

주방환기용 그리스 필터의 성능예측

김기정*, 배귀남**, 김영일***, 허남건****

Performance Prediction of a Grease Filter for Kitchen Ventilation

Ki-Jung Kim*, Gwi-Nam Bae**, Youngil Kim*** and Nahmkeon Hur****

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

Abstract

A grease filter is used to remove grease generated from a cooking appliance in a kitchen. This numerical study has been conducted to investigate the particle collection characteristics of a grease filter having nominal flowrate of 100 m³/h. The flow field and particle trajectories in the grease filter with a flow chamber were simulated by using the commercial code of STAR-CD. The pressure drop of a grease filter rapidly increases with increasing the air flowrate. The numerical values of the pressure drop are slightly lower than the experimental values when the air flowrates are 50, 75, and 100 m³/h. The particle collection efficiency of a grease filter increases with increasing the particle diameter and the air flowrate, which means that the inertial impaction is a dominant particle removal mechanism in a grease filter. The cut-off diameter of the tested grease filter representing 50-% collection efficiency is about 11.6 μm for water droplets at 100 m³/h.

1. 서론

최근 국내에서도 주택의 주방환기에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다.^[1,2] 현재 주방환기설비로 레인지 후드가 보편화되어 있고, 최근에는 레인지 후드에 추가로 에어제트 노즐, 그리스 필터 등을 결합한 주방환기설비가 개발되어 시판되고 있다.

압력강하가 낮으면서 고효율로 입자를 포집할 수 있는 그리스 필터를 설계하기 위해서는 입자크기에 따른 그리스 필터내 입자의 궤적을 추적하여 포집되는 위치를 파악함으로써 입자포집 메커니즘을 규명할 필요가 있다. 실험적인 방법으로 입자의 궤적을 추적하는 것은 매우 어려우므로, 수치해석적인 방법이 많이 사용되고 있다.^[3-5]

Fig. 1은 현재 시판되고 있는 그리스 필터의 형상을 개략적으로 나타낸 것인데, 그리스 필터는 충돌면과 유동 챔버로 구성되어 있다. 그리스 필터는 주방의 천장에 설치되므로, 그리스를 포함하고 있는 공기는 수직으로 유입되어 충돌면으로 형성된 유로를 거쳐 유동 챔버의 오른쪽 중앙에 설치된 원형 덕트를 통하여 빠져나간다. 이때 공기에 포함된 그리스가 필터의 충돌면 또는 챔버 벽면에 부착되어 제거되도록 설계되어 있다.

본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같은 형상을 갖는 그리스 필터의 입자포집 특성을 밝혀내기 위하여 수치해석적인 방법을 사용하였다. 즉, 상용 열유동 해석 코드인 STAR-CD V3.1을 사용하여 유량에 따른 그리스 필터내 유속분포 및 압력분포를

상세하게 파악하여 압력강하 곡선을 구하였다. 또한, 5~20 μm 범위의 입자를 대상으로 유량에 따른 입경별 포집효율을 구하였다.

2. 수치해석 방법

본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 폭 0.11 m, 길이 0.4 m, 높이 0.155 m인 그리스 필터를 대상으로 수치해석을 수행하였다. 이것은 정격유량이 300 m³/h인 그리스 필터의 길이만 1/3로 줄인 것이다. 이때 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 연구에서는 약 23만개의 격자를 생성하여 수치해석을 수행하였으며, 그리스 필터의 형상은 두께가 없는 배플을 사용하여 묘사하였다.

상용 열유동 해석 코드인 STAR-CD V3.1을 사용하여 유동장 및 입자의 궤적을 계산하였다. 난류 모델로는 high Reynolds k-ε 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 2457곳에서 동일한 크기의 입자를 발생시켰다. 입자의 초기속도는 입구에서의 유속과 동일하게 설정하여 입자가 상류로부터 실려오는 것으로 가정하

* 서강대학교 대학원, ledknight@hanmail.net

** KIST 지구환경연구센터, gnbae@kist.re.kr

*** KIST 열유동제어연구센터, yikim@kist.re.kr

**** 서강대학교 기계공학과, nhur@sogang.ac.kr

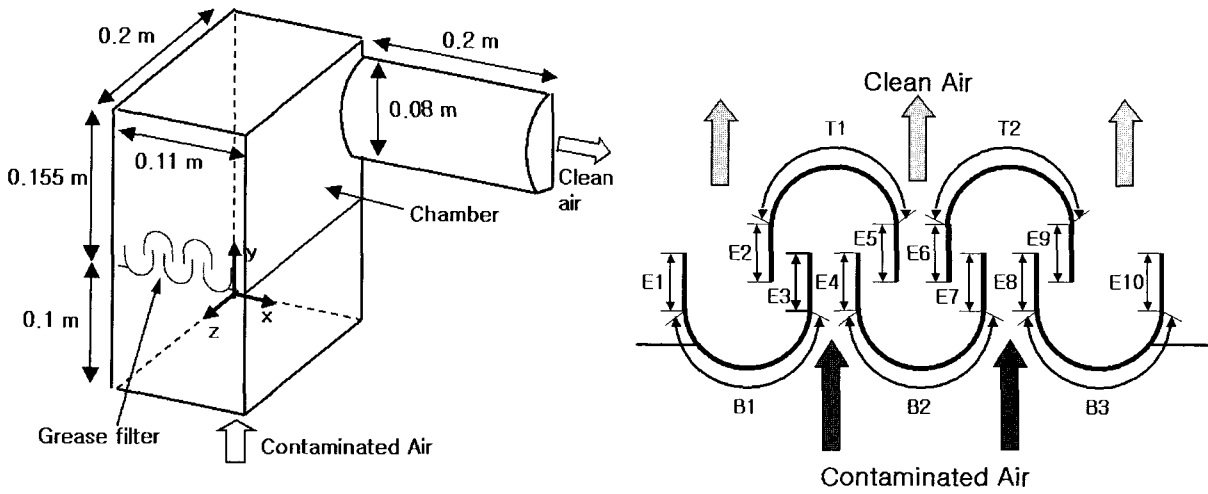


Fig. 1 Schematic diagram of the grease filter with a flow chamber.

었다. 챔버 내부에서 유속에 따른 입자의 위치는 먼저 구한 속도장을 이용하여 계산하였다. 입자의 경우 유동을 따라 운동하다가 벽과 충돌할 경우 벽에 부착되도록 설정하여 계산하였다. 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

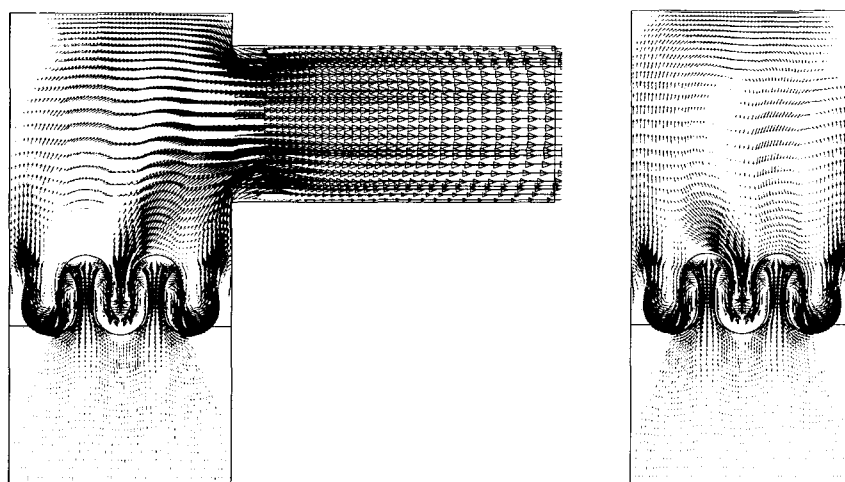
3.1 유속분포

먼저 그리스 필터 및 유동 챔버 내부의 유속분포를 살펴보았다. 그리스 필터의 정격유량인 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 일 때 수직단면(xy 평면)에서 유속분포를 Fig. 2에 나타냈다. 대칭면 근처($z = 0.01 \text{ m}$)에서 전체 유속분포를 나타낸 Fig. 2 (a)와 그리스 필터 내부의 유속분포를 확대하여 나타낸 Fig. 3을 보면, 상류에서 균일한 유동이 그리스 필터의 2개의 입구로 유입되어 거의 대칭적으로 그리스 필터를 빠져 나온 후 유동 챔버에서는 오른쪽 출구로 향한다. 챔버 출구로부터 약 0.15 m 이후에서는 유속분포가 거의

일정하게 된다. Fig. 2 (b)는 대칭면으로부터 멀리 떨어진 벽면 근처($z = 0.19 \text{ m}$)에서 유속분포를 나타낸 것인데, 그리스 필터 내부 유속분포는 대칭면의 유동과 거의 비슷하지만, 원형 덕트로부터 멀리 떨어져 있으므로 챔버 내부의 유속분포는 매우 다르다.

Fig. 3에 나타난 그리스 필터 내부의 유속분포를 보면, 상류에서 균일한 유속(0.63 m/s)은 그리스 필터의 좁은 2개의 입구(E3-E4, E7-E8)를 통과하면서 약 3.6 m/s 로 빨라진다. 1차 충돌면(T1, T2)의 형상이 곡면이어서 유동이 서서히 좌우로 이동하다가 유로가 급격히 변하는 수직격막(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 보면, 1차 충돌면에서는 입자의 관성효과가 적게 나타나고, 바깥쪽 격막(E2, E9)이 관성효과를 나타내는 주된 충돌면의 역할을 할 것으로 판단된다.

안쪽 유로(E4-E5, E6-E7)를 따라 가운데로 빠져 나온 유동은 대칭면에서 서로 충돌하여 상부로 빠르게 빠져나가고, 바닥면



(a) Cross-section at $z = 0.01 \text{ m}$

(b) Cross-section at $z = 0.19 \text{ m}$

Fig. 2 Velocity distributions in a grease filter at $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

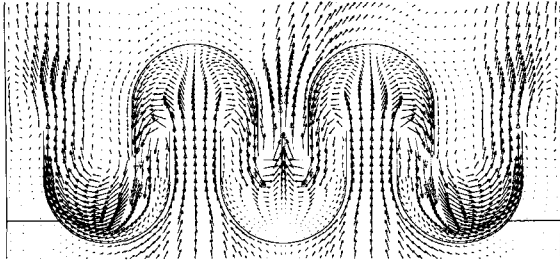


Fig. 3 Velocity distribution near the impaction surfaces at 100 m³/h.

(B2) 근처의 유속은 매우 느려 정체영역이 형성된다. 바깥쪽 유로(E2-E3, E8-E9)를 따라 빠져 나온 유동은 바닥면(B1, B3)의 바깥쪽으로 향하다가 수직격막(E1, E10)을 따라 상부로 빠져나간다.

3.2 압력강하

그리스 필터의 상류에서 압력은 매우 균일하므로, $y = 0$ m인 단면에서 평균 압력과 하류인 원형 덕트의 단면($x = 0.16$ m)에서 평균 압력의 차이를 구하여 그리스 필터의 압력강하를 구하였다. 정격유량의 50%, 75%, 100%, 125%인 4가지 유량(50, 75, 100, 125 m³/h)에서 그리스 필터의 압력강하를 구하여 Fig. 4에 나타냈다. 또한, 동일한 형상의 그리스 필터에 대한 실험결과⁽⁶⁾를 함께 나타냈다. 실험에서 압력강하의 측정위치는 수치해석에서 압력을 구한 위치와 동일하다.

Fig. 4를 보면, 그리스 필터의 압력강하는 유량이 증가함에 따라 급격히 증가하고, 계산값이 측정값보다 약간 낮으며 유량이 증가할수록 차이가 커진다. 정격유량인 100 m³/h에서 압력강하의 계산값과 측정값은 각각 약 5.8, 6.5 mmH₂O로 계산값이 측정값보다 약 11% 낮다. 유량이 50, 75, 100 m³/h인 경우 압력강하의 차이가 11% 이내로 수치해석결과와 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 그런데, 유량이 125 m³/h인 경우 압력강하의 측정값은 약 11 mmH₂O(110 Pa)이나 계산값은 약 9 mmH₂O(90 Pa)로 측정값보다 18% 정도 낮다. 이것은 압력강하 측정시 다른 유량에 비하여 압력변동이 커서 측정오차가 크게 나타났기

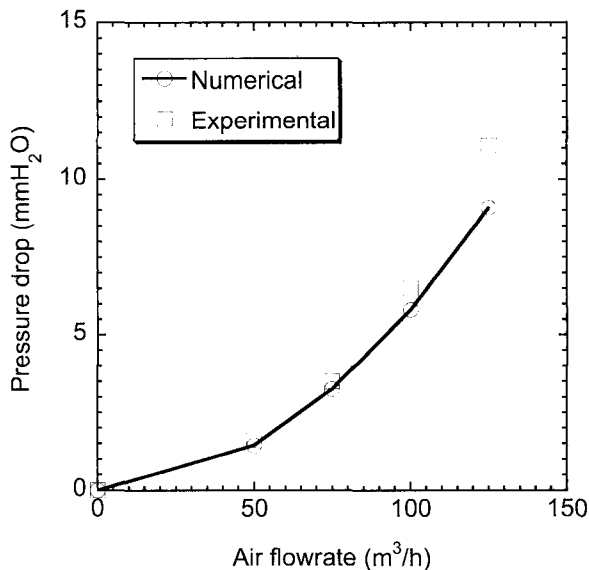


Fig. 4 Comparison of numerical and experimental pressure drops.

때문인 것으로 추정된다.

3.3 포집효율

그리스 필터의 입경별 포집효율을 구하기 위하여 2457개 입자를 사용하여 개개 입자의 궤적을 추적하였다. 주방에서 발생되는 그리스는 점성이 있는 액체이고, 밀도가 0.9~1.1 g/cm³으로 물의 밀도(1 g/cm³)와 비슷하다.

유량이 75, 100, 125 m³/h일 때 입자를 밀도가 1 g/cm³인 구형의 액체으로 가정하여 5~20 μm 범위의 입자를 대상으로 그리스 필터의 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 곡선⁽⁷⁾과 유사하다.

정격유량인 100 m³/h에서 포집효율이 50%인 입경은 약 11.6 μm이며, 입경이 8 μm 이하로 작으면 포집효율이 20% 이하로 낮고 입경이 14 μm 이상으로 크면 포집효율이 80% 이상이 된다. 유량이 75 m³/h로 25% 감소하여도 포집효율 곡선은 100 m³/h일 때의 포집효율 곡선과 거의 비슷하지만, 유량이 125 m³/h로 25% 증가하면 포집효율은 100 m³/h일 때의 포집효율보다 약간 높아진다. 정격유량의 ±25% 이내이면 50% 포집효율을 나타내는 입경은 10~13 μm 범위이다. 입자의 관성은 유체속도에 비례하는데, 75 m³/h의 경우 유량의 변화가 적어 다른 요인에 의해 유체속도가 포집효율에 미치는 영향이 뚜렷하게 나타나지 않은 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 주방환기용으로 사용되는 그리스 필터의 성능을 예측하고, 입자포집 메커니즘을 규명하기 위하여 수치해석적 방법을 사용하여 그리스 필터내 유속분포, 압력분포 및 입자궤적을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 그리스 필터의 압력강하는 유량이 증가함에 따라 급격히 증가하며, 계산값이 측정값보다 약간 낮고 유량이 증가할수

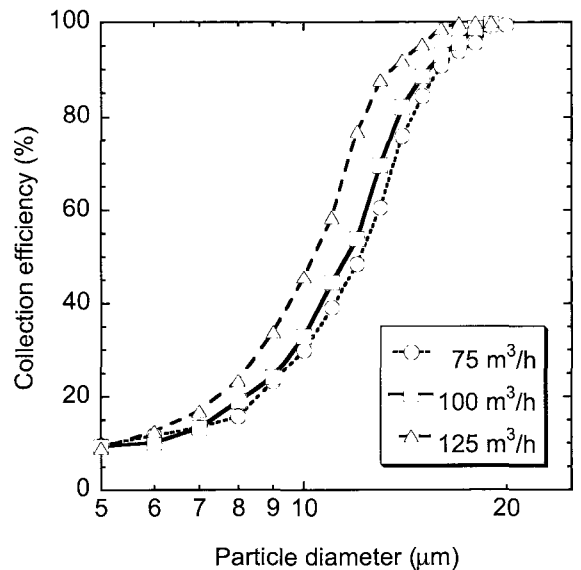


Fig. 5 Particle collection efficiency curves of a grease filter for water droplets.

록 이러한 차이가 커진다.

둘째, 그리스 필터의 포집효율 곡선은 입경의 제곱에 비례하는 S 형태를 나타내는데, 이것은 임팩터나 싸이클론의 포집효율 곡선과 비슷하다.

셋째, 그리스 필터의 정격유량인 100 m³/h에서 입자의 밀도가 1 g/cm³인 경우 포집효율이 50%를 나타내는 입경은 약 11.6 μm이다.

후 기

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

참고문헌

- [1] Jung, H. and Han, H., Effect of make up air configuration on kitchen exhaust system performance, Proceedings of the SAREK 2000 Winter Annual Conference (2000) pp.170-174.
- [2] Kim, K.H., Lee, J.H., Park, M.S., and Lee, D.W., 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 (2000) pp.75-82.
- [3] Kim, W.S., Kang, Y.H., Lee, J.W., Numerical analysis of collection performance for electro-cyclone, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6 (1998) pp.702-713.
- [4] Ahn, K.H., Numerical analysis of particle behavior around a bipolar charged electret fiber, Transaction of the Korean Society of Mechanical Engineering, Vol. 21, No. 11 (1997) pp.1509-1517.
- [5] Bae, G.N., Park, S.H., Ji, J.H. and Hwang, J.H., Performance prediction of a viscous metal filter, Proceedings of the SAREK 2000 Winter Annual Conference (2000) pp.148-152.
- [6] Bae, G.N., Kim, K.J. and Kim, Y.I., Performance investigation of a grease filter for kitchen ventilation in an apartment house, Proceedings of the SAREK 2001 Summer Annual Conference (2001) pp.560-565.
- [7] Hinds, W.C., Aerosol Technology, John Wiley & Sons. (1982) pp.164-186.