

## 학교 급식 조리 종사자의 조리 환경 개선에 따른 포름알데히드 노출 특성

하권철\* · 이해승

창원대학교 생명보건학부

## Characteristics of Formaldehyde Exposure during Cooking Work among School Meal Service Workers

Kwonchul Ha\* · HyeSeung Lee

Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University

### ABSTRACT

**Objectives:** Lung cancer occurring in school meal service workers has attracted social attention, and there is a need to evaluate the level of exposure to cooking oil fumes (COFs). The aims of this study are to determine the possibility of formaldehyde exposure, which is suspected to be a causative agent, in the cooking environment by measuring airborne concentration and to evaluate whether improving ventilation facilities can reduce exposure to COFs.

**Methods:** A total of 115 samples were collected from 10 school kitchens in Gyeongsangnam-do considering factors such as whether cooking was occurring, the status of ventilation facility improvements, and the indoor temperature and humidity. Airborne formaldehyde were measured using 2,4-DNPH-coated silica gel connected to a sampler, and the samples were analyzed using ultra performance liquid chromatography (UPLC).

**Results:** Formaldehyde was detected in all ten school kitchens, and the average formaldehyde exposure level of meal service workers was 3.3 ppb, which did not exceed the occupational exposure standards set by the Ministry of Employment and Labor and ACGIH. Formaldehyde concentrations were found to be higher during cooking processes compared to non-cooking processes. The average concentrations of personal samples from improved schools and schools not improved were 3.0 ppb and 3.6 ppb, respectively; although there was no statistically significant difference. However, area samples showed a statistically significantly lower distribution in improved schools, indicating the effectiveness of ventilation facility improvements.

**Conclusions:** The detection of formaldehyde in all school kitchens raises the necessity for COFs management through continuous monitoring and risk assessment along with improvement of ventilation facilities in the cooking environment.

**Key words:** Cooking oil fumes (COFs), formaldehyde, school meal service workers

### I. 서 론


집단급식소인 학교 급식시설은 학생들의 건강한 식생활을 위하여 위생적이고 안전한 환경을 유지하여야 한다. 그러나 조리실에서 근무하는 조리 종사자들은 여러 안전보건 문제에 노출되고 있는데 과거에는 절름, 베임,

화상, 데임 등의 안전과 관련된 업무상 재해가 자주 발생하였으나 2010년대 이후에는 일산화탄소 중독, 폐암, 호흡기 질환 등이 업무상 재해로 승인되면서 질병 재해가 증가하는 추세이다.

통계청의 전국사업체조사에 따르면 2022년 음식점업의 종사자 수는 1,555,574명으로 상당수가 조리 관련

\*Corresponding author: Kwonchul Ha, Tel: 055-213-3553, E-mail: kcha@changwon.ac.kr  
Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University. 20 Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongnam 51140

Received: October 30, 2024, Revised: November 29, 2024, Accepted: December 27, 2024

 Kwonchul Ha <http://orcid.org/0000-0001-7014-9466>

 HyeSeung Lee <https://orcid.org/0009-0008-5160-5639>

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.

업에 종사하고 있는데 이들에 대한 건강 문제가 사회적 이슈가 되면서 조리 환경에 대한 우려의 목소리가 커지고 있다(KOSTAT, 2024). 또한, 교육부에서 발표한 자료에 따르면 급식 종사자 건강검진 결과 폐암 확진자 비율이 0.13%(24,065명 중 31명)로 일반인 여성의 폐암 발병률인 0.03%의 약 4배로 급식 종사자가 폐암과 같은 질병 재해가 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다(MoE, 2023).

작업 중 안전보건상 유해·위험인자로 진동, 소음, 온도, 날카로운 물체, 습한 환경으로 인한 조리장 바닥의 미끄러움 등이 있으며, 화학적 유해인자로 조리흙(cooking oil fumes, COFs)과 세정용 화학물질 등이 있다. 조리흙이란 고온의 기름으로 튀겨 조리하는 동안 생성되는 가시적인 배출물(visible emissions generated during cooking by frying with oil)로 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 정의하고 있다. 엄밀하게 흙(fume)이라는 용어는 산업보건 분야에서 고체가 고열에 의해 기화된 후 공기 중에서 냉각되어 생성되는 마이크로미터 단위 이하 크기의 고체 입자(미립자 물질)로 정의되나 고온의 조리 중 생성되는 산업보건학적 유해인자에 적용되고 있다. 튀김과 볶음 등 식용유를 고온으로 가열하게 되면 이러한 증기가 발생되는데 초미세먼지 외에도 에어로졸 기름방울, 연소 산물, 유기성 가스상 오염 물질, 증기 등이 생성된다(IARC, 2010).

국제암연구소에서는 2010년에 조리흙과 폐암과의 관련성에 대하여 보고하였는데, 1970년대부터 중국, 대만, 홍콩, 싱가포르 등 17개의 환자-대조군 연구에서 비흡연자 여성에서 발생한 폐암의 원인으로 실내공간에서 노출되는 조리흙을 제시하였다. 이들 연구 중에서는 조리흙 노출과 폐암과의 관련성에 대해 통계적으로 유의미한 결과가 나타나지 않은 연구도 있지만, 통계적으로 의미가 있는 연구들도 많은데 그중에는 조리 빈도가 높거나, 조리 기간이 길거나, 조리흙의 농도가 높거나, 흙 제거 장치(fume extractor)가 없을 경우에 폐암 발생 위험이 높다고 보고하고 있다. 그러나 이와 같은 보고들의 연구 방법, 대조군의 형태, 자료 수집의 방법이 상이할 뿐만 아니라 폐암 진단의 조직학적 확진의 정도도 다르며 연구 결과의 범위가 넓고 일정하지 않고 대부분 여성 비흡연자를 대상으로 하는 연구(12개 연구)이므로 IARC에서는 조리과정에서 발생하는 고온의 배출물질(frying, emissions from high temperature)

인 조리흙을 인간에서의 발암성은 제한적이지만 실험 동물에서의 발암성이 확인되어 Group 2A로 지정하고 있다(IARC, 2010).

조리흙의 구성성분 중 조리 종사자의 호흡기계 건강 문제와 관련 있는 성분으로는 포름알데히드, 아크롤레인, 미세먼지 등이 제시되고 있다. 미세먼지 등 입자상 물질의 경우는 많은 측정 방법과 기기들이 개발되어 저비용으로 용이하게 측정할 수 있지만 급식실의 높은 습도의 영향으로 정확도와 신뢰성에 문제가 있으며, 아크롤레인은 급식 장소 주변에서 행해지는 흡연의 영향을 받는다는 제한성이 있다(Lee & Oh, 2020). 이 중 포름알데히드는 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서 상기도와 눈에 염증을 일으키고 상기도암을 유발하는 것을 근거로 인체에서 발암이 확인된 물질인 A1(confirmed human carcinogen)으로 구분하고 있다(ACGIH, 2024). 또한, IARC에서도 인체에 대한 발암성이 충분한 Group 1 발암물질로 분류하고 있으며, 우리나라 고용노동부에서도 사람에게 충분한 발암성 증거가 있는 물질인 1A로 구분하고 있다(IARC, 2006; MoEL, 2020). 또한, 포름알데히드는 피부 흡수가 잘 이루어지는 옥탄올/물 분배계수 값(LogK<sub>ow</sub>)이 0.35로 피부 흡수가 가능한 물질이다(Kim et al., 2023).

조리흙 중 포름알데히드는 기름이나 지방을 고온으로 가열하는 조리 방법인 볶음(stir-fry), 튀김(deep frying) 등의 조리를 하는 동안에 비교적 고농도로 발생한다(Oh et al., 2022). 학교 조리실에서는 이러한 발생 특성과 유사하게 기름이나 지방을 고온으로 가열하는 조리 방법인 볶음, 튀김, 부침(pan-frying, shallow frying) 등을 빈번하게 사용하므로 포름알데히드가 발생하고 이에 조리 종사자가 노출될 수 있다. 이처럼 포름알데히드는 강한 유해 영향을 미칠 수 있으며 발생 특성상 조리 환경에서 발생 가능성이 높은 물질이지만 우리나라의 조리 종사자를 대상으로 한 포름알데히드의 노출 평가는 이루어지지 않았다.

한편, 조리 종사자의 첫 폐암 산재 신청을 시작으로 학교에서 근무하는 조리 종사자의 건강 문제가 사회적으로 큰 화두가 된 이후 교육부와 고용노동부에서 학교 급식 종사자의 건강을 보호하고 안전한 조리실 환경 조성을 위해 2023년부터 2027년까지 급식조리실의 환기 시설과 조리 방법을 개선하는 것을 목표로 하는 「학교

급식실 조리환경 개선 방안」을 발표하였다(MoE, 2023). 이에 따라 개선 예정 1교당 약 최대 1억 원씩을 지원하여 환기설비 개선을 신속하게 추진하고 있으며 2023년 8월 기준으로 개선 대상 9,043교 중 769교가 개선을 완료하였으며 나머지는 2027년까지 개선할 예정이다. 그러나 급식실 조리 환경 개선 시 조리흙 노출 감소에 효과가 있는지에 대한 평가는 아직 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 학교 급식 조리 환경의 공기 중 포름알데히드 농도 측정을 통해 급식 조리 종사자들의 조리흙 노출 특성을 파악하고, 환기시설 개선으로 인한 조리흙 노출 감소 효과가 있는지를 파악하고자 하였다.

## II. 연구 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

경상남도교육청 산하 관할 학교는 총 972개교이며 모두 개선 대상으로 지정되었고 2023년 8월 기준으로 조리 환경 시설이 개선된 학교는 10개교이다(MoE, 2023). 본 연구에서는 2023년 9월부터 12월까지 경상남도에 위치한 초·고등학교 중 조리 환경 시설 개선이 완료된 학교 5개, 개선이 완료되지 않고 예정된 학교 5개 등 총 10개 학교의 조리실을 대상으로 하였다. 급식 환경의 계절적 온도 영향을 확인하기 위해 9월에 1차 측정을 하였으며, 동일 장소에 대해 11~12월 중에 2차 측정을 실시하였다.

개선 예정된 학교(A, B, C, D, E)와 개선 완료된 학교(F, G, H, I, J)의 일반적인 특징은 Table 1과 같다.

대부분의 고등학교는 중식뿐만 아니라 조식이나 석식까지 제공하고 있으며, 조리 종사자가 교대 근무를 하고 있었다. 10개교의 평균 조리 종사자 수는 약 12명이었으며 적은 곳은 9명, 많은 곳은 16명이 근무하고 있었고, 조리 종사자 한 명당 적게는 약 74인분에서 많게는 139인분의 몫을 조리하고 있었다.

### 2. 연구 방법

조리 시 노출될 수 있는 유해인자 중 포름알데히드에 대한 시료 채취는 학교 급식실 환기시설 개선 여부, 조리 여부, 계절(여름, 겨울) 등을 고려하였으며 개인시료와 지역시료 형태로 채취하였다. 지역시료의 경우 조리사 작업 시간 전체, 조리, 비조리로 구분하였고, 조리 중 유해인자가 가장 많이 발생될 것으로 예상되는 볶음과 튀김 조리가 이루어지는 솔 근처(약 1m 내)에서 측정하였다. 개인시료의 경우 튀김, 볶음, 부침 등의 조리를 담당하는 조리 종사자를 대상으로 시료 채취 매체가 호흡기에 위치하도록 하여 급식 서비스 중 노출되는 포름알데히드 농도를 측정하였다.

시료 채취 방법에 따른 시료 수는 개인 시료(full-time)의 경우 학교당 4개씩 총 40개(38.8%), 지역 시료는 학교당 6~7개씩 총 63개(61.2%)였으며, 지역시료의 경우 전체 작업 시간에 해당되는(full-time) 시료 20개(19.4%), 조리 시 24개(23.3%), 비조리 시 19개(18.4%)였다.

시료 채취 및 분석 방법은 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH)의 Manual of Analytical Methods

**Table 1.** Characteristics of school cafeteria (kitchens) subject to sample collection

Improvement status	Sampling school	Feeding student No.			No. of meal service workers	No. of customer per workers	Installation year	Shift work
		Breakfast	Lunch	Dinner				
To be improved	A (E*)		1,677		14	120	1999	X
	B (E)		1,185		16	74	2005	X
	C (H**)		630	442	9	119	2009	O
	D (H)	124	715	208	10	105	2008	O
	E (H)		713	280	10	99	2006	O
Improvement completed	F (E)		1,080		10	108	2000	X
	G (E)		1,229		11	112	2008	X
	H (E)		1,301		11	118	2007	X
	I (H)	127	816	590	11	139	2011	O
	J (H)	145	1,144	520	16	113	2003	O

\*E: Elementary school

\*\*H: High school

(NMAM) 2016에 따라 측정 및 분석하였다(NIOSH, 2016). 시료 채취 매체는 2,4-dinitrophenylhydrazine (2,4-DNPH)가 코팅된 실리카겔(Cat No. 226-119, SKC Inc.)을 공기 시료채취기(Pocket Pump Touch Air Sampler, SKC Inc.)와 연결하여 0.2 L/min의 유량으로 시료를 채취하였다(Jeung et al., 2000).

채취한 시료는 Table 2의 고성능 액체크로마토그래피(Ultra Performance Liquid Chromatography, UPLC, USA, Waters H-Class)를 이용하여 분석하였다.

**Table 2.** Conditions of UPLC for airborne formaldehyde analysis

Variable	Condition
<b>Systems</b>	
Ultra performance liquid chromatography	UPLC, Waters H-Class
Capillary column	HSS C18 1.8 $\mu$ m 2.1*75 mm
<b>Operating Condition</b>	
Injection volume	0.3 mL/min
Detector	UV 360 nm
Mobile phase	50 : 50 Acetonitrile/Distilled Water

\*LOD (Limit of Detection) : 0.010  $\mu$ g/sample

조리 환경 중 포름알데히드 측정 결과는 정규분포를 하고 있어서 평균과 표준편차로 나타내었으며, 조리 환경 개선 여부, 조리 여부, 계절에 따른 차이를 알아보기 위하여 ANOVA와 상관 분석 등을 실시하였다. 측정 결과의 통계 처리는 Microsoft Excel의 통계 데이터 분석을 이용하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. 조리 환경의 포름알데히드 발생 및 노출 특성

연구 대상 학교 10개에서 채취한 시료 수는 총 103개였고, 개선 예정 학교에서 51개, 개선 완료된 학교에서 52개였으며, 시기별로는 여름철 시료 50개, 겨울철 시료 53개였으며, 각 학교당 시료 수는 10~11개였다. 조리가 진행되는 조리실 내부에서 실내 온도를 측정하였으며 여름철은 에어컨이 가동되고 있어 평균 온도가 24.7°C, 습도는 76.2%였고 겨울철의 평균 온도는 17.4°C, 습도는 45.9%이었다. 조리 환경 중 포름알데히드 농도는 평균과 표준편차로 나타내었으며, 범위는 LOD 미만에서부터 최대 14.1 ppb로 나타났다.

조리실에서 측정한 포름알데히드 농도를 학교, 조리 환경 개선 여부, 시료 형태별로 Table 3에 나타내었다. 개인시료의 경우 전체 평균은 3.3 ppb(표준편차 1.6

**Table 3.** Exposure level of airborne formaldehyde according to improvements in school cafeteria

Improvement status	School	No. of local exhaust ventilation (Canopy hood)	Airborne formaldehyde concentration											
			Summer (September)						Winter (December)					
					Area		Personal				Area		Personal	
			Temp. (°C)	Humidity (%)	No. of samples	AM $\pm$ SD $^\dagger$ (ppb)	No. of samples	AM $\pm$ SD (ppb)	Temp. (°C)	Humidity (%)	No. of samples	AM $\pm$ SD (ppb)	No. of samples	AM $\pm$ SD (ppb)
To be improved	A (E*)	6	23.5	73.9	3	5.2 $\pm$ 4.1	2	2.1 $\pm$ 1.2	16.4	49.7	3	2.8 $\pm$ 0.6	2	2.9 $\pm$ 0.3
	B (E)	7	22.3	83.6	3	5.6 $\pm$ 4.1	2	3.5 $\pm$ 0.8	18.7	76.6	3	5.1 $\pm$ 0.7	2	4.9 $\pm$ 0.5
	C (H**)	5	25.5	66.3	3	7.2 $\pm$ 5.9	2	6.2 $\pm$ 0.2	22.7	36.1	3	3.9 $\pm$ 1.2	2	3.6 $\pm$ 0.1
	D (H)	8	25.3	75.9	3	4.4 $\pm$ 0.8	2	4.0 $\pm$ 0.1	15.6	48.2	3	7.0 $\pm$ 6.1	2	2.8 $\pm$ 0.4
	E (H)	4	24.0	77.0	3	4.3 $\pm$ 1.5	2	3.1 $\pm$ 2.9	18.4	32.2	4	3.3 $\pm$ 1.1	2	3.2 $\pm$ 0.8
	Subtotal				15	5.3 $\pm$ 3.3	10	3.8 $\pm$ 1.1			16	4.4 $\pm$ 1.9	10	3.5 $\pm$ 0.4
Improvement completed	F (E)	10	23.9	77.6	3	5.4 $\pm$ 0.6	2	3.4 $\pm$ 3.6	17.0	59.0	3	4.1 $\pm$ 1.0	2	4.3 $\pm$ 0.3
	G (E)	14	25.2	82.0	3	7.3 $\pm$ 1.8	2	2.5 $\pm$ 3.1	18.1	38.0	4	4.1 $\pm$ 1.3	2	2.3 $\pm$ 0.8
	H (E)	13	26.5	81.7	3	6.4 $\pm$ 5.3	2	4.7 $\pm$ 0.8	16.4	43.5	3	1.0 $\pm$ 1.1	2	1.4 $\pm$ 1.2
	I (H)	9	25.9	71.3	3	5.6 $\pm$ 0.8	2	3.2 $\pm$ 3.0	13.4	48.1	4	2.0 $\pm$ 0.3	2	2.7 $\pm$ 0.7
	J (H)	7	24.7	81.7	3	6.9 $\pm$ 2.6	2	2.7 $\pm$ 1.3	15.5	42.2	3	1.6 $\pm$ 1.4	2	2.8 $\pm$ 0.4
	Subtotal				15	6.3 $\pm$ 2.2	10	3.3 $\pm$ 2.4			17	2.6 $\pm$ 1.0	10	2.7 $\pm$ 0.7

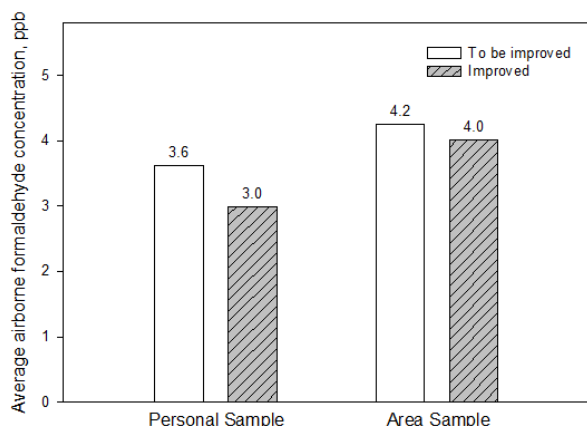
\*E: Elementary school \*\*H: High school  $\dagger$ AM: Arithmetic Mean  $\dagger$ SD: Standard deviation

ppb)였으며 범위는 0.3 ppb에서 최대 6.4 ppb로 ACGIH TLV-TWA(100 ppb)와 NIOSH RELs(16 ppb)을 초과하지 않았다. 지역시료의 경우 전체 공정의 평균은 4.1 ppb, 조리 공정의 평균은 5.6 ppb, 비조리 공정의 평균은 3.8 ppb로 나타났다. 학교별로는 교대 근무를 하면서 조식이나 석식을 제공하여 조리 활동이 더 많은 고등학교의 조리 종사자가 평균 3.4 ppb로, 초등학교에서 근무하는 조리 종사자의 평균 3.2 ppb보다 더 높은 농도에 노출이 되지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다( $p=0.6481$ ).

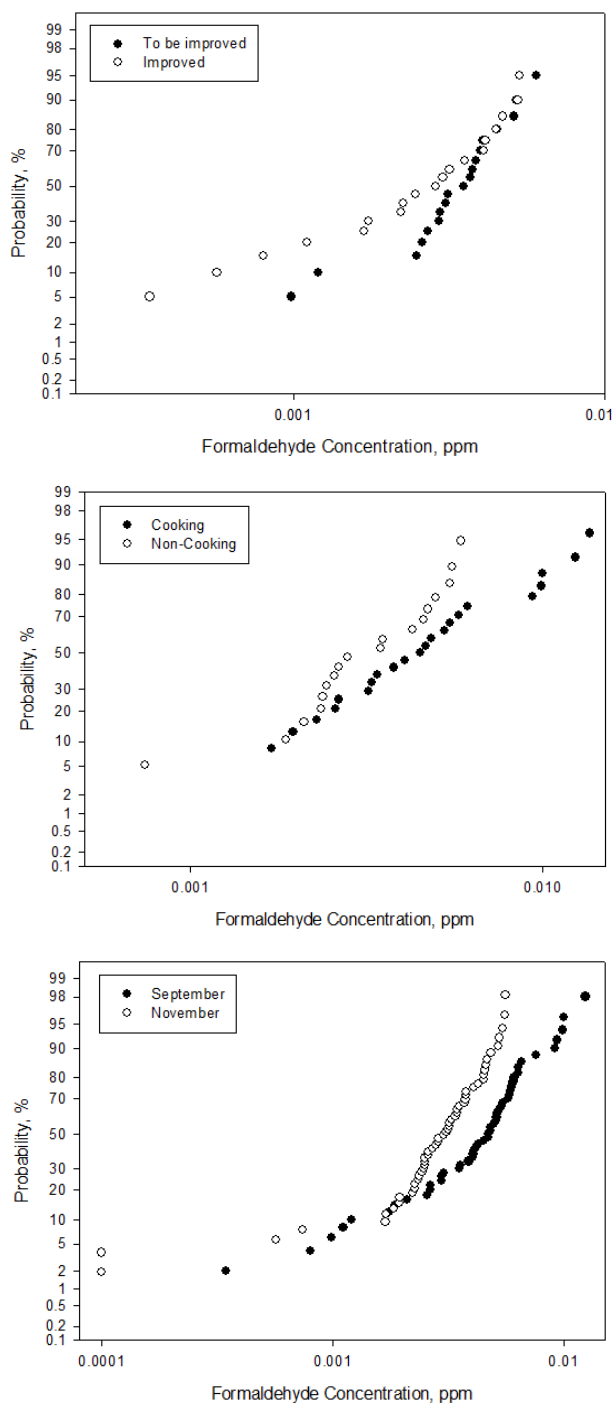
## 2. 환경 요인별 포름알데히드 노출 수준

### 1) 환기시설 개선 여부

조리실의 환기는 대부분의 학교가 캐노피 후드, 환풍기 등을 통한 국소 배기와 출입문, 창문, 배식구 등을 통한 전체 환기를 실시하고 있었고 그 중 Table 3과 같이 국소배기시설로 캐노피형 환기 장치를 5개에서 14개까지 사용하고 있었으며, 환기시설 개선 예정 학교는 평균 6개, 개선 완료 학교는 평균 10.6개로 개선이 완료된 학교의 환기 장치가 개선이 예정된 학교의 환기 장치보다 약 1.8배 정도 많았다. 개선 예정된 학교의 포름알데히드 개인 시료 평균 농도는 3.6 ppb(표준편차 1.4 ppb)였으며, 개선이 완료된 학교의 평균 농도는 3.0 ppb(표준편차 1.7 ppb)였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다( $p=0.2056$ ). 그러나 Figure 1과 같이 지역시료의 경우 개선 예정 학교 4.2 ppb(표준편차 1.2 ppb) 개선 완료 학교 4.0 ppb(표준편차



**Figure 1.** Average formaldehyde concentrations of area ( $p=0.0286$ ) and personal ( $p>0.05$ ) samples depending on improvement.



**Figure 2.** Probability plot of airborne formaldehyde concentration depending on improvement, cooking status and season.

2.4 ppb) 수준이었으며 통계 검증 결과 유의한 차이를 보여( $p=0.0286$ ), 전반적으로 환기시설 개선의 효과가 있는 것으로 나타났다. 환기시설 개선 여부에 따른 개



**Table 4.** Summary of airborne formaldehyde concentrations (area samples) depending on whether cooking or non-cooking

Process	Improvement status	Average sampling time (min)	No. of samples	Concentration (ppb)	
				AM±SD	Range
Cooking	To be improved	149	12	6.5±4.2	2.6~14.1
	Improved	161	12	4.8±3.4	<LOD~12.4
	Subtotal		24	5.6±3.9	
Non-cooking	To be improved	296	9	3.3±1.3	1.9~5.5
	Improved	230	10	4.2±2.4	7~9.2
	Subtotal		19	3.8±1.9	

인 시료 농도 분포는 Figure 2와 같이 개선이 예정된 학교가 개선이 완료된 학교보다 전체적으로 높은 농도 분포를 보였으며 농도의 최댓값 또한 개선이 예정된 학교에서 나타났다.

## 2) 조리 여부

조리실에서 조리 여부에 따른 포름알데히드 농도 분포는 지역 시료로 조리 시간 동안 학교별로 측정했으며 측정값은 Table 4와 같다. 조리 공정의 시료 수는 24개였고 평균 농도가 5.6 ppb이었으며 비조리 공정의 시료 수는 19개였고 평균 농도는 3.8 ppb으로 나타났다. 조리 여부에 따른 지역 시료 농도 분포는 Figure 2와 같이 조리 작업이 비조리 작업보다 전체적으로 높은 농도 분포를 보였으며 농도의 최댓값 또한 조리 시 나타났다. 농도 분포 범위 또한 조리 작업이 비조리 작업에 비하여 높고 넓게 분포하고 있었다. 조리 공정이 비조리 공정보다 평균적으로 더 높은 포름알데히드 농도를 보였으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.0020$ ). 또한, 환경 개선 여부에 따른 조리 공정 중 조리 종사자가 노출되는 공기 중 포름알데히드의 농도는 개선이 완료된 학교는 4.8 ppb, 개선이 예정된 학교는 6.5 ppb로 더 높게 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다( $p=0.2885$ ).

## 3) 조리실 온도

조리실을 대상으로 포름알데히드를 측정한 9월 초에는 실내 평균 온도가 24.7℃, 상대습도는 77.1%에 달하는 여름과 같은 환경이었으며, 겨울인 12월에는 실내 평균 온도가 17.2℃, 상대습도는 47.4%에 이르렀다. 공기 중 포름알데히드의 측정값 중 9월의 경우 시료 수는 50개였고 평균 농도가 4.9 ppb(표준편차 2.8 ppb)이었으며, 12월에는 시료 수가 53개였고 평균 농도가

3.3 ppb(표준편차 2.0 ppb)로 실내온도가 높은 9월에 측정한 값이 12월 측정치보다 평균적으로 높은 농도를 보였으며 이는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다( $p=0.0012$ ). 실내 온도에 따른 전체 시료 농도 분포는 Figure 2와 같이 9월이 12월보다 전체적으로 높은 농도 분포를 보였으며, 농도 분포 범위 또한 9월에 측정된 값이 12월에 비하여 넓게 분포하고 있었다.

## IV. 고 찰

국제암연구소에서는 급식 종사자의 폐암 발생과 가장 관련이 있는 건강 유해인자로 조리과정 중에 배출되는 조리흙을 제시하고 있다. 조리흙은 환경성 담배 연기(environmental tobacco smoke, ETS)처럼 매우 다양한 성분으로 구성되어 있어 보통 입자상물질과 가스상물질로 구분한다. 조리흙은 오일 입자와 그 열분해 산물, 조리 재료와 향신료 등의 불완전 연소로 발생하는 가스상과 입자상물질의 복합체라고 할 수 있다. 오일을 이용한 조리 공정에서 열에 의해 산화, 중합, 분해 반응이 일어나고 열분해 산물로 인해 발암물질(Group 1)과 인체 발암 의심물질(Group 2B)인 포름알데히드와 아세트알데히드가 발생할 수 있다(Park et al., 2013). 또한, 조리 시 상당한 양의 공기 중 초미세먼지(ultrafine particles, UFP), 미세먼지(PM2.5)와 같은 입자상물질이 발생하며, 이러한 입자상물질의 표면에는 다핵방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)와 heterocyclic amines 등 유기 물질이 흡착되어있는 것으로 알려졌다. 가스상물질에는 발암성이 있는 formaldehyde, acetaldehyde, acrylamide, acrolein 등의 유해물질이 발생하는 것으로 알려졌다(IARC, 2010).

Lee et al.(2019)에 따르면 단체 급식 조리 종사자를

대상으로 한 설문조사 결과에서 주된 호소 질환으로 알레르기성 비염과 낮은 비율이지만 천식 질환 등 호흡기 질환에 대한 사항을 확인할 수 있었고 혈액 내 면역지표 중 interleukin-4, GM-CSF, TGF- $\beta$ 1 등의 염증과 알레르기 반응에 관여하는 인자가 사무직에 비해 조리 직군에서 유의미하게 높은 경향이 있음을 보고하였다. 또한, Lam et al.(2021)은 호흡기 질환을 가지고 있는 조리 종사자가 포름알데히드에 지속적으로 노출됐을 경우 호흡기 질환의 증상을 악화시킬 수 있다는 연구 결과를 보고하였다.

조리 중 포름알데히드 발생에 관한 많은 연구 결과가 있다. Schauer et al.(1998)은 감자튀김 요리 시 12~400  $\mu\text{g/g}$ , 야채볶음 요리 시에는 20~100  $\mu\text{g/g}$ 의 포름알데히드가 발생한다고 보고하였다. 또한, 홍콩 지역의 15개 식당을 대상으로 Tenax tube를 이용해 시료 채취 후 열 탈착을 거쳐 분석한 결과 포름알데히드, acrolein, acetaldehyde, nonanal의 순으로 존재하였으며, acrolein, formaldehyde, acetaldehyde가 자동차를 통해 연간 1.8, 10, 33톤이 생성되나 조리 중에서는 약 7.7, 6.6, 3.0톤이 생성된다고 보고하였다(Ho et al., 2006). 또한, Kelly(2001)의 보고에 따르면 가정집을 대상으로 가스와 전기를 이용하여 스테이크를 조리할 때 발생하는 포름알데히드의 농도를 측정 한 결과 각각 48, 3 ppb로 나타나 가스를 사용할 때 더 높은 농도를 보인다고 하였으며, 이는 실외 대기 농도인 1.93 ppb에 비해 1.6~24.9배 높은 것으로 보고하였다. Lee & Jeong(2008)은 한식, 중식, 일식 식당에서 음식을 먹을 때 포름알데히드 농도를 측정한 결과 농도의 범위는 89.7~345.9  $\mu\text{g/m}^3$ (73.0~281.6 ppb)였으며, 일식 식당에서 가장 높은 농도를 보였다고 보고하였다. 이는 본 연구보다 25~100배 정도 더 높은 농도 수준이다.

급식실 환경에서 조리 여부에 따른 포름알데히드 농도는 지역시료를 통해서 측정한 결과 조리 시 평균 농도(5.6 ppb)가 비조리 과정의 평균 농도(3.8 ppb)보다 약 33% 높은 것을 확인하였지만 통계 검증 결과 유의미한 차이는 없었다( $p=0.0638$ ). 기름과 지방 등을 고온으로 가열하는 조리 환경에서 포름알데히드가 더욱 많이 발생되어 비조리 공정보다 더욱 높은 농도를 나타내는 것이라고 예상된다.

본 연구에서 ACGIH(TLV)와 NIOSH(REL) 등의 포름알데히드 노출기준을 초과하지는 않았으나 채취된 대

부분의 시료에서(98%) 포름알데히드가 검출되었다. 본 연구의 측정값이 노출 기준을 초과하지 않았다고 하더라도 기름이나 지방을 고온으로 가열하여 조리하는 과정에서 Group 1(인체 발암물질) 물질인 포름알데히드를 포함한 조리흡의 발생 가능성이 존재하며 순간적으로 노출 기준 이상의 고농도의 포름알데히드가 발생할 가능성을 배제할 수 없기 때문에 이러한 부분을 집중적으로 확인하고 노출을 방지하는 대책을 마련해야 할 것이다. 예를 들어 조리 작업 동안 발생하는 포름알데히드의 농도를 실시간(real time)으로 측정이 가능한 직독식 기기를 조리실 내에 설치하고 일정 농도를 초과하면 알람을 울려 조리 종사자들을 보호하거나 순간적으로 고농도의 포름알데히드에 노출될 수 있는 업무를 담당하는 조리 종사자를 대상으로 단시간동안 측정하여 노출 정도를 파악하는 등의 대책을 마련한다면 조리 종사자들이 더욱 안전한 환경에서 근로할 수 있을 것이다(Kim et al., 2009).

개인시료 측정 결과 조리 환경 환기시설 개선이 완료된 학교(3.0 ppb)가 개선이 예정된 학교(3.6 ppb)보다 낮은 포름알데히드 평균 농도를 보여 개선 효과가 있는 것으로 보이거나 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다( $p=0.2056$ ). 조리실 시설 개선은 조리 장비의 교체와 함께 국소배기시설(캐노피 후드)의 확충을 통해서 조리 시 발생하는 포름알데히드 농도가 개선 시 평균 26% 감소되는 효과(6.5 ppb에서 4.8 ppb로)가 있었다. 그러나 시설 개선이 되었음에도 조리 종사자는 여전히 조리흡에 노출되고 있으므로 사회적 이슈 후 환기 시설 개선에 대한 투자와 함께 조리흡 관리도 반드시 필요하다고 할 수 있다.

학교 조리실 온습도 차이에 따른 공기 중 포름알데히드 농도는 9월의 평균 농도(4.9 ppb)가 겨울철인 12월의 평균 농도(3.3 ppb)보다 높게 나타났으며 통계 검증 결과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p=0.0286$ ). 여름철과 유사했던 9월의 경우 외기의 높은 온도와 고온의 조리 환경으로 인하여 조리 종사자가 높은 온습도에 노출되게 되는데 이를 막기 위해 대부분의 학교에서 에어컨, 선풍기 등의 냉방장치를 가동하여 무더운 외부 공기의 실내 유입을 차단하기 위해 출입문, 창문 등을 닫아둔 것을 확인할 수 있었으나 반대로 겨울철에는 환기의 중요성으로 인하여 조리실 환기시설이 가동되면 실내외 압력차이로 인하여 출입문이 밀폐되지 않아 외기가 실내로 상당량 유입되었다. 여름철에는 이러한 냉

방장치 가동으로 인하여 조리실 내의 방해기류 형성에 의한 환기 효율 저하와 창문 및 출입구를 닫아 전체 환기가 이루어지지 않는 환경 등이 계절에 따른 평균 농도 차이를 발생시킨 것으로 판단된다. 이와는 반대로 입자상물질은 여름철보다 겨울철에 더 높은 농도로 나타났는데 이는 상대적으로 외기의 영향을 많이 받는 겨울철에 입자상물질이 실내에 유입되어 나타난 결과이다 (Ha & Lee, 2024).

조리흡과 인체 영향의 원인적 연관성을 평가하고 효과적으로 관리하기 위해서는 이에 대한 노출 평가가 필요하지만 조리흡은 구성성분이 매우 복잡하며, 물리화학적으로 복잡한 특성이 있어 그 농도 분포를 명확하게 측정하기 어렵다. 이에 조리흡의 농도를 반영할 수 있는 입자상물질이나 포름알데히드 등 지표 물질을 개발하고 이를 정량 분석 및 평가함으로써 관리에 활용하여야 할 것이다.

본 연구의 제한점으로는 학교 수 및 학교별 측정 시료 수를 충분히 확보하지 못했으며, 개선 효과 파악 방법, 조리 방법에 따른 포름알데히드 농도 파악 미비 등을 들 수 있다. 따라서 대표성 확보를 위하여 추가적인 조사 및 측정이 필요하며, 개선에 따른 효과를 파악하기 위해서는 단면조사 연구 형태인 개선이 완료된 학교와 개선이 예정된 학교를 각각 선정하여 측정하는 것보다는 좀 더 장기적으로 학교의 개선 전과 개선 후 유해인자의 농도 분포를 측정하여 비교·분석하는 것이 바람직할 것이다. 또한, 포름알데히드가 포함된 조리흡의 발생 특성상 기름이나 지방을 고온으로 가열하는 환경에서 발생 가능성이 높는데 조리 방법에 따라 포름알데히드의 발생량에 차이가 있다(IARC, 2010). 본 연구에서는 학교 급식실 조리 공정을 대상으로 하여 조리가 순차적으로 이루어지는 것이 아닌 동시다발적으로 이루어져 조리 방법에 따라 포름알데히드의 발생 정도를 파악하지 못하였다. 추후 연구에서는 조리 방법에 따른 포름알데히드 발생량을 파악하여 고농도에 노출될 수 있는 조리 방법을 대체하는 방안을 제시한다면 안전한 조리 환경 구축에 도움이 될 것이라고 생각한다.

## V. 결 론

2023년 9월부터 12월까지 경상남도의 10개의 초·중고 학교를 대상으로 두 번에 걸쳐 조리 환경 공기 중 포름알데히드 농도를 측정하였다. 측정 결과 모든 학교의

조리 환경에서 포름알데히드가 검출되었지만, 조리 종사자가 노출되는 포름알데히드의 평균 농도는 3.3 ppb로 고용노동부, ACGIH TLV, NIOSH REL의 노출 기준을 초과하지는 않았다. 조리실 환경 개선에 따라 개선된 학교는 개선되지 않은 학교보다 더 많은 수의 국소배기시설(캐노피 후드)을 증설한 것으로 나타났으나 개선 여부에 따른 포름알데히드 농도 분포는 개인 시료의 경우 개선 완료 학교와 개선 예정 학교가 각각 평균 3.0, 3.6 ppb로 개선된 곳이 더 낮아 개선 효과가 있는 것으로 보이나 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 개선 여부와 관계없이 조리 중 발암물질인 포름알데히드가 발생되고 있어 조리 과정 중 조리 종사자가 노출될 수 있으므로 환기시설 개선과 함께 조리흡에 대한 측정 및 분석 방법 개발과 위험성평가 및 노출기준과 같은 관리기준을 설정하여 조리실 작업환경을 관리할 필요가 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2023~2024년도 국립창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

## References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). TLVs and BELs; 2024
- Ha KC, Lee NE. Study on Hazardous Factor Exposure in School Cafeteria Kitchens and Establishment of Management Standards. Gyeongsangnamdo Office of Education.; 2024. p. 44
- Ho SS, Yu JZ, Chu KW, Yeung LL. Carbonyl emissions from commercial cooking sources in Hong Kong. J Air Waste Manage Assoc. 56:1091-1098 <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464532>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 88. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 2006. p. 280
- International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 95. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 2010. p. 392
- Jeong JY, Park SH, Yi GY, Oh SM. Analytical method



- for analyzing formaldehyde using 2, 4-DNPH and gas chromatography/FID, NPD. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene. 2000;10(1): 126-146.
- Kelly T. Measurement of Particulate and Vapor Emissions from Cooking Activities: Final Report (June 1998 – June 2001) (Contract No. 5083). Des plaines, IL, Gas Research Institute.
- Kim EY, Choi SW, Lee SS, Son HR, Baek JE et al. Evaluation of formaldehyde exposure for formalin spraying work of fish farm workers. Journal of the Korean Society for Environmental Analysis. 2023; 33(4): 403-411 <https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2023.33.4.403>
- Kim JH, Kim DJ, Kim HW. A study on exposure-worker to formaldehyde in the endoscopy unit of hospitals. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene. 2009;19(3): 195-201.
- Lam J, Koustas E, Sutton P, Padula AM, Michael DC et al. Exposure to formaldehyde and asthma outcomes: A systematic review, meta-analysis, and economic assessment. PLOS, 2021;32 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248258>
- Lee B, Jeong U. Exposure analysis to particulate matter and aldehydes during eating periods in different restaurants. First International Conference on Building Energy and Environment. 2008;1-3: 887-892
- Lee CH, Oh SN. Effect of atmospheric humidity on fine dust measurement using the light scattering method. Journal of Korean Society of hazard mitigation. 2020;391-399 <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2020.20.1.391>
- Lee YJ, Lee SG, Seo HK, Choi BH, Choi JH. Hazardous substances in the air and respiratory health effects during cooking. Korea Occupational Safety and Health Agency. 2019:82-92
- Ministry of Education. Improvement Plans for Cooking Environment in School Cafeterias. 2023:1-9
- Ministry of Employment and Labor (MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents (MoEL Public Notice No. 2020-48).: 2020. p.37
- National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Method, 5th Ed, Method 2016. NIOSH; 2016.
- Oh BH, Jeong JY, Shin JA, Kim BW. A field study on volatile organic compounds generated during cooking in a large pot using PTR ToF MS. Journal of the Korean Society for Environmental Analysis. 2022;25(1): 33-42 <https://doi.org/10.36278/jeaht.25.1.33>
- Park HJ, Yim JH, Um KH, Kim JS, Lee SM et al. Changes of volatile aldehydes in soybean oil used for deep-fat frying in large-scale catering. food engineering progress. 2013;17(4): 407-411. <https://doi.org/10.13050/foodengprog.2013.17.4.407>
- Schauer JJ, Kleeman MJ, Cass GR, Simoneit BRT. Characterization and Control of Organic Compounds Emitted from Air Pollution Sources. Final Report (Contract No. 93-329). Sacramento, CA. California Air Resources Board.
- Statistics Korea. 10th Census on Establishments, from: URL: <https://kosis.kr>

#### <저자정보>

하권철(교수), 이혜승(대학원생)