

## 2륜 자동차용 촉매 변환기 형상에 따른 배기온도 특성

이 중 섭<sup>\*1)</sup> · 서 정 세<sup>2)</sup> · 정 한 식<sup>2)</sup> · 정 효 민<sup>2)</sup> · 배 재 영<sup>3)</sup>

경상대학교 대학원<sup>1)</sup> · 경상대학교 기계항공공학부<sup>2)</sup> · 대림자동차공업(주)<sup>3)</sup>

### Exhaust Gas Temperature Characteristics of Catalytic Converter Shape for Motorcycle

Chungseub Yi<sup>\*1)</sup> · Jeongse Suh<sup>2)</sup> · Hanshik Chung<sup>3)</sup> · Hyomin Jeong<sup>3)</sup> · Jaeyoung Bae<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam 660-701, Korea

<sup>2)</sup>School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam 660-701, Korea

<sup>3)</sup>Research & Planning Team, Daelim Motor Co., LTD, 58 Seongsan-dong, Changwon-si, Gyeongnam 641-315, Korea

(Received 6 February 2006 / Accepted 14 March 2006)

**Abstract** : This research represents the catalytic converter for application in the motorcycle. Present research model type is a monolithic catalytic converter and this type has been widely used for satisfaction on and the regulations of pollutant emissions in automobiles. The experiment range is found for light-off temperature time of the catalyst converter. And we has to experiment for effective area of catalytic monolith. The experimental result indicated an increase effective area in the catalytic monolith. Specially, it was found from the result that the more positive effect from result of thermal image camera in the megaphone model. The rate of effective area for base model was about 8.97% and megaphone model was 41.52%, 34.60%, 33.43%, 25.43% and 17.82% on the diffuser angle 4° to 8°. Comparing with base type, megaphone type has more suitable for application to motorcycle.

**Key words** : Catalytic converter (촉매변환기), Light-off temperature(활성화 온도), Monolith(담체)

### 1. 서 론

최근 선진국을 중심으로 환경 문제에 대한 규제가 강화되고 있다. 특히, EC(European Community)등은 자국 내로 수입되는 모든 차량에 대한 촉매 변환기의 설치가 의무화되어 있다.<sup>1)</sup> 따라서 과거와 같이 엔진의 출력향상 뿐만 아니라 배기가스 배출물 규제를 만족시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 유럽, 대만, 일본, 미국 등에서는 2륜 자동차에도 일반 자동차와 같이 공해저감장치를 부착하여 생산하고 있고, 단계적으로 배출허용기준 및 측정 방법을 강화하고 있으며, 구미와 대만은 배기량

의 크기에 관계없이 동일한 허용기준을 적용하고 있다.<sup>2)</sup> 현재까지 국내의 생산되는 2륜 자동차의 배기량은 125cc 이하가 주를 이루고 있으며, 앞으로 고 배기량의 2륜 자동차 생산이 증가할 것으로 판단되고 있다. 따라서 배기량의 증가로 인해 배출되는 배기가스의 농도를 낮추기 위해 필연적으로 촉매 변환기에 대한 인식 전환이 필요한 시점에 와 있다. 촉매변환기의 설치 적용은 생산 단가가 상승할 수밖에 없어 제조사의 부담일 수밖에 없다. 또한 비교적 저 배기량의 2륜 자동차일 경우 엔진 특성상 출력 하락으로 이어지기 때문이다. 또한 기계식 기화기로 이론 공연비를 만족시키기는 매우 어려워 연료

\*Corresponding author, E-mail: cs\_yi@hotmail.com

분사식 또는 2차 공기분사기를 설치하여 강력한 환경규제로 인해 배출물 규제에 만족시켜야 되는 시점에 다다랐다. 그러나 환경규제의 측면에서 보면, 가장 능동적으로 배출물을 저감시킬 수 있는 것은 현재까지 촉매 변환기밖에 없다고 판단된다. 자동차 배출가스 규제 시행초기 업계의 주된 노력은 엔진의 연소 상태를 이른 공연비에 최대한 접근 시켜 연소함으로서 불완전 연소를 최소화 시키는 연소 개선에 초점을 맞추었으나 1970년대 중반으로 접어들면서 한층 강화된 배출가스 규제에 기술적인 대응을 하기 위해 처음으로 배기 후처리 방법이 소개되었다. 당시 가솔린 엔진에서 발생하는 미연 탄화수소(HC)와 일산화탄소(CO)를 산화반응 시킴으로 배출가스를 저감시키는 산화촉매(Oxidation catalyst)가 개발되었다. 그러나 대기 오존 경보의 주범인 질소산화물(NOx)의 저감을 위한 배기가스 재순환장치(EGR : exhaust gas recirculation)를 이용하게 되었다. 1980년대에 접어들면서 미연 탄화수소와 일산화탄소 그리고 질소산화물을 효과적으로 저감시키기 위해 삼원촉매장치(TWC : three way catalyst)가 개발되어 현재까지 사용되고 있으며, 보다 효과적인 배출가스 저감을 위한 여러 가지 방법들이 시도되고 있다.<sup>3,5)</sup> 또한 촉매 담체 내를 통과하는 배기가스의 유동 분포의 균일도는 급격한 온도 구배를 억제하여 수명연장에 많은 영향을 미치는 것이 확인되고 있다. 현재 일반 자동차의 경우 시동 배기가스 점화기술에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이를 통해 활성화 온도 시점을 앞당기려는 노력이 국내 외에서 진행 중이다. 또한 추가적인 장치 없이 효과적으로 배기 온도를 보존할 수 있는 근접 촉매 방식(CCC: close-coupled catalytic converter)은 현재 각광받고 있으나 촉매 입구에서 유동의 불균일로 인한 촉매 수명 단축과 정화 효율 저하로 인해 많은 개선이 이루어지고 있는 실정이다.<sup>6,8)</sup> 그러나 이 모든 것들은 자동차에 대한 연구 결과이며, 2륜 자동차 적용을 위한 촉매 변환기 연구는 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서 추구하고자 하는 목표는 기존 자동차용 촉매 변환기를 적용했을 때의 문제점을 보완하여 2륜 자동차에 적합한 촉매 변환기의 형상을

실험을 통해 결정하고 추후 기초적인 설계 자료를 도출하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

촉매 담체의 온도 분포를 측정하기 위해 K-type의 열전대를 사용하였으며, 실험 데이터를 얻기 위해 data logger를 열전대와 연결하고, 컴퓨터를 사용하여 데이터를 저장하였다. 모델의 열전대 설치는 Fig. 1과 같으며, 실험 엔진의 적열 상태를 확보하기 위해 120sec 예열 후 실험 변수를 무부하 상태에서 3,000rpm, 4,000rpm, 5,000rpm에 대하여 온도 분포를 측정하였으며 정상상태에 도달 할 때까지의 온도 분포를 측정하였다. 이 때 정상상태는 배기가스의 온도 상승이 급상승 되지 않고 일정한 온도로 유지될 때를 정상상태로 보았다. 이 때 실험 환경은 실내온도 13°C~17°C, 대기압은 755mmHg~770mmHg, 상대습도는 평균 42%의 조건에서 실험을 수행하였다. 또한 실험에 사용된 기관의 주요 사양은 Table 1과 같이 나타낼 수 있으며, 최대 회전수는 11,000rpm의 고속 엔진이다. 따라서 60km/h 정속 주행 시 약 5,000rpm 정도 유지되므로 최대 실험 변수를 5,000rpm으로 설정하였다. 온도 측정은 촉매 담체의 중심을 기준으로 가장자리에서 2mm 떨어진 지점부터 7mm씩 등 간격으로 열전대를 설치하였고, 촉매 담체 입구 면에서 2mm 떨어진 지점에서 배기가스 온도를 측정하였다. 실제 엔진을 사용하기 때문에 균일한 배기가스가 유입될 수 없는 구조적 한계를 가지고 있어 촉매 변환기로 유입되는 배기관의 직선이 될 수 있도록 하였다. 또한 확대관의 각도를 4°~6° 까지 증가시켜 총 4가지 모델에 대한 해석

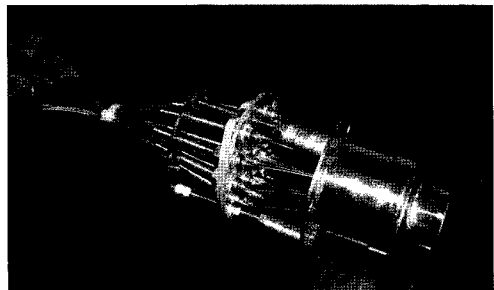


Fig. 1 Photograph of temperature experiment in catalytic converter

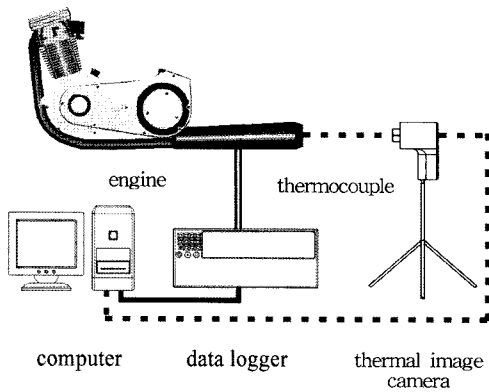
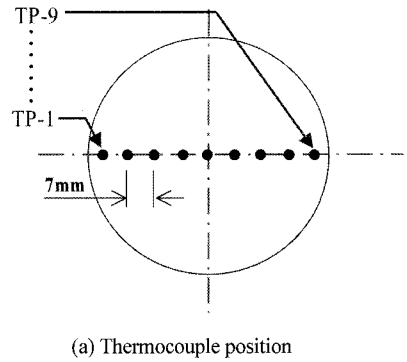


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

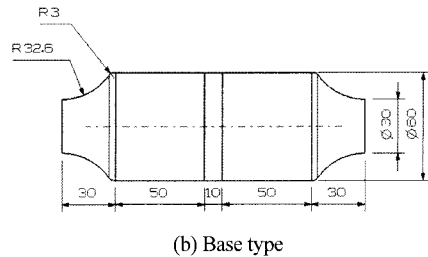
Table 1 Specification of experimental engine model

Engine type	4-stroke, single cylinder
Engine displacement (cc)	124.1
Bore (mm) / Stroke (mm)	56.5 / 49.5
Connecting rod length (mm)	100
Intake valve open(°)	BTDC 10
Intake valve close(°)	ABDC 30
Exhaust valve open(°)	BBDC 41
Exhaust valve close(°)	ATDC 1
Compression ratio	9.5 : 1
Max. torque	1.0kg-m/7,000rpm
Max. power	11PS/9,000rpm

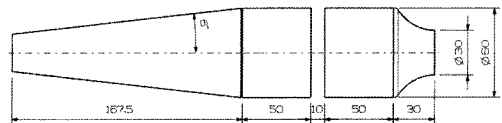
을 수행하였다. 촉매 담체의 온도 분포를 보다 정성적으로 확인하기 위해 Fig. 2와 같이 열화상 카메라를 이용하여 촉매 변환기내의 배기가스 온도 분포를 촬영하였다. 실험실의 온도는 약 17°C, 습도는 약 40%였다. 실험에 사용된 변수는 기본 모델과 megaphone 모델 중 확대관의 각도가 4°~8°일 경우에 대해서만 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 열화상 카메라는 영국의 IRISYS(InfraRed Integrated Systems)사의 IRISYS 1001E를 사용하였다. 본 실험에 사용된 열화상 카메라의 측정 정확도는  $\pm 2^\circ\text{C}$ 이며, 분해능은 0.1°C이며, 측정 범위는 -10.0°C~300.0°C이다. 측정은 실시간으로 측정하였으며, 촉매 담체의 온도가 300°C에 도달할 때 이미지를 얻는 방법으로 실험을 수행하였다. 이러한 이유는 본 계측장비의 최대 측정 온도범위를 넘기 때문에 엔진 회전수 2,000rpm을 유지시키면서 촉매 담체의 온도를 상승시켰다. 이 때 측정최대 온도에 도달하는 시간은 약



(a) Thermocouple position



(b) Base type



(c) Megaphone type

Fig. 3 Geometry of present model type and thermocouple position

200sec 정도 소요되었다. 이러한 실험 방법을 통해 Fig. 3의 (b)와 같이 일반 자동차에 많이 사용되는 형상을 기본 모델로 설정하고, 2륜 자동차의 구조에 적합하도록 megaphone 모델과 비교하여 촉매 담체의 온도 분포 특성을 파악하고자 하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

Fig. 4는 각 실험 모델에 대한 활성화 온도 시점을 측정된 결과이다. 기본 모델의 경우 가장 빠른 시간에 활성화 온도 시점에 도달하는 것을 확인할 수 있었으며, 250°C까지 상승하는데 약 200sec 이내에 도달하는 것을 알 수 있었다. 그러나 megaphone 모델의 경우 다소 지연되는 것을 확인할 수 있었고, 약 300sec의 시간이 소요됨을 확인할 수 있었다. 따라서 약 120sec의 지연이 발생하였고, 이러한 원인은 확대관의 체적이 기본 모델인 경우 약 41.01cm<sup>3</sup>인

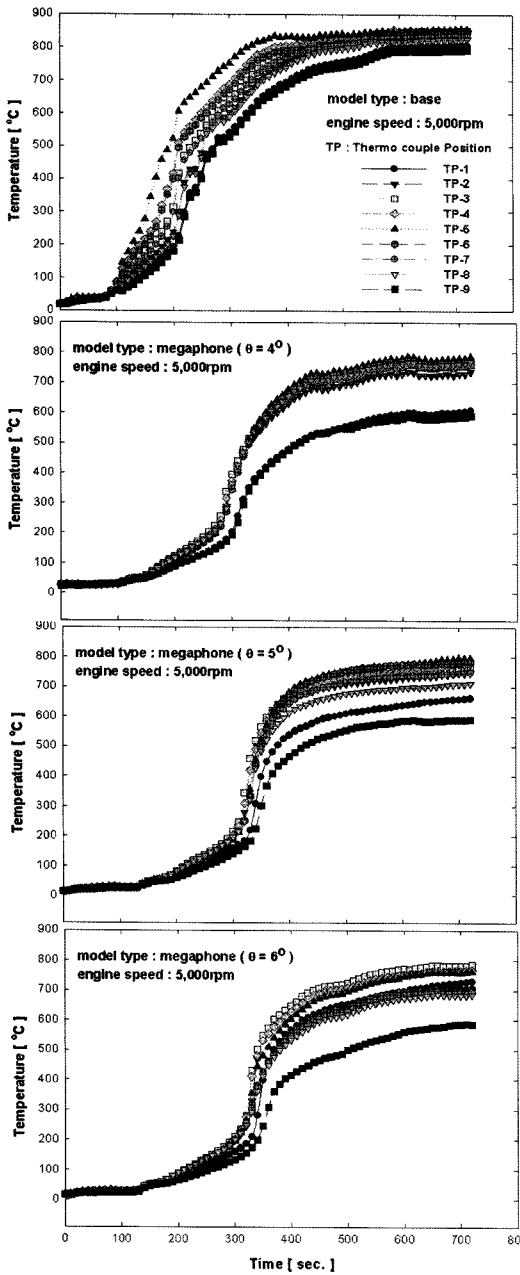


Fig. 4 Distributions of light off temperature at catalyst monolith face

반면 megaphone 모델의 경우 각도에 따라 377.92 cm<sup>3</sup>, 302.76cm<sup>3</sup> 그리고 250.47cm<sup>3</sup>로 체적이 비교적 크기 때문에 대기와의 열손실이 증가하여 초기에 촉매 담체로 유입되는 온도가 낮기 때문인 것으로 사료된다.

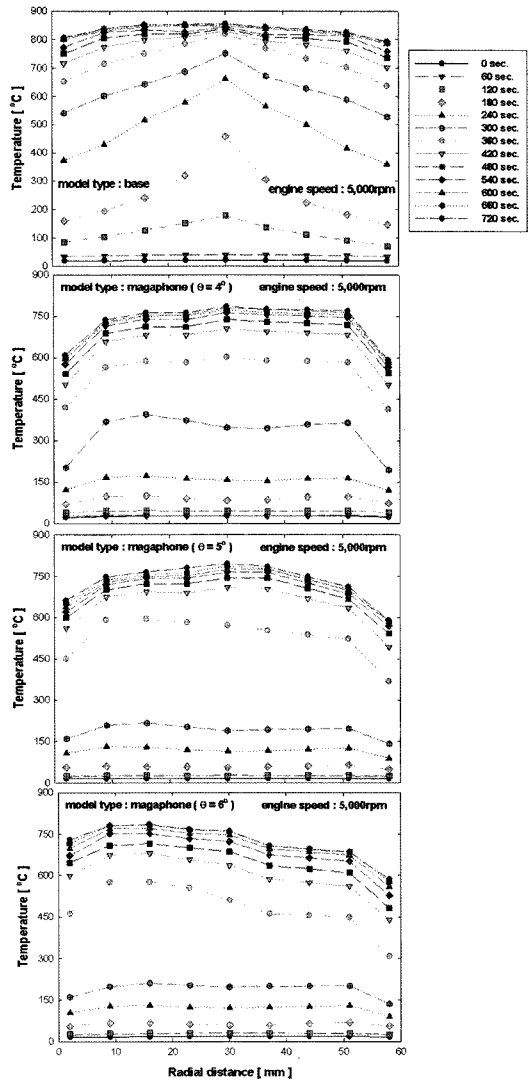


Fig. 5 Distributions of temperature on the measuring time at catalyst monolith face

Fig. 5는 시간 경과에 따른 촉매 담체의 온도 분포를 나타내고 있다. 기본 모델의 경우 중심에서 온도가 집중되는 것을 확인할 수 있었고, megaphone 모델의 경우 기본 모델에 비해 비교적 촉매 담체 전면에 고루 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 이로서 기본 모델에 비해 megaphone 모델의 경우 유동 균일도가 보다 높다는 것을 반증하고 있는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 각 모델별 활성화 온도시기를 비교한 것이다. 엔진 회전수가 증가할수록 활성화 온도 시기

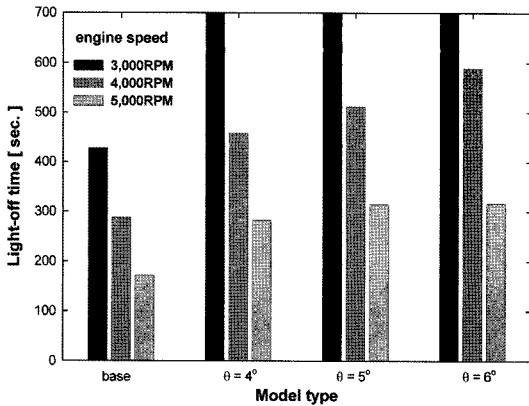


Fig. 6 Distributions of light-off time on the various models at catalyst monolith face

가 감소하였고, 기본 모델의 경우 가장 빠른 시간에 활성화 온도시기에 도달하였다. 따라서 배기가스 배출물을 제어하기 위해서는 기본 모델이 가장 적합할 수 있다는 결론이 될 수 있는데 기본 모델의 경우 유동 균일도가 가장 나쁘기 때문에 장시간 사용할 경우 촉매 담체 중심부에서의 열화가 가장 빠르게 발생할 것으로 예견된다. 또한 일반 자동차와 달리 2륜 자동차의 경우 정기검사 제도가 없기 때문에 내구성이 우수해야 되기 때문에 내구성과 직결되는 유동 균일도가 가장 우수한 4°인 모델이 2륜 자동차에 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Fig. 7은 열화상 카메라로 촬영한 촉매 담체 출구 부분의 온도 분포를 나타내고 있다. 열전대를 사용하여 촉매 담체의 온도 분포를 측정하였을 때와 마찬가지로 기본 모델에서 온도가 중심부에 집중되는 것을 확인할 수 있었고, megaphone 모델일 경우 온도 분포가 다소 넓게 분포함을 알 수 있었다. 특히 확대관의 각도가 감소할수록 더욱 넓은 온도 분포를 나타냄으로서 촉매 담체의 유효 단면적이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 열화상 카메라를 이용한 실험에서도 기본 모델 보다 megaphone 모델의 유동 균일도가 높기 때문에 유동이 중심에 집중되지 않아 결국, 촉매 담체를 효과적으로 활용하고 있음을 확인하였다.

Fig. 8은 열화상 카메라로 촬영된 사진을 분석하기 위해서 약 300°C의 온도를 유효면적으로 설정하고, 이를 90° 간격으로 눈금자를 버니어캘리퍼스를

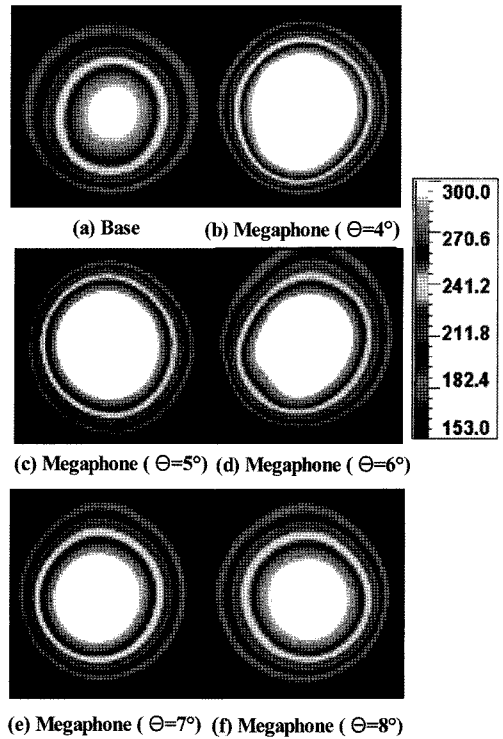


Fig. 7 Distributions of thermal image on the various models at catalyst monolith outlet

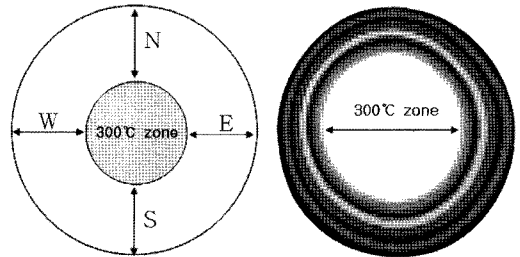


Fig. 8 Measurement method of effective area

이용하여 길이를 측정한 후 이를 단면적으로 환산하는 방식을 취하였다. 이러한 방법을 토대로 정량적인 결과를 Fig. 9와 같이 나타낼 수 있었다. 그 결과 기본 모델의 경우 약 2.54cm<sup>2</sup>이었으며, megaphone 모델의 경우 확대관의 증가에 따라 11.73cm<sup>2</sup>, 9.78cm<sup>2</sup>, 7.19cm<sup>2</sup>, 5.04cm<sup>2</sup>로 확인되었다. 즉, 300°C 부근을 기준으로 촉매 담체의 활용도를 확인해보면, 기본 모델의 경우 8.97%이고, megaphone 모델 중 확대관의 각도가 4°~8°까지 각각 41.52%, 34.60%, 33.43%, 25.43% 그리고 17.82% 면적 점유율

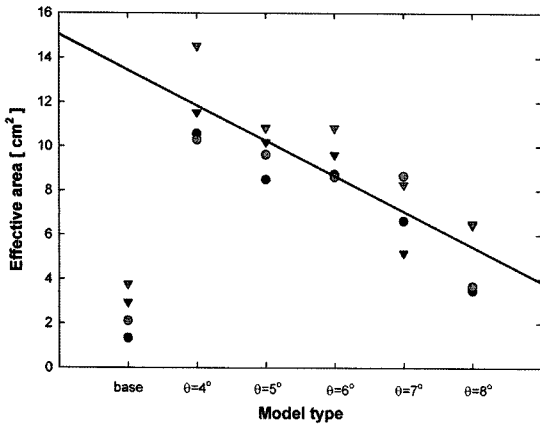


Fig. 9 Comparison of effective area for the base and megaphone models at 1st-catalyst face

을 나타내고 있었다. 이를 보간식으로 나타내면 식 (1)과 같이 도출할 수 있었다.

$$E.A = -1.599(\theta) + 15.033 \quad (1)$$

여기서  $E.A$ 는 유효면적을 나타내며,  $\theta$ 는 megaphone 모델의 확대관 각도를 나타낸다. 또한 활성화 온도인 250°C을 기준으로 분석하면 기본 모델의 경우 15.36%이고, megaphone 모델 중 확대관의 각도가 4°~8°까지 각각 96.46%, 91.51%, 78.03%, 53.75% 그리고 32.55%의 촉매 활용을 하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 촉매 담체를 충분히 활용하기 위해서는 megaphone 모델로 선정되어야 하며, 특히 확대관의 각도가 4°일 경우에 가장 효과적인 촉매 담체의 활용과 내구성 향상에 기여할 것으로 사료된다. 이러한 결과는 일반 자동차의 구조적인 문제를 극복할 수 있는 2륜 자동차만의 특징이며, 이러한 장점을 최대한 활용한다면, 기존의 연구에서 확인되었던 촉매 변환기 형상에 대한 설계가 보다 유연성을 가질 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

2륜 자동차에 적용하기 위한 촉매 변환기의 온도 분포에 대한 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 기본 모델을 megaphone 모델로 촉매 변환기의 확대관을 설계할 경우 3,000RPM 이내에서는 700sec 경과하여도 활성화 온도에 도달하지 못하였다. 그러나 4,000RPM 이상에서는 약 120sec

의 지연이 발생되었다.

- 2) 기본 모델의 경우 온도가 촉매 담체의 중심에 집중되는 현상이 발생하였고, megaphone 모델의 경우 기본 모델에 비해 촉매 담체에 넓게 분포하는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 열화상 카메라로 촉매 담체의 온도 분포를 확인한 결과 300°C를 기준으로 기본 모델의 경우 8.97%이고, megaphone 모델 중 확대관의 각도가 4°~8°까지 각각 41.52%, 34.60%, 33.43%, 25.43% 그리고 17.82%의 유효면적을 확인할 수 있었고, 식 (1)과 같은 보간식을 구할 수 있었다.
- 4) 2륜 자동차의 구조적인 측면과 유동 균일도에 따른 내구성 및 정화 효율을 감안한다면 초기 활성화 온도에 도달하는 시간은 다소 지연되지만 기본 모델 보다는 megaphone 모델로 설계가 이루어져야 됨을 확인할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 지역혁신인력양성사업과 대림자동차공업(주) 지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

#### References

- 1) R. M. Heck and R. J. Farrauto, "Automobile Exhaust Catalysts," Applied Catalysis A, General 221, pp.443-457, 2001.
- 2) D. S. KIM and Y. S. CHO, "Effects of Cam Phase and Spark Retard to Increase Exhaust Gas Temperature in Cold Start Period of an SI Engine," Int. J. Automotive Technology, Vol.6, No.6, pp.591-598, 2005.
- 3) S. J. Jeong and W. S. Kim, "Three Dimensional Unsteady Flow Characteristics inside the Catalytic Converter of 6 Cylinder Gasoline Engine," Transactions of KSAE, Vol.6, No.4, pp.108-120, 1998.
- 4) S. J. Jeong and W. S. Kim, "A Study of Light-Off Performance of Catalytic Converter with the Effect of Flow Characteristics," Transactions of KSAE, Vol.7, No.5, pp.107-120, 1999.
- 5) S. J. Jeong and W. S. Kim, "Numerical Study

- on the Effect of Volume Change of Lighe-Off Catalyst on Ligh-Off Performance,” Transactions of KSAE, Vol.8, No.6, pp.87-100, 2000.
- 6) H. Weltens, H. Bressler, F. Terres, H. Neumaier and D. Rammoser, “Optimisation of Catalytic Converter Gas Flow Distribution by CFD Prediction,” SAE 930780, pp.131-150, 1993.
  - 7) S. S. Park, H. Y. Kim, Y. J. Cho, S. Y. Lee and K. J. Yoon, “Flow Analysis and Catalytic Characteristics for the Various Catalyst Cell Shapes,” SAE 1999-01-1541, pp.1-12, 1999.
  - 8) W. G. Lee and H. J. Lim, “A Parametric Study of Pressure Coefficient in Exhaust Gas System,” Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.124-128, 2003.
  - 9) E. H. Lee, C. K. Lee and J. S. Yoo, “A Study on the Velocity Distribution and Pressure Drop in Catalytic Converter,” Spring Conference Proceedings, pp.46-51, 1999.