

## 이중관 배기매니폴드의 HC저감효과 및 열특성에 관한 연구

### A Study on the Reduction of HC and Heat Characteristics of the Dual Pipe Exhaust Manifold

박경석\*, 허형석\*\*  
Kyoungsuk Park, Hyungseok Heo

#### ABSTRACT

During cold-start period, the reduction of exhaust emissions is a challenging task. To decrease harmful gaseous substances such as HC, it is necessary to realize a fast catalyst warm-up. In this study, the performance of dual pipe exhaust system have been carried out through different test mode. From measurement of gas temperature and HC concentration, the following conclusions were derived ; 1) Compared with single pipe, dual pipe exhaust system remarkably increase temperature of exhaust gas going through M.C.C(Main Catalytic Converter). 2) W.C.C.(Warm-up Catalytic Converter) also decreases HC emission. To reduce HC emission, it is helpful to use W.C.C. as well as dual pipe exhaust system. 3) Using finite element method, it is shown that inner parts have much higher distribution of temperature than outer parts.

주요기술용어 : Dual pipe exhaust system(이중관 배기장치), HC(탄화수소), Cold start(냉시동), M.C.C.(주촉매), W.C.C.(보조촉매), Finite element method(유한요소법)

#### 1. 서론

미국 및 유럽의 모든 선진국들은 현재 전 세계가 겪고있는 자동차 배기가스에 의한 심각한 대기 공해에 대해 엄격한 규제조치를 시행하고 있다. 강화된 미국 및 선진국의 자동차 배기 규제에서, 특히 그 허용치를 대폭 낮게 해야 하는 대상 유해 배출가스는 미연 탄화수소(UHC)를 포괄하는 비메탄계 유기성가스(NMOG=Non-Methane Organic Gases)이다. 지금까지 연구 발표된 문헌에 의하면 현재 기존 차량들에 대한 시험자료

를 토대로 할 때 현행의 미국의 FTP(Federal Test Procedure) 75 기준에 근거하여 자동차 배출가스 시험을 수행한 결과 엔진 시동 후 1,877초 중 시동 직후의 초기 100~200초 사이에 전체 HC 배출량의 70~80%가 배출된다는 결과를 보여주고 있다. 따라서 엔진 시동 직후의 초기 HC를 저감하기 위해서는 촉매가 활성화되기까지의 Light-off 시간을 단축하는 것이 관건임을 명백히 알 수 있다.<sup>1)</sup>

현재 기존 엔진에 대한 배출가스의 저감을 위한 방법으로는 첫째로 Light-off 시간을 단축하는 수단으로서 엔진 배기밸브에서 배기가스가 유출하여 촉매 장치에 도달하는 경로에서 촉매

\* 회원, 경희대학교 기계공학과

\*\* 회원, 경희대학교 대학원

장치 자체까지를 포함한 배기 통로 전체구성 부품의 열용량을 최소화하고 가급적 낮은 온도에서도 활성화되는 촉매물질을 채택하는 수동적 방안이 강구되고 있고,<sup>2,3)</sup> 둘째로는 엔진 배기열 이외의 추가적인 열원을 동원하는 능동적 방안,<sup>4,5)</sup>을 엔진에 장착하는 수단으로 크게 두 개로 대별할 수 있다.

본 연구에서는 전자의 수동적 방안의 하나로써 배기 매니폴드와 후부를 종전과 달리 파이프를 이중관으로 제작하여 최적의 에어 단열값을 가지도록 형상 및 구조 설계를 한 이중 배기 시스템으로 설계 제작하여 배기 파이프의 열용량을 줄이고, 동시에 배기가스의 열전달을 통한 온도 저감을 막게 하도록 하여 조기 촉매 활성화를 이룩하여 배기가스 규제를 만족시키기 위한 후처리 장치를 개발하고자 한 것이다. 더불어 여기에 주촉매인 M.C.C.(Main Catalytic Converter)의 상류에 소형의 보조촉매인 W.C.C.(Warmup Catalytic Converter)를 추가하여 비교하였다. 또한, 실제 설계 및 양산시 나타날 수 있는 문제점을 파악하기 위하여, 이중관 배기장치의 형상에 따른 각 부위의 온도분포에 대한 해석을 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

본 실험에서는 현재 양산되고 있는 4기통

Table 1 Engine specifications

	Specification
Engine type	Water cooled 4cycle 4 cylinder, SOHC
Bore×Stroke	71×71.4 (mm)
Displacement	1,300 (cc)
Maximum torque	13.5/3,000 (kgm/rpm)
Maximum output	73/5,500 (ps/rpm)
Compression ratio	9.7

1,300cc급 엔진에 적용하였으며, 제원은 Table 1에 나타내었다. 또한 이중관 재질에 따라 구별되는 3종류의 배기 매니폴드 및 W.C.C. 장착 유·무에 따라 평가하여 기존 배기장치의 성능과 비교 수행하였다. 본 연구에 사용된 주요 실험 장치는 엔진, 온도 측정장치 및 배기가스(HC) 농도 측정장치로 구성되었다. 실험장치 개략도 및 이중배기관 성능시험 엔진장착 상태를 각각 Fig. 1, Fig. 2에 나타내었다.

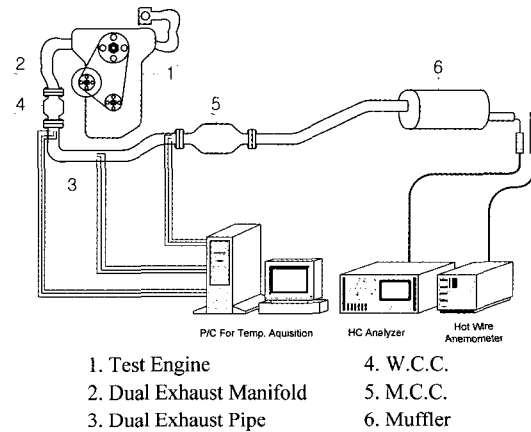


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

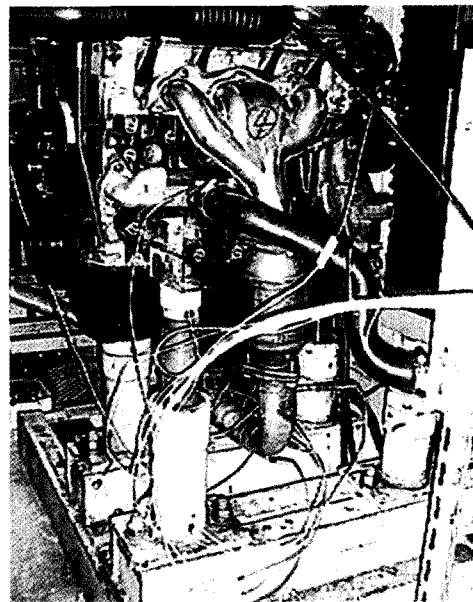


Fig. 2 Photograph of experimental apparatus

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 온도측정

본 실험에 사용한 온도측정 시스템은 16 채널을 동시에 샘플링할 수 있는 UPC 608 A/D 변환기를 사용하였으며, 온도센서로는 배기장치 시스템의 온도를 측정하기 위하여  $\phi 1.6\text{mm}$  및  $\phi 3.2\text{mm}$ 의 K-형(CA) 열전대를 사용하였다.

측정부위는 배기 메니폴드 직후(W.C.C 장착 시에는 W.C.C 직후), 배기관 중앙부 및 말단부측, M.C.C 앞쪽으로 선정하였으며, 각 위치에서의 배기가스 온도, 내부 파이프 표면온도 및 외부 파이프 표면온도를 측정하였다.

### 2.2.2 배기가스(HC) 측정

배기가스 측정은 HC 배출량이 엔진시동 후 1,800초 중 시동 직후의 초기 100~200초 사이에서 배출량의 70~80%를 차지하며, 이중 배기관 개발에 관한 본 연구에서 냉시동 초기의 배기가스 저감대책의 주목적인 HC만을 측정하였다. 따라서 HC 측정은 시간 변화율에 따른 HC 농도를 측정하여 각 실험조건에서 그 추이를 비교하도록 하였다. 측정장비는 비분산 적외선법(NDIR : Non Despersive Infrared anlysis Method) 방식의 가스 분석기를 사용하였다.

### 2.2.3 실험조건

본 연구에서 사용된 이중배기관의 평가시험에는 Table 2에서와 같이 한가지 재질로 되어 있는 Pipe에 대하여 여러종류의 메니폴드를 연결하여 시험하였다. 또한, Table 4와 같은 조건으로 각각의 메니폴드에 대하여 W.C.C.의 유·무에

Table 2 Material of dual exhaust pipe & manifold

		Inner + Outer
Mani-fold	Cell #1	sus 304 + sus 304
	Cell #2	sus 304 + sus 409
	Cell #3	sus 409 + sus 409
Pipe		sus 304 + sus 304

Table 3 A Standard of dual exhaust pipe & manifold

	Dual pipe		Dual manifold	
	Inner	Outer	Inner	Outer
Outside diameter (mm)	48.6	60.5	-	-
Thickness (t)	2	2	1.2	1.5
Air gap (mm)	3.9		3.5	

Table 4 Experiment items

No	Manifold	Pipe	W.C.C.
1	Cast	Single	×
2	Cell #1	Dual	×
3	Cell #1	Dual	○
4	Cell #2	Dual	×
5	Cell #2	Dual	○
6	Cell #3	Dual	×
7	Cell #3	Dual	○
Test	Temperature, HC		

따라서 온도, HC를 측정하였다.

냉시동시 HC 저감을 위한 이중 배기장치의 성능 평가를 위해 실험실내 온도는 항상 20~21°C로 유지시켰으며, 엔진조건은 공회전(760±50 rpm) 조건하에서 실시하였고, 일회의 실험이 끝난 후에는 엔진 및 배기장치를 충분히 Cooling시켜 다음 실험을 수행하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 이중배기관 온도변화

Fig. 3~Fig. 10은 이중 배기장치와 기존 단일 배기장치에 대한 온도변화 추이를 도식화한 것이다. 온도변화 경향은 거의 동일하지만, 단일관과 이중관 그리고 W.C.C.의 장착 유무에 따라 약간의 변화를 볼 수 있었다. 특히 W.C.C.를 장착했을 경우에는 초기 100초 이내에서 온도 증가

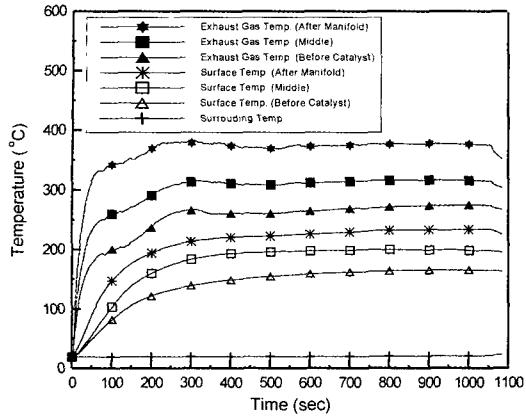


Fig. 3 Temp. profile of exhaust single manifold and single pipe, without W.C.C.

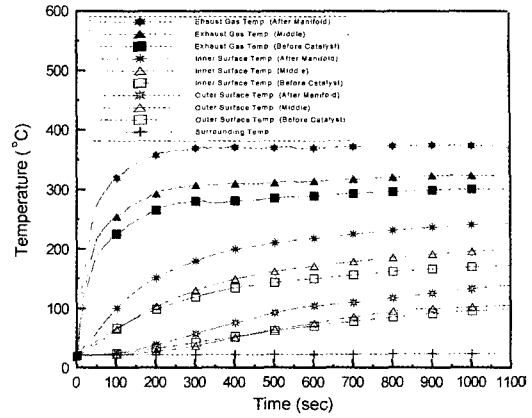


Fig. 6 Temp. profile of exhaust cell #2 and dual pipe without W.C.C.

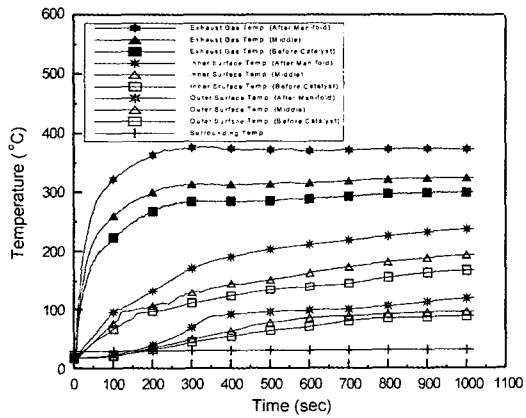


Fig. 4 Temp. profile of exhaust cell #1 and dual pipe, without W.C.C.

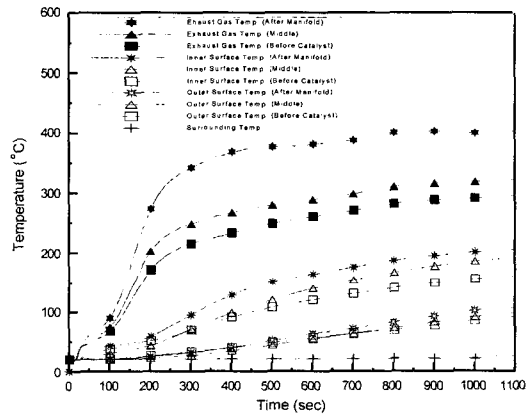


Fig. 7 Temp. profile of exhaust cell #2 and dual pipe with W.C.C.

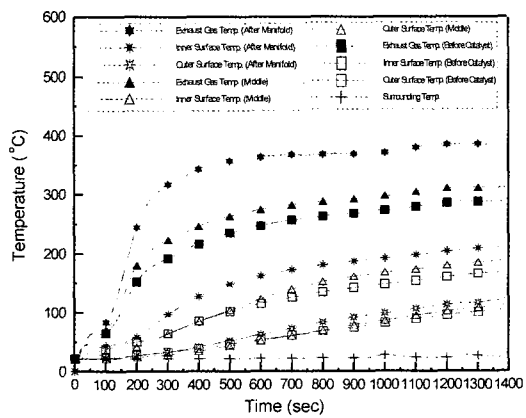


Fig. 5 Temp. profile of exhaust cell #1 and dual pipe, with W.C.C.

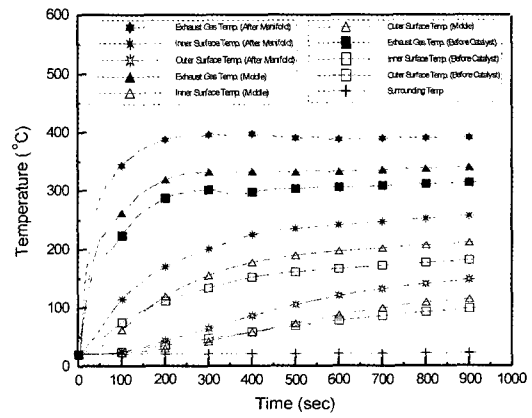


Fig. 8 Temp. profile of exhaust Cell #3 and dual pipe without W.C.C.

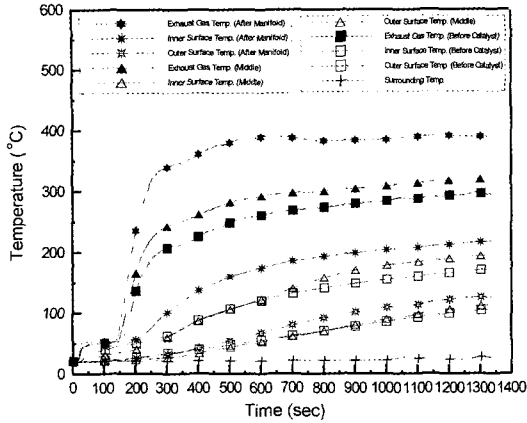


Fig. 9 Temp. profile of exhaust cell #3 and dual pipe, with W.C.C.

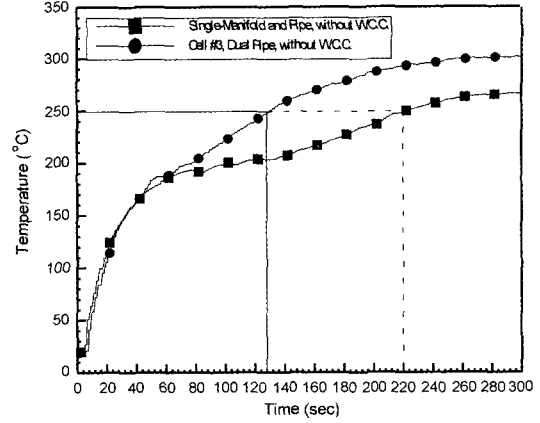


Fig. 11 Exhaust gas temp. profile before the catalyst converter

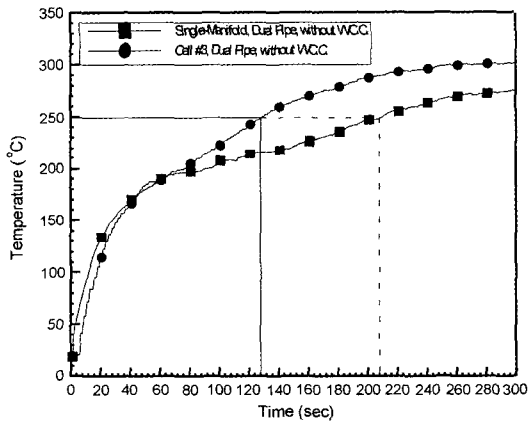


Fig. 10 Exhaust gas temp. profile before the catalyst converter

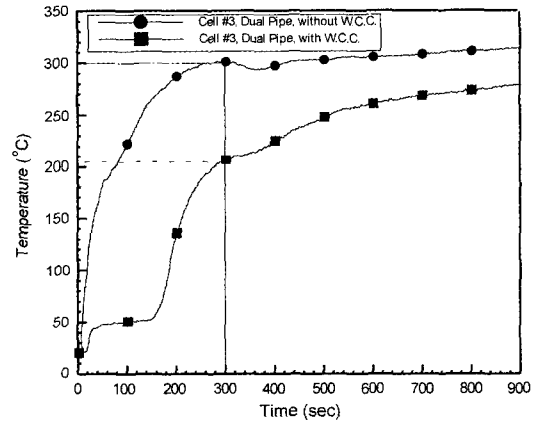


Fig. 12 Exhaust gas temp. profile before the catalyst converter

율이 완만한 곡선을 보이는데, 이는 배기가스가 W.C.C.를 거치는 동안 많은 열손실이 있음을 보여준다.

Fig. 10은 동일한 이중관에 대한 주물 메니폴드와 이중 메니폴드(Cell #3)를 장착한 경우를 비교 도식화한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 동일한 배기가스 온도 250°C에 도달하는 시간을 보았을 때 이중 메니폴드(Cell #3)가 주물 메니폴드에 비해 80초 정도 단축되었음을 알 수 있었다. 또한 시동 직후 130초~200초 사이에서 온도 차이가 현격하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 기존의 배기장치 시스템과 이중 메

니폴드(Cell #3)에 이중관을 장착한 경우를 비교한 것이다. 동일한 배기가스 온도 250°C를 기준으로 보았을 때 92초 정도의 차이를 보이면서 이중 배기장치의 현격한 보온효과 증가를 보여주고 있다. 이상의 결과에서 이중 메니폴드와 이중 배기관을 장착함으로써 그 보온효과는 확연히 나아졌음을 알 수 있다.

Fig. 12는 W.C.C. 유무에 따른 비교를 위해 도식화한 그림이다. 앞서서도 설명했듯이 W.C.C.를 장착한 경우에는 M.C.C.로 들어가는 배기가스 온도는 많이 떨어지지만 배기가스 중의 HC 농도는 현격히 감소한다.

### 3.2 배기가스(HC) 농도변화

Fig. 13은 이중 매니폴드(Cell #3)에 이중관, 단일관 및 W.C.C. 장착 유무에 따른 시간 경과에 의한 배기가스(HC) 농도변화 추이를 나타내었다. 이중관을 장착했을 경우가 시동 초기에 발생하는 HC가 현격히 감소하였음을 보여주고 있다. 촉매장치로써 W.C.C.를 추가 장착한 경우 시동 100초 이후에는 HC가 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다. W.C.C.를 장착하면 M.C.C.로 들어가는 배기가스의 활성화 온도는 떨어지지만 W.C.C.에 의해 미리 HC가 환원되므로 대기로 나가는 HC는 현격히 줄어들게 된다.

Fig. 14은 기존 배기장치, 즉 주물 매니폴드와

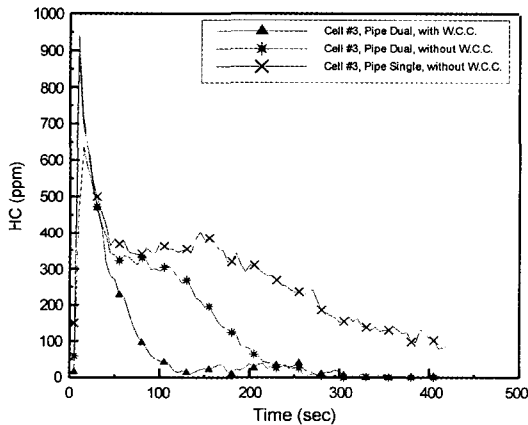


Fig. 13 The variation of HC concentration at the cold start

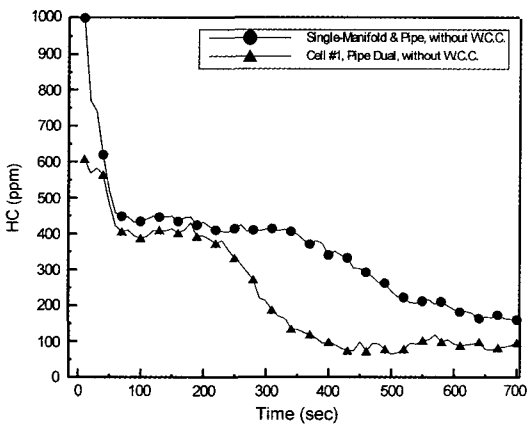


Fig. 14 The variation of HC concentration at the cold start

단일관을 장착한 경우와 이중 매니폴드(Cell #1)와 이중관을 장착한 경우의 HC 생성 농도를 비교한 것이다. 그림에서 보여주듯이 시동후 500초 이내까지 HC 생성은 이중 배기장치를 장착한 경우에 현격히 감소하고 있음을 보여주고 있다.

### 3.3 3차원 유한요소해석을 통한 온도분포

앞선 실험에 의해 구해진 온도데이터를 경계 조건으로 하여 3차원 유한요소 해석을 통하여 이중관 배기장치의 열응력 해석을 수행하였다. 열응력 해석은 상용 코드인 Ansys를 이용하여 수행하였다. 해석시 W.C.C.를 제외한 매니폴드와 파이프에 대해서 열응력 해석을 수행하였다.

Fig. 15는 매니폴드중에서 Inner측에 해당하는 부분의 온도분포이고, Fig. 16은 Outer측의 온도분포이다. 전체적인 온도분포를 비교하면 접촉면을 제외한 나머지 부분에서 에어갭에 의한 보온효과로 Inner측과 Outer측의 온도차는 현격히 나타내고 있다.

Fig. 17은 이중배기관 파이프의 Inner측 단면의 온도분포를, Fig. 18은 Outer측의 온도분포를 나타낸 것이다. 매니폴드와 마찬가지로 접촉면 외에 이중관 부분에서 Inner 파이프가 Outer 파이프보다 높은 온도에서의 온도분포를 나타낸다.

Fig. 19~Fig. 21은 각각 배기 매니폴드의 Inner측 및 Outer측과 배기 파이프의 열응력 분포를 나타낸다. Inner측 및 Outer측 모두 관 양쪽 단부 플랜지 접촉면과 내외관 접합부위 주위에서 가장 높은 열응력을 나타내고 있다. 또한 굴곡이 심해지는 경로면에서도 높은 열응력을 나타냈다 있음을 알 수 있다. 배기 파이프의 경우에는 배기 매니폴드와의 접합부와 촉매 컨버터의 접합부에서 높은 열응력 분포를 나타내고 있다.

Fig. 22~Fig. 24는 각각 배기 매니폴드의 Inner측 및 Outer측과 배기 파이프의 열변형 분포를 나타낸다. Inner측 배기 매니폴드의 경우 좌측단에서부터 첫 번째 배기 포트의 굴곡부에서 최대 변형량을 나타내었다. 또한 Outer측 배기 매니

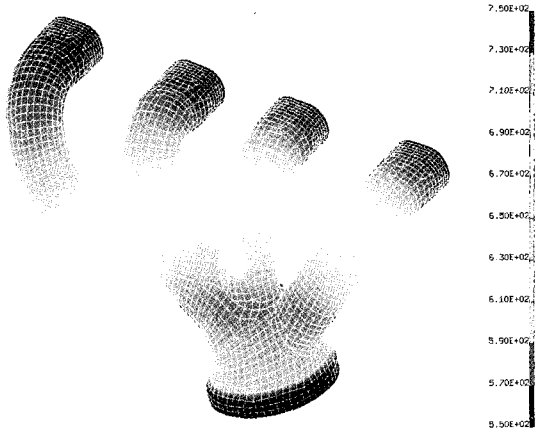


Fig. 15 Temperature distribution of inner manifold

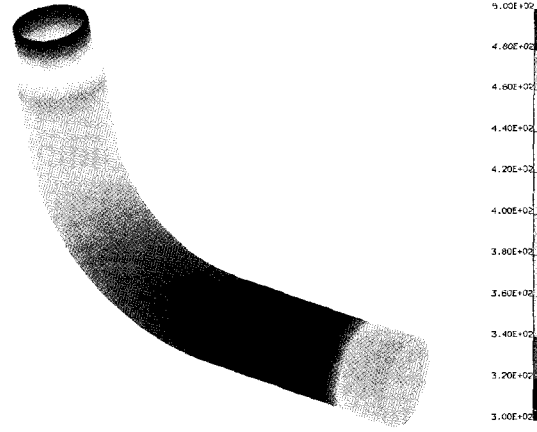


Fig. 18 Temperature distribution of outer pipe

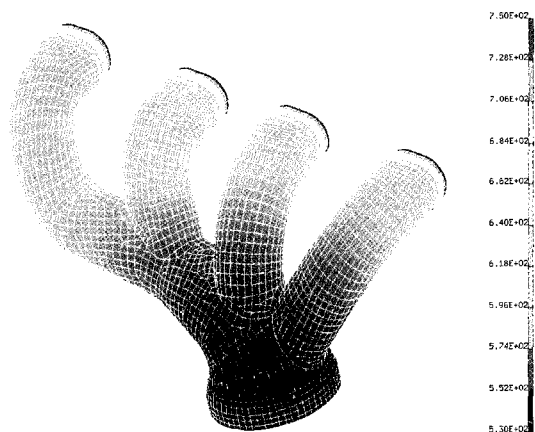


Fig. 16 Temperature distribution of outer manifold

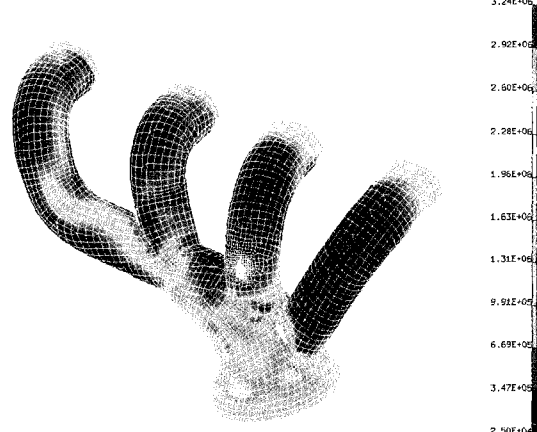


Fig. 19 Thermal stress of inner manifold



Fig. 17 Temperature distribution of inner pipe

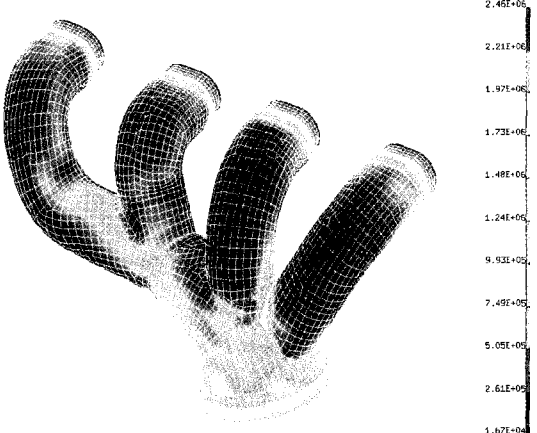


Fig. 20 Thermal stress of outer manifold

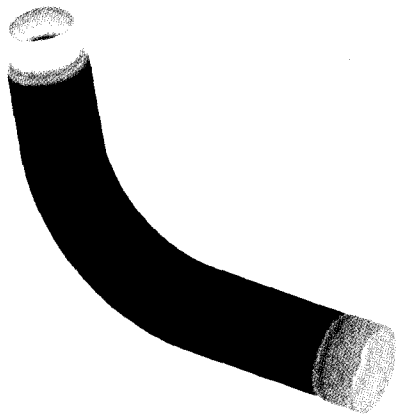


Fig. 21 Thermal stress of outer pipe

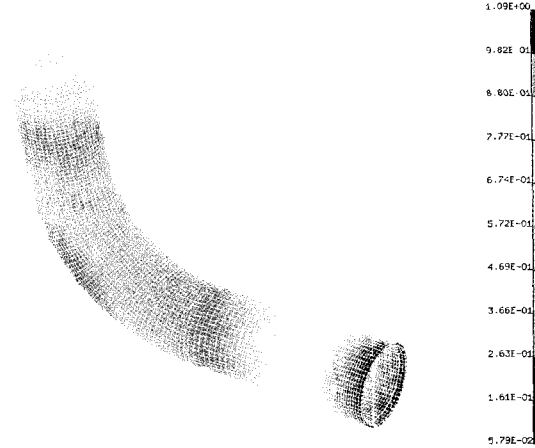
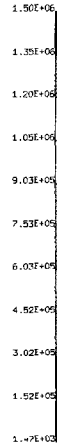


Fig. 24 Deformation of outer pipe

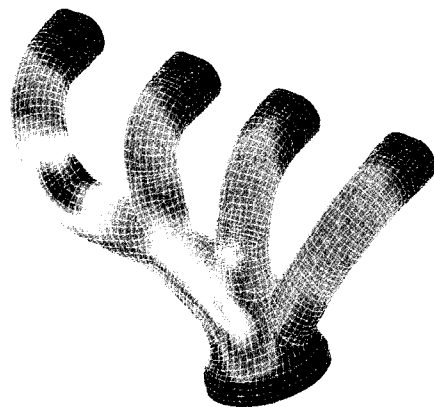
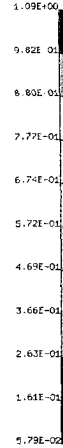
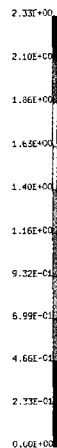


Fig. 22 Deformation of inner manifold



폴드의 경우 2번 및 3번 배기 포트의 합류부에서 최대 변형량을 보여주고 있다. 배기 파이프의 경우에는 양쪽 접착면을 이루는 플랜지면에서의 변형이 가장 크게 나타났다.

#### 4. 결론

1) 단일관 매니폴드와 비교해서 이중관 매니폴드를 사용했을 때에 M.C.C.로 들어가는 배기 가스의 온도가 현격히 증가하였고, 이에 따라 배기가스(HC)도 시동직후에 현격히 감소함을 알 수 있었다.

2) 이중 배기장치에서 이중관에 의한 효과보다는 이중 매니폴드에 의한 효과가 더 좋았다.

3) W.C.C.의 장착 유무에 따라서는 HC 증감 현상이 뚜렷이 나타났다. 시동직후의 HC 저감의 최대 효과를 보기 위해서는 이중 배기장치와 더불어 W.C.C.를 장착하는 것이 필연적이라고 사료된다.

4) 열응력 해석 결과를 보면 이중 매니폴드 및 이중 배기 파이프의 외측보다는 내측 관에서의 온도가 현격히 높게 나타났다. 이것은 이중관 제작 목적인 촉매의 초기 활성화 온도 도달을 위한 배기관 주위로의 열방출을 줄이기 위한 보온 효과에 의한 것이다.

5) 이중관 배기장치의 각 플랜지 연결부에서 최대 열응력 분포가 발생하였다. 또한 최대 열변

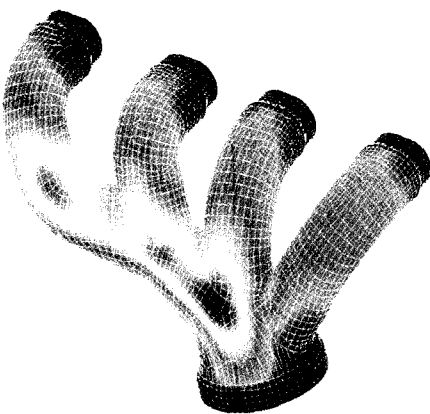
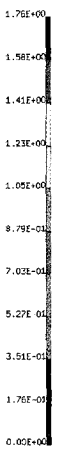


Fig. 23 Deformation of outer manifold





형은 배기 매니폴드의 경우 2번 및 3번 배기 포트의 합류부에서 배기 파이프의 경우에는 양 끝단의 플랜지 연결부에서 나타났다.

## 후 기

본 연구는 통상산업부와 과학기술처에서 시행한 선도기술개발사업(차세대자동차기술)에 의해 대기산업(주)와 자동차부품연구원과의 연구 수행된 내용 중 일부분으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1) P. Langren, M. Theissen, J. Mallog, R. Zielinski,

“Heated Catalytic Converter Competing Technologies to Meet LEV Emission Standards,” SAE 940470, 1994.

2) K. Asano, M. Yoshimura, T. Yasukawa, A. Takada, Onishi, “Development of Metal Supported Catalytic Manifold,” Toyota Engineering Technology, Vol.40, No.1.

3) Socha, S. Louis, D. F. Thompson, P. A. Weber, “Optimization of Extruded Electrically Heated Catalysts,” SAE 940468, 1994.

4) Mizuno, F. Abe, S. Hashimoto, T. Kondo, “A Structurally Durable EHC for the Exhaust Manifold,” SAE 940466, 1994.

5) Kubsh, E. Joseph, P. W. Lissiuk, I. Gottberg, “Electrically Heated Catalysts and Reformulated Gasolines,” SAE 930385, 1993.