

경남지역 학교 급식조리실 개선 전후 환기성능 평가

손종원 · 김태형* · 하현철¹ · 김병훈² · Kritana Prueksakorn³

창원대학교 스마트그린공학부 환경에너지공학전공, ¹(주)벤티텍, ²민주노총 경남지역본부, ³태국 마히돌대학교 환경자원학과

Evaluation of Ventilation Effectiveness Before and After Kitchen Renovation in Schools of Gyeongsangnam-do

Jongwon Son · Taehyeung Kim* · Hyunchul Ha¹ · Byoungsoon Kim² · Kritana Prueksakorn³

Dept. of Environmental & Energy Engineering, Sch. of Smart & Green Engineering

¹Ventech Corp

²Korean Confederation of Trade Unions

³Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand

ABSTRACT

Objectives: Many cases of lung cancer have been reported by school kitchen workers as occupational cancer. Twenty-eight schools in Gyeongsangnam-do Province were selected to evaluate the effect of improved kitchen ventilation systems. Ventilation characteristics before and after renovation were compared and design techniques were identified.

Methods: In the design stage for kitchen ventilation systems, expert intervention was used to improve the designs. Ventilation characteristics and air quality were evaluated before and after the renovations. Hood face velocity and fan flow rate were measured and the smoke visualization technique was used to evaluate the capability of protecting worker's breathing zone. The concentrations of PM_{0.3} were measured at points not adjacent to cooking equipment because these concentrations fluctuate greatly.

Results: Mean hood face velocity increased from 0.29 m/s before renovation to 0.7m/s after renovation. The concentrations of PM_{0.3} showed a roughly 95% reduction. Concentrations of CO showed more than a 75% reduction. Smoke visualization showed greater protection of workers' breathing zone.

Conclusions: Advanced design techniques for school kitchen ventilation systems were applied to renovate old kitchen ventilation systems. The performance of the new kitchen ventilation systems was nearly excellent. Further improvement of design techniques is still needed, however.

Key words: Hood, kitchen, school, ventilation

1. 서 론


1980년대 중반부터 1990년대 초반에 학교 급식이 시작되어 30여년이 경과하였다. 조리과정에서 발생하는 조리흡에 의해 급기야 2021년 2월 학교 급식노동자가


폐암으로 사망하면서 처음으로 산재가 인정되었다. 그 이후로 경력 10년 이상이거나 55세 이상인 학교급식노동자를 대상으로 폐CT를 포함한 폐암 건강검진을 실시한 결과 2023년 3월 현재 24,065명 중에서 폐암 확진자가 31명으로 확진율이 0.13%에 달하고, “폐암 의심


*Corresponding author: Taehyeung Kim, Tel: 055-213-3745, E-mail: thkim@changwon.ac.kr

20 Changwondaehak-ro Uichang-gu Changwon-si, Gyeongsangnam-do 51140 Korea


Received: December 18, 2023, Revised: February 1, 2024, Accepted: March 20, 2024

 Jongwon Son <http://orcid.org/0009-0006-7914-9343>

 Hyunchul Ha <http://orcid.org/0000-0002-5283-9014>

 Kritana Prueksakorn <http://orcid.org/0000-0003-1965-9617>

 Taehyeung Kim <http://orcid.org/0009-0005-3689-3060>

 Byoungsoon Kim <http://orcid.org/0000-0002-5782-5340>

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.

또는 매우 의심”에 139명(0.58%)이 해당된다(Ministry of Education, 2023).

조리실 후드에 대한 연구는 미국 공조학회에서 발주한 연구보고서(Swierzczyna et al., 2005)가 상업용 조리실 후드의 형태에 따른 후드 포집효율을 평가한 종합적인 실험보고서로서 후드 측면 패널(side panel), 후드 전면 돌출(overhang), 후드 후면 밀폐(rear seal) 등의 장단점 및 포집효율을 비교한 보고서이다. 이러한 내용을 ASHRAE 핸드북(ASHRAE 2007)과 표준(ASHRAE 2022)에 반영하였다. 한 가지 아쉬운 점은 발생된 오염물질을 포획(capture and contain)하는 데에만 주안점을 두었고, 정작 가장 중요한 작업자의 호흡영역을 보호하는 데까지 가지 못했던 아쉬움이 있다. 이 외에도 상업용 주방후드 전문기업인 Halton에서 발간한 설계 가이드(Halton 2007)도 ASHRAE 자료와 유사한 좋은 연구자료로 생각된다. 후드 성능을 높이기 위한 단편적인 연구가 시도된 논문들도 몇몇 있었다(Huang et. al., 2011; Hocine et al., 2020).

국내의 종합적인 연구로는 2019년 말에 발간된 안전보건공단 산업안전보건연구원의 연구(OSHRI, 2019) 결과에서는 선풍기와 에어컨에서 나오는 바람과 창문을 통한 외기 유입으로 인해 캐노피 후드에 방해기류로 작용하여 배기효율이 저하되는 경우가 많았고, 후드와 작업면(발생원) 사이의 거리가 너무 멀어서 배기효율이 떨어지고 있었고, 캐노피 후드가 작업자의 머리 위에 위치함으로써 오염물질이 작업자의 호흡영역을 통과한 후 배기되는 심각한 문제가 있었다고 보고 하고 있다. 2021년에 발간된 조리실 환기 가이드를 위한 기초연구(OSHRI, 2021)에서는 현재 설치된 캐노피 후드로는 조리실무원의 호흡영역을 보호하지 못하고 후드 면풍속에 대한 설계기준이 없는 문제 등을 극복하기 위하여 조리기구별 환기기준을 마련하고자 하였다.

그 이후로 고용노동부 안전보건공단에서는 2021년 11월에 “학교 조리실 환기장치 실태조사 및 표준환기방안 마련 연구”(OSHRI, 2021)를 완료하였고, 이를 바탕으로 2021년 12월에 “학교 급식조리실 환기설비 설치 가이드”(KOSHA, 2021)를 제시하였다. 그 후 한국산업안전보건공단에서 “단체급식시설 환기에 관한 기술 지침”(KOSHA, 2023)을 2022년 12월에 발간하였고, 2023년 8월에 이를 개정하여 제시하였다.

급식종사자들의 건강을 보호하기 위해서 경상남도 교육청에서는 경남의 28개 시범학교를 대상으로 고용노

동부의 “학교 급식조리실 환기설비 설치 가이드”를 현장에 적용시켜보려고 시도하였다. 대상학교를 방문하여 개선 전후 환기 성능을 비교 평가하였고, 설계 및 시공 단계에서 교육 및 지도를 통하여 환기 가이드를 적용하는데 무리가 없도록 하였고, 필요할 경우에는 가이드에 없지만 필요한 사항을 현장에 적용해보려고 시도하였다. 본 논문에서는 시범학교 개선사업의 효과와 향후 개선방향에 대해서 살펴보고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

경상남도 시군의 28개 학교를 연구 대상으로 하였으며, 이들 중 8개 학교는 “급식실 현대화 학교”로 전체 시설을 새로 리모델링하는 학교를 말한다. 초등학교 16개교, 중학교 4개교, 고등학교 8개교를 대상으로 하였다(Table 1).

Table 1. Number of schools in each administrative districts

Administrative Districts	No. of renovation school*	No. of modernization school**
Changwon	3	3
Gimhae	4	2
Tongyeong	2	0
Geoje	2	1
Goseong	2	1
Sacheon	2	0
Miryang	1	0
Yongsan	1	1
Uiryeong	1	0
Changnyeong	1	0
Namhae	1	0
Total	20	8

*: Partial renovation

** : Complete renovation

2. 연구 방법

본 연구의 목적이 학교 조리실의 환기시설 개선이고, 나아가서 개선 전후의 성능을 비교하여 향후 학교 조리실 개선에 도움이 될 만한 노하우를 쌓아가자는 것이었다. 따라서, 본 연구의 연구 방법은 조리실 환기 시설 개선 전 환기성능 평가, 설계단계 설계자 컨설팅, 시설 개선 후 환기성능 평가의 3가지 방법으로 진행하였으며

마지막 결과 분석을 통하여 향후 좀 더 개선해야 되는 문제에 대해 고민해보았다.

1) 기본적인 평가

학교 급식소 조리실의 작업환경과 환기시스템을 평가하기 위해서는 가장 먼저 설계도면을 입수하여 후드/덕트 평면도를 확인하고, 송풍기 위치, 조리실 창문 및 출입문 위치, 조리실에 연결된 급식소 식당의 구조, 주변 건물 등에 대한 정보를 파악할 필요가 있다. 설계 도면대로 공사가 이루어졌는지에 대한 꼼꼼한 확인이 필요하고, 천정의 텍스를 부착하기 전에 덕트에 대한 사항을 확인해야 한다. 후드의 위치, 크기, 필터 크기 등에 대한 확인이 필요하고, 조리기구와 후드의 상대적인 위치에 대해서도 확인이 필요하다. 댐퍼의 위치가 설계도면대로 되어 있는지 확인하고, 공사 후에 댐퍼를 조정할 적이 있는지 확인할 필요가 있으며, 후드 유량을 측정할 결과 각각의 후드에 필요한 유량이 나오지 않고 특정 후드 쪽으로 유량이 집중되어 있다면 댐퍼를 다시 조정해야 된다. 덕트 철판의 두께, 보강재 간격, 덕트 이음부 실링이 잘되어 있는지에 대해서도 확인이 필요하다.

2) 환기성능 평가

조리실 환기시스템을 평가하는 방법은 도면 확인, 시스템 가동에 따른 소음 발생여부 확인, 조리실 작업자들과의 대화를 통한 환기시스템 문제점 확인, 후드 및 송풍기 유량 및 흡입속도 측정, 기류가시화를 이용한 흡입기류 상태 확인, 조리 작업시 발생될 수 있는 오염물질(CO, CO₂, 미세먼지 등)의 농도 측정 등이 있다.

후드의 배기유량은 후드의 면속도와 후드 면적의 곱으로 계산하며, 후드 면속도는 열선풍속계를 이용하여 측정하며 후드의 면적을 후드 크기에 따라 최소 4등분(2×2), 최대 16등분(8×2) 하여 각 구획의 정중앙에서 면속도를 측정한 후 측정값들의 평균을 해당 후드의 면속도로 산정한다(Figure 1).

후드의 흡입성능 평가 및 조리실 내부 기류의 흐름 방향을 파악하기 위해 연기발생기(Antari, Mobile Fogger, Gunpo, Korea)를 이용하였다(Figure 2). 조리기구 바닥면에서 발생된 연기가 후드로 얼마나 잘 흡입되는지 혹시 방해기류의 영향을 받아 후드 밖으로 빠져나가는지에 대한 관찰이 필요하고, 바닥면에서 발생된 연기가 조리종사자의 호흡영역을 통과하는지에 대해

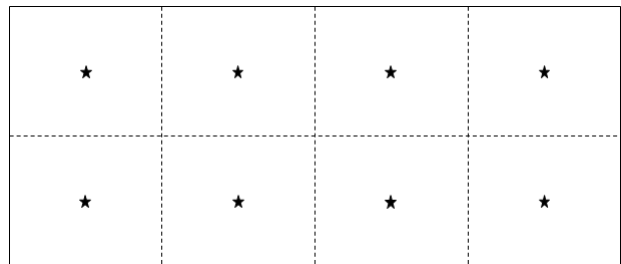
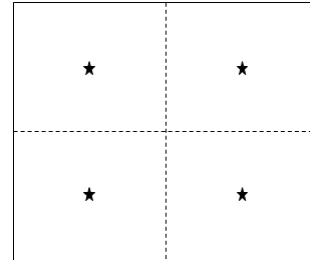


Figure 1. Photo of measuring hood face velocities (★ : measuring point)

서도 세심한 관찰이 필요하다. 또한, 주변 방해기류가 어느 정도인지도 연기를 관찰하면서 확인할 필요가 있고, 냉난방 디퓨저, 급기 디퓨저로부터 배출된 공기가 후드 흡입기류를 방해하지 않는지에 대해서도 세심한 관찰이 필요하다. 연기발생기에서 발생되는 연기량은 발생기에 따라 다를 수 있으나 너무 발생량이 많아 강한 운동량을 가지고 발생될 경우에는 후드 흡입성능을 평가하기 힘들고, 너무 발생량이 적으면 연기가 잘 안 보이기 때문에 적절한 조정이 필요하다. 연기에 의한 가시화 실험은 상당한 시행착오가 필요하기 때문에 충분한 예비 실험이 필요할 것으로 판단된다.



Figure 2. Photo of evaluating hood exhaust performance using smoke visualization

조리실 내부의 오염정도를 평가하기 위해 CO, CO₂, PM_{0.3}를 측정하였으며 CO/CO₂ 측정기는 IAQ-CALC 7545(TSI, MN, USA)를 사용하였으며, PM_{0.3}은 Particle Meter(Lighthouse, Handheld 3016, OR, USA)을 이용하였다. 입자상오염물질 농도 분석으로 직경 0.3 μ m 이하 입자인 PM_{0.3}을 사용한 이유는 기존의 연구결과(Kim et. al 2017; Zhao et. al., 2019)에서 조리흡의 입경이 0.1-0.5 μ m로 나타났기 때문이다. 조

리실 내부를 조리실 크기에 따라 최소 6등분, 최대 15 등분하여 각 구획의 정중앙에서 CO, CO₂, 미세먼지 농도를 측정하였다. 식자재 전처리 작업을 마친 후 조리대, 튀김솥과 같은 조리기구를 사용하여 조리를 시작한 지 10분이 경과하였을 때 측정을 시작하였고, 각 구획당 1분 동안 측정을 진행하였다. 특정 구획이 조리기구와 인접해 있는 경우 조리기구에서 발생하는 CO, CO₂, 미세먼지의 영향을 최소화하기 위해 조리기구를 등지고 측정하거나 구획의 정중앙을 일부 벗어난 위치에서 측정을 진행하였다. 또한 조리실 내부 미세먼지 농도는 외부 미세먼지 농도와 상관도가 매우 높다. 왜냐하면 후드로 공기를 배기시키면 그만큼의 공기가 어디로든 외부에서 들어와야 되기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위해 조리실 내부 미세먼지 농도 측정을 마친 후 조리실 외부에서 미세먼지 농도를 측정하여 농도를 보정하였다.

III. 연구 결과

1. 개선 전 평가 결과

조사대상 28개 학교의 개선 전 식수인원, 송풍기 댓수, 송풍량, 후드 미설치 상황, 후드 면속도를 Table 2에 나타내었다.

급식인원은 22~1,300명으로 평균 597명이었으며, 송풍기가 아예 없는 학교가 3군데나 있었으며, 평균적으로 1.4대의 송풍기를 운용하고 있었다. 여기서 말하는

Table 2. Ventilation performance data before renovation

School	No. of students	No. of fans	Measured fan flowrate (CMM)	Cooking equipments with no hood	Hood face velocity (m/s)
1	1,263	1	185	Rice cooker, dishwasher	0.21
2	1,135	1	255	Dishwasher	0.19
3	270	4 in-line fan	52	Rice cooker, dishwasher	0.10
4	125	2	371	Dishwasher	0.47
5	301	1	140	Dishwasher	0.19
6	465	1	124	Rice cooker, dishwasher	0.17
7	1,210	1	211	-	0.16
8	61			No hood and fan	
9	291	1	430	Dishwasher	0.39
10	1,263	2	411	Rice cooker, dishwasher	0.30
11	225	2	222	Rice cooker, dishwasher	0.34
12	430	1	126	Dishwasher	0.15
13	384	2	305	Dishwasher	0.32
14	880	1	447	-	0.37
15	1,300	1	268	-	0.21

Table 2. Continued

School	No. of students	No. of fans	Measured fan flowrate (CMM)	Cooking equipments with no hood	Hood face velocity (m/s)
16	905	1	159	Rice cooker, dishwasher	0.19
17	684	2	202	-	0.19
18	661	3	222	Dishwasher	0.23
19	337	2	389	-	0.52
20	610	1	228	Dishwasher	0.22
21	810	1	188	Dishwasher	0.19
22	755	1	286	Dishwasher	0.33
23	53			-	
24	650	1	340	Dishwasher	0.60
25	1,102	1	151	Rice cooker, dishwasher	0.13
26	291	2	532	Rice cooker, dishwasher	0.41
27	240	1	244	-	0.38
28	22			No hood and fan	
Average	597	1.4	260	-	0.28

Table 3. Contaminant concentration data before renovation

School	PM _{0.3} conc. in kitchen (standard deviation) (# of particles /liter)	PM _{0.3} conc. outside (# of particles /liter)	CO conc. in kitchen (standard deviation) (ppm)	CO ₂ conc. in kitchen (standard deviation) (ppm)
1	450,493 (74,621)	367,231	4.5 (1.29)	1,012 (474)
2	88,563 (3,570)	65,059	2.1 (1.66)	645 (140)
3	498,139 (27,064)	507,836	7.5 (0.45)	1,741 (141)
4	52,462 (3,042)	53,987	0.3 (0.56)	447 (4)
5	301,870 (33,184)	384,634	0.6 (0.17)	595 (38)
6	1,073,619 (178,399)	641,700	1.0 (0.29)	828 (55)
7	92,254 (44,678)	59,480	0.7 (0.68)	648 (76)
8	978,484 (243,579)	165,927	0.0 (0.00)	685 (35)
9	141,734 (5,230)	117,946	2.3 (0.89)	534 (44)
10	769,396 (37,871)	772,434	0.3 (0.41)	614 (52)
11	612,355 (28,419)	562,953	0.0 (0.00)	653 (51)
12	257,037 (120,063)	87,536	0.8 (0.04)	1,140 (190)
13	104,278 (23,023)	69,509	1.2 (0.77)	863 (361)
14	188,377 (166,783)	54,231	6.0 (3.02)	614 (37)
15	387,110 (80,355)	494,358	0.7 (0.33)	754 (61)
16	256,181 (53,183)	338,008	0.9 (0.22)	652 (125)
17	683,922 (880,698)	52,539	0.4 (0.25)	1,024 (352)
18	323,711 (88,031)	231,984	1.1 (0.70)	754 (52)
19	106,296 (16,456)	100,949	0.5 (0.51)	513 (43)
20	155,498 (86,697)	119,717	0.1 (0.13)	1,039 (197)
21	726,090 (104,254)	405,608	0.7 (0.56)	1,139 (350)
22	161,520 (101,978)	85,447	0.0 (0.00)	593 (20)
23	82,977 (3,089)	69,888	1.8 (0.30)	1,004 (129)
24	116,002 (67,707)	53,343	0.8 (0.60)	670 (71)
25	1,119,229 (17,653)	1,106,832	2.3 (0.43)	933 (59)
26	163,483 (33,693)	92,979	0.0 (0.00)	508 (13)
27	447,468 (8,557)	504,894	1.1 (0.75)	732 (113)
28	205,436 (7,173)	63,109	1.0 (0.05)	1,025 (67)
average	376,571	272,504	1.4	799

송풍기는 주로 후드 여러 개를 한 대의 송풍기에 연결시키는 방식을 사용하고, 송풍기는 대부분 다익송풍기(시로코팬)를 사용하고 있었다. 송풍기 측정유량은 평균 260CMM이었으며, 후드가 설치되지 않은 조리기구는 주로 밥솥과 식기세척기였다. 밥솥은 주로 가스식으로 불완전연소에 의해 연소생성물이 발생될 수 있기 때문에 후드를 설치했어야만 함에도 불구하고 열증기만 발생될거라는 생각에 후드를 설치하지 않았던 것으로 판단된다. 밥솥과 마찬가지로 식기세척기의 경우도 가스로 물을 데우기 때문에 일산화탄소와 같은 연소생성물이 발생되지만 가스에 의한 연소생성물은 그리 해롭지 않다는 생각에서 후드를 설치하지 않았던 것으로 추측된다. 그러나, 하절기에는 뜨거운 물에서 애벌세척작업

을 하고 식기세척기에서 뜨거운 물로 세척작업을 하기 때문에 후드를 통해 열기를 뽑아내지 않으면 굉장히 힘든 고열/다습한 작업환경이 형성되기 때문에 이에 대한 적절한 대처가 필요하다.

후드 개구면 유속의 평균은 0.28m/s로 이 정도의 기류는 공기가 정체되어 있지는 않지만 그렇다고 오염물질이 후드로 활발히 흡인되는 정도는 아니기 때문에 발생하는 조리흡으로부터 작업자를 보호한다는 것은 거의 불가능한 것으로 판단되었다.

조리실 내외부 미세먼지(PM_{0.3}) 농도와 조리실 내부 일산화탄소, 이산화탄소 농도 측정결과를 Table 3에 나타내었다.

미세먼지는 0.3 μ m이하(PM_{0.3})의 입자 개수를 측정

Table 4. Contaminant concentration data after renovation

School	No. of fans	Measured fan flowrate (CMM)	Hood face velocity (m/s)	PM _{0.3} conc. in kitchen (standard deviation) (# of particles /liter)	PM _{0.3} conc. outside (# of particles /liter)	CO conc. in kitchen (standard deviation) (ppm)	CO ₂ conc. in kitchen (standard deviation) (ppm)
1	2	1,233	0.49	244,917 (9,877)	228,793	1.6 (1.54)	548 (49)
2	2	836	0.46	38,782 (2,174)	34,262	1.4 (1.18)	611 (67)
3	2	638	0.81	161,740 (21,966)	55,010	1.0 (0.47)	840 (155)
4	3	631	0.69	326,208 (5,524)	453,392	0.3 (0.48)	548 (29)
5	2	1,058	1.09	219,942 (9,177)	228,586	0.7 (0.52)	507 (18)
6	2	499	0.63	27,707 (1,805)	27,825	0.0 (0.10)	527 (25)
7	2	833	0.63	107,966 (1,745)	102,708	0.0 (0.00)	499 (34)
8	1	360	1.23	282,467 (15,178)	300,636	0.0 (0.00)	588 (43)
9	2	1,186	0.61	45,370 (2,121)	44,846	0.6 (0.58)	525 (28)
10	3	1,191	0.52	169,872 (7,761)	171,937	0.0 (0.00)	522 (28)
11	3	717	1.05	34,979 (5,386)	31,753	0.0 (0.00)	565 (42)
12	3	968	0.69	122,971 (6,673)	66,105	0.2 (0.26)	581 (22)
13	4	1,140	0.85	65,428 (3,050)	90,104	0.4 (0.38)	505 (60)
14	2	722	0.39	62,537 (20,725)	46,105	0.0 (0.07)	664 (178)
15	3	1,099	0.82	197,710 (93,914)	137,499	0.4 (0.46)	567 (43)
16	2	501	0.38	135,002 (5,581)	117,489	0.4 (0.70)	762 (146)
17	3	636	0.58	25,023 (2,429)	39,838	0.0 (0.07)	634 (126)
18	3	444	0.41	111,065 (3,418)	105,424	0.7 (1.02)	622 (72)
19	2	712	0.87	63,756 (6,964)	57,243	0.0 (0.07)	520 (46)
20	3	907	0.64	146,689 (1,876)	226,618	0.0 (0.00)	486 (32)
21	3	1,104	0.67	260,906 (3,270)	206,439	0.0 (0.07)	525 (25)
22	3	903	0.81	46,469 (7,697)	46,815	0.3 (0.42)	468 (17)
23	2	355	0.94	68,142 (1,288)	91,767	0.0 (0.00)	478 (4)
24	3		0.54	32,950 (2,189)	28,087	0.0 (0.03)	534 (55)
25	2	980	0.87	45,499 (3,790)	37,659	0.1 (0.08)	502 (25)
26	3	781	0.85	66,128 (1,338)	72,156	0.0 (0.00)	473 (18)
27	2	961	0.98	139,329 (13,182)	116,367	0.5 (0.48)	525 (52)
28	1	56	0.63	365,396 (8,066)	345,762	0.6 (0.38)	570 (77)
Average	2.4	794	0.72	129,105	125,401	0.3	561

하였다. 우리나라의 경우 계절과 시간대에 따라 외부의 미세먼지 농도 변화가 심하기 때문에 외기 중 미세먼지 농도가 조리실 내부 미세먼지 농도에 상당한 영향을 미친다. 왜냐하면 조리실 내부의 후드를 통하여 배출되는 공기만큼 외부의 미세먼지를 포함한 공기가 보충되어야 되기 때문에 외부의 미세먼지 농도는 조리실 농도의 배경농도 역할을 하게 된다. 따라서, 조리실 내부의 실제 농도는 조리실 농도에서 외부 농도를 빼주어야 된다. 외기의 미세먼지 평균 농도 272,504개/liter였으나 내부는 359,802개/liter였으므로, 조리실 내부 실제 미세먼지 농도는 외부와 내부의 차이인 87,298개/liter로 나타났다.

2. 개선 후 평가 결과

개선 후 송풍기는 평균적으로 2.4대를 운용하고 있었고, 송풍기 측정유량은 평균 794CMM이었으며, 공기오염물질이 발생됨에도 불구하고 후드가 설치되지 않은 조리기구 없는 것으로 나타났다. 후드 개구면 평균 유속은 0.72m/s로 이 정도 빠른 기류가 후드로 흡인되면 발생된 오염물질을 웬만큼 포집할 수 있으나 작업자의 호흡영역의 농도를 떨어뜨릴 수 있느냐가 가장 중요

한 문제로 남게 된다.

외기의 미세먼지 PM_{0.3} 평균 농도는 123,359개/liter였으나 내부는 129,105개/liter로 조리실 내부 실제 미세먼지 농도는 외부와 내부의 차이인 5,711개/liter로 나타났다. 일산화탄소는 28개 학교 중 최고 농도가 7.5ppm 정도로 나타났다. CO의 대기환경기준은 8시간 평균 9ppm이고, 작업환경 노출기준은 30ppm으로 기준 이하로 나타났다(Table 4).

3. 개선 전/후 비교

개선 전/후 송풍기 댓수는 개선 전 평균 1.4대에서 개선 후 2.4대로 증가하였고, 송풍량은 개선 전 평균 260CMM에서 개선 후 794CMM으로 3배 이상 증가한 것으로 나타났고, 학교별 개선 전/후 송풍기 유량을 아래 그림에 나타낸 바와 같이 심한 경우는 굉장한 차이를 보이고 있다(Figure 3).

후드의 경우 후드 개구면 유속이 어느 정도 되는지도 중요하지만 오염물질이 후드로 얼마나 잘 들어가는지가 더 중요하다. 그러나 기류가시화를 정량화시키는 것이 쉬운 일이 아니므로 여기서는 개구면 유속에 대해서만 비교하였다.

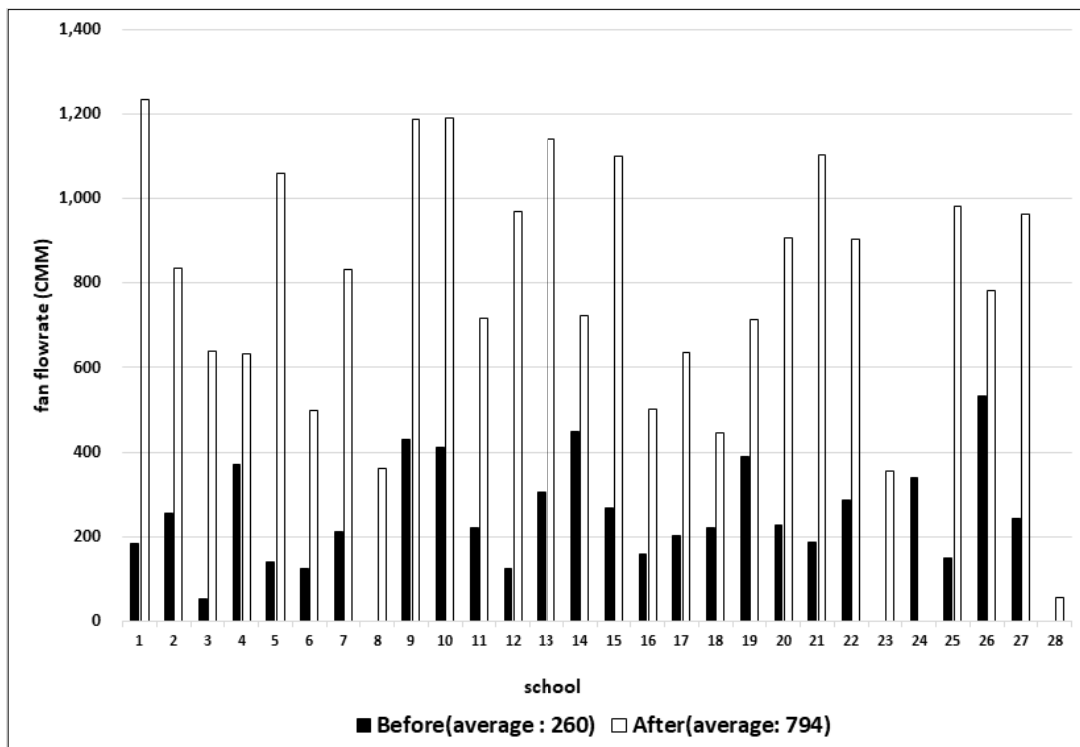


Figure 3. Fan flowrate before and after renovation

아래 그림에 조리기구별 후드 개구면 유속을 개선 전/후 비교하였으며 고용노동부 가이드와도 비교하였음. 개선 전 평균 후드 개구면 유속이 0.28m/s였으나 개선 후 0.72m/s로 증가하였음을 나타내고 있다(Figure 4).

아래 표에는 3개 학교의 조리기구별 후드개구면 유속을 비교하였다. A학교의 경우 튀김솥 유속이 고용노동부 가이드 보다 상당히 높은 것으로 나타났으며 밥솥 유속이 가이드의 2배에 달하는 것으로 나타났다. B교의 경우에는 조리대와 식기세척기 유속이 너무 낮은 반면에 밥솥의 유속은 필요 이상으로 높게 나타났다. C교는 오븐의 유속은 너무 높은 반면에 식기세척기의 유속이 너무 낮게 나타났다. 이러한 결과는 후드마다 풍량을 조절할 수 있는 댐퍼를 설치하였으나 공사 마지막 단계에서 댐퍼를 조정하지 않아서 생긴 현상으로 판단된다.

조리 작업중 발생하는 미세먼지(PM_{0.3})를 측정된 결과를 개선 전과 후를 비교하여 Figure 5에 나타내었다.

위 그림은 Table 3의 개선 전 조리실 내부 PM_{0.3} 농도에서 외부 PM_{0.3} 농도를 뺀 값을 “개선 전 농도 “Before”(흰색 막대그래프)로 나타내었고, Table 4의 개선 후 조리실 내부 PM_{0.3} 농도에서 외부 PM_{0.3} 농도를 뺀 값을 “개선 후 농도 “After”(검정색 막대그래프)로 나타내었다. 예를들어 “21”번 학교의 경우 개선 전 농도가 약 32만 개/liter였으나 개선 후 약 5만4천 개/liter로 감소되었다, 반면 “13”번 학교의 경우는 개선 전에도 그리 높지 않은 농도를 보였으나 개선 후에서 “-” 농도를 보였다. “-”농도가 나타나는 이유는 외기 농도가 조리실 내부 농도보다 더 높게 측정되었기 때문에 나타난 결과이다. 이런 결과가 나타난 이유는 조리실

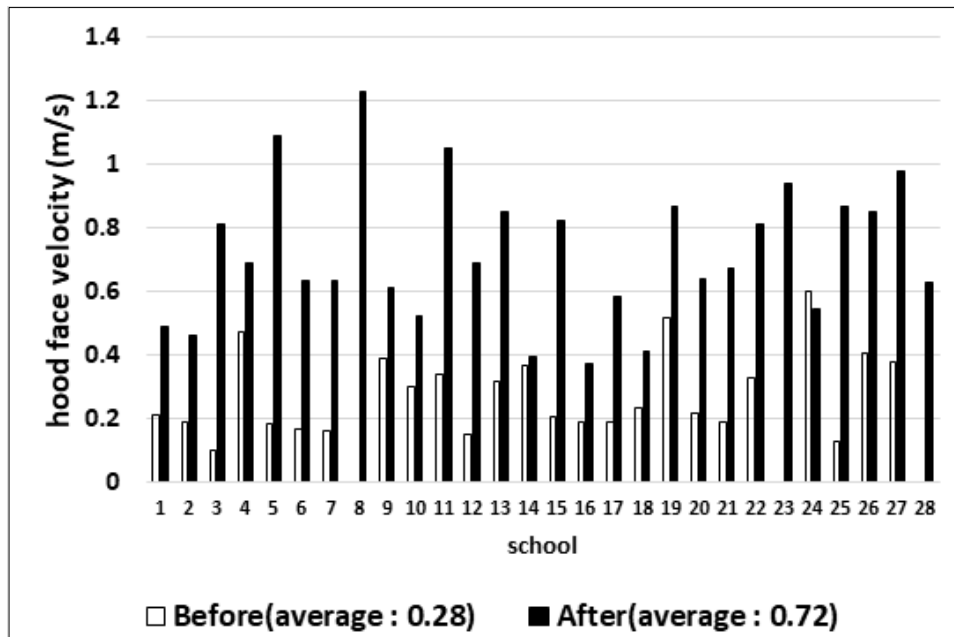


Figure 4. Hood face velocity before and after renovation

Table 5. Comparison of hood face velocities(m/s) of cooking equipment in three schools

	School A	School B	School C	Hood face velocity in Minstry of Employment and Labor
Griddle and gas range	0.70	0.40	0.90	0.7
Soup cauldron	0.53	0.40	0.60	0.5
Frying cauldron	1.00	0.90	0.80	0.7
Oven	0.60	0.20	1.40	0.5
Dish washer	0.70	0.35	0.30	0.7
Rice cooker	1.00	0.80	0.70	0.5

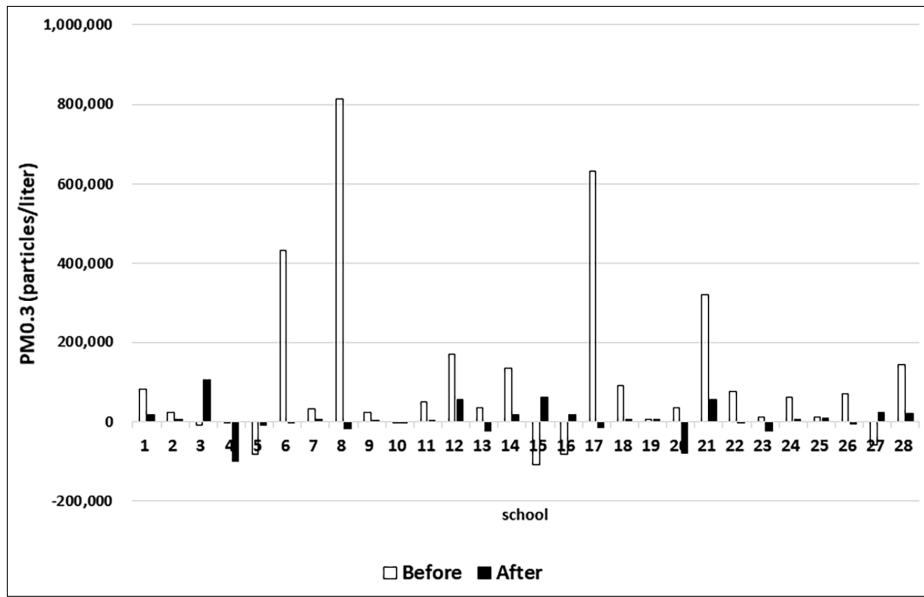


Figure 5. PM_{0.3} concentrations before and after renovation

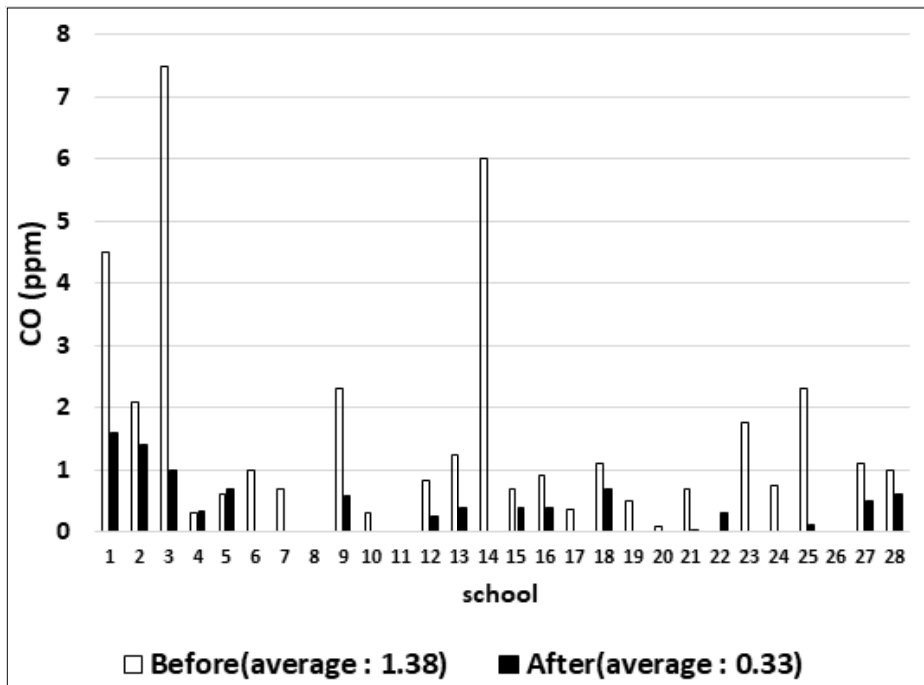


Figure 6. CO concentrations before and after renovation

내부 측정은 검수 및 전처리를 마친 후 본격적인 조리 과정이 진행 될 때 공간을 나누어 조리기구에 가깝지 않은 곳 8군데에서 농도를 측정하여 평균을 산출하는 방식이다. 전처리부터 배식 직전까지 약 2-3시간 정도가 걸리게 되는데 PM_{0.3} 측정 시간은 조리과정 중간 정도이고 외부 농도 측정은 내부 측정작업을 다 마친 후

측정하였기 때문에 1-2시간의 시간차가 발생할 수 밖에 없는 상황이었다. 또한 공간농도를 측정하고 있을 때 주변 조리 강도에 따라 변화가 상당히 많을 수 밖에 없기 때문에 “-”농도가 발생될 수도 있다. 그렇지만 본 연구 결과는 개선 후에 PM_{0.3} 농도가 급격히 감소됨을 잘 보여주고 있다. 단순히 평균을 내면 “-”농도가 발생

하여 개선 전후 효과를 비교하기 힘들기 때문에 개선 전후 “-”농도가 한번이라도 발생한 학교 16군데를 제외한 12개 학교의 개선 전후 평균농도를 계산하였다. 개선 전 평균농도는 84,082 개/liter, 개선 후 15,190 개/liter로 개선 후 PM_{0.3} 농도가 82% 줄어든 것으로 나타났다.

조리실 내부 일산화탄소 농도도 평균 1.38ppm에서 0.33ppm으로 감소함을 알 수 있었다. 작업환경 노출기준(8시간 평균 30ppm)과 비교할 때 낮은 농도이긴 하지만 조리흡, 고온, 습기 등에 노출되어 있는 환경에서 일산화탄소 농도까지 높게 되면 쉽게 피곤해지는 경향을 호소하는 조리종사자들도 더러 있었다(Figure 6).

IV. 고 찰

교육부에서 2000년부터 발간 및 개정해오고 있는 “학교급식 위생관리 지침서”(참고문헌)에는 후드 형태는 열기기 보다 사방 15cm 크게 하며, 스테인리스 스틸 재질로 제작하되 적정각도(30° 정도)를 유지하도록 하고, 응축수 및 기름이 조리기구로 떨어지지 않도록 하고, 후드 청소가 용이하도록 기름받이 및 기름입자 제거용 필터를 설치한다. 덕트는 가급적 천장 아래로 노출되지 않도록 하고, 급기 덕트는 필터를 통해 급기되도록 한다는 정도의 내용이 언급되어 있다. 그러나 후드의 배기유량에 대해서는 아무런 언급이 없다. 국토교통부의 “기계설비 기술기준”에는 주방환기량을 각 후드의 면풍속 0.3m/s 이상으로 설계하거나, 전체환기일 경우 시간당 공기교환횟수 40회 이상을 만족하도록 규정하고 있다.

학교 급식실 노동자가 폐암 산재 승인을 받아 안전보건공단에서는 단체급식소의 환기시설에 대한 표준지침을 마련하기 위해서 “학교 조리실 환기장치 실태조사 및 표준 환기방안 마련 연구”를 수행하였다. 이 연구에서는 미국 ACGIH(미국 산업위생가협회의)의 “Industrial Ventilation Manual”과 미국 ASHRAE(미국 냉동공조학회)의 “ASHRAE Standard : Ventilation for Commercial Cooking Operations” 등의 연구자료를 참고하여 후드 형태, 후드 개구면 유속 등에 대한 지침을 마련하였다. 이 연구를 바탕으로 2021년 12월에 고용노동부에서 “학교 급식조리실 환기설비 설치 가이드”를 발간하였고, 2022년 12월에 KOSHA Guide “단체급식시설 환기에 관한 기술지침”을 제시한 후 2023년 8월에 지침을 개정하였다. 본 연구의

연구 결과를 상당 부분 반영하여 기술지침이 개정되었다.

지침의 주요내용을 살펴보면 후드 모양은 우산형에서 박스형으로 변경하고, 후드 양측면에 패널(Side Panel)을 설치하고, 후드가 너무 높게 설치되어 흡입효율을 떨어뜨리지 않도록 하였으며, 양면조리대(아일랜드 후드)는 가능한 한 설치하지 말도록 권유하고 있으며, 어쩔 수 없는 경우에 기류 유도판을 설치하여 방해기류의 영향을 최소화시키도록 하였다. 후드의 흡입방향은 조리원의 호흡영역을 보호하기 위해 조리원과 반대 방향으로 하되, 후드 흡입구를 조리원 정면 방향으로 최대한 멀리 설치하도록 하였다. 조리원 “호흡기 보호”에 대한 첫 번째 언급으로 판단된다. 후드 개구면 유속은 부침기, 가스렌지, 튀김솥, 식기세척기에 대해서는 0.7m/s, 나머지 조리기구 후드는 0.5m/s를 유지하도록 하였다. 덕트는 후드 폭 1.8m 간격으로 1개 이상 설치하도록 했으며, 가지 덕트 마다 댐퍼를 달아 유량 조절이 가능하도록 하였으며, 덕트 강판 두께는 0.8mm 이상으로 하게 했으며, 반송속도는 후드와 연결된 덕트의 경우 5m/s 전후, 주덕트는 10m/s 이하로 유지되도록 했다. 송풍기는 주변 민원이 우려될 경우 차음 및 흡음설비를 갖추도록 했으며, 유증기라인과 수증기라인을 분리시키도록 했고, 각 송풍기 마다 인버터를 설치하여 계절에 따라 풍량을 조절할 수 있도록 하였다. 급기는 상시 배기량의 80~90% 정도를 유지하도록 했으며, 자연급기구를 통해 들어오는 공기는 2.5m/s 이하로 하고, 후드와 근접한 곳에서는 1.5m/s 이하로 하여 방해기류에 의한 후드 흡입 흐름이 방해 받지 않도록 하였다. 기존 안전보건공단 기술지침에 본 연구가 영향을 미친 주요한 사항은 첫째, 조리원 호흡영역을 보호하기 위한 오염공기 흡입방향에 대한 내용이 되겠고, 둘째 송풍기에 인버터를 설치하여 필요에 따라 송풍량을 조절할 수 있게 했고, 마지막으로 급기 방식과 급기의 방해기류 영향을 최소화하는 내용이 었다.

앞으로 해결해야 할 가장 큰 과제는 급기에 대한 문제로 예전에 비해 송풍량이 2배 이상 증가했고, 밥솥과 식기세척기에도 후드를 설치하면서 추가적으로 송풍량이 더 늘어난 상태이다. 급기를 하지 않을 경우 필연적으로 출입문과 창문을 통한 강한 기류가 유입되어 후드 흡입 흐름을 무력화시킬 수 밖에 없다. 대부분의 조리실 천정은 층고가 낮아 덕트 공간이 충분치 않은 경우가 많기 때문에 외부 공기를 끌어와서 조리실 내부로 공급하기가 쉽지 않을 뿐 아니라 온습도 조절이 되지



Figure 7. Photo of server table

얇은 외부 공기를 바로 넣을 경우 조리실 작업환경이 악화되는 계절이 생길 수 밖에 없는 실정이다. 그렇다고 온습도를 조절하기 위한 공기조화장치를 도입할 경우 설치할 공간이 부족하거나 비용이 너무 많이 드는 문제점이 있다. 경상남도의 경우 대부분의 학교 식당에 조리실과 연결된 식당이 있기 때문에 식당의 냉난방 시스템을 이용하여 식당 창문을 통한 외부공기 유입으로 별도의 급기시스템이 없이 자연급기로 이 문제를 해결할 수 있다. 문제는 식당 창문으로 유입된 외부 공기가 식당과 조리실 사이의 배식대 개방공간을 통하여 유입되기 때문에 배식대 통과유속이 너무 빠르게 되면 후드 흐름을 파괴할 수 밖에 없다.

Figure 7에 보인 바와 같이 배식대를 제외한 창문(점선)과 출입문(일점쇄선)이 막혀 있어 후드를 통해 공기를 배기시킬 경우 배식대를 통해서만 공기가 유입된다. 출입문을 닫으면 배식대를 통해서만 공기가 유입되기 때문에 굉장히 빠른 속도로 유입되어 가까이 있는 후드 기능을 파괴하게 된다. 출입문을 완전히 개방하더라도 유입속도가 빠른 경우에는 Figure 8의 창문(점선) 부분

을 개방하여 유입속도를 떨어뜨려야만 된다. 유입속도는 현장 연기실험 및 유입속도 측정 결과, 가능한 한 1.5m/s이하로 가져가는 것이 좋은 것으로 보인다.

현장에서 느끼는 또 하나의 문제는 후드 개수가 많고 후드 표면적도 늘어나서 청소량이 많아졌고, 청소 때 따른 안전사고나 근골격계 질환이 늘어날 수도 있다는 우려가 있다. 특히 과거에는 후드의 필터 면적이 아주 작았지만, 새로운 기술지침에 따르면 후드 개구면적의 25% 정도 크기의 필터를 설치해야 되기 때문에 필터 탈부착 및 세척에 상당한 어려움을 겪고 있다. 또한, 유증기가 발생되는 튀김솥, 가스렌지, 부침기 후드에 사용되는 오일미스트를 잡기 위한 필터는 철망을 여러 겹 사용하는 필터나 기류의 급격한 회전에 의해 입자를 제거해주는 절곡필터가 있다. 그러나 필터 면적이 늘어나면서 유증기용 필터가 너무 무거워 탈부착하는데 어려움이 많을 뿐 아니라 세척이 거의 불가능하다는 문제점이 있다. 이를 극복하기 위하여 한점으로 된 가는 철망에 불연성 부직포를 붙여서 사용하면 가볍고, 세척이 필요 없다는 장점이 있으므로 이에 대한 현장 적용을

위한 작업이 필요하다고 판단된다.

본 연구를 수행하면서 가장 아쉬웠던 점은 조리원 호흡영역 농도를 측정하여 후드 모양, 후드 흡인유량 등의 건강보호 효과를 분석해보고 싶었으나 여의치 않아 연기실험으로 대신할 수 밖에 없었다. 아직 조리흡에 대한 측정 방법이 정립되어 있지 않았고, 조리흡 발생량 변동이 너무 심해서 이를 적절히 표준화 시키는 것이 불가능하여 연기실험으로 대신하였다. 특히 본 연구의 초점이 호흡영역 농도를 줄이는 것이어서 더 더욱 아쉬웠다.

시범학교를 대상으로 공사 후 점검을 실시하였을 때 확실한 사후 감리가 필수적인 것으로 판단되었다. 공사 마무리가 시원찮은 것은 두 말 할 것도 없고, 설계 대로 되어 있지 않은 경우가 많았다. 따라서, 공사 후 감리는 필수적인 것으로 판단되었으므로 이에 대한 제도적인 장치가 필요한 것으로 판단된다. 또한, 향후 몇 년간 교육부에서 학교 급식실 개선사업을 실시할 예정에 있다. 현재 까지 정해진 안전보건공단의 기술지침이 지속적으로 개정되기 위해서는 이에 대한 전국규모의 세미나를 통한 세부적인 개선방향의 장단점에 대한 토론의 장이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

V. 결 론

경남지역 28개 시범학교 급식조리실 개선 전후 환기 성능을 평가한 결과 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 급식조리실 송풍기 댓수는 개선 전 1.4대에서 개선 후 2.4대로 증가하였고, 송풍량은 260CMM에서 794CMM으로 3배 이상 증가한 것으로 나타났다. 후드 개구면 유속이 개선 전 0.29m/s에서 개선 후 0.7m/s로 2배 이상 증가되었다.
2. 조리작업 중 발생하는 미세먼지(PM_{0.3}) 농도는 외부 미세먼지 농도를 보정하여 비교한 결과 1/20로 감소되었고, 일산화탄소 농도도 개선 전 1.38ppm에서 개선 후 0.33ppm으로 감소하였다.

본 연구의 결과로 안전보건공단의 KOSHA Guide 개정에 영향을 미친 내용으로는 후드가 너무 높게 설치되지 않도록 하였으며, 후드 흡입구를 조리원 정면 방향으로 멀리 설치하여 조리원의 호흡영역 농도를 줄이고자 하였으며, 소음문제를 해결하기 위하여 덕트 두께

를 0.8mm로 하였으며, 송풍기에 인버터를 설치하여 상황에 맞게 송풍기 회전수를 조정하여 사용할 수 있도록 하였다. 또한 배식대를 통한 자연급기 방식을 제안하였다.

아쉬웠던 점은 조리원 호흡영역 농도를 측정하여 후드 모양, 후드 흡인유량 등의 건강보호 효과를 분석해보고 싶었으나 여의치 않아 연기실험으로 대신할 수 밖에 없었고, 설계단계와 공사 후 확인이 필수적임에도 불구하고 이에 대한 감리제도가 없어 이에 대한 논의가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2023~2024년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임

References

- ASHRAE. ASHRAE Handbook—HVAC Applications Chap. 31 Kitchen Ventilation. 2007
- ASHRAE. Ventilation for Commercial Cooking Operations : ANSI/ASHRAE Standard 154-2022. 2022
- Halton, Halton Design Guide for Indoor Air Climate in Commercial Kitchens, 2007
- Hocine A, Poncet S, Fellouah H. CFD Modelling of the CO2 Capture by Range Hood in a Full-Scale Kitchen. Building and Environment, 2020: 183, 107186
- Huang RF, Nian YC, Chen JK, Peng KL. Improving Flow and Spillage Characteristics of Range Hoods by Using an Inclined Air-Curtain Technique. Ann. Occup. Hyg., 2011: 55(2) 164-179
- Kim S, Lee I, Lee K, Kim J, Kwon M. Diameters Analyses of Fine Particles Emitted When Mackerels Cooked. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 2017: 33(4) 361-369
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Guide for installation of school kitchen ventilation system. 2021
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA).. KOSHA Guide W-26-2023: Technical guide for ventilation system of institutional food service. 2023
- Ministry of Education, "Press release : Improvement Strategy for School Kitchen Environment" 2023
- Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI). Hazardous substances in the air during cooking and respiratory health effects school

cafeteria workers and work environment. 2019
Occupational Safety and Health Research Institute
(OSHRI). Survey on school kitchen ventilation system
and development of standard ventilation system
development. 2021

Swierczyna R, Sobiski P, Fisher D, Cole T, Bramfit M. Effect
of Appliance Diversity and Position on Commercial
Kitchen Hood Performance. ASHRAE Research
Project Report RP-1202 2005

Zhao Y, Liu L, Tao P, Zhang B, Huan C et al. Review of
Effluents and Health Effects of Cooking and the
Performance of Kitchen Ventilation. Aerosol and Air
Quality Research, 2019: 19 1937-1959

<저자정보>

손종원(석사과정생), 김태형(교수), 하현철(대표이사),
김병훈(국장), Kritana Prueksakorn(교수)