

## 증발가스 배출물 억제를 위한 자동차용 캐니스터의 3차원 유동장 해석

### Three-Dimensional Fluid Flow Analysis of Automotive Carbon Canister for Reducing Evaporative Emissions

정수진\*, 김우승\*\*  
Soo-Jin Jeong, Woo-Seung Kim

#### ABSTRACT

Minimized canister flow restriction and maximized flow uniformity are desired to maximize a purge capability. With the impending ORVR(On Board Refueling Vapor Recovery) systems, the reduction of restriction and increase of flow uniformity in a carbon canister becomes even more critical to meet the stringent regulation. In this study, three-dimensional numerical simulations have been performed to investigate the three-dimensional internal flow patterns in a carbon canister during purge. The effects of the declined angle of the purge pipe and the number of partitions on the pressure drop and purge efficiency in a carbon packed bed are examined. Results show that the purge efficiency and space velocity distribution are affected in the upstream region of 40% of total canister bed by porosity of carbon granule and angle of purge pipe. It is also found that the purge efficiency decreases with increasing the number of partitions.

주요기술용어 : Evaporative emission(증발 가스 배출물), Purge(퍼즈), Diurnal breathing loss(주간 증발 손실)

#### Nomenclature

$L_i$  : local channel length, m  
 $v_i$  : local velocity, m/s  
 $V_{spi}$  : local space velocity, 1/s  
 $\overline{V}_{sp}$  : averaged space velocity, 1/s  
 $A$  : cross-sectional area,  $m^2$   
 $\epsilon$  : porosity

#### 1. 서론

차량에서 증발되는 가스는 장기 주차시에 발생하는 주간 증발 손실(Diurnal Breathing Loss), 차량 주행중에 발생하는 고온 증발 손실(Hot Soak Loss), 그리고 차량이 주행중에 증발되는 주행시 증발가스(Running Loss)의 세가지로 나뉘게 되며 범규의 일원화로 EPA(Environmental Protection Agency)의 시험결과를 따른다. 1998년부터 미국에서 적용되기 시작한 주유시의 증발 가스 규제(On-Board Refueling Vapor Recovery)는 주유시 발생하는 연료 증기를 캐니스터에 채집

\* 회원, 동해대학교 자동차공학과

\*\* 회원, 한양대학교 기계공학과

시키고, 액체 연료는 물론 연료 증기 방출도 최대 0.2g/gal으로 규제하는 것이다. 따라서 강화된 증발 가스 배출치에 대한 규제와 주유시의 증발 가스 규제에 대한 수정 대기 보전법(Clean Air Act Amendments)의 요구를 만족시키기 위하여 캐니스터의 용량은 점차 증가하고 있으며, 그 중요성 또한 점차 부각되고 있다. 현재 승용차용 캐니스터의 용량은 강화된 EPA의 증발규제를 만족시키기 위하여 2리터까지 사용되고 있으며 앞으로 ORVR 규제를 만족시키기 위해서는 보다 큰 용량의 캐니스터가 필요할 것이다. 캐니스터의 용량은 연료계가 워밍되거나 주간 증발 테스트(diurnal test) 기간에 발생하는 증발 연료를 포집할 수 있도록 충분히 커야 한다. 일반적으로 강화된 증발 규제를 만족시키기 위해서는 리터당 40g의 HC의 흡착을 할 수 있는 활성탄 용량을 목표로 하고 있다.

현재 ORVR 규제를 만족할 수 있도록 최소한의 캐니스터 용량이 결정되어지고 있으나 너무 큰 용량의 캐니스터는 주간 증발 테스트 기간 중 캐니스터를 정화할 충분한 퍼지 에어(purge air)가 공급되지 않는다면 HC 돌파(break through)를 유발 할 수 있다. 또한 주간 증발 테스트 기간 중 캐니스터 내의 흡착된 HC가 농도구배로 인하여 대기 중으로 확산되는 HC의 대기로의 이동(migration)이 캐니스터로부터의 증발 가스 배출의 주된 원인이 밝혀졌다.<sup>1,3)</sup> 최근 캐니스터를 여러 부분으로 나누고 유로를 미로형으로 설계하여 확산 경로를 연장함으로써 HC 확산을 억제하고 있다. 최근 들어 이러한 미로형 캐니스터 내의 유동저항 및 압력강하에 대한 연구들이 CAE 및 실험적인 방법을 이용하여 수행되어져 왔다.<sup>2)</sup> 이는 캐니스터의 단면적이 캐니스터의 퍼지 성능 및 유동 저항(purge restriction)과 직접적인 관련이 있기 때문이다. 즉 큰 유동 단면적은 압력 강하를 최소화 할 수 있으며 작은 단면적일수록 퍼지 성능을 향상시킬 수 있기 때문에 이에 대한 절충이 적절히 이루어져야 한다. 더욱이 캐니스터의 효율적인 퍼지는 캐니스터 선단

의 HC 농도를 낮출 수 있으며 역 퍼지(back purging)도 억제 할 수 있어 주간 증발 손실을 줄일 수 있는 설계인자이므로 이에 대한 연구가 활발히 진행중이다.<sup>1,3,4)</sup> 그러나 캐니스터의 purge 성능에 대한 연구는 아직까지 일차원적 유동 해석과 실험적 방법에 의존하여 캐니스터의 종횡비(L/D) 및 단면적 변화가 SHED 테스트 결과에 미치는 영향 등을 분석하였다. 그러나 이러한 해석들은 캐니스터의 복잡한 3차원적 유동 정보를 제공 할 수 없으므로 실 설계 적용에 한계가 있어왔다. 따라서 본 연구에서는 현재 국내에서 양산 중인 캐니스터에 대하여 purge 과정중의 유동 특성을 전산유체역학 기법을 이용하여 3차원적으로 해석하였으며 활성탄의 다공률에 따른 캐니스터 내의 유체역학적 특성 및 purge관의 각도 변경을 통한 스웰 효과가 캐니스터 선단의 퍼지 특성에 미치는 영향을 연구하였다. 그리고 캐니스터 내의 HC 역확산을 억제하기 위하여 설치된 격벽(baffle)의 개수에 따른 압력강하 및 유동 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 해석 모델

### 2.1 해석 대상 캐니스터

본 연구 대상 캐니스터는 Fig. 1에 나타낸 것과 같은 800cc급 엔진에 장착된 0.65리터 활성탄 캐니스터이며 2개의 퍼지 유출입관과 한 개의 흡착관(loading pipe) 그리고 활성탄으로 구성되어

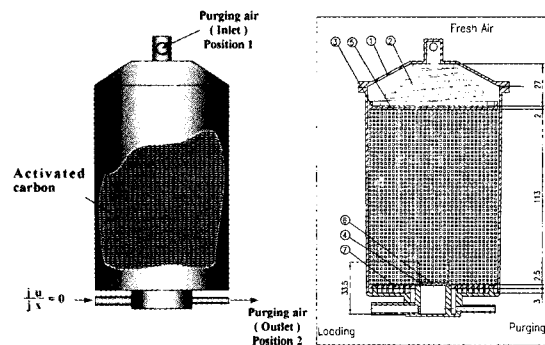


Fig.1 Carbon canister and dimensions

Table 1 Physical Properties(Car-115)

Particle size(mm)	2.0
Packing density(kg/m <sup>3</sup> )	348.5
Particle density(kg/m <sup>3</sup> )	803
Carbon bed volume(m <sup>3</sup> ) - porous	0.611 × 10 <sup>-9</sup>
Carbon bed volume(m <sup>3</sup> ) - non-porous	0.265 × 10 <sup>-9</sup>
Volume porosity(%)	56.6

Table 2 Physical Properties(Bax-950)

Particle size(mm)	2.2
Carbon bed total volume(m <sup>3</sup> )	611 × 10 <sup>-6</sup>
Carbon particle volume(m <sup>3</sup> )	5.575 × 10 <sup>-9</sup>
Carbon particle total volume(m <sup>3</sup> )	345.36 × 10 <sup>-6</sup>
Volume porosity(%)	43.5

어져 있다.

본 연구 대상 캐니스터의 활성탄은 Norit(Netherlands)에서 제조된 Car-115과 Westvaco(USA)에서 제조된 Bax-950이며, 주요 물성치를 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

## 2.2 수치적 모델링

본 연구에서는 퍼지 과정을 정상상태 난류유동으로 고려하였으며 지배방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i u_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ (\nu_l + \nu_t) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \right] \quad (2)$$

여기서,  $\nu_t = c_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$  이며, 이를 계산하기 위하여 RNG-k- $\epsilon$  난류모델을 사용하였다.

본 연구에서는 활성탄 베드를 등방성 다공성 물질로 고려하였으며, 이 영역에서는 식(2)의 대류항과 확산항을 무시할 수 있으므로 아래의 식

으로 지배되어 진다.

$$\frac{\partial p}{\partial x_i} = -K_i u_i \quad (3)$$

여기서  $K_i$ 는 투과율,  $p$ 는 압력,  $u_i$ 는  $x_i$  방향의 속이며 아래와 같이 선형화 될 수 있다.

$$K_i = \alpha_i |\vec{v}| + \beta_i \quad (4)$$

활성탄 내를 통과하는 유동은 층류이므로  $\alpha_i = 0$ 이며,  $\beta_i$ 는 Eugun<sup>5)</sup>의 식에 의해서 아래와 같이 구하였다.

$$\frac{dp}{L} = -\frac{1.75\rho(1-\epsilon)u^2}{\epsilon^3 D_p} = -\beta_i \quad (5)$$

여기서  $\rho$ 는 밀도이며,  $D_p$ 는 평균입자직경이며 아래와 같이 계산하였다.

$$D_p = \frac{6}{S_v}, \quad S_v = \frac{S_t}{AL(1-\epsilon)} \quad (6)$$

여기서  $S_t$ 는 고체 영역의 총 표면적이다.

본 연구에서는 수치해석을 위해서 상용 열유체 코드인 STAR-CD<sup>6)</sup> version 3.10을 사용하였다. 이때 속도 및 압력의 연계는 SIMPLE를 사용하였으며 지배방정식의 차분은 2차 정도를 지니는 MARS를 사용하였다. 수렴판정조건은 각 셀에서의 독립변수들의 잔류값의 합을 입구유속으로 정규화 시킨 값이 10<sup>-3</sup> 이하로 떨어지면 수렴하였다고 판정하였다.

EPA 시험규정<sup>14)</sup>에 따라 퍼지 시 유입구로 20 l/min의 공기가 유입되도록 하였으며 벽면에서는 점착조건 및 난류 상태량 계산을 위하여 벽 함수를 사용하였으며 출구면에서는 각 종속변수의 수직방향으로의 구배를 영으로 주었다.

Fig. 2에는 캐니스터의 3차원 격자를 나타내었다. 본 연구에서는 3차원 격자생성을 위하여 격자 전용 생성 프로그램인 ICEM-CFD<sup>7)</sup>를 사용하였으며 총 270,000개의 육면체 요소가 사용되었다.

Fig. 3에 캐니스터 내의 퍼지관 및 유입관의 상세 격자 및 퍼지관을 통한 신기(fresh air)의 유

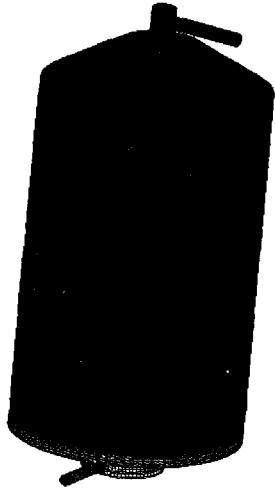


Fig. 2 Computational grids

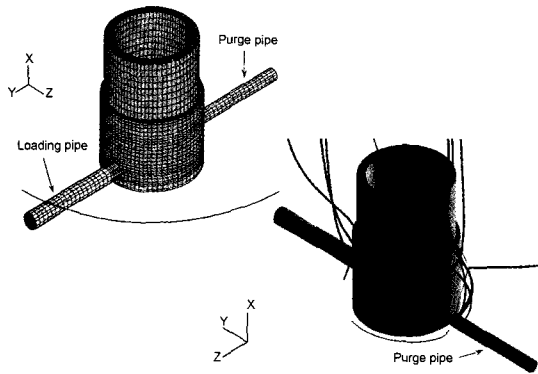


Fig. 3 Mesh around loading and purge pipe(LH); Flow path during purge(RH)

를 나타내었다.

### 2.3 퍼지 효율(Purge Efficiency)

주간 증발 손실 시험시 캐니스터의 효율은 효율적인 퍼지에 좌우된다는 것은 잘 알려진 사실이다. 특히 loading시 캐니스터 입구와 출구에서의 농도구배를 완화하는 것은 증발 가스를 억제하는 매우 중요한 설계인자이다. 활성탄에서 HC를 탈착시키는 것은 신기의 공간속도에 좌우되므로 본 연구에서는 퍼지 효율이 캐니스터 베드의 각 단면에서의 공간속도 분포의 균일도에 좌우되므로 아래의 식(11)와 같이 정의하였다.

$$V_{spi} = \frac{V_i}{L_i} \quad (7)$$

$$\overline{V}_{sp} = \frac{1}{\dot{m}} \int_A V_{spi} \delta \dot{m} \quad (8)$$

$$\sigma_{vsp} = \frac{1}{\dot{m}} \int_A |V_{spi} - \overline{V}_{sp}| \delta \dot{m} \quad (9)$$

$$\psi = \frac{\sigma_{vsp}}{\overline{V}_{sp}} \quad (10)$$

$$\eta = 1 - \psi \quad (11)$$

여기서,  $\dot{m}$ 은 퍼지시 유입되는 신기의 질량유량(kg/s)이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 퍼지시 캐니스터의 유동특성

캐니스터의 퍼지 특성을 연구하기 위하여 Fig. 4에 퍼지시 캐니스터(car-115) 중앙 단면과 출구 퍼지관 중앙 횡단면에서의 속도장을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 확대부에서 한 쌍의 비대칭 와류가 분포하고 있으며, 활성탄 베드의 유입부 일부 영역에 유속이 집중되어 있는 유속 분포로 퍼지가 이루어지고 있으며 퍼지 공기는 출구 가이드 관을 따라 회전하며 유출되고 있음

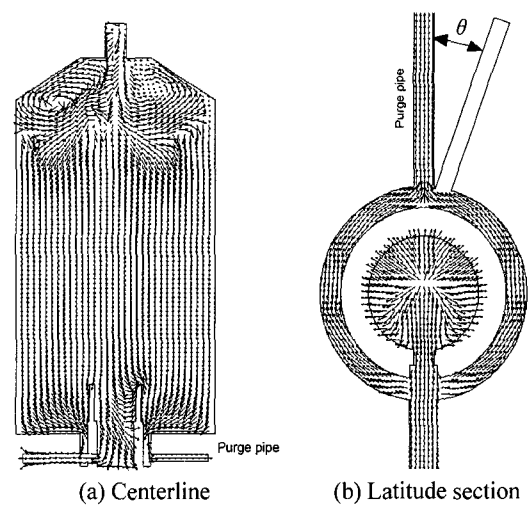


Fig. 4 Coss-sectional plot of velocity vectors in a canister

을 볼 수 있다. 본 연구에서는 출구 퍼지관의 각도 변경으로 인한 출구에 있는 가이드관을 따라 흐르는 공기의 회전속도 변화가 퍼지 효율에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 Fig. 4(b)에 나타낸 것과 같이 purge pipe가 각각 30°, 60°의 기울기를 지니도록 모델링하여 동일한 경계조건 하에서 해석을 수행하였다.

Fig. 5, 6에 활성탄 베드의 길이방향에 대한 각 단면에서 평균된 퍼지 속도 및 효율의 변화를 각각 나타내었다. Fig. 5로부터 각 경우 동일하게 베드 전면부에서부터 유속은 점차 감소하는 경향을 나타내고 상류로부터 전체 베드 길이의 20% 이후의 영역에서는 일정한 유속을 나타내고 있음을 알 수 있다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 상류에서의 속도는 퍼지관의 각도가 30°인 경우 출구유동저항의 증가로 인하여 가장 낮게 분포하고 있음을 볼 수 있다. Fig. 6으로부터 베드 상류 영역에서의 퍼지 효율은 직관의 경우보다 기울기를 준 경우가 보다 효율적으로 상류 활성탄 베드를 퍼지시킬 수 있음을 알 수 있다. 세가지의 경우 모두 상류로부터 전 베드 길이의 40%의 영역까지 점차 효율이 증가하다 이후 일정한 기울기의 효율곡선이 존재함을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 퍼지관의 각도변경에 따른 유출 유동저항으로 인한 상류에서의 과도한 유속의 감소는 주차시 HC의 역확산을 유발할 수 있으므로 유의해야 할 것이다.

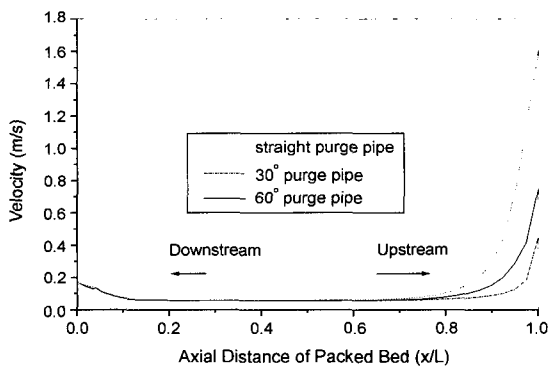


Fig. 5 Cross-sectional averaged air velocity distribution along the axial distance

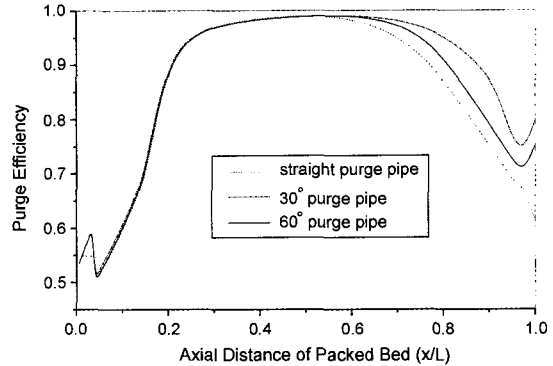


Fig. 6 Purge efficiencies along the axial distance of the carbon bed

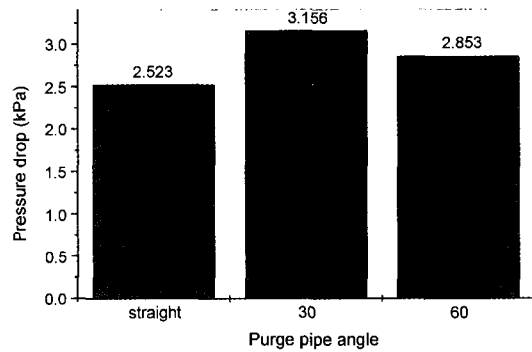


Fig. 7 Pressure drops for various purge pipe angle

Fig. 7에 퍼지관의 각도에 따른 캐니스터 내의 압력강하를 나타내었다. 30°의 경우가 가장 큰 압력강하를 나타내었으며 이는 Fig. 5, 6에서 볼 수 있듯이 출구에서의 유동저항 증가에 기인하며 결국 캐니스터 상류에서의 유속감소를 가져온다. 그러나 이는 상류에서의 신기의 잔류시간을 증가시켜 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 퍼지 효율을 상승시킨다.

Fig. 8에 출구 퍼지관의 각도에 따른 궤적선 (particle streak line)을 나타내었다.

결과를 살펴보면 퍼지관이 직관인 경우 캐니스터 상류의 유속분포는 중앙부에 집중되어져 있음을 확인 할 수 있으며 편각이 존재하는 30°, 60°의 경우는 보다 활발한 유속의 재분배가 일어나고 있음을 알 수 있다. 30°의 각을 지닌 경우에는 가이드관 외곽부를 따라 퍼지 출구관으로

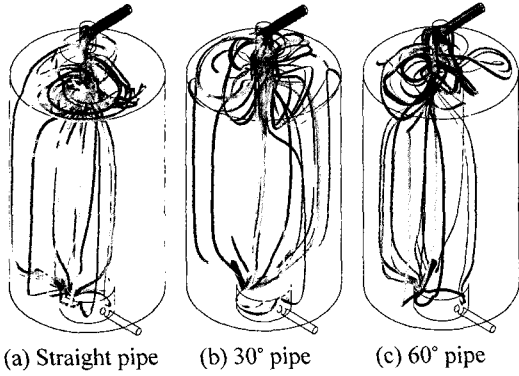


Fig. 8 Plots of particle tracking with respect to declined pipe angles(Car-115)

흐르는 공기 입자가 보다 강한 선회운동을 함을 볼 수 있으며 타 경우보다 유선이 활성탄 다공영역을 균일하게 통과하고 있음을 알 수 있다.

이러한 캐니스터의 퍼지시 유동해석은 3일 동안의 주간 증발 손실에 직접적인 관계가 있으므로<sup>2,3)</sup> 매우 중요하며 활성탄 베드의 효율적인 퍼지는 캐니스터의 성능향상을 위한 중요 설계인자이다.

### 3.2 미로(Labyrinth)화 설계

주간 증발 손실 시험 중 흡착된 HC의 확산을 통한 증발손실은 주로 캐니스터 베드의 유, 출입부의 농도차에서 기인하므로 최근 들어 확산 경로를 증가시키므로써 이를 억제하고자 캐니스터 베드를 격벽을 사용하여 미로(labyrinth)화 형태로 설계하고 있다. 그러나 이는 퍼지효율을 저하시킬 수 있으므로 설계시 퍼지 중 압력 강하 및 유속저항이 과도하게 증가하지 않도록 유의해야 한다. 따라서 본 연구에서는 최대 3개의 격벽을 등간격으로 동일 캐니스터 베드에 설치하여 압력강하 및 퍼지효율의 상호관계를 연구하였다.

Fig. 9에 각 격벽의 수에 따른 캐니스터 내의 중앙단면에서의 축방향 평균속도분포 및 궤적선을 각각 나타내었다.

해석결과에서 알 수 있듯이 격벽의 수가 증가하고 하류로 갈수록 유동저항의 증가로 인하여

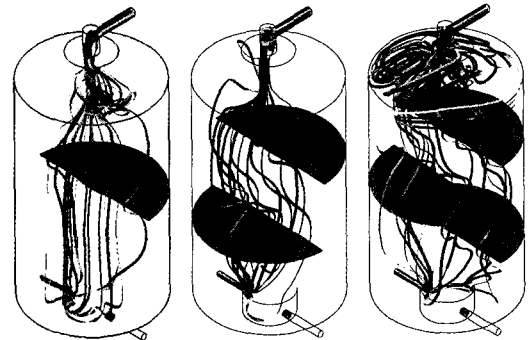
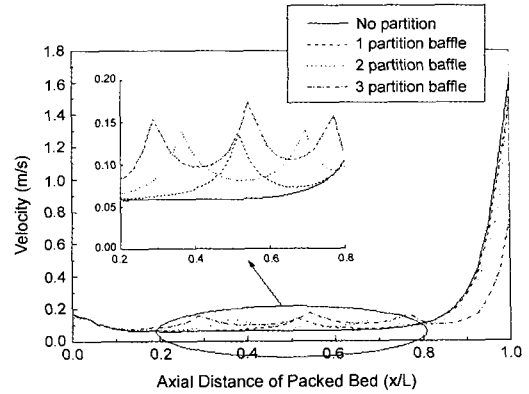


Fig. 9 Plots of cross-sectional averaged velocity distribution along the axial distance(upper) and particle streak line(lower) with respect to number of partitioning baffle

격벽 모퉁이에 유선이 통과하지 않는 사영역(dead zone)이 점차 증가하고 있음을 확인할 수 있으며 이러한 유동 패턴은 활성탄을 고르게 퍼지시킬 수 없으므로 loading시 캐니스터의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 그리고 격벽의 설치 개수에 따라 캐니스터 상류의 유동 패턴은 급격하게 변화하고 있음을 알 수 있다. Fig. 10에 격벽이 2개인 경우와 3개인 경우에 격벽 표면에서의 속도 분포를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 격벽 표면에서 큰 속도구배를 발견할 수 있으며 격벽 수가 많을 수록 격벽 외곽에 보다 큰 속도분포가 존재함을 알 수 있다. 또한 격벽 모퉁이에 속도가 미미한 사영역이 격벽의 수가 증가할 수록 급증하고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 11에 퍼지시 베드의 압력강하를 격벽 수

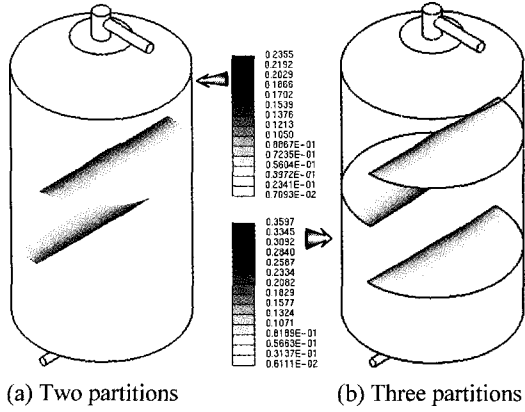


Fig. 10 Velocity(m/s) distribution on the partition baffle surface with respect to number of baffles

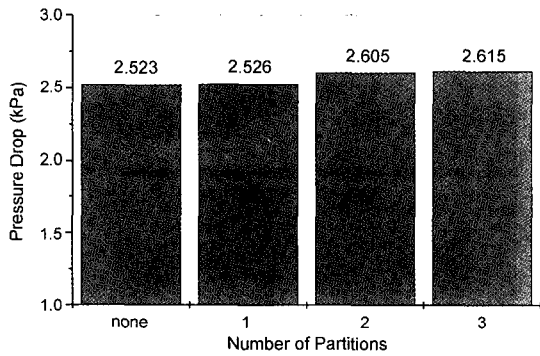


Fig. 11 Pressure drop(kPa) with respect to number of partition

의 증가에 따라 나타내었다. 본 연구의 경우 3개의 격벽을 설치하였을 때 격벽이 없는 경우에 비하여 3.64% 정도 압력강하가 증가하였다. 따라서 격벽 설치시 위치 및 격벽의 크기 등은 유로 길이의 증가에 따른 HC의 확산 저감 효과와 퍼지시 유로저항에 따른 손실을 충분히 검토하여야 한다.

Fig. 12에 격벽의 수에 따른 베드 내의 축방향에 따른 퍼지 효율의 변화를 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 격벽의 증가에 따라 베드 내의 퍼지 효율은 저하되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 격벽 모서리의 사영역 및 유속의 가감속으로 인하여 퍼지 효율은 격벽 주위에서 급변하고 있음을 알 수 있다. 더욱이 캐니스터의

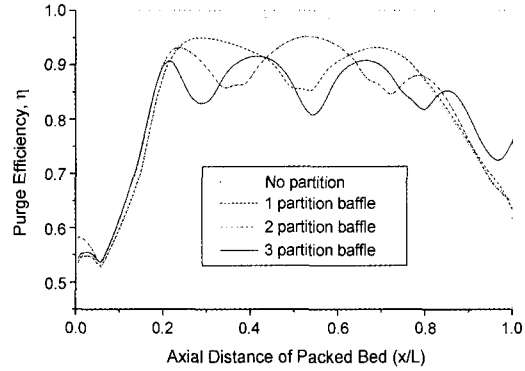


Fig. 12 Purge efficiencies along the axial distance of carbon bed with respect to number of partitions

성능 향상을 위하여 퍼지 공기량이 점차 증가하는 추세이므로, 이러한 격벽의 삽입은 더 큰 압력강하를 발생시키게 되므로 유의하여야 한다.

### 3.3 활성탄의 다공률 효과

자동차용 캐니스터의 흡착성능 및 퍼지성능은 활성탄 입자의 표면적과 다공률에 따라 많은 영향을 받는다. 이 중에서 퍼지시 유체역학적인 성능을 좌우하는 것은 다공률이다. 따라서 본 연구에서는 Table 2에 나타낸 것과 같은 다공률이 다른 두 개의 활성탄(Car-115, Bax950)을 동일한 형상의 캐니스터에 적용하여 퍼지시의 유체역학적 퍼지 성능을 격벽의 수를 증가시키면서 비교하였다. Fig. 13(a)에서 알 수 있듯이 격벽이 없을 경우 다공률의 변화가 퍼지효율에 미치는 영향은 상류로부터 전체길이의 40% 영역에 걸쳐 나타나고 있음을 볼 수 있으며 이 영역에서 다공률이 낮은 활성탄의 경우가 높은 퍼지 효율을 나타내고 있다. Fig. 13(b)(c)(d)의 결과로부터 격벽의 수가 증가할수록 상류에서의 다공률에 따른 퍼지성능의 차이는 감소함을 알 수 있는데 이는 격벽설치에 따른 유동손실이 다공률 증가에 의한 것보다 크기 때문이다.

### 4. 결론

본 연구에서는 퍼지 과정 중 발생하는 자동차

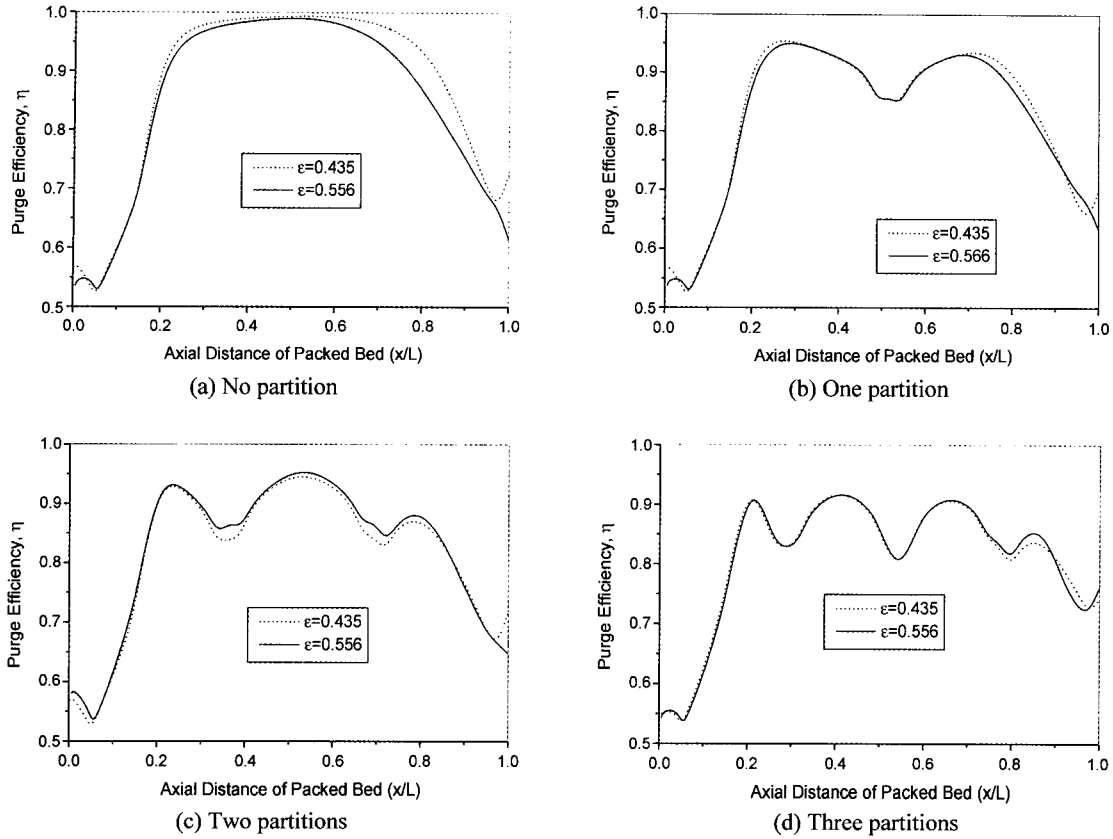


Fig.13 Comparison of purge efficiency between porosity of 0.556 and 0.436 for various partition baffles

용 캐니스터의 유동특성을 3차원적으로 수치 해석하였다.

해석결과, 퍼지판의 각도를 변경함으로써 캐니스터 베드 상류의 퍼지 효율을 상승시킬 수 있었다.

본 연구의 경우 캐니스터에서 공기의 유속 불균일이 존재하며 활성탄의 다공률에 따른 퍼지 효율의 차이가 존재하는 구간은 베드 상류에서부터 전체 베드길이의 40% 영역이었다.

캐니스터 베드 내의 HC의 대기중으로의 역확산을 억제하고자 최근 많이 사용되고 있는 격벽 설치시 발생하는 유동특성을 분석한 결과, 본 연구의 경우 압력강하는 3개의 격벽을 등간격으로 세웠을 때 격벽이 없는 경우보다 약 3.64%의 압력강하가 증가하였다. 또한 격벽 주위에서의 유로저항 및 퍼지 공기의 가감속으로 인하여 격벽 선단 주위에 큰 속도구배가 형성되어 있음을 확

인하였다. 속도구배는 격벽의 수가 증가할수록 상승하였으며 사영역(dead zone) 역시 증가하였다. 공간 속도분포를 사용한 캐니스터 베드 내의 퍼지 효율은 격벽의 수가 증가할수록 감소하였다. 따라서 격벽 설치시 이에 따른 확산유로의 증가로 인한 HC 역확산 방지의 이득과 더불어 퍼지 효율의 손실을 정확히 예측하여 설계하여야 한다.

### 참고 문헌

- 1) G. A. Lavoie et al., "Carbon Canister Modeling for Evaporative Emissions: Adsorption and Thermal Effects," SAE 961210, 1996.
- 2) P. J. Johnson et al., "Carbon Canister Development for Enhanced Evaporative Emissions and On-Board Refueling," SAE 970312, 1997.



- 3) H. Itakura et al., "Studies on Carbon Canisters to Satisfy LEVII EVAP Regulations," SAE 2000-01-0895, 2000.
- 4) P. J. Johnson et al., "Activated Carbon Canister Performance During Diurnal Cycles: An Experimental and Modeling Evaluation," SAE 971651, 1997.
- 5) S. Ergun, "Fluid Flow through Packed Columns," Chem. Eng. Progress, Vol.48, No.2, 1952.
- 6) "STAR-CD Users' Manual," Computational Fluid Dynamics, ver3.10, 1999.
- 7) "ICEM-CFD - Meshing Tutorial Manual," ver 4.0, ICEM-CFD Engineering, 1999.
- 8) A. L. George, et al., "A Fuel Vapor Model (FVSMOD) for Evaporative System Design and Analysis," SAE 982644, 1998.
- 9) W. G. Shim et al., "Performance Evaluation of Carbon Adsorbents for Automobile Canisters," Korean J. Chem. Eng., Vol.15, No.3, pp.297-303, 1998.
- 10) K. N. Yu, et al., "Modeling the Charcoal Canister with a Diffusion Barrier by Finite Difference Method," Appl. Radiat. Isot. Vol.49, pp. 49-53, 1998.
- 11) 정수진, 김우승 "퍼지 성능 향상을 위한 자동차용 캐니스터의 3차원 유동장 해석," 한국자동차공학회 2000 추계학술대회논문집 (I), pp.23-28, 2000.