

주방후드에서 보급공기의 영향

- The Effect of Makeup Air on Kitchen Hoods -

Richard T. Swierczyna and Paul A. Sobiski
(ASHRAE Journal, Vol. 45, No. 6, 2003)

번역: 장경진 / 정회원 한영전문대학 (kjang@mail.hanyeong.ac.kr)

키워드: 보급공기(Makeup Air : MUA), 포집효율(Capture and Containment : C&C), 상업용 주방 환기 (Commercial Kitchen Ventilation :CKV), 배기풍량(Exhaust Airflow Rate)

주방환기의 계획에 있어서 조리시 발생하는 오염물질을 적절히 배기시키는 것이 가장 중요하다. 기구의 배치와 발열량을 평가하고, 후드의 위치와 종류 그리고 덕트직경과 경로를 결정하며 적절한 풍량을 제거하기 위한 배기팬을 선정한다. 그러나 일반적인 실내 공기밸런스 계획을 시행함에도 불구하고 배기된 체적에 해당하는 풍량을 보충 공급하는 방식에 대한 고려는 현재 상대적으로 부족한 상태이다.

머리말

보급공기(makeup air: MUA)의 분배를 간과하게 되면 다른 부분에서 잘 설계되었다 하더라도 주방후드의 성능에 부정적인 영향을 미치게 된다. 부적절한 보급공기의 도입으로 인하여 실내 기류속도가 커지고 교차기류(cross draft)가 발생하여 조리시 주방기구로부터 생성되는 오염물질을 포집하는데 어려움이 있을 수 있다. 이렇게 실내로 방출되는 오염물질에는 대류열, 연소물질(이산화탄소, 수증기와 일산화탄소)과 조리과정으로부터 발생하는 그리스 증기와 입자, 냄새, 수증기와 다양한 탄화수소 가스들의 생성물 등이 있다.

전반적인 상업용 주방환기의 문제점으로 실내공기질, 화재예방, 안전성, 종업원의 쾌적성, 장비의 원가, 운전 에너지비용, 유지관리비용 등이 있다. 본고에서는 후드 성능에 있어 보급공기의 도입으로 인하여 발생할 수 있는 부정적인 영향을 최소화할 수 있는 기술을 소개한다.

보급공기(MUA)의 문제점을 연구하기 위해, 주정부

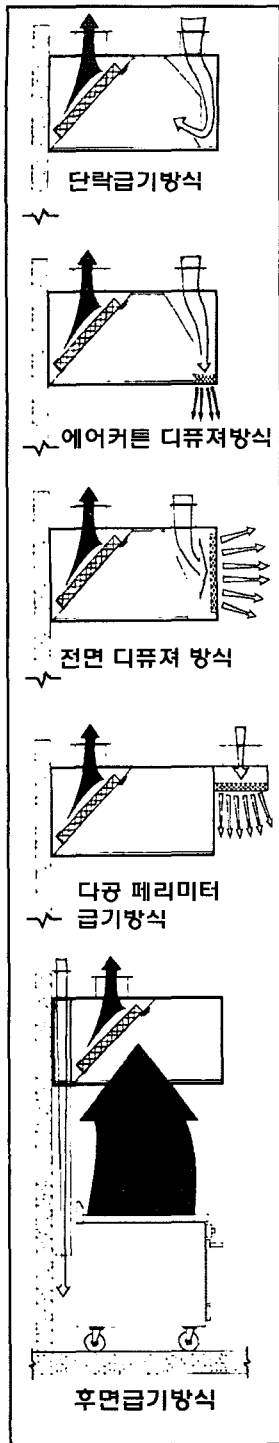
에너지기구(state government energy agency)¹⁾와 여러 단체의 후원을 받아 2년간 연구프로젝트가 수행되었다. 이 연구에서 보급공기의 도입으로 인하여 상업용 주방환기장치의 포집(capture and containment, C&C)성능에 미치는 영향에 초점을 맞추었다. 여기서 후드, 주방기구, 조리조건, 보급공기와 기타 변수들의 조합에 따른 영향을 고찰하였다.

다음과 같은 세 개의 후드타입에 대해서 측정실험을 수행하였다: 벽부착형 캐노피(wall-mounted canopy), 단독형 캐노피(island-mounted canopy)와 근접형 백셸프(proximity, backshelf). 전형적인 요리조건을 구성하기 위해 각각 중량의 장비와 경량의 장비를 나타내는 석쇠(charbroilers)와 가는 석쇠(griddles)를 사용하였다.

여섯 가지의 보급공기 도입방식, 즉 변위환기(displacement ventilation)를 기본조건으로, 천장 디퓨저(ceiling diffuser), 전면 디퓨저(front face diffuser), 에어커튼 디퓨저(air curtain diffuser), 후면 급기(backwall supply)와 단락 급기(short-circuit supply)방식(그림 1) 등을 사용하였다. 실험에 사용된 일부 후드와 보급공기 장비는 상업용 주방설비에서 찾아볼 수 있는 형태를 반영하기 위해 약간의 수정을 가하였다.

충분한 포집효율을 제공하는 가장 효과적인 보급공기 방식을 결정하기 위해 연구팀은 다음과 같은 가정을 바탕으로 실험을 수행하였다.

만약 보급공기 방식이 배기후드 성능에 아무런 영향을 미치지 않는다면(즉, 기본조건인 변위환기 방식과 동일하다면), 오염물 포집효과는 유지하면서



[그림 1] 후드에 적용된 보급공기 방식

연구대상인 보급공기 방식을 통해 배기되는 공기의 100%를 교체하는 것이 가능하다.

측정에 사용된 각각의 보급공기 방식 및 형태에 따라서 보급공기 풍량이 큰 경우에 대해서 방출물질과 열적 플룸(thermal plume)을 완전하게 포집하기 위한 배기후드의 능력을 절충하고 있다는 사실을 보였다. 일반적으로, 후드성능은 보급공기의 온도가 높을수록 (즉, 32℃보다 높은 경우) 차가운 공기 (즉, 24℃보다 낮은 경우)일 때보다 좋지 않은 결과를 보였다.

상업용 주방환기시스템 성능시험

“후드의 포집효율”이란 조리시 발생하는 그리스를 포함한 증기, 대류 열 그리고 생성되는 또 다른 물질들을 포집하는 후드의 성능으로서 ASTM F1704-99 Standard Test Method for the Performance of Commercial Kitchen Ventilation System²⁾에 정의되어 있다. ASTM F1704-99의 기준에 따라 포집효율을 검증하기 위하여 설리렌(Schlieren)과 음영(shadowgraph)가시화 시스템을 사용하여 측정하였다. 이러한 방법은 조리과정에서 발생하는 열적 또는 유해 물질적 플룸을 가시화하기 위한 기술이다. 설리렌 시스템은 뜨거운 포장도로에서 관찰되는 효과와 유사하게 열적 플룸내의 공기 밀도차에 의한 난류패턴의 이미지를 보여준다.

가동되지 않는 조리기구들을 이용한 포집효율의 평가는 상대적으로 간단하고 반복적인 작업을 통해 이루어지게 된다. 조리과정 동안의 포집효율의 평가를 위해 지속적인 유해물질의 방출이 필요하므로 실질적인 대용 발생물이 요구된다. 햄버거 조리시 6분간의 조리시간 중 대략 10초 동안 유해물질의 방출량이 최대가 되므로 햄버거 조리과정을 플룸 시뮬레이션에 대한 기본조건으로 사용하였다.

석쇠(charbroiler)를 이용한 경우에 대해서는 지정된 조리조건에 대한 플룸에 대응하게 하기 위해 천연가스의 유량을 증가시켰다. 가스용 가는 석쇠(gas griddle)를 이용한 플룸 시뮬레이터는 뜨거운 조리 표면에 물을 분무하는 방식으로, 정밀한 조절을 위해 니들밸브를 사용하고 제어를 위한 시간 릴레이 밸브와 압력조절기를 사용하였다.

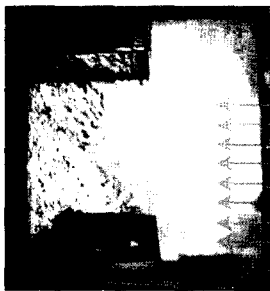
변위환기에 의한 포집 기준시험에 대해 열적 플룸이 실내로 흘러넘칠 때까지 배기풍량을 감소시켰다. 이후 배기풍량을 서서히 증가시키면서 포집효율이 최대값에 도달할 때까지 실험하였다. 이 상태에서의 배기풍량이 완전한 포집을 위한 한계(threshold)포집 배기풍량이 된다. 이 값은 기타 보급공기 방식들을 비교판단하기 위한 기준 자료로 이용된다. 교차기류에 의한 성능감소를 평가하기 위해서는 반복적이며 실질적인 교란이 필요하다. 이 작업을 위해 후드의 전면 구석으로부터 사선으로 송풍기를 받침대에 부착하였다.

대부분의 국소 MUA 방식 실험에서, 초기에는 배기풍량을 변위환기

MUA 기준시험에 의해 결정된 포집효율이 되도록 설정하였다. 국소 보급공기 풍량은 한계포집효율을 초과하는 시점(즉, 유출이 관찰되는 시점)까지 증가시켰다. 이 보급공기 풍량은 후드 성능에 영향을 미치지 않는 최대 보급공기 풍량으로서 이 때의 포집효율이 치환배기에 대한 상대적인 값으로 비교된다.

천장 4웨이 디퓨저(ceiling four-way diffuser)에 대해서는 일반적인 국소 MUA 포집시험 방법과 다르게 수행되었다. 시험은 472 L/s (1000 cfm)의 일정한 풍량을 갖도록 수행되었으며, 포집효율이 한계값에 도달할 때까지 배기시스템을 조절하였다. 보급공기 풍량은 배기풍량의 한계 증가량을 결정하기 위해 점차적으로 증가시켰다. 이 과정은 배기풍량과 보급공기 풍량의 비율을 결정하고 보급공기의 효과를 결정할 수 있게 한다. 다음의 내용은 최적시스템 성능의 관점에서 고찰한 연구결과를 보인다.

변위 디퓨저



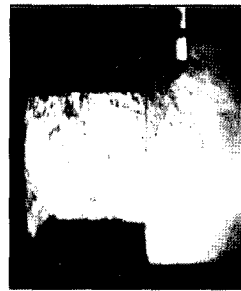
Displacement diffusers

변위환기는 균일하며 거의 층류에 가까운 유동을 공급하므로 본 연구의 기본조건이 된다. 이러한 저속의 유동은 적은 배기풍량에 대해 최적의 포집효율을 보인다. 그러므로 그림에 나타나 있는 변위 디퓨저로부터 공급되는 보급공기는 실내공기를 교환시키는 가장 효과적인

방법이다. 불행하게도, 변위 디퓨저를 상업용 주방에 적용하기 위해서는 일반적으로 많은 바닥 또는 벽체 내부 공간을 필요로 하게 된다. 다른 공간으로부터 공기의 전달이 불가능한 경우 주방에 도입되는 보급공기의 분배를 원활히 하기 위해 코너부분에 멀리 떨어진 변위 디퓨저를 설치할 수 있다.

에어커튼 급기

대부분의 후드 생산업체는 에어커튼을 통해 공급되는 보급풍량 비율의 한계값을 배기풍량의 20% 미만으로 권장하고 있다. 이러한 저속 기류에서, 에어커튼 방식은 세부적인 설계에 의해 포집효율 값을 높이고 있다. 그러나 실험에서 에어커튼은 높은 풍량에서



Impact of air curtain

최악의 성능을 나타내고 있는 것으로 나타났다. 쉘리렌 유동가시화 실험결과과는 벽부착 캐노피 후드에 대하여 후드 아래에서 가열되고 있는 두 개의 생선구이기가(broilers)가 작동할 때, 에어커튼에 의한 부정적인 영향을 보이고 있다.

에어커튼을 통해 보급공기를 도입하는 것은 위험한 방식이 될 수 있다. 만약 속도가 최소치로 유지되지 않거나 설계자가 에어커튼에 대한 성능데이터를 제공하지 않는다면 에어커튼 방식은 권장되지 않는 방법이다. 일반적인 에어커튼 방식은 용이하게 조절이 가능하며, 의도하지 않게 보급공기 유출속도가 규정된 속도보다 높아지는 경우 조리시 방출물질이 주방으로 유출되게 된다.

단락 급기(내부 MUA)



Excessive internal MUA

내부 MUA 후드는 규정에 따라서 배기후드에 의하여 요구되는 공조공기량을 최소화하기 위해 개발되었다. 이 방법은 배기후드 내부에 공조되지 않은 보급공기의 일부를 직접 도입함으로써 이루어진다. 추운 기후에서는 응축의 발생과 조리표면의 냉각 등의 바람직하지 못

한 효과가 발생하기도 한다. 실험실 측정에서 나타난 바와 같이 단락 후드가 과도한 내부 MUA에 의해 운전되는 경우 조리에 의해 발생하는 오염물질의 포집효과가 떨어지게 되며, 비록 위의 그림에서는 전면 유출이 관찰되기는 하나 거의 모든 경우 후드의 뒷면으로 유출된다. 그러나 만약 설정된 배기풍량이 배기만을 하는 방식의 C&C 최대치 보다 크다면, 단락 풍량은 그에 따라 명백한 이점을 보이는 조건까지 증가시킬 수 있다. 단락 형식의 실험에 대해, 방출물질의 실내로 유출시키지 않는 평균 보급풍량 비율은 한계포집 배기풍량의 15%이다.

전면 급기



Poorly designed perforated front face supply

후드의 앞면을 통해 공급되는 방식은 많은 후드업체에서 권장하는 형식이다. 이론적으로, 공기는 후드의 전면을 통해 주방공간에 수평으로 취출된다. 그러나 만약 취출되는 공기의 속도와 방향이 제대로 설계되지 않으면, 루버 또는 다공면을 통해 후드 전면에서 취출되는 공기는 좋지 않은 결과를 가져올 수 있다. 위의 그림은 부적절하게 설계된 다공면을 통해 공급되는 공기가 에어 커튼방식 또는 천장형 4웨이 디퓨저와 같이 후드 포집성능에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 보여주고 있다.

전면취출방식의 성능을 개선하기 위해, 다공판의 이중 층 또는 내부 격판 등을 이용함으로써 균일함 기류흐름을 유도하도록 개선할 수 있다. 게다가, 후드의 아래 모서리 부분과 보급공기가 유출되는 면의 바닥부분 사이의 거리를 멀게 함으로써 후드의 포집을 방해하는 MUA 공급 경향을 감소시킬 수 있을 것이다. 일반적으로, 유출 면속도는 0.75m/s를 초과하지 않으며, 앞면에서 수평방향으로 취출되어야 한다.

다공 페리미터 급기



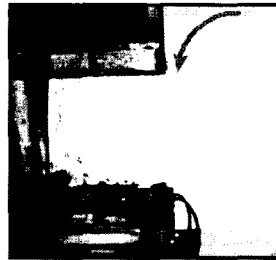
Perforated perimeter supply

다공 페리미터 급기방식은 전면급기방식과 유사하나 공기의 취출방향이 그림에서 볼 수 있듯이 후드 포집영역을 향하여 아래방향으로 향하고 있다. 이 방식은 공기의 취출방향이 후드 포집영역 방향으로 향하고 있기 때문에 일부 조건에서는 이점을 가져올 수 있다.

적절한 후드 성능을 위해서는 디퓨저 단면에서의 유출속도가 0.75m/s를 초과해서는 안 되며 후드의 아래 모서리 부분과의 거리는 0.5m보다 가까워서는 안 된다. 만약, 이러한 조건을 만족시키지 못하면, 이 방식은 에어커튼 방식과 같은 효과를 가져오게 된다.

주어진 보급공기 풍량에 대해 플리넘의 유출면적이 증가할수록 기류속도는 감소하며, 포집에 영향을 미칠 수 있는 가능성이 줄어들게 된다. 만약 다공 페리미터 급기방식이 후드의 측면부분을 따라 증가하면, 증가된 면적에 따라 비례적으로 보급공기의 공급량을 증가시킬 수 있다.

4웨이 천장 디퓨저



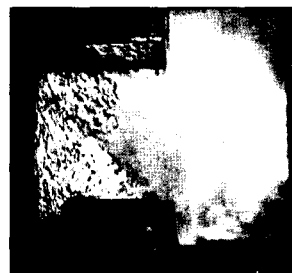
Four-way diffusers

그림에서와 같이 주방 배기후드에 인접하여 설치된 4웨이 디퓨저는 후드성능에 부정적인 영향을 미치게 되며, 특히 디퓨저를 통한 급기 유동이 설계 제한범위 내에 접근해 있는 경우에는 더욱 부정적인 영향을

미치게 된다.

다공판 천장 디퓨저는 후드에 인접하여 사용될 수 있으며, 주어진 풍량에 대해 천장 디퓨저의 개수가 증가할수록 공기 속도는 감소하게 된다. 적절한 후드 성능을 확보하기 위하여 후드 부근에 설치된 디퓨저로부터 취출되는 공기는 후드를 향해 직접적으로 취출되어서는 안된다. 만약 천장에서 취출된 공기가 후드를 향해 직접 공급된다면, 디퓨저 취출면에서의 공기의 유출속도는 후드 포집면 모서리 부분에서의 터미널 속도가 0.25m/s를 초과하지 않도록 설계 값을 조정해야 한다.

후면 급기



Backwall supply

그림에서와 같이 실험실 측정에서 나타나듯이 후면급기방식은 보급공기를 도입하는 아주 효과적인 방식이다. 캐노피 후드를 통한 후면 급기방식의 실험에서 방출물질의 실내 유출을 유발시키지 않기 위해 도입되

는 평균 보급공기 비율은 한계포집 배기풍량의 46%

이다.

적절한 성능을 확보하기 위해, 후면 급기방식은 도입 보급공기의 높은 속도에 의해 가스버너와 점화용 불꽃 부근에서의 간섭을 방지하기 위해 조리면으로부터 적어도 0.3m 이상 떨어져야 한다. 유출면적이 넓은 후면 플리넨은 유출속도가 최대치 보다 작은 한 풍량을 증가시킬 수 있다. 이상적으로, 후면 급기를 통해 도입되는 풍량은 후드 배기풍량의 60%보다 커서는 안된다.

후드성능에 영향을 미치는 다른 요소들

후드스타일

벽부착(wall-mounted) 캐노피 후드는 단독형(single-island) 후드에 비해 적은 배기풍량으로 효과적인 기능을 나타낸다. 단독형 후드는 벽부착 후드에 비해 교차기류와 보급공기에 의해 좀더 민감한 영향을 받는다. 근접형(proximity) 후드는 적은 C&C 배기풍량을 보이며, 일부의 경우에는 벽부착 후드에서 요구되는 풍량의 1/3의 배기풍량만으로도 동일한 효과를 가져 올 수 있다.

교차기류

교차기류는 모든 후드/장비에 대해 부정적인 영향을 미치게 되며, 벽부착 캐노피 후드 보다는 단독형 캐노피 후드에 더 부정적인 영향을 미치게 된다. 특히 조리면적을 향해 주방내 설치되어 있는 송풍기는 후드 성능의 저하에 큰 영향을 미치게 되며 포집이 불가능할 수도 있다. 교차기류의 발생으로 인하여 배기풍량이 적어도 37% 이상 증가되어야 하며, 어떤 경우에는 배기풍량이 235% 증가되어도 포집효과를 거두지 못하는 경우가 있다. 교차기류는 주방내의 움직임, 포터블 송풍기, 또는 HVAC시스템의 불균형에 의하여 발생할 수 있다.

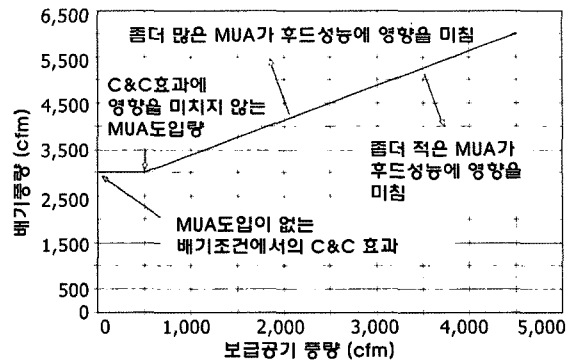
측면패널과 돌출부

측면패널은 후드 정면에서 교환공기를 유입하게 하기 때문에 대부분의 경우 필요한 배기풍량을 줄일 수 있다. 측면패널의 설치는 정적인 조건에서 평균 10~15%, 동적인 조건(교차기류)에서 최대 35%까지 포집성능을 향상시킨다. 이 방법은 상대적으로 포집성능을 확보하기 위한 저가의 방법이며, 전체 배기풍

량을 감소시킬 수 있다. 부분적인 측면 패널의 적용은 실질적으로 전체 패널 방식에 따른 이점과 동일한 효과를 가져올 수 있다. 측면패널의 가장 큰 이점 중 하나는 교차기류에 의한 부정적인 효과를 감소시켜 주는 것이다. 돌출부 길이를 증가시킴으로써 조리과정으로부터 급격히 증가하는 많은 체적의 방출물질을 포집하는 능력을 증가시킬 수 있다.

MUA 이용전략과 C&C 배기풍량

연구 준비단계에서 예상하지 않았던 것은 국부적인 보급공기의 도입에 따라 얼마나 C&C 한계값들이 민감하게 반응하느냐 하는 것이었다. 주어진 MUA 방식에 따라 배기풍량의 10% 보다 적은 보급공기 풍량이 공급되는 경우 종종 방출물질의 유출현상을 관찰할 수 있다. 그림 2에 주어진 후드/MUA 방식에서 보급공기 풍량이 증가함에 따라 배기풍량이 변화하는 일반적인 경향을 보여주고 있다. 이 그래프에서, MUA의 국부적인 공급이 없는 경우의 C&C 배기풍량은 1400L/s(3,000cfm)이다. 국부 MUA의 풍량이 236 L/s (500 cfm)에 도달할 때까지 그래프 곡선의 기울기가 수평을 이루듯이 배기풍량의 증가를 필요로 하지 않는다. 보급공기 풍량이 236 L/s (500 cfm)를 넘는 경우 배기풍량은 일정한 포집 성능을 유지하기 위해 증가시켜야 한다. 실험대상 후드/MUA 시스템에서는 보급풍량이 매 0.47 L/s (1 cfm) 증가할 때 마다 0.35 L/s (0.75 cfm)의 배기풍량 증가를 요구한다. 좀더 성능이 우수한 MUA 방식에서는 국부 MUA 풍량이 증가할수록 C&C 성능



[그림 2] 보급공기가 배기풍량에 미치는 영향

을 유지하기 위해 배기풍량의 증가를 가져오지 않을 수도 있다.

맺음말

국부적으로 공급되는 보급공기가 후드성능에 미치는 부정적인 영향을 감소시키기 위해 가장 기본적으로 취하여야 할 점은 후드 근처에서 공급되는 보급공기의 속도(m/s)를 최소화시키는 것이다. 이 방법으로는 임의의 단일 분배시스템을 통해 공급되는 보조공기의 풍량(L/s)을 최소화시키는 방법, 보급공기가 공급되는 디퓨저의 면적을 최대화하는 방법 또는 다양한 경로를 통해 분배하는 방법 등이 있다.

만약 후드 부근에서 공기 속도가 0.25m/s 보다 작다면, 일반적으로 변위환기 디퓨저를 통해 공급되는 보급공기, 가능한 후드에서 멀리 떨어진 천장에 위치한 다공 디퓨저를 통해 공급되는 보급공기 또는 식당으로부터 유입 전달되는(transfer) 공기의 효과에 의해 후드성능이 잘 발휘될 수 있다. 그러나 배기후드 근처에서 공급되는 보급공기는 후드의 포집효율을 저해하는 잠재적인 가능성을 가지고 있다. 전체 배기풍량에 대한 국부적인 보급공기의 비율이 증가함에 따라 보급공기가 후드성능에 영향을 미칠 가능성도 증가한다. 실제로, MUA 시스템을 통해 공급되는 풍량을 경험치의 대략 80% 정도만 공급하는 것이 문제의 해결책이 될 수도 있다.

필요한 보급공기량을 줄일 수 있는 첫 번째 방법은 설계 배기풍량을 감소시키는 것이다. 이 방법은 UL

에 등록된 후드³⁾를 신중하게 선택하여 적용함으로써 이룰 수 있다. 후드 성능을 증가시키기 위한 캐노피 후드에 측벽 칸막이 또는 후벽 칸막이를 두는 것은 교차기류를 완화시키며 열적증가를 감소시킬 수 있는 좋은 방법으로 권장된다.

다음 방법으로, 식당 환기를 위한 규정을 만족시키기 위해 HVAC 시스템에 의해 공급되는 외기를 잘 이용함으로써 보급공기의 풍량을 감소시킬 수 있다. 건축적 레이아웃에 의해, 이러한 공기의 대부분을 주방 쪽으로 이동시킬 수 있다. 비록 이러한 방법이 과거의 경험에 의해 반대에 부딪힐지라도, 후드의 성능은 보다 나아질 것이며, 주방환경은 공조된 식당 공기의 공급에 의해 좀더 개선될 것이다.

참고문헌

1. Brohard.G.,el al. 2003. Makeup Air Effects on Kitchen Exhaust Hood Performance California Energy Commission. Sacramento, Calif.
2. ASTM, 1999. Test Method for Performance of Commercial kitchen Ventilation Systems. Standard F 1704-99. American Society for Testing and Materials, West-Conshohocken. Pa
3. 1999 ASHRAE Handbook-HVAC Applications. Chapter 30. Kitchen Ventilation. 