대한기계학회논문집 B권, 제27권 제7호, pp. 837~844, 2003

배기매니폴드 직접부착 촉매장치의 배기 유동특성

박 영 철* · 이 창 식†
(2002년 8월 9일 접수, 2003년 4월 9일 심사완료)

Exhaust Flow Characteristics of Catalytic Converter Adapted to Exhaust Manifold

Young Cheol Park and Chang Sik Lee

Key Words: CCC(Close Coupled Catalyst), Exhaust Manifold(배기다기관), Uniformity Index(균일도 지수)

Abstract

The exhaust gas flow in the inlet collector of close coupled catalyst(CCC) adapted to the exhaust manifold is very complex flow because the exhaust gas is a pulsation flow with several port flow. The distribution of gas flow and temperature in inlet collector effect to the efficiency of catalytic converter. In this study, it measures temperatures on several point in inlet collector with two kind of inlet collector volume. And it analyzes with CFD to exhaust manifold and close coupled catalyst for temperature and flow. Comparing to measured and analyzed result, it find increasing of collector volume effects to catalyst temperature distribution and uniformity of catalytic converter

1. 서 론

자동차의 생산과 이용 대수의 증가는 자동차에서 배출되고 있는 배출가스의 양을 증가시켜 환경을 오염시키는 중요한 환경 오염원이 되고 있다. 이에 따라 세계 각국에서는 환경오염을 저감하기 위하여 자동차배출가스의 규제를 더욱 강화하고 있다.

자동차로부터 나오는 유해 배출가스를 저감시키기 위하여 사용하는 후처리 장치로서 촉매를 사용하여 왔으나 촉매의 특성상 빠른 Light Off 특성[1]이 요구되며 이를 위하여 촉매 장치에 특수한 장치 등을 사용하여 왔으나 부가적인 장치 등의 문제로 인하여 적용에 상당한 제약이 따르는 문제점이 제기되어 왔다. 최근 촉매의 내열성 등이 개선됨에 따라 가장 간단하게 Light Off 특성을 개선하는 방법으로 촉매의 위치를 전진시킨 CCC(Close Coupled Catalyst)를 많이 사용하고 있다. CCC 중에서도 배기관 가운데에 연결하는 것과 배기 매니폴드에 직접 부착하는 방법이 있다.

배기관 가운데에 연결하는 CCC는 배기 매니폴드에서 나오는 유동이 배기관에서 하나의 유동으로 되어 배기 매니폴드의 영향을 적게 받으나 엔진으로부터의 거리가 상대적으로 멀어져 엔진시동시 CCC입구에서 배기가스의 온도가 상대적으로 늦게 상승하여 배기 매니폴드에 직접 부착하는 방법에 비하여 떨어지나 온도에 의한 열화[2]에 유리하다. 그리고 배기 매니폴드에 직접 부착하는 방법은 촉매의 Light Off 특성에서는 유리하나 열에 의한 열화에 불리하다. 그러나 최근에는 담체의 내열성 향상[3]과 촉매 귀금속의 내열성, 내피독성 향상[4] 등으로 인하여 많이 사용하고

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계공학부
E-mail : cslee@hanyang.ac.kr
TEL : (02)2290-0427 FAX : (02)2281-5286
* 신성대학 기계·자동차계열
E-mail : park0505@chollian.net

있다.

배기 매니폴드 부착 촉매장치의 경우 각각의 매니폴드로부터 유입되는 배기가스는 맥동류[5,6]를 나타내며 이러한 맥동류는 촉매 입구면에서 확산되므로 각 크랭크각에 따라 급격한 유속의 변화에 의하여 유동이 부분적으로 편중되는 현상이 발생된다. 따라서 각 포트에서 나오는 유동사이의 간섭 및 부압이 형성되는 구간에서 역류 현상과 같은 복잡한 유동이 수반되어 촉매 입구에서 유동이 불균일하게 나타난다. 그러나 촉매 입구 유동의 균일도(uniformity)[7]는 촉매의 효율과 관계되며 균일도가 좋으면 촉매의 국지적인 열화를 감소시켜 촉매의 내구성도 향상시키는 결과를 가져온다.

본 연구는 배기 매니폴드 직접부착 촉매장치에서 매니폴드의 형상[8]과 촉매 유입구 체적의 변화가 직접부착 촉매장치의 배출가스 유동의 균일도와 속도 및 온도 분포 등에 미치는 영향을 여러 가지 부하조건에 대하여 비교하고 촉매 장치의 유동특성을 규명하였다.

본 연구에서는 배기 매니폴드와 촉매장치 내의 거동을 해석하기 위하여 FIRE Code를 사용하여 유동과 온도 분포를 해석하였으며 각 부하조건에서 온도를 측정하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 엔진

본 연구에 사용한 엔진은 배기매니폴드 직접부착 촉매장치에서 엔진의 폭발로 인한 배기가스의 포트 유동이 촉매장치의 입구에서 같이 모아질 수 있는 4기통 엔진을 선택하였으며, 주요한 엔진의 제원은 Table 1과 같다.

2.2 실험장치

촉매장치 입구 유입구 내의 온도를 측정하기 위하여 13개소에 열전대를 설치하였으며, 엔진의 부하를 변경시킨 조건으로 제어하기 위하여 엔진 동력계(EC 75kW)에 엔진을 연결하였다. Fig. 1은 본 실험에 사용한 실험장치를 나타낸 것이다.

온도 측정을 위한 열전대 설치 위치는 촉매 윗면에서 배기포트 방향으로 10㎜에 위치하도록 하였으며, 또한 촉매 반경을 4등분하여 열전대 설치가 불가능한 촉매 가장자리를 제외하고, 엔진 방향과 엔진의 크랭크축 방향으로 중심을 기준으로 각각 3개씩 설치하여 중심과 함께 13개를 설치하였다. 각각 위치 및 명칭을 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1 Specification of test engine

Engine type	In-Line DOHC
Piston displacement	1998㎤
Number of cylinder	4
Compression ratio	9
Bore/Stroke	85/88 ㎜
Valve timing	IVO : BTDC18 IBC : ABDC54 EVO : BBDC47 EVC : ATDC17
Firing order	1-3-4-2
Exhaust port	4-2-1
Collector volume	0.25/0.42L

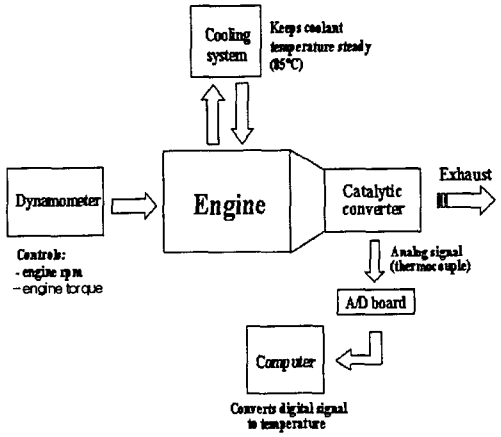


Fig. 1 Experimental equipment

또한 사용한 촉매장치는 촉매내부의 발열 반응에 의한 온도상승의 영향을 줄이기 위하여 촉매 내부에 촉매 귀금속을 담지하지 않은 담체만으로 제작하였다.

2.3 실험방법

엔진으로 실험을 하는데 있어서 엔진의 부하조건은 엔진의 상태에 따라 많은 영향을 받으므로 엔진의 부하가 균일하게 작용되어 배출가스의

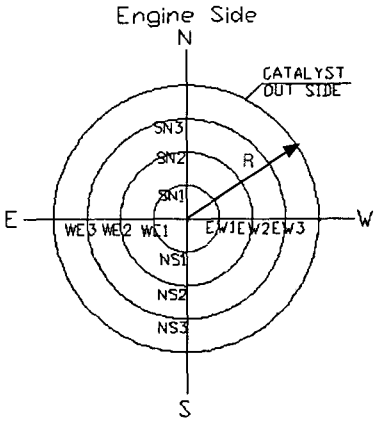
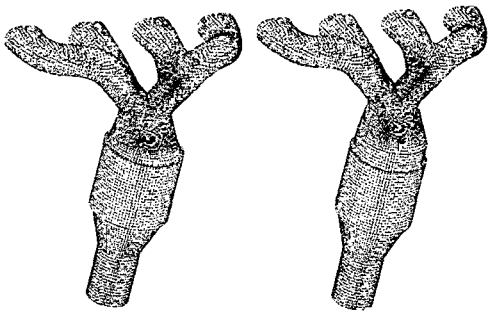


Fig. 2 Measurement position of catalytic converter



(a) Base model (b) Large collector model

Fig. 3 Computational grids for exhaust manifold and catalytic converter

온도와 유량이 일정하게 유지될 수 있도록 하기 위하여 엔진의 냉각수 온도를 85℃로 일정하게 유지시켰다.

촉매장치의 유동 특성인자에는 가스의 온도, 압력, 유량 등을 들 수 있으나 촉매장치 내의 구조가 매우 복합적이고 유량 및 압력 측정의 어려움이 있어서 온도만을 측정하고 유량, 압력 등은 해석결과를 사용하였다. 그러므로 해석결과도 다소 정밀한 측정결과와는 다소 오차가 있을 것으로 사료된다.

담체 내부의 축열에 의한 온도 상승을 줄이기 위하여 측정 순서는 1000rpm에서 시작하여 무부하, 1/4부하, 1/2부하, 3/4부하, 전부하 순으로, 또한 1000rpm에서 시작하여 500rpm 간격으로 3000 rpm까지 엔진의 회전수를 상승시키면서 시험하였으며, 열전대의 온도가 일정하게 유지된 후에 측정을 시작하였다.

3. 수치해석

3.1 수치해석모델

Pro-Engineer로서 필요로 하는 3차원 형상을 만든 다음, 이를 ICEM을 이용하여 배기포트에서의 mesh 생성을 쉽게 하기 위하여 Template Mesh를 생성한 후 수치해석 프로그램인 FIRE의 FAME를 사용하여 포트의 3차원 모델을 완성하였으며, 또한 포트 모델에 맞추어 촉매 부위의 3차원 모델을 다시 제작하였으며 Fig.3과 같다.

3.2 해석 조건

배기포트로 배출되는 배기가스는 엔진의 크랭크각에 따라 배출되는 온도 및 유량이 변화되는 맥동 흐름으로 나타나므로 촉매 입구의 유동변화를 해석하기 위하여 배기포트로 유입되는 배기가스의 크랭크각에 따른 유량과 온도를 경계 조건으로 입력하여야 정확한 해석이 가능하다. 따라서 흡입되는 배기가스의 조건은 엔진 시뮬레이션 프로그램인 Boost를 사용하여 4개의 포트입구의 유량과 온도를 해석하여 사용하였다.

이때 Boost에서 해석으로부터 얻은 유량, 온도, 압력 등을 구하여 이를 배기 매니폴드 입출구 조건으로 사용하였다. 그러나 Boost에서 해석하여 나온 결과는 1차원적인데 반하여 해석모델은 3차원이므로[8] 실린더 헤드의 배기포트 구간의 해석결과는 관로 형상에 따른 유동의 변화를 반영하지 못하고 있으나 타 문헌의 결과를 참고할 때 해석결과는 유용한 해석치를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

나머지 포트, 촉매 및 배기관 표면의 경계조건은 실험시 측정한 표면의 온도를 몇 개의 영역으로 나누어 해석을 위한 입력 조건으로 사용하였으며, 이로서 경계조건에 따른 온도의 영향을 최소화하였다.

3.3 유동의 균일성

촉매 내부의 배기가스 유동의 균일성을 나타내는 값으로서 Welten 등에 의하여 제안된 균일도 지수(Uniformity Index)[5]가 사용되어 왔다. 본 연구에서는 촉매 입구로부터 30㎜ 내부에서 균일도 지수를 계산하였다.

평균속도, $\overline{w}$

$$\overline{w} = \frac{\sum w_i}{n}$$

국소 불균일도 지수, ω_i

$$\omega_i = \frac{\sqrt{(w_i - \overline{w})^2}}{\overline{w}}$$

불균일도 지수, ω

$$\omega = \frac{\sum \omega_i}{n}$$

균일도 지수, γ

$$\gamma = 1 - \frac{\omega}{2}$$

4. 결과 및 고찰

4.1 실험결과 및 고찰

4.1.1 온도 분포

일반적으로 많이 사용되는 운전영역에서 촉매변환기 유입구 체적 변화의 영향을 비교하기 위하여 엔진 회전속도 2000rpm일 경우 부하 50%와 무부하의 2가지에 대하여 해석과 실험을 실시하였다.

Fig. 4는 수정을 가하지 않은 기본 매니폴드와 촉매장치를 갖는 기본 모델의 NS방향 각 측정위치에 따른 온도 분포를 나타낸 것이다. 또한 Fig. 5는 동일한 조건에서 측정위치 EW 방향의 측정결과를 나타낸 것이다.

이들 선도에서 보는 바와 같이 NS 방향에서 2000rpm 무부하 조건에서의 해석결과는 실험결과와 잘 일치하는 결과를 얻었다. 그러나 50%부하의 경우는 엔진 바깥쪽 가장자리인 NS3의 경우 해석결과가 실험치보다 높게 나타났다. 이러한 경향은 NS쪽은 촉매변환기 외벽에 접하여 있기 때문에 냉각손실의 영향을 크게 받기 때문인 것으로 사료되며, SN3의 경우에는 벽에 근접하지만 매니폴드 형상이 배기가스가 유동의 주류를 형성하는 부위가 되어 열유동 플럭스가 크기 때문인 것으로 생각된다. 또한 실측치는 전체적으로 온도차이가 적어 완만한 결과를 나타내고 있으나 해석결과는 배기포트와 유입구 표면의 온도 경계조건의 영향으로 유입구 주위 표면 온도분포와 유사한 분포를 나타내고 있다.

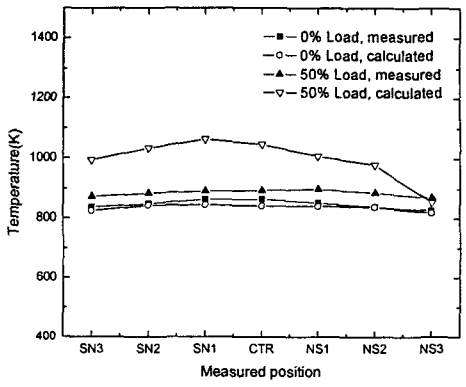


Fig. 4 Comparison of measured with calculated temperature at two Load to NS direction

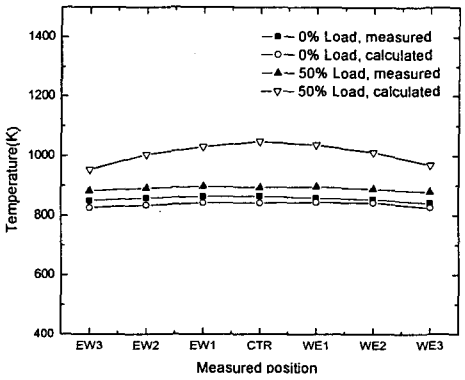


Fig. 5 Comparison of measured with calculated temperature at two load to EW direction

Fig. 5에서 EW 방향의 경우는 무부하 조건에서 해석결과는 다소 차이가 있지만, 전체적으로 측정결과와 비교적 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 그러나 50% 부하의 경우 실험결과와 해석치를 비교하여 보면 전체적인 경향은 유사하나 온도차는 중앙부에서 가장 크고 양단 외측에서는 대체로 동일한 경향의 온도차를 나타내고 있다. 이 경우 온도차는 약 100℃ 정도로 나타났다.

여기서 자료는 제시하지 않았으나 유입구를 증대시킨 모델의 경우도 기본모델과 유사한 결과를 나타내었다.

Fig. 6의 꺽은선 그래프는 1000rpm에서 촉매 입구에서 NS 방향의 온도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 무부하인 경우는 포트의 방향에 따라 촉매 중심에서 1/4 R이 되는 SN1에서의 온도가 가장 높게 나타났으나 부하가 증대함에 따라 배기가스량이 증대하여 속도가 증대되면서 최고 온

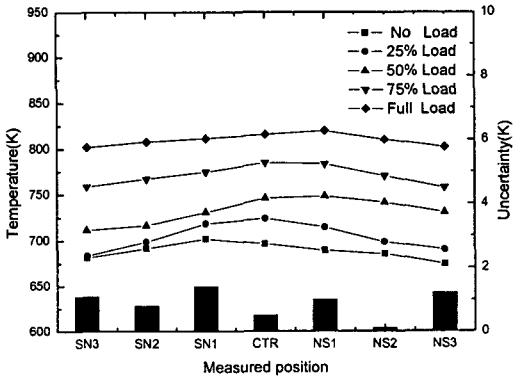


Fig. 6 Temperature distribution at 1000rpm to NS direction at base model

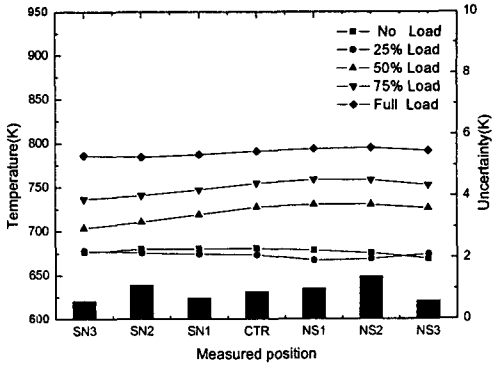


Fig. 7 Temperature distribution at 1000rpm to NS direction at large collector model

도를 나타내는 지점이 NS1쪽으로 이동하는 경향을 나타내고 있다. 이는 포트의 각도가 엔진 바깥방향으로 8.25° 경사져 있으므로 배기가스량이 증대함에 따른 유속의 상승으로, 촉매에 걸리는 배압이 증대됨에 따라 유동의 중심이 엔진 바깥방향으로 이동되고 있음을 나타내고 있다.

또한 저부하 영역에서 부하간 온도 차이가 고부하 영역에 비하여 적게 나고 있다. 이것은 저부하 영역에서는 촉매 입구체적이 배기가스의 맥동유동에 의한 유동량을 충분히 흡수할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 온도 분포는 엔진 회전속도가 증가하여도 유사하게 나타나고 있다.

Fig. 6의 막대 그래프는 1000RPM 25%부하에서 측정의 표준불확도[10]를 나타낸 것이다. 전체적으로 2°K를 넘지 않고 있음을 알 수 있다.

촉매의 유입구 면적을 67% 증대시킨 유입구 증대 모델의 경우 촉매 입구에서 NS 방향의 온도를 측정한 결과는 Fig. 7의 꺽은선 그래프와 같다. 부하가 적은 25%인 경우에는 무부하인 경우와 유사한 온도분포를 나타내고 있다. 이는 유입구 면적의 증대로 인하여 유입구내에서 유량이 확산되면서 통과되는 유량은 증대되어지는데 반하여 온도상승은 일어나지 않는 것을 보여주고 있다. 이러한 현상은 EW 방향의 온도에서도 동일하게 나타내고 있다.

한편 중부하 이상에서 NS 방향의 온도는 기본모델과 유사하게 부하가 증대될수록 최고온도는 엔진 바깥방향으로 NS2 위치로 이동하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 유입구 증대에 따라 촉매와의 거리가 늘어남으로 인하여 나타나고 있

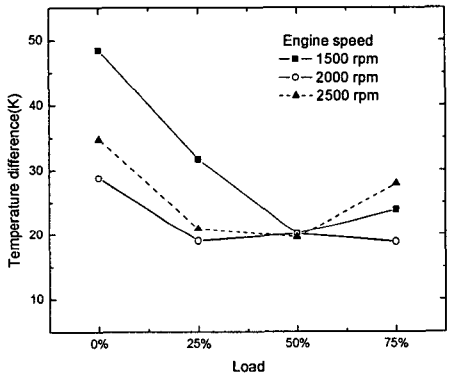


Fig. 8 Temperature differences between base and large collector model with engine speed

음을 확인할 수 있다.

그러나 같은 부하에서 온도 분포의 차이는 적어지고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 현상도 유입구의 면적을 증대시킨 효과로 볼 수 있으며, 촉매 입구부의 온도 분포 차이가 줄어들며 이는 촉매로 유입되는 배기가스 온도의 분포가 균일해지고 있음을 나타낸다.

Fig. 7의 막대 그래프는 1000RPM 25%부하에서 측정의 표준불확도를 나타낸 것이다. 유입구 증대모델의 경우도 기본모델과 같이 전체적으로 2°K를 넘지 않고 있음을 나타내고 있다.

Fig. 8은 촉매의 유입구 체적을 증대시킨 경우의 촉매입구 평균온도와 기본모델의 촉매입구 평균온도와의 차이를 비교한 것이다. 여기서 온도차 $\Delta T = T_B - T_L$로 표시되며, T_B, T_L은 각각 기본모델, 유입구 증대모델의 온도를 나타낸다.

각 회전수에서 부하가 낮은 경우에는 온도차이

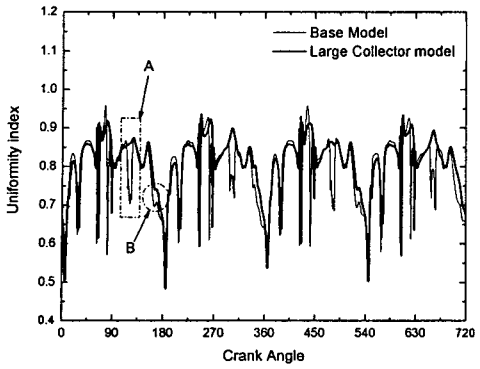


Fig. 9 Comparison uniformity index between base and large collector model at 2000rpm 50% load

가 높게 발생하는데 비하여 부하가 50%인 경우에는 회전수에 관계없이 약 20℃의 온도차를 나타내었다. 이러한 현상은 50%부하에서 배기가스가 포화상태에 근접하여 촉매의 위치 변화가 촉매입구 온도 변화에 크게 영향을 미치지 않는 반면 저부하 및 고부하 영역에서는 배기가스 유동특성의 불균일이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 촉매입구 위치가 약 25㎜ 아래로 이동하면 촉매 입구온도는 전체적으로 약 20℃ 이상 강하하는 것을 알 수 있다.

4.1.2 균일도

촉매 유입구의 체적 증대에 따라 변화할 수 있는 가장 큰 요소로서 촉매장치 내부유동의 균일도를 들 수 있다. 그러나 촉매 유입구 내에서의 유동은 촉매로 배기가스가 유입됨에 따라 다공성 물질인 촉매의 특성으로 한 방향으로만 유동이 형성되며, 이로 인하여 유동이 안정되는 현상을 가져온다.

촉매의 균일도를 확인하기 위하여 전체 촉매길이에서 촉매 입구로부터 촉매 길이의 1/3, 30㎜ 지점에서 유동의 균일도가 엔진 크랭크 각도에 따라 변화하는 값을 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9은 회전속도 2000rpm, 50% 부하에서 기본모델과 유입구 증대모델의 균일도와 크랭크각과의 관계를 나타낸 것이다. 이 선도에 나타난 바와 같이 크랭크각 변위에 따라 전체적으로 균일도는 유사하게 나타나고 있으나, 유입구 증대모델의 경우 유입구 증대로 인하여 25㎜ 아래로 이동함에 따라 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 유입구 증대모델의 균일도 지수가 좋아지는 영역은 이 선도에서 나타난 것과 같이 크랭크 각으로 115° ~125° 범위에서 블로다운 발생전인 A영역에서 균일도의 변동이 크게 개선되고, 또한 B영역에서도 다소 개선 효과가 나타내고 있다. 이러한 개선효과는 A영역은 180° , B영역은 360° 간격으로 나타났다.

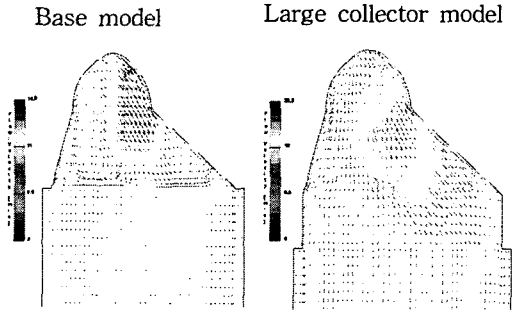
Fig. 10은 촉매 내부와 촉매 입구부의 속도분포를 확인하기 위하여 크랭크각 120° 에서 속도분포를 도시하였다.

Fig. 10(a)는 기본 모델과 유입구 증대모델에 대하여 촉매 중심을 기준으로 NS 방향 단면에서 속도 벡터의 분포를 나타내었다. 기본모델의 경우 유동이 중심쪽으로 몰려서 유입되고 있지만 그 뒤에 발생한 와류는 촉매를 역류하여 올라오는 유동에 의하여 생성되고 있음을 나타낸다. 그러나 유입구 증대모델의 경우는 유동이 전체적으로 확산되고 있음을 볼 수 있다.

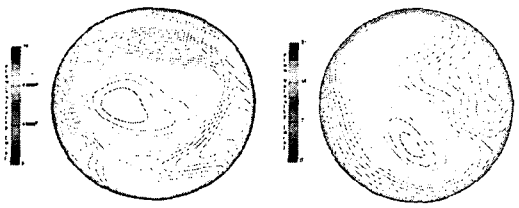
Fig. 10(b)는 촉매 유입구 내 촉매 상부 10㎜ 위치에서의 촉매 단면 방향에서 유동의 분포를 나타낸 것이다. 기본모델은 유동이 촉매의 중앙방향에 집중하여 나타나는 유동과 유입구 내의 엔진측 방향에서 발생한 유동이 동시에 존재함을 알 수 있으며 최고속도는 약 14m/s를 나타낸다. 그러나 유입구 증대모델은 유입구의 증대로 인하여 유속이 증대되어 최고속도는 약 21m/sec를 나타내며 확산되어 약간 편심된 상태의 유동분포를 나타내나 다른 유동의 중심은 나타내지 않고 있다.

Fig. 10(c)는 균일도를 측정한 부위에서의 유동분포를 나타낸 것이다. 기본모델은 입구부에서 중심부 좌측과 상단 경계측에 고속 유동이 일어나고 있으며, 경계를 이루는 부위는 유속이 급격히 떨어진 것을 나타내고 있다. 이 현상으로서 이들 고속 유동은 (a)에서 나타난 것과 같이 그 방향이 반대인 것을 알 수 있다. 그러나 우측의 유입구 증대모델은 이러한 현상 없이 오히려 유속의 분포가 균일하게 나타났다.

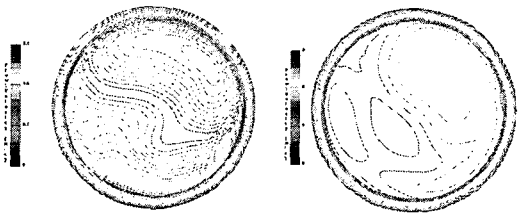
또한 CA 120°는 2번 실린더의 배기행정 말기와 1번 실린더에서 배기행정이 시작하기 바로 직전으로 2번 실린더의 배기가스 배기맥동의 2차파형이 끝나는 점에 해당한다. 이 때가 유입구 내의 유속의 변화가 많이 일어나는 영역으로서 유동이 불균일하게 나타난다. 그러나 유입구의 체적을 증대시키면 이러한 구간에서 균일도가 개선



(a) Side view of base and large collector model

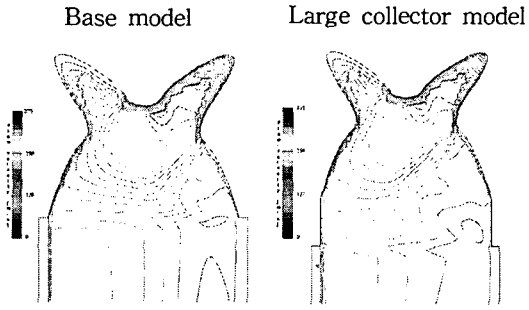


(b) Top view of catalyst inlet of base and large collector model

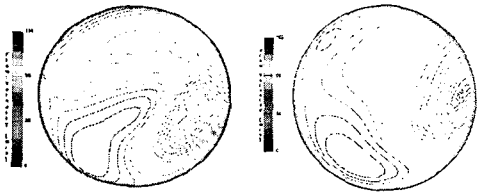


(c) Top view of the section for uniformity index calculated

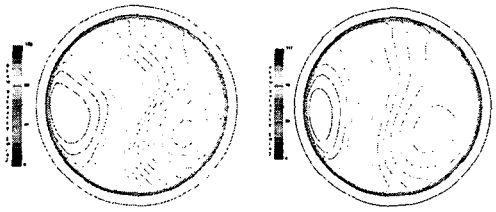
Fig. 10 *Velocity distribution comparison between base and large collector model at 120 crankangle*



(a) Front view of base and large collector model



(b) Top view of catalyst inlet of base and large collector model



(c) Top view of the section for uniformity index calculated

Fig. 11 Velocity distribution comparison between base and large collector model at 165 crankangle

된다. 이때 기본모델의 균일도는 0.735이며, 유입구 증대모델은 0.859로서 0.124의 개선 효과를 보이고 있다.

Fig. 11은 촉매 입구부와 내부의 속도분포를 크랭크각 165°일 경우에 대하여 비교한 것이다.

그림 (a)는 기본 모델과 유입구 증대모델에 대하여 촉매 중심을 기준으로 EW방향 단면에서 유동의 분포를 나타내었다. 이 구간은 높은 배기압력에 의하여 고속으로 배출되는 구간이므로 유동이 배기포트의 반대방향으로 편향되는 현상을 나타내고 있으며, 그 반대방향에서는 유동량이 적어 유속이 많이 저하하는 경향을 나타내었다.

그림 (b)는 좌측의 기본모델의 경우에 3가지 형태의 유동장을 나타내고 있다. 이들 중에서 아래 왼쪽은 배기가스가 통과하는 영역이며, 아래 오른쪽은 유동이 잘 통과하지 못하는 영역, 위 가운데는 2번 배기포트의 배기가스에 의하여 간섭을 일으킨 영역으로서, 배기간섭에 의하여 1번 배기포트의 배기가스가 통과하는 면적이 좁아진 것을 나타낸다. 그러나 우측의 유입구 증대모델의 경우는 배기가스의 통과변적이 증가하여 배기간섭의 발생이 감소하는 결과를 나타내었다.

그림 (c)에서는 두 모델 모두 비슷한 형상을 나타내고 있으나 기본모델의 경우 유동이 통과하지 못하는 부분의 유속이 떨어져 등속선의 간격이 좁아지고 속도분포의 차이가 많이 발생하여 균일도의 차이가 발생한 것으로 나타났다.

이 구간은 360°마다 발생하며 같은 방향의 배기포트 사이에서 나타나는 현상이다. 이것은 배기포트의 연결이 1, 2번과 3, 4번을 연결한 후 유입구로 배기가스가 유입됨으로서 2번과 4번 배기

포트의 배기가스의 잔류 맥동이 1번과 3번 배기 포트를 통과하는 배기가스와 배기간섭을 일으킴으로서 나타나는 현상이다.

유입구의 체적을 증대시키면 배기간섭을 감소시켜 균일도는 개선된다. 이 때 균일도는 기본모델이 0.69, 유입구 증대모델은 0.742로서 0.052의 개선 효과를 나타내고 있다.

5. 결 론

배기매니폴드 직접부착 촉매장치에서 배기가스 유입구의 체적을 증대한 모델이 촉매장치의 유동특성과 온도분포에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 촉매장치를 부착한 배기계 시스템에서 촉매장치 내부 유동의 균일도는 배기맥동에 의하여 배기가스가 역류하는 구간에서 균일도가 급격히 저하하며, 엔진의 블로다운 구간에서 배기포트의 형상에 따른 배기간섭으로 균일도가 저하하는 것으로 나타났다. 촉매장치의 유입구 체적의 영향을 해석한 결과 유입구의 체적을 증대시킨 경우 이 구간에서 균일도에 상당한 개선효과가 있는 것으로 확인되었다.

(2) 촉매입구 온도분포에 미치는 엔진부하의 영향을 비교한 결과 유입구 내의 최고 평균온도는 기본모델에서는 엔진 바깥방향으로 촉매 중심으로부터 반경의 1/4위치에서 나타나나, 유입구 증대모델의 경우 1/2위치로 이동된다. 또한 같은 부하에서 온도분포는 유입구 증대모델에서 균일해지는 것으로 확인되었다.

(3) 근접장착 촉매장치에서 촉매입구 온도분포의 해석치를 실험치와 비교한 결과 고부하영역보다는 저부하영역에서 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

(4) 촉매 기본모델과 유입구 증대모델의 촉매입구에서의 평균온도차를 실험한 결과 유입구 체적 증대모델의 경우에 20℃ 이상의 온도 강하가 확인되었다.

참고문헌

(1) Pfalzgraf, B., Rieger, M. and Ottowitz, G., 1996, " Close-coupled Catalytic Converters for Compliance with LEV/ULEV and EGⅢ Legislation-Influence of Support Material, Cell Density and Mass on Emission Results," SAE Paper 960261.

(2) Kwak, Y. H., Lim, M. T. and Choi, B. C., 1998, "Aging Characteristics of Automotive Catalyst," Autumn Conferences of KSAE pp210~215

(3) Schmidt, J., Waltner, A., Loose, G., Hirschmann, A. and Wirth, A., 1999, "The Impact of High Cell Density Ceramic Substrates and Washcoat Properties on the Catalytic Activity of Three Way Catalysts," SAE 1999-01-0272.

(4) Andersen, P. J. and Rieck, J. S., 1997," "Advances in Pd Containing Three Way Catalyst Activity," SAE Paper 970739,

(5) Haral Bressler, Rammoser, D., Neumaier, H., and Terres, F., 1996, "Experimental and Predictive Investigation of a Close Coupled Catalyst Converter with Pulsating Flow," SAE Paper 960564.

(6) Young-Seok Cho, Duk-Sang Kim and Young-Chul Joo, 2001, "A Study of Measurement and Analysis of Flow Distribution in a Close-Coupled Catalytic Converter," Transactions B of KSME, vol 25 No. 4 pp533~539.

(7) Weltens, H., Bressler, H., Frank Terres, Hubert Neumaier, and Detlev Rammoser, 1993 "Optimization of Catalytic Converter Gas Flow Distributions By CFD prediction," SAE Paper 930780.

(8) Han-Sang Kim, Sang-Bong Park, Cha-Lee Myung, Kyoung-Min Cho and Kum-Jung Yoon, 1999, "A Study of Flow Characteristics Inside the Two Types of Exhaust Manifold CCC Systems," SAE 1999-01-0457.

(9) Yoshizawa, K., Mori, K., Arai, K. and Kawashima, J., 1999, "Numerical Analysis of the Exhaust Gas Flow and Heat Transfer in Close-Coupled Catalytic Converter Systems during Warm-up," SAE Paper 9935798.

(10) Korea Research Institute of Standards and Science, 1998, "KRISS Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement."