

배출물 저감을 위한 촉매변환기 내의 3차원 유동해석

Three-Dimensional Flow Analysis of Catalytic Converter for Reducing Emission

정 수 진*, 김 우 승**
S. J. Jeong, W. S. Kim

ABSTRACT

A numerical and experimental study of three-dimensional steady incompressible non-reacting flow inside various dual-monolith catalytic converters has been conducted for achievement of performance improvement, reduction of light-off time and longer service life by improving the flow uniformity within the monolith. In this study, the effects of curvature of inlet exhaust pipe and monolith brick length on the flow uniformity and pressure drop within monolith were numerically investigated. The computations are confirmed by measurements of steady flow. The agreement between computation and experiment was relatively good. The result of this study shows that curvature of inlet exhaust pipe and monolith brick length have a great effect on the flow uniformity and the shorter the brick length, the lower flow uniformity and the less pressure drop.

주요기술용어 : Catalytic Converter(촉매 변환기), Light-off(저온 활성화), Substrate(담체), Exhaust Pipe(배기관), Flow Uniformity(유속 균일도)

1. 서 론

최근 들어 강화된 배출물 규제치의 만족과 원가절감을 목적으로 각 자동차 회사는 배기계의 최적화에 많은 연구를 투자하고 있다. 특히 촉매 변환기는 배출물의 정화뿐만 아니라 소음 측면에

서도 많은 역할을 담당하고 있어 최근 중요한 연구대상이 되고 있다.

실제 운전조건하에서의 촉매변환기 내를 통과하는 배기가스는 변환기 입구부의 확대부에서 발생하는 박리로 인하여 대부분은 담체 단면의 중심부를 통과하게 된다. 따라서 그 외의 단면 부분은 충분히 활용될 수 없으며 이로 인한 급격한 온도구배는 과도한 열응력(thermal stress)을 집중시켜 촉매변환기의 노화를 가속시킨다. 따라서 변환

* 정희원, 한양대학교 대학원 기계공학과
** 정희원, 한양대학교 기계공학과

기의 효율적인 작동은 촉매 변환기의 담체(substrate) 내에 분포하는 유속분포와 온도구배에 좌우됨은 잘 알려진 사실이다. 더욱이 담체 내의 유속분포는 촉매의 활성화(Light-off)와 직접 관련되어 있으므로 담체를 통과하는 유속 분포의 균일도(uniformity)는 packaging과 압력강하 등의 설계요소 뿐만 아니라 변환효율(conversion efficiency)과 수명, 그리고 저온 활성화(light-off) 시간을 결정하는 중요한 설계인자이다.

따라서 Lemme³⁾, Jhonson⁴⁾ 등은 촉매변환기 내의 유속분포를 해석하여 보다 균일한 속도분포를 얻기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 그러나 이러한 실험적인 방법들은 유동가시화를 위하여 촉매변환기의 시제품을 제작해야 하는 등 많은 준비 시간과 비용이 들게 되어 실 설계에 적용하기에는 많은 어려움이 있는 것이 사실이다. 그러나 최근들어 수치해석 기법의 발달 및 컴퓨터의 성능이 급속도로 향상됨에 따라 CAE 기법의 실 설계 적용이 활발하게 이루어져 왔으며 이러한 추세에 발맞추어 열유동 해석분야에 있어서도 컴퓨터를 사용한 전산유체역학 기법이 급속도로 발전하게 되었으며 이 기법은 자동차 산업의 여러분야에 적극적으로 이용되어지고 있다. 최근 Kim¹⁾, Anthony¹⁰⁾, Herman¹¹⁾ 등은 CFD 기법을 사용하여 촉매변환기의 입구부 확대관의 각도 및 담체를 구성하는 셀의 밀도, 그리고 입구 배기관의 곡률등이 담체 내의 유속분포 및 압력강하에 미치는 영향등을 해석하였다.

그러나 이들 논문들은 촉매층의 단순한 기하학적 형상을 지닌 촉매변환기에 대한 연구이거나 입구 배기관의 형상이 비교적 간단한 경우에 국한되어 연구가 이루어져 왔다. 그러나 양산되는 촉매 변환기는 엔진의 배기량 증대와 맞물려 점차 그 형상이 복잡해지고 있는 양상이며 UBC(Under Body Catalytic Converter)형 촉매변환기의 경우 입구 배기관이 여러개의 이음부와 급격한 곡률을 형성하고 있는 경우가 많다. 또한 배기관의 튜닝 및 소음 및 배기규제를 만족시키기 위하여 입구 배기관 역시 2개 이상으로 이루어진 경우도 있다. 따라서 이러한 경우, 촉매 변환기의 담체를 통과하는 유속분포는 이음부 및 입구 배기관의 형상에 많은 영향을 받는다. 그러나 아직 이러한 double

flow형 촉매변환기에 비해 많은 연구가 이루어지지 못하였다.

따라서 본 논문에서는 두개의 입구 배기관을 지닌 RT(Racetrack)형 촉매변환기와 2개의 이음부(junction)를 지닌 double flow형의 촉매변환기에 대하여 입구 배기관의 곡률 및 담체의 길이 등이 담체 내의 유속분포 및 압력 강하 등에 미치는 영향을 3차원적으로 수치해석하였으며 그 결과의 타당성을 검토하기 위하여 실험값과 비교·검증하였다.

2. 수치 해석

2.1 지배 방정식

본 연구에서는 촉매변환기의 확대, 축소관 및 입·출구 배기관 내를 흐르는 유동을 3차원 정상상태의 난류유동으로 고려하였으며 담체는 완전 발달된 층류로 가정하여 해석을 수행하였다. 난류 모델은 소산을 방정식에 생성을 시간 스케일(production rate time scale)을 첨가하여 평균변형율에 상응하는 에너지 전송을 보다 효율적으로 표현 할 수 있는 Chen¹¹⁾의 Extended k- ϵ 난류모델을 사용하였다. 이 난류모델은 특히 난류 운동에너지의 급격한 생성과 소산이 수반되는 제트류와 같은 유동에 표준 k- ϵ 모델보다 정확한 예측성능을 보유한 것으로 알려져 있다. 식 (1)~(4)에 본 연구에 사용된 지배방정식을 나타내었다.

연속방정식 :

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

운동량 방정식 :

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

여기서, $v_i = c_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$ 이며, SR은 담체로 인한 저항(압력 강하)을 나타낸다.

난류 운동 에너지의 전송 방정식은,

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G - \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + c_1 \frac{\epsilon}{k} G - c_2 \frac{\epsilon^2}{k} + c_3 \frac{G^2}{k} \quad (4)$$

$$\text{이때, } G = \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

여기서, $C_1=1.15$, $C_2=1.9$, $C_3=0.25$, $\sigma_k=0.75$, $\sigma_\epsilon=1.15$ 이며, 이는 실험적으로 보정된 상수이다.⁶⁾

각 유입 배기관 입구에서는 전 유입단면에 걸쳐 균일한 속도분포(Plug-flow)를 경계조건으로 주었으며, 입구 Reynolds는 77,444이다. 이는 4,000cc 가솔린 엔진의 경우 약 2,800rpm에 해당한다.¹⁾ 입구에서의 난류 운동 에너지는 평균 입구유속의 3%로 가정하여 아래식 (5)와 같이 계산하였으며 난류 소산율은 식 (6)의 관계식으로부터 계산하였다.

$$k_{in} = \frac{3}{2} (0.03 V_{in})^2 \quad (5)$$

$$\epsilon_{in} = \frac{c_\mu k_{in}^{1.5}}{0.03 D_{in}} \quad (6)$$

출구에서의 경계조건은 대기압으로 처리하였다. 모든 벽조건은 점착조건을 적용하였고, 벽면에서의 난류계산은 벽함수를 사용하였다.

대류항의 차분화는 선형 상류차분법을 사용하였으며, 압력과 속도의 연결은 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다. 최종적으로 얻어진 이산화된 선형 방정식 중 속도 및 스칼라 방정식은 SIP(Strongly Implicit Procedure)로 압력방정식은 CGM(Conjugate Gradient Method)에 의하여 계산되며, 본 연구에서는 상용 열유체 프로그램인 STAR-CD⁵⁾를 사용하여 계산하였다.

2.2 담체의 수치적 모델

촉매변환기 내의 담체는 많은 수의 사각형 셀로 이루어져 있으며 본 연구 대상 촉매변환기의 셀의 밀도는 400cpsl(cells/in²)이며 셀의 직경은 1.117mm이고 벽두께는 0.15mm이다.

가스가 담체를 통과할 때 유체는 마찰손실과 변환기 입구에서 급격한 유동단면의 확대로 유체가 감속됨으로써 발생하는 전이손실(transient loss)로 인하여 압력강하가 일어나게 되는데 이를 수치적으로 표현하기 위하여 담체내의 유동을 1차원으로 가정하여 식 (2)와 같이 축 방향의 운동량 방정식에 여분의 생성항을 첨가하였다. 또한 대류 및 확산에 의한 단면 방향으로의 물질전달은 무시하였으므로 이 방향으로의 운동량 방정식에 큰 생성항을 첨가하여 단면 방향으로의 유동을 억제하였다. 담체 안의 유체는 완전히 발달된 층류로 가정하였으며 압력 강하는 Darcy의 방정식으로부터 아래와 같은 식을 사용하였다.

$$\frac{\partial P}{\partial x_i} = \left[\frac{f D_{in}}{D_{hc}} \frac{1}{2} \rho v_{in} \right] w \quad (7)$$

$$\text{여기서, } f = \frac{(f Re)_{lim}}{Re_{in}} \left(1 + \frac{0.0445}{L} Re_c D_{hc} \right)^{0.5}$$

사각형 단면을 지닌 관내를 지나는 완전히 발달된 층류의 경우 $(f Re)_{lim}=56.908$ 이다.⁴⁾

축방향 유동의 운동량 방정식을 FVM법으로 이산화한 결과는 아래식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_k w_k = \sum a_{nb} w_{nb} + b + (P_p - P_h) A_k + S_{add} \quad (8)$$

이때 압력강하로 인한 여분의 생성항 S_{add} 는 식 (9)와 같이 선형화시킨다.

$$S_{add} = S_c + S_\phi = - \left(\frac{f D_{in}}{D_{hc}} \frac{1}{2} \rho V_{in} \right) W \quad (9)$$

여기서, $S_c=0$ 로 설정하였으며 본 연구에서는 상기의 여분의 생성항을 처리하기 위하여 STAR-CD의 사용자 프로그램을 작성하였다.

2.3 담체를 통과하는 유속분포의 균일도

촉매변환기에 있어서 배기관으로부터 유입되는 가스의 유속분포의 균일도는 변환효율과 수명에 많은 영향을 미친다. 그러므로 이에 대한 지표를 설정하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 Herman¹¹⁾ 등이 제안한 식 (10)과 같은 방법을 사용하여 첫 번째 담체 표면의 유속 균일도를 나타내었다.

$$\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i}{n} \quad (10)$$

$$\omega^*_i = \frac{\sqrt{(\omega_i - \bar{\omega})^2}}{\bar{\omega}}, \quad \omega = \frac{\sum_{i=1}^n \omega^*_i}{n} \quad (11)$$

$$\gamma = 1 - \frac{1}{2} \omega \quad (12)$$

이때 n은 담체표면에 분포하는 총 셀의 갯수를 의미하며 식(10)은 담체의 단면을 통과하는 가스의 평균속도를 의미한다. 실제로 담체로 유입되는 유동에 있어서 각 단면에서의 국부속도 ω_i 는 평균속도와 차이가 있으며 이로 인한 가스의 국부적인 비균일도는 식(11)의 ω^*_i 와 같이 표현되어진다.

한편 균일도 지수, γ 는 담체 표면을 가스가 얼마나 효율적으로 통과하는지를 나타내며 식 (12)로 주어진다.

2.4 수치 해석 및 모델링

촉매변환기 내의 3차원 유동해석을 위하여 해석대상의 CAD 데이터를 IGES 파일로 변환하여 이를 이용하여 계산격자를 생성하였다. 계산격자는 격자 생성 전용프로그램인 FEMB¹⁷⁾를 사용하여 만들었으며 Fig.1에 double flow type의 촉매변환기의 완성된 3차원 계산격자를 나타낸 것이다. 계산 격자는 총 57,592개의 셀로 이루어져 있다.

완성된 격자에 경계조건 및 수치적 제어를 입력한 후 계산을 수행하였다. Fig.2에 수치해석을 위한 작업 흐름도를 나타내었다.

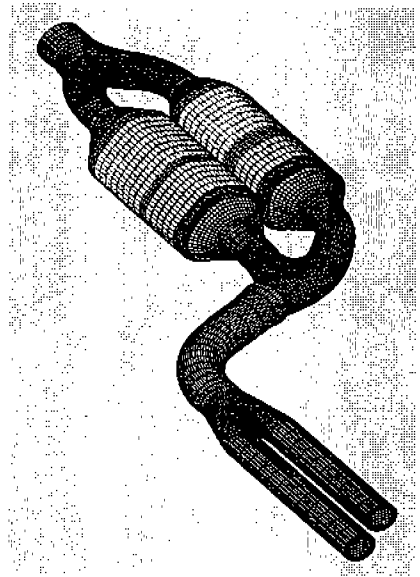


Fig.1 Computational grid of catalytic converter

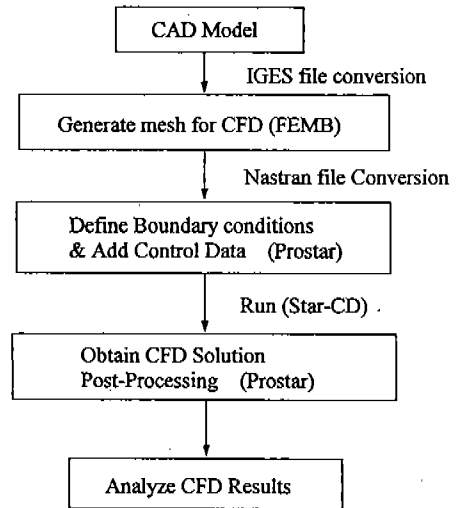


Fig.2 CFD analysis process within catalytic converter design

3. 실험 장치 및 방법

본 연구의 수치해석 결과의 타당성을 검토하기 위하여 각 분기관에서 촉매변환기로의 유량분배 및 담체 표면에 분포하는 유속을 측정한 데이터를 해석결과와 비교하였다. 본 연구의 개략적인

실험장치를 Fig.3에 나타내었다.

각 촉매변환기로의 유량 분배량을 실험하기 위하여 일정량의 유량($Re=77,444$)의 대기 중의 공기(293K)를 블로워를 사용하여 공급하였고 유량은 오리피스스를 사용하여 계측하였다. 담체를 통과하는 유량 및 유속을 측정하기 위해서 두번째 담체를 잘라낸 후 첫번째 담체 하류에 열선 유속계를 장착하였다. 이러한 방법은 두번째 담체로 인한 배압의 영향을 고려하지 못하여 실제보다 낮은 속도 균일도를 계측하게 되는 단점이 있으나 일반적으로 두 담체간의 간극이 15mm 이상이면 두번째 담체를 잘라낸 후 첫번째 담체 하류에서 계측하여도 큰 오차를 포함하지 않는 것으로 알려져 있다.¹²⁾ 또한 Lemme³⁾ 등은 두 담체간의 간극이 10mm 이내의 경우는 2번째 담체의 영향을 고려하여야 한다고 보고한 바 있다.³⁾ 본 연구의 경우, 두 담체 간의 간극이 14.5mm이므로 두번째 담체를 자른 후 속도분포를 계측하였다. 열선 유속계는 유속분포에 영향을 미치지 않도록 첫번째 담체로부터 15~20mm 정도 떨어진 곳에 위치시켰다. 측정된 속도와 센서의 위치는 PC에서 화상처리 하였다.

4. 해석 및 실험결과

Fig.4는 Fig.1에 나타낸 것과 같은 촉매변환기로 유입되는 유량의 실험치와 수치결과를 비교하여 나타내었다. 이러한 해석은 double flow type

의 촉매변환기에서는 상당히 중요한 설계 인자이다. 왜냐하면 여러개의 이음부가 존재하는 경우 이음부에서의 압력강하가 증대되며, 이음부의 형상 및 체적으로 인하여 유량분배가 불균일하게 이루어질 수 있기 때문이다. 그럼에서 보듯이 계산결과는 실험값과 근접한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig.5에 각 촉매변환기 담체 표면에서의 속도 분포를 실험치와 계산결과를 비교하여 나타내었다. Fig.5(a-b)에서 보듯이 담체 단면 중심부에 강한 속도분포가 집중되어 나타나고 있음을 볼 수 있으며, 계산결과도 이러한 불균일 유속분포를 실험치와 근접하게 예측하고 있음을 확인할 수 있다. 한편 좌측 담체 표면의 유속분포 계산값은 우측에 비하여 실험값과 많은 오차를 보이고 있다.

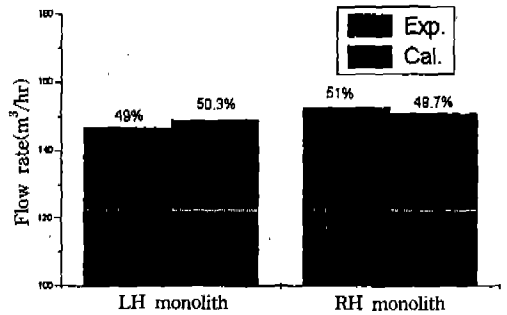


Fig.4 Comparison of flow rate flowing through substrate

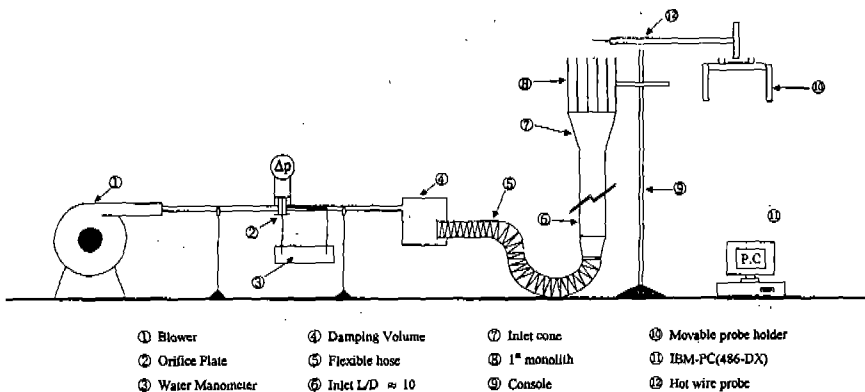
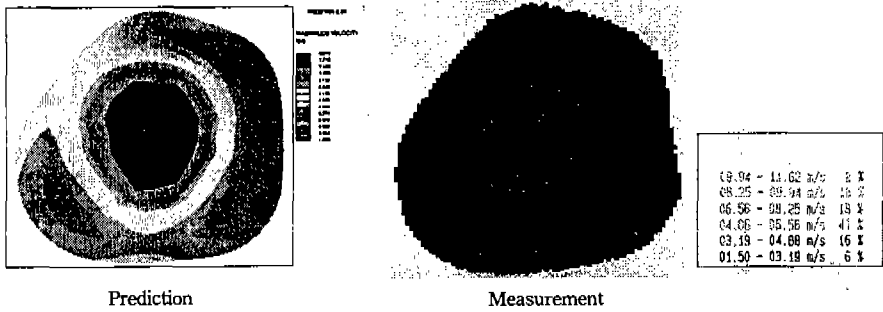
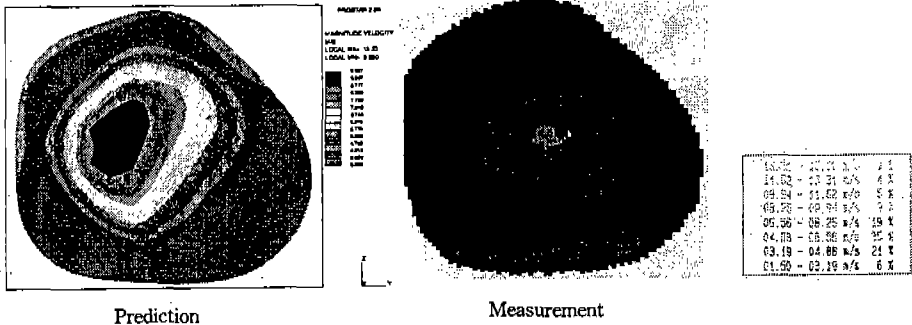


Fig.3 Experimental equipment to measure the velocity distribution in a catalytic converter



(a) RH side



(b) LH side

Fig.5 Measurement and prediction of flow distribution within 1st monolith

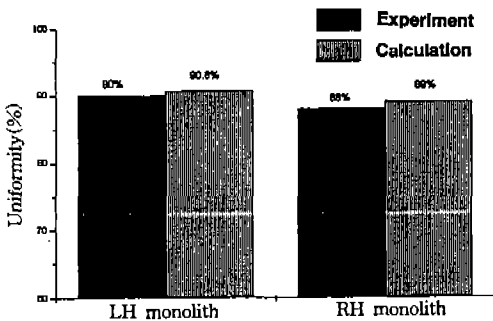


Fig.6 Comparison of flow uniformity, γ between measurement and calculation

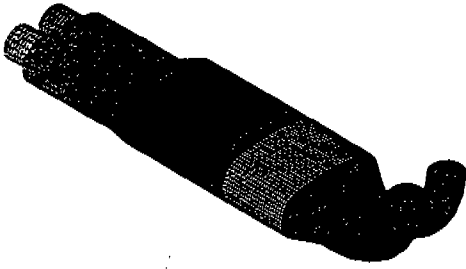
이는 실험이 두번째 담체를 제거한 상태에서 수행되었고 입구 확대부에서 박리에 의한 재순환 영역을 난류방정식의 부정확성으로 인하여 정확히 계산하지 못했기 때문이다. 또한 곡률로 인한 이차적인 변형률 효과를 난류 모델이 정확히 나타내지 못하는 점도 오차의 한 원인이다. Fig.5에 나타난

결과로부터 담체의 많은 부분이 실제로 적절히 활용되지 못하고 있으며 따라서 이러한 불균일한 유속은 촉매변환기의 성능을 저하시키며 저온 활성화 시 불균일한 온도 상승으로 인하여 변환효율을 떨어뜨릴 수 있음을 확인할 수 있다.

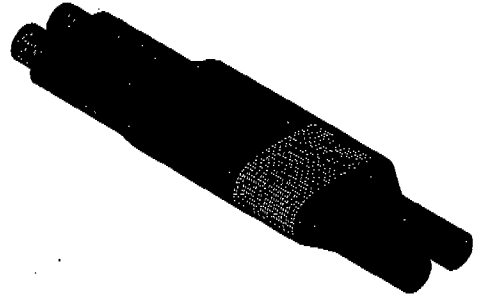
Fig.6은 담체내의 균일도를 식(10)~(12)를 이용하여 계산하여 실험값과 비교한 결과를 나타내었다. 계산결과는 실험값과 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.

입구 배기관을의 형상 변경에 따른 담체내의 유속분포 및 균일도의 변화를 알아보기 위하여 Fig. 7과 같이 RT형의 촉매변환기의 입구 배기관을 4가지 형태로 곡률을 주어 상기에 서술한 것과 같은 경계조건으로 계산을 하였다.

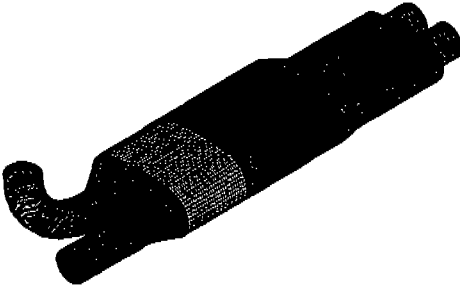
Case 1은 2개의 입기관 모두 90°의 곡률을 주었고, Case 2는 2개 모두 직관으로 구성되어 있으며 Case 3은 1개의 90°의 곡률을 지닌 관과 직관(Straight pipe)으로 구성되어 있다. Case 4



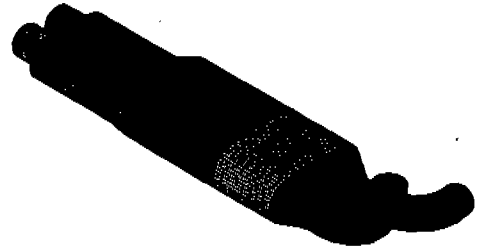
(a) Case 1



(b) Case 2

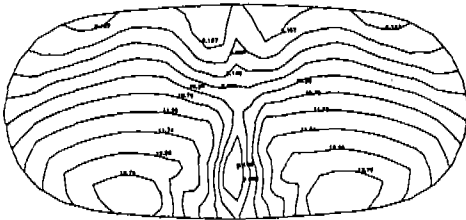


(c) Case 3

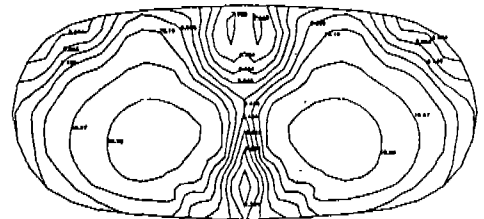


(d) Case 4

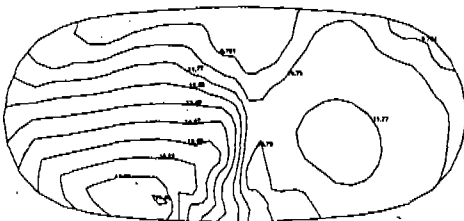
Fig.7 Computational grids with varying inlet exhaust pipe shape



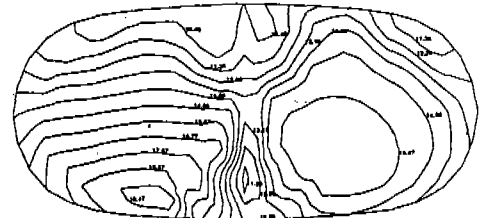
(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4

Fig.8 Velocity contours within 1st monolith with varying inlet exhaust pipe shape

는 각각 90°와 45°의 곡률을 지닌 입구관들로 이루어져 있다.

Fig.8에 각 경우에 대한 1차 담체 표면에서의 속도분포를 나타내었고 2개의 직관으로 이루어진 Case 2의 경우 담체 단면의 중심부로 유속이 집중되어 있으며 곡률이 있는 Case 1은 직관의 경우보다 강한 속도가 담체 단면의 아래쪽에 집중 분포되어 있으며 이는 곡률로 인하여 유입가스가 아래쪽으로 가속되어 흐르기 때문이다. 90°과 45°의 곡률을 지닌 Case 3의 경우는 곡률의 크기의 정도에 따라 유체의 가속 정도가 달라지므로 이에 따른 집중된 속도의 크기와 위치가 다르게 나타나며 곡률이 큰 90°의 경우가 보다 큰 속도 집중을 형성한다.

한편 입구관의 곡률변화가 유속 균일도에 미치는 영향을 나타낸 Fig.9에서 각 경우에 대한 균일도가 입구 형상에 따라 많은 차이를 보이고 있음을 알 수 있으며 각 입구의 곡률차가 가장 큰 Case 3이 가장 낮은 균일도를 나타내고 있다.

Fig.10은 축방향에 대하여 촉매변환기내의 압력을 나타낸 것이다. 이 때 압력은 입구에서의 $(\rho u^2)_m$ 으로 무차원화 하여 각 단면에 대하여 평균한 값이다. 촉매 변환기내의 압력의 경우 입구 확대관 부분에서는 담체의 존재로 인하여 급격한 압력상승을 보이고 있으며 1차 담체부분에서는 일정한 구배로 압력강하가 발생하며 담체간의 간극 (air-gap)에서는 일정압력을 유지하며 다시 2차 담체를 통과하며 다시 압력이 강하하고 있음을 볼 수 있다.

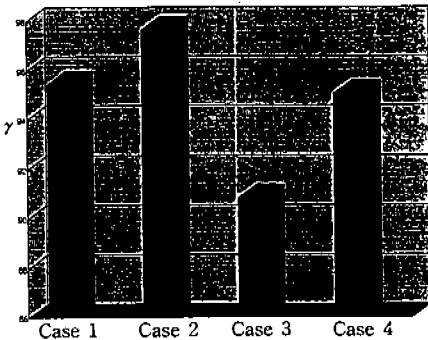


Fig.9 The effect of curvature of inlet pipe on distribution index, γ (%)

Fig.11은 촉매변환기 내를 흐르는 유동의 속도 균일도(γ)를 축방향에 대해서 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 입구 확대부에서 균일도는 최대로 악화되고 있음을 볼 수 있고 첫번째 담체를 통과하며 일정한 상태로 유지된다. 담체간의 간극을 통과하며 속도의 재분배로 인한 균일도의 상승이 있으며 2차 담체를 통과하며 다시 일정한 균일도가 유지되고 있음을 볼 수 있다. 이로부터 촉매변환기의 입구 확대부의 형상이 균일도에 미치는 영향이 지대함을 확인할 수 있으며 담체간의 간극은 2차 담체의 균일도를 상승시키는 중요한 인자임을 확인할 수 있다. 우측 및 좌측 각각의 담체 내 균일도는 1차 담체까지는 RH쪽의 입구 배기관에서 큰 유선 박리각으로 인하여 좌측이 높으나 담체간의 간극을 통과한 2차 담체에서는 큰 차이를 보이지 않고 있다.

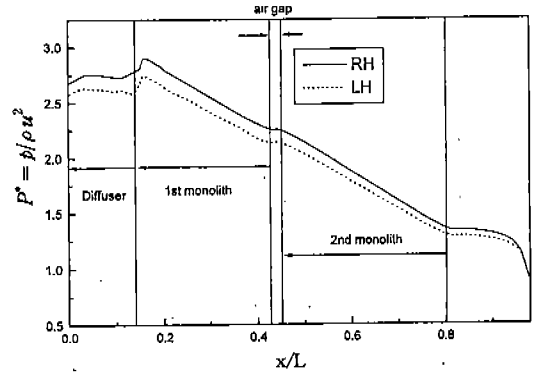


Fig.10 Pressure variation in the streamwise direction for both sides monolith

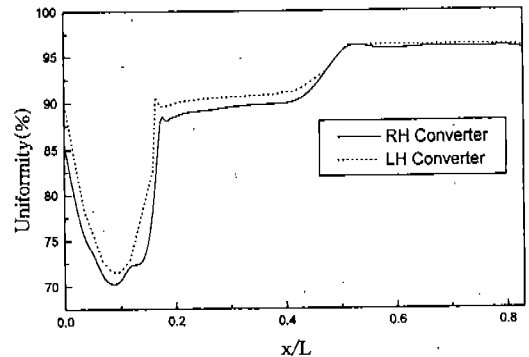


Fig.11 Flow uniformity variation streamwise direction for both sides monolith

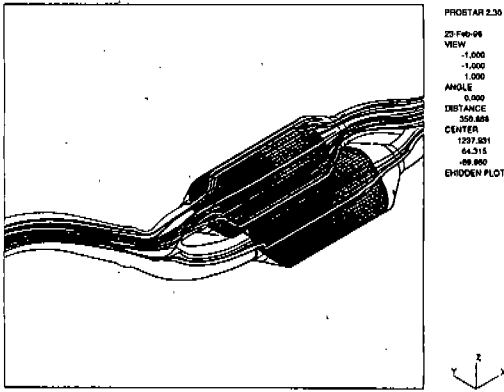


Fig.12 Particle passing through inlet exhaust pipe and catalytic converter

Table 1 The effect of brick length on pressure drop and uniformity(RH side)

Brick Length	ΔP (kpa)	γ (uniformity)%
Half	0.42	88.1
one	0.498	88.5
two w/o air gap	0.509	91.2
two with air gap	0.567	89.4

Table 2 The effect of brick length on pressure drop and uniformity(LH side)

Brick Length	ΔP (kpa)	γ (uniformity)%
Half	0.207	89.4
one	0.289	90.5
two w/o air gap	0.363	91.6
two with air gap	0.364	90.8

Fig.12는 배기관 및 촉매변환기내를 흐르는 배기가스 입자의 궤적선을 나타낸 것이다. 혼합관의 곡률로 인하여 곡률 외측으로 치우친 입자궤적이 분지관을 통해 담체를 통과하는 유동특성을 잘 나타내 주고 있다.

아래 Table 1, 2는 담체의 길이가 속도분포와 압력강하에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 기존의 듀얼 타입의 담체의 절반, 한개, 그리고 담체 간극이 있을 경우와 없을 경우에 대하여 입구 Rey-

nolds수 77,444의 경우에 대하여 수치계산을 수행하였다. 계산 결과를 요약하면 담체 길이가 짧을 수록 압력강하와 속도 균일도는 작아짐을 알 수 있었다. 이는 담체의 길이가 짧을 수록 담체를 통과하는 유동저항이 작아져 압력강하가 작아지나, 길어지면 저항이 커져 담체표면에서 유동이 재분배 될 시간적 여유가 생겨 균일도는 향상되고 압력강하가 커지기 때문이다. 담체의 유무에 따른 해석결과는 담체 간극이 없을 경우가 유속의 균일도 면에서는 개선된 결과를 나타내었으나 담체의 간극은 2차 담체를 통과하는 유속을 재분배하는 중요한 역할을 하고 있으므로 무시할 수 없는 인자이다.¹⁾

8. 결 론

본 논문에서는 double flow type의 촉매변환기 및 RT(Race track)형 촉매변환기 내의 3차원 유동특성을 수치해석 하였으며 또한 수치해석 결과의 타당성을 검증하기 위하여 실험을 수행하였다. 해석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수치해석 결과로부터 담체내에 속도분포는 입구 배기관의 기하학적 형상과 입구 확대부 로 인하여 국부적인 집중 현상을 보이며 이는 입구 배기관의 곡률에 따른 유입 유속의 편중된 유동으로 인하여 많은 변화율 보인다. RT형의 촉매변환기의 경우, 입구 배기관의 곡률을 90°, 45° 직관의 경우로 해석한 결과 유속 균일도는 최고 4.6%의 차이를 나타내었다.
- 2) 담체의 길이변화가 담체 전·후의 압력강하 및 담체 내의 균일도에 미치는 영향을 해석한 결과 담체의 길이가 짧을수록 압력강하는 감소하며, 균일도 역시 낮게 나타났다.
- 3) dual형 촉매변환기의 경우, 담체간의 공기 간극의 유·무에 따른 압력강하 및 균일도의 변화를 해석한 결과 공기 간극이 없을 경우가 압력강하가 더 적게 일어났으며 또한 첫 번째 담체 표면에 분포하는 유속 균일도 역시 높게 나타났다.
- 4) 수치해석 결과의 타당성 검증을 위하여 double flow type의 촉매변환기 내에서의 담체

내의 속도분포 및 배기관 분지관에서 촉매 변환기로의 유량분배 및 균일도를 실험적으로 측정하여 수치해석 결과와 비교한 결과, 수치적 및 실험적 결과들이 타당한 범위 내에서 일치하고 있음을 확인하였다.

후 기

본 논문은 1997년도 공학기술연구소 연구비에 의하여 연구되었으며, 본 연구를 수행하는데 있어 많은 조언과 실험자료를 제공하여 주신 J. Eberspächer 연구소의 Ing Joachim Braun 박사에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. M. C. Lai and J. Y. Kim, "Three-dimensional Simulations of Automotive Catalytic Converter Internal Flow", SAE Paper 9100200, 1991.
2. Socha L.S. Jr. and Thompson D.F., "Electrically Heated Extruded Metal Converters for Low Emission Vehicles", SAE Paper 920093, 1992.
3. Charles D. Lemme and William R. Givens, "Flow through Catalytic Converters - An Analytical and Experimental Treatment", SAE Paper 740243, 1974.
4. W. C. Johnson and J. C. Chang, "Analytical Investigation of the Performance of Catalytic Monoliths of Varying Channel Geometries Based on Mass Controlling Conditions", SAE Paper 740196, 1974.
5. STAR-CD Ver3.0 User's Manual, Computational Dynamics Limited, 1997.
6. Chen Y.S. and Kim S.W. "Computation of Turbulent Flows Using an Extended $k-\epsilon$ Turbulence closure Model", NASA CR-179204, 1987.
7. Wendland D.W. et al, "Visualization of Automotive Catalytic Converter Internal Flows", SAE Paper 912372, 1991.
8. Yuan M., Song C. C. S., and He J., "Numerical Analysis of Turbulent Flow in a Two-Dimensional Non-symmetric Plane-Wall Diffuser", J.Fluid Engineering, Vol. 113, pp. 210~215, 1991.
9. Fu-Quan Zhao, et al, "An Experimental Study of the Flow Structure Inside the Catalytic Converter of a Gasoline Engine", SAE Paper 950784, 1995.
10. C. and LeGray W. J., "Mathematical Models for Catalytic Converter Performance", SAE Paper 800841, 1980.
11. Anthony J. Baxendale, "Computational Fluid Dynamics in Exhaust System Design and Development", '94 International E/G Design, Sterling Publications, Ltd., pp. 126~130, 1994.
12. Herman Welten, et al, "Optimization of Catalytic Converter Gas Flow Distribution by CFD Prediction", SAE Paper 9300780, 1993.
13. Oh S.H. and Cavendish J.C., "Mathematical Modeling of Catalytic Converter Light-off, PartIII : Prediction of Vehicle Emission and Parametric Analysis", AIChE J., Vol. 31, No. 6, pp. 943~949, 1985.
14. Patankar, S. V., "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere, Washington D.C., 1980.
15. Lai, M. C., et al, "Numerical and Experimental Characterization of Automotive Catalytic Converter Internal Flows", J. Fluid and Structures, Vol.6, No. 4, pp. 451~470, 1992.
16. Haaland, S. E., "Simple and Explicit Formulas for the Friction Factor in Turbulent Pipe Flow", J.Fluids Engineering, Vol. 105, pp. 89~90, 1983.
17. Femb-Finite Element Model Builder Version 26.5 - User's Manual, ETA, Inc, 1995.

18. S. Siemund, D. Schweich, J. P. Leclerc and J. Villermaux, "Modelling Three-Way Monolithic Catalytic Converter : Comparison Between Simulation and Experimental Data", Catalysis and Automotive Pollution Control III Studies in Surface Science and Catalysis, Vol. 96 pp. 887 ~895, 1995.
19. Se H. Oh, "Thermal Response of Monolithic Catalytic Converters During Sustained Engine Misfiring : A Computational Study", SAE Paper 881591, 1988.

NOMENCLATURE

- D_{in} : 입구 배기관의 직경
 D_{hc} : 담체 내 채널의 수력직경
 Re_c : 담체를 구성하는 셀에서의 레이놀즈 수
 ($=WD_{hc}/\nu$)
 V_{in} : 입구 속도
 a_{nb} : 주위 절점에서의 이산화된 계수
 W : 축방향 속도
 k : 난류 에너지
 ε : 난류 에너지 소산율
 L : 촉매변환기의 길이