IMPROVING AIR QUALITY IN THE SCHOOL KITCHEN

환경
ENVIRONMENTAL DESIGN

이지현 Lee Ji Hyun
학번 : 2201413
e-mail : n03_a@naver.com

전지은 Jeon Ji Eun
학번 : 2201421
e-mail : wjswldms1589@naver.com

이지현 · 전지은 | 이지하지 팀

학교 급식 조리실의 공기 환경 개선

조리 시 발생하는 조리 흄은 폐 질환을 유발하는 발암 물질이다. 주 5회 일 평균 2시간씩 조리 흄에 노출되는 급식 조리실 작업자의 근무 환경 개선을 목적으로 실시된 '학교 급식 조리실 환기 설비 개선 사업'은 고용노동부에서 제시한 환기 설비 설치 가이드를 따르는데, 풍량 중심적인 환기 설비 설치 기준만으로는 실제 작업 공간 내에서 발생하는 기류 교란과 공기 정체를 해결하는 데에 한계가 있다. 따라서 후드 포집 효율과 공기 정체 측면에서의 기류 분포 최적화 설계를 진행해 기존의 풍량 중심 설계 대비 개선된 공기 환경을 조성하고자 한다.

ENVIRONMENTAL DESIGN

학교 급식 조리실의 공기 환경 개선

Improving Air Quality in the School Kitchen

학교 급식 조리실의 공기 환경 개선

설계 배경

학교 급식 조리실 환기 설비 설치 가이드에 따르면, 급식 조리실은 기본적으로 후드를 통해 국소 배기하되 작업 공간에 공기가 정체되지 않도록 환기 설비를 설치할 것을 권고하는 반면, 풍량에 대한 기준만을 제시하고 있다. 풍량이 과할 시, 기류 교란을 유발하여 작업 공간 내에 와류를 형성하고 공기를 정체시키는 요인으로 작용할 수 있다는 점에서 기류 분포 또한 고려 대상이 되어야 한다고 생각해 이 주제를 선정했다.

설계 대상 건물의 현황

주소 | 전북특별자치도 군산시 미룡로 32-8, (미룡동 898-8)
준공연도 | 1동 2002-12-09, 2동 2009-08-25 (사용승인일)
전체 학생 수 | 528명 (남 260명, 여 268명)
급식 조리실 작업자 수 | 7명
최근 리모델링 이력 | 군산 용문초 식생활관 환기 설비 개선 전기 공사 (2024)

■ 대상 건물 선정 이유

군산 용문초등학교는 전북특별자치도 및 군산시 대비 수업 교원 1인당 학생 수와 학급 평균 학생 수가 많으므로 조리해야 할 급식의 절대적인 양과 환기 요구량이 많다. 또한, 2024년에 리모델링한 점을 고려하여, 환기 설비 설치 가이드를 준수한 모델의 공기 환경 해석을 진행함으로써 풍량 중심 현행 규정의 부족한 점을 파악하고 보완하기에 유리하다고 생각해 대상 건물로 선정했다.

작업 시간	작업 내용
7:30 ~ 8:30 (1시간)	재료 준비
9:00 ~ 11:00 (2시간)	조리
11:00 ~ 13:20 (2시간 20분)	배식
13:20 ~ 14:20 (1시간)	뒷정리

급식 조리실 작업 일정

■ 작업 구역 구획 및 환기 설비 현황

설계 방향

학교 급식 조리실 환기 설비 설치 가이드의 규정을 모두 충족하는 작업 공간의 기류 분포와 공기령을 통해 작업 공간 내 공기 환경을 파악하고 부족한 점을 보완하는 설계 대안을 수립했다.

■ 환기 설비 설치 규정 대비 현황 파악

구분	급기 설비		
	총 급기량	총 배기량	급기량/배기량
현황	8,944m³/s	13,235m³/s	현재 67.58%
가이드			배기량의 90% 이하

급기 설비 관련 규정

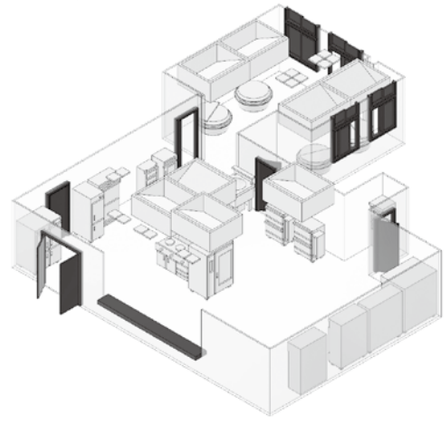
구분	풍량		
	바닥 면적	총 급기량	단위 면적당 풍량
현황	122.76m²	8,944m³/s	분당 급기량 536.64/24,552 = 21.86배 초과
가이드			1m² 당 0.2m³/min → 24,552m³/min (0.409m³/s) 확보

풍량 관련 규정

구분	후드 개구면 유속		
	후드와 인접한 조리 기구	풍량	유속
현황	가스 자동 취사기	1,611m³/s	0.723m/s
가이드	밥솥 근처		0.5m/s 이상
현황	가스 회전식 튀김/볶음솥	2,297m³/s	1.031m/s
가이드	튀김솥 근처		0.7m/s 이상
현황	가스/스팀 회전식 국솥	1,498m³/s	0.672m/s
가이드	국솥 근처		0.5m/s 이상

후드 개구면 유속 관련 규정

■ 3D 모델링



입체적인 CFD 시뮬레이션 해석을 위한 3D 모델링

현장 답사를 통해 얻은 정보와 설계 도서를 기반으로 3D 모델링을 작성했다. 조리 기구 중 국솥과 같은 솥 종류는 반구로 조형하는 등 CFD 시뮬레이션의 해석 방식에 맞춰 실제 작업 공간과 최대한 유사한 환경을 조성하고자 했다.

■ CFD 시뮬레이션 경계 조건

급식 조리실로 통하는 모든 창문과 출입문은 닫혀 있다고 가정하고 경계 조건을 설정했다. 재료의 경우, 주요 구조부(바닥, 벽체, 천장)는 타일, 창문과 출입문은 유리, 체적은 공기로 설정했다. 표면 열 전달 계수의 경우, 주요 구조부에 각각 5W/m2K 씩 부여했다. 또한, 급식 조리실과 식당 사이 개구부의 압력은 0으로 지정했다.

구분		종류		수량	소비 전력 (W)	재료
일반 작업 구역	조리 기구	냉장고	양문형	1	1,000	스테인리스강 (316)
			상하 개폐형	1	400	
		가스 테이블 (3구)		1	6,800	
		스팀 컨벡션 오븐		1	60,000	
		앞치마 소독고		1	1,500	
		가스 부침기		1	33,000	
		고무 장갑 소독고		1	600	
		가운 소독고		1	1,500	
		칼/도마 소독고		1	600	
		전동 세미기		1	750	
		가스 자동 취사기		2	26,700	
		고무 장화 소독고		1	1,500	
청결 작업 구역		가스 회전식 국솥		1	36,100	
		가스 회전식 튀김/볶음솥		1	36,100	
		스팀 회전식 국솥		2	24,000	

급식 조리실 내 주요 조리 기구 경계 조건

구분	일반 작업 구역			
	환기 설비		에어컨 (18도)	
종류	급기	후드 (배기)	급기	배기
수량	8	4	2	2
체적 유량 (m³/s)	0.559	1.611	1.017	1.118
재료	스테인리스 강 (316)		ABS (성형)	

일반 작업 구역 환기 설비 경계 조건

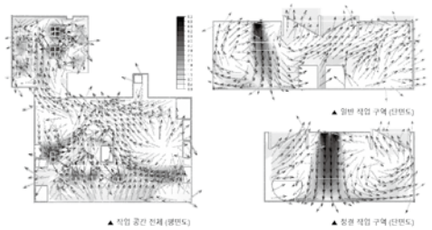
구분	청결 작업 구역		
	환기 설비		
종류	급기	후드 (배기)	
		국솥	튀김/볶음솥
수량	8	3	1
체적 유량 (m³/s)	0.559	2.297	1.498
재료	스테인리스 강 (316)		

청결 작업 구역 환기 설비 경계 조건

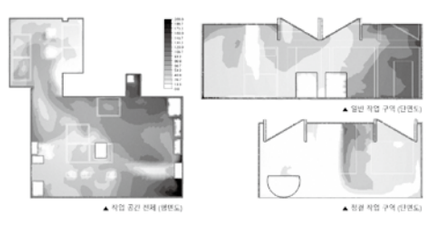
현재 급식 조리실 공기 환경 파악

경계 조건을 바탕으로 CFD 시뮬레이션을 진행했다. 평면도의 경우, 작업자 호흡 선 부근의 기류 분포를 보고자 급식 조리실 작업자 평균 신장 159.4cm 기준 호흡 선에 해당하는 145cm 높이에서 잘랐다.

■ 기류 속도 (단위 : m/s)



■ 공기령 (국소 평균 사용 기간) (LMA) (단위 : sec)



■ 설계 목표에 따른 설계 변수 설정

설계 목표		기류 교란 개선	단락 현상 개선	평균 공기령 90초 이하	후드 포집 효율 상승
개선하고자 하는 현상 (현황)	일반 작업 구역	에어컨과 인접한 급기구와 에어컨의 급기구를 통해 각각 유입되는 공기가 충돌하며 와류를 형성함	급기구를 통해 유입된 공기는 즉시 배출되고 배출되어야 할 공기가 작업 공간을 순환함	와류가 형성된 구간의 최대 공기령 202초로, 우측 상단의 공기가 정체됨	급기구를 통해 유입된 공기가 밀려 들어오며 조리 기구(오염원)를 거친 공기가 작업자 호흡 선 방향으로 확산함
	청결 작업 구역		급기구를 통해 유입된 공기가 작업 공간을 충분히 순환하지 않고 후드로 빨려 들어가 즉시 배출됨	가스 회전식 국솥 및 튀김/볶음솥 인근 상단의 공기가 정체됨	
	작업 공간 전체	급기구를 통해 유입된 공기가 작업자와 직접 접촉하지 않으며, 급기되는 공기와 배기되는 공기의 경로가 겹치지 않도록 함	급기구를 통해 유입된 공기가 작업 공간을 충분히 순환한 뒤 후드를 통해 배출될 수 있도록 함	평균 공기령 90초 이하로 단축시켜 조리 기구(오염원)를 거친 공기가 작업 공간 내 장기 체류하지 않도록 함	조리 기구(오염원)를 거친 공기가 작업자 호흡 선 방향으로 확산하지 않고 즉시 후드를 통해 배출될 수 있도록 함
설계 변수 설정		급기구 위치 변경			
		급기구 풍량 조절		급기구 풍량 조절	
				후드 면 경사 조정	

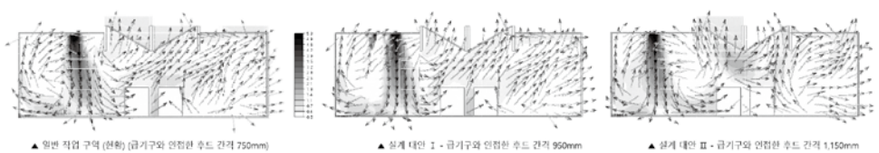
설계 대안별 공기 환경 분석 (CFD 시뮬레이션)

■ 설계 대안 채점 기준

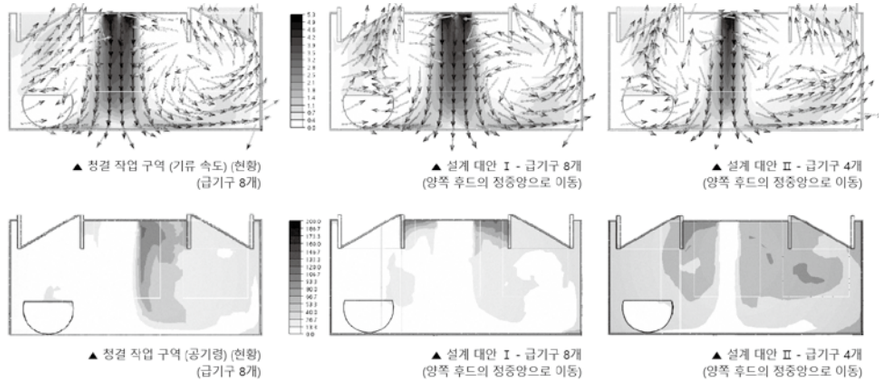
기호	◎	○	△	×
의미	완전 해결	부분적 해결	현상 유지	악화

■ #CASE 1 급기구 위치 설계 I

급기구와 인접한 후드(배기) 간의 거리를 넓히는 식으로 설계 대안을 계획했다. 일반 작업 구역의 경우, 현재 간격은 750mm, 급기구와 벽의 간격을 고려해 200mm 단위로 이동시키며 기류 분포의 변화를 파악했다.



청결 작업 구역의 경우, 현재 인접한 후드와 급기구 사이 거리는 450mm 이다. 현황에 대한 CFD 시뮬레이션 당시 공기 정체 구역 발생 원인의 하나로 스팀 회전식 국솥에 인접하게끔 급기구를 편중 배치한 것을 꼽았기 때문에 설계 대안은 양쪽 후드의 정중앙에 두면서 풍량을 50% 감소하는 것으로 계획했다.



구분	현황	설계 대안	
	후드 – 급기구 간격 750mm	950mm	1,150mm
설계 목표	단락 현상 개선 및 후드 포집 효율 상승		
기호	급기구를 통해 유입된 공기가 밀려 들어오며 조리 기구(오염원)를 거친 공기가 작업자 호흡 선 방향으로 확산함	○	◎

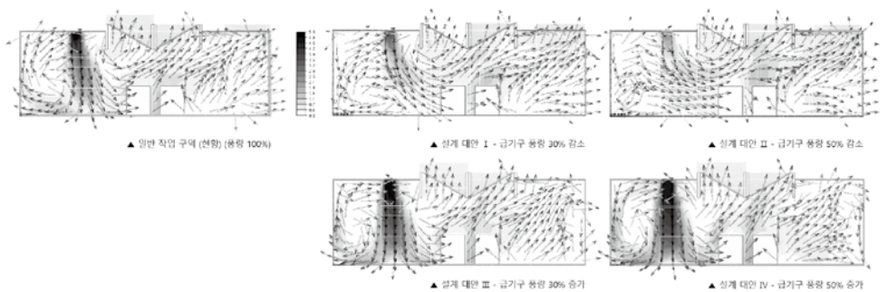
일반 작업 구역 급기구 위치 설계 I 평가

구분	현황	설계 대안	
	후드 – 급기구 간격 450mm	양쪽 후드의 정중앙	+ 풍량 50% 감소
설계 목표	공기 정체 구역 개선 (평균 공기령 90초 이하)		
점수	스팀 회전식 국솥에 편중된 급기구 배치로 인해 최대 125초간 조리 기구(오염원)를 거친 공기가 체류함	○	◎

청결 작업 구역 급기구 위치 설계 I 평가

■ #CASE 2 급기구 풍량 설계

일반 작업 구역의 급기구를 통해 유입된 공기가 즉시 배출되는 현상을 개선하고자 일반 작업 구역의 급기구 8개의 풍량을 30%, 50% 씩 감소시키는 것과 증가시키는 설계 대안을 계획했다.

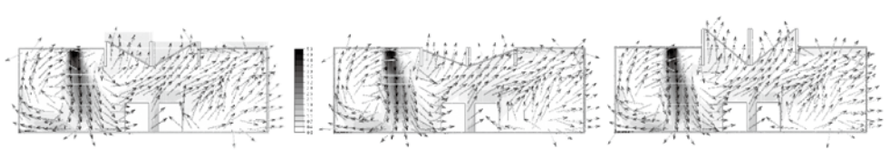


구분	현황	설계 대안			
	0.559m³/s	30% 감소 (0.391m3/s)	50% 감소 (0.279m3/s)	30% 증가 (0.727m³/s)	50% 증가 (0.839m³/s)
설계 목표	단락 현상 개선 및 후드 포집 효율 상승				
기호	급기구를 통해 유입된 공기가 조리 기구(오염원)를 거친 공기와 충돌하며 작업자 호흡 선 방향으로 확산함	×	×	△	△

일반 작업 구역 급기구 풍량 설계 평가

#CASE 3 후드 면 경사 설계

조리 기구(오염원)를 거친 공기가 후드를 통해 즉각적으로 배출되지 못하고 작업자 호흡 선 방향으로 확산하는 현상을 개선하고자 일반 작업 구역 내 후드 면 경사를 각각 20도, 40도로 조정하는 설계 대안을 계획했다.



▲ 일반 작업 구역 (현황) (후드 면 경사 30도) ▲ 설계 대안 Ⅰ - 후드 면 경사 20도 ▲ 설계 대안 Ⅱ - 후드 면 경사 40도

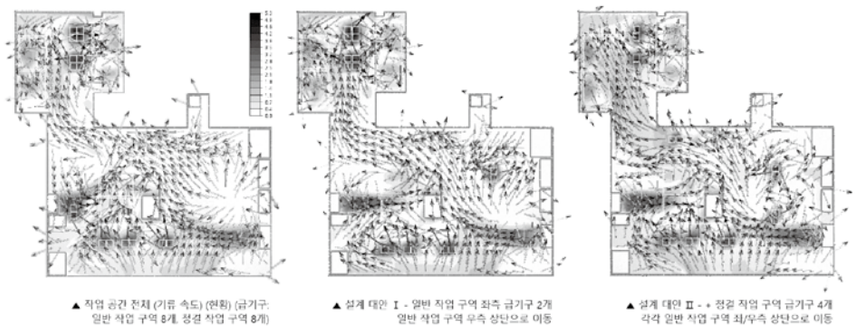
구분	현황	설계 대안	
	후드 면 경사 30도	20도	40도
설계 목표	단락 현상 개선 및 후드 포집 효율 상승		
기호	조리 기구(오염원)를 거친 공기가 작업자 호흡 선 방향으로 확산함	×	×

일반 작업 구역 후드 면 경사 설계 평가

#CASE 4 급기구 위치 설계II (공기 정체 구역 개선)

일반 작업 구역 좌측 에어컨 앞에 위치한 급기구를 우측 상단의 공기 정체 구역으로 이동시키고, 추가로 청결 작업 구역의 급기구 4개를 일반 작업 구역에 2개씩 분산 배치하는 설계 대안을 계획했다.

기류 속도 (단위 : m/s)



▲ 작업 공간 전체 (기류 속도) (현황) (급기구: 일반 작업 구역 8개, 청결 작업 구역 8개) ▲ 설계 대안 Ⅰ - 일반 작업 구역 좌측 급기구 2개 일반 작업 구역 우측 상단으로 이동 ▲ 설계 대안 Ⅱ - + 청결 작업 구역 급기구 4개 각각 일반 작업 구역 좌/우측 상단으로 이동

공기령 (국소 평균 사용 기간) (LMA) (단위 : sec)

▲ 작업 공간 전체 (공기령) (현황) (급기구: 일반 작업 구역 8개, 청결 작업 구역 8개) ▲ 설계 대안 Ⅰ - 일반 작업 구역 좌측 급기구 2개 일반 작업구역 우측 상단으로 이동 ▲ 설계 대안 Ⅱ - + 청결 작업 구역 급기구 4개 각각 일반 작업 구역 좌/우측 상단으로 이동

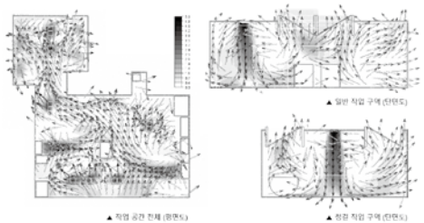
구분	현황	설계 대안	
	급기구: 일반 작업 구역 8개, 청결 작업 구역 8개	일반 작업 구역 좌측 하단 급기구 2개 우측 상단으로 이동	+ 청결 작업 구역 급기구 4개 각각 일반 작업 구역 좌측 상단, 우측 하단으로 이동
설계 목표	공기 정체 구역 개선 (평균 공기령 90초 이하)		
기호	최대 공기령 202초	○	△

급기구 위치 변경 설계II(공기 정체 구역 개선) 평가

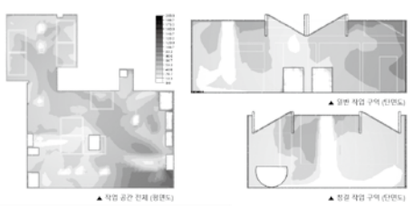
최종 설계 대안

일반 작업 구역의 경우, 좌측 에어컨 앞에 위치한 급기구 2개를 우측 상단으로 이동시키고 가스 테이블과 인접한 후드와 급기구 사이 간격을 1,150mm 로 조정했다. 청결 작업 구역의 경우, 급기구 8개 중 4개를 양쪽 후드의 정중앙에 배치하고, 남은 급기구 4개 중 2개는 제거, 2개를 작업 구역간 통로로 이동시켰다.

기류 속도 (단위 : m/s)



공기령 (국소 평균 사용 기간) (LMA) (단위 : sec)



기존 풍량 중심 설계와의 차별점

기류 분포 및 공기령 최적화 설계를 진행한 결과, 급기구 2개가 줄어들어 기존 풍량 중심 설계 대비 전체 풍량은 약 12.5% 감소했으나 공기 정체 구역이 개선되고 조리 기구(오염원)를 거친 공기가 작업자 호흡 선 방향으로 확산하지 않게 되었다.

설계 목표 달성 및 개선 사항

작업 공간의 90%에 달하는 공간의 공기령이 80초 이하이며, 평균 공기령은 약 90초로 목표를 달성했다. 급기구 위치 설계를 통해 작업 공간 전체의 후드 포집 효율을 높였고 청결 작업 구역의 급기구가 8개에서 4개로 줄어들었음에도 국소 배기 성능을 확보하는 등 작업자에게 더 나은 공기 환경을 조성했다.