

PG4) 최적 환기 시스템에 의한 실내에서의 가스 및 입자상 오염물의 동시 제거에 관한 연구
Simultaneous Removal of Gaseous and Particulate Pollutants in a Room with Optimal Ventilation System

조용수·여석준
 부경대학교 환경시스템공학부

1. 서론

급속한 산업 발전과 더불어 산업전반에 걸쳐 환경문제가 심각해지면서 생활의 질적 향상에 따른 쾌적 환경을 추구하기 위해 실내와 작업장 내에 떠 있는 먼지나 유해가스 등의 오염물질로 인한 직업성 질병에 대한 관심이 높아지고 있다. 실내·외를 불문하고 환경오염이 인체 건강 및 위생에 미치는 영향은 오염물에 대한 노출시간에 관계하기 때문에 하루의 대부분의 시간을 실내에서 생활하는 현대인에게 실내 환경의 질은 아주 중요하다. 질의 물리적 특성에 따른 가스상, 입자상의 거동 및 농도분포에 대한 수치 해석적 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실내 또는 작업장에서의 가스 및 입자상 오염물의 이동과 확산 현상을 규명하기 위해 다양한 형태의 환기시스템을 설정하여 수치 시뮬레이션을 통해 가스상 오염물의 유동장, 농도분포 및 입자상 오염물의 거동을 해석하여, 가스상 및 입자상 오염물을 동시에 효과적으로 제어할 수 있는 최적의 환기시스템 설계의 기초적 자료로 이용하고자 한다.

2. 연구 방법

환기시스템 내에서 환기성능을 예측하기 위해서는 유체의 운동량이 가스의 확산 및 입자 운동에 미치는 영향을 명확히 해석하여야 한다. 이를 위해서 먼저 실내 유동장 해석이 선행되어야 하며, 실내 유동을 정상 상태 비압축성 2차원 난류 유동으로 가정할 때 지배 방정식은 다음과 같다. 비압축성 유동 조건에서 연속방정식은 다음과 같다.

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

관성 좌표계에서 i 방향에 대한 운동량 보존 방정식은 아래와 같이 기술된다.

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

여기서, p 는 정압, τ_{ij} 는 stress tensor, ρg_i 와 F_i 는 중력 및 외력이다.

본 연구에서는 작업장 내부의 난류를 해석하기 위하여 $k-\epsilon$ 난류 모델을 사용하였다.

실내 환기 시스템 내에서 가스 오염물 즉, 화학종 m 의 질량 분율(local mass fraction)을 구하기 위한 대류-확산 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho m) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i m) = \frac{\partial}{\partial x_i} J_i + S$$

여기서, S 는 생성항이며, J_i 는 화학종의 확산 flux이다.

실내 작업장 내에서 입자에 작용하는 주된 힘인 항력과 중력을 고려하면, 단일 입자에 대한 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + g_x(\rho_p - \rho)/\rho_p$$

여기서 u 는 유체의 속도, u_p 는 입자 속도, μ 는 유체의 분자점성, ρ_p 는 입자의 밀도, D_p 는 입자의 직경이다.

위의 입자운동방정식을 해석하여 입자 궤적에 근거한 작업장의 각 위치에서 입자 농도 분포를 구하기 위해 C. T. Crowe et al.에 의해 개발된 PSI-CELL Model을 적용한다. 입자는 작업대 상부에서 기류와 동일한 속도로 발생하며, 입자가 벽면에 부딪히면 모두 부착되는 것으로 가정하며, 입자와 벽면과의 충돌시 재비산은 고려하지 않는다.

본 연구에서는 대상이 되는 작업장의 기본 형태는 길이 2 m의 선 오염원을 가진 5 m × 3 m의 작업장으로 오염원은 실제 작업장에서의 높이를 고려하여 바닥으로부터 1 m의 높이에 위치하며, 환기 시스템의 형태를 환기 유입구와 유출구의 상대적 위치에 따라 Type A, B, C, D의 4가지로 분류하였다. 각 시스템에서 유입구와 유출구의 높이는 동일하게 0.1 m로 하였다. 환기구 유입구에서 기류 속도는 0.1, 0.5, 1.0 m/s이며, 이 때 환기량(시간당 공기 교환율)은 2.4, 12, 24 ACH(Air Change per Hour)이다. 작업대에서 오염물을 함유한 기류의 발생속도는 0.001 m/s 이며, 오염물은 연속적으로 배출되는 것으로 간주하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 공기교환율 12 ACH 일 때 Type-A~D의 실내 유동장 분포를 나타낸 것이다. 그림 1(a)의 실내 속도 벡터 분포를 보면, 실내로 유입된 공기는 상부 벽면을 따라 이동하여 반대편 하부의 유출구를 통하여 빠져나가는 형상이다. 내부에는 작업대 상부와 하부를 시계방향으로 순환하는 하나의 큰 재순환 유동이 형성되어 있음을 볼 수 있으며, 작업대 상부에 형성된 재순환 유동은 입구에서 출구로 향하는 주유동에 비해 상대적으로 유속의 크기가 매우 작음을 알 수 있다. 각 type 별 유동장의 특성을 살펴보면, 공통적으로 입구로부터 출구까지의 벽면을 따라서 주유동이 형성되어 있으며 실 내부에는 작업대 상부를 중심으로 실 전체를 순환하는 재순환 유동이 형성되어 있음을 볼 수 있으며, 유동 형태의 이러한 경향은 환기 유속이 0.1 m/s에서 0.5, 1.0 m/s로 증가하여도 큰 변화를 보이지 않는다.

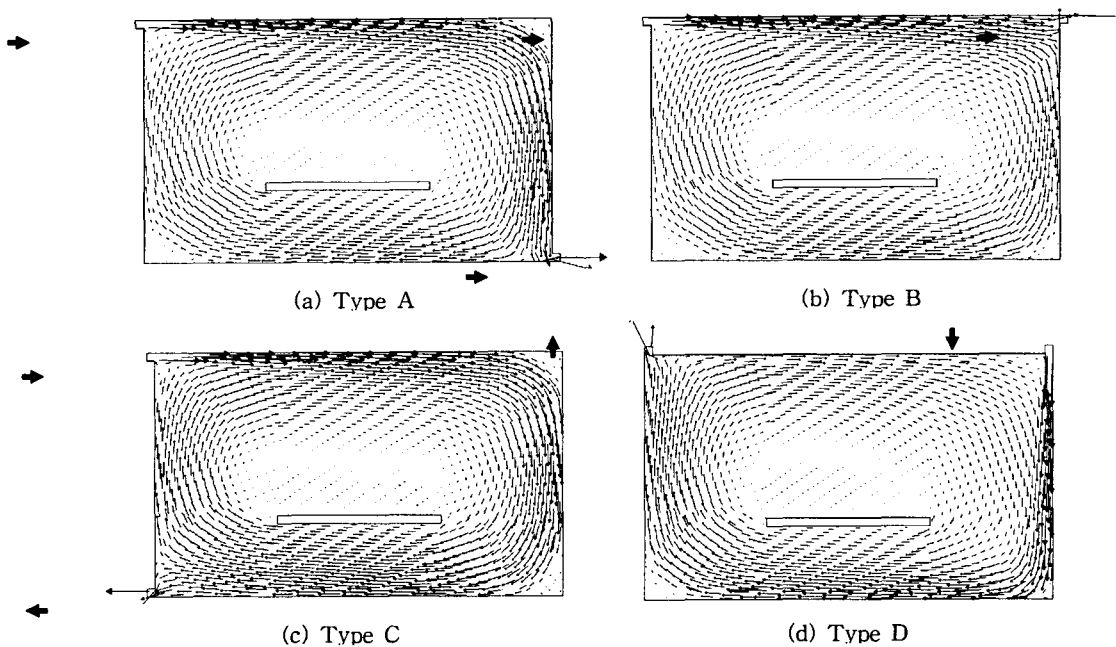


Fig. 1. Distribution of flow field(ACH=12)

참고 문헌

- 이정재 (1995) 실내공기 오염 및 환기대책, 공기조화·냉동공학 논문집, Vol. 24, No. 1, pp. 1~13
- 김광영 (1997) 작업환경에서의 유해가스 제어기술, 공기청정기술, Vol. 10, No. 1, pp. 73~85
- Sandberg, M. (1981) What is Ventilation Efficiency, Building and Environment, Vol. 16, No. 2
- P. V. Nielsen, A. Restivo and J. H. Whitelaw (1979) Buoyance-affected Flows in Ventilated Rooms, Numerical Heat Transfer, Vol. 2