

디젤매연측정용 마이크로 희석터널의 희석챔버에서의 열유동 특성

Characteristics of Thermo-Fluid Flow in Dilution Chamber of Micro-Dilution Tunnel for Diesel Particulate Measurement

김 태 권*, 김 성 훈*, 임 문 혁*
Tae Kwon Kim, Sung Hoon Kim, Moon Hyuk Im

ABSTRACT

The main purpose of this study lies on the development of micro dilution tunnel based on the Sierra Dilution chamber model. As a primary examination, characteristics of flow and temperature distributions during the steady dilution process in dilution chamber are observed with numerical analysis. The penetration of dilution air through porous tube as well as wall temperature and temperature gradient inside porous tube are examined. The thermophoretic velocity in terms of temperature behavior inside porous tube are defined and examined. Based on the ratio of penetration and thermophoretic velocities, all part of porous tube are shown to be safe from the particulate depositions. However, The inlet portion of porous tube in addition to the portion of impinging of dilution air are marginally safe from the particulate depositions. Generally the safer design against particulate deposition is required in provision for steady dilution process and for transient process as well.

주요기술용어 : Dilution tunnel(희석터널), Porous tube(다공질 관), Thermophoretic velocity, Exhaust gas(배기가스), Dilution air(희석공기)

Nomenclature

c : specific heat	V_o : penetration velocity of dilution air
C : inertial resistant coefficient	V_T : thermophoretic velocity
D_p : effective particle size of porous tube	x, y, z : coordinate
k : thermal conductivity	ρ : density
K : permeability	ϵ : porosity
P : pressure	μ : viscosity
u, v, w : velocities at each direction	ϕ : general variable

* 회원, 계명대학교 기계자동차공학부

Subscripts

f : fluid
 s : solid
 m : mean value

1. 서론

디젤엔진에서 배출되는 입자상 물질의 중량을 측정하는 시스템은 Full Dilution System, Mini Dilution System, Micro Dilution System으로 크게 세 종류로 분류할 수 있다. Full Dilution System은 고가이며, 넓은 설치공간이 필요하고, 운전 유지비용도 많이 소요되면서 500마력이하의 엔진에 대해서만 적용이 가능하다. Mini Dilution System의 경우는 Transfer Tube가 길어서 입자상의 물질과 가스의 손실이 많아 재현성이 좋지 않으며, 시스템의 구성이 복잡하여 예러의 원인이 되고 있고, 역시 운전비용이 많이 소요된다. 또 시스템의 하드웨어를 변경하지 않으면 특정 크기 이상의 엔진에 대해서는 적용이 어렵고, 대개의 경우 매 8시간마다 유량을 보정해야 한다. 또한 희석비가 변하면 다시 보정을 해야 하는 등의 불편함이 따르며, 넓은 설치공간이 필요하다. 한편 Micro Dilution System의 경우 비용면에 볼 때 Full Dilution System의 1/5~1/10, Mini Dilution System의 2/3정도이고, 엔진의 출력과 형식에 구애받지 않고 적용이 가능하며 샘플링 시간도 필터 1개당 5분 이내에 실시할 수 있는 등의 장점이 많다. 또 이 시스템은 입자상의 물질 측정시험방법인 ISO 8178이나 EEC R49에 적합하다. 배기가스의 규제대상 범위가 대폭 확대됨에 따른 시스템의 요구조건과 여건을 고려해 볼 때 Micro Dilution System의 개발이 현실적으로 합리적 접근이라고 생각된다.^{1,2)}

현재 국내에서 희석터널시스템의 사용자는 주로 디젤엔진을 개발하고 있는 자동차회사, 정유회사 및 대학, 연구소 등으로서 전량 외국제품을 수입하고 있으며, 이 시스템의 설계 및 생산기술은 전무한 상태이다.

희석터널시스템에서 장치의 정밀도 및 신뢰도를 확보하기 위한 핵심부품은 희석챔버(dilution chamber) 부분으로서, 엔진의 배기에서 배출된 입자상물질을 희석공기(dilution air)로서 적절히 희석함으로써 배출된 입자상 물질이 챔버 내벽에 부착되지 않고 전량 여과지에 포집되도록 설계되어야 한다. 각 회사마다 고유의 모델이 개발되어 있어 특허 등으로 인해 독자개발에 제약을 받고 있다.^{3,7)} 따라서 본 연구는 미국의 Sierra Instruments의 희석챔버를 모델로 하여 유동 및 열해석을 통하여 설계자료를 도출하고자한다. 특히 본 연구에서는 Micro Dilution Chamber를 대상으로 수치해석을 수행함으로써 다공질 관을 이용한 배기가스의 희석과정을 유동장 및 온도장의 분석을 통해 배기가스로 부터의 입자상물질의 퇴적을 판정하는 속도비 (V_0/V_T)의 특성을 제시하고자 한다.

2. Dilution 챔버의 모델링 및 해석

2.1 Dilution 챔버의 구조적 특성

희석챔버의 구조는 배기가스의 sampling 위한 배관과 이를 희석시키기 위한 공기를 공급하는 배관으로 구성되어 있으며 이들 배관은 원통형으로 구성되어 있는 희석 터널에 연결되어 다공질관을 통해 서로 섞이게 되어 있다. Fig. 1은 Micro Dilution 구조를 나타내며 배기가스는 Sampling Probe를 통해 희석 터널의 유입구로 유입되고 중공 다공질 관 안쪽 (주유동부)으로 흘러 유출된다. 한편 희석공기는 공기유입구를 통해 유입되어 환형(Annulus)의 중공관으로 공급되며 챔버 내부의 압력과 중공관의 주유동부를

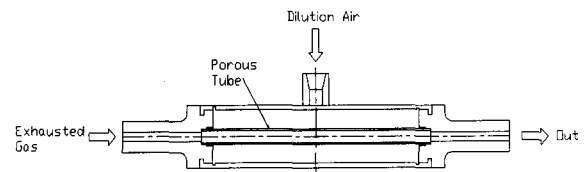


Fig. 1 Schematics of micro dilution chamber

흐르는 배기가스의 압력차이에 의해 다공질관을 거쳐 내부를 흐르는 배기가스를 회색하게 된다.

2.2 Dilution Chamber의 열유동해석

2.2.1 이론

본 연구에서는 회색챔버내의 유동해석을 위해 유체는 공기를 생각하였고 비압축성, 뉴우톤 유체로 가정하였으며 3차원 정상상태의 유동으로 가정하여 다음과 같은 지배방정식을 사용하였다.

연속식

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

운동량방정식

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

에너지 보존식

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k_f \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

주어진 유속과 기하학적인 자료로 계산한 결과 배기가스 입구부의 유속은 층류의 범위로 시작되며 다공질관을 지나면서 단면의 지름을 기준으로 한 레이놀즈 수는 증가하나 본 해석 범위에서는 다공질관의 출구에서도 층류에 속하는 영역임으로 전 영역에서 층류로의 가정은 타당

하다.

한편 다공질 영역내의 유동장과 온도장 해석을 위한 지배방정식은 다음과 같다.

다공질관내 운동량식

$$\frac{\rho_f}{\varepsilon} (\vec{v} \cdot \nabla \vec{v}) = -\nabla P - \frac{\mu_f}{K} \vec{v} - \frac{1}{2} \rho_f C_f |\vec{v}| \vec{v} + \frac{\mu_f}{\varepsilon} \nabla^2 \vec{v} \quad (6)$$

다공질관내 에너지 식

$$\rho_f c_f (\vec{v} \cdot \nabla T) = k_m \nabla^2 T \quad (7)$$

여기서 ε 는 다공질의 공극율(porosity)이며 K 는 다공질의 침투율(permeability), C 는 관성저항계수(inertial resistance factor)를 의미한다. 침투율은 유체가 다공성 물질을 침투하는 정도를 나타내며 유체의 특성과는 무관하고 다공성물질의 구조에 의해서만 결정된다. 침투율은 공극율과 다공성물질의 평균입자 직경(D_p)으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{D_p^2}{150} \cdot \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon^2)} \quad (8)$$

또한 관성저항계수 C 는 같은 방법으로 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$C = \frac{3.5}{D_p} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \quad (9)$$

에너지 식에서 k_m 은 다공질의 평균 열전도율을 뜻하며 공극율과 고체입자 및 유체의 열전도율의 항으로 표현된다.^{9,12,13)}

$$k_m = \varepsilon k_f + (1 - \varepsilon) k_s \quad (10)$$

앞서 제시한 지배방정식은 회색챔버의 운전 조건에 따른 경계조건이 필요하다. 먼저 모든 챔버 및 유입, 유출관의 외부면은 단열조건을 택하였다. 한편 배기가스가 유입되는 입구에서는 일정속도분포 및 온도를 가정하였으며 회색공기 유입구 역시 일정속도분포 및 온도로 가정하였

다. 유출구는 출구에 재순환영역이나 다공질 관을 지난 공기로 인한 2차유동이 없다는 가정 하에 노이만 조건을 부과하였다.

2.2.2 수치해석 방법

본 연구에서는 회석챔버내 유동 및 온도장 해석을 위해 범용 열유체 해석코드로서 상용소프트웨어인 FLUENT/UNS 를 사용하였다. 본 해석에서는 다공질영역 등 형상의 복잡성에 따라 비정렬격자구조를 사용하였으며 대류항의 처리방법은 power law 방법을 사용하였다. 한편 운동량식에서 속도-압력 coupling은 SIMPLE 방법을 택하였다.⁹⁾ 하향이완 계수로는 운동량 식의 경우 0.5를 사용하였으며 압력식의 경우 0.7을 사용하였다. 에너지 식은 0.7의 하향이완 계수를 설정하였다. 사용된 하향이완 계수는 전체 해석조건에서 모두 수렴하였다.

수렴조건으로는 각 방향의 속도(u,v,w) 및 온도의 상대 값의 변화가 식 (11)을 만족하도록 하였으며 또한 전체 질량 및 에너지 balance 식이 0.5%를 만족할 때 수렴을 선언하였다.

$$\frac{\phi_n - \phi_{old}}{\phi_{old}} \leq 1 \times 10^{-4} \quad (11)$$

수치해석에 필요한 물성치로서 회석공기는 상온으로 또한 배기가스는 280℃를 기준으로 한 물성치를 택하였으며 다공질 관은 다공질의 재질인 스테인레스강의 물성치를 고려하였다. 즉, 밀도는 8055 kg/m³, 비열은 480 J/kg·K, 열전도율은 15.1 W/m·K를 사용하였다. 한편 챔버의 재질과 유입관 및 유출관의 재질은 단열상태로 가정하였기 때문에 해석에 영향을 미치지 못한다.

다공질로 주어진 물성치는 입자의 평균 직경으로 2 x 10⁻⁶ inch가 주어져 있다. Fig. 2는 다공질관의 제작회사(Mott사¹⁰⁾)에서 제시한 표준실험장치의 유량에 관한 압력강하의 실험결과이다. 본 연구는 표준실험 장치와 카타로그 상의 다공질 데이터로 3가지 유량에 대한 압력강하를 비교하였을 때 그림에서 보듯이 결과는 ±5%이내

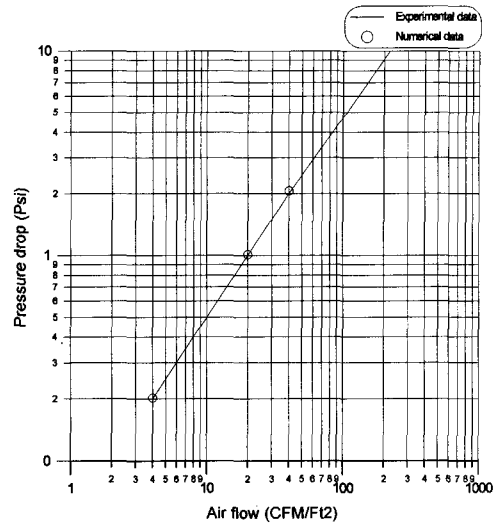


Fig. 2 Comparison of pressure drop in standard condition between experimental and numerical results¹⁰⁾

의 값으로 매우 정확히 일치함으로 본 해석의 타당성을 알 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해석의 범위

Micro Dilution 챔버에서의 회석공기와 배기가스의 비는 대표적으로 4:1 에서부터 15:1 까지 광범위하다. 본 해석에서는 이 범위 내에 유량범위인 6:1, 10:1 및 14:1의 경우를 해석하였으며 회석공기 유량을 고정하여 (회석공기유량=92 l/min) 수행하였다. Table 1은 본 해석에 사용된 유량(유속)을 제시하였다.

Table 1 Input conditions

유량비	6:1		10:1		14:1	
	회석 공기	배기 가스	회석 공기	배기 가스	회석 공기	배기 가스
유량 (l/min)	92	15.3	92	9.2	92	6.6
유속 (m/s)	4.92	4.01	4.92	2.42	4.92	1.73
주유동 Re	-	461	-	277	-	199

전체적인 해석의 결과는 앞서 언급한 배기가스 측의 유량과 회석가스의 유량의 영향이 유동장에 미치는 파라미터로 분류하였으며 또한 이들의 유동장 및 온도장의 결과를 이용하여 다공질 관의 수직 속도 (V_o)와 Thermophoretic 속도 (V_T)를 계산하고 이들의 비를 통해 입자퇴적에 관한 정보를 얻고자 하였다.

3.2 유동장 및 온도장

먼저 본 해석의 전체적인 유동장 및 온도장의 분포를 Fig. 3에 회석공기 유량이 10 l/min이고 유량비가 10:1 인 경우 흐름방향의 수직인 단면을 택해 압력, 속도 및 온도의 분포를 살펴보았다. 유동장의 특성 중 압력은 다공질 관 외부의 챔버 내에는 거의 같은 압력이 형성되며 다만 회석공기 유입부에 큰 속도로 유입되는 공기는 다공질의 관벽과 부딪쳐 다공질 관의 외부 벽에 정체영역을 형성하고 이 부분의 압력이 상승되어 있음을 알 수 있다. 다공질 관 내부에는 주유동의 흐름이 지배적이며 상류로부터 하류로 진행하면서 압력이 서서히 감소하는 것을 볼 수 있다. 압력은 또한 다공질 관 내부의 단면에 걸쳐 거의 일정함을 보인다. 이와 같은 압력 분포는 속도분포에 영향을 미치며 고속의 회석가스는 유입된 후 다공질 관벽과 부딪쳐 마치 실린더 주위의 유동의 형상으로 유동이 나누어지는 현상을 볼 수 있으며 나머지 챔버 부분에는 거의 같은 속도 범위에 속하고 있다. 다공질 관벽을 통과하는 속도는 매우 작으나 내부의 주유동 영역은 다공질 관벽을 통과한 회석공기에 의해 점차적으로 증가함을 알 수 있다. 온도장 그림으로부터 다공질외부 챔버는 회석공기의 온도와 거의 같은 온도로 유지됨을 볼 수 있고 다공질관 내부의 주 유동의 온도는 다공질 벽을 통과한 공기와 점차 섞이여 냉각되고 있음을 알 수 있다. 특히 다공질 관 내부의 주 유동의 반경방향의 온도분포는 압력과 속도분포와 다르게 크게 변하고 있음을 알 수 있는데 이는 회석가스 공기의 침투에 의한 냉각에

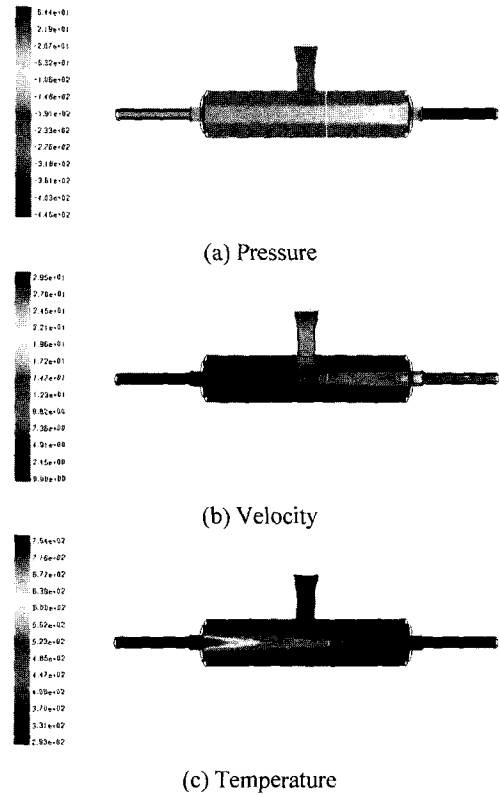


Fig. 3 Typical distributions of pressure, velocity, and temperature at transverse section (10:1)

의한 것으로 생각된다.

유동장의 정량화된 특성을 비교하기 위해 Fig. 4와 같이 다공질 관내부의 흐름 방향에 대한 질량유량의 변화를 도시하고 있다. 먼저 다공질 관내의 주 유동은 흐름 방향에 따라 다공질을 관통한 회석공기의 유입으로 증가하고 있으며 이와 같은 현상은 모든 유량비에 대해 적용이 된다. 이는 다공질 관을 통과하는 회석공기의 분포가 상당히 일정하다는 것을 나타내나 이것은 단위 길이당 통과유량의 총량에 관한 정보를 줄 뿐 국소 분포는 알 수 없다. 참고로 질량유량의 축방향에 대한 분포는 참고문헌⁵⁾의 실험결과와도 잘 일치하고 있다.

전체적인 관내 질량유량이 일치한다는 사실로부터 다공질 관을 통과하는 회석공기의 분포가 일정한지를 판단하기 위해 다공질 벽중 원주

방향으로 4군데를 택해 흐름방향의 관통속도를 검토하였다. 여기서 4군데는 회석공기의 노즐부의 방향(up), 반대방향(bottom), 그리고 좌(left), 우(right)의 위치를 선정하였다. Fig. 5는 유량비가 10:1의 경우 다공질 관의 4군데를 지나는 회석공기의 관통속도를 흐름 방향에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 일반적인 관통속도는 상류에서 최소 값을 유지하며 하류로 진행할수록 점차 증가하여 출구에서 최대 값을 이룬다. 이는 앞서 언급한바와 같이 다공질 관내의 압력이 흐름방향으로 진행될수록 감소되는 반면 다공질 관의부에는 비교적 일정한 압력을 유지하기 때문에 관통속도는 자연히 증가될 수밖에 없다. 이와 같은 경향은 모든 유량비에 대해 거의 같은 현상으로 나타난다. 원주방향의 분포는 거의 일정하나 회석공기가 분출되어 다공질 관에 부딪치

는 부분은 원주방향의 속도에 큰 차이를 보이고 있다. 특히 회석공기가 직접 부딪치는 다공질 관의 상부 부분(up)에서의 관통속도는 매우 증가하고 그 반대 방향의 위치(bottom)에서도 약간의 증가를 보이나 좌우 측면에서 관통속도는 매우 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 회석공기가 유입되어 실린더 형태의 다공질 관으로 분출되면서 상부에서는 정체영역으로 압력이 상승하여 관통속도는 증가하고 다공질관 좌우로 나누어진 회석가스는 좌우 측면에서 최대속도를 이루나 다공질관 내부로의 회석공기의 수직속도성분은 최소가 되며 관통하부에서 다시 회석공기 속도의 감소로 관통속도는 약간의 증대로 나타나는 것으로 설명될 수 있다. 이와 같이 관통속도 측면에서 볼 때 관통 속도는 원주방향으로 큰 차이를 보이며 특히 좌우면은 관통속도가 매우 작아 추후 설명되어질 thermophoric 속도(V_T)에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

Fig. 6은 원주방향으로는 관통속도를 측정한 4군데를 택하여 다공질 내부 벽온도의 거동을 흐름방향으로 도시하였다. 일반적으로 다공질 내부 벽온도는 고온의 배기가스가 유입되어 다공질을 통과한 차가운 회석공기와 섞이어 흐름방향에 따라 점차 감소한다. 유량비에 따라 벽온도는 감소하는 경향이 조금 다른데 회석공기 유량과 배기가스 유량비가 작을 경우(6:1) 벽온도도 높고 온도감소의 구배가 크나 유량비가 커질수록 벽온도는 배기가스에 비해 낮고 구배도 작아진다. 이는 예상한대로 낮은 온도의 회석공기의 양의 비가 클수록 벽온도는 낮아진다. 이와 같은 온도 거동은 원주방향에 따라 다소 차이는 있으나 거의 같은 것으로 나타난다. 특히 유량비가 작은 경우 원주방향의 차이가 다소 큰 것으로 나타나 있는 것은 회석가스의 유량이 작아져 챔버에 형성되는 압력의 크기가 작고 일정하지 않은 것으로 생각된다. 이는 회석가스의 유량이 커지는 경우(즉, 챔버내의 압력이 크게 형성되어 있는 경우) 원주방향의 영향이 거의 나타나지 않음으로 추정될 수 있다.

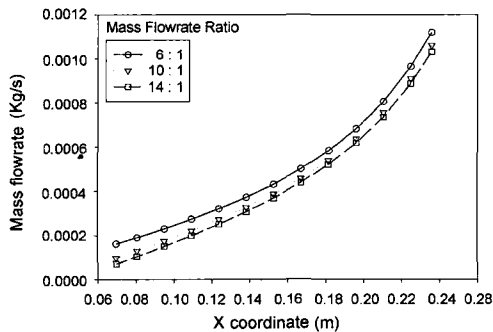


Fig. 4 Mass flowrate inside the porous tube in the streamwise direction

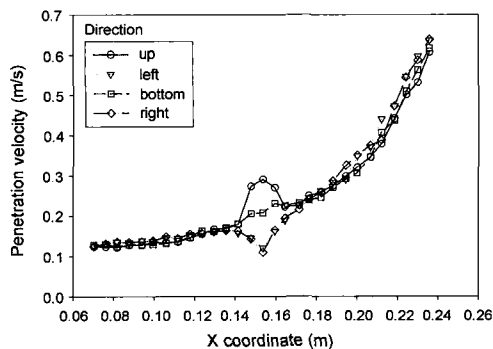


Fig. 5 Penetration velocity of dilution air through porous tube in the streamwise direction at four different positions (10:1)

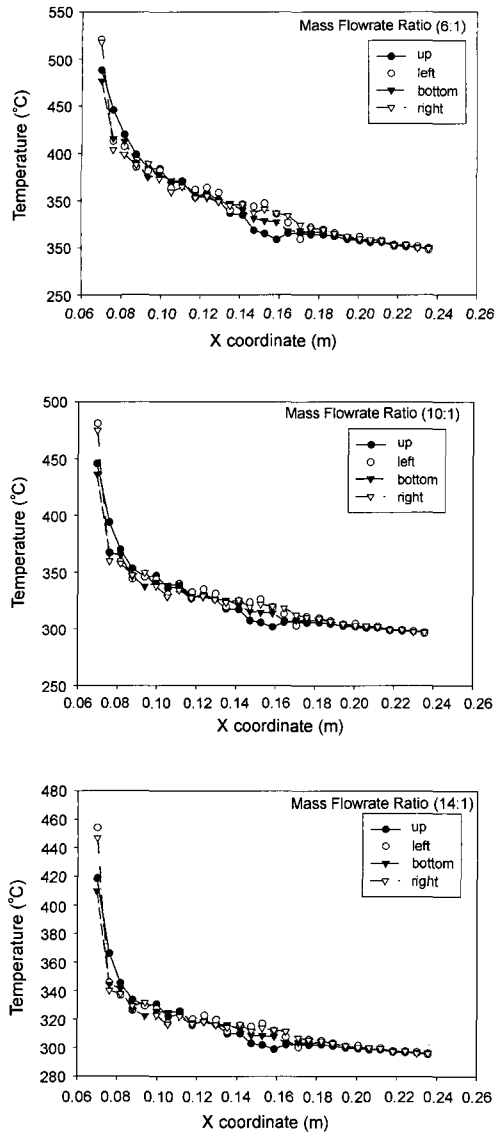


Fig. 6 Wall temperature distributions in the streamwise direction at the four positions inside the porous tube (a) 6:1 (b) 10:1 (c) 14:1

다공질 내벽의 온도거동에서 주의 깊게 살펴 보아야 할 부분은 회석공기가 분출되어 다공질 벽에 부딪치는 부분이다. 다공질 벽의 관통속도 분포에서 설명하였듯이 이 부분의 관통속도의 차이로 인해 회석공기가 부딪치는 부분과 그 반대 부분에서는 벽온도가 낮으나 좌우부분에서는 오히려 벽온도가 증가하고 있음을 알 수 있다.

현재 해석대상의 회석터널의 시스템에서 무엇보다 중요한 사항은 배기가스중 입자퇴적을 방지하여야 한다. 이와 같이 퇴적을 판단하는 기준은 다공질 관을 침투하는 회석공기의 속도와 소위 Thermophoretic 속도(이하 V_T)의 비로서 판단할 수 있게 된다. 즉, 회석공기의 침투속도가 Thermophoretic 속도보다 클 경우 입자퇴적은 발생하지 않는다. Thermophoretic 속도는 다공질 벽에서의 온도와 반경방향의 온도구배에 의존하며 Thermophoretic 속도를 구하는 식은 식 (12)와 같다.⁵⁾

$$V_T = \frac{3\mu}{4\rho(1 + \pi a/8)} \cdot \frac{\nabla T}{T} \quad (12)$$

여기서 ρ , μ 는 배기가스의 밀도 및 점성계수이며, a 는 thermal accomodation coefficient로서 1에 가까운 값을 갖는다. ∇T 는 반경방향의 온도구배이며 T 는 다공질 벽에서 절대온도이다.

전술한 온도 및 온도 구배로서 계산된 V_T 속도의 축방향 분포를 살펴보면 Fig. 7과 같다. 전체적으로 다공질 관을 지나는 배기가스의 유입부에서는 반경방향의 온도 구배가 높으나 역시 다공질 내벽의 온도가 높고 하류부에는 낮은 구배와 낮은 온도로 구성이 되어 V_T 에 대해서는 서로 상충하는 경향을 보이고 있으나 그 결과는 다공질 관의 입구에는 높은 값의 V_T 를 보이고 있으며 하류로 진행할수록 점차 감소함을 나타내고 있다. 다른 유량비에서의 경향은 온도분포와 경향이 비슷하여 작은 유량비에서의 분포는 서서히 감소하며 유량비가 크면 입구부에 매우 큰 값을 가지나 그 후 급격히 감소하며 감소율이 작아진다. 회석공기가 부딪치는 부분에서 V_T 의 분포는 회석공기가 다공질관 벽에 부딪치는 부분에서 상부(up)와 하부(bottom)에는 작은 값을 나타내며 좌우의 V_T 는 큰 값을 나타낸다.

침투속도(V_o)와 V_T 의 비(V_o/V_T)는 입자퇴적의 중요한 판단기준으로서 1보다 크면 배기가스의 입자퇴적이 발생하지 않으며 이보다 작으면 퇴적이 발생을 한다고 판단한다.

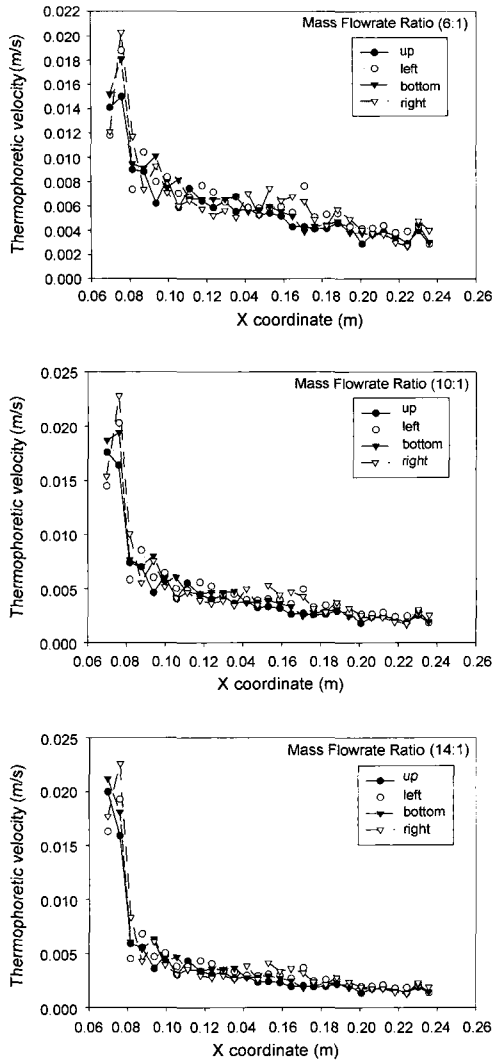


Fig. 7 Thermophoretic velocity distributions in the streamwise direction at four different positions: (a) 6:1 (b) 10:1 (c) 14:1

Fig. 8은 축방향에 따른 V_o/V_T 의 비를 보여 주고 있다. 모든 유량비에서 이 비의 분포는 입구 부에서 최소를 이루며 축 방향으로 진행될수록 증가한다. 이는 참고문헌⁵⁾과 같이 최악의 시나 리오는 입구부에 위치한다는 가정은 옳은 것으로 판단된다. 또한 전체적으로 이 속도비는 1 보 다 커 일반적으로는 입자 퇴적에 대해 안전하다고 할 수 있다. 그러나 입구부에서는 유량비에 무

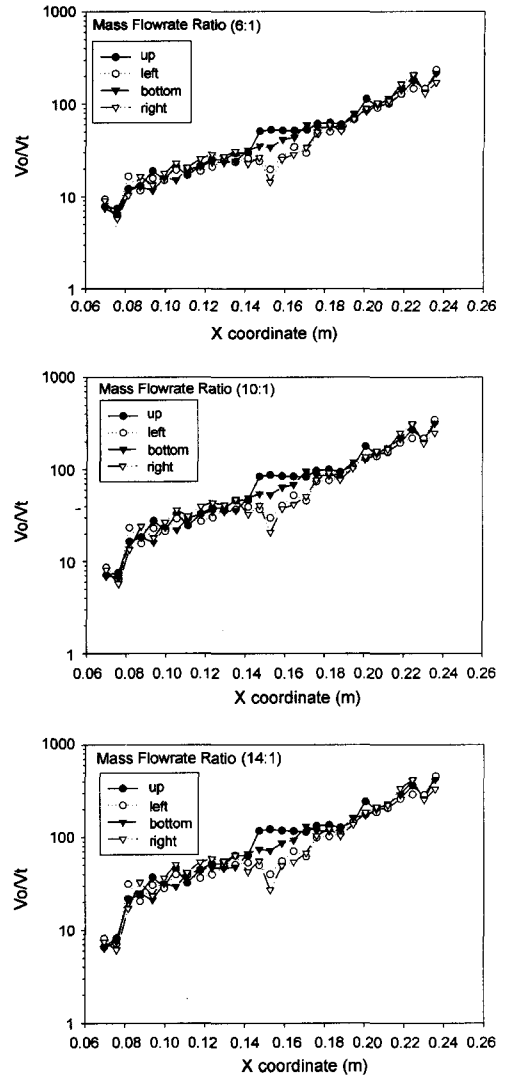


Fig. 8 V_o/V_T distributions in the streamwise direction: (a) 6:1 (b) 10:1 (c) 14:1

관하게 이 속도비의 값이 약 5 정도 됨으로 퇴적 에 대한 마진은 매우 작다고 판단된다. 앞서 온도 와 V_T 의 분포에서 설명하였듯이 회석공기가 부딪치는 다공질관 부분에서는 특히 좌우 측면 에서는 이 속도비가 거의 입구 수준으로 감소하 고 있음을 볼 수 있다. 중요한 것은 유량비가 작 을수록 좌우측면의 속도비는 더욱 감소한다. 따 라서 다공질관 입구는 물론 회석공기가 부딪치

는 부분에서도 입자퇴적에 관해 주의를 기울여야 할 것이다.

4. 결론

본 연구는 미국의 Sierra Instruments의 Dilution Chamber를 모델로 하여 새로운 형태의 희석챔버를 제시·개발하는 것을 목표로 하여 유동해석을 통하여 설계자료를 도출하고 고유모델 희석챔버를 설계코자 하였다. 특히 본 연구에서는 Micro Dilution Chamber를 대상으로 수치해석을 수행함으로써 다공질 관을 이용한 배기가스의 희석과정을 유동장 및 온도장의 분석을 통해 배기가스로부터의 입자퇴적을 판정하는 속도비 (V_o/V_T)의 특성을 축방향에 따라 다공질 관내벽의 4개의 위치에서 제시하였다. 이들에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

1) 유동장의 분석결과 다공질을 침투하는 희석공기의 분포는 다공질 관의 입구부에서 작고 출구부에서 크다. 따라서 희석공기의 관통속도의 분포를 일정하게 하기 위해서는 출구쪽의 관통속도를 작게 입구쪽의 관통속도를 크게하여 균일하게 할 필요가 있다.

2) 희석공기의 다공질 관내부로의 관통속도는 희석공기가 직접 다공질 관벽에 부딪쳐 정체점 부근과 하부에는 그 부분의 평균값보다 크고 좌우측면의 관통속도는 매우 작다. 이는 Thermophoretic 속도에 영향을 미쳐 배기가스의 입자퇴적의 가능성이 높이는 것으로 판단된다.

3) 온도장의 분석결과 다공질 내벽에서의 온도는 희석공기의 분포에 직접적으로 영향을 받으며 희석공기의 분포에 따라 결정된다. 즉, 다공질 관내벽에서는 입구부분에서 온도가 높으며 출구부에는 낮은 온도가 나타난다. 희석공기가 다공질 관외벽에 부딪치는 부분과 반대 방향에서는 온도가 낮고 희석공기의 관통속도가 작은 좌우측면의 온도는 매우 높게 나타난다. 이와 같은 현상은 유량비가 작을수록 그 특성이 심화된다.

4) 상기에서 언급한 유동장과 온도장의 분석

결과로부터 계산된 관통속도(V_o)와 Thermophoretic 속도(V_T)의 비는 전체 다공질 내벽에서 1을 초과하여 입자퇴적에 대해 전체적으로 안정적인 것으로 나타났다. 그러나 희석챔버의 입구 부분과 다공질 관좌우측 내벽에서는 안정성 확보를 위한 마진이 작다. 만약 유동의 입력 특성이 바뀌는 경우 퇴적발생으로부터 안전을 확신할 수 없다.

후 기

본 연구는 (주)현민연구소의 지원에 의한 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) MDT 474 Mini-Dilution Tunnel, Technical Description, AVL, 1997.
- 2) Smart Sampler 472, Technical Description, AVL, 1997.
- 3) Graze, Jr., United States Patent, Patent Number 5058440, 1991.
- 4) Sierra Product Manual, 1997.
- 5) R. R., Graze, Jr., "Development of a Miniatures, Dilution-Based Diesel Engine Particulate Sampling System for Gravimetric Measurement of Particulates," SAE 931190, 1993.
- 6) R. R. Graze, Jr., J. G. Olin, "Development and Test of a Fractional Sampling System for Diesel Engine Particulate Measurement," ISA Chicago Technical Conference, 1993.
- 7) L. S. Abdul-Khalek, D. B. Kittleson, B. R. Graskow, Q. Wei, "Diesel Exhaust Particle Size: Measurement Issues and Trends," SAE 980525, pp.133-145, 1998.
- 8) Fluent V 4. Solution Manual, 1996.
- 9) Mott Corporation, Product Manual, 1997.
- 10) Y. Ould-Amer, S. Chikh, K. Bouhadeh, G. Lauriat, "Forced Convection Cooling Enhancement by Use of Porous Materials," Int. J. of Heat and Fluid Flow, Vol.19, pp.251-258, 1998.
- 11) M. R. Izadpanah, H. Muller Steinhagen, M.

Jamialahmadi, "Experimental and Theoretical Studies of Convective Heat Transfer in a Cylindrical Porous Medium," Int. J. of Heat and Fluid Flow, Vol.19, pp.629-635, 1998.

12) 차기업, 김종보, "다공질 물질의 형수직원통 내에서의 자연대류 열전달 수치해석," 공기조화-냉동공학논문집, 제1권 제2호, pp.128-137, 1989.