

**PE12) 모델 섬유 필터(Model Fiber Filter)에서의 입자의 퇴적  
 양상 및 초기 집진 효율에 대한 관한 이론적 연구**  
**A Theoretical Study on the Initial Collection Efficiency and  
 Particle Deposition Morphology in Model Fiber Filter**

유도영 · 전기준 · 정용원  
 인하대학교 지구환경공학부

**1. 서론**

공기 여과 장비에 주로 쓰이는 섬유층 여과기(fibrous filter)는 다양한 장비에 널리 쓰이고 있다. 섬유층 여과기는 이를 구성하는 섬유(fiber)의 직경,표면 조도, 그리고 이들로 해서 나타나는 공극률, 하전여부, 등 여러 가지 필터의 특성에 따라 다양한 포집양상(Deposition Morphology)을 보인다.

제조 공정에 따라 달라지는 특성을 가진 필터는 여과 과정을 거치면서 입자가 퇴적되고 압력강하가 증가하여 필터의 수명이 다하게 된다. 압력 강하 증가를 줄이기 위해서 다시 말해서 필터의 수명을 연장시키기 위해서 여러 가지 처리를 한다. 수명이 길고, 포집 성능이 우수한 필터를 만들기 위해 입자의 포집에 관한 전산모사가 필요하다.

본 연구에서는 모델 필터에서의 입자 포집에 관한 이론적인 연구를 수행하였다. 입자의 접근 유속 및 그 밖의 통제 가능한 모사조건을 달리하였을 때의 집진 효율과 입자 퇴적 양상(Particle deposition morphology)의 변화 및 과도거동(transient behavior)에 의한 효율 변화에 대한 전산모사를 실시하였다.

**2. 연구 방법**

섬유층 여과기에서 입자의 포집에 관계되는 주된 기작(mechanism)으로는 직접차단(Interception), 관성충돌(Inertial impaction), 브라운 확산(Brownian diffusion), 중력 침강(Gravitational settling), 정전기력(Electrostatic attraction)등이 있다.

본 연구에서는 실험과 비교 할 수 있도록 형상 및 간격이 일정하게 배열된 모델 필터를 대상으로 전산모사를 하였다. 유체의 유동장은 기존의 알려진 Kuwabara Flow Model을 사용하였다. 입자 및 여과 섬유는 전하를 띠고 있지 않다고 가정하였다. 본 연구에서 고려한 입자경은 1 $\mu$ m 이상의 입자를 대상으로 하였다. 입자의 운동에 영향을 미치는 힘으로는 입자의 궤적을 확률적인 과정의 결과로 나타내는 무작위력과 결정론적인 힘이 있다. 특히 입자의 크기가 1.0 $\mu$ m 및 2.2 $\mu$ m 인 입자에는 무작위력보다는 결정론적인 힘이 우세하게 작용함으로 결정론적인 힘을 만을 고려하였다. 입자의 운동은 뉴턴의 제2법칙에 근거한 입자의 운동 방정식을 식 (1)과 같이 세우고, 이 미분 방정식을 수치해석적으로 풀어 입자의 궤적 및 운명을 계산 집진 효율을 예측하였다.

$$m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_d + \vec{F}_g \quad (171)$$

$F_d$  : Drag force  $F_g$  : Gravitational force

**3. 결과 및 고찰**

Fig.1 나타나듯이 기존 문헌의 correlation 식에 의한 결과에서 Stokes number가 증가할수록 직접차단 및 관성 충돌에 의한 입자의 포집 효율이 증가한다. 이러한 결과는 본 연구에서 개발한 전산 모사법에서도 동일한 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서 개발한 전산 모사법이 입자의 초기 집진 효율을 잘 예측함을 알 수 있다. Fig.2 에서 동일한 수의 입자 여과시 입자의 크기에 따른 포집

효율 변화를 나타내었다. 입자의 크기가 증가함에 따라 포집 효율이 증가하는데 이는 입자의 크기가 커지면서 Stokes number로 나타내지는 관성력이 크게 되기 때문이다. 입자의 양이 증가함에 따라 입자의 포집 효율의 증가가 급격해 지는데 이는 입자의 포집이 필터에 의해서만 일어나는 것이 아니라 기포집된 입자들(dendrite)에 의한 포집에 의해서 입자의 집진효율이 급격히 증가함을 나타낸다.

Fig.3는 발생 입자의 개수가 같은 상태에서 입자의 크기에 따른 포집 형태를 나타낸 것이다. 입자의 크기가 작은 입자는 필터에 대부분이 포집 됨으로 효율의 급격한 증가는 생기지 않는 반면에 큰 입자는 필터 표면보다는 기포집된 입자에 포집되어 수지상돌기(dendrite)를 생성하기 때문에 급격한 효율의 증가를 나타낸다.

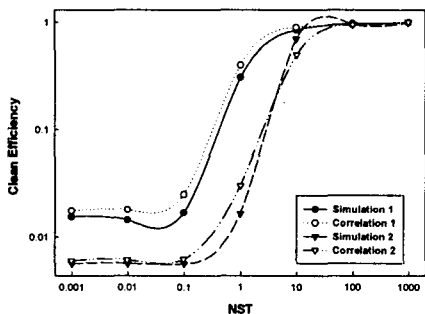


Fig 1 collection efficiency for combined impaction and interception vs simulation result

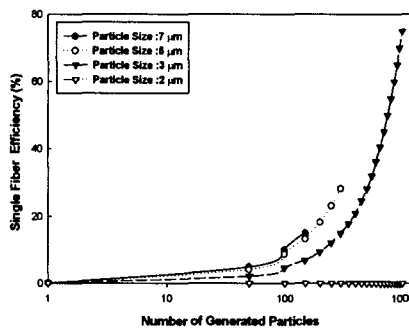


Fig 2 collection efficiency in filtration process

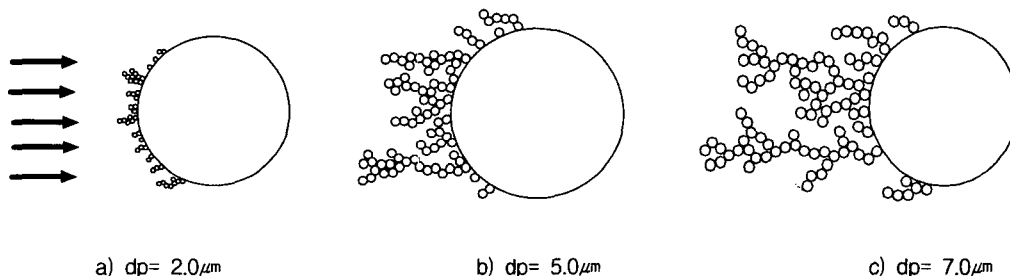


Fig 3 The effect of particle size on particle deposition morphology ( $df=100\mu m, U=0.1m/s$ )

### 참고 문헌

1. Chi Tien (1989) 「Granular Filtration of Aerosols and Hydrosols」, Butterworths
2. R. C. Brown (1993) 「Air Filtration」, Pergaman Press
3. Flagan, Richard C and Seinfeld John H(1988) 「Fundamental of Air Pollution Engineering」, Prentice Hall