

## 주방용 후드 수평급기의 최적속도 결정에 관한 연구

김 상 규, 박 성 근\*, 최 형 권\*\*, 용 호 택\*\*, 김 동 윤\*\*\*

서울산업대학교 산업대학원, \*서울 산업대학교 에너지환경대학원, \*\*서울산업대학교 기계공학과, \*\*\*(주) 엑타

### Study on the Optimal Velocity of Horizontal Air Jet of a Range hood system

Sang Gyu Kim, Sung Geun Park\*, Hyoung Gwon Choi\*\*, Ho Taek Yong\*\*, Dong Yoon Kim\*\*\*

**ABSTRACT** : In the present paper, the study on the optimal horizontal air jet velocity of a range hood system has been studied by three dimensional numerical simulation. It has been shown that the air jet of a range hood system generates coanda effect confining the contaminated (high temperature) air in a certain region while the jet pushes out more contaminated air into a room as the jet velocity increases. Therefore, the optimal jet velocity has been determined by the combination of the two mechanism.

**Key Words:** Range hood system(레인지 후드), Optimal horizontal air jet velocity (최적수평 급기속도), Coanda effect(코안다효과)

#### 1. 서 론

실내환경 및 공기 질 향상에 관한 관심과 에너지 효율적 이용에 대한 중요성이 강조되면서 친환경적인 설비시스템 연구의 중요성이 대두되고 있다. 에너지 절약을 위한 고단열 고기밀 공동주택의 경우 환기량 부족과 주방내 조리시 발생하는 다량의 오염물질 및 가열된 공기의 실내확산이 실내환경을 악화시키는 요인이 되고 있다. 이에 따라 주방에서 발생하는 오염 물질의 실내 확산 방지를 통해 실내환경을 개선하고자 하는 연구가 CFD 및 실험적 방법등 다양한 방법으로 진행되고 있다.

Kim<sup>(1)</sup>등은 가스레인지와 주방창의 위치에 따른 실내 오염정도를 비교하여 주방창의 위치선정

의 중요성을 제시 하였으며, Schrock<sup>(2)</sup>는 상업용 주방에서의 천장의 확산기(diffuser)를 설치하고 천장의 확산기와 싱크대 뒤의 하향급기에 의한 Backdrop plenum hood를, 기존의 후드시스템과 BTM(Breathing thermal mannequin)으로 측정하여 열적 쾌적성을 비교하였다. 주방에서 발생하는 오염공기의 배기를 위해 천정 수평급기를 도입한 Capture air jet system이 제안되어 실험 및 CFD를 통해 기존 환기 시스템과 비교 하였다.<sup>(3-4)</sup>

한편, Kim과 Choi<sup>(7)</sup>는 유한 요소법을 이용한 수치해석을 통하여 수평급기가 가스레인지에 의한 자연대류에 미치는 영향에 대하여 해석하였다. 기존 레인지후드 시스템에서 후드의 작동여부와 수평급기가 있을 때와 없을 때 자연대류에 의해 생성되는 유동장과 오염 공기 및 열원의 분포를 2차원으로 해석하여, 수평급기의 효과가 있음을 보이고 수평급기에 최적치가 존재함과 동시에 수평급기 속도의 크기가 후드 주방 설계 시 중요한 인자임을 밝혔다.

† Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6312; fax: +82-2-949-1458

E-mail address: hgchoi@snut.ac.kr

본 연구는 수평급기가 적용된 레인지 후드에서 수평급기의 최적속도 선정을 위한 기초 연구이다. 유한요소법을 이용한 PAT Flow<sup>(11)</sup> 코드를 사용하여, 3차원으로 시뮬레이션 한다. 이를 통해 가스레인지 작동 시 주방내 열환경을 모사하고, 제트급기의 속도 변화에 따른 레인지후드 주위의 열 유동을 해석한다. 실내로 유입되는 열량을 정량적으로 비교하여, 수평급기에 최적 속도를 선정하는 것이 목적이다.

## 2. 본 론

### 2.1 계산 영역 및 부하 조건

계산 영역은 1.8 m × 1.8 m × 2.5 m로 가스레인지와 레인지후드가 있는 구역으로 한정하였다. Fig. 1은 해석 모델의 개략도를 나타낸다. 가스레인지는 대 버너 2개와 소 버너 2개가 있는 4구 가스레인지를 기준으로 모델링하였다. 가스레인지에서 생성하는 에너지는 대 버너와 소 버너로 구분되고 대 버너는 4.3 kW 이며 소 버너는 1.2 kW 으로 하였다. 이는 가스레인지 한국 산업 규격(KS B 8144)에 준하는 용량으로써 버너 1개당 가스 소비량 5.81 kW 이하, 가스레인지 총 사용량 13.9 kW 이하를 만족한다. 시뮬레이션에서는 버너 4개를 모두 구동하였을 경우를 기준으로 계산 하였으며 총에너지는 11 kW가 된다. 레인지후드에서 실외로 방출하는 유량은 520 CMH 이다.

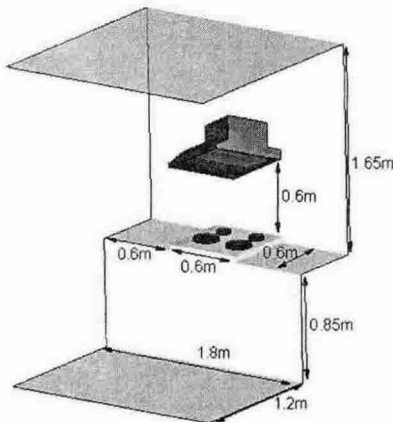


Fig. 1 Schematic diagram.

Table. 1 Simulation cases

	Jet velocity ( m/s)	격자수 (개)
case 1	0	157,259
case 2	2.0	157,259
case 3	2.6	157,259
case 4	3.0	157,259
case 5	3.4	157,259
case 6	3.8	157,259
case 7	4.2	157,259
case 8	4.6	157,259
case 9	5.0	157,259
case 10	6.0	157,259
case 11	7.0	157,259
case 12	10.0	157,259

### 2.2 격자 및 경계조건

사용된 격자는 육면체 격자로서, 격자 생성 전용 프로그램인 ICEM-CFD 를 이용하여 만들었다. 계산에 사용될 격자계(Grid)를 결정하기 위해 격자계 검증 실험(Grid independence test)을 실시하였는데, 급기 속도가 3.4 m/s 에서 격자수(Node)가 약 11만, 15만, 21만개 일 경우에 후드 앞단 중심에서의 온도분포를 비교하였다. Fig. 3은 격자계 검증 실험 결과이다. Fig. 3에서 격자수가 15만개 정도의 격자계를 사용하면 격자계에 무관한 해를 얻을 수 있다. Fig. 4는 계산에 사용된 격자계와 계산영역에 대한 경계조건을 나타낸다. 후드와 가스레인지 사이에 격자를 밀집시켜 계산의 정확도를 높였다.

레인지후드에서의 배기량을 520 CMH으로 고정 시키고, 급기(Air-jet)가 나오는 부분에는 일정속도조건을 주었으며, 급기와 흡기 부분이 아닌 레인지후드면은 벽으로 처리하여 부착 조건(No slip condition)을 부여하였다. 그 외에 천정이나 주방 벽면등도 부착 조건을 부여하였으며, 주방과 거실이나 실내와 인접하는 부분은 무용력(Traction free) 조건을 적용하였다. 실내 온도는 초기 온도 23℃ 로 하였고, 거실이나 실내에서 유입되는 공기도 23℃를 유지하도록 하였다. 각 경우의 분류 기준은 급기 속도에 의해서만 분류하였으며, 급기가 없는 경우에서 부터 급기속도 10 m/s 까지 12 가지로 나누어서 계산하였다.

Table. 1에 각 경우별 경계조건을 정리 하였다.

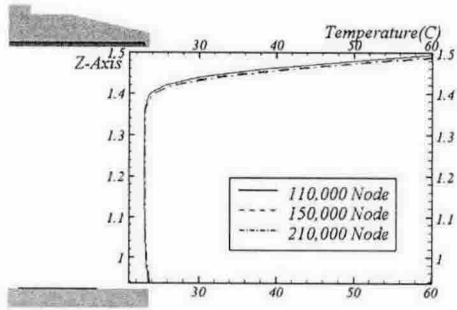


Fig. 3 Grid test.

### 2.3 지배 방정식

해석구간 내 유동은 부력에 의해 열전달과 운동량방정식이 연성(Couple)된 비압축성 난류유동이다. 난류모델은  $k-\omega$  모델을 적용 하였으며, 수치해석에 사용된 코드는 유한요소법을 이용한 PAT Flow<sup>[10]</sup>코드이다.

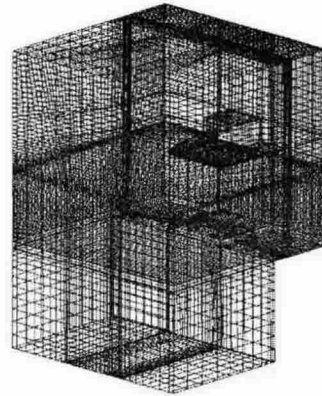
### 3. 결 과

실내로 유입되는 열량은 대류에 의한 열전달이 주를 이루게 된다. 따라서 실제 실내로 유입되는 열량을 구하기 위해서는 온도 분포와 함께 기류의 영향을 고려하여야 한다. 실내로 유입되는 열량을 식(6)과 같이 정의하여 온도 분포 및 기류 분포에 대해 고찰하고, 실내로 유입되는 열량에 대해서는 경우에 따른 정량적인 비교를 통해 최적 급기 속도를 산출 한다.

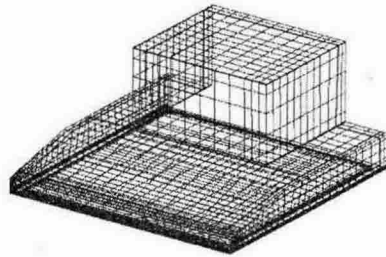
$$Heat\ flux = \int_A C_p \dot{m} \Delta T \quad (6)$$

Fig. 5는 해석결과 비교를 위해 정의한 단면을 나타낸다. 버너에서 생성되는 열량 중 실내로 유입되는 열량은 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 A, B, C 면을 반드시 통과 하게 된다. 따라서 급기가 A면과 B, C면을 통과하는 유체의 흐름과 온도 분포에 어떤 영향을 주는지 비교하기 위하여 중앙에서 단면 (D면) 과 정면 (E면)을 정의해 온도와 기류분포를 비교 하였다. Fig. 5에 D, E면을 정의 하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 D면에서 경우별 온도 분포와 유선을 나타낸다. 급기의 속도가 커질

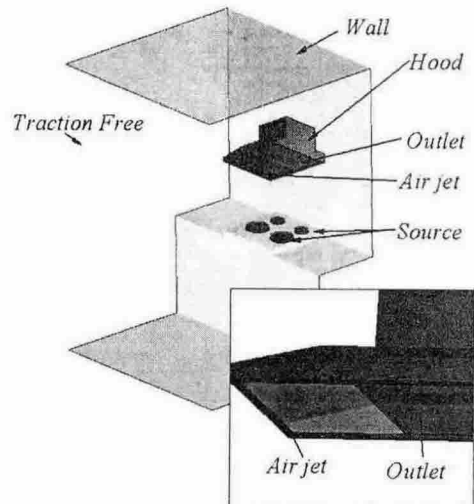
수록 레인지후드 앞단(A면)으로 유출되는 유량



(a)



(b) Unstructured mesh of hood



(c) Boundary condition

Fig. 4 Unstructured mesh and boundary condition

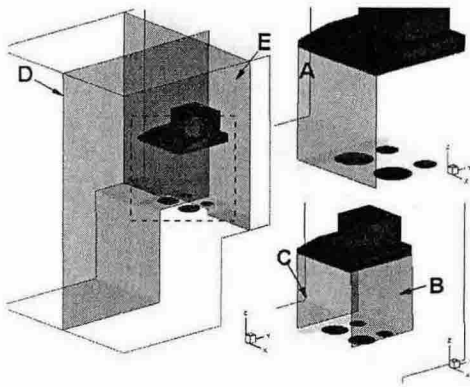


Fig. 5 Define planes

은 적은 것을 볼 수 있으며, 온도 또한 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 급기가 없는 경우, 가스레인지에서 생성된 상승기류 중 레인지후드가 빨아드리지 못한 뜨거운 공기는 레인지후드 앞단을 통해 빠져 나갔다. 이에 비해 급기가 작동하는 경우에는 빠져 나가는 뜨거운 공기가 정체 되는 것을 볼 수 있다. 이는 급기의 영향으로 생긴 코안다(Coanda) 효과에 의한 것으로 Fig. 7 (b)에서 확인할 수 있다. 급기에 의해 유인기류가 생성되어 후드 앞단에 와류를 생성시키는데, 밖으로 유출되는 기류를 막아 후드 앞면에 정체시켜 밖으로 나가는 열량을 막아주는 에어커튼의 역할을 하게 된다. 코안다 효과는 급기 속도가 빨라짐에 따라 효과가 커지는 것을 볼 수 있었으며, 그에

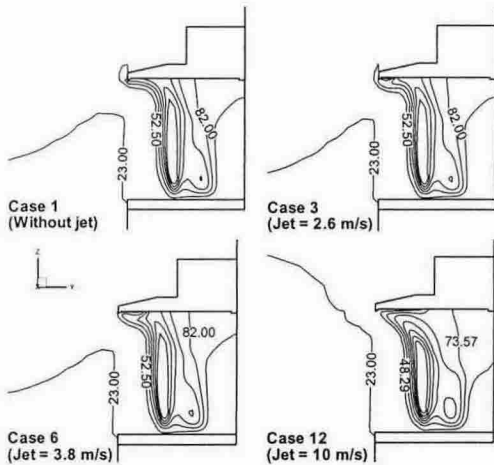


Fig. 6 Temperature contours around a range hood for various jet velocities on Plane D.

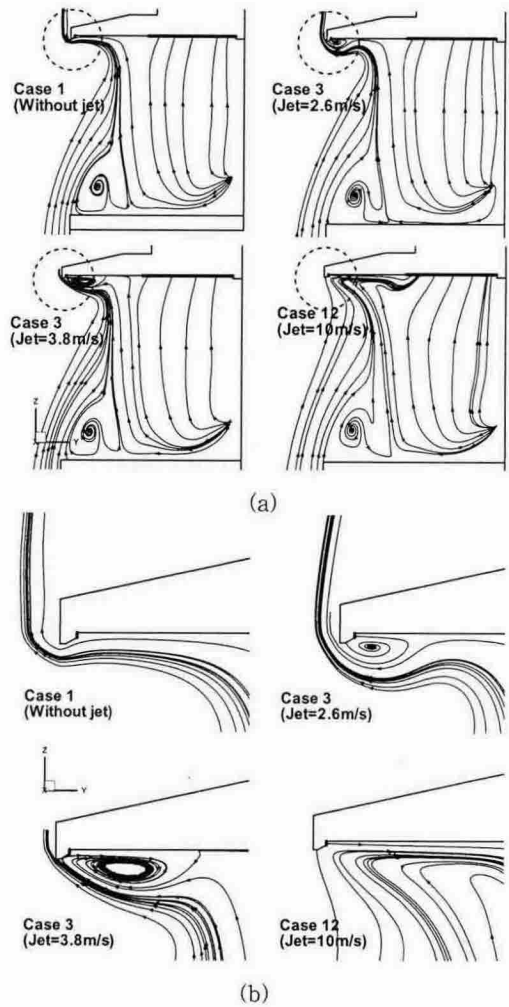


Fig. 7 Stream line around a range hood for various jet velocities on plane D (a) Stream line around a range hood for various jet velocities (b) Near view

따라 레인지후드 앞단으로 유출되는 열량은 급기 속도가 커질수록 적어지는 것을 알 수 있다. 레인지후드 양 옆단으로 나가는 열량을 비교하기 위하여 E 면에서의 온도분포와 속도 분포 및 유선을 도시 하였다. Fig. 8은 급기속도 증가에 따른 주변 온도 변화이며, Fig. 9는 급기속도 증가에 따른 속도 및 기류 분포 이다. Fig. 9에 표시된 속도는 x 방향 속도로서 B, C 면을 통해 들어오고 나가는 방향의 속도가 된다. 급기가 없을 경우 후드 양 옆단에서 나가는 공기의 양은 거의 없으나 급기속도가 증가할 수 록 양 옆단을 통해

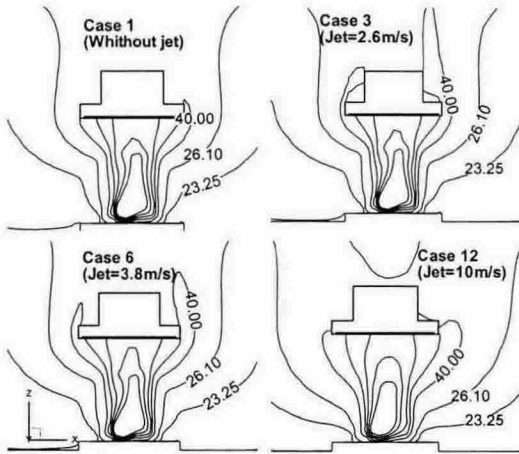


Fig. 8 Temperature contours around a range hood for various jet velocity in Plane E

나가는 공기의 양이 많음을 볼 수 있으며, 이로 인해 Fig. 8과 같이 레인지 후드 주위의 온도가 상승하게 된다.

레인지후드에 급기 속도가 있을 경우 레인지후드 앞단을 통해 유출되는 열량은 막아줄 수 있으나 속도 값이 커짐에 따라 양 측면(B,C면)을 통해 나가는 열량이 많아지는 것을 볼 수 있었다. 앞단(A면)에서 방출되는 열량과 양 옆단(B,C면)에서 방출되는 열량은 각각 급기 속도가 증가함

에 따라 줄어들고 늘어나게 되어 레인지후드 수평급기의 최적속도가 존재하게 된다. 실내로 유입되는 열량은 A, B, C 단면을 통해야 하므로, 수평급기의 최적속도를 찾기 위해 각 단면을 통해 유출되는 열량을 합하여, 각 경우별로 비교하였다.

Fig. 10에 유입되는 열량을 속도별로 나타내었다. 수평급기가 없을 때 보다 있는 경우에 유입되는 열량이 적었으며, 급기속도가 증가하면 유입량이 적어지다가 어느 속도가 되면 다시 커지는 것을 볼 수 있었다. 레인지후드의 효율을 고려하면 최적의 급기속도는 4 m/s 부근에서 결정된다.

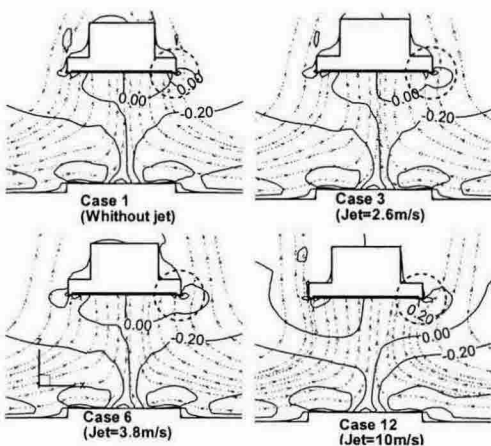
#### 4. 결론

수평급기로 인한 온도장 및 속도장의 변화를 알 수 있었다. 레인지후드 수평급기의 효과를 확인할 수 있었고, 수평급기의 최적급기 속도를 구하였다.

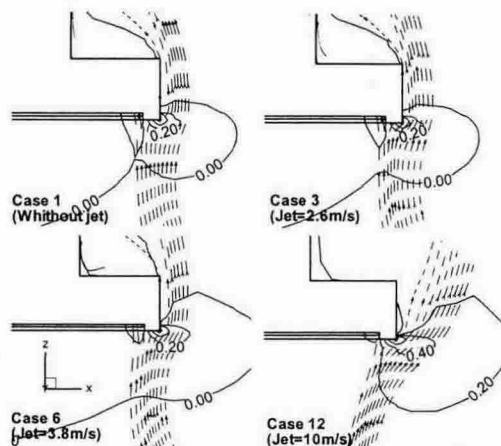
(1) 레인지후드만 작동될 때보다 수평급기를 같이 작동할 때 실내로의 열확산을 줄일 수 있었다.

(2) 코안다 효과에 의한 유인기류 형성을 확인할 수 있었으며, 급기 속도에 증가에 따라 코안다 효과 또한 증가됨을 볼 수 있다.

(3) 수평급기 작동 시, 급기의 속도가 커질 수



(a) Velocity Contors and Strimline



(b) Near view

Fig. 9 Stream line around a range hood for various jet velocities on plane E

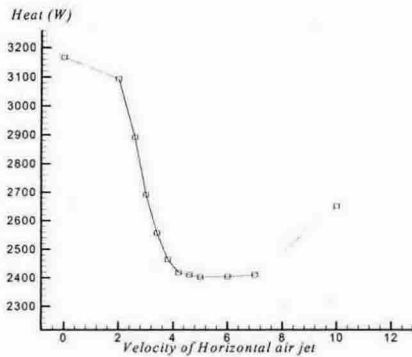


Fig. 10 The variation of heat flow by change horizontal air jet velocity

록 레인지후드 앞단을 통해 실내로 유입되는 열량은 줄일 수 있으나 양 옆단을 통해 방출되는 열량은 커지게 되었다. 이는 Kim과 Choi<sup>(7)</sup>의 2차원 결과에서 확인 할 수 없었던 것으로, 수평급기의 최적속도는 후드 앞 면 뿐만 아니라, 양 옆면으로 유출되는 열량에 의해 결정됨을 확인하였다.

(4) 레인지후드 앞단과 양 옆단에서 실내로 유입되는 열량을 계산하여, 최적 급기속도를 찾았다. 본 연구에서 주어진 조건에서 최적 급기속도는 4 m/s 부근에서 결정되었다.

### 참 고 문 헌

1. Kyung-Hwan Kim, Jae-Heon Lee, Myoung-Sig Park, Dae-Woo Lee, 2000, "Prediction of the Ventilation Performance in a Kitchen with various Locations of Gas Range and Window", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.12, No.1, pp. 75-82.
2. Derek W. Schrock, 2002, "Quantifying kitchen comfort using a thermal mannequin", ASHRAE Transactions: Symposia, pp. 971-977.
3. Seong Hwan, Lee, 2000, "A Study on the ventilation system of a kitchen in airtight apartment house", Proceedings of the SAREK

- 2000 Summer Annual Conference, pp. 1004-1010.
4. Kun woo Lee, Yonung il Kim, Young J. Moon, 2003, "A Study on the Performance of Capture Air Ventilation System with respect to Air Flow Rate", Proceedings of the SAREK 2003 Winter Annual Conference, pp. 477-482.
5. Jin Chul Park, 2003, "A Study on the Improvement Strategies for Exhaust Performance in Commercial Kitchen Hoods", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.15, No. 5, pp. 439-445.
6. Young-Mo Kang, Hwa-taik Han, 2001, "Performance of a Kitchen Ventilation System with Supplementary Supply and Exhaust Air", Proceedings of the SAREK 2001 Summer Annual Conference, pp. 707-713.7.
7. Byoung Guk Kim, Hyoung Gwon Choi, 2004, "Horizontal Air-Jet Effect on the Natural Convection around a Range-Hood System", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.17, No. 4, pp. 333-440.
8. Che-Ming Chiang, Chi-Ming Lai, Po-Cheng Chou, Yen-Yi Li, 2000, "The influence of an architectural design alternative (transoms) on indoor air environment in conventional kitchens in Taiwan", Building and Environment, Vol. 35, pp. 579-585.
9. G. De Vahl Davis, 1983, "Natural convection of air in a square cavity : benchmark numerical solution", Int. J. Num. Meth. Fluids, Vol. 3, pp. 249-264.
10. H. G. Choi, H. Choi and J. Y. Yoo, 1997, "A fractional 4 step finite element formulation of the unsteady incompressible Navier-Stokes equations using SUPG and linear equal-order element methods", Comput. Method. Appl. Engrg., Vol. 143, pp.333-348.
11. J. Y. Yoo, H. G. Choi, 2003, PAT-Flow, Program registration number 2003-01- 12-11