 형태로 소독기에 장착하여 사용된다. 이외에 다른 건물들처럼 병원의 여러 가지 건축자재나 카펫 등에서 포름알데히드가 발생할 수 있고, 앞에 언급한 포르말린 사용장소에서 발생한 포름알데히드가 공조시스템

을 통하여 다른 곳으로 이동할 수도 있다.

조직병리실에서는 생체조직을 고정하는 용도로 포르말린을 사용한다. 즉, 조직표본을 만드는 일련의 과정 중 수술실이나 조직검사실에서 포르말린에 담겨 오거나 하룻동안 포르말린에 담가 고정시킨 조직들을 육안으로 대강의 검사를 통해 병소 부위를 절단하고, 남은 조직은 다시 포르말린에 담가 보관하는 과정이 이루어지고, 남은 조직을 약 2개월간 보관하는 보관장이 있어, 이곳에서 작업하는 의사들과 병리사들이 하루 중 일정시간씩 포름알데히드에 노출되고 있다 [2].

내시경실과 외래 분주실의 경우, 조직검사실 다음으로 포름알데히드에 노출될 가능성이 높은 작업장이다. 특히, 이곳에서는 검체 용기에 포름알데히드를 담은 작업 (이하 분주작업)과 같은 고농도의 순간적인 노출이 예상되는 작업이 포함된다[3].

포름알데히드에 노출되면 눈, 코, 기관지의 심한 자극뿐 아니라 천식, 만성기관지염의 증가, 비강암, 부비강암과 백혈병 등의 발생률이 증가한다 [4,5]. 포름알데히드에 대한 노출과 백혈병과의 연구는 전반적인 산업에서 포름알데히드 노출과 골수성백혈병을 비롯한 조혈기계 사망과의 상관성을 보인 연구 [6], 방부처리업체의 포름알데히드 노출에 따른 골수성백혈병의 유의한 증가 [7], 의류제조 공장 근로자의 골수성 백혈병 증가 [8, 9]가 보고되었다. 국제암연구소에서 검토한 역학연구들에 따르면 조직학 실험실의 경우 1980-2000년대 초반 연구에서 평균 농도가 0.3-2.2 ppm, 장의사의 경우 1970-1990년대 연구에서 평균 농도가 0.2-4.2 ppm, 해부학 실험실의 경우 1980-2000년대 초반 연구에서 평균 농도가 0.2-3.0 ppm 수준이었다.

포름알데히드에 대한 직업노출기준은 미국정부 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)의 TLV는 0.3 ppm, 발암성 추정물질(A2)로 지정하고 있다 [10]. 우리나라의 노출기준은 8시간 시간가중평균치 (Time Weighted Average, TWA)로 0.3 ppm, 발암성 1A (사람에게 충분한 발암성 증거가 있는 물질), 생식세포변이원성 2 (생식세포에 유전성 돌연변이를 일으킬 가능성이 있는 물질)로 지정하고 있다. 우리나라 포름알데히드 노출기준은 몇 번 수정되었는데 2008년에 TWA 0.5 ppm, 단시간 노출 기준 (Short-term exposure limit,

STEL) 1.0 ppm로 개정되었다. 이전에는 TWA 1 ppm, STEL 2 ppm, Ceiling (천장치) 2 ppm으로 규제하였다. 2016년에 TWA 0.3 ppm으로 낮춰지고 STEL은 제외되었다[11].

국내의 포름알데히드 노출에 대한 연구는 수건이 있는데 병원 조직검사실에서의 노출 연구 [2] 에서는 서울 9개 종합병원에서 8시간 TWA 개인 시료의 기하평균 (Geometric mean, GM)은 0.31 ppm (0.02-3.86 ppm), 장소 시료는 0.61 ppm (0.08-1.49 ppm)이었다. 장소시료를 구분해보면 조직고정 테이블, 보관장, 포르말린 용기 주변, 고정용기주변에서 장소 시료로 측정된 결과 각각 GM이 0.62 ppm (n=9), 0.37 ppm (n=8), 0.64 (n=8) ppm, 0.58 ppm (n=3)으로 평가되었다. 고정된 조직을 꺼내고 취급하는 의사와 병리사는 단시간 동안 노출되는 농도의GM이 1.88 ppm (0.59-5.01 ppm)으로 장소시료보다 높게 평가되었다. 이 논문에서는 공기 중 포름알데히드 노출에 영향을 유의한 영향을 미치는 요인으로 단변량 분석으로 보았을 때 고정용기와 포르말린 용기의 개폐여부, 위생상태, 검사실의 체적을 언급하였다.

한편 포름알데히드 농도 평가와 측정방법을 비교한 연구도 있다 [12]. 이 연구는 합판 제조 공정에서 포름알데히드 측정방법을 임편저법, 능동시료채취방법, 수동식 시료채취방법을 비교한 것인데 능동시료채취방법과 수동식 시료채취방법간 유의한 차이가 없다고 하였다.

수동식 시료채취기를 사용하여 병원 내시경실의 포름알데히드 노출연구에서 내시경 근무자의 포름알데히드 노출은 8시간 TWA로 GM 0.056 ppm (GSD 3.88)였고 단시간 노출은 기하평균 1.43 ppm (GSD 3.92)이었다[3]. 이 연구에서 포름알데히드 노출에 영향을 미치는 요인을 다변량 분석으로 분석하였는데 환기와 온도, 분주작업이 유의한 영향을 미쳤고, 방의 체적, 습도, 포르말린 용액의 농도, 포름알데히드 사용량은 영향이 없었다.

대학 병원 내에서 2011년-2013년(3년) 동안 수동식시료채취기로 측정한 결과를 발표했는데 2개 종합병원 공통된 8개 외래 진료과 62명의 외래간호사를 대상으로 포름알데히드 노출평가에서는 8시간 TWA의 GM은 0.023 ppm (0.001-0.258 ppm)이었고, 적절한 마스크 착용이 없었고, 국소배기시설은 사용하지 않고 있다고 보고하였다 [13]. 이외 해부실습실에서 건강영향을 보기

위해 포름알데히드를 측정할 것이 보고 되었는데 지역 시료 측정결과가 0.87-2.20 ppm [14], 호흡위저측정결과 0.72 ppm [15], 개인노출결과가 3.74±3.48 ppm [16] 등 다양하게 평가되었는데 이들은 모두 노출평가보다 노출군의 건강영향을 보는 것이 주목적이었다.

포름알데히드가 병원에서 다량 취급되는데 비해 그 연구가 제한되어 있고, 그나마 각각 조직검사실, 내시경실, 외래 간호사, 해부학실험실에 대한 연구를 별도로 시행하였고, 포름알데히드 노출의 영향요인을 다변량 분석한 것은 한편에 불과하다 [3].

본 연구는 국내 의료시설에서 포름알데히드 노출을 여러 부서에서 동시에 평가하고, 하루 8시간 노출과 단시간 노출을 동시에 고찰하여 단위 작업 별 노출을 평가하였다. 또한 포름알데히드에 영향을 주는 변수를 찾아내기 위하여 포르말린 용액이 많이 사용되는 종합병원을 대상으로 노출을 평가하였다.

방법

우리나라에 병원 중 규모가 큰 4개의 대학병원을 선정하여 주로 조직병리과와 내시경실, 외래과에서 분주작업을 하는 곳에서 포름알데히드를 평가하였으며, 조사과정에서 일부 소독실에서 포름알데히드 카트리지를 이용하는 것을 확인하여 이곳도 포함하였다. 소독실을 제외하고는 포름알데히드는 포르말린 용액형태로 사용된다. 하루 근무시간 전체의 노출 평가는 작업시간 중 7시간 이상을 측정하여 TWA를 산출하였다. 단기간 노출이 가능한 작업은 별도로 단시간 노출을 평가하였다. 예를 들어 내시경실의 분주작업은 대표적인 단시간 고농도 노출이 예상되는 작업이다. 조직병리과와 내시경실에도 직접 포르말린 용액을 취급하는 직접 노출자와 같은 부서에 있지만 주로 다른 업무를 하는 간접노출자를 모두 포함하여 측정하였으며 결과에서 이 두 집단의 차이도 비교하였다. 이런 간접노출자 이외에 별도의 대조군을 설정하였다. 대조군은 포르말린 사용부서가 아닌 동일병원의 외래 간호인력과 사무인력을 선정하여 포름알데히드 농도를 평가하였는데 이는 공조시스템 등을 통하여 간접 노출 또는 병원 건물의 건축자재 등에서 나오는 포름알데히드에 노출이 되는

지를 보기 위함이다.

또한 포르말린 용액이나 포르말린으로 처리된 조직을 보관하는 시설이 노출을 방지하기 위하여 후드 안에 있거나 밀폐시설을 사용하는 경우와 그렇지 않은 경우도 구분하여 노출 농도를 평가하였다. 이 경우에는 해당 시설의 발생지점에서 가까운 곳에서 지역시료를 채취하였다.

조직병리과에서 포르말린이 처리된 생체조직을 일정기간 보관하게 되는데 이 보관방식은 밀폐식, 일반 선반식, 별도공간에 보관하는 방식의 세 가지 형태의 조직 보관 방식이 있었다. 이런 방식에 따른 포름알데히드의 직접 노출자의 노출량 차이를 평가하였다. 이 경우 노출농도는 정규분포하 대수정규분포를 따르지 않고, 분산도 동일하지 않아 비모수 통계인 Kruskal-Wallis 검정을 통해 노출 수준의 차이를 확인하였다.

포름알데히드의 작업을 직무단위로 구분하여 단시간 단위작업동안 노출농도를 비교하였다. 작업시간은 대개 수분에서 수 십 분이었는데 분석을 고려하여 최소 15분-수 십분을 측정하였다. 이런 작업은 조직병리과의 Gross테이블 위에서의 염색 작업, 조직에 포르말린용액을 잘 침투시키기 위한 가열 작업, 조직 보관장 정리 작업, 그리고 외래의 분주 작업 등이 포함되어 총 6개의 단위작업에서 21건의 시료를 채취하여 평가하였다

포름알데히드의 측정은 NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)의 측정 및 분석방법 No. 2016 방법을 이용하여 2,4-Dinitrophenylhydrazine (DNPH)가 코팅된 실리카겔 관 (Sep-Pak DNPH cartridge, WAT037500, Waters Inc., USA)을 이용하여 약 0.5 L/분의 유량으로 하루 작업시간동안 공기를 채취하였으며 단시간 평가는 약 15-20 분간 실시하였다. 시료채취펌프 (LFS-113, Gilian Inc., USA)는 시료채취 전후로 유량을 보정하였다 [17, 18].

대조군의 평가는 많은 환자 및 방문객 등으로 불편을 최소화 하기 위하여 수동식 시료채취기 (UMEX 100, SKC Inc., USA)를 사용하였으며, 수동식 시료채취기 또한 재현성과 정확성이 보증되고 있다 [3, 12].

채취된 시료는 냉장운반하여 냉동보관 후 분석을 위해 아세트나이트릴 10 ml를 첨가하여 추출하였다. 이 용액을 분석용 바이알에 옮겨 담아서 분석용 시료로 이용하였다. 표준용액은

formaldehyde-DNPH 100 ppm Stock solution를 아세트니트릴로 희석하여 1-20 µg/ml 범위로 표준용액을 제조하였다.

분석은 HPLC-UVD (High Performance Liquid Chromatograph/Ultraviolet Detector)를 사용하였으며 360 nm 에서 흡광도를 측정하였다. 컬럼은 Symmetry C18 (5 µm, 3.9 mm × 150 mm)을 사용하였으며, 컬럼 용매는 아세트니트릴을 1.2 ml/min 로 흘려주었으며 추출용액 주입량은 15 µl 로 하였다.

표준액의 작성은 수동식 시료채취기인 경우 용액중 농도가 낮은 것을 예측하여 0-2.9 mg/ml 범위에서 5 개의 표준용액을, 능동식 카트리지인 경우 0-5.7 mg/ml 범위에서 표준용액을 준비하여 검량선을 작성하였으며 모두 양호한 직선성을 나타냈다 ($r > 0.99$).

검출한계는 표준용액 가장 낮은 농도를 7번 반복 분석하여 표준편차의 3배 한 값을 기기의 검출한계로 정하였다. $3 \times SD$ 값에 탈착용매, 공기 부피 등을 보정하여 구하였는데, 코팅된 실리카 겔관을 사용하여 8시간 TWA를 평가한 경우 0.00005 ppm, 단시간을 평가한 경우 0.003 ppm이었고, 수동식 시료채취기의 검출한계는 0.004 ppm이었다. 검출한계 미만으로 측정된 값은 검출한계값의 1/2로 하였다.

정확도를 평가하기 위하여 표준용액 수준에서 5 개 시료를 제조하여 분석기간동안 2 회 평가하였는데 각각 $101.3 \pm 1.2\%$, $101.8 \pm 2.1\%$ 였다.

측정하는 동안 포르말린 용액 중 포름알데히드의 함유 비율, 1일 평균사용량, 국소배기장치의 설비 및 운전 상태, 별도 작업공간의 유무 및 작업 절차, 해당 약품 및 시료의 보관 과 사용 상황, 개인적 요인, 그리고 폐기물의 보관 및 처리에 이르는 다양한 변수들이 각 물질의 노출량에 기여할 것으로 예측 하여 조사하였다. 흡후드의 제어풍속은 열선풍속계를 이용하여 사용하는 상태에서의 개구면을 적절한 면적으로 나누어 각 지점에서 측정하여 평균값으로 제시하였다. 16지점으로 나누는 것이 일반적이나 개구면적이 작을 때는 이보다 작게 나누어 평균하였다.

결과 및 고찰

포름알데히드 취급부서와 비 취급부서 작업자의 공기 중 포름알데히드 농도 비교

Table 1은 각 병원 별 포름알데히드 농도를 요약한 것으로 각 병원의 시료 형태와 시료수, 기하평균 (GM)과 기하표준편차 (GSD), 산술평균과 표준편차 및 중위수 (Median) 값을 표시하였다. TWA와 STEL을 포함하여 대조군은 총 104 시료 모두 TWA 시료 였고, 작업자는 총 134 시료로 TWA 시료가 112개, 단시간 측정 시료가 21개였다.

각 병원 별 수준을 비교하면 직접포름알데히드를 취급하는 조직병리과나 내시경실의 분주작업자의 경우 최소 불검출에서 최대 1.50 ppm의 농도로 평가되었으며 TWA의 경우 GM은 0.04 ppm이었다. STEL의 경우 GM이 0.22 ppm으로 TWA보다 상당히 높은 수준을 보였다. 반면 대조군의 경우 최소 불검출에서 최대 0.40 ppm의 농도분포를 보이고 있으며 GM은 0.03 ppm이었다. 이들 대조군은 포름알데히드를 사용하지 않음에도 포름알데히드가 측정된 이유는 포름알데히드가 각종 건축자재에서 방출될 수 있는 물질이기도 하지만 일부는 공조시스템을 통해 포름알데히드 비 사용 부서에도 공기 중으로 전파될 수 있음을 의미한다. 그러나 병원의 공조시스템이 매우 복잡하여 본 연구에서 조직병리과와 대조군의 공조가 같은 것인지는 확인하지 못하였다. 병원에서 대조군에 대한 개인노출을 측정할 자료는 보고 되지 않았으나 응급실, 외래진료소, 중앙매점에서 0.028-0.031 ppm으로 보고되기도 하여 본 연구와 유사한 결과가 보고 되기도 하였다 [19].

특이한 점은 일부 병원은 작업시간을 전체를 측정한 TWA인 경우 대조군 작업자와 큰 차이가 없는 경우도 있었다. 예를 들어 A병원은 대조군과 포름알데히드 취급작업자의 포름알데히드 평균 노출 농도 (GM)가 각각 0.020 ppm, 0.021 ppm으로 큰 차이가 없었으며 ($p > 0.05$), D 병원은 각각 0.066 ppm, 0.065 ppm으로 역시 차이가 없었다 ($p > 0.05$). 반면 이들 병원에서도 고농도 노출이 예상되는 시간에만 측정한 단시간 측정자료는 A병원에서는 0.066 ppm으로 TWA에 비해 3배 정도 높았으며, D 병원은 0.75 ppm으로 TWA인 0.065ppm에 비해 10배정도 고농도를 보였다. 전체적으로 포름알데히드 취급자의 단시간 노출수준 (GM 0.22 ppm)은 대조군의 작업시간 전체

(GM 0.03 ppm)나 포름알데히드 취급자의 전체 작업시간 측정치 (GM 0.22 ppm)보다 유의하게 높았다 ($p<0.05$). 전체 데이터를 대상으로 노출 군과 대조군은 유의한 노출차이를 보였다 ($p<0.004$).

포름알데히드 취급부서에서 직접 취급자와 간접 노출자의 공기 중 포름알데히드 농도 비교

병원에서 포름알데히드를 취급하는 직접취급자와 직접 취급하지 않는 간접 노출자의 TWA 값을 비교하였다 (Fig. 1). 예를 들어 조직병리과의 경우 조직을 고정하는 작업에 종사하는 작업자들은 주로 포름알데히드에 직접 노출되고 세포 등을 고정 혹은 염색하는 작업자들은 툴루엔이나 크실렌 등의 다른 유기용제에 노출되는 특성이 있다. 내시경실에서도 포름알데히드를 직접 취급하는 작업자와 그렇지 않은 작업자가 있다. A병원 같은 경우는 육안조직실에서도 직접 취급자와 간접노출자가 있다. 따라서 조직 고정을 주요 작업으로 하는 작업자들을 직접 노출자 (direct), 그들의 주변에서 세포 고정이나 염색과 같이 조직 고정 이외의 작업을 주로 수행하는 작업자를 간접 노출자 (indirect)로 구분하여 포름알데히드 노출량을 비교 평가하였다. 직접 노

출자 (n=66) TWA값의 GM은 0.056 ppm (GSD, 3.6)이며 노출기준 0.3 ppm을 초과하는 비율은 12.1%였다. 간접 노출자 (n=44)는 TWA값 GM은 0.025 ppm (GSD, 2.8)이며 노출기준 0.3 ppm을 초과하는 작업자는 없었다. 직접취급자 분석 결과 역할에 따른 두 그룹 간에 노출 수준의 차이가 확인되었다($p<0.001$).

포름알데히드 취급방법에 따른 공기 중 포름알데히드 농도 비교

포름알데히드가 함유된 포르말린 용액을 후드 안에 밀폐 용기에 보관하는 병원과 그렇지 않고, 환기시설이 없는 곳에서 일반 용기에 포르말린을 보관하는 병원은 포름알데히드의 공기중 노출 농도의 차이가 Table 2 와 같이 유의한 차이가 났다 ($p=0.002$). 즉, 밀폐 설비(주로 후드안의 바닥에 포르말린 보관 박스위치)에서는 지역시료 농도가 0.037 ppm (GSD, 2.51)이었고, 밀폐 설비가 아닌 곳에서는 0.111 ppm (GSD, 4.52)으로 약 3 배의 차이를 보였다.

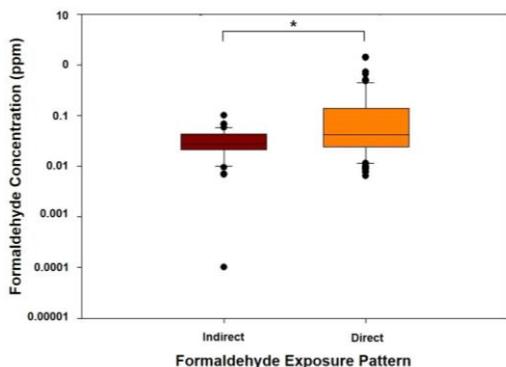


Figure 1. Comparison of formaldehyde exposure between direct formalin handlers and indirect exposure workers (* $p<0.001$)

Table 1. Airborne formaldehyde concentration in each hospital (ppm)

Hospital	Case or Control	Types of sample	N	GM(GSD)	Mean±SD	Median
A	Control	TWA-P	27	0.020(1.99)	0.025±0.02	0.020
		STEL-P	9	0.066(4.60)	0.203±0.41	0.059
	Case	TWA-P	50	0.021(2.62)	0.026±0.02	0.024
		STEL-P	9	0.066(4.60)	0.203±0.41	0.059
	subtotal	TWA-P	77	0.020(2.39)	0.025±0.02	0.022
		STEL-P	9	0.066(4.60)	0.203±0.40	0.059
B	Control	TWA-P	27	0.019(1.73)	0.022±0.01	0.022
		STEL-P	6	0.370(2.03)	0.449±0.29	0.392
	Case	TWA-P	22	0.042(2.48)	0.061±0.05	0.036
		STEL-P	6	0.370(2.03)	0.449±0.29	0.392
	subtotal	TWA-P	49	0.027(2.27)	0.040±0.04	0.024
		STEL-P	6	0.370(2.03)	0.449±0.29	0.392
C	Control	TWA-P	26	0.019(4.07)	0.027±0.01	0.027
		STEL-P	1	0.938	0.938	0.938
	Case	TWA-P	17	0.162(4.18)	0.377±0.45	0.068
		STEL-P	1	0.938	0.938	0.938
	subtotal	TWA-P	43	0.045(5.77)	0.166±0.33	0.035
		STEL-P	1	0.938	0.94	0.938
D	Control	TWA-P	24	0.066(1.94)	0.091±0.10	0.052
		STEL-P	5	0.747(1.51)	0.807±0.40	0.704
	Case	TWA-P	23	0.065(2.10)	0.085±0.07	0.047
		STEL-P	5	0.747(1.51)	0.807±0.40	0.704
	subtotal	TWA-P	47	0.066(2.00)	0.088±0.09	0.052
		STEL-P	5	0.747(1.51)	0.807±0.40	0.704
Total	Control	TWA-P	104	0.026(2.77)	0.040±0.06	0.026
		STEL-P	21	0.218(4.57)	0.452±0.44	0.284
	Case	TWA-P	112	0.040(3.47)	0.098±0.21	0.034
		STEL-P	21	0.218(4.57)	0.452±0.44	0.284
	Total	TWA-P	216	0.032(3.19)	0.070±0.16	0.030
		STEL-P	21	0.218(4.57)	0.452±0.44	0.284

TWA-P: Time Weighed Average for personal sample
 STEL-P: Short Term Exposure Level for personal sample
 GM: Geometric Mean, GSD: Geometric Standard Deviation
 Korean Occupational Exposure Limit : TWA 0.3 ppm, No STEL value,

Table 2. Comparison of airborne formaldehyde concentration by the formalin storage method

Storage method of Formalin	N	GM(GSD)	Mean±SD	Median
Closed type in Hood	41	0.037(2.51)	0.057±0.06	0.031
General storage (No hood)	25	0.111(4.52)	0.287±0.40	0.115
Total	66	0.056(3.61)	0.144±0.27	0.041

흡후드 성능에 따른 포름알데히드 노출량의 차이

조직병리실의 흡후드는 포르말린 작업이 직접 이루어지는 공간이므로 국소배기 장치의 성능을 최적으로 유지하는 것이 중요하다. 본 연구의 대상이 되었던 네 곳의 병원에서 포르말린 취급이 이루어지는 흡후드의 성능을 평가한 결과는 Table 3 과 같다. 흡후드가 모두 제어 풍속 기준 0.4m/s 을 만족하는 A/C 와 그렇지 못한 B/D 등 두 그룹으로 나누어 흡후드의 성능 차이에 따른 직접 취급 작업자들의 포름알데히드 노출농도를 비교한 결과 두 그룹간에는 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았다($p=0.35$). A, C 병원 작업자 TWA 의 GM 은 0.05 ppm (GSD, 4.40)으로 B, D 의 작업자의 노출농도는 0.067 ppm (GSD 2.59) 였다 (Table 4). 이는 아마도 두 병원의 작업량의 차이와 더불어 작업자가 해당 작업이외의 다른 곳노출이 혼합된 결과 등 흡후드의 성능 이외의 다른 변수가 포름알데히드 노출 농도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 예를 들어 후드가 4 개씩 있는 B, D 병원의 월 조직 보관량은 많았고 (각각 약 2,300 L/월, 3,500 L/월), A 및 C 병원은 적었다 (각각 130 L/월, 200 L/월). 본 연구 결과는 흡후드의 성능에 의한 포름알데히드의 농도가 유의한 차이가 나지 않았지만 흡후드의 적절한 성능 유지 및 관리의 포름알데히드 노출 관리에 있어 매우 중요한 요인이 간과되어서는 안된다.

조직보관장 설비 차이에 의한 포름알데히드 노출농도 비교

병리과에서 처리된 조직들은 병원 규정에 따라 한 달 혹은 두 달 동안은 보관해 두어야한다. 따라서 실험실의 시약장과 마찬가지로 각 병원

의 병리과에는 조직을 보관해두기 위한 조직 보관장이 필요하다. 조직보관장은 크게 국소배기 장치가 있는 밀폐형 보관장, 일반 보관장, 병리과와 별도의 공간에 보관(때로는 복도)하는 방식이 있었다(Fig. 2). 밀폐형으로 특별히 설계하여 갖추고 있는 사업장은 조직 보관장은 완전 밀폐를 하거나 또는 밀폐형에 더하여 국소배기 장치를 연결해서 포름알데히드가 외부로 방출되지 못하도록 보강하기도 한다. 일반 보관장은 서랍장 형식의 선반을 사용하거나 철제 앵글로 보관장을 만들어서 사용하고 있었다. 격리식은 노출농도를 줄이기 위하여 격리하기보다는 작업공간의 부족으로 인하여 다른 방이나 복도 같은 별도의 공간에 조직 보관장을 따로 설치하여 조직을 보관하는 방식이다. 이 세가지 형태의 조직 보관 상황을 반영하여 포르말린 직접 취급자들의 포름알데히드 노출농도간에는 그림 3과 같이 유의한 차이가 있었다 ($p<0.001$). 즉, 밀폐형 조직 보관장을 하고 있는 장소의 작업자 ($n=30$)의 TWA GM은 0.025 ppm, 일반 개방형 보관장이 있는 병원의 작업자 ($n=25$)와 별도공간에 보관하는 곳의 작업자 ($n=11$)의 노출농도는 모두 0.111 ppm이었고, 각각의 중위수 값은 0.025 ppm, 0.115 ppm, 0.134 ppm이었다. 특이한 점은 별도 공간에 조직을 보관하는 것이 노출을 줄이기 위한 것이 아니라 공간문제로 하여 복도나 또는 인근의 별도 공간에 개방형으로 포르말린에 고정된 조직을 보관하고 있어서 농도가 개방된 보관장을 사용하는 곳과 유사하게 노출되고 있었다는 점이다. 즉, 밀폐형 조직 보관장을 갖춘 병원이 그렇지 않은 병원에 비해 훨씬 낮은 농도의 포름알데히드에 노출되고 있었다.

Table 3. Capture velocity of fume hood used for tissue fixation with formalin solution

Hospital	Capture Velocity of Hume Hood				percentage of hood with capture velocity > 0.4 m/s(Efficiency)
	Hood 1	Hood 2	Hood 3	Hood 4	
A	0.70	0.42	-	-	100% (2/2)
B	0.18	1.03	0.17	0.23	25% (1/4)
C	0.49	-	-	-	100% (1/1)
D	0.43	0.26	0.33	0.22	25% (1/4)

Capture Velocity Guideline of the Ministry of Labor and Employment: 0.4 m/s

Table 4. Comparison of formaldehyde exposure by the efficiency of fume hood

Efficiency of fume hood (hospital)	N	GM (GSD)	Mean \pm SD	Median
100% (A, C)	38	0.050 (4.40)	0.181 \pm 0.35	0.030
25% (B, D)	28	0.067 (2.59)	0.095 \pm 0.07	0.078
Total	66	0.056 (3.61)	0.144 \pm 0.27	0.041



Figure 2. Closed type of tissue storage with local exhaust system(upper) and general open type of tissue storage (lower).

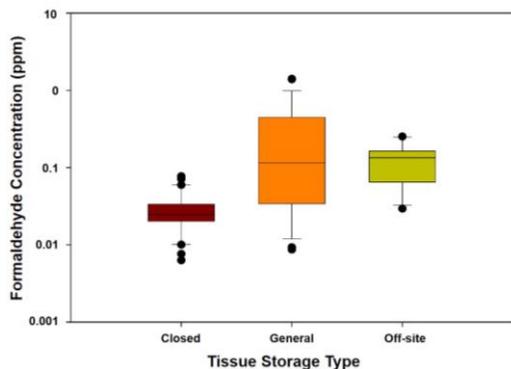


Figure 3. Comparison of formaldehyde concentration between tissue storage type ($p < 0.001$).

주요 노출 영향 인자를 이용한 다중회귀분석결과

본 연구에서 조사하고 분석한 여러 인자 중 포름알데히드 노출 농도에 영향을 줄 수 있는 인자로 주요한 것은 다음과 같다.

- 포름알데하이드에 직/간접적으로 노출될 수 있는 업무 내용과 노출 패턴
- 포르말린을 담아두는 고정액 통의 형태 (밀

폐 설비형, 일반형)

- 조직 보관장의 설비 형태 (밀폐형, 일반형 및 격리형)
- 한달 동안의 포르말린 사용량

이 변수들은 위에서 고찰한 바와 같이 작업자 53%를 설명하였다 ($R^2=0.53$). 각 변수들은 포름알데히드 노출 대상자들의 노출 수준을 결정하는 변수로써 모두 유의한 의미가 있었으며 특히, 포르말린 용액의 보관과 조직보관장의 차이는 다른 변수들보다 더욱 큰 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다. 이들 포르말린 용액과 포르말린으로 고정한 조직의 보관은 지속적인 포름알데히드의 발생원이 되고 있었다. 포름알데히드 노출과 각 인자 간의 관계는 다음과 같다. 들의 노출에 영향이 미치고 있었는데 이들을 동시에 고려하기 위하여 다중회귀분석을 이용해 분석한 결과는 Table 5와 같다. 이로부터 도출한 모델은 통계적으로 적합 하였고 전체 결과의 약

$$\begin{aligned} \text{Log (FA Exposure)} = & 0.223 \times \text{Exposure Pattern} \\ & - 2.344 \times \text{Formalin Storage} \\ & + 2.058 \times \text{Tissue Storage} \\ & + 0.007 \times \text{Formalin Amount} \\ & - 3.394 \end{aligned}$$

따라서 실제로 병원에서 포름알데히드 노출을 줄이기 위해서는 이들 용액과 고정된 생체조직을 국소 배기가 장착된 밀폐 시설에 보관하는 것이 중요하다고 판단한다.

단시간 단위 작업 동안의 포름알데히드 농도

단시간 작업동안의 농도결과는 Table 6에 요약하였다. 표에서 보듯이 포름알데히드 카트리지를 사용하는 중앙공급실 작업자는 매우 낮은 노출농도 (0.03 ppm)을 보이지만 다른 작업자는 단시간 동안 고농도에 노출되고 있어 장시간의 TWA (Table 1)보다 높은 농도를 보였다. 외래의 분주작업은 특별한 설비가 없는 상태에서 1.28 ppm의 높은 농도에 노출되고 있었고, 조직을 고정하고 가열하는 작업과 이후의 수세작업, 그리고 조직 고정작업, 그리고 보관장 정리작업 등은 모두 0.3 ppm을 초과하고 있었다. 따라서

Table 5. Multiple Linear Regression Model for formaldehyde exposure (n=112 , R2= 0.53)

Dependent variable	Regression coefficient (SE)	P-value
Intercept	-3.394 (0.189)	<0.001
Exposure Pattern (Ref. indirect exposure)	0.223 (0.037)	<0.001
Formalin storage (Ref. non-enclosed type)	-2.344 (0.616)	<0.001
Tissue Storage (Ref. enclosed type)	2.058 (0.461)	<0.001
Formalin amount (L/month)	0.007 (0.001)	<0.001

SE: Standard Error.

앞 절에서 언급한 조직보관장과 포르말린 용액 보관방법과 더불어 이런 단위작업은 고농도 노출을 야기시키는 작업이라고 할 수 있다.

가열작업과 관련된 포름알데히드의 농도는 오븐에 넣을 때 0.92 ppm, 그리고 오븐에서 꺼낼 때 0.70 ppm 이었다. 가열 작업은 조직의 상태에 따라 포르말린 침투를 용이하게 하기 위해 오븐에서 약 40-50°C로 가열된 포르말린 통에 블록을 넣는 작업을 말한다. 따라서 오븐은 국소배기 장치와 함께 설비될 수 있도록 하는 개선이

필요하고 블록을 포르말린 통에 넣거나 빼내는 작업들 역시 국소배기 장치에서 실시하는 것이 좋다.

Table 6. Airborne formaldehyde concentration during short term unit task

Department	Task	n	Formaldehyde concentration(ppm)	
			mean±SD	Maximum
Outpatient Dept.	Tissue Dividing	1	1.28	1.28
Central Supply Room	Sterilization Operator	4	0.03±0.02	0.06
	Handling tissue storage	3	0.43±0.14	0.55
Pathology	Work at Gross Table	8	0.38±0.47	1.50
	Heating	4	0.76±0.18	0.94
	Washing after Heating	1	0.70	0.70
Total		21	0.45±0.43	1.50

분주 작업은 Fig. 4과 같이 단시간 노출은 1.28 ppm이었고, 하루 근무시간 측정된 TWA는 0.06 ppm으로 매우 낮았다. 포르말린을 소량의 조직 보관통에 옮겨 담는 작업을 말한다. 대부분 병원의 외래에서 하는 작업으로써 병리과처럼 흡 후드가 설치되어 있는 곳이 없어 국소배기 장치 없이 포르말린을 나누어 담는 작업이 이루어진다.

조직을 고정하는 Gross 테이블에서의 고정 작업은 조직을 자르기, 쪼개기, 포르말린에 담그기, 세척하기, 그리고 블록을 만들기 쉽게 일정한 크기로 자르기 등의 일련의 작업이 이루어진다. Gross 테이블 작업은 병리과에서 가장 주요한 작업이므로 단기간 노출을 줄일 수 있는 작업환경 개선이 필요하다. 단기간 노출을 줄이는 것은 장기적인 관점에서도 평균적인 노출을 줄이는데 기여할 수 있다.

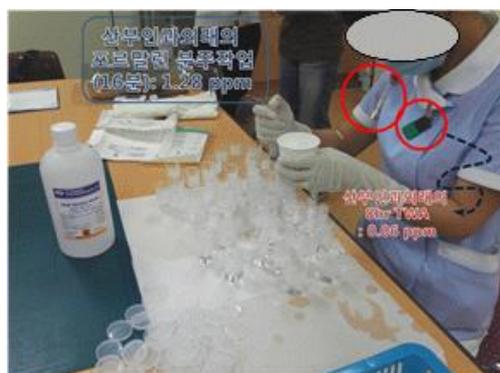


Figure 4. Tissue dividing and formalin addition at the maternity ward. Left circle presents the sampling tube for short term and right side for whole shift sampling.

결론

본 연구는 대학병원에서 포름알데히드를 취급하는 부서와 그렇지 않은 부서에서 포름알데히드의 공기중 노출농도를 평가하고, 포름알데히드 노출에 영향을 주는 인자를 파악하고자 하였다. 포름알데히드 노출은 취급부서이외에 사무실이나 간호실 데스크의 작업자도 노출되고 있었다. 포름알데히드를 취급하는 부서내에서도 직접취급자는 간접노출자에 비해 노출농도가 높았다. 병원에서의 포름알데히드 노출은 하루 전체 작업보다는 포르말린을 취급하는 해당 단위 취급작업에서 고농도 노출이 되고 있는데 대표적인 작업이 조직병리과의 조직 고정 작업, 고정된 조직의 가열 작업 전후, 테이블에서의 작업, 조직 보관장 정리 작업 및 외래의 분주작업이다. 포름알데히드 노출을 감소하기 위해서는 포르말린 용액의 밀폐보관, 조직보관장의 밀폐 및 국소 배기 장치의 설치가 매우 중요하고, 이외 국소 배기 및 하루 작업량 등도 농도에 영향을 주고 있었다.

Acknowledgements

This study was partially supported by the China Medical Board (CMB), Occupational safety and Health Research Institute and the BK21 Plus Project.

References

1. IARC, chemical agents and related occupations volume 100 F A review of human carcinogens, IARC, WHO, Lyon, France, 2012, pp. 401-430
2. 박지영 등. 일부 종합병원 조직검사실에서 의 포름알데히드 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지. 1998;8(1):95-104
3. 김정훈 등. 일부 종합병원 내시경실 근무자의 포름알데히드 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지. 2009;19(3):195-201
4. 이광목, 포름알데히드, 서울, 대한산업보건협회, 1995:18-20
5. Robinson CF et al. Plywood mill worker's mortality pattern, Cincinnati, US. Department of Health and Human Services. 1987;34
6. Hauptmann M et al. Mortality from lymphohematopoietic malignancies among

- workers in formaldehyde industries. J Natl Cancer Inst 2003;95(21):1615-2
7. Hauptmann M et al. Mortality from lymphohematopoietic malignancies and brain cancer among embalmers exposed to formaldehyde. J Natl Cancer Inst 2009;101:1696-1708
8. Pinkerton LE et al. Mortality among a cohort of garment workers exposed to formaldehyde: an update. Occup Environ Med 2004;61:193-200
9. Meyers AR et al. Cohort Mortality study of garment industry workers exposed to formaldehyde: Update and Internal comparisons. Am J Ind Med 2013;56:1027-1039
10. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices, Cincinnati, OH: ACGIH, 2017, p 33
11. 고용노동부. 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고시 제 2018-24호). 고용노동부, 2018, p 68
12. 장미 등. 능동포집과 확산포집법에 의한 일부 합판제조업의 공정별 포름알데히드 농도 비교. 한국산업위생학회지 1996;6(1):17-27
13. 구동철 등. 대학병원 내 외래간호사의 포름알데히드 노출 평가. 한국산업위생학회지. 2014; 24(4):446-452
14. 박시영 등. 해부실습과정에서 노출된 포름알데히드의 건강영향. 대한산업의학회지 2006;18(3):171-178
15. 이수진 등. 포름알데하이드에 폭로된 해부학 실습 학생들의 임파구 자매염색분체 교환. 대한산업의학회지. 1998;10(2):282-289
16. Kim et al. Formaldehyde Exposure Levels and Serum Antibodies to Formaldehyde-Human Serum Albumin of Korean Medical Students. Arch Env Health: Int J, 1999;54:2, 115-118, DOI: 10.1080/00039899909602245
17. National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). NMAM, 4th Ed, E-N, method 2016, 3500, Cincinnati, OH: NIOSH; 1994
18. NIOSH. Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards. Formaldehyde, DHHS Publication No.89-109, supplement II-OHG 1988
19. 최동익 등. 양질의 의료서비스를 제공하기 위한 병원 실내공기질 평가. 환경관리학회지 2002;8(2):159-166