

## DPF의 배기가스 유동 및 포집에 관한 다차원 모델링 연구

김 동 균<sup>1)</sup> · 윤 천 석<sup>\*2)</sup>

한남대학교 대학원<sup>1)</sup> · 한남대학교 기계공학과<sup>2)</sup>

### Study on Multi-Dimensional Simulation of the Flow and Filtration Characteristics in Diesel Particulate Filters

Dongkyun Kim<sup>1)</sup> · Cheon Seog Yoon<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Hannam University, Daejeon 306-791 Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

(Received 10 June 2009 / Accepted 7 November 2009)

**Abstract** : In order to understand the flow and filtration characteristics in a wall-flow type DPF(Diesel Particulate Filter), 0-D, 1-D, and 3-D simulations are performed. In this paper, three models are explained and validated with each other. Based on the comparisons with 1-D and 3-D results for the steady state solution, 3-D CFD analysis is preferable to 1-D for the prediction of wall velocity at the inlet and exit plane. Because PM loading process is transient state phenomena, the combination of full 3-D and time dependent simulation is crucial for the configuration of wall channels. New coupling technique, which is the connection between calculated permeability from 0-D lumped parameter model and UDF(User Defined Functions) of main solver, is proposed for the realistic simulation.

**Key words** : DPF(Diesel Particulate Filter, 매연여과장치), PM(Particulate Matter, 입자상 물질), Loading(포집), CFD(Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학), Transient state(과도상태), UDF(User Defined Functions; 사용자지정함수)

#### Nomenclature

$\alpha$	: filter cell width, m	$k_0$	: clean filter wall permeability, $m^2$
$C_{ij}$	: inertia loss coefficient, 1/m	$L$	: filter length, m
$D_{ij}$	: viscous loss coefficient, $m^2$	$\mu$	: exhaust gas viscosity, kg/m-s
$d_c$	: collector diameter, m	$w$	: Soot layer thickness, m
E	: total collection efficiency, %	$w_s$	: filter wall thickness, m
$\epsilon$	: filter porosity, %	$P_1, P_2$	: inlet, outlet channel pressure, Pa
$\eta_{DR}$	: combined efficiency	$\Delta P$	: total pressure drop
F	: factor equal to 28.454	$\Delta P_{wall}$	: pressure drop in the wall
k	: loaded filter wall permeability, $m^2$	$\Delta P_{soot\ layer}$	: pressure drop in the soot layer
$k_{soot}$	: particle layer permeability, $m^2$	$\Delta P_{i.n.ch}$	: pressure drop in the inlet channel
		$\Delta P_{out.ch}$	: pressure drop in the outlet channel
		$P_{atm}$	: atmospheric pressure, Pa

\*Corresponding author, E-mail: csyoon@hnu.kr

$\Phi$	: partition coefficient
$\psi$	: percolation constant
$Q$	: exhaust gas volumetric flow rate, m <sup>3</sup> /s
$\rho$	: exhaust gas density, kg/m <sup>3</sup>
$S_i$	: source term
$\tau_{ij}$	: viscous stress tensor
$U$	: inlet entrance velocity, m/s
$u_1, u_2$	: inlet, outlet channel axial velocity, m/s
$u_w$	: filter wall approach velocity, m/s
$V_{trap}$	: total filter volume
$x_i$	: spatial coordinate, m

## 1. 서론

디젤엔진에서 배출되는 입자상 물질인 PM을 효율적으로 포집하는 DPF는 상당한 양의 PM을 짧은 시간 안에 포집해야 하지만, 동시에 필터의 채널에 PM이 축적됨에 따라 압력강하가 발생한다. DPF와 차량엔진을 적절히 운영하려면 DPF의 포집효율을 유지해야 하므로, 포집된 PM을 고온에서 주기적으로 태우는 재생과정을 반복해야 한다. 이러한 필터 재생과정에서 포집된 PM의 양과 직접적으로 관련된 차압은 필터 설계 시 중요한 변수 중의 하나이다. 따라서 DPF 내에 PM의 축적량과 연계된 압력강하의 정확한 예측을 위한 모델 개발이 DPF 산업과 디젤배기 제어 연구그룹의 중요한 목표 중 하나이다. 이러한 이유로 지난 30년 동안 DPF의 포집 및 재생 과정에 관한 수학적 모델이 꾸준히 개발 되어 왔다. 1차원 재생모델의 선구적인 연구를 발표한 Bisset<sup>1)</sup>의 이론을 근거로 Konstandopoulos와 Johnson<sup>2)</sup>은 단일 채널에서 단순한 1차원 모델을 수립하였다. 이 모델에서는 필터의 채널 표면에 쌓이는 PM뿐 아니라, 필터 채널과 채널 사이의 필터 벽을 통과하면서 축적되는 deep-bed 포집과정을 포함하였다. Opris와 Johnson<sup>3)</sup>은 시간과 연계된 포집이론을 NASA의 압축성수치해석 코드인 NPARC에 적용한 2차원 해석 모델을 개발하였으며, Kladopoulou<sup>5)</sup>등은 차량 제어 목적으로 포집과 재생과정을 포함한 0차원인 총괄변수(Lumped Parameter)모델을 제안하였다. 정승재<sup>9)</sup>등은 실험 데이터로부터 PM 특성값을 추출하여 포

집과정을 모사하였다. 또한 유준<sup>10)</sup> 등은 엔진에서 배출된 PM의 양과 연소된 PM 양을 시간에 대해 적분해 포집된 PM의 양을 예측 하였으며, 이를 실험 결과와 비교하였다. 윤천석<sup>11)</sup> 등은 전산유체해석을 이용해 금속폼 필터의 최적화된 유동분포를 위한 캔과 필터 형상에 대해 연구하였다.

본 연구에서는 PM 포집이론을 포함하는 0차원 총괄변수 모델을 검토하였고, wall-flow type DPF 채널을 3차원과 1차원으로 모델링하여 속도분포 해석 결과를 비교함으로써 3차원 해석의 타당성 여부를 입증하였다. 또한 0차원 총괄변수 모델에서 취급된 과도상태를 구현하기 위하여 Matlab으로 코딩한 계산 결과인 permeability(투과성)를 3차원 CFD S/W인 Fluent<sup>7)</sup>에 UDF(User Defined Function)로 연계한 모델을 제안하고 이에 따른 계산을 수행하였다. 0차원 해석에서는 PM 포집 양을 내부포집과 외부포집으로 나누어 계산해 필터 배압에 관련된 영향을 분석하였고, 3차원 해석에서 길이방향에 따른 압력분포 및 속도분포 변화를, 제안한 모델에서는 시간변화에 따른 배압의 변화를 계산하였다.

## 2. 0차원 총괄변수(Lumped Parameter) 모델

Kladopoulou<sup>5)</sup>의 총괄변수 모델은 포집과 재생과정 동안 DPF 거동을 기술하기 위하여 필터의 전체 체적을 검사체적으로 가정하고, 입구와 출구채널, 필터 벽면을 분리하지 않기 때문에 구하려는 해는 시간에 의존하고 공간에는 의존하지 않는다. 1차원 모델이나 다차원 모델의 지배방정식은 편미분방정식이나, 0차원모델은 상미분방정식으로 구성된다. 총괄변수모델 해석은 포집, 압력강하, 재생모델로 구성되며, 본 연구에서는 포집 모델과 압력강하 모델을 이용하였다.

### 2.1 포집모델

DPF의 포집효율을 계산하기 위하여, 다공성 필터 벽면과 표면에서 입자가 축적되는 메카니즘을 표현하는 Konstandopoulos<sup>4)</sup>의 모델은, Fig. 1과 같이 필터 벽면을 여러 층으로 나누어, 필터 벽면을 통과하는 국부지역에 “단위포집자(unit collector)” 포집이론을 적용한 것이다. 필터 벽면의 각 층에

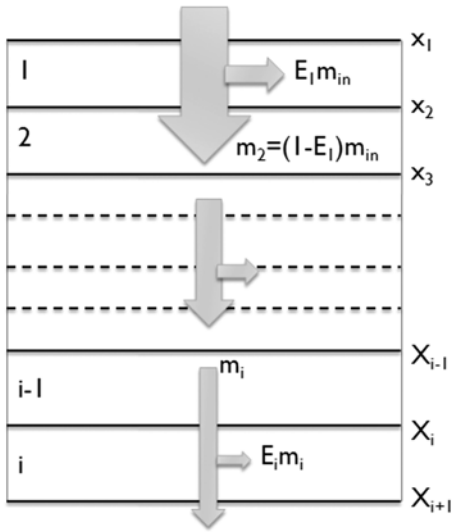


Fig. 1 Slabs of “unit cell/collectors” from filter wall

적층되는 PM 입자 질량을 추적해 보면 이러한 개개의 층을 통과함에 따라 각 층의 부분적인 물성치가 변한다.

각 층의 국부 포집효율은 다음과 같다.

$$E(i,t) = 1 - \exp\left[-\frac{3\eta_{DR}(i,t)(1-\epsilon(i,t))(x_{i+1}-x_i)}{2\epsilon(i,t)d_c(i,t)}\right] \quad (1)$$

여기서  $\eta_{DR}$ 은 단위포집자의 단위 길이 당 포집효율이며,  $\epsilon$ 는 다공률,  $d_c$ 는 포집자의 직경,  $x$ 는 필터 벽면을 통과하는 필터 벽면 두께 좌표를 나타낸다. 식 (1)은 “deep-bed” 포집과정 동안 필터 벽면 내부에 입자가 포집되는 현상에 적용된다.

필터 벽면 내 입자의 축적량이 증가함에 따라 더 이상의 입자가 벽면 내부로 진입하지 못하고 필터 벽면의 표면에 쌓이게 되는데, “cake” 포집과정이라고 하며, 이 때 필터 벽의 표면에 입자층으로 적층되는 유입질량의 비율을 partition 계수인  $\phi$ 로 나타낸다.

$$\phi(t) = \frac{(d_c(i,t))^2 - d_{c0}^2}{(\psi \cdot b)^2 - d_{c0}^2} \quad (2)$$

여기에서  $\psi$ 는 여과계수(percolation factor)를,  $b$ 는 단위포집자의 직경을 각각 나타낸다. PM의 질량이 필터 벽면 내부에서 각각의 단위포집자에 적층됨에

따라, 각 층에서 국부적인 투과성도 시간에 따라 변화한다. 또 포집전의 투과성과 Kuwabara “unit cell” 모델<sup>8)</sup>에 의해 포집과정 동안의 투과성을 계산한다.

$$k(i,t) = \left(\frac{d_c(i,t)}{d_{c0}}\right)^2 \frac{f(\epsilon(i,t))}{f(\epsilon_0)} k_0 \quad (3)$$

## 2.2 입력강하 모델

압력강하 모델은 포집과 재생과정 동안 전체 필터의 압력강하를 계산할 수 있으며, 필터의 형상, 포집된 필터 내의 PM 질량, 배출가스의 물성값을 기본으로 한다. 필터 벽면, PM층, 입구채널, 출구채널에서의 압력강하를 합산하여 다음과 같이 필터의 총 압력강하를 계산한다.

$$\Delta P = \Delta P_{wall} + \Delta P_{soot\ layer} + \Delta P_{in,\ ch} + \Delta P_{out,\ ch} \quad (4)$$

총 압력 강하는 필터 채널의 입구와 출구에서 형상에 의한 수축과 팽창에 관련된 압력손실을 포함해야 하지만, 본 연구에서는 많은 PM양의 포집으로 인하여 이러한 손실들은 무시한다. 따라서 포집된 필터의 압력강하 식은 다음과 같다.

$$\Delta P = \frac{\mu Q}{2V_{trap}} (\alpha + w_s)^2 \left[ \frac{w_s}{k_0 \alpha} + \frac{1}{2k_{soot}} \ln\left(\frac{\alpha}{\alpha - 2w}\right) + \frac{4FL^2}{3} \left( \frac{1}{(\alpha - 2w)^4} + \frac{1}{\alpha^4} \right) \right] \quad (5)$$

여기서  $Q$ 는 배기가스의 체적유량이며,  $\alpha$ 와  $L$ 는 채널의 폭과 길이,  $w_s$ 와  $k_0$ 는 필터 벽면의 두께 및 투과성,  $w$ 와  $k_{soot}$ 은 soot layer의 두께 및 투과성을 각각 나타낸다.

## 2.3 해석결과

Table 1은 본 연구에서 사용한 필터의 제원을, Table 2는 배기가스의 물성치를 정리한 것이다.

Table 1 Filter specifications

Filter	EX-80	SiC
Channel width (mm)	2.11	2.11
Channel length (mm)	296.8	296.8
Wall thickness (mm)	0.432	0.432
Clean filter wall permeability (m <sup>2</sup> )	2.0 × 10 <sup>-13</sup>	1.0 × 10 <sup>-12</sup>

Table 2 Exhaust gas input data

Inlet velocity (m/s)	24.8
Density (kg/m <sup>3</sup> )	0.54
Viscosity (kg/m-s)	$2.97 \times 10^{-5}$

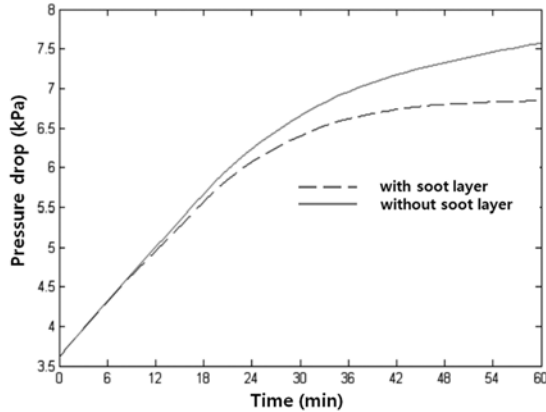


Fig. 2 Comparison of pressure drop, with soot layer vs without soot layer

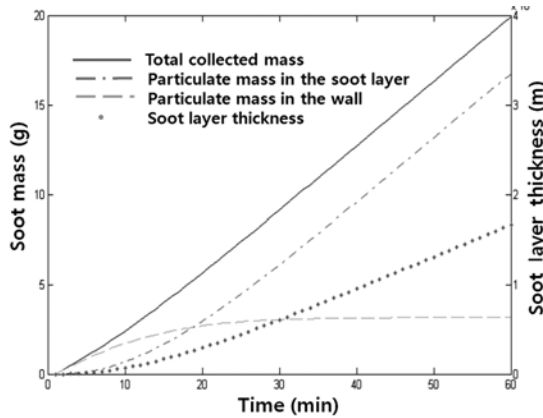


Fig. 3 Collected soot mass (total = soot layer + wall)

PM 포집의 원리는 배기가스 속에 섞여있는 입자 상물질이 포집자에 의해 점착되어 분리되는 것으로, 이 과정은 배기가스를 다공성벽에 통과시킴으로써 가능하다. 벽면유동(wall-flow) DPF의 중요한 두 가지 포집 메커니즘은 내부포집필터와 표면포집필터이다. Fig. 2는 표면포집의 포함여부에 관한 배압차이를 비교한 것이다. 표면포집의 유무에 따라 6분이 경과한 후부터 서서히 배압차이가 나기 시작해 60분 후에는 약 700 Pa의 차이를 보이고 있다. Fig. 3은 내부포집에 의해 포집된 PM양과 표면포집

에 의해 포함된 PM의 양을 구분하여 나타내었다. 60분간 약 15%의 PM만이 필터 벽면에서 포집되고 대부분의 PM이 필터 표면에 쌓이는 것을 확인할 수 있다. 표면 포집이 시작되고 PM이 약 17 g 쌓이면 soot layer의 두께는 약 0.16  $\mu\text{m}$ 가 된다. 포집시작 1시간 후 외부포집 양과 내부포집 양의 비율은 약 6:1이며 이는 Kladopoulou<sup>5)</sup>의 결과와 유사함을 알 수 있다.

### 3. 다차원 모델

#### 3.1 1차원 Model

DPF 재생연구의 선각자인 Bisset<sup>1)</sup>의 이론을 근거로 Konstandopoulos와 Johnson<sup>2)</sup>은 단일채널에서 필터 셀의 길이방향으로 온도가 일정하며 Darcian-flow로 거동한다는 가정 하에, 흐르는 배기가스에 대한 일반적인 1차원 연속방정식과 모멘텀방정식으로 지배방정식을 나타내었다. Fig. 4는 필터 내부의 단일채널을 설명하는 그림으로,  $L$ 은 채널의 길이,  $w_s$ 는 채널의 벽면 두께,  $\alpha$ 는 채널의 크기,  $P_1, P_2$ 는 입구채널과 출구채널의 유체압력,  $u_1, u_2, u_w$ 는 입구채널과 출구채널에서의 유체속도, 벽면속도를 각각 나타낸다.

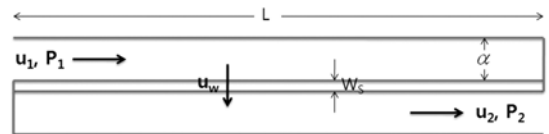


Fig. 4 Schematic of single channel in filter

단일채널을 따라 흐르는 배기가스의 지배방정식은 다음과 같다.

#### 연속방정식

$$\text{Inlet cell : } \frac{d}{dx}(\rho u_1) = -\frac{4}{\alpha} \rho u_w \quad (6)$$

$$\text{Outlet cell : } \frac{d}{dx}(\rho u_2) = \frac{4}{\alpha} \rho u_w \quad (7)$$

#### 모멘텀방정식

$$\text{Inlet cell : } \rho \frac{d}{dx}(u_1^2) = -\frac{dP_1}{dx} - F_1 \frac{\mu u_1}{\alpha^2} \quad (8)$$

$$\text{Outlet cell : } \rho \frac{d}{dx}(u_2^2) = -\frac{dP_2}{dx} - F_2 \frac{\mu u_2}{\alpha^2} \quad (9)$$

여기서,  $F_1 \approx F_2 \approx F = 28.454$ 이다.

**벽면 압력강하**

얇은 필터 벽면을 통과하는 압력강하를 나타내기 위하여, 포집속도가 빠를 때, 다공성물질을 통과하는 non-Darcian 유동에 대하여 Forchheimer 적용을 확장하여 사용한다.

$$P_1 - P_2 = \frac{\mu}{k} u_w w_s + \beta \rho u_w^2 w \quad (10)$$

여기서  $\beta$ 는 관성변수(inertial parameter)이다

**경계조건(Boundary Conditions)**

단일채널 내에서 배기가스의 흐름에 관한 지배방정식을 완성하기 위한 경계조건은 다음과 같다.

$$u_1(0) = U \quad (11)$$

$$u_2(0) = 0 \quad (12)$$

$$P_2(L) = P_{atm} \quad (13)$$

**3.2 3차원 CFD Model**

정상상태 해에 대한 해석결과와 타당성을 입증하기 위하여 1차원 이론모델과 상용 CFD 코드인 Fluent V6.1을 사용하여 3차원 CFD 해석결과를 비교하였다. Fluent의 전처리기인 Gambit으로, 본 문제의 형상적인 특성인 대칭조건을 고려하여, 입구채널, 출구채널을 각각 2개씩  $\frac{1}{4}$ 을 모델링하고, 다른 4

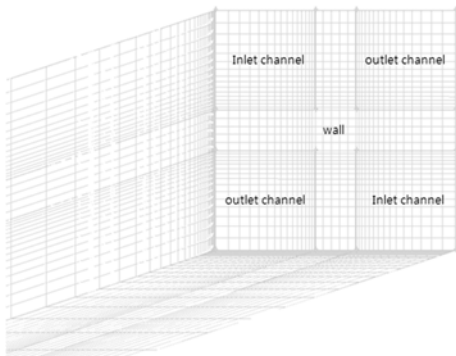


Fig. 5 Front part of 32×32×200 cell grid, representing flexible node near inlet, outlet and porous wall

면은 symmetry로 지정하였다. Fig. 5에서 보는 것과 같이, 필터 벽면과 입구, 출구 쪽에 격자 간격을 조밀하게 배치하여, 총 격자수(32 × 32 × 200=204,800 개)를 최소화하였다.

지배방정식인 연속방정식, 모멘텀방정식, 다공성물질 모델은 다음과 같다.

**연속방정식**

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (14)$$

**모멘텀방정식**

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + F_i + S_i \quad (15)$$

**다공성물질 모델**

$$S_i = -\left( \sum_{j=1}^3 D_{ij} \mu v_j + \sum_{j=1}^3 C_{ij} \frac{1}{2} \rho |v_j| v_j \right) \quad (16)$$

여기에서  $D_{ij}$ 는 점성저항계수,  $C_{ij}$ 는 관성저항계수이다.

**3.3 해석결과**

Fig. 6은 EX-80 100/17 clean filter의 유속분포를 나타내며, 입구채널과 출구채널에서 필터 벽면을 따라 층류경계층이 형성되어 발달되는 것을 관측할 수 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 내부채널 길이 방향에 따라 등간격인 단면에서 표현된 속도분포와 압력분포를 각각 나타낸다. 필터 설계 형상에 의하여, 입구채널에서 배기가스의 속도가 감소하면서 압력이 증가하

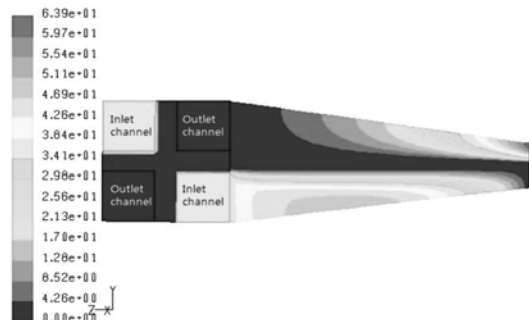


Fig. 6 Velocity profile of EX-80 100/17 clean filter

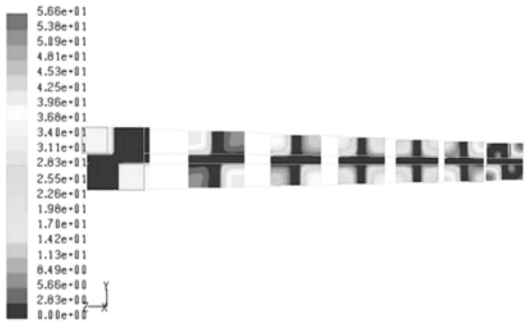


Fig. 7 Velocity contours at cross sectional plane along the channel length

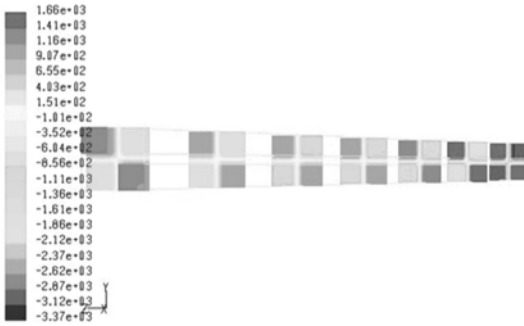


Fig. 8 Pressure contours at cross sectional plane along the channel length

고, 필터 벽면을 통과한 출구채널에서 배기가스의 속도 증가는 압력강하를 유발한다. 필터 전체 압력 변화의 대부분은 출구채널에서 발생하는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 EX-80 100/17 필터에 대한 입구채널의 전

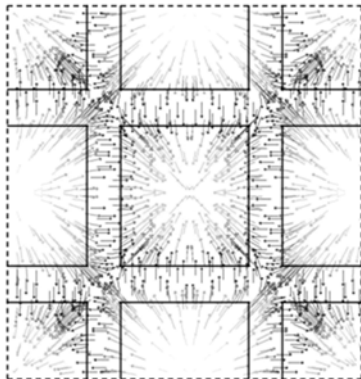


Fig. 9 Velocity vectors at cross sectional plane at mid-length of an inlet channel for EX-80 100/17 filter

단면과 그 주위의 출구채널에서 속도벡터를 표시한 것으로, 입구와 출구의 영향을 무시하기 위하여, 입구채널의 중간 지점에서의 값을 관찰하였다. 배기가스가 입구채널을 빠져나와 필터 벽면을 거쳐 출구채널로 유입되는 것을 알 수 있으며, 3차원 유동 현상의 특성을 보여준다.

1차원과 3차원 해석결과를 비교하기 위하여 입구채널과 출구채널 1개로 구성되는 1쌍의 단일 채널을 선정하여 계산하였다. Fig. 10~Fig. 13은 Fig. 10과 Fig. 12는 EX-80 100/17 필터와 SiC 필터에 대하여 채널의 길이방향에 따른 벽면속도 분포를 나타낸다. 이 속도는 다공성 벽에 수직인 속도로, 서로 다른 벽면의 투과율에 대한 2가지 경우에 관하여 계산하였으며, 3차원 CFD 해석과 1차원 해석 결과를 합

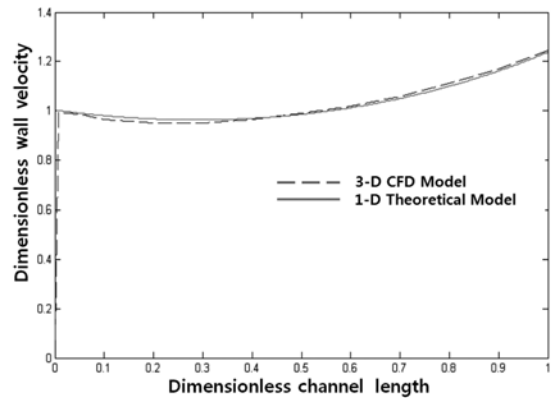


Fig. 10 Wall velocity distribution for EX-80 100/17 filter

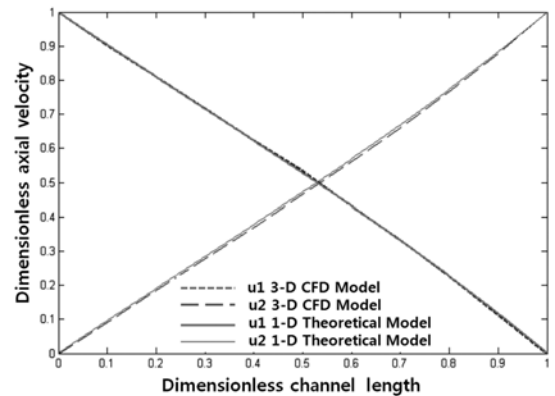


Fig. 11 Non-dimensional axial velocity through inlet channel(u1) and outlet channel(u2) for EX-80 100/17 filter

게 나타내었다. 3차원 벽면속도는 벽면에 수직으로 단면을 만들고, 그 단면에서 면적가중 평균속도 (area-weighted average velocity)로 나타낸 값이다. 1차원과 3차원의 결과는 비교적 일치하는 것을 알 수 있으나, 3차원 결과에 의하면 필터 벽면 내 유속분포가 플러그에 의해 양끝단의 속도가 0인 것으로 나타났다. 또 필터 벽면 끝단에서 전단 보다 속도가 큰 것은 입구채널 플러그에서의 압력이 출구채널 플러그 압력 보다 크기 때문이다. 이러한 3차원 현상은 필터의 재생과정 후에 내부에 축적되는 ash(재) 관련 연구에 적용 가능할 것으로 생각된다.

Fig. 11과 Fig. 13은 EX-80 100/17 필터와 SiC 필터에 대하여 입구채널과 출구채널의 길이방향을 따라 무차원화 된 축방향 속도 분포를 나타낸다. 1차원과 3차원의 결과는 비교적 일치하는 것을 알 수 있다.

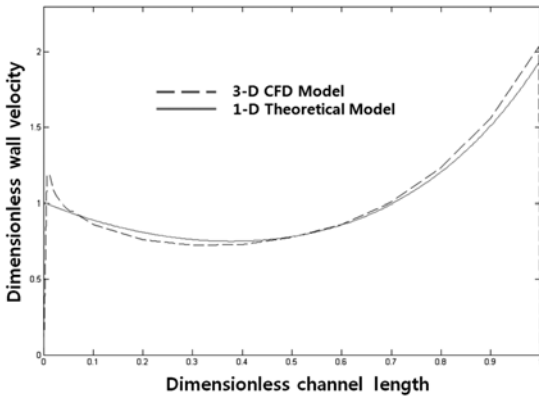


Fig. 12 Wall velocity distribution for SiC filter

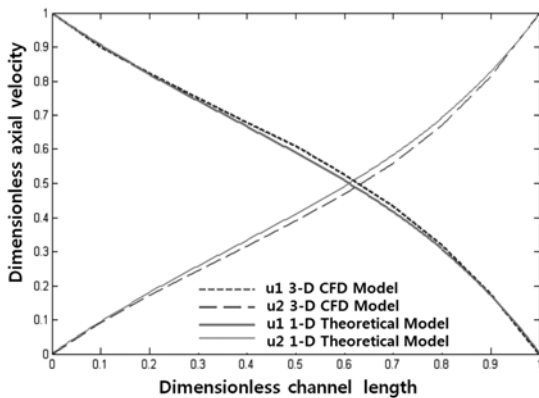


Fig. 13 Non-dimensional axial velocity through inlet channel(u1) and outlet channel(u2) for SiC filter

Table 3 Calculated pressure drop [Pa]

Monolith	3-D CFD	1-D	difference
EX-80	3655	3700	1.2%
SiC	1490	1507	1.1%

나,<sup>6)</sup> 벽면속도의 경우와 유사하게 SiC 필터의속도 차이가 EX-80 100/17보다 약간 크다는 것을 인지할 수 있다. 이것은 필터 재료의 물리적 특성인 투과성의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

Table 3은 EX-80 100/17 필터와 SiC 필터에 대하여 1차원과 3차원 CFD 해석결과인 압력강하를 정리한 것으로, 계산결과와의 차이는 1.1 ~ 1.2%이다. 따라서 압력강하의 차이는 크지 않다는 것을 알 수 있다.

### 3.4 0차원/3차원 해석 Coupling Technique

PM의 포집현상은 시간에 따라 변화하는 과도상태 현상으로 3차원 해석에서 반드시 고려해야 하지만, 계산시간의 효율성 등이 문제가 된다. 따라서 0차원 총괄변수모델에서 시간에 따라 계산된 필터 벽면의 투과성을 Fluent의 UDF로 코딩하여 3차원 해석에 적용함으로써, 과도상태의 포집현상을 구현하도록 시도하였다. Fig. 14는 Matlab으로 작성한 0차원 모델과 3차원 해석의 연계과정을 설명한 그림으로, 필터의 제원과 엔진 배기가스의 조건에 의한 PM의 질량으로부터 시간에 따른 투과율을 계산하여 3차원 해석 시 입력값으로 사용하며, 차압은 입구와 출구의 압력 차이로 계산하였다.

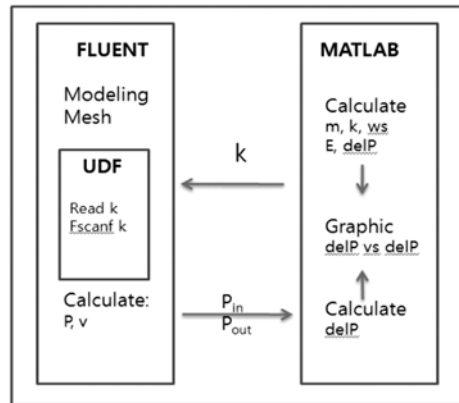


Fig. 14 Coupling technique for 0-D & 3-D model

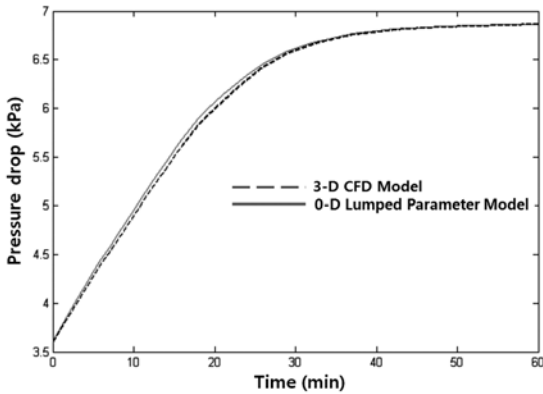


Fig. 15 Pressure drop for EX-80 100/17 filter during loading

Fig. 15는 0차원 총괄변수모델과 3차원 해석에서 EX-80 100/17 필터에 관한 포집과정 중의 압력강하를 비교한 것이다. 0차원과 3차원 해석결과가 비교적 일치하는 것으로 보아 본 연구에서 제안한 연계 방법은 물리적으로 타당하다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 wall-flow type DPF 채널에서 1차원과 3차원 CFD 해석을 통하여 속도 분포를 비교하였다. 또한 포집과정은 과도상태 현상이므로, 0차원 총괄변수모델을 이용하여 과도상태의 필터 벽면 투과성을 계산한 후, 그 값을 UDF로 코딩하여 3차원 CFD 해석에 연계한 모델을 제안하여 이에 따른 계산을 수행하였다. 본 연구로부터 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 표면포집을 포함할 때는, 포함하지 않을 때 보다 시간이 60분 경과한 후 압력강하가 최대 700 Pa의 차이를 보였다. 이는 전체 배압의 10%로 PM의 포집량과 비교해 보면 표면포집은 압력강하에 큰 영향을 주지 않는다.
- 2) 60분간 약 15%의 PM만이 필터 벽면에서 포집되고 대부분의 PM이 필터 표면에 포집되었다. 약 20분 후, 내부포집은 기능을 상실하였다.
- 3) 입구채널에서 속도가 감소하면서 압력이 증가했고, 출구채널 속도 증가는 압력강하를 발생시켰다. 필터 전체압력강하의 대부분은 출구채널에서 발생한다.
- 4) 벽면속도를 예측할 때, 3차원 CFD 해석은 1차원

결과보다 입구와 플러그가 장착된 출구에서 실제 현상을 유추할 수 있었다. 이러한 3차원 현상은 필터의 재생과정 후에 내부에 축적되는 ash관련 연구에 적용 가능하다.

- 5) 필터 채널 내부에서 축방향 속도분포는 1차원과 3차원 CFD 해석 결과 차이가 별로 없지만, SiC 필터의 경우가 EX-80 100/17보다 민감한 것은 필터재료의 특성인 투과성에 기인한다.
- 6) 0-D 총괄변수모델에서 얻은 필터의 투과성을 3차원 CFD 모델에 연동시킨 결과, 시간 변화에 따른 압력강하가 비교적 일치하는 것으로 보아 본 연구에서 제안한 연계방법은 물리적으로 타당하다.

#### 후 기

본 연구는 2010학년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### References

- 1) E. Bisset, "Mathematical Model of the Thermal Regeneration of a Wall-Flow Monolith Diesel Particulate Filter," Chemical Engineering Science, Vol.39, No.7/8, pp.1233-1244, 1984.
- 2) A. G. Konstandopoulos and J. H. Johnson, "Wall-Flow Diesel Particulate Filters-Their Pressure Drop and Collection Efficiency," SAE 890405, 1989.
- 3) C. N. Opirus and J. H. Johnson, "A 2-D Computational Model Describing the Flow and Filtration Characteristics of a Ceramic Diesel Particulate Trap," SAE 980545, 1998.
- 4) A. G. Konstandopoulos, M. Kostoglou, E. Skaperdas, E. Papaioannou, D. Zaravalis and E. Kladopoulou, "Fundamental Studies of Diesel Particulate Filter : Transient Loading, Regeneration and Aging," SAE 2000-01-1016, 2000.
- 5) E. A. Kladopoulou, S. L. Yang, J. H. Johnson, G. G. Parker and A. G. Konstandopoulos, "A Study Describing the Performance of Diesel Particulate Filters During Loading and Regeneration - A Lumped Parameter Model for Con-



- trol Applications,” SAE 2003-01-0842, 2003.
- 6) A. G. Konstandopoulos, E. Skaperdas, J. Warren and R. Allansson, “Optimized Filter Design and Selection Criteria for Continuously Regenerating Diesel Particulate Traps,” SAE1999-01-0468, 1999.
  - 7) Fluent Inc., Fluent 6 User's Guide, 2002.
  - 8) K. W. Lee and J. A. Gieseke, “Collection of Aerosol Particles by Packed Beds,” Environmental Science Technology, Vol.13, No.4, pp.466-470, 1978.
  - 9) S. C. Jung, J. S. Park and W. S. Yoon, “Rigorous Modeling of Single Channel DPF Filtration and Sensitivity Analysis of Important Model Parameters,” Transactions of KSAE, Vol.14, No. 6, pp.127-136, 2006.
  - 10) J. Yu, J. R. Chun and H. J. Hyun, “Prediction of Particulate Matter Being Accumulated in a Diesel Particulate Filter,” Transactions of KSAE, Vol.17, No.3, pp.29-34, 2009.
  - 11) C. S. Yoon and G. B. Cho, “Study of Design & CFD Analysis for Partial DPF Utilizing Metal Foam,” Transactions of KSAE, Vol.17, No.1, pp.24-34, 2009.