

주방환기용 그리스 필터의 형상설계에 관한 수치해석

김 기 정, 배 귀 남^{**}, 김 영 일, 허 남 건^{**}

한국과학기술연구원 열유동제어연구센터, *한국과학기술연구원 대기자원연구센터, **서강대학교 기계공학과

A Numerical Study on the Design of a Grease Filter for Kitchen Ventilation

Ki-Jung Kim, Gwi-Nam Bae^{**}, Youngil Kim, Nahmkeon Hur^{**}

Thermal/Flow Control Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

*Air Resources Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul 120-700, Korea

(Received April 11, 2003; revision received May 28, 2003)

ABSTRACT: A grease filter is used to remove grease generated from a cooking appliance in a kitchen. Since the inertial impaction is a dominant particle removal mechanism of the grease filter, the performance of the filter is greatly affected by the geometry. This numerical study has been conducted to investigate the effect of geometry on the performance of grease filters for four models having nominal flowrate of 100 m³/h. Four models were designed by changing the shape of impaction surface, the length of eyelid, and the number of eyelids of the grease filter. The flow field and particle trajectories in the grease filter with a flow chamber were simulated using the commercial code of STAR-CD. The difference of air velocity and pressure distributions among four models was discussed in detail. The collection efficiency curves and the pressure drops of four models were also compared. It was found that the grease filter model with flat top surfaces shows highest performance among four models, having high particle collection efficiency and relatively low pressure drop. The cutoff diameter of this model representing 50-% collection efficiency is about 7.1 μm for water droplets at 100 m³/h.

Key words: Grease filter(그리스 필터), Particle(입자), Collection efficiency(포집효율), Pressure drop(압력강하), Geometry(형상), Kitchen ventilation(주방환기)

1. 서 론

경제발전에 의해 사람들의 생활수준이 향상됨에 따라 인체의 건강과 관련하여 환경오염에 대한 관심이 높아지고 있으며, 최근에는 수질오염뿐만 아니라 대기오염도 중요하게 다루어지고 있다. 현대인들은 하루 시간의 80% 이상을 실내 공간에서 생활하므로, 실내 공기오염은 인체의 건

강 측면에서 더욱 중요하게 다루어져야 할 문제이다. 실내 공기는 크게 외부와 실내 자체로부터 오염된다. 외부의 대기, 자동차, 토양 등에서 발생된 오염물질이 함유된 공기가 실내로 침투하여 실내 공기를 오염시킬 수 있다. 또한, 실내의 건축자재, 부대설비(연소기구, 가구 등), 사람의 신진대사, 사람의 활동(흡연, 청소 등)에 의해 실내 공기가 오염될 수 있다.

현재 단독주택이나 아파트와 같은 공동주택의 경우 대부분 주방이 거실과 분리되어 있지 않은 실정이다. 그러므로, 조리시 주방에서 발생된 오염물질이 거실이나 방으로 확산되어 실내 공기질

† Corresponding author

Tel.: +82-2-958-5676; fax: +82-2-958-5805

E-mail address: gnbae@kist.re.kr

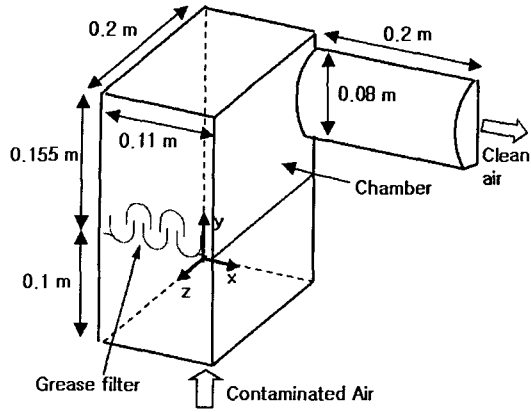


Fig. 1 Schematic diagram of the grease filter with a flow chamber.

을 떨어뜨린다. 따라서, 실내 공기질을 향상시키기 위해서는 먼저 주방의 공기오염을 최소화시켜야 한다.

최근 국내에서도 주방환기에 대한 실험적 연구^(1,2) 및 수치해석적 연구^(3,4)가 수행되고 있으며,

레인지 후드뿐만 아니라 다양한 주방환기설비가 개발되어 시판되고 있다. 저자들은 레인지 후드에 추가로 에어제트 노즐과 그리스 필터를 결합한 주방환기설비의 그리스 필터를 대상으로 입자포집 특성에 관한 수치해석 연구를 수행하였다.⁽⁴⁾ 이 연구를 통하여 유량에 따른 그리스 필터의 입경별 포집효율과 압력강하를 예측하였고, 입자의 포집위치를 추적하여 그리스 필터의 형상이 포집효율에 미치는 영향도 고찰하였다.

Fig. 1은 현재 시판되고 있는 그리스 필터 형상의 반쪽을 개략적으로 나타낸 것인데, 그리스 필터는 충돌면과 유동 챔버로 구성되어 있으며 xy 단면을 중심으로 대칭이다. Fig. 2는 그리스 필터의 2차원적 수직 단면의 모양을 상세하게 나타낸 것으로, 그리스 필터는 크게 상부 충돌면, 바닥면, 수직 격막 등으로 구성되어 있다. Fig. 2(a)에서 충돌면은 좌우 대칭이고 입구(E3-E4)의 간격은 10 mm, 출구의 간격(E2-E3, E4-E5)은 7.5 mm이며, 수직 격막(E1, E2, E3, E4, E5)의 높이는 모두 10 mm이다. 또한, 상부 충돌면(T1, T2)과

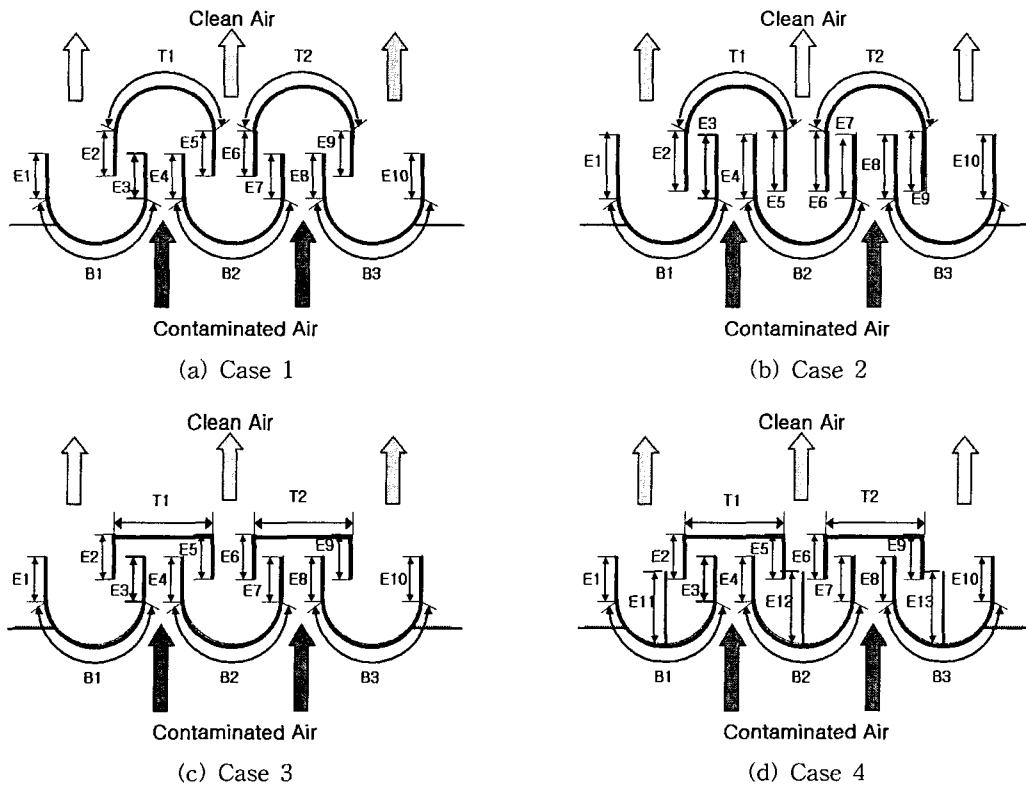


Fig. 2 Cross-sectional view of four grease filters.

Table 1 Design parameters of the grease filter

Case	Length of eyelids (mm)	Number of eyelids	Shape of top surface (T1, T2)
1	13	10	Round
2	16	10	Round
3	13(E2, E5, E6, E9: 10)	10	Flat
4	13(E2, E5, E6, E9: 10)	13	Flat

바닥면(B1, B2, B3)의 반경은 모두 12.5 mm이다. 이전 연구결과⁽⁴⁾에 의하면, 그리스 필터의 상부 충돌면의 형상과 수직 격막이 포집효율에 큰 영향을 미친다.

본 연구에서는 압력강하가 낮으면서 고효율로 입자를 포집할 수 있는 그리스 필터를 설계하기 위하여 Fig. 2와 Table 1에 나타낸 4가지 형상을 대상으로 수치해석을 수행하였다. 즉, 기본형상인 Case 1의 수직 격막 길이를 3mm 증가시킨 것이 Case 2이고, 입자의 관성효과가 크게 나타나도록 Case 1의 상부 충돌면의 모양을 원형 곡면에서 평면으로 변경시킨 것이 Case 3이다. 상부 충돌면과 격막에 포집되지 않고 빠져나오는 입자를 포집하기 위하여 Case 3의 바닥면에 3개의 수직 격막을 추가로 설치한 것이 Case 4이다.

본 논문에서는 상용 열유동 해석코드인 STAR-CD V3.1⁽⁵⁾을 사용하여 정격 유량인 100 m³/h에서 4가지 형상에 대하여 그리스 필터 내 유속분포 및 압력분포를 파악하여 압력강하를 구하였다. 3~20 μm 범위인 입자를 대상으로 입경별 포집 효율을 구하였고, 각 입자의 포집위치를 추적하여 그리스 필터의 유로 형상과 포집효율의 관계를 밝혀냈다. 또한, 포집효율과 압력강하 측면에서 성능이 우수한 것으로 판단되는 Case 3에 대하여 유량 및 입자 밀도에 따른 포집효율의 변화를 조사하였다.

2. 수치해석방법

2.1 유동의 지배방정식과 입자의 운동방정식

그리스 필터 내부의 정상상태 난류유동에 대한 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 각 각 식(1)과 (2)로 표현된다.⁽⁵⁾

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = s_m \quad (1)$$

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

여기서, x_i 는 Cartesian 좌표($i=1, 2, 3$), u_i 는 유속, p 는 압력, ρ 는 공기의 밀도, τ_{ij} 는 응력이고, s_m 과 s_i 는 질량과 운동량의 생성항이다.

입자에 작용하는 힘은 크게 유체에 의한 항력(\vec{F}_{dr}), 중력(\vec{F}_b), 그리고 유체 내부의 압력차에 의한 힘(\vec{F}_p)으로 구분되고, 이 중에서 항력이 입자의 운동에 가장 큰 영향을 미친다. 흐르는 유체 속에서 입자는 유동을 따라 이동하며, 유선이 급격하게 변하지 않는 한 입자는 유선과 같은 경로로 움직이게 된다. 입자의 질량을 m_p , 입자의 속도를 \vec{u}_p 라고 하면, 입자의 운동방정식은 식(3)과 같이 표현된다.⁽⁵⁾

$$m_p \frac{d\vec{u}_p}{dt} = \vec{F}_{dr} + \vec{F}_p + \vec{F}_b \quad (3)$$

이때 우변의 각 항은 식(4), (6) 및 (7)과 같이 표현된다.

$$\vec{F}_{dr} = \frac{1}{2} C_d \rho A_p |\vec{u} - \vec{u}_p| (\vec{u} - \vec{u}_p) \quad (4)$$

여기서, \vec{u} 는 유체속도, ρ 는 유체밀도, A_p 는 입자의 단면적이며, C_d 는 항력계수로 다음과 같이 구할 수 있다.⁽⁵⁾ 이때 Re_p 는 입자의 레이놀즈 수이다.

$$C_d = 24(1 + 0.15 Re_p^{0.687}) / Re_p, \quad Re_p \leq 10^3 \\ = 0.44, \quad Re_p \geq 10^3 \quad (5)$$

$$\vec{F}_p = -V_p \nabla P \quad (6)$$

$$\vec{F}_b = m_p \vec{g} \quad (7)$$

여기서, V_p 는 입자의 체적이고, ∇P 는 유체의 압력구배이며, \vec{g} 는 중력가속도이다. 식(3)으로부터 \vec{u}_p 를 구한 뒤 입자의 순간위치를 \vec{x}_p 라고 하면,

$$\frac{d\vec{x}_p}{dt} = \vec{u}_p \quad (8)$$

로 나타낼 수 있으며, 양변을 적분하면 각 입자의 위치를 구할 수 있다. 본 연구에서는 입자의 운동은 유체에 의해 받는 힘에 따라 결정되며, 시간당 발생하는 입자의 총 체적이 유량에 비해 매우 적으므로 입자가 유체에 영향을 미치지 않는다고 가정하였다.

2.2 격자의 형상

본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 폭 0.11 m, 길이 0.4 m, 높이 0.155 m인 유동 챔버를 갖는 그리스 필터를 대상으로 수치해석을 수행하였다.⁽⁴⁾ 유동 챔버의 형상이 원형 덕트를 중심으로 대칭이므로, 그리스 필터를 포함하는 챔버의 1/2만 모델링하였다. 그리스 필터의 입구로부터 수직방향으로 0.1 m, 출구로부터 수평방향으로 원형 덕트의 길이가 0.2 m인 영역을 계산영역으로 간주하였다.

본 연구에서 생성한 수치해석용 격자의 형상은 이전 연구⁽⁴⁾와 유사하며, 그리스 필터의 형상은 두께가 없는 배플을 사용하여 묘사하였다. 계산에 사용된 전체 격자의 개수는 약 23만개이었다.

2.3 수치해석방법

본 연구에서는 상용 열유동 해석코드인 STAR-CD V3.1을 사용하여 유동장 및 입자의 궤적을 계산하였다. 난류 모델로는 고 Reynolds $k-\epsilon$ 모델을 사용하였으며, 입구조건(uniform flow), 출구조건(fully developed flow) 및 대칭조건을 경계조건으로 사용하였다. Alpha 466 MHz CPU 1대를 사용하여 계산하였는데, 각 경우에 약 20시간이 걸렸다.

입자의 궤적을 추적하여 입경별 포집효율을 구하기 위하여 입구 단면($y=0$ m)에 균일하게 배치된 모든 격자의 중심($63 \times 39 = 2,457$)에서 동일한 크기의 입자를 발생시켰다. 입자의 초기속도

는 입구에서의 유속과 동일하게 설정하여 입자가 상류로부터 실려오는 것으로 가정하였다. 챔버 내부에서 유속에 따른 입자의 위치는 먼저 구한 속도장을 이용하여 계산하였다. 입자의 경우 유동을 따라 이동하다가 벽과 충돌할 경우 벽에 부착되어 재비산되지 않고 포집되도록 벽의 경계조건을 설정하여 계산하였다. 이때 입자의 중심과 벽 사이의 거리가 입자의 반경 이하일 때 입자가 벽에 충돌하는 것으로 간주하였다. 입자의 형태는 완전 구형으로 가정하였으며, 그리스 필터와 유동 챔버를 거쳐 출구 부분에 도달한 입자의 수를 구하여 그리스 필터의 포집효율을 계산하였다.

3. 수치해석 결과 및 고찰

3.1 유속분포

그리스 필터의 포집효율은 유로가 복잡한 충돌면 근처의 유동특성에 따라 달라진다. 유량이 100 m³/h일 때 충돌면 근처의 수직 단면($z=0.01$ m인 xy 평면)에서 4가지 Case의 유속분포를 비교하여 Fig. 3에 나타냈다.

Case 1의 경우 상류에서 균일한 유속(0.63 m/s)은 그리스 필터의 좁은 2개의 입구(E3-E4, E7-E8)를 통과하면서 평균 유속이 약 3.5 m/s로 빨라진다. 상부 충돌면(T1, T2)의 형상이 곡면이어서 유동이 서서히 좌우로 이동하다가 유로가 급격히 변하는 수직 격막(E2, E5, E6, E9) 근처에서 빠른 유속분포를 나타낸다. 이때 안쪽 격막(E5, E6) 근처의 유동은 대체로 격막에 평행하지만, 바깥쪽 격막(E2, E9) 근처의 유동은 격막에 일정한 각을 갖고 충돌한다. 이러한 유동패턴으로 인하여 상부 충돌면에서는 입자의 관성효과가 적고, 바깥쪽 격막이 관성효과를 나타내는 주된 충돌면의 역할을 하게 된다.⁽⁴⁾

수직 격막의 길이를 3 mm 증가시킨 Case 2의 경우 상부 충돌면을 지나 유동이 좌우로 빠져나가는 유로가 좁아져 상부 충돌면 근처의 유속이 빨라지고, 유동이 상부 충돌면의 좌우 측면과 수직 격막(E2, E5, E6, E9)에 일정한 각을 갖고 충돌한다. 또한, 바닥면(B1, B2, B3) 근처에서도 유로가 좁아져 유동이 바닥면을 따라 빠르게 빠져나간다. 안쪽 유로(E4-E5, E6-E7)를 따라 가운데로 빠져나온 유동은 대칭면에서 서로 충돌하여

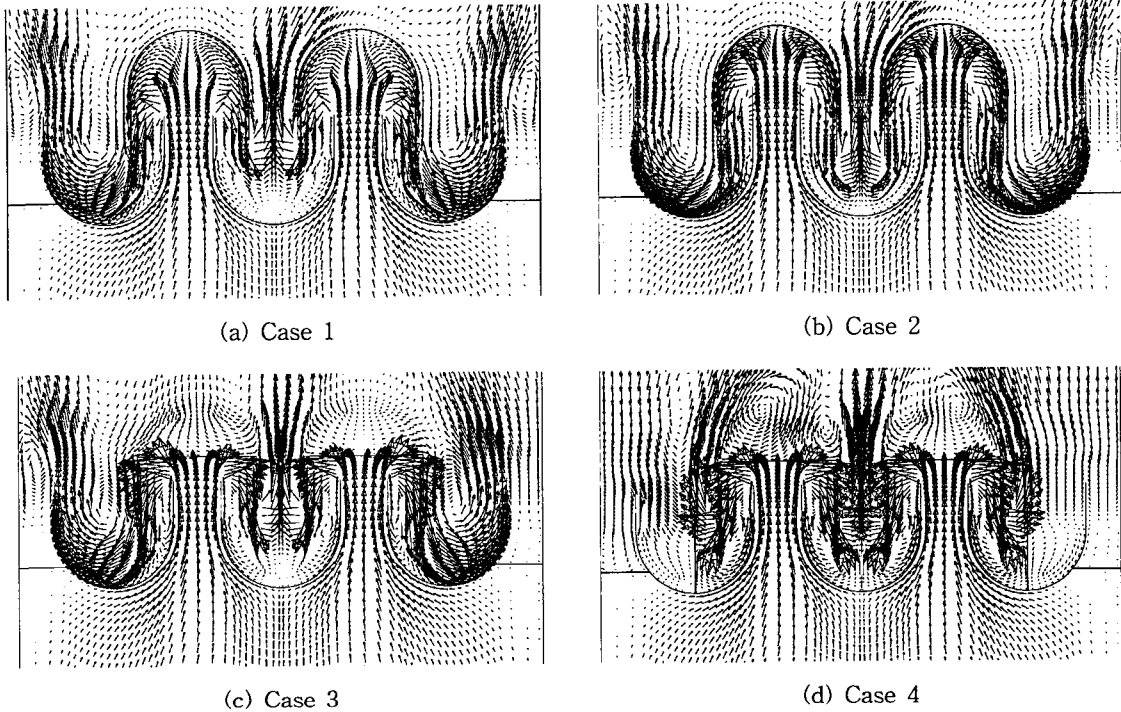


Fig. 3 Velocity distributions near the impaction surfaces at $z=0.01$ m.

상부로 빠르게 빠져나가는데, Case 1에 비해 낮은 곳에서 유동이 충돌하므로 바닥면 근처에서 유속이 느린 정체영역의 크기가 줄어든다. 수직 격막의 길이가 길어지면, 이러한 유동패턴으로 인하여 상부 충돌면과 수직 격막에서 입자의 관성효과가 커져 포집효율이 증가될 것으로 예상된다.

상부 충돌면의 형상을 평면으로 만든 Case 3의 경우 상부에서 유로가 매우 좁아져 협소한 2개의 입구를 통하여 유입된 유동이 상부 충돌면에 정면으로 충돌하는 전형적인 정체점 유동(stagnation flow) 패턴을 나타낸다. 이러한 유동패턴은 관성을 이용하여 입자를 분리시키는데 사용되는 임팩터의 충돌면 근처의 유동패턴과 매우 유사하다.^(6,7) 또한, 유로가 협소하여 빠른 유동이 강하게 바깥쪽 격막(E2, E5, E6, E9)에 충돌하면서 바닥면을 향해 빠져나간다. 이러한 유동패턴으로 인하여 대부분의 입자가 바깥쪽 격막과 상부 충돌면에서 포집될 것으로 예상된다.

Case 3의 바닥면에 3개의 수직 격막(E11, E12, E13)을 추가로 설치한 Case 4의 경우 상부 충돌면의 양쪽 유로를 통해 빠져나온 유동은 바닥면의 중앙에 수직으로 설치된 격막(E11, E13)으로

인해 유로가 좁아지면서 유동의 방향이 급격하게 변경되어 이들 격막에 강하게 충돌한다. 바닥면에 격막을 설치하여도 안쪽 유로는 변하지 않지만, 바깥쪽 유로가 좁아져 상대적으로 안쪽 유로를 통해 빠져나가는 유량이 증가한다. 유동이 가운데 바닥면의 중앙에 설치된 격막에 빠르게 충돌한 후 빠져나간다. 이러한 유동패턴으로 인하여 상부 충돌면과 격막에서 포집되지 않은 입자는 추가로 설치된 격막에서 포집되어 포집효율이 증가될 것으로 예측된다.

3.2 압력강하

유량이 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 일 때 대칭면 근처의 수직 단면($z=0.01$ m인 xy 평면)에서 4가지 Case의 압력 분포를 비교하여 Fig. 4에 나타냈다.

Case 1의 경우 그리스 필터 내부에서 상부 충돌면 근처의 압력이 매우 높고, 안쪽 유로와 가운데 바닥면(B2) 근처의 압력도 높다. 그러나, 바깥쪽 유로와 바깥쪽 바닥면(B1, B3) 근처의 압력은 낮다. 유동 챔버를 보면 왼쪽 상부에 압력이 높은 정체영역이 크게 자리잡고 있다. 원형 덕트

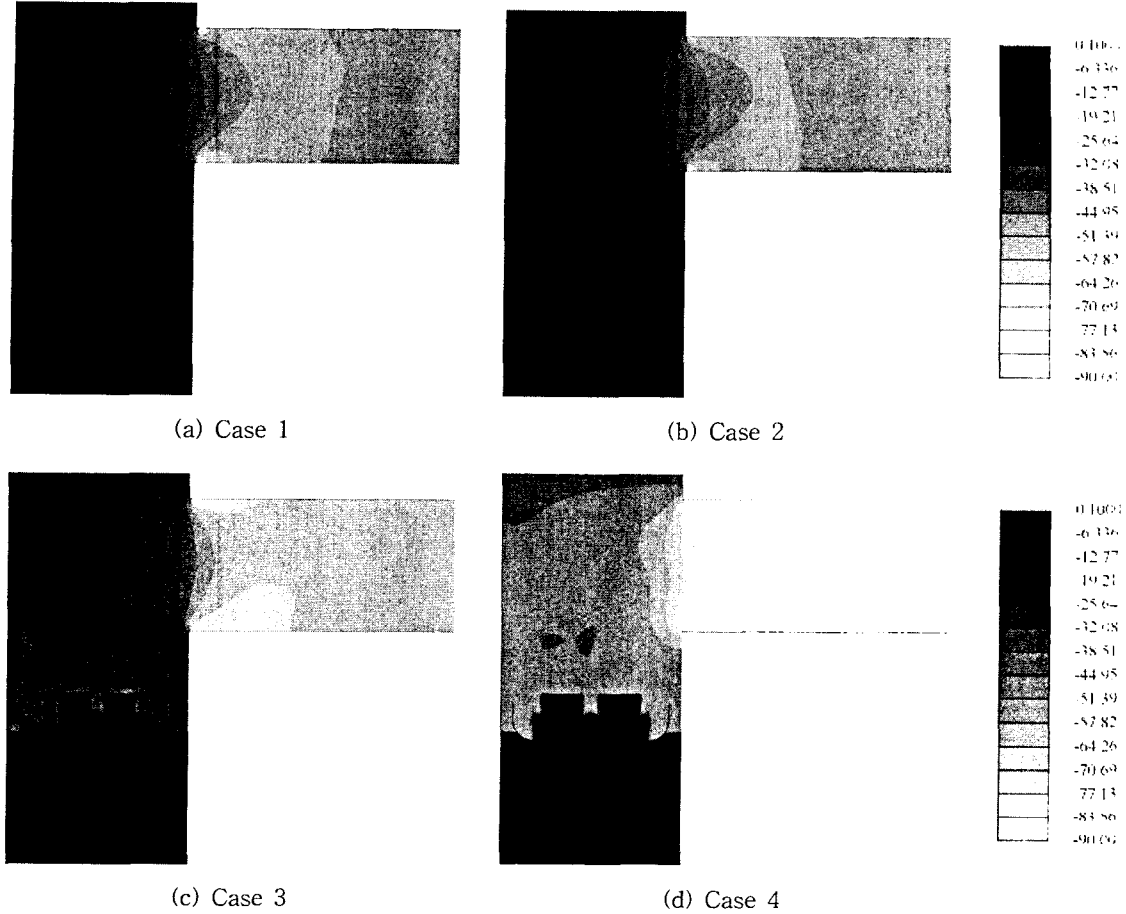


Fig. 4 Pressure distributions in the cross-section of a grease filter at $z=0.01$ m (unit: Pa).

를 보면 유동 챔버의 출구에서 불균일한 압력분포를 보이다가 약 0.05 m 이후에는 원형 단면에서 거의 균일한 압력분포를 나타낸다.⁽⁴⁾

Case 2의 경우 수직 격막의 길이가 길어져 필터 내부에서 압력이 높은 영역이 줄어들고, 유동 챔버의 왼쪽 상부에 압력이 높은 정체영역이 더 넓어진다. 이것은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 수직 격막이 길어져 바깥쪽 유로로 빠져나가는 유동 중에서 Case 1에 비해 챔버 벽으로 향하는 유량이 감소하였기 때문이다.

Case 3의 경우 상부 충돌면의 중앙에만 압력이 높은 영역이 존재하고, 유동 챔버의 왼쪽 상부에 압력이 높은 정체영역이 Case 1에 비해 약간 넓어진다.

Case 4의 경우 필터 내부의 압력이 전체적으로 높아지고, 유동 챔버에 존재하던 압력이 높은 정

체영역이 거의 없어진다. 이것은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 유동이 빠른 속도로 안쪽 및 바깥쪽 유로를 빠져나와 유동 챔버에서 유동의 교란이 심하기 때문이다. 원형 덕트를 보면 유동 챔버의 출구에서 약간 불균일한 압력분포를 보이다가 바로 원형 단면에서 거의 균일한 압력분포를 나타낸다. 이때 원형 덕트에서의 압력은 상대적으로 매우 낮다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 그리스 필터의 상류에서 압력은 매우 균일하므로, 그리스 필터 입구의 0.1 m 상류인 단면($y=0$ m)에서 평균 압력과 유동 챔버 출구로부터 0.05 m 하류인 원형 덕트 단면($x=0.16$ m)에서 평균 압력의 차이를 구하여 그리스 필터의 압력강하를 계산하였다. 유량이 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 일 때 4가지 Case의 압력강하를 비교하여 Table 2에 나타냈다. Case 2의 압력강하는

Table 2 Comparison of pressure drops at 100 m³/h

Case	Pressure drop (Pa)
1	57.8
2	57.3
3	69.8
4	91.8

Case 1의 경우와 거의 비슷하고, Case 3의 압력강하는 Case 1에 비해 약 20% 증가한다. Case 4의 압력강하는 Case 1에 비해 약 59% 높고, Case 3에 비해 32% 가량 증가한다. 이것으로부터 수직 격막의 길이를 약간 증가시켜도 압력강하는 거의 변하지 않지만, 상부 충돌면의 형상을 변경하면서 유로를 크게 줄이거나 바닥면에 추가로 격막을 설치하면 압력강하가 20% 이상 증가함을 알 수 있다.

3.3 포집 효율

그리스 필터의 입경별 포집효율을 구하기 위하여 2,457개 입자를 사용하여 개개 입자의 궤적을 추적하였다. 주방에서 발생하는 그리스는 점성이 있는 액체이고, 밀도가 0.9~1.1 g/cm³으로 물의 밀도(1 g/cm³)와 비슷하다.

유량이 100 m³/h일 때 입자를 밀도가 1 g/cm³인 구형의 액적으로 가정하여 3~20 μm 범위인

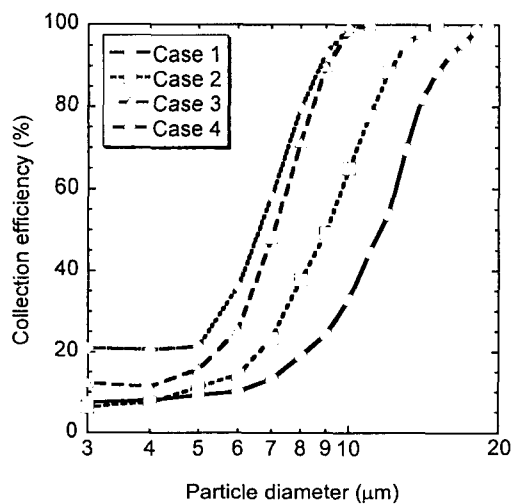


Fig. 5 Comparison of particle collection efficiency curves for four cases at 100 m³/h.

입자를 대상으로 4가지 Case의 포집효율을 구하여 Fig. 5에 나타냈다. Fig. 5를 보면, 포집효율은 입경이 증가함에 따라 서서히 증가하다가 50% 포집효율을 나타내는 입경 근처에서 급격히 증가한 후 다시 서서히 증가한다. 즉, 그리스 필터는 입자의 관성을 이용하여 입자를 포집하므로, 포집효율 곡선이 입경의 제곱에 비례하는 S 형태를 나타내는데, 이것은 임팩터나 사이클론의 포집효율 곡선과 비슷하다.^(6,7)

Case 1의 경우 포집효율이 50%인 입경은 약 11.6 μm이며, 입경이 8 μm 이하로 작으면 포집효율이 20% 이하로 낮고, 입경이 14 μm 이상으로 커지면 포집효율이 80% 이상이 된다.⁽⁴⁾

Case 2의 경우 입경이 5 μm보다 커지면 포집효율은 모델 1보다 점차 높아져 15 μm에서 약 100%에 도달한다. 50% 포집효율을 나타내는 입경은 약 9 μm로 감소한다.

Case 3의 경우 입경이 작은 3 μm에서도 포집효율이 Cases 1과 2에 비해 높고, 입경이 커짐에 따라 포집효율이 보다 급격하게 증가하여 11 μm에서 약 100%에 도달한다. 50% 포집효율을 나타내는 입경은 약 7.1 μm로 감소한다.

Case 4의 경우 입경이 작은 3 μm에서도 포집효율이 20% 정도로 높아지고, 입경이 커짐에 따라 포집효율의 증가량은 줄어들어 Case 3의 포집효율 곡선과 비슷해진다. 50% 포집효율을 나타내는 입경은 약 6.6 μm로 감소한다. 이러한 결과로부터 추가로 설치된 수직 격막은 작은 입자를 포집하는 데 크게 기여하는 것으로 생각된다.

Case 4의 포집효율이 가장 높지만, 에어필터의 두 가지 대표적 성능인 포집효율과 압력강하를 함께 고려하면, Case 3이 압력강하는 그다지 높지 않고 포집효율은 높아 4가지 Case 중에서 그리스 필터로서 가장 우수한 성능을 갖고 있는 것으로 판단된다.

Case 3의 일반적인 포집효율 특성을 파악하기 위하여 유량이 75, 100, 125 m³/h일 때 입자를 밀도가 1 g/cm³인 구형의 액적으로 가정하여 3~20 μm 범위인 입자를 대상으로 Case 3의 포집효율을 구하여 Fig. 6에 나타냈다. 입자가 작은 5 μm 이하에서 포집효율은 비슷하지만, 입경이 증가함에 따라 유량이 클수록 포집효율이 더 급속하게 증가한다. 이것은 유량이 증가할수록 입자의 관

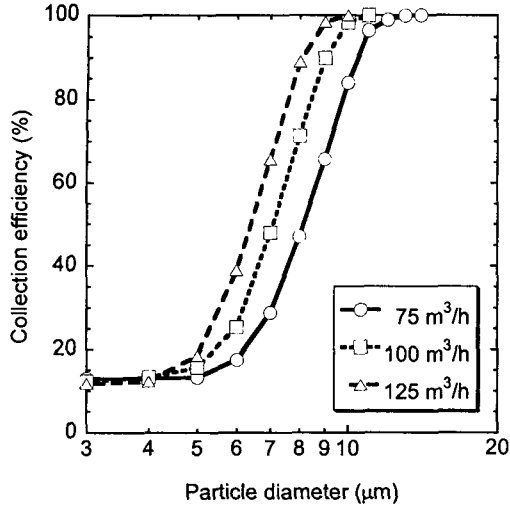


Fig. 6 Effect of air flow rate on the particle collection efficiency for Case 3.

성이 증가하기 때문이다.^(4,7) Case 1의 경우 75 m³/h와 100 m³/h의 포집효율 곡선이 거의 비슷하였는데,⁽⁴⁾ Case 3의 경우 이들 포집효율 곡선이 뚜렷하게 서로 다르다. 이것은 유량이 적은 경우 Case 3의 포집효율이 Case 1에 비해 유량의 변화에 더 민감함을 의미한다. 유량이 정격유량의 ±25% 이내이면 50% 포집효율을 나타내는 입경은 6~9 μm 범위이다.

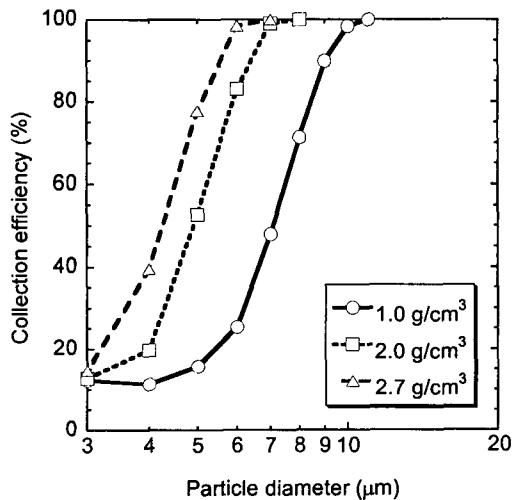


Fig. 7 Effect of particle density on the particle collection efficiency for Case 3 at 100 m³/h.

일반적으로 에어필터의 성능시험에 미국 ASHRAE 혼합시험입자(밀도=2.7 g/cm³)가 널리 사용되고 있으므로,^(2,8) 본 연구에서도 입자의 밀도가 포집효율에 미치는 영향을 살펴보았다. 유량이 100 m³/h 일 때 입자의 밀도가 1, 2, 2.7 g/cm³인 경우의 포집효율을 구하여 Fig. 7에 나타냈다. 그림을 보면, 입자의 밀도가 1 g/cm³에서 2, 2.7 g/cm³으로 2배, 2.7배 높아지면 포집효율이 크게 증가한다. 이것은 입자의 관성이 입자의 밀도에 비례하여 증가하기 때문이다.^(4,7) 입자의 밀도가 2.7 g/cm³인 경우 50% 포집효율을 나타내는 입경은 약 4.2 μm이며, 6 μm 이상인 입자의 95% 이상이 포집되고, 3 μm인 입자의 포집효율은 약 15%이다.

3.4 포집위치

그리스 필터 내 입자의 궤적을 추적하여 포집되는 위치를 알아내면, Fig. 2에 나타낸 그리스 필터를 구성하는 상부 충돌면, 수직 격막, 바닥면이 전체 포집효율에 기여하는 정도를 파악할 수 있다. 이러한 자료는 압력강하가 낮으면서 고효율로 입자를 포집할 수 있는 그리스 필터의 형상을 설계하는 데 매우 중요하다.

유량이 100 m³/h일 때 그리스 필터의 4가지 Case에 대하여 Case 3의 50% 입경과 비슷한 7 μm인 액적의 포집위치를 비교하여 Fig. 8에 나

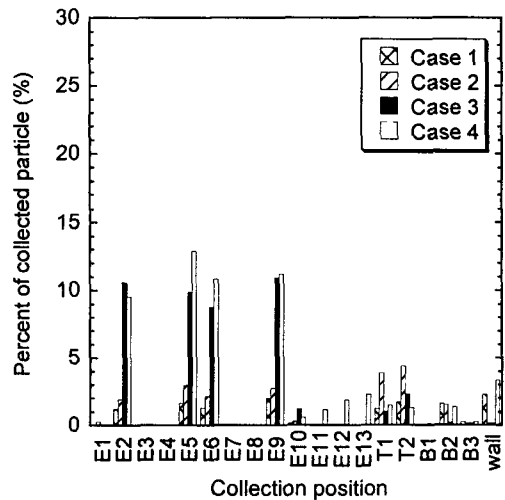


Fig. 8 Effect of impaction geometry on the particle collection position for 7 μm particles at 100 m³/h.

타냈다. 입경이 $7\mu\text{m}$ 일 때 Case 1~4의 포집효율은 각각 13%, 23%, 48%, 58%이다. 그림을 보면, Case 1의 경우 입자는 주로 수직 격막(E2, E5, E6, E9), 유동 챔버의 벽면(wall), 가운데 바닥면(B2) 및 상부 충돌면(T1, T2)에서 포집된다.⁽⁴⁾ 수직 격막의 길이를 증가시킨 Case 2의 경우 Case 1에 비해 포집효율이 1.8배 가량 증가하는데, 이것은 상부 충돌면(T1, T2)에 부착되는 입자 수가 많이 증가하고, 수직 격막에 부착되는 입자 수도 약간 증가하기 때문이다. 그러나, 유동 챔버의 벽면에서 포집되는 입자 수는 크게 감소하여 거의 포집되지 않는다.

상부 충돌면의 모양이 평면인 Case 3의 경우 Case 1에 비해 포집효율이 3.6배 가량 증가하는데, 이것은 상부 충돌면(T1, T2)의 형상 변화로 인하여 수직 격막(E2, E5, E6, E9)에 부착되는 입자 수가 크게 증가하기 때문이다. 그러나, 유동 챔버의 벽면에서 포집되는 입자 수는 크게 감소하여 거의 포집되지 않는다. Case 3의 바닥면에 3개의 수직 격막을 추가로 설치한 Case 4의 경우 Case 1에 비해 포집효율이 약 4.4배, Case 3에 비해 약 1.2배 증가한다. 바깥쪽에 설치된 수직 격막(E11, E13)으로 인해 안쪽 유로로 빠져나오는 유량이 증가하여 입자의 관성이 커져 안쪽 수직 격막(E5, E6)에서 포집되는 입자 수가 증가하고, 추가로 설치된 수직 격막(E11, E12, E13)에서도 입자가 포집되며, 유동 챔버의 벽면에서 포집

되는 입자 수가 Case 1에 비해 많다. Case 3과 4의 경우 $7\mu\text{m}$ 인 입자가 수직 격막(E2, E5, E6, E9)에 포집되는 비율은 각각 41%, 45%로 이들이 그리스 필터의 포집효율을 좌우하는 주된 충돌면임을 알 수 있다.

4가지 Case 중에서 그리스 필터로서 가장 우수한 성능을 갖고 있는 것으로 판단되는 Case 3에 대하여 입경이 $7\mu\text{m}$ 일 때 유량에 따른 입자의 포집위치를 비교하여 Fig. 9에 나타냈다. 유량이 75, 100, 125 m^3/h 로 증가함에 따라 주된 충돌면인 수직 격막(E2, E5, E6, E9)에서 포집되는 입자 수가 크게 증가하여 포집효율이 증가함을 알 수 있다. 유량이 변하여도 상부 충돌면(T1, T2)에서 포집되는 입자 수는 거의 비슷하지만, 유동 챔버의 벽면에서 포집되는 입자 수는 유량에 따라 큰 차이를 보인다. 즉, 유량이 가장 적은 75 m^3/h 에서 입자가 가장 많이 포집되고, 100 m^3/h 에서 가장 적게 포집된다. 이러한 포집위치의 비교로부터 유량에 비례하는 입자의 관성효과는 수직 격막에서 나타남을 알 수 있다. 이전 연구결과⁽⁴⁾에 의하면, Case 1의 경우 수직 격막(E5, E9), 상부 충돌면(T1, T2) 및 유동 챔버의 벽면에서 유량에 비례하는 관성효과가 나타났다. 이것은 형상에 따라 유량이 입자의 관성에 미치는 효과가 달라짐을 의미한다.

Case 3에 대하여 입경이 $7\mu\text{m}$ 일 때 입자밀도에 따른 포집위치를 비교하여 Fig. 10에 나타냈

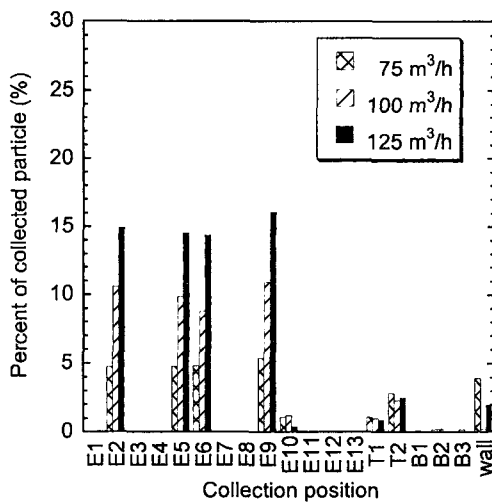


Fig. 9 Effect of air flow rate on the particle collection position for Case 3.

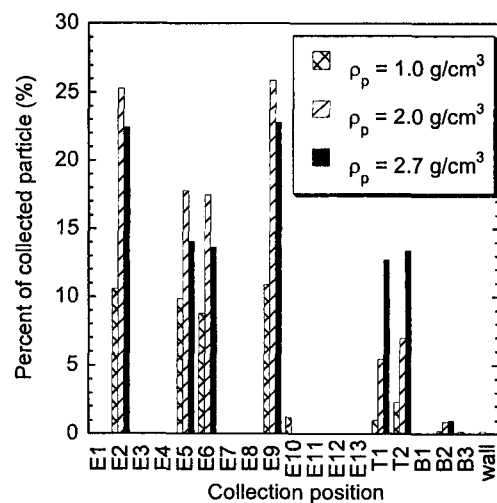


Fig. 10 Effect of particle density on the particle collection position for Case 3.

다. 밀도가 1 g/cm^3 일 때 포집효율은 약 48%인데, 밀도가 2 g/cm^3 로 2배 증가하면 포집효율이 약 99%로 2.1배 가량 높아진다. 이것은 바깥쪽 격막(E2, E9), 안쪽 격막(E5, E6) 및 상부 충돌면(T1, T2)에서 포집되는 입자 수가 크게 증가하기 때문이다. 이러한 경향은 Case 1의 연구결과와 일치한다.⁽⁴⁾ 밀도가 2.7 g/cm^3 로 증가하면 포집효율이 100%로 $7\mu\text{m}$ 인 입자가 모두 제거된다. 입자밀도의 증가로 인해 관성이 증가하여 상부 충돌면에서 제거되는 입자의 비율이 증가하며, 수직 격막에서 제거되는 입자의 비율은 2 g/cm^3 인 경우보다 감소한다. 이것으로부터 밀도가 2, 2.7 g/cm^3 일 때 포집효율은 서로 거의 같지만, 입자가 포집되는 위치는 약간 다를 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 주방환기용으로 사용되는 그리스 필터의 형상을 설계하기 위하여 4가지 형상을 대상으로 수치해석적 방법을 사용하여 그리스 필터내 유속분포, 압력분포 및 입자궤적을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 그리스 필터에서 수직 격막의 길이를 증가시키면(Case 2), 유로가 좁아져 상부 충돌면과 수직 격막에서 입자의 관성효과가 커져 포집효율이 증가되지만, 압력강하는 거의 변하지 않는다.

(2) 그리스 필터에서 상부 충돌면의 형상을 곡면에서 평면으로 만들면(Case 3), 상부에서 유로가 매우 좁아져 상부 충돌면에서 전형적인 정체점 유동이 생기고, 유로가 급격하게 꺾여 빠른 유동이 바깥쪽 격막과 충돌하여 포집효율이 크게 증가한다. 이때 압력강하는 20% 정도 증가한다.

(3) 그리스 필터에서 상부 충돌면의 형상을 곡면에서 평면으로 만들고 바닥면에 수직 격막을 추가로 3개 설치하면(Case 4), $3\sim 5\mu\text{m}$ 인 작은 입경에서 포집효율이 20% 정도로 높아진다. 이때 압력강하는 59% 가량 증가한다.

(4) 그리스 필터의 대표적 성능인 포집효율과 압력강하를 함께 고려하면, 상부 충돌면의 형상을 평면으로 변경한 Case 3이 압력강하는 그다지 높지 않고 포집효율은 높아 본 연구에서 선정한 4가지 형상 중에서 가장 우수한 성능을 가진 것으로 판단된다.

(5) Case 3의 경우 정격유량인 $100\text{ m}^3/\text{h}$ 에서 입

자의 밀도가 1 g/cm^3 일 때 포집효율이 50%를 나타내는 입경은 약 $7.1\mu\text{m}$ 이고, 입자의 밀도가 2.7 g/cm^3 로 증가하면 포집효율이 증가하여 50% 입경은 약 $4.2\mu\text{m}$ 로 작아진다.

(6) 입자의 포집위치를 추적한 결과에 의하면, Case 3의 경우 입자의 관성을 이용하여 입자를 포집하는 주된 충돌면은 안쪽 및 바깥쪽 수직 격막이고, 상부 충돌면은 입자의 밀도에 따라 관성효과가 크게 달라진다.

후 기

본 연구는 2000년도 중소기업 애로기술 지원사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사를 드린다.

참고문헌

1. Jung, H. and Han, H., 2000, Effect of make up air configuration on kitchen exhaust system performance, Proceedings of the SAREK 2000 Winter Annual Conference, pp.170-174.
2. Bae, G. N., Kim, K. J. and Kim, Y. I., 2001, Performance investigation of a grease filter for kitchen ventilation in an apartment house, Proceedings of the SAREK 2001 Summer Annual Conference, pp.560-565.
3. 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 Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 75-82.
4. Kim, K. J., Bae, G. N., Kim, Y. and Hur, N., 2002, A numerical study on the particle collection characteristics of a grease filter for kitchen ventilation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 10, pp. 792-800.
5. Computational Dynamics Limited, 1999, Methodology (STAR-CD version 3.10A).
6. Rader, D. J. and Marple, V. A., 1985, Effect of ultra-Stokesian drag and particle interception on impaction characteristics, Aerosol

- Science and Technology, Vol. 4, pp. 141-156.
7. Hinds, W. C., 1999, Aerosol Technology, John Wiley & Sons, Inc., pp. 121-128.
 8. ASHRAE, 1992, Gravimetric and Dust-Spot Procedures for Testing Air-Cleaning Devices Used in General Ventilation for Re-
 - moving Particulate Matter, ANSI/ASHRAE 52.1-1992.
 9. Bae, G. N., Park, S. H., Ji, J. H. and Hwang, J. H., 2000, Performance prediction of a viscous metal filter, Proceedings of the SAREK 2000 Winter Annual Conference, pp. 148-152.