

〈논 문〉 SAE NO. 97370082

디젤기관에서 산화촉매장치에 의한 배기가스 저감에 관한 이론적 연구

A Theoretical Study on Exhaust Gas Reduction by Oxidation Catalyst in Diesel Engine

한 영 출* 김 종 춘** 김 태 섭***
Y. C. Han, J. C. Kim, T. S. Kim

ABSTRACT

Among aftertreatment devices which reduce exhaust gas of diesel engine, diesel oxidation catalyst(DOC) with high reduction efficiency for gaseous matter and particulate matter is now studied actively. In this study, a transient one-dimensional model developed to simulate the thermal and conversion characteristics of adiabatic monolithic converters operating under warm-up conditions is presented. This model takes into account the gas-solid heat and mass transfer, axial heat conduction, chemical reactions and the related heat release.

The model has been used to analyze the transient response of an axisymmetric catalytic converter during a warm-up as a function of catalyst design parameters and operation conditions in order to observe their effects on the lightoff behaviour.

The experimental test was carried out 2400 cc light diesel engine with DOC.

주요기술용어 : Diesel Oxidation Catalyst(DOC : 디젤산화촉매), Conversion Efficiency(변환효율), PM(입자상물질), Soluble Organic Fraction(SOF : 유기성 용해물질)

기 호 설 명

$c_{g,i}$: Concentration of species i in bulk gas stream mole fraction
 $c_{s,i}$: Concentration of species i on the solid surface mole fraction

$$F_1 = \frac{s(T_g - T_s) + a(x) \sum_{i=1}^3 (-\Delta H)_i R_i(\bar{c}_s, T_s)}{(-\Delta H)_i}$$

$(-\Delta H)_i$: Heat of combustion of species i J/mole

k_i : Rate constant for reaction i mole · K/cm² · s

K_i : Adsorption equilibrium constant mole fraction

* 정희원, 국민대학교 기계공학과
 ** 정희원, 국민대학교 대학원
 *** 대우중공업

$k_{m,i}$: Mass transfer coefficient for species i	cm/s
R_h	: Hydraulic radius of channel, $2(\text{cross-sectional area})/(\text{wetted perimeter})$	cm
R_i	: Specific reaction rate for species i	mole/cm ³ Pt · s
$[F_2]_i$: $-\rho_g k_{m,i} S(c_{g,i} - c_{s,i})/w$	
F_3	: $hS(T_s - T_g)/wC_{pg}$	
$[F_4]_i$: $(M/\rho_g)a(x)R_i(\bar{c}_{s,i} - c_{s,i}) - k_{m,i}S(c_{g,i} - c_{s,i})$	
T_g	: Gas temperature	K
T_s	: Solid temperature	K
w	: Mass flux of exhaust gas	g/cm ² · s
x	: Coordinate along flow direction	cm
$a(x)$: Catalyst surface area per unit reactor volume	cm ² /cm ³

1. 서 론

최근 자동차에 대한 배기규제가 강화되면서 이에 발맞추어 배출기준을 만족하기 위한 배출가스저감에 대한 연구가 되고 있다. 특히 디젤기관의 배출가스저감에 대한 연구 중 기관출력과 연비에 악영향을 미치지 않고 배출가스를 저감시킬 수 있는 DOC에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{1~4)}

DOC의 시뮬레이션 프로그램은 다양한 설계사항들을 탐구하기 위해 사용할 수 있고 만약 모델이 적절하게 사용되고 테스트와 조화가 이루어진다면 제한된 시간에 최적설계를 할 수 있어 큰 비용과 시간을 들이지 않고 매우 유용하게 사용할 수 있다.^{5~6)}

DOC의 모델링 연구^{7~10)}는 Oh 등⁶⁾과 Chen & Cole¹¹⁾의 FEM 소프트웨어 프로그램의 지원을 받은 3차원모델을 제외하고는, 모노리스 전면에서 일정한 유동분포에 노출된 단일모노리스의 운전에 초점을 맞추었다. 이 경우 모노리스의 모든 채널에서의 온도와 농도분포는 같다. 따라서 오직 한 채널의 농도분포의 모델링

만을 하여도 모델링의 목적에 충분하고, 3차원의 모델링과 과도특성 및 변환효율 예측에 큰 차이가 없고 빠른 시간에 결과를 얻을 수 있어 많은 연구가 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 DOC를 선택하여 유해배출물인 CO, HC 및 PM이 온도 변화에 따라 달라지는 변환효율과 질량유량 및 촉매 Loading양에 따른 변환효율을 이론적으로 해석하여 DOC에서의 배기가스 변환효율의 예측과 동시에 모노리스 내의 온도를 예측함으로써 열응력의 분석이 가능하도록 하였다. 이론적 해석은 Oh 등⁶⁾과 Hoffmann 등¹²⁾에 의해서 제안된 수학적 모델등을 수정, 통합하여 계산하였고, 이 수학적 모델은 배출가스와 촉매와의 열전달, 물질전달, 촉방향 열전도, 화학반응 및 열방출 등을 고려하였다.

실제 실험에서는 2400cc급 디젤기관에 Degussa의 DOC를 사용하여 온도변화에 따른 변환효율과 촉매 loading양의 변화에 따른 변환효율을 측정하여 시뮬레이션 프로그램과 비교 검토를 통하여 프로그램의 타당성을 확인하였다.

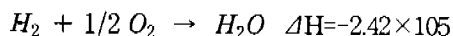
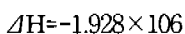
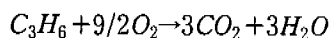
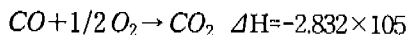
2. 이론적 해석

2.1 가스상물질의 산화반응

대부분의 촉매변환기는 자동차 배기가스 중 CO, HC 및 NO_x를 동시에 변환시키기 위해 이론적으로 평형을 이룬 공연비에서 작동되도록 설계한다. 그러나 본 연구에서는 가스상물질의 산화반응에서는 Pt-촉매에서 일산화탄소, 탄화수소 및 H₂의 산화반응에 대해서만 고려하였다. 이것은 현재까지의 Pt-촉매에서의 NO_x에 대한 변환성능에 대한 연구는 본 산화반응 시뮬레이션에 적용하기에는 부적절하여 고려하지 않은 것이다.⁶⁾ 또한 배기가스에서 NO가 저농도(500~1000ppm)일때는 온도변화에는 영향이 적기 때문에 NO의 저감반응에 관계되는 발열량은 무시하였다.^{6,11)} 이 모델에서, 탄화수소의 산화반응 중 메탄(Methane)과 같은 "Slow-oxidizing hydrocarbon"은 변환기의 열반응에 거의 무시할 수 있기 때문에 "Fast-oxidizing

hydrocarbon"인 프로필렌(Propylene)이 THC를 대표한다고 가정하여 산화반응을 나타내었다.⁹⁾ Fig.1은 DOC의 산화과정의 원리^{1,13)}를 나타낸 것이다.

가스상물질의 산화반응은 다음과 같다.



CO, C₃H₆와 H₂의 산화에 대한 반응속도 R_i는 온도 T와 농도 c_i의 함수로 표현 될 수 있다.

$$R_{CO} = k_1 c_{CO} c_{O_2} / G$$

$$R_{C_3H_6} = k_2 c_{C_3H_6} c_{O_2} / G$$

$$R_{H_2} = k_3 c_{H_2} c_{O_2} / G$$

여기서,

$$G = \frac{T(1 + K_1 c_{CO} + K_2 c_{C_3H_6})^2}{(1 + K_3 c_{CO}^2 c_{C_3H_6}^2)(1 + K_4 c_{NO}^{0.7})}$$

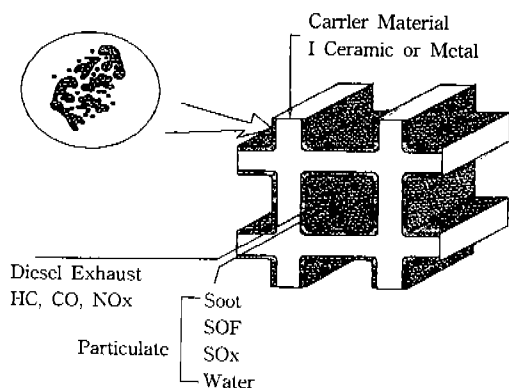


Fig.1 Functional Diagram of Catalyst

$$k_1 = 6.699 \times 10^9 \exp(-12556/T)$$

$$k_2 = 1.392 \times 10^{11} \exp(-14556/T),$$

$$K_1 = 65.5 \exp(961/T)$$

$$K_2 = 2.08 \times 10^3 \exp(361/T)$$

$$K_3 = 3.98 \exp(11611/T)$$

$$K_4 = 4.79 \times 10^5 \exp(-3733/T)$$

이고, 산소의 반응량은

$$R_{O_2} = 0.5 R_{CO} + 4.5 R_{C_3H_6} + 0.5 R_{H_2}$$

이다.

2.2 입자상물질의 산화반응

디젤 입자상물질은 C, H, O, N, S와 여러 종류의 금속물질로 구성되어 있다. 탄소의 함량은 운전조건에 따라 변하고, 탄소+산소의 함량 90 mol% 보다 언제나 높다. 이러한 이유로 본 연구에서는 입자상물질의 산화반응을 산소와 탄소의 반응으로 가정하였다. 이 산화반응에 의해, 다른 중요한 생성물, 즉 일산화탄소는, 이산화탄소로 완전히 산화된다. 이것은 단독반응, 총 탄소의 산화를 고려해야한다고 가정할 수 있다. 역학적 관계를 이끌어 내기 위해서는 다음의 조건을 만족한다는 가정을 한다. 입자상물질은 촉매에 전체적으로 일정한 분포이어야 하고 입자상물질의 표면적은 질량에 비례한 가스흐름에 노출되고, 가열과정은 시간에 대해 선형적이며, 반응속도는 산소에 대해 1차 반응이다.

이 가정들은 기초로, 다음의 반응식¹²⁾을 세울 수 있다.

$$\frac{dC_c}{dt} = \frac{dC_{CO_2}}{dt} = kC_c C_{O_2}$$

여기서, $dt = \beta^{-1} dT$, $k = A \exp(-E/RT)$ 이다.

산소의 보존방정식은 :

$$V_R \frac{dC_{O_2}}{dt} = \dot{V} (C_{O_2}^0 - C_{O_2}) - V_R \cdot r$$

$$\text{입자상물질의 보존방정식은 : } \frac{dC_C}{dt} = -r$$

여기서, 반응속도는

$$r = A \cdot \exp(-E/RT) \cdot C_C C_{O_2} \text{이며,}$$

$A = 2.42 \times 10^7 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $E = 6.04 \times 10^4 \text{ J mol}^{-1}$ 이다.¹²⁾

2.3 지배방정식

촉매 모노리스에서 반응·이동 현상에 대하여, 1차원 모델을 개발하였다. 이 모델은 각 촉매층에서 반경방향의 온도 및 가스유속의 분포는 없는 것으로 하였다. 또한 외부에 대하여 단열되어 있는 것으로 가정하였다. 이 모델에서, 가스상물질과 고체상물질에서의 질량보존과 에너지 평형은 다음과 같다.

$$\varepsilon \rho_g \frac{\partial c_{g,i}}{\partial t} = -w \frac{\partial c_{g,i}}{\partial x} - \rho_g k_{m,i} S (c_{g,i} - c_{s,i}) \quad I=1, \dots, 4 \quad (1)$$

$$\varepsilon \rho_g C_{pg} \frac{\partial T_g}{\partial t} = -w C_{pg} \frac{\partial T_g}{\partial x} + h_s (T_s - T_g) \quad (2)$$

$$\left(\frac{M}{\rho_g} \right) a(x) R_i(\bar{c}_s, T_s) = k_{m,i} S (c_{g,i} - c_{s,i}) \quad (3)$$

$$(1 - \varepsilon) \rho_s \frac{\partial (C_s T_s)}{\partial t} = (1 - \varepsilon) \lambda_x \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} + h_s (T_g - T_s) + a(x) \sum_{i=1}^3 (-\Delta H)_i R_i(\bar{c}_s, T_s) \quad (4)$$

미지수 \bar{c} 와 T 는 농도와 온도를 각각 나타낸다. 하첨자 g, s, i는 각각, 가스상물질, 고체상물질과 주요 가스성분인 즉 $i=1$, CO; $i=2$, C_3H_6 ; $i=3$, H_2 ; $i=4$, O_2 등을 나타낸다. 초기조건과 경계조건은 다음과 같다.

$$T_s(x, 0) = T_{so}(x)$$

$$c_{g,i}(x_{in}, t) = c_{g,i}^{in}(t) \quad i=1, \dots, 4$$

$$T_g(x_{in}, t) = T_g^{in}(t)$$

$$\frac{\partial T_s(x_{in}, t)}{\partial x} = 0$$

$$w(x_{in}, t) = w^{in}(t)$$

w 는 질량보존에 의해 x 에 독립적이기 때문에, 모든 x 에 대하여 $w(x, t) = w^{in}(t)$ 이고,

출구에서 x_{out} 은,

$$\frac{\partial T_s(x_{out}, t)}{\partial x} = 0 \text{ 이다.}$$

가스흐름과 촉매표면사이의 열과 물질전달계수, h 와 $k_{m,i}$ 는 모노리스 채널에서 일정한 벽의 열유속이 있는 완전히 발달한 층류 유동에 대한 물질전달과 열전달의 계산은 Sherwood number와 Nusselt number에 의해 계산된다.¹³⁾

$$h = \frac{Nu_{\infty} \lambda_g}{2R_h}, \quad k_{m,i} = \frac{Sh_{\infty} D_i}{2R_h}$$

Table 1 Parameters for Simulation

Description	Value	Unit	
T_{so}	300	K	
T_g^{in}	650	K	
W	Varies	g/s	
a	Varies	cm ² Pt/cm ³	
$C_{g,i}^{in}$	CO	0.1	%
	C ₃ H ₆	0.045	%
	H ₂	0.667	%
	O ₂	5.0	%
	NO	0.05	%

입자상물질의 산화반응에서, 초기조건과 경계조건은,

$$T(x, 0) = T_0, \quad C_{O_2}(x, 0) = C_{O_2,0}$$

$$T(x^{in}, t) = T_0, \quad C_C(x^{in}, t) = C_{C,0}$$

Table 1은 촉매시뮬레이션에 입력한 촉매의 물질물성치를 나타낸다.

2.4 수치해석 알고리즘

식(1)에서 식(4)까지 비선형적인 미분방정식이기 때문에 이 식들을 풀기위하여 간단한 표현방법을 사용하였다. 식(4)는 열소산에 대한 함수 F_1 이므로하여 더욱 일반적인 열전도식으로 단순화 하면,

$$\rho_s \frac{\partial (C_s T_s)}{\partial t} = \lambda_x \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} + F_1(T_s, T_g, \bar{c}_s) \quad (5)$$

식(2)에서 식(4)의 다른 식들도 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$\frac{dc_g}{dx} = \bar{F}_2(T_g, \bar{c}_g, \bar{c}_s) \quad (6)$$

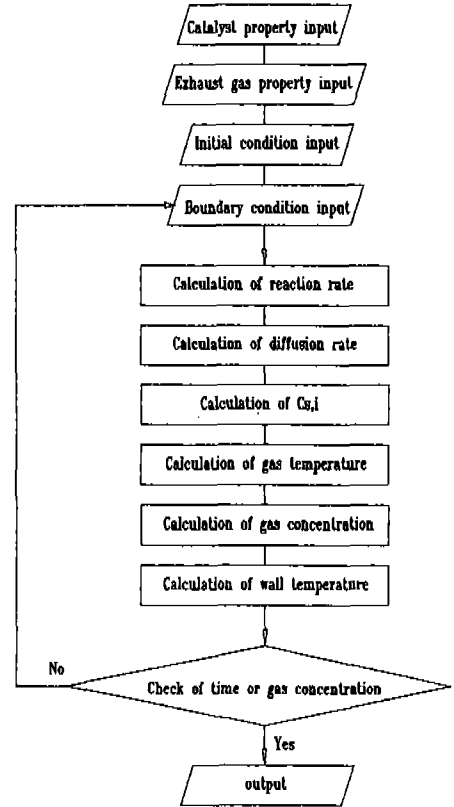


Fig.2 Catalyst Simulation Algorithm

$$\frac{dT_g}{dx} = F_3(T_s, T_g) \quad (7)$$

$$\bar{0} = \bar{F}_4(T_g, T_s, \bar{c}_g, \bar{c}_s) \quad (8)$$

위 식의 함수 F_1 , \bar{F}_2 , F_3 과 F_4 는 기호설명에 나타내었다. 식(5)~(8)은 공간에 대해서 유한차분법과 시간에 대해서 양해방법을 사용하였으며, $T_g(x_{i+1})$, $\bar{c}_g(x_{i+1})$ 는 Newton's method를 사용하여 계산하였다. 프로그램은 Fortran77언어로 작성하였고 컴파일러는 F77L3를 사용하였으며, Fig.2는 촉매배출가스 시뮬레이션에 대한 알고리즘을 도시한 것이다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

디젤기관의 DOC의 성능, 변환특성 및 배기가스를 측정하기 위한 전체적인 실험 장치는 Fig.3에 나타내었다. 시험용 기관은 배기량 2367cc, 최대출력 60kW, 최대토크 157Nm, 수냉 4기통기관을 사용하였고 DOC는 독일 Degussa의 제품을 선정하여 실험을 실시하였다. DOC의 제품의 촉매제원은 Table 2에 각각 나타내었다. 측정장치로서 기관동력계는 수동력계(SF901)를 사용하였고, 배출가스 분석기는 CO는 Enviromax 207(Liston scientific Co.), THC는 402R(TELEDYNE analytical instruments)을 사용하여 분석하였으며, 입자상물질 측정은 MDT(Ewon Co.)를 사용하여 측정하였다.

3.2 실험방법

DOC의 장착에 따른 배출가스 변환효율을 알아보기 위하여 가장 중요한 인자인 배출가스 온도를 적절히 선정하여 온도변화에 따른 배출가스 저감효율을 파악할 수 있도록 하기 위하여 T-7모드를 선정하였고 Table 3에 T-7모드

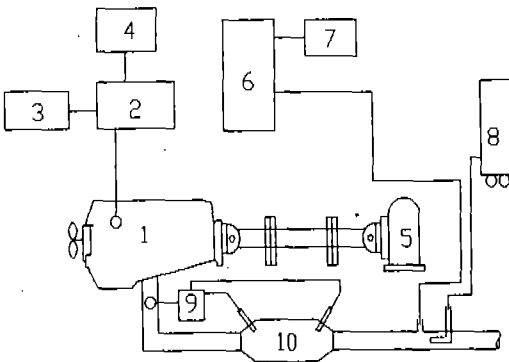
의 운전조건을 나타내었다.

DOC을 장착하기전 베이스상태에서 실험조건에서 선정된 T-7모드에서 CO와 HC는 5분동안 20초 마다 데이터를 취득하여 평균하고, 입자상물질은 5분동안 포집하여 측정하였다. DOC를 장착한 후에는 CO, HC 및 입자상물질은 장착전과 동일하게 측정하였다. DOC의 입구와 출구의 배기온도는 초당으로 DOC의 입구와 출구에 설치되어 있는 열전대로 측정하여 컴퓨터에 입력하였다. DOC의 장착에 따른 배출가스 저감 및 디젤산화장치 촉매 입구와 출구의 배출가스 온도차, HC, CO 및 입자상물질의 저감효율을 알아 보았다.

4. 결과 및 고찰

4.1 DOC의 온도변화

Fig.4의 계산결과는 배출가스 입구온도를 377℃로 일정하게 주었을 때 DOC의 3지점 즉, 입구, 중간 및 출구지점에서 시간에 대해 계산된 DOC의 벽온도 분포를 나타내고 있다. 초기조



- 1. Diesel engine
- 2. Dynamometer control desk
- 3. Monitor
- 4. Printer
- 5. Dynamometer
- 6. Exhaust gas analyzer
- 7. Pen recorder
- 8. Mini dilution tunnel
- 9. Exhaust gas temperature controller
- 10. Diesel oxidation catalyst

Fig.3 Schematic Diagram of Diesel Emission Measuring Apparatus

Table 2 Specification of DOC

Type	Width×height×length(mm)	Cell density (cell/cm ²)	Pt loading (g/m ₃)
A	146.8×77×152.4	62	353
B	146.8×77×152.4	62	1765

Table 3 Driving Condition of T-7 Mode

Test mode	Rpm/load rate	Sampling time(min)	Exhaust temp(℃)
1	2300/3%	5	100
2	2300/15%	5	150
3	2300/23%	5	200
4	2300/35%	5	250
5	2300/40%	5	300
6	2300/45%	5	350
7	2300/50%	5	400

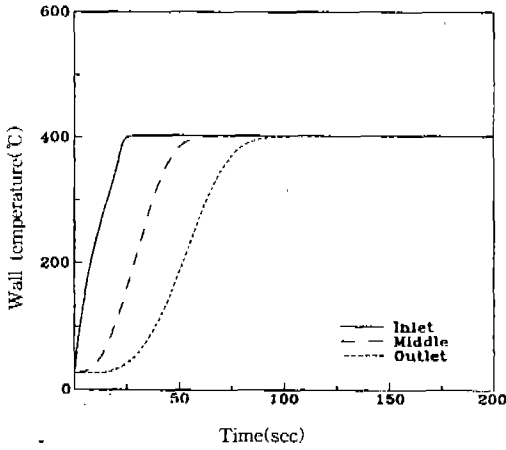


Fig.4 Wall Temperature Profile of DOC with Pt Loading 353 g/m³

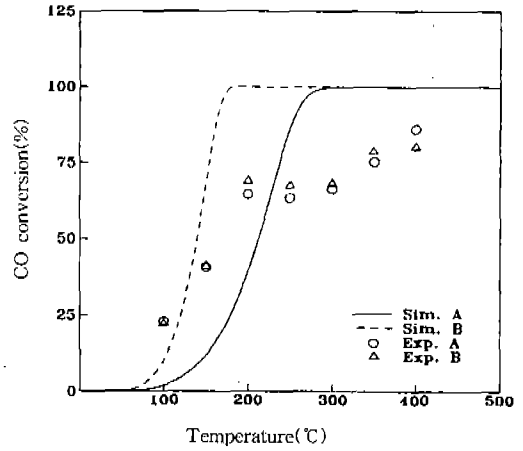


Fig.6 CO Conversion Efficiency According to Temperature

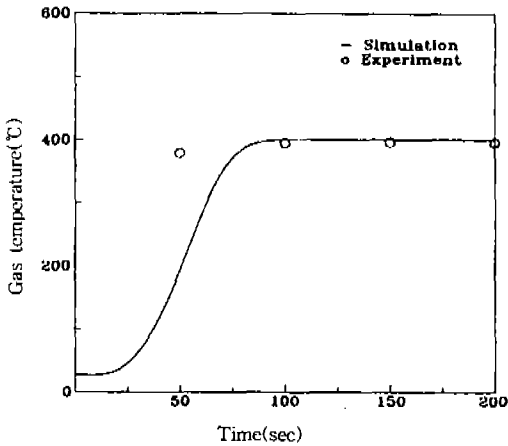


Fig.5 Gas Temperature Profile of DOC with Pt Loading 353g/m³

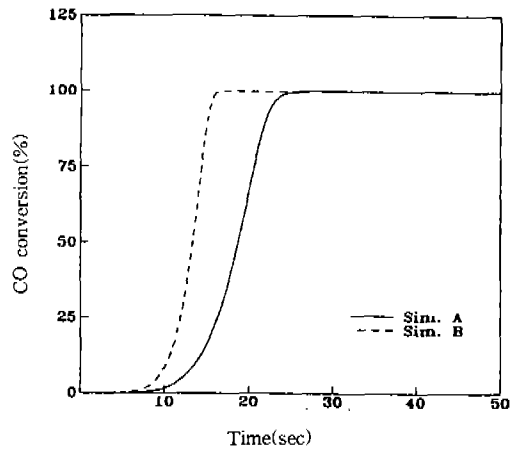


Fig.7 Variations of CO Conversion Efficiency According to Time

전에서 27℃로 두었기 때문에 27℃에서 출발하다가 시간이 흐르면서 급속히 온도가 증가하는 현상을 볼 수 있으나 약 100초 이후에는 3지점 모두 일정한 온도를 나타내고 있다. 과도한 산화반응으로 인한 아주 급격한 온도상승은 없어 열적으로 안정한 상태를 알 수 있다.

Fig.5의 계산결과는 배출가스 입구온도를 377℃로 일정하게 주었을 때 DOC의 배출가스 출구온도분포의 계산결과이며 실험결과는 워밍업 상태에서 50초간격으로 측정한 값이다. 그림에서 계산결과와 실험결과는 모두 입구온도보다

약 20에서 25℃정도 높게 나타났는데 이는 촉매내에서 배출가스의 산화에 의한 산화반응열과 모노리스와의 대류열전달에 의한 것으로 판단된다. 또한 실험을 정상상태인 조건에서 측정하였기 때문에 Transient구간에서의 온도는 파악할 수 없었으나 정상상태에서의 벽온도의 결과와 비교해 보면 거의 유사함을 알 수 있다.

4.2 DOC의 배출가스 변환효율

배출가스온도를 기준으로 한 T-7모드에서 DOC의 장착에 따른 CO, HC 및 PM의 계산결

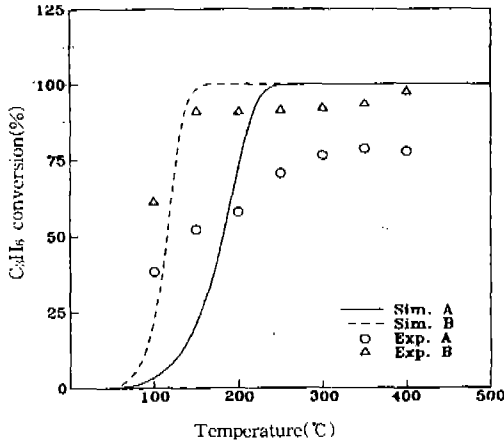


Fig.8 C₃H₆ Conversion Efficiency According to Temperature

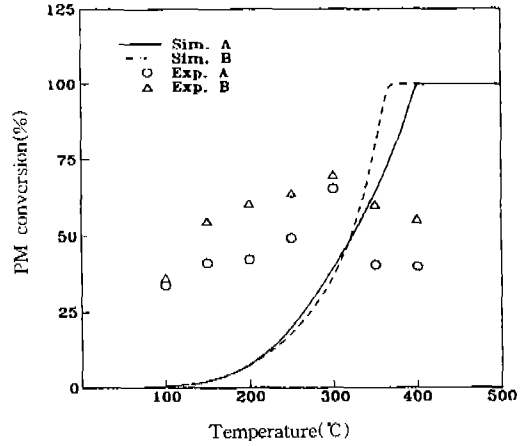


Fig.10 PM Conversion Efficiency According to Temperature

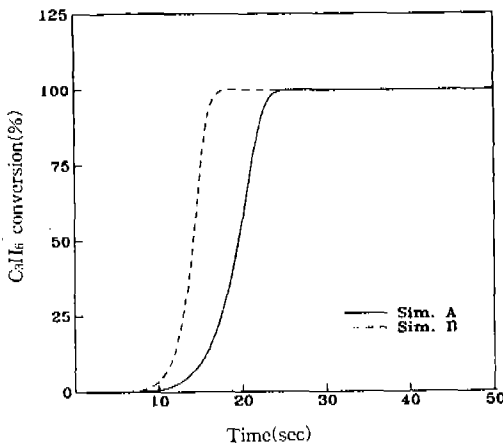


Fig.9 Variations of C₃H₆ Conversion Efficiency According to Temperature

과와 실험결과를 각각 Fig.6, 8 및 10에 나타내었고, Fig.7, 9 및 11에는 각각 워밍업상태에서 시간에 대한 배출가스 변환효율을 계산하여 나타내었다.

먼저, Fig.6과 8에 나타난 바와 같이 가스상 물질인 CO와 HC는 계산결과와 실험결과 모두 250°C이상의 고온에서 DOC의 장착 후 매우 높은 변환효율을 보여 거의 75% 이상 저감되는 것으로 나타났다. 이는 고온에서 촉매에 의한 산화반응이 활발하게 일어나 저감되는 것으로 판단된다. 또한 촉매 로딩량의 변화에 따른 비

교에서는, 계산결과와 실험결과 모두 촉매 로딩량이 많은 B타입(1765g/m³)이 A타입(353g/m³)보다 저온영역에서 변환효율이 우수하게 나타났다. 이는 촉매 로딩량이 많을수록 촉매의 활성이 우수하므로 저온에서도 쉽게 가스상물질을 산화시켜 변환효율을 높인 것으로 생각된다. 그러나 촉매가 귀금속이므로 경제성도 고려하여야 하기 때문에 적절한 촉매 로딩량을 선정해야 할 것이다. 실험결과와 계산결과와의 차이는 계산결과가 단일조건이라고 가정된 것과 대기온도 및 습도 등으로 인한 것으로 판단되나 대체로 유사하게 나타났다.

촉매의 과도특성에서는 CO 및 HC는 10에서 20초사이에 변환되는 것으로 나타났고 촉매 로딩량이 많은 B타입이 보다 빠르게 변환되는 것으로 나타났다. 그러나 약 10초 이전의 시동 조건에서는 변환이 이루어지지 않아 저온의 시동조건에서의 배출가스의 저감이 시급하다 하겠다.

또한, Fig.10에서 볼 수 있는 바와 같이 PM은 계산결과는 300°C이상부터 DOC장착에 의한 변환효율이 높게 나타났으나, 실험에서는 약 150에서 300°C사이의 저온영역에서는 저감이 이루어지나, 고온으로 갈수록 변환효율이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 저온영역에서는 PM성분 중 SOF가 DOC내에서 적절히 산화되

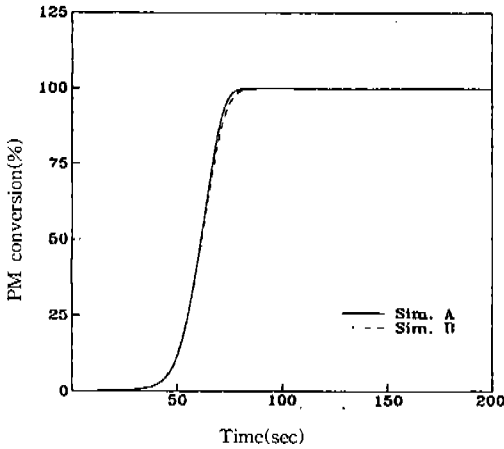


Fig.11 Variations of PM Conversion Efficiency According to Time

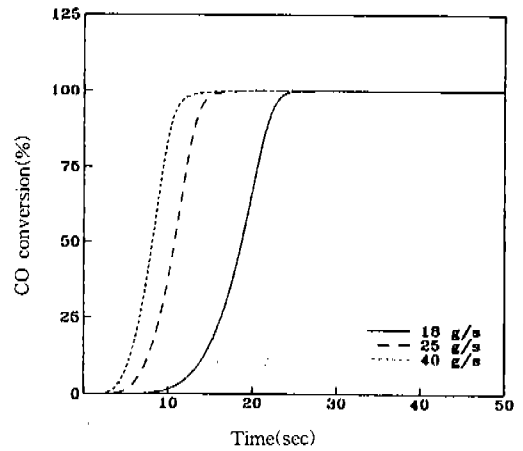


Fig.12 CO Conversion According to Mass Flow Rate at Pt Loading 353g/m^3

었으나, 고온영역에서는 SOF가 응축온도와 떨어져 있어 물리적으로 흡착을 하거나 응축하는 것이 감소하여 결국 SOF의 산화가 감소되어 변환효율을 감소시킨 것으로 생각된다.¹⁴⁾ 여기서, 계산결과와 실험결과의 차이는 계산시 PM의 성분을 탄소입자로 가정하였기 때문이었다. 그러나 실제의 PM 중에는 SOF성분이 많이 차지하며 SOF성분 중에는 미연탄소입자 및 연무(Mist)와 에어로졸(Aerosol)등이 촉매내에서 저온영역에서의 물리적 흡착에 의한 저감이 이루어지며 고온으로 갈수록 탄소입자의 산화가 이루어진다. 따라서 보다 정확한 PM산화에 대한 역학적 정보가 필요하며 연구되어야 할 것이다. Fig. 11의 과도특성에 관한 계산결과는 가스상물질과 거의 같으나 보다 시간지연이 있는 것으로 나타났다.

4.3 질량유량의 변화에 대한 결과

Fig.12와 13은 배기가스온도를 377°C , 배기가스유속은 일반적인 촉매내의 유속범위인 $7.5\sim 34.0\text{m/s}$ ⁶⁾중 평균값인 15m/s ⁶⁾로 주었을 때의 질량유량의 변화에 따른 CO와 HC의 변환효율에 대한 계산결과로서 온도나 공기과잉률에 따른 발생원리가 유사하기 때문에 거의 유사하게 나타났다. 질량유량이 많을 수록 변환이 빠르게 되는 것으로 나타났으며 이는 가스상물질인

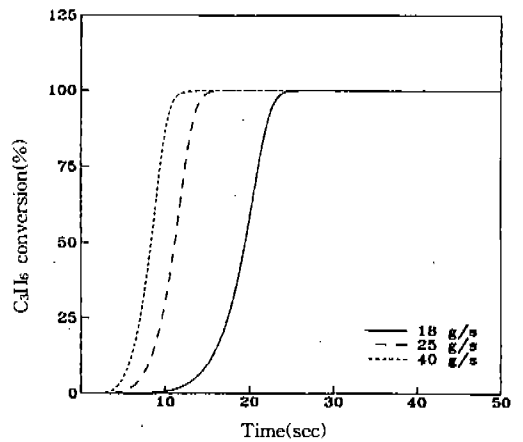


Fig.13 C_3H_6 Conversion According to Mass Flow Rate at Pt Loading 353g/m^3

CO와 HC의 산화될 수 있는 단위시간당 배출량이 많아 산화가 좀더 빠르게 일어나 촉매의 온도상승을 가속화하여 산화조건을 보다 우수하게 한 결과라 하겠다. 실제적으로 질량유량은 배기량과 관계가 있으며 보통 $18\sim 60\text{g/s}$ 의 수치로 한다.⁶⁾

5. 결론

디젤기관에서 배출되는 배출가스를 저감을 위한 DOC장치에 대한 이론 및 수치해석과 실

험을 통하여 촉매특성 및 촉매특성 인자에 미치는 영향 등을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) DOC 입구온도가 각각 약 300°C, 약 250°C 이상에서 CO와 HC가 급격히 산화되는 현상을 보여주었고 이는 가스상물질의 산화가 주로 배출가스온도에 지배적인 것임을 알 수 있었다.
- 2) PM은 약 150에서 300°C사이의 저온영역에서는 저감이 이루어지나, 고온으로 갈수록 변환효율이 감소하는 경향을 나타내었다.
- 3) 촉매 로딩량의 변화에 따른 CO, HC 및 PM의 저감효율은 로딩량이 많은 경우가 빠른 산화반응을 일으켜 배출량 저감에 효과적인 것으로 나타났다. 이는 촉매작용이 더욱 활성화하여 산화가 잘 이루어진 것으로 판단된다.
- 4) 질량유량의 변화에 따른 CO, HC의 변환효율은 질량유량이 증가할수록, 빠른 시간에 저감되는 것을 나타냈다. 이는 동일 시간내에 촉매와 반응할 수 있는 배출가스의 양이 많기 때문에 신속한 온도의 상승으로 인해 산화조건이 양호하게 되었기 때문인 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 (주)理元엔지니어링의 산학연구지원에 의해 연구되었음을 밝히며, 이에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 강호인, "CI기관에서 디젤산화촉매장치에 의한 배출가스 저감에 관한 연구", 국민대학교 대학원, pp. 1~4, 1995.
2. Hunter G, Scholl J, Hibbler F, Bagley S, Leddy D, Abata D and Johnson J., "The Effect of an Oxidation Catalyst on the Physical, Chemical, and Biological Cha-

racter of Diesel Particulate Emission", SAE 810263, 1981.

3. G. Andrews, I. Iheozor-Ejiofor and S. Pang, "Diesel Particulate SOF Emissions Reduction Using an Exhaust Catalyst", SAE 870251, 1987.
4. Douglas J. Ball and Robert G. Stack, "Catalyst Considerations for Diesel Converters", SAE 902110, 1990.
5. Dario Cundarl and Marco Nuti, "A One-Dimensional Model for Monolithic Converter: Numerical Simulation and Experimental Verification of Conversion and Thermal Responses for Two-Stroke Engine", SAE 910668, pp. 45~46, 1991.
6. Bissett et al., "A Three-Dimensional Model for the Analysis of Transient Thermal and Conversion Characteristics of Monolithic Catalytic Converters", SAE 880282, 1988.
7. Oh, S. H. and Cavendish, J. C., "Transients of Monolithic Catalytic Converters: Response to a Step Change in Freestream Temperature as Related to Controlling Automobile Emissions", Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 21, pp. 29, 1982.
8. Oh, S. H. and Cavendish, J. C., "Design Aspects of Poison-Resistant Automobile Monolithic Catalysts", Ind. Eng. Chem. Prod. Dev., 22, pp. 509, 1983.
9. Heck, R. H., Wei, J., and Katzer, J. R., "Mathematical Modeling of Automotive Catalysts", AIChE J. 22, pp. 477, 1976.
10. Young, L. C. and Finlayson, B. A., "Mathematical Models of the Monolith Catalytic Converter: Part I. Development of Model and Application of Orthogonal Collocation", AIChE J., 22, pp 331, 1976.
11. David K. S. Chen and Carlee E. Cole, "Numerical Simulation and Experimental Verification of Conversion and Thermal Responses for a Pt/Rh Metal Monolithic

- Converter", SAE 890798, 1989.
12. Hoffmann et al., "Kinetic Study and Modeling of Diesel Particulate Filter Regeneration", Chemical Engineering Science, Vol. 46, No. 4, pp. 1101~1113, 1991.
 13. Shah, R. K. and London, A. L., "Laminar Flow Forced Convection Heat Transfer and Flow Friction in Straight and Curved Ducts-A Summary of Analytical Solutions", Technical Report No. 75, Stanford University, 1971.
 14. Fukano, I., "A Diesel oxidation Catalyst for Exhaust Emissions Reduction", SAE 932958, 1993.