에어커튼형 주방 레인지후드의 배기 특성

Exhaust Characteristics of Kitchen Hood System with Inclined Air Curtain

성순경(Sun-Kyung Sung)[†]

가천대학교 설비소방공학과

Department of Building Mechanical System and Fire Protection Engineering, Sunnam 461-701, Korea

(Received July 28, 2014; revision received September 24, 2014; Accepted: October 8, 2014)

Abstract There have been many cases that the air curtain installed in the apartment can not well remove the gases such as carbon dioxide and particles such as smokes, oils and vapors generated during the cooking to disperse the pollutants into the room. This study uses the numerical analysis to show how the pollutant-removing performance of the range hood is changed when the air curtain is installed on the range hood of kitchen.

As a result of the study, it turned out that, when the air amount supplied by air curtain through the slot was about 60% of exhaust amount, the capturing efficiency of range hood for pollutants increased by 70~80% more than the case without the air curtain.

Even when the exhaust amount was small, the capturing efficiency was improved a lot with the use of air curtain. In case that the air flow velocity of slot was greater than 2 m/s, the capturing efficiency turned out to decrease.

Key words Range hood(레인지후드), Kitchen(주방), Air curtain(에어커튼), Capture efficiency(포집효율), Slot(슬롯)

[†] Corresponding author, E-mail: sksung@gachon.ac.kr

기호설명

b_o	: 에어커튼 슬롯의 폭 [m]
u_o	: 에어커튼의 슬롯 출구속도 [m]
g	: 중력가속도 [m/s^2]
h	: 엔탈피 [J/kg]
p	: 압력 [N/m^2]
E	: 조리대의 폭 [m]
H	: 개구부의 높이 [m]
T	: 온도 [K]
x	: 슬롯에서의 수평방향 이격 거리 [m]
y	: 슬롯에서의 수직방향 이격 거리 [m]

그리스 문자

ϵ_c	: 포집효율
ρ	: 밀도 [kg/m^3]
μ	: 절대점성 계수 [$kg/(m \cdot s)$]

하첨자

c	: 주위공기
w	: 실내
o	: 슬롯의 출구

1. 서 론

주거용 건물인 공동 주택에서 실내 공기 오염에 큰 영향을 주는 것은 조리로 인한 것이다. 조리는 주로 가스레인지에서 이루어지며 조리과정에서 발생하는 오염물질은 입자상 물질과 가스상 물질로 대별될 수 있다. 입자상 물질은 음식물의 조리과정에서 배출되는 수증기와 기름입자 그리고 연기 등이 주류를 이루며 가스상 물질은 이산화탄소와 일산화탄소이다. 이때 발생된 물질은 가스레인지에서 발생된 고온의 기류로 인하여 음식의 냄새와 함께 실내로 빠르게 확산된다. 이 확산되는 오염물질을 배출하기 위하여 가스레인지 상단에 배기후드를 설치하여 사용하지만 대부분의 경우 다량의 오염물질이 실내로 확산되는 현상이 발생한다. 이는 최근의 창호 기밀 성능이 월등하게 높아짐에 따라 틈새바람이 거의 없고 별도의 외부 공기를 유입하는 유입구도 없는 상태에서 주방 레인지후드에서의 배기 효과가 현저하게 낮아지기 때문이다. 뿐만 아니라 배기 계통에서 필터의 막힘이나, 개별식 배기 방식일 경우 외기 풍속 증가로 인한 풍압의 상승으로 토출 측 정압이 상승하여 실제 배기 풍량이 적어지는 경우도 있다.

정상적인 레인지후드의 경우에도 조리기구 위에서 발생된 다량의 오염물질을 제거하기에는 주방후드에서의 면속도가 너무 낮아 발생 오염 물질이 흡입되지 못하고 주위로 확산되는 실정이다. 면속도에 영향을 주는 레인지후드의 배기 풍량은 후드의 돌출길이, 후드의 설치 형태, 후드와 가스레인지와의 거리, 조리 기구나 조리 대상에 따라 달라지므로 여러 변수를 고려하여 결정하여야 한다. 공동주택의 일반적인 레인지후드의 H/E 비는 1.25정도로써 배기풍량 $310 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때 면속도는 0.072 m/s 로 일반적인 기준값인 $0.2 \sim 0.25 \text{ m/s}$ 의 포속속도에 크게 미치지 못하므로 오염물질을 배출하기 위한 배기효과는 크게 떨어질 수밖에 없는 실정이다. 본 연구에서는 이와 같이 필요 풍량 보다 적은 배기 풍량일 때 보충공기로 외기를 흡입하여 하향 에어커튼으로 공급하여 주방후드의 흡입 면속도를 높일 수 있는지 연구하고, 이때 배기 효과에 미치는 영향과 특성을 알아보고자 하였다. 본 연구와 유사하거나 관련 있는 주방후드에 관한 국내 연구 동향을 살펴보면 Lim et al.은 주방 후드 내에 분리판과 주방에 급기 그릴을 설치하였을 때 실내 온도 분포와 CO_2 농도 분포에 관하여 연구하였으며,⁽¹⁾ Kim et al.은 배기그릴 방향 안쪽으로 수평급기가 적용된 렌지 후드에서의 최적 속도 선정을 위한 연구를 하였으며,⁽²⁾ Park et al.은 주방 레인지 주위에 상부방향으로 분출하는 “ㄷ”자 모양의 에어막을 설치하여 오염공기의 실내 확산을 방지할 때 공기의 포집효율에 관한 연구를 하였다.⁽³⁾ Sohn et al.은 후드 측면부에 에어커튼 및 배기 유도 노즐을 설치하여 포집효율을 향상하고자 하였으며,⁽⁴⁾ Koo et al.은 주방 레인지후드 좌우측과 전면에 하향 슬릿을 통한 에어커튼을 설치하였을 때 실험을 통하여 실내 공기 오염성능을 조사하였다.⁽⁵⁾ 이와 같이 주방 레인지후드에 관한 연구는 다양하게 이루어지고 있으나 하향 에어커튼의 토출조건에 따른 배기 효과에 대한 연구는 없는 실정이다.

2. 대상 설비와 해석 모델

2.1 대상 설비

본 연구에 이용된 대상 공간은 국내 중소형 공동주택의 주방 식당을 대상으로 하였으며, 주방의 공간은 Fig. 1과 같은 폭 3 m, 깊이 3 m, 높이 2.3 m로 설정하였다. 그 실의 삼면은 막힌 벽체로 가정하고 한 면은 상부와 측면에 200 mm 크기의 벽체가 있는 개방된 면으로 설정하여 배기에 필요한 추가 공기가 유입될 수 있도록 하였다. 실의 한쪽 면에는 가스대와 주방가구를 배치한 상태로 하였으며, 가스대와 레인지후드는

Fig. 1 Schematic drawing of the kitchen.

한쪽 벽 중앙에 설치하고, 가스대의 높이는 850 mm, 가스대 윗면에서 렌지후드 하부까지는 750 mm이다. 주방 배기용 렌지후드는 폭 600 mm인 범용적인 것을 기준으로 하였다. 레인지후드는 전면과 양 측면의 세면에서 바깥 방향으로 30도의 경사를 갖는 폭 20 mm의 토출슬릿을 설치하여 에어커튼의 역할을 하도록 하였으며, 레인지후드 하부 면에는 가로 400 mm, 세로 250 mm의 배기그릴을 통하여 배기한다. 그리고 가스대에는 4.2 kW인 대형 가스레인지 2구, 1.2 kW인 소형 가스레인지 1구인 것을 기준으로 하였다.

2.2 해석 모델

레인지후드에 의한 배기 성능을 해석하기 위하여 배기그릴에서의 배기량은 팬에 작용하는 정압이 변화함에 따라 15, 10, 5, 0 mmAq인 경우를 기준으로 $200 \text{ m}^3/\text{h}$, $270 \text{ m}^3/\text{h}$, $310 \text{ m}^3/\text{h}$, $380 \text{ m}^3/\text{h}$ 의 4단계인 경우로 하였다. 정압 5 mmAq일 때를 최대 풍량을 기준으로 하면 일반적인 렌지후드의 고, 중, 저 3단의 스위치를 갖는 경우와 비슷한 풍량이다.

급기슬릿의 토출풍속은 슬릿이 없는 경우와 Table 1과 같이 각 배기 풍량의 20%에서 60%까지 5가지 경우에 대하여 토출 풍속을 바꾸어 해석하였다. 이때 슬릿에서의 토출 풍속은 0.42 m/s 에서 2.4 m/s 까지의 범위를 가지고 있다.

그리고 조리대에서 발생하는 입자상 오염물질이 배기그릴을 통하여 제거되는 성능을 확인하기 위하여 가스레인지 위의 가열 팬을 통하여 1200개의 미세 입자가 발생하는 것으로 하였다. 이때 레인지후드를 통하여 입자상 오염물질의 배출성능은 식(1)과 같이 포집 효율 ϵ_c 로 나타내었다.⁽⁶⁾

$$\epsilon_c = \frac{N_e}{N_g} \quad (1)$$

Fig. 2 Schematic drawing of the range hood.

위 식에서 N_e 는 렌지후드를 통하여 배출되는 오염물질 입자의 수이고, N_g 는 가스레인지에서 발생하는 오염 입자의 수이다.

해석은 3차원 수치해석 방법으로 약 540만 개의 셀로 이루어진 비정렬 격자를 이용하였고, 레인지후드의 슬롯 주위와 가스레인지 주위, 그리고 배기구 주변은 유동 상태를 세밀하게 해석하기 위하여 조밀한 격자로 구성하였다. 수치해석은 정상상태로 계산하였으며, k- ϵ 난류모델을 사용하고, 급기슬롯의 난류강도는 0.05로 하였다.

레인지후드가 설치된 공간에서 유동현상과 설치 후의 성능을 해석하기 위한 지배방정식은 식(2)~식(4)와 같은 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식이다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + S_M \quad (3)$$

$$\frac{\partial u_j \rho h}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} k \frac{\partial T}{\partial x_j} + S_E \quad (4)$$

위 식에서 u_i 는 속도성분, p 는 압력, T 는 온도, S_M 은 운동량 생성항, S_E 는 에너지 생성항이다.

렌지후드에 부착되어 있는 에어커튼 성능에 관한 기본 개념은 Hayes와 Stoecker가 에어커튼을 설계하기 위한 토출공기의 속도에 관하여 아래와 같은 식(5)를 제안하였다.⁽⁷⁾ 이 식은 에어커튼 양쪽의 온도차로 인하여 발생하는 연돌효과에 대하여 가로지르는 힘인 에어커튼의 토출공기 운동량의 비를 나타낸 휩계수 D_m 으로 나타내었다.

이 식을 통하여 개략적인 에어커튼의 토출속도를 유추할 수 있으며 대략 2.1 m/s이다.

Table 1 Slot velocities of the range hood(m/s)

slot flow rate(%)	range hood flow rate	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
		380 m ³ /h	310 m ³ /h	270 m ³ /h	200 m ³ /h
a	60	2.4	1.96	1.7	1.26
b	50	2.0	1.63	1.42	1.05
c	40	1.6	1.3	1.14	0.84
d	30	1.2	0.98	0.85	0.63
e	20	0.8	0.65	0.56	0.42
f	0	0	0	0	0

$$D_m = \frac{b_o u_o^2}{gH^2 \left(\frac{T_o}{T_c} - \frac{T_o}{T_w} \right)} = \frac{\rho_o b_o u_o^2}{gH^2 (\rho_c - \rho_w)} \quad (5)$$

여기서 u_o 는 에어커튼의 토출속도[m/s], H 는 에어커튼의 공기 출구높이[m], T_o 는 슬롯 출구 온도[K]이다. 에어커튼이 안정된 기능을 발휘하기 위하여 에어커튼 슬롯의 제트 모멘텀이 최소 휩계수로부터 구해진 최소 모멘텀보다 커야한다. 만약 이 모멘텀보다 작으면 중간에서 휘어짐으로 인하여 에어커튼의 차단 기능을 상실하게 된다.

3. 해석 결과 및 고찰

3.1 에어커튼의 차단 효과

레인지후드를 이용하여 배기하는 경우 레인지후드의 슬롯에서 공급되는 공기를 후드의 바깥 30도 방향으로 분출되도록 하여 Fig. 3과 같이 에어커튼을 형성하고 후드로 유입되는 주위 공기의 유동면적을 작게 하여 후드의 면속도를 높여 줌으로 배출 오염물질의 확산을 줄이고자 하였다. 이때 슬롯에서 토출되는 공기속도에 따라 에어커튼의 형성 상태와 도달거리가 달라지므로 에어커튼 효과에 차이를 가져 온다.

Fig. 3은 Case 2-a인 경우로 에어커튼이 토출방향으로 형성되는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 에어커튼의 차단 역할로 인하여 후드의 면속도를 빠르게 할 수 있게 되어 오염물질의 확산을 줄이고 후드의 배기성능을 높일 수 있게 된다.

Fig. 4는 Fig. 3의 경우보다 슬롯의 토출속도가 훨씬 느린 Case 2-e의 경우로 슬롯 토출속도 0.65 m/s일 때 전면에서 본 수직단면의 속도 벡터이다. 이때 하부 가스 포트에서 올라오는 고온의 유동 공기로 인하여 슬롯에서 나온 토출공기의 에어커튼이 후드 외부의 위쪽으로 휘어지는 현상이 일어나 후드의 면속도를 높이는

Fig. 3 Velocity vectors at the vertical section (Case 2-a, jet velocity 1.96 m/s).

Fig. 4 Velocity vectors at the vertical section (Case 2-e, jet velocity 0.65 m/s).

역할을 하지 못하고, 아래 쪽 레인지에서 발생하는 오염물질이 외부로 빠져나가는 현상을 방지하지 못함을 알 수 있다.

각 배기 풍량에서 슬롯의 토출공기 속도에 따라 나타나는 휨 현상을 파악하기 위하여 유선을 따라 슬롯 출구에서의 거리를 슬롯의 폭으로 나누어 무차원수로 나타낸 선도를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5는 Case 1인 경우로 슬롯의 공기 토출 속도가 1.6 m를 넘는 a, b, c의 경우에는 상승되는 오염 공기를 차단하고 배기그릴 쪽으로 유도할 수 있는 에어커튼이 형성되고 있는 것을 볼 수 있다. 슬롯의 공기 토출 속도가 0.8 m/s, 1.2 m/s로 느린 경우에는 상승 기류에 의하여 위쪽으로 휘어지는 것을 볼 수 있다. 이 경우에는 에어커튼의 효과가 없고 포집효율이 낮아져 오염물질의 배기 성능이 별로 개선되지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 Case 3인 경우로 슬롯의 공기 토출 속도가 1.7 m인 a의 경우에는 상승되는 오염 공기를 차단하고 배기그릴 쪽으로 유도할 수 있는 에어커튼이 형성되고, 후드 안쪽으로 휘어지는 현상이 일어남을 볼 수 있다.

Fig. 5 Trajectory of the air stream for different slot velocities(Case 1).

Fig. 6 Trajectory of the air stream for different slot velocities(Case 3).

슬롯의 공기 토출 속도가 1.42 m/s, 1.14 m/s로 낮아진 b, c인 경우에는 상승 기류의 영향을 받아 수평 방향으로 회절하여 약간의 에어커튼 차단 성능을 나타내고 있고, 아주 느린 d, e의 경우에는 상부로 휘어 차단 효과가 별로 나타나지 않아 오염물질의 배기 성능 개선 효과가 아주 낮아지는 것을 알 수 있다. 이와 같이 여러 가지로 형성되는 에어커튼의 유동 형태는 슬롯 토출 속도에 따른 운동량 변화와 하부에서 상승하는 고온의 오염공기 유동이 상쇄되어 일어나는 현상으로 보인다.

3.2 오염물질의 배출 성능

각 배기풍량과 에어커튼을 통하여 공급되는 슬롯의 공급 풍량 비율에 따라 조리대에서 발생하는 오염물질을 레인지후드를 통하여 배출시키는 성능을 나타내는 포집효율이 Fig. 7과 같이 나타났다. 선도에서 보면 에어

Fig. 7 Capture efficiencies of the range hood at different slot flow rate.

Fig. 8 Capture efficiencies of range hood at different slot flow velocities.

커튼이 없을 때 배기량에 따라 포집효율은 30~47.5%로 반 이상의 오염물질이 실내로 확산되는 나타내고 있다. 각 배기 풍량 조건에서 슬롯을 통하여 공급되는 풍량을 증가시켜 슬롯의 토출공기 속도를 증가 시키면 포집 성능은 점차 증가함을 볼 수 있다. 배기풍량이 가장 적은 Case 4의 경우 30%에서 61%로 두 배 정도 개선되고, Case 2의 경우에는 40%에서 72%로 1.8배 개선되었으며, Case 3의 경우에는 42%에서 72%로 1.7배 개선되고, Case 4의 경우에는 48%에서 86%로 1.8배 개선되는 것을 알 수 있다. 다만 Case 1과 2의 경우에는 슬롯의 토출 풍속 비율이 60%일 때 오히려 50%인 경우보다 포집효율이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 각 배기풍량에서 슬롯의 토출풍속에 따른 포집효율을 나타낸 선도이다. 선도에서와 같이 슬롯의 토출풍속이 1.5 m/s 이하인 경우에는 배기풍량이 적은 경우가 포집효율의 개선효과가 더 큰 것을 알 수 있다.

며, 2 m/s를 넘는 경우에는 포집효율의 개선효과가 떨어지는 것을 알 수 있다.

이와 같이 슬롯을 통하여 공급되는 공기의 풍량이 배기풍량에 대한 비율에 따라 변화할 때 슬롯에서의 토출속도가 달라지고 그에 따라 형성되는 에어커튼의 형태가 변화하므로 오염물질의 포집효율이 달라지는 것으로 보여진다. 이때 토출기류의 속도가 너무 빠르면 오염물질의 일부가 외부로 유도되는 기류형태가 일어나 포집효율이 낮아지고, 적절한 토출속도인 경우에는 토출기류가 어느 구간을 지나면 속도가 감소하여 오염물질과 같이 배기구로 회절하여 포집효율이 높아지는 것을 볼 수 있으며, 토출속도가 너무 낮은 경우에는 가스레인지의 상승기류에 의한 에어커튼의 차단효과가 감소하여 포집효율이 낮아지는 것으로 보인다.

4. 결 론

공동주택의 주방 레인지후드에 에어커튼을 설치하여 보급공기로 사용할 때 레인지후드의 오염물질 제거 성능에 관한 연구 결과는 아래와 같으며, 앞으로 슬롯의 폭과 토출각도에 따른 포집효율 변화에 대한 추가 연구가 필요하다.

- (1) 에어커튼의 슬롯을 통하여 공급되는 공기의 양을 배기풍량의 60% 정도로 할 경우 오염물질의 포집효율은 에어커튼이 없는 경우에 비하여 약 70~80% 정도 개선되는 것을 알 수 있다.
- (2) 배기 풍량이 적은 경우에는 에어커튼을 설치하여도 포집 성능이 60% 정도로 나타나 최소 배기풍량을 늘려야 포집효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다.
- (3) 배기풍량이 적은 경우 에어커튼을 사용할 때 포집효율의 개선효과가 더 큰 것을 알 수 있다.
- (4) 에어커튼의 슬롯 토출속도가 2 m/s 정도일 때 포집효율의 개선효과가 가장 높게 나타났다.

후 기

본 연구는 2014년도 가천대학교 연구지원에 의한 결과임.

References

1. Lim, K. B., Lee, K. S., and Lee, C. H., 2006, A Numerical Study on the Flow Characteristics of Kitchen Hood System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 18, No. 4, pp. 359-369.
2. Kim, B. G., Choi, H. G., Yong, H. T., and Lee, M. H., 2005, Horizontal Air-Jet Effect on the Natural Convec-

- tion around a Range-Hood System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 17, No. 4, pp. 333-340.
3. Park, M. S., Lee, D. W., Kim, J. Y., and Lee, S. H., 2003, Experimental Study on Capture Efficiency of Kitchen Hood with Lower Make-up Air Supply Equipment, Proceedings of Sarek Summer Conference, pp. 1368-1372.
4. Sohn, D. Y., Lim, J. H., Choi, Y. H., and Park, J. H., 2007, A Numerical Study on the Performance Improvement of Kitchen Range Hood by Air Induction and Air Curtain, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 19, No. 4, pp. 321-327.
5. Koo, N. Y., Lee, Y. K., and Yong, Y. S., 2002, An Experimental Study on the air curtain range hood interrupting the diffusion of polluted air, Proceedings of Sarek Winter Conference, pp. 382-387.
6. Yuguo Li, and Angelo Delsante, 1996, Derivation of Capture Efficiency of Kitchen Range Hoods in a Confined Space, Building and Environment, Vol. 31, No. 5, pp. 461-468.
7. Hayes, F. C. and Stoecker, W. F., 1969, Design data for air curtains, ASHRAE Transactions, Vol. 75, pp. 168-179.