

## 공동주택 보일러 연소배기가스의 실내유입에 관한 수치적 연구

박 외 철<sup>†</sup>, 정 락 기<sup>\*</sup>

부경대학교 안전공학과, <sup>\*</sup>(주)하우엔지니어링

### A Numerical Study on Flow around Exhaust Ducts of Flue Gas from Apartment Heating Boiler

Woe-Chul Park<sup>†</sup>, Lag Gi Jung<sup>\*</sup>

Department Safety Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>\*</sup>How Engineering Co., Ltd., Busan 609-843, Korea

(Received February 17, 2003; revision received April 28, 2003)

**ABSTRACT:** Flue gas from apartment heating gas boiler is exhausted outside through an exhaust duct mounted horizontally in a vertical row on the wall. The flue gas includes nitrogen-oxides (NOx) and carbon monoxide. To investigate the possible entrainment of the flue gas into the apartments through the windows, a large eddy simulation (LES) based numerical method is utilized. Distribution of the velocity intensity and temperature around the exhaust ducts is presented for three numerical parameters: exhaust velocity, temperature of the flue gas, and exhaust duct length. The flow field visualized with particles inserted at the ends of the ducts is also presented. The results clearly show that the exhausted flue gas may flow into the apartments when the windows are open.

**Key words:** Apartment heating(공동주택 난방), Gas boiler(가스보일러), Flue gas(연소배기가스), Exhaust duct(배기관), Numerical method(수치법), Large eddy simulation(대와류모사)

#### 기 호 설 명

$g$  : 중력가속도,  $9.81 \text{ m/s}^2$

$h$  : 엔탈피(enthalpy)

$k$  : 열전도계수

$L$  : 배기관의 길이

$p$  : 압력

$q$  : 속도크기,  $(u^2 + v^2 + w^2)^{1/2}$

$T$  : 온도(식(3)), 연소배기가스의 온도

$t$  : 시간

$u$  : 속도(식(1)~(3))

$V$  : 연소배기가스의 배기속도

#### 그리스 문자

$\rho$  : 밀도

$\tau$  : 전단응력

#### 1. 서 론

공동주택(아파트)의 개별난방에는 대개 각 세대별로 설치한 가스보일러에 도시가스나 LPG를 연료로 사용하고 있다. 난방용 가스보일러의 연

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-620-1520; fax: +82-51-620-1516

E-mail address: wcpark@pknu.ac.kr

소가스는 대부분 공동배기방식 대신에 세대별로 설치되어 있는 배기관을 통해 배출하는 개별배기방식으로 배출된다. 이 배기관은 공동주택의 뒤쪽 벽면에 수직 일렬로 배열되어 있고, 배기관에서 나온 연소배기가스는 자연대류에 의해 위로 올라가 대기 중에 방출된다. 연소배기가스 중에는 일산화탄소나 질소산화물(NOx)과 같은 유해가스가 포함되어 있다. 수직방향 일렬로 배기관을 설치했을 때 연소배기가스가 확산되면서 위로 올라와 위층의 창문을 통해 실내로 유입될 가능성이 매우 높을 뿐만 아니라 배기관의 중심관 외부에 있는 흡기공을 통해 보일러로 유입될 수 있다. 연소배기가스의 실내유입은 주거공간의 공기의 질을 악화시키고 거주자의 건강을 해칠 수 있다. 그럼에도 불구하고 연소가스의 실내유입에 대한 문제제기 없이 배기관의 수직 일렬배치는 널리 시공되고 있는 실정이다. 따라서 유해가스가 포함되어 있는 연소배기가스의 실내유입 가능성에 대한 연구가 필요하다.

연소배기가스와 관련한 연구로, Kim et al.<sup>(1)</sup>은 부탄가스 적외선 히터의 연소배기가스의 농도수준과 특성에 관한 실험을 수행하였다. Kim et al.<sup>(2)</sup>은 전산유체역학 패키지인 PHEONICS를 사용하여 공동주택 주방의 가스렌지와 창문의 위치에 따른 실내 오염 정도를 비교하였고, Kim and Kim<sup>(3)</sup>은 초고층 건축물에서 입상배기관을 통한 배출량과 환기성능에 대한 실험을 수행하였다. 그러나 지금까지 연소배기가스의 배기관 주위 유동이나 실내유입 가능성에 관한 연구는 보고된 적이 없는 것으로 나타났다.

연소배기가스의 실내유입 가능성을 확인하는 방법에는 배기관이 설치되어 있는 벽의 창문을 통해 유입되는 공기 중에 포함된 연소가스의 성분과 농도를 측정하는 정량적 방법과 수치해석을 이용하여 연소배기가스의 거동을 확인하는 정성적 방법이 있다. 본 연구는 후자에 해당하는 것으로, 연구의 목적은 개별배기방식의 경우에 연소배기가스가 실내로 유입될 수 있는가를 수치해석으로 확인하는 것이다.

연소배기가스의 유입량은 연소배기가스와 대기의 온도차, 그리고 외기의 풍속과 풍향, 기압 등에 따라 달라질 것이다. 여기서는 문제를 단순화하기 위해 바람이 없고 대기의 온도는 20℃로 일정한 것으로 가정하였다. 배기관을 통해 배출되

는 연소배기가스의 유속과 온도, 그리고 배기관의 길이를 매개변수로 하여 배기관과 벽면 주위의 유동과 온도분포를 조사하였다. 각 매개변수의 조합에 대한 유속과 온도분포를 비교하였고, 배기관 끝에서 입자를 주입, 추적하여 흐름을 가시화함으로써 연소배기가스의 실내유입 가능성을 확인할 수 있도록 하였다.

## 2. 수치법

4~5층짜리 저층에서 60층을 넘는 고층에 이르기까지 개별난방방식을 채택한 대부분의 아파트에는 가스보일러 배기관이 아파트의 벽면에 수평으로 돌출되어 수직 일렬로 배열되어 있다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 수직방향 3개 층에 각각 한 개의 수평 배기관에서 연소배기가스가 배출되는 경우를 대상으로 하였다. 연소배기가스가 배기관에서 배출되면 대기온도와의 차이에 따른 자연대류에 의해 위로 올라가게 되므로, 위층의 벽 근처에 연소배기가스가 분포한다면 이 벽에 있는 창문을 통해 연소배기가스가 실내로 유입될 수 있다.

이 경우에 지배방정식은 다음과 같다.

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

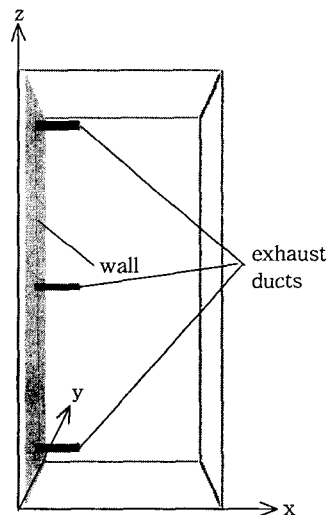


Fig. 1 Schematic of the computational domain (2m×1.5m×6m).

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \frac{\partial \rho h u_i}{\partial x_i} - \frac{Dp}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial (u_i \tau_{ij})}{\partial x_j} \quad (3)$$

식(1), (2), (3)은 각각 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식이다. 여기서 압력  $p = \rho RT$ , 엔탈피  $h = c_p T$ 이고, 전단응력은

$$\tau_{ij} = \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \delta_{ij} \frac{2\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (4)$$

이다.  $R$ 은 기체상수,  $c_p$ 는 정압비열,  $\mu$ 는 절대점성계수,  $\delta_{ij}$ 는 Kronecker delta이다. 연소가스가 자연대류로 상승하는 것은 식(2)의 우변 첫째와 둘째 항에 의해 일어나게 된다. 본 연구에서는 연소배기가스의 대기 중 이동을 모사하므로 연소모델과 화학종방정식은 필요하지 않다.

난류점성계수  $\mu_t$ 는 대와류모사(large eddy simulation, LES)<sup>(4)</sup>

$$\mu_t = \rho (C_s \Delta)^2 (\Phi / \mu_M)^{1/2} \quad (5)$$

로 계산한다.  $C_s$ 는 Smagorinsky 상수로 0.2이고,  $\Delta$ 는 격자크기,  $\mu_M$ 은 층류절대점성계수를 나타낸다. 점성소산함수  $\Phi$ 는 식(6)과 같이 정의된다.

$$\Phi = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (6)$$

해를 구하기 위한 수치법으로 미국표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology)의 화재모사용 코드 Fire Dynamics Simulator(FDS)<sup>(5)</sup>를 사용하였다. 공기의 물성치는 FDS에 포함되어 있는 값을 그대로 사용하였다. 격자의 크기는  $x, y, z$  방향 모두 균일하게 0.05m(격자수  $40 \times 30 \times 120$ )로 하였다. 수치법에 관한 자세한 내용은 McGrattan et al.<sup>(5)</sup>에 기술되어 있다.

벽과 대기의 온도는 20°C, 바람이 없는 것으로 가정하고, 배기관의 지름은 100 mm로 하였다. 공

동주택의 층고를 고려하여 배기관의 수직방향 간격을 2.5m로 하였다. 수치매개변수로서 길이( $L$ )를 0.5m와 1.0m, 연소배기가스 배출속도( $V$ )를 0.5, 1.0, 1.5 m/s, 배기가스의 온도( $T$ )를 100, 200, 300°C로 하고, 이들 변수의 조합에 대하여 수치해석을 수행하였다.

흐름이 없는 상태에서 계산을 시작하여 약 15초가 지나면 연소배기가스의 유동형태가 거의 주기적으로 되므로, 계산시작 후 20초에서의 결과를 결과 및 토의에 제시하였다.  $y$ 축 중앙평면( $y = 0.75$  m)에서의 속도와 온도의 분포를 조사하였고, 연소배기가스의 실내유입 가능성을 바로 확인할 수 있도록 배기관의 끝에서 방출한 입자를 추적함으로써 유동장을 가시화하였다. 속도분포를 비교하기 위해  $y = 0.75$  m인 평면에서의 속도 크기  $q$ 를 도시하였다.  $q$ 는  $x, y, z$  방향 속도  $u, v, w$ 로부터 다음과 같이 구하였다.

$$q = (u^2 + v^2 + w^2)^{1/2} \quad (7)$$

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 연소배기가스의 속도

연소배기가스의 온도가 200°C이고 배기관의 길이가 0.5m일 때, 연소배기가스의 속도  $V = 0.5, 1.0, 1.5$  m/s에 대한 속도분포를 Fig. 2에 비교하였다. 배기관 끝부분에서 연소배기가스의 속도가 0.5 m/s에서 1.0 m/s, 1.5 m/s로 증가함을 뚜렷이 구

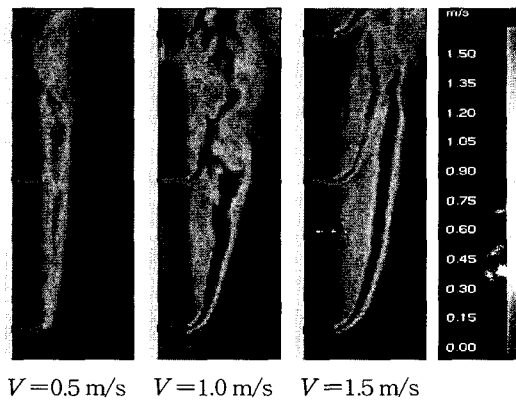


Fig. 2 Velocity magnitude ( $q$ ) for different exhaust velocity ( $T = 200^\circ\text{C}$ ,  $L = 0.5$  m).

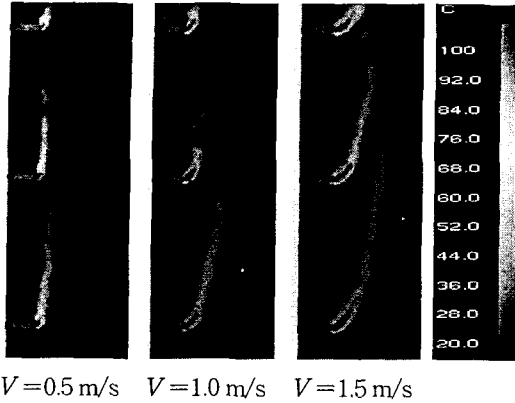


Fig. 3 Distribution of temperature for different exhaust velocity ( $T=200^{\circ}\text{C}$ ,  $L=0.5\text{ m}$ ).

분할 수 있다. 연소배기가스는 대기의 온도  $20^{\circ}\text{C}$ 와 연소배기가스의 온도  $200^{\circ}\text{C}$ 의 차이에 따른 부력으로 위로 상승하면서 확산되어 있다. 속도가 낮을 때는 배기관의 끝 근처에서 바로 위로 올라가 2개 층 위에서는 벽면 근처에도 흐름이 존재함을 알 수 있다. 배기속도가  $1.0\text{ m/s}$ ,  $1.5\text{ m/s}$ 로 증가하면 아래쪽 배기관에서는 벽면에서 더 떨어진 곳에서 유동이 존재하지만 위쪽으로 올라갈수록 벽 부근에 흐름이 나타나고 있다.

Fig. 3은 위와 같은 조건에서 연소배기가스의 유속에 따른 온도분포를 나타낸 그림이다. 배기유속이 증가함에 따라 연소배기가스가 벽에서 더 멀리 떨어져 위로 상승한다. 그러나 온도분포로는 연소배기가스의 실내유입 가능성을 판단하기 곤란하다.

Fig. 4는 연소배기가스의 흐름을 입자로 가시화

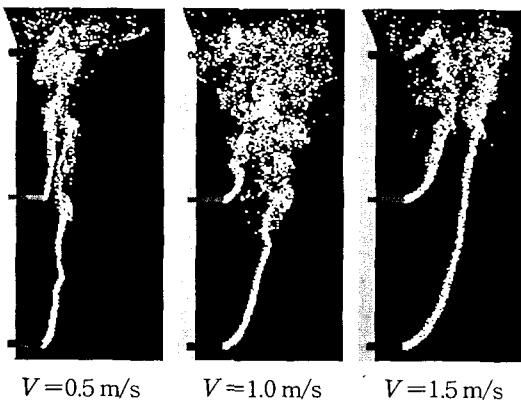


Fig. 4 Particles for different exhaust velocity ( $T=200^{\circ}\text{C}$ ,  $L=0.5\text{ m}$ ).

한 것이다. 배기속도가  $0.5\text{ m/s}$ 일 때에는 배기관의 끝 근처에서 위로 이동하여 2개 층 위에서는 벽에서 가까운 곳에 입자가 있다. 따라서 벽을 향해 약한 바람이라도 불면 연소배기가스가 창문을 통해 실내로 유입할 수 있음을 알 수 있다. 또 연소배기가스의 속도가  $1.0\text{ m/s}$ ,  $1.5\text{ m/s}$ 인 경우에도 2개 층 위에서는 벽 근처에 입자가 존재한다. 이것은 연소가스의 배출속도가 크더라도 바람이 전혀 없는 상태에서도 위층에서는 창문을 통해 실내로 유입할 수 있음을 나타내고 있다. 연소배기가스의 확산을 고려할 때, 위층으로 올라갈수록 연소배기가스의 실내유입 가능성이 높음을 확인할 수 있다.

### 3.2 연소배기가스의 온도

연소배기가스의 온도가 높으면 연소배기가스와 대기의 온도차가 크고 따라서 자연대류가 더 활발히 일어나게 될 것이다. 그러므로 연소배기가스의 온도도 유동장의 주요 매개변수가 된다. 배기관의 길이를  $0.5\text{ m}$ , 배출속도를  $1.0\text{ m/s}$ 로 일정하게 유지한 상태에서 연소배기가스의 온도  $100^{\circ}\text{C}$ ,  $200^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ 에 대한 계산을 수행하였다.

Fig. 5에서 연소배기가스의 온도가 높을수록 자연대류의 증가로 난류영역이 증가하며 벽 근처에서의 유동도 활발해짐을 확인할 수 있다. 흐름이 난류로 될수록 연소가스와 공기의 섞임도 활발하게 되고, 따라서 연소배기가스의 온도가 낮은 경우에 비해 벽 근처에 유동이 더 활발함을 알 수 있다.

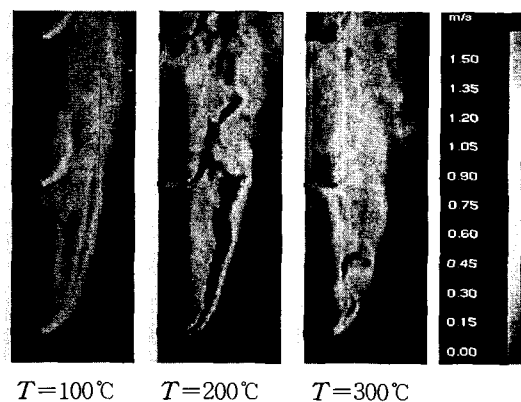


Fig. 5 Velocity magnitude ( $q$ ) for different flue gas temperature ( $V=1\text{ m/s}$ ,  $L=0.5\text{ m}$ ).

연소배기가스의 온도 증가로 난류영역이 증가함은 Fig. 6의 온도분포의 비교에 뚜렷이 나타나 있다. 연소배기가스의 온도가 100℃일 때는 배기관 끝에서 길게 층류흐름이 형성되어 있으나, 300℃일 때는 배기관 출구에서부터 난류가 됨을 볼 수 있다.

Fig. 7은 연소배기가스의 온도에 따른 입자의 분포를 비교한 그림이다. 앞의 속도와 온도분포로부터 확인한 바와 같이 연소배기가스의 온도가 높을수록 자연대류의 증가로 난류가 빨리 나타남을 보여주고 있다. 맨 위쪽 배기관과 벽 근처에는 온도가 높을수록 더 많은 입자가 있다. 이것은 연소가스의 온도가 높을수록 위층에서 더 많

은 연소배기가스가 유입될 수 있음을 나타낸다. 또 같은 연소배기가스의 온도에서 대기의 온도가 높을 때보다 낮을 때, 즉 여름철보다 겨울철에 더 많은 연소배기가스가 창문을 통해 유입할 수 있음을 알 수 있다.

### 3.3 배기관의 길이

Fig. 8에는  $T=200℃$ 와  $V=1.0\text{ m/s}$ 에서 배기관의 길이  $L=0.5\text{ m}$ 와  $L=1.0\text{ m}$ 의 속도분포를 비교하였다. 배기관 선단이 벽에서 더 떨어진  $L=1.0\text{ m}$ 의 경우에 벽 근처에서의 연소배기가스의 흐름이 더 적은 것으로 나타났다.

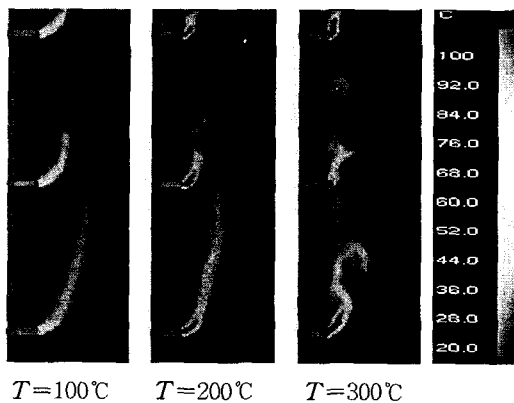


Fig. 6 Distribution of temperature for different flue gas temperature ( $V=1\text{ m/s}$ ,  $L=0.5\text{ m}$ ).

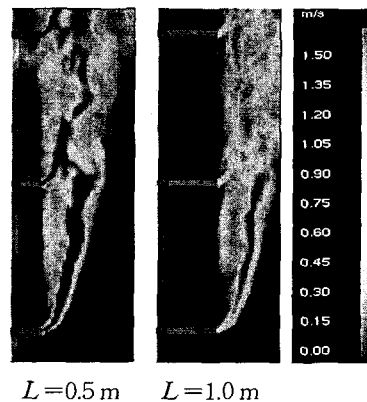


Fig. 8 Velocity magnitude ( $q$ ) for different exhaust duct length ( $V=1\text{ m/s}$ ,  $T=200℃$ ).

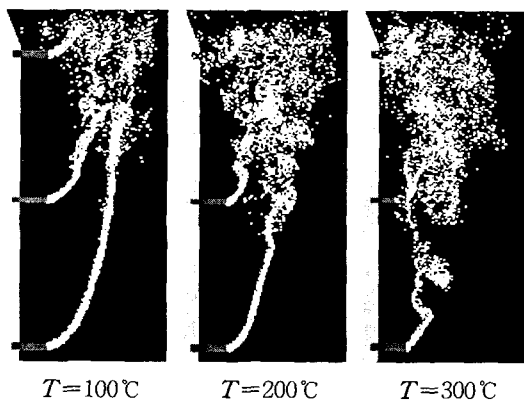


Fig. 7 Particles for different flue gas temperature ( $V=1\text{ m/s}$ ,  $L=0.5\text{ m}$ ).

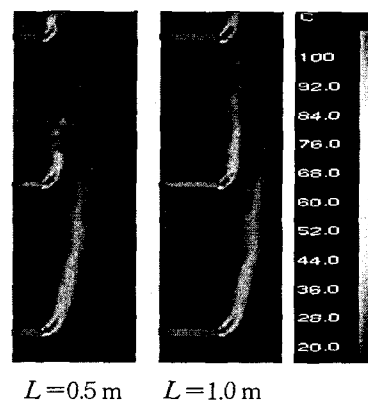


Fig. 9 Distribution of temperature for different exhaust duct length ( $V=1\text{ m/s}$ ,  $T=200℃$ ).

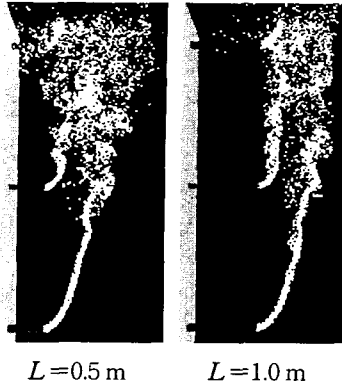


Fig. 10 Particles for different exhaust duct length ( $V=1$  m/s,  $T=200^{\circ}\text{C}$ ).

Fig. 9는 Fig. 8과 같은 조건에서 두 가지 배기관의 길이 0.5 m와 1.0 m에 대한 온도분포를 비교한 그림으로, 온도분포에는 큰 차이가 없다.

Fig. 10은 배기관의 길이 0.5 m와 1.0 m에 대한 입자분포를 비교한 그림이다. 같은 연소배기가스의 배출속도( $V=1.0$  m/s)와 온도( $T=200^{\circ}\text{C}$ )에서 배기관의 길이가 길 때 벽면 근처에 입자수가 훨씬 더 적으므로, 같은 조건에서 배기관이 짧으면 더 많은 연소배기가스가 실내로 유입하게 된다. 그러나 배기관의 길이를 충분히 길게 하는 것은 외관상 바람직하지 않을 뿐만 아니라 시공이 곤란하다.

이상에서 보일러의 연소가스를 개별배기관으로 배출하는 방식에서는 연소배기가스가 실내로 유입될 수 있음을 확인하였다. 이 방식이 널리 사용되고 있는 것은 공동배기방식에 비해 경제적이고 시공이 간편하기 때문이다. 그러나 유해가스를 포함한 연소배기가스가 배기구 측의 창문을 통해 실내에 유입되어 입주자의 건강을 해칠 수 있으므로 이 방식에 대한 재검토가 필요하다. 다소 시공비가 증가하더라도 공동배기방식을 고려할 수 있을 것이다. 본 연구결과를 검증하고 연소배기가스의 실내유입을 정량적으로 분석하기 위한 측정 등 실험적 연구가 요망된다.

#### 4. 결 론

수직 일렬로 배치된 배기관을 통해 배출하는

공동주택의 개별난방 가스보일러 연소배기가스의 실내유입 가능성에 대하여 대와류모사로 조사한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 연소가스의 배출속도가 낮고 온도가 높을수록 더 많은 연소배기가스가 실내로 유입할 수 있음을 알 수 있었다.

(2) 배기관의 길이가 길면 연소배기가스의 유입을 줄일 수 있으나 미관을 해치고 길이가 제한되어 있다.

(3) 바람이 없는 조건에서도 연소배기가스가 실내로 유입될 수 있고, 높은 층일수록 실내유입 가능성이 큼을 확인하였다.

(4) 개별배기방식에서는 유해가스를 포함한 연소배기가스가 실내에 유입될 수 있으므로 공동배기방식 등에 대한 검토가 필요하다.

#### 참고문헌

1. Kim, Y.G., Kwon, J.R. and Kim, C.K., 1998, Analysis of the characteristics of flue gas in infrared mobile heaters for gas room heating, J. Korean Institute of Gas, Vol. 2, No. 1, pp. 66-73.
2. 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, Korean J. Air-Conditioning and Refrigeration Eng., Vol. 12, No. 1, pp. 75-82.
3. Kim, S.D. and Kim, K.B., 2001, Estimating exhaust flow rate of a vertical exhaust duct in a high-rise building, Proc. 2001 SAREK Winter Conference, pp. 571-576.
4. Smagorinsky, J., 1963, General circulation experiments with the primitive equations—I. The basic experiment, Monthly Weather Review, Vol. 91, pp. 99-164.
5. McGrattan, K.B., Baum, H.R., Rehm, R.G., Hamins, A., Forney, G.P., Floyd, J.E. and Hostikka, S., 2002, Fire dynamics simulator technical reference guide (v.3), NIST, Maryland, U.S.A.