

유도공기 및 에어커튼을 이용한 주방 레인지후드 성능 개선에 관한 수치모사

손 덕 영, 임 지 흥, 최 윤 호[†], 박 재 훈^{**}

아주대학교 대학원 기계공학과, *아주대학교 기계공학부, **(주)지비아이티

A Numerical Study on the Performance Improvement of Kitchen Range Hood by Air Induction and Air Curtain

Deok-Young Sohn, Ji-Hong Lim, Yun-Ho Choi^{†*}, Jae-Hoon Park^{**}

Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea*

***GBIT Inc., Bucheon 421-805, Korea*

(Received January 2, 2006; revision received March 2, 2007)

ABSTRACT: In an apartment house that is generally air-tight and well insulated, the combustion gas from cooking devices is the major source of air pollution in the kitchen. It spreads throughout the house affecting the overall indoor air quality. In this study, the performance of the kitchen range hood which employs air induction and air curtain was investigated by numerical simulation. The results are compared with that of two other kitchen range hoods which are in general use. The two general types of range hoods considered in the present calculations are box and plate type range hoods. The former has a large capture space between the filter and suction duct, while the latter has little. It was found that the capture efficiency of the kitchen range hood with air induction and air curtain is higher than that of the general types of range hoods by 20% approximately. The reason may be because the air induction and the air curtain block the air stream escaping from the front and the side part of range hoods effectively and because an additional fan for air induction and air curtain increases suction flow rates.

Key words: Capture efficiency(포집효율), Kitchen(주방), Ventilation(환기), Range hood(레인지후드), Air induction(유도공기), Air curtain(에어커튼)

기호설명

m : 수증기 발생량 [kg/s]

p : 압력 [Pa]

Pr : Prandtl 수, ν/α

S_C : 농도방정식의 생성항 [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$]

S_T : 에너지방정식의 생성항 [W/m^3]

T : 온도 [K]

u : 속도 [m/s]

그리스 문자

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-219-2346; fax: +82-31-213-7108

E-mail address: ychoi@ajou.ac.kr

η : 포집효율

μ : 점성계수 [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$]

σ : Schmidt 수

하첨자

e : 배기구

l : 층류

t : 난류

total : 총 발생량

1. 서 론

실내 주거환경 중에서 공기질이 가장 나쁜 곳은 주방이다. 이는 주방에서 조리시에 발생하는 각종 연소가스와 임여열, 취기, 습기 및 입자성 물질 등의 유해물질에 그 원인이 있다. 이런 유해물질들이 제대로 배출되지 않으면, 주방뿐만 아니라 다른 방과 거실 등의 주거공간에도 나쁜 영향을 미치게 된다. 또한 주방에서 사용하고 있는 연소기구는 실내 산소량 부족의 원인이 되기 때문에 적절한 금기와 배기가 필수적이다. 현재 대부분의 국내외에서 생산되고 있는 레인지후드 제품은 발생한 오염물질을 배기팬 하나로 배출하고 있는데, 주거공간의 고기밀화로 인해 실내에는 과도한 음압이 발생하고 이로 인하여 레인지후드의 성능은 더욱 감소하여 포집효율이 50% 정도까지 떨어지게 된다.⁽¹⁾ 이로 인해 레인지후드에 대한 성능면에서 약 70%의 사용자가 불신하고 있으며, 50% 이상이 그 개선을 요구하고 있는 실정이다.⁽²⁾ 이에 본 연구에서는 레인지후드 주변에 에어커튼 및 배기 유도노즐을 일체형으로 장착하여, 별도 위치의 금기구 없이 단일 후드만으로 포집효율을 크게 향상시킬 수 있는 고성능 레인지후드를 고안하고, 수치해석적 방법을 통해 성능 및 열유동 현상을 예측한 후, 이를 기준의 주방 레인지후드의 경우와 비교하였다.

2. 수치해석 방법 및 경계조건

본 연구에서 고려하고 있는 3차원 주방모델에서의 유동, 열전달 및 농도변화 현상을 기술하는 비정상상태의 압축성유동 지배방정식은 식(1)~(6)과 같은 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식, 농도방정식, 난류 운동에너지방정식 및 난

류 운동에너지 소산율방정식이다.^(3,4)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) &= - \frac{\partial p}{\partial x_i} \\ &+ \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i} \{ u_i (\rho E + p) T \} &= \\ \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right\} + S_T \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho C) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i C) &= \\ \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\mu}{\sigma_l} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial C}{\partial x_i} \right\} + S_C \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) &= \\ \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu + \frac{u_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + G_k + G_b - \rho \epsilon \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \\ &+ C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,

$$\mu_t = \frac{c_\mu \rho k^2}{\epsilon} \quad (7)$$

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (8)$$

$$G_b = - g_i \frac{\mu_t}{\rho \sigma_h} \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} C_{1\epsilon} &= 1.44, \quad C_{2\epsilon} = 1.92, \quad C_{3\epsilon} = 0.09 \\ \sigma_k &= 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 1.3 \end{aligned} \quad (10)$$

위 식들에 나타나는 모든 변수는 밀도 ρ , 속도성분 u_i , 압력 p , 온도 T , 그리고 단위질량당 전에너지 E 를 포함하여 표준 기호로 정의되어 있다. S_T 와 S_C 는 각각 가스레인지 영역에서의 에너지 및 농도의 생성항을 뜻한다.

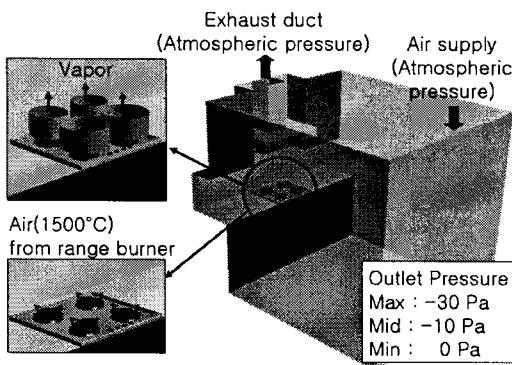


Fig. 1 Schematic of the computational domain and boundary conditions.

해석공간으로는 Fig. 1에서 보여지는 바닥면적 2.645 m^2 의 주방을 선정하였다. 계산영역의 크기는 대칭조건의 사용으로 실제영역의 1/2인 $2.9 \text{ m} \times 1.15 \text{ m} \times 2.3 \text{ m}$ 가 된다. 가스레인지은 바닥으로부터 0.9 m 높이에 위치해 있으며, 가스레인지로부터 0.7 m 위쪽으로 레인지후드가 위치해 있다.

Fig. 2는 계산에 사용된 레인지후드 주위의 격자를 보여주고 있으며, 이는 약 28만 여개의 셀로 이루어진 비정렬 격자이다. 격자는 계산에서 중요한 부분인 가스레인지와 레인지후드 주위로 매우 조밀하게 밀집되어 있다. 레인지 후드의 배출공기 유량은 '강', '중', '약'의 운전조건으로 선정하였으며, 각각의 운전조건에 대해, 출구 경계 조건 압력을 각각 -30 , -10 , 0 Pa 로 적용하였다. 또한, 레인지후드에서 2.5 m 떨어진 주방 천장부

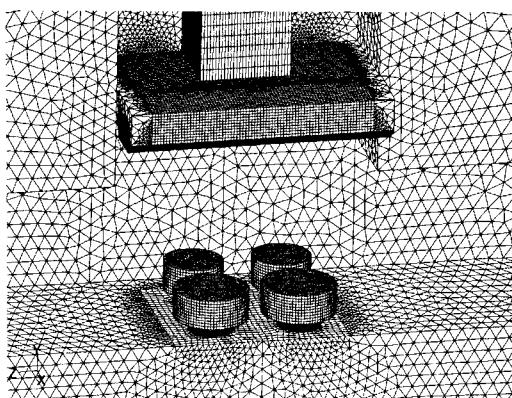


Fig. 2 Computational grid for the kitchen range hood.

분에 표준 대기상태의 급기구를 두어서 실외의 신선한 공기가 급기되도록 하였다. 가스레인지은 가정용 4구 가스레인지으로 4구 모두 가동하여 열량 발생 및 수증기, 오염공기 발생량이 가장 높은 상태의 조건을 주었다. 본 계산에서는 이러한 조건을 모사하기 위해 일반적인 도시가스의 불꽃온도를 고려하여 레인지 버너에서 $1,500^\circ\text{C}$ 의 공기가 상방 7.9° (수직선에 대한 각도)로 원형 분사된다라고 가정하였으며, 가스레인지 한 구당 $1,814 \text{ W}$ 의 열량⁽⁴⁾을 방출할 수 있도록 공기의 분사속도를 3.63 m/s 로 설정하였다. 또한, 레인지 위의 포트에서는 수증기가 0.1 m/s 의 속도로 방출되도록 하였다.

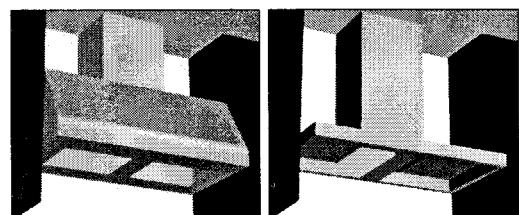
레인지후드의 포집성을 표시하기 위하여 포집효율을 정의하였으며, 이는 전체 오염물질의 발생량 m_{total} 중에서 후드에 의하여 실외로 배출되는 양 m_e 의 비율로 정의하였다. 실제 포집효율을 구하기 위해서는 여러 가지 방법이 사용된다. 가스레인지와 같은 연소 기구에서 발생하는 CO나 CO_2 와 같은 연소가스를 사용하기도 하고, 특정한 추적가스나 습기 등을 이용하기도 한다. 본 연구에서는 발생한 습기인 H_2O (증기)를 이용하여 포집효율을 계산하였으며, 사용된 식은 다음과 같다.

$$\eta_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_e}{m_{total}} \quad (11)$$

포집효율은 레인지후드 가동 후 10초가 지나 질량 유량이 어느 정도 안정화된 상태에서 계산되었다.

3. 해석대상

Fig. 3은 유도공기 및 에어커튼이 적용된 신형 레인지후드와의 비교를 위해 선정한 기존 레인지



(a) General type #1 (b) General type #2

Fig. 3 General types of range hood.

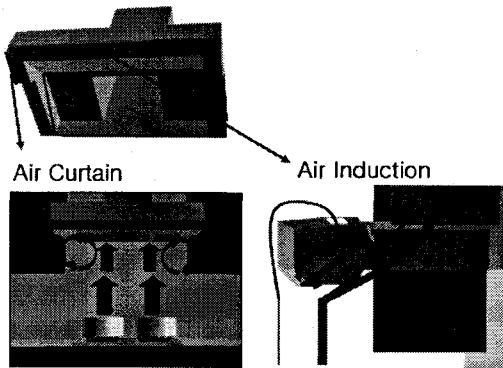


Fig. 4 New type of range hood with air induction and air curtain.

후드의 두 가지 모델을 보여주고 있다. 기존 레인지후드 #1과 #2는 현재 상용화되어 있는 레인지후드의 일반적인 형태이다. 기존 레인지후드 #1은 박스 형상으로 후드 높이가 약 350 mm 정도로 필터와 흡입 덕트 사이에 포집공간이 형성되어 있고, 필터 중앙에 조명설치를 위한 공간을 필요로 하여 흡입 면적이 작은 특징이 있다. 기존 레인지후드 #2는 연구대상인 신형 레인지후드와 비슷한 형상으로 후드 높이가 55 mm 정도로 필터와 흡입 덕트 사이에 포집공간이 거의 형성될 수 없다는 단점이 있는 반면, 흡입 필터 부분의 면적이 넓어서 흡입 면적을 넓게 확보할 수 있다는 장점이 있다. 이를 기존 레인지후드의 전체적인 크기는 #1과 #2가 각각 898(W)×480(D)×350(H)와 898(W)×470(D)×55(H)이다. Fig. 4는 본 연구의 대상인 신형 레인지후드의 개요도이다. 신형 레인지후드의 특징은 후드 측면부의 에어커튼으로 인해 후드의 측면으로 빠져나가는 공기가 에어커튼으로 차단되어 레인지후드의 흡입필터 방향으로 유도됨과 동시에 후드 전면부에 설치되어 있는 유도공기 노즐로부터 분사되는 유도공기로 인해 후드 전면부를 타고 윗 방향으로 빠져나가는 공기가 배기덕트 방향으로 유도된다는 것이다.

4. 계산결과 및 검토

4.1 기존 레인지후드 #1의 성능

Fig. 5는 기존 레인지후드 #1의 포집효율의 변화를 세 가지 운전조건에 대하여 시간에 따라 나

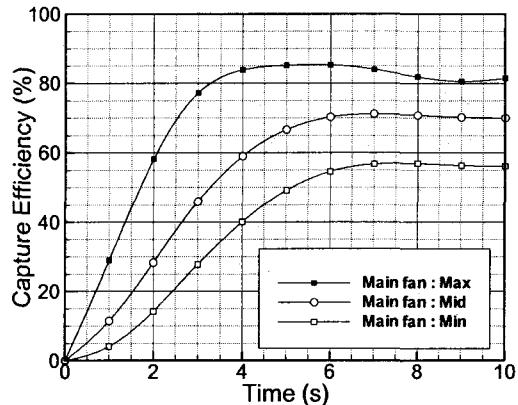


Fig. 5 Time histories of capture efficiencies of range hood - general type #1.

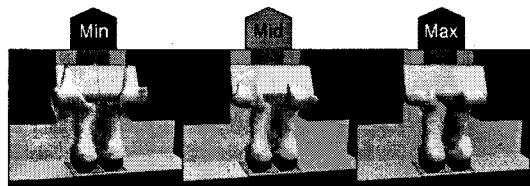


Fig. 6 Isosurfaces of water vapor concentration - general type #1.

타낸 것이다. 운전이 시작되면서부터 배출되는 수증기의 양이 점차 증가하게 되면서 조건에 따라 약 4~6초에서 배출량이 일정해지고 있으며, 안정화된 상태에서 약 55~81% 정도의 포집효율을 보여주고 있다. Fig. 6의 기존 레인지후드 #1 주변의 수증기 유동을 살펴보면 운전조건이 '강'에서 '약'(출구압력 $p=0$)으로 변화함에 따라 후드 전면을 타고 빠져나가는 수증기의 양이 많아져 가는 것을 확인할 수 있다.

4.2 기존 레인지후드 #2의 성능

두번째의 기존 레인지후드는 평평한 형상의 후드로 이러한 형상을 가진 후드의 단점은 충분한 포집공간을 확보할 수 없다는 것이다. Fig. 7에서 보여지는 것처럼, 기존 레인지후드 #2는 #1에 비해 시간에 따른 포집효율 증가율이 큰 반면, 유출되려고 하는 수증기를 가둘 수 있는 공간이 없어 최종 포집효율은 운전상태에 따라 약 48~80% 정도로 낮게 나타난다. Fig. 8에 도시한 레인

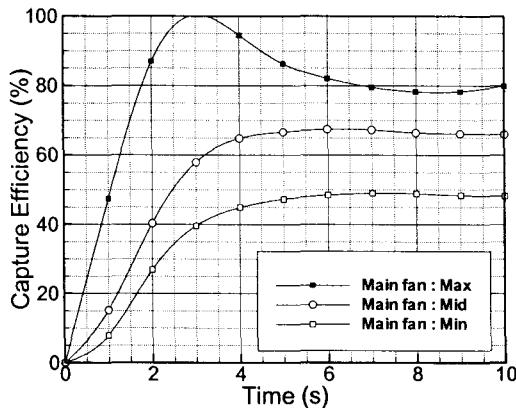


Fig. 7 Time histories of capture efficiencies of range hood - general type #2.

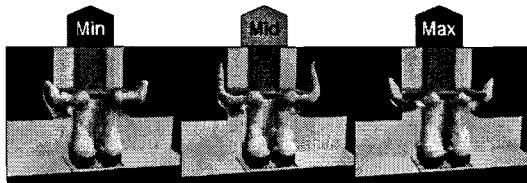


Fig. 8 Isosurfaces of water vapor concentration - general type #2.

지후드 주변의 수증기 유동을 보면 이러한 형태의 레인지후드가 가진 취약점을 확인할 수 있다. 기존 레인지후드 #1에서는 레인지후드 밖으로 이탈하는 수증기의 일부가 포집공간에 모이게 되어, 주방에서 후드 방향으로 흐르는 기류에 의해 다시 흡입되는 반면, 기존 레인지후드 #2는 포집공간이 거의 없는 얇은 평판구조를 가지고 있기 때문에 기류에 의한 재흡입 가능성이 적어, 후드 전면부뿐만 아니라 측면부로도 다량의 수증기가 빠져나가게 되어 기존 레인지후드 #1에 비해 운전조건에 따라 1~7% 정도 포집률이 감소하게 된다.

4.3 신형 레인지후드의 성능

신형 레인지후드는 유도공기와 에어커튼을 적용함과 동시에 필터 부분에 경사를 주어 포집공간을 확장하였다. 신형 레인지후드의 경우도 기존 레인지후드와 동일하게 각각의 운전조건에서의 포집효율을 산출하여 Fig. 9에 나타내었다. 신형 레인지후드는 운전상태가 ‘약’인 경우 약 58%, ‘중’

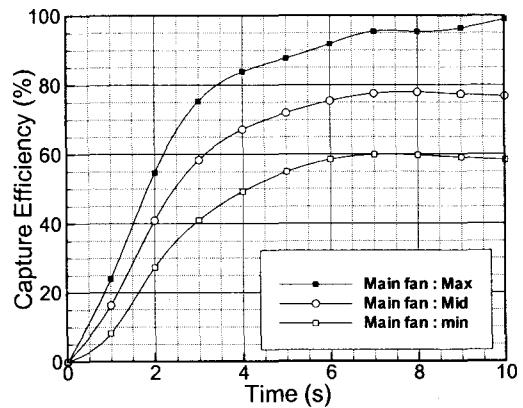


Fig. 9 Time histories of capture efficiencies of range hood - new type.



Fig. 10 Isosurfaces of water vapor concentration - new type.

인 경우 약 77%, ‘강’인 경우 약 99% 이상의 포집효율을 보였다. 이는 신형 레인지후드의 유도공기, 에어커튼 및 포집공간의 확충이 기존 레인지후드에 비해 크게 향상된 성능을 가지도록 한다는 것을 보여주고 있다. 또한 Fig. 10에 나타난 후드 주변의 수증기 유동을 확인해 보아도 후드 전면부 및 측면부를 통해 빠져나가는 수증기의 양이 기존 후드와 비교해 현저히 감소되는 것을 확인할 수 있다.

4.4 신형 레인지후드와 기존 레인지후드의 비교

Fig. 11은 각각의 운전상태에 대한 기존 레인지후드 #1, #2와 신형 레인지후드의 포집효율을 비교한 그림이다. 기존의 레인지후드 #1과 신형 레인지후드의 포집효율을 비교해 보면, 레인지후드의 운전상태가 ‘중’으로 운전되었을 경우 신형 레인지후드가 약 15% 정도 향상된 포집효율을 나타내고 있다. 또한, 운전상태가 ‘강’으로 다가갈수록 신형 레인지후드의 포집효율은 거의 99%를

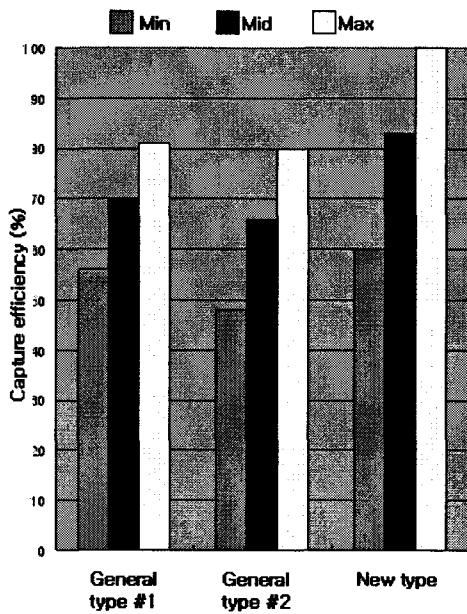


Fig. 11 Comparison of capture efficiencies of new type and general types of range hoods.

나타내어 기존 레인지후드에 비해 그 효과가 20 % 가까이 향상되는 것을 알 수 있다.

Table 1은 운전조건에 따른 레인지후드의 배기 유량을 정리한 표이다. 신형 레인지후드에는 유도공기 및 에어커튼을 위해 추가로 팬을 장착하고 에너지를 투입하게 된다. 이에 따른 결과로 기존 레인지후드에 비해 신형 레인지후드의 배기 유량이 전 운전범위에 걸쳐 상승하게 되며, 포집 성능 역시 향상되는 것은 당연한 결과로 보인다. 그러나, 신형 레인지후드의 흡입유량이 370 cmh

Table 1 Airflow of the range hoods

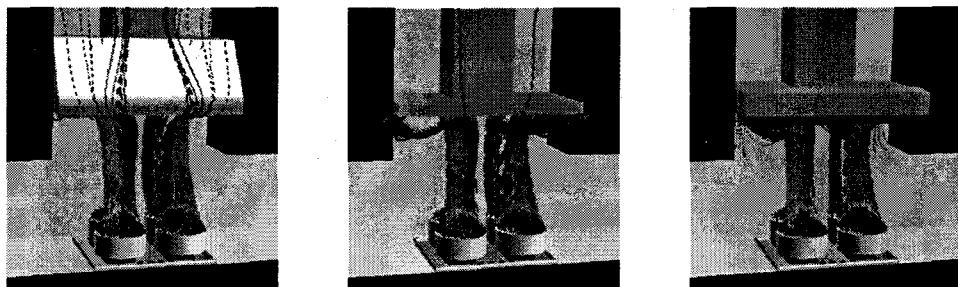
Airflow (cmh)	Min	Mid	Max
General type #1	240	322	415
General type #2	241	324	418
New type	285	370	475

(운전상태 '중')인 경우가 기존 레인지후드의 흡입유량이 418 cmh(운전상태 '강')인 경우보다 나은 포집성능을 나타내고 있으며, 이는 신형 레인지후드의 포집성능 향상의 원인이 단순한 배기팬 용량의 증가에 있는 것이라는 것을 말해 준다. 즉, 신형 레인지후드의 성능향상 원인은 유도 공기 및 에어커튼에 의해 발생되는 기류의 효과에 의한 것이라 할 수 있다.

Fig. 12는 레인지후드 가동 10초 후의 수증기 유선분포(운전상태 '강')를 비교한 그림이다. 기존 레인지후드 #1, #2의 경우는 후드 전면부를 통하여 수증기가 빠져나가는 것을 볼 수 있으며, 특히 기존 레인지후드 #2인 경우는 후드 측면을 통해 유출되는 수증기의 양이 다른 레인지후드에 비해서 많은 것을 볼 수 있다. 반면, 신형 레인지후드의 경우는 유도공기 및 에어커튼의 효과로 후드 전면과 측면의 유동이 후드 내부로 유도되어 후드 외부로 유출되는 유동이 거의 보이지 않게 되며, 이로 인하여 보다 향상된 포집효율을 갖게 된다.

5. 결 론

현재 보급되고 있는 주방용 레인지후드의 포집 효율은 약 50%에 불과하므로, 본 연구에서는 이



(a) General type #1

(b) General type #2

(c) New type

Fig. 12 Comparison of water vapor stream traces of new type and general types of range hoods.

를 개선하고자 후드 형상을 변경하고 유동을 유도할 수 있는 노즐 및 에어커튼을 사용하여 포집효율을 높이는 방법을 연구하였다.

(1) 박스 형태의 기존 레인지후드 #1은 후드 전면을 통한 수증기의 유출로 인해 운전조건에 따라 55~81%의 포집효율을 나타내었다.

(2) 평판 형태의 기존 레인지후드 #2는 후드 전면뿐만 아니라 측면에서도 수증기가 유출되는 것이 관찰되었다. 이로 인하여 포집효율은 48~80%로 기존 레인지후드 #1보다 조금 낮은 결과를 나타내었다. 이러한 포집효율의 차이는 유출되는 수증기의 일부를 주방으로부터 배기후드로 유입되는 기류를 통해 재흡입할 수 있도록 하는 포집공간의 유무에 의한 것으로 생각된다.

(3) 신형 레인지후드는 후드의 포집공간을 늘림과 동시에 후드 전면에서 유출되어 실내로 유입되는 오염공기를 줄이기 위하여 후드 전면부에 배기 유도노즐을 설치하고, 후드 양쪽 측면에 에어커튼을 만들어 측면으로 빠져나가는 오염공기의 양을 줄인 결과 기존 레인지후드에 비해 최대 20%까지 향상된 포집효율을 얻어낼 수 있었다.

참고문헌

1. Kim, J. T., Roh, J. W. and Chung, Y. G., 1999, A field test on ventilation efficiency of range-hood in kitchen of apartment, Korea Journal of Architectural Institute, Vol. 15, No. 1, pp. 207-214.
2. Park, J. C., Lee, S. S. and Rhee, E. K., 2000, A study on the improvement of ventilation systems of the kitchen in apartment, Journal of the KIBS, Vol. 3, No. 3, pp. 63-71.
3. Lemaire, A. D., 1993, Room Air and Contaminant Flow, Evaluation of Computational Methods, Annex 20 Air Flow Patterns within Buildings, Subtask-1 Summary Report.
4. Kim, K. H., Lee, J. H., Park, M. S. and Lee, D. W., 2000, Prediction of the ventilation performance in a kitchen with various locations of gas range and window, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 12, No. 1, pp. 75-82.