

# CT8) 자동차 실내공기 정화용 Cabin Air Filter의 압력손실 특성에 관한 연구

## A Study on Pressure Drop Characteristics of Automotive Cabin Air Filters

박현설 · 박영옥 · 이규원<sup>1)</sup>

한국에너지기술연구소 집진기술연구센터, <sup>1)</sup>광주과학기술원 환경공학과

### 1. 서 론

자동차 보유대수의 증가와 더불어 열악해진 도로환경으로 인해 자동차를 이용하는 운전자와 승객의 보다 쾌적한 자동차 실내 환경에 대한 요구가 점점 증가하고 있다. 도로 주행시 자동차내로 유입되는 공기 중에는 도로먼지, 석면입자, 박테리아, 꽃가루 등의 다양한 악성 미립자상 물질과 오존, 벤젠, 톨루엔, 포름알데히드, 암모니아, NOx, SOx 등의 유해 기체상 물질이 다량 함유되어 있다. 특히 미세 입자의 크기는 대부분이 5.0 μm로 미세하여 인간의 상부 호흡기관인 코에서 폐포까지 깊숙이 침착되는 것으로 보고되고 있다(Bergman, 1995, Kim, 1990).

본 연구에서는 자동차내 유입공기 정화용 Cabin 에어필터(air filter)의 최적설계를 통해 개발된 절곡형 에어필터의 압력손실 특성을 분석하여 먼지부하조건에서의 압력손실 예측식을 제안하였다.

### 2. Cabin 에어필터의 최적 설계

Cabin 에어필터의 최적 설계는 높은 먼지제거효율을 유지하면서도 압력손실은 최소화하는 방향으로 이루어진다. 절곡(pleated) 에어필터에 있어서 압력손실은 여과속도, 절곡수(pleat count), 절곡높이(pleat height), 절곡형태(pleat type), 필터 여재의 특성 그리고 먼지입자의 물리적 특성에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 Chen 등(1995)의 수치해석 결과를 토대로 Cabin 에어필터의 최적 절곡수를 결정하였다. Chen 등(1995)은 사각단면의 절곡형태를 가진 에어필터에 대한 압력손실 예측식을 유한요소법을 이용한 수치해석을 통해 아래와 같이 나타내었다.

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_m} = 1 + \alpha \frac{8}{KL} \left( \frac{L}{W_d - t} \right)^3 \quad (1)$$

여기서 ΔP와 ΔP<sub>m</sub>는 에어필터의 전체압력손실과 필터여재에 의한 압력손실을 각각 나타내며, K는 필터여재의 두께(t)를 필터의 공기투과도(air permeability)로 나눈 값이다. 또한 L은 절곡높이를 W<sub>d</sub>는 절곡너비를 각각 나타낸다. 위 식에서 상수계수인 α는 Chen 등(1995)의 결과를 토대로 1.8445로 결정되었다. 공기투과도가 2.978×10<sup>-7</sup> cm<sup>2</sup>, 절곡높이 3 cm, 여재의 두께가 1.01 mm인 실험용 에어필터의 절곡수에 대한 압력손실 특성을 그림 1에 나타내었다. 압력손실이 최소값일 때의 절곡수는 단위 cm당 약 2.2로 확인되었다. 이를 토대로 본 연구에서는 절곡수를 단위 cm당 2로 설계하여 실험용 에어필터를 제작하였다.

### 3. 압력손실 특성

점성흐름을 가정하면 필터와 필터에 침착된 먼지입자에 의해 발생하는 압력손실은 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta P = \Delta P_m \left[ 1 + \alpha \frac{8}{KL} \left( \frac{L}{W_d - t} \right)^3 \right] + K_2 W V_f \quad (2)$$

위 식의 우변 첫째 항은 식 (1)에서 설명했듯이 먼지가 침착되지 않은 청정필터의 압력손실은 나타내며, K<sub>2</sub>는 필터에 침착된 먼지로 인한 압력손실계수, W는 필터의 단위면적당 침착된 먼지량, 그리고 V<sub>f</sub>는 여과속도를 각각 나타낸다.

일반적으로 자동차용 Cabin 에어필터의 경우, 표면여과(surface filtration)는 일어나지 않으며 여재 내

부에서부터 먼지층이 형성된다(depth filtration). 이러한 경우에는 필터에 형성된 먼지층의 공극률을 1로 가정하고, 먼지입자 각각에 작용하는 Stokes 항력을 이용하여 압력손실을 구할 수 있는데, 이때의 압력손실계수를  $K_{2,Stk}$ 로 나타내고, 아래와 같이 계산할 수 있다(Donovan, 1985).

$$K_{2,Stk} = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \quad (3)$$

여기서  $\mu$ 는 공기의 점성도,  $\rho_p$ 는 먼지입자의 밀도를 각각 나타내며,  $d_p$ 는 대표 입자의 크기로서 본 연구에서는 Sauter 직경을 이용하였다. 식 (3)을 식 (2)에 대입하면 먼지부하조건에서의 에어필터에 대한 압력손실을 구할 수 있다. 위의 이론적으로 예측한 압력손실값을 실험값과 비교하여 그림 2에 나타내었다. 그림에서 보듯이 먼지부하량이 적은 경우에는 이론값과 실험값은 매우 근사한 값을 나타내었으나, 먼지부하량이 큰 경우엔 이론값과 실험값의 차이가 큰 것으로 나타났다. 이는 식 (3)에 적용한 먼지층 공극률이 1이라는 가정 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 먼지부하 조건에서의 압력손실 특성 실험결과를 분석하여 아래와 같은 절곡형 에어필터에 대한 새로운 압력손실 예측식을 제안하고자 한다..

$$\Delta P = \Delta P_m \left[ 1 + \alpha \frac{8}{KL} \left( \frac{L}{W_d - t} \right)^3 \right] + \beta K_{2,Stk} W V_f \quad (4)$$

식 (4)에서  $\beta$ 는 먼지입자의 침착으로 인한 에어필터의 공극률 변화를 반영한 상수계수로서  $\beta \approx 7.042$ 를 얻을 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자동차 실내공기정화용 Cabin 에어필터 최적설계 조건을 찾고, 이를 실험용 에어필터를 제작하는데 기초 자료로 이용하였다. 또한 실험용 Cabin 에어필터의 압력손실 특성 실험을 통해, 먼지부하조건에서의 압력손실 예측식을 제안하였다. 본 연구의 결과는 절곡형 에어필터의 압력손실 예측과 이를 바탕으로 한 고성능 에어필터 개발의 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 예상된다. 절곡형 에어필터의 압력손실을 좀 더 정확히 예측하기 위해서는 향후 다양한 먼지부하조건에서의 압력손실 특성 실험이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

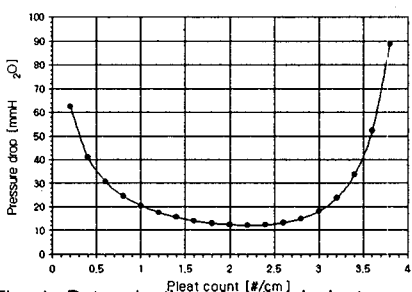


Fig. 1. Determination of optimal pleat count.

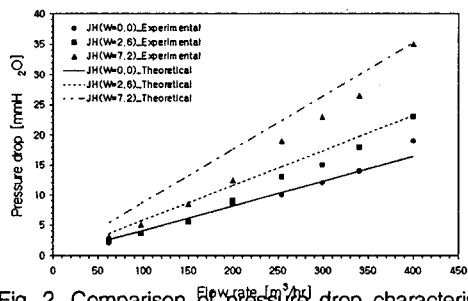


Fig. 2. Comparison of pressure drop characteristics between theoretical and experimental results.

#### 참 고 문 헌

Bergman, L. (1995) Automotive Cabin Air Filters Worldwide, 1995-2000, Filter Media Consulting, Inc.

Kim, C.S. (1990) Airway Deposition Mechanisms of Fine Particles, Clean Room과 오염제어에 관한 국제 Symposium, 공기청정조합, 공기조화냉동공학회.

Donovan, R.P. (1985) Fabric Filtration for Combustion Sources, Marcel Dekker, Inc.

Chen, D, D.Y.H. Pui, and B.Y.H. Liu (1995) Optimization of Pleated Filter Designs Using a Finite-Element Numerical Model, Aerosol Science and Technology, Vol.23, 579-590.