

## 운행차 열화특성을 고려한 제작차 배출가스 목표치 설정에 관한 연구

김 현 우\*

순천대학교 기계·자동차공학부

### A Study on the Target Values Fixing of Green Vehicle Emissions in Consideration of In-use Deterioration

Hyunwoo Kim\*

School of Mechanical and Automotive Engineering, Sunchon University, Jeonnam 540-742, Korea

(Received 2 November 2002 / Accepted 27 January 2003)

**Abstract** : As exhaust emission standards are more stringent, higher conversion efficiency of automotive catalytic converter is required. In addition, catalytic converter is deteriorated during mileage accumulation of vehicle. Therefore the specification of catalytic converter should be decided in consideration of emission standards and deterioration. Because the decision of the specification of catalytic converter is required at the beginning of vehicle development procedure, it is important and necessary to fix the target values of green vehicle exhaust emissions. To do this, a linear regression analysis was done with in-use exhaust emissions data of 5 different kinds of vehicle that received US94 emission standards certification, and data handling methods including some statistical estimation were proposed. As a result, the fixed target values of NMHC, CO, NO<sub>x</sub> of green vehicle against US94 emission standards were 0.079, 0.83, 0.116, respectively. And expected in-use deterioration factor of NMHC, CO, NO<sub>x</sub> were 1.75, 2.02, 1.38, respectively. And also it was known that even if failure rate is 30% after 80,000km driven, it might be sufficiently safe from emission failure confirmatory test of Korea. It is hopeful to make a database of in-use emissions to increase the confidence in correctness of the calculated target values.

**Key words** : Green vehicle(제작차), Deterioration factor(열화계수), Conversion efficiency(정화효율), Log-normal distribution(로그 정규분포), Probability density(확률밀도)

#### 1. 서론

급격한 자동차 수요의 확장에서 파생된 자동차 배출가스의 증가는 스모그 등의 심각한 대기 오염 현상을 유발하고 있다. 자동차의 보급률이 높은 대도시를 중심으로 한 지역에서는 자동차가 대기오염의 주범으로 인식될 정도로 자동차의 배출가스에 의한 대기오염이 심각한 수준이며, 이에 따라 자동차 배출가스의 관리에 대한 관심이 높아진 상태다.

이미 1990년대 중반부터 미국이나 유럽 등 자동차 선진국에서는 LEV규제나 EURO-III 등의 강화된 배출가스 규제를 입법, 시행하여 제작차에 적용하고 있고, 자동차 배출가스 리콜(Recall)제도를 통하여 운행차의 배출가스도 엄격하게 관리하고 있다.<sup>1)</sup>

국내에서는 1980년에 휘발유를 연료로 하는 제작차량의 배출가스에 대한 배출허용기준을 설정, 적용한 후, 1990년대에 들어서 미국과 유럽방식을 따르는 선진국형 배출허용기준에 대한 틀이 잡혔다. 이 과정에서 몇 단계를 거쳐 규제방법의 변경이나

\*To whom correspondence should be addressed.  
blackrain@sunchon.ac.kr

규제치의 강화가 있었으며, 2000년부터는 1990년대 후반의 미국 연방 규제인 US94규제를 시행하고 있으나, 2006년 이후에는 미국의 ULEV(Ultra Low Emission Vehicle)규제도 채택할 계획도 가지고 있다.<sup>2,3)</sup>

한편, 국내 운행차의 배출가스에 대한 관리는, 배출가스 내구보증거리내의 운행차에서 배출되는 양이 배출허용기준에 적합한 지 여부를 검사하는 결합확인검사를 통하여 이루어지고 있다. 이 결합확인검사에서 배출허용기준 보다 더 많이 배출하는 것으로 확인되면, 원인이 되는 결함을 시정할 것을 명령 받게 된다.<sup>4)</sup>

이렇게 배출가스 규제의 강화는 더 높은 정화성능을 가지는 삼원촉매의 설계와, 이런 높은 정화성능이 배출가스 내구보증거리동안 유지되어야 한다는 것을 요구하므로, 배출허용기준의 변경은 제작차의 삼원촉매의 설계에 직접적인 영향을 미친다.

배출가스 규제를 만족하기 위하여 설계된 삼원촉매를 장착한 제작차는 삼원촉매의 성능열화와 리콜에 대한 안전계수를 고려하여 배출허용기준 보다 더 적은 양을 배출하는 것이 당연하다. 그런데, 삼원촉매의 정화효율은 Fig. 1에서 보여지는 바와 같이 그 최대값이 제한될 뿐만 아니라, 정화효율의 증대에 필요한 삼원촉매의 물리적 제원이 지수함수적으로 증대되기 때문에, 정화성능을 큰 폭으로 향상시키는 것은 곤란하며, 약간의 정화효율의 증대를 위해서 큰 가격 상승을 부담해야 한다.<sup>5)</sup> 삼원촉매를 거치지 않을 때, NMHC가 1g/km 정도 배출되는 차

량의 경우, 삼원촉매의 정화효율 1% 차이는 배출가스 시험 결과의 소수점 이하 둘째 자리 값을 변화시킨다. 그러므로, 제작차에 요구되는 삼원촉매의 정화효율을 1%범위 이내로 한정하는 것은 중요한 과제이다. 이 때문에 배출가스규제를 만족하기 위해서 제작차의 삼원촉매에 요구되는 정화효율을 얼마로 할 것인가, 즉, 제작차의 배출가스 목표치를 얼마로 할 것인가를 설정하는 것은 기술적으로 중요한 의미가 있다. 하지만, 지금까지 제작차의 배출가스 수준이 규제치의 50~70% 정도로만 알려져 있을 뿐, 제작차의 배출가스가 규제보다 얼마나 적어야 하는지에 관한 연구결과는 아직 발표된 바가 없다.<sup>6)</sup>

본 연구에서는 실제 도로를 주행한 운행차의 열화계수를 반영하여 제작차 배출가스 목표치를 설정하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 제작차 배출가스 목표치 설정 방법

제작차와 80,000km운행차가 보이는 배출가스의 분포 특성 및 열화는 Fig. 2에서와 같이 도시할 수 있다. 주행거리가 6,400km인 제작차는 배출가스 평균값이 작으며 비교적 적은 편차를 가지는 반면에, 운행차는 주행거리가 많아짐에 따라 배출가스의 평균값이 커지고 편차 또한 커지는 경향을 보인다. 이때, 운행차의 일부는 배출허용기준을 초과할 수 있는데, 이 초과하는 비율이 불량률이다.

주행거리에 따르는 운행차의 배출가스 분포 추정 에 관한 이전 연구의 결과를 적용하면, 임의의 주행

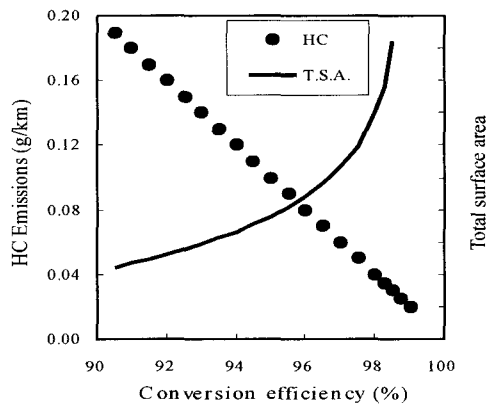


Fig. 1 Tailpipe emissions and total surface area

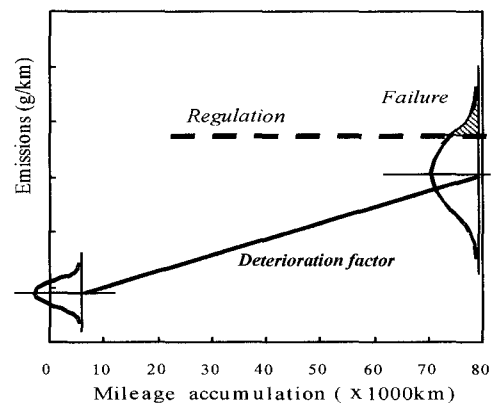


Fig. 2 Simplified diagram of emissions deterioration

거리에 있어서의 배출가스 기대값은 다음과 같은 회귀직선으로 표현될 수 있다.<sup>7)</sup>

$$\ln(\overline{em}_{NM}) = A/NM + B \quad (1)$$

$\overline{em}_{NM}$  : Estimate of emissions at arbitrary mileage  
 NM : Mileage divided by 8,000km  
 A, B : Regression coefficients

로그-정규분포로 가정하는 배출가스의 표준화 방법과 위 식을 이용하여 80,000km(NM=1)에서의 배출가스 기대값과 6,400km(NM=0.08)에서의 배출가스 기대값, 즉, 제작차의 배출가스 목표치는 다음 식으로 계산될 수 있다.

$$\ln(\overline{em}_i) = \ln(\text{reg}) - \sigma * z(a) \quad (2)$$

$$\ln(\overline{em}_{0.08}) = 0.92 * \text{slope} + 0.08 * \ln(\overline{em}_i) \quad (3)$$

reg : Regulation  
 $\sigma$  : Standard error of linear regression  
 $z(a)$  : Standard normal distribution value according to failure rate  
 slope : Slope of linear regression line

위 식 (2), (3)에서 알 수 있듯이 실제 도로를 주행한 운행차의 열화계수를 반영하여 제작차의 배출가스 목표치를 설정하기 위해서는, 운행차의 배출가스 열화특성을 회귀분석한 회귀직선의 기울기와 표준오차를 알아야 하며, 배출가스 내구보증거리(80,000km)에서의 불량률을 얼마로 할 것인가를 선택 해야 한다.

본 연구에서는 운행차 배출가스 열화 특성을 회귀분석하기 위하여 미국EPA의 1999년 리콜 데이터베이스(Recall DataBase)의 자료를 인용하였다.<sup>8)</sup> 국내 배출가스 규제를 대상으로 하는 제작차의 배출가스 목표치를 설정하는 데에는 국내에서 주행한 국내 차량의 열화특성을 고려하는 것이 원칙이나, 국내 자동차의 운행차 배출가스 결함확인 검사(In-use emissions surveillance) 자료는 공개된 바가 없어 이를 이용할 수 없으므로 대신 미국의 자료를 이용한 것이다. 본 연구에서 인용한 차량들의 제원과 배출가스 자료수를 Table 1에 정리하였으며, 그 중 주행거리에 따른 NMHC의 분포를 Fig. 3에 보인다. 인용한 차량들은 주행거리가 15,000~110,000km 이고 기동별 연료분사 전자제어 엔진을 탑재한 자동변속기 차량들로 US94규제(0.16g/km NMHC@80,000km)를 적용 받는다.

Table 1 Sampled cars

	Engine displacement(L)	Test Weight(lb)	Sample number
Car 1	2.0	3375	5
Car 2	3.1	3625	9
Car 3	2.2	3500	6
Car 4	2.0	3375	6
Car 5	2.4	3375	9

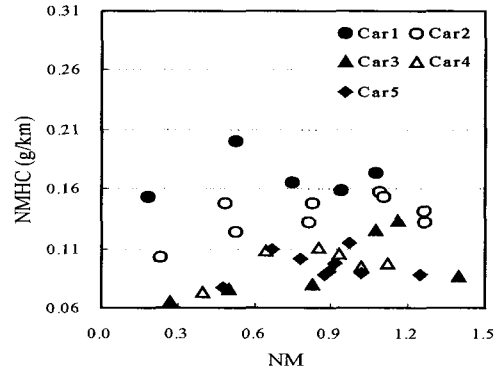


Fig. 3 NMHC distribution of sample in-use cars

### 3. 제작차 배출가스 목표치 설정

실제 도로를 주행한 운행차의 배출가스 열화 계수를 반영한 제작차의 배출가스 목표치를 설정하기 위해서, 먼저, 인용한 5개 차종의 주행거리에 따른 배출가스 양을 선형 회귀분석 하였다. 이때, 회귀 분석을 위한 정규성과 등분산성조건을 만족 시키기 위하여, 식 (1)에서 보여지는 바와 같이 독립변수는  $1/NM$ 으로, 종속변수는  $\ln(em)/NM$ 으로 하였다.<sup>7)</sup>

선형 회귀 분석에 의해서 얻어진 회귀직선들을 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 표시하였으며, 이때 회귀직선

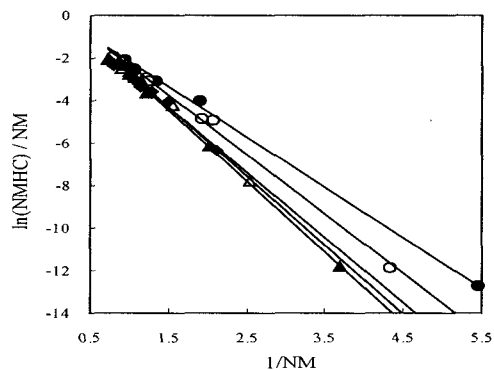


Fig. 4 Linear regression of NMHC

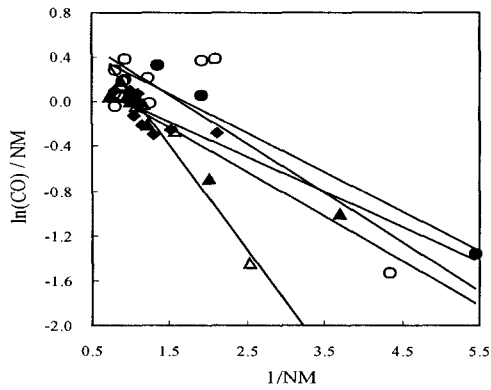


Fig. 5 Linear regression of CO

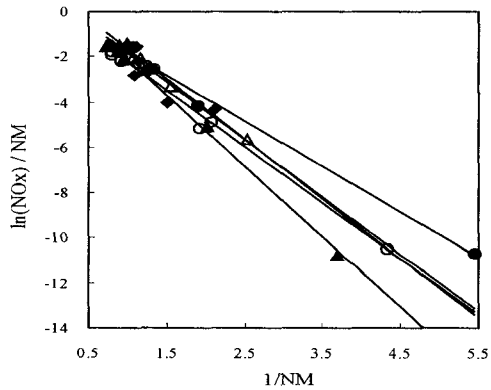


Fig. 6 Linear regression of NOx

들의 기울기는 유의수준 5%에서 유의하다. 회귀 분석의 결과를 Table 2에 요약한다.

### 3.1 회귀직선 기울기와 표준오차

Fig. 4 ~ Fig. 6과 Table 2에서 확인할 수 있듯이, 각각의 배출가스에 대해서 5개 차종의 회귀직선 기울기와 표준오차는 서로 다른 값을 보인다. 이는 각 차종의 제원, 성능, 배출가스 특성, 차량의 운행 조건 차이, 그리고 삼원촉매의 차이 등에서 연유한 것이다. 이들 차이에 관계없이 일반적으로 적용할 수 있는 제작차의 배출가스 목표치를 설정하기 위해서는, 회귀직선의 기울기나 표준오차를 대표할 수 있는 값을 추정하는 것이 필요하다. 본 연구에서처럼, 이용할 수 있는 자료의 크기가 작고, 전체 모집단의 모평균과 모분산을 알지 못하는 경우, 회귀직선 기울기나 표준오차의 대표값은 임의의 신뢰구간으로 추정하는 방법을 사용해야 하는데, 그 추정식은 식

Table 2 Results of linear regression analysis

		slope	$\sigma$
car 1	NMHC	-2.367	0.2253
	CO	-0.354	0.1953
	NOx	-2.015	0.3915
car 2	NMHC	-2.803	0.2043
	CO	-0.441	0.3646
	NOx	-2.486	0.3174
car 3	NMHC	-3.345	0.1912
	CO	-0.397	0.1699
	NOx	-3.128	0.2246
car 4	NMHC	-3.254	0.2105
	CO	-0.933	0.1296
	NOx	-2.640	0.1622
car 5	NMHC	-3.071	0.1744
	CO	-0.313	0.1248
	NOx	-2.534	0.5367

(4)와 같다.<sup>9)</sup> 본 연구에서는 신뢰구간을 90%로 하였는데 이것은 추정범위 내에 참값이 존재할 확률이 90%임을 의미한다.

$$X = \bar{X}_i \pm t_{(n-1, 0.10)} * s / \sqrt{n} \quad (4)$$

$$= \bar{X}_i \pm t_{(4, 0.10)} * s / \sqrt{5}$$

식 (4)에서  $t_{(x,y)}$ 는 x자유도와 (1-y)신뢰구간을 가지는 t-분포를 의미하며, n과 s는 자료수와 표본표준편차를 말한다.

그런데, 제작차의 배출가스 목표치를 제작차의 배출가스 실험 결과에 적용하여 삼원촉매의 설계사양에 대한 결정의 수단으로 삼을 때, 제작차의 배출가스량이 제작차 배출가스 목표치 이상이 되는 것은 허용하지 않을 것이므로, 제작차의 배출가스 목표치는 허용 가능한 최대값의 의미를 내포하고 있다고 할 수 있다. 따라서, 제작차의 배출가스 목표치를 설정하는 데에 대입되는 slope는 식 (4)에서 구해지는 범위의 값들 중에서 가장 완만한 기울기를 보여주는 최대값으로 하였다.

한편, 표준오차는 배출가스 분포의 산포도에 관련된 것으로, 표준오차의 크기가 클수록 산포도가 더 커져서 제작차의 배출가스 목표치가 더 낮게 설정되게끔 작용한다. 따라서, 제작차의 배출가스 목표치를 설정하는 데에 대입되는  $\sigma$ 는 식 (4)로 구해지는 범위의 값들 중에서 최대값으로 하였다.

이상에서 설명한 방법으로 구한 slope와  $\sigma$ 를 정

Table 3 Results of slope and  $\sigma$  estimation

	slope	$\sigma$
NMHC	-2.5921	0.220
CO	-0.246	0.290
NOx	-2.181	0.466

리하면 Table 3과 같다. Table 3에서 보면, 회귀직선에 대한 자료의 산포도를 의미하는  $\sigma$ 가 NMHC < CO < NOx의 순으로 크다.

### 3.2 불량률

운행차의 결함확인검사 요령을 규정하고 있는 환경부의 대기환경보전법 시행규칙에 의하면, 결함확인검사는 예비검사와 본검사로 구분된다. 우선적으로 시행되는 예비검사에서

(가) 5대의 평균이 특정 배출가스 항목에서 배출가스 허용기준을 초과하고, 초과한 동일 항목에서 2대 이상이 초과하거나,

(나) 초과한 동일 항목에서 3대 이상이 배출허용기준을 초과하면

본검사를 받게 되어 있다. 본검사에서는 (가), (나) 각각 10대 중 3대, 10대 중 6대로 규정되어 있다.<sup>4)</sup> 따라서, 심각한 고장이 있는 차량을 대상차량으로 선정하는 것을 배제한다면, 예비검사에서 5대 중 3대 이상이 특정 배출가스 항목에서 배출허용기준을 초과하는 것을 피해야 한다. Fig. 7에 예비검사에서 5대 중 3대 이상이 배출허용기준을 초과할 확률과 본검사에서 10대 중 6대 이상이 배출허용기준을 초과할 확률을 보인다.

Fig. 7에서 보면, 배출가스 내구보증거리에서의 불량률을 30%로 하고, 대상 차량들이 모두 80,000 km를 운행한 차량이라고 할지라도, 예비검사와 본검사에서 불합격될 확률은 각각 16%와 4.7%로 충분히 낮다. 따라서, 본 연구에서는 불량률을 30%로 선택하여 제작차의 배출가스 목표치를 설정하였다.

80,000km에서의 불량률이 30%라는 것은 80,000 km에서의 배출가스 분포에서 운행차의 70%만이 배출허용기준 보다 낮은 값을 가진다는 것을 의미한다. 그런데, 배출가스의 분포는 로그-정규분포이므로, 식 (2)에서의  $z(\alpha)$ 는 정규분포표에서 직접 구할 수는 없고 trial and error방법으로 구해진다.

80,000km에서의 운행차의 불량률이 30%일 때, 위에서 설명한 방법으로 계산한 주행거리에 따른 배출가스의 분포를 Fig. 8-Fig. 10에 보인다. NM=0.08은 주행거리가 6,400km인 제작차의 배출가스 분포이다. 누적분포로 보면, NM=1에서는 배출허용기준을 초과하는 비율이 설정한대로 30%이지만, NM=0.5에서 배출허용기준을 초과하는 비율은 NMHC, CO는 5%미만, NOx는 20% 미만에 그친다.

그런데, 운행차에 대한 결함확인검사는 주행거리가 40,000km(NM=0.5) 이상인 차량을 대상으로 한다.<sup>10)</sup> 만일, 주행거리가 40,000km인 차량 5대로 예비검사를 한다면, 5대 중 3대 이상이 배출허용기준을 초과할 확률은 NMHC와 CO가 0.1%, NOx는 6%에 지나지 않고, 주행거리가 80,000km(불량률 30%)인 차량 5대로 한다고 하더라도 5대 중 3대 이상이 배출허용기준을 초과할 확률은 16%를 넘지 않

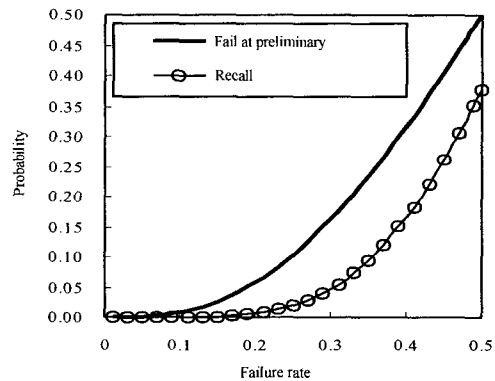


Fig. 7 Failure probability at emission surveillance

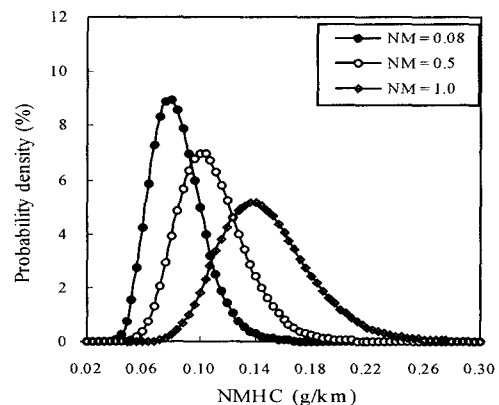


Fig. 8 NMHC distribution with 30% failure rate

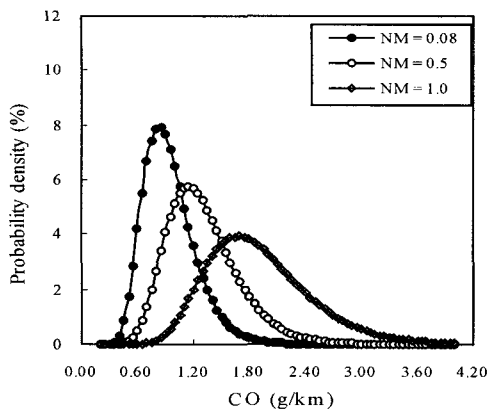


Fig. 9 CO distribution with 30% failure rate

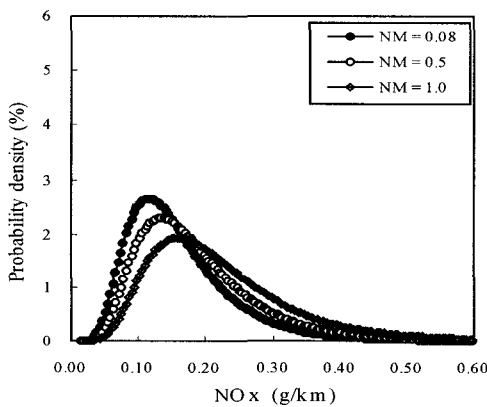


Fig. 10 NOx distribution with 30% failure rate

는다. 따라서, 대상차량이 무작위적으로 선정되는 결함확인검사에 있어서 충분히 안전함을 확인할 수 있다.

Table 4에 배출허용기준과 제작차 배출가스 목표치를 정리하였다. NMHC, CO, NOx의 제작차 목표치는 각각 허용기준의 49.1%, 39.6%, 46.4% 수준이었다. 이것은 실제 도로를 운행한 차량의 열화특성을 반영한 것이므로, 이 결과를 바탕으로 NMHC, CO, NOx의 80,000km 열화계수를 추정하면, 각각 1.75, 2.02, 1.38이다. 이는 통상 1.1~1.2 정도에 그치

Table 4 Target values of green vehicle emissions

[g/km]	NMHC	CO	NOx
Emission standards	0.16	2.1	0.25
Mean@80,000km	0.138	1.68	0.160
Target@6,400km	0.079	0.83	0.116
Estimated D.F.	1.75	2.02	1.38

는 인증내구 열화계수에 비해 매우 큰 값이며, 이 차이는 실제 도로 주행 조건이 인증내구모드 주행에 비해 배출가스의 열화에 훨씬 더 불리하다는 것을 의미한다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 US94규제를 만족하는 5종의 운행차의 배출가스 자료를 인용하여 운행차의 배출가스 열화 특성을 파악하고, 그 특성을 반영하여 제작차의 배출가스 목표치를 설정하였다. 그 결과를 종합하면 다음과 같다.

1) 운행차의 배출허용기준에 따라 변경되어야 하는 제작차의 배출가스 목표치를 설정하는 방법을 제시하였으며, 이는 배출허용기준을 만족하는 삼원촉매의 설계사양을 결정하는 수단으로 사용될 수 있다.

2) 본 연구에서 인용한 2.0~3.0liter급 5개 차종의 배출가스 열화특성을 회귀분석한 결과, 회귀직선 기울기의 대표값은 NMHC, CO, NOx에 대해 각각 2.592, -0.246, 2.181이며, 표준오차의 대표값은 각각 0.220, 0.290, 0.466이었다.

3) US94규제에 대한 제작차의 배출가스 목표치는 NMHC, CO, NOx에 대해 각각 0.079, 0.83, 0.116로 설정되었으며, 이것은 배출허용기준에 대해 각각 49.1%, 39.6%, 46.4%에 해당한다.

4) 설정된 제작차 배출가스 목표치를 바탕으로 추정된 80,000km 열화계수는 NMHC, CO, NOx에 대해 각각 1.75, 2.02, 1.38이었다.

5) 설정된 제작차 배출가스 목표치의 신뢰도를 높이기 위해서는 국내에서도 운행차 배출가스 자료의 database화가 추진되어야 한다.

#### References

- 1) P. Shady, Development of Automotive Catalysts Since 1985:Future of Catalysts and Emission Control into the 21st Century, SAE Catalysts, Emission Control & Catalytic Combustion TOPTEC, 1995.
- 2) Korean Ministry of Environment, A Comprehensive Measures for Vehicle Emissions, pp.

- 97-99, 1995.
- 3) Korea Institute of Machinery & Materials, A Study on the Establishment of Vehicle Emissions Standard after 2006, Korea Automobile Manufacturers Association, pp.3-9, 2002.
  - 4) Korean Ministry of Environment, Air Quality Preservation Act, 1999.
  - 5) J. P. Day, L. S. Socha, Jr., "Technique for the Analysis of FTP Emissions," SAE 920724, 1992.
  - 6) EPA, Regulatory Impact Analysis Control of Air Pollution from New Motor Vehicles: Tier2 Motor Vehicle Emissions Standards and Gasoline Sulfur Control Requirements(EPA420-R-99-023), 1999.
  - 7) H. W. Kim, "A Study on the Inference Model of In-use Vehicles Emission Distribution according to the Vehicle Mileage," Transactions of KSAE, Vol. 10, No.4, pp.85-92, 2002.
  - 8) EPA, Recall Data Base(EPA420-B-99-003), 1999.
  - 9) J. W. Barnes, Statistical Analysis for Engineers and Scientists, McGraw-Hill, Inc., pp.158-163, 1994.
  - 10) Korean Ministry of Environment, Bulletin of Ministry of Environment, No.1999-36, 1999.