

## 2-촉매 시스템에서의 촉매 용량 결정에 대한 실험적 연구 An Experimental Study on Determination of Capacity of Catalysts in 2-Catalyst System

고광호\*  
Kwang-Ho Ko\*

### <Abstract>

There are various method for the LEV(Low Emission Vehicle) regulation, but 2-catalyst system using one catalyst near exhaust manifold and another catalyst underfloor, is the most popular. This system uses the proven catalyst technology and doesn't use energy. But it is difficult to determine capacity of the two catalysts. So an optimization method to determine the capacity has been proposed by other researcher. It uses the fact that emission decreases with capacity increasing, but the decreasing ratio slows down in high capacity range. It means that the emission and capacity of catalyst is exponentially decreasing relation. In this paper, this method will be verified with various experiments. And this method was proven to be very useful to determine the capacity of two catalysts system.

**Key words : LEV, Catalyst, Capacity, Emission, Manifold**

### 1. 서론

자동차 배기가스에 대한 규제가 미국을 중심으로 점점 가혹해지고 있어 자동차 업계에서는 여러 가지 방법으로 그 규제에 대응하기 위해 노력하고 있다. 특히 미국 캘리포니아주에서는 4,000마일 주행한 차량의 NMOG(Non Methane Organic Gas)의 배출량을 0.075g/mile로 규제하고 있다. 이 규제를 LEV(Low Emission Vehicle) 규제라 부르는데,

이 규제를 만족시키기 위해 여러 가지 방법들이 제안되고 있다.

이런 방법들은 크게 엔진 배출가스 저감법과 후처리법으로 나눌 수 있는데, 이중 엔진 배출가스 저감법은 연소실을 개선하거나, 연료 미분화를 촉진하여 미연 연료 성분을 줄이거나, 공연비 정밀제어로 과도 운전상태에 대한 혼합비를 이론공연비로 제어하려는 것이다. 그러나 이 방법으로는 LEV 규제를 만족시키기 어렵기 때문에 주로 후처리법을 적용한다. 후

\* 대천대학 자동차·기계계열 조교수, 工碩  
서울대학교 대학원  
충남 보령시 주포면 관산리 산 6-7  
TEL : 041) 939-3161 kwangho@dcc.ac.kr

\* Daecheon college, Professor  
Master, Seoul National University  
San 6-7, Kwansan Ri, Jupo Nyun,  
Boruyng Si, Chungnam, South Korea

처리장치로는 산화·환원작용을 이용하여 유해성분을 정화하는 삼원촉매가 주로 사용되는데, 이 방법에는 특별한 에너지원 없이 촉매의 정화능력 향상을 도모하는 패시브 시스템(passive system)과 별도의 에너지원을 사용하여 정화능력을 향상시키는 액티브 시스템(active system)으로 나눌 수 있다. LEV 대응용 시스템중 2-촉매 시스템이 패시브 시스템, 전기 가열식 촉매가 액티브 시스템의 대표적인 방식이다.

이러한 후처리 장치중 특히 2-촉매 시스템이 LEV 대응용 시스템의 대표주자로 떠오르고 있는데<sup>1)</sup>, 이 시스템에서는 기존의 UCC(Underfloor Catalytic Converter)는 그냥 두고, 배기관에 근접하여 촉매(MCC: Manifold Catalytic Converter)를 장착하는 방식이다. 즉, 이 방식은 이미 성능과 내구성을 인정받았으며, 널리 적용되고 있는 촉매 기술을 그대로 사용한다는 장점이 있고, 또한 촉매 자체의 성능과 내구성을 향상시키기 위한 여러 가지 기술발전이 이루어지고 있기 때문에 많은 자동차 제조업체에서 이 시스템으로 LEV 규제를 대응하고 있으며, ULEV (Ultra Low Emission Vehicle)규제도 만족했다는 보고도 있다<sup>1)</sup>.

본 연구에서는 1800cc 엔진을 탑재한 승용차에서 LEV 규제를 대응하기 위한 2-촉매 시스템의 촉매 용량 배분방법을 실험적으로 규명해 보았다. 용량 분배 방법은 이미 다른 연구자에 의해 제안되었으며, 본 연구에서는 제시된 방법을 실험으로 확인하고 검증해 보기로 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1. 자동차 배기가스 후처리 기술 동향

앞에서 살펴본 2-촉매 시스템외에도 촉매 기술을 이용한 몇가지 시스템은 아직 업계에서도 여전히 그 가능성을 모색중에 있으므로 간단히 이들 시스템들의 동향에 대해 살펴보기로 한다. 우선 대표적인 후처리 시스템으로는 Fig. 1, 2, 3과 같은 2-촉매 시스템, EHC (Electrically Heated Catalyst) 시스템 및 버너 시스템이 있다. 2-촉매 시스템을 제외하고는

모두 액티브 시스템의 일종이다.

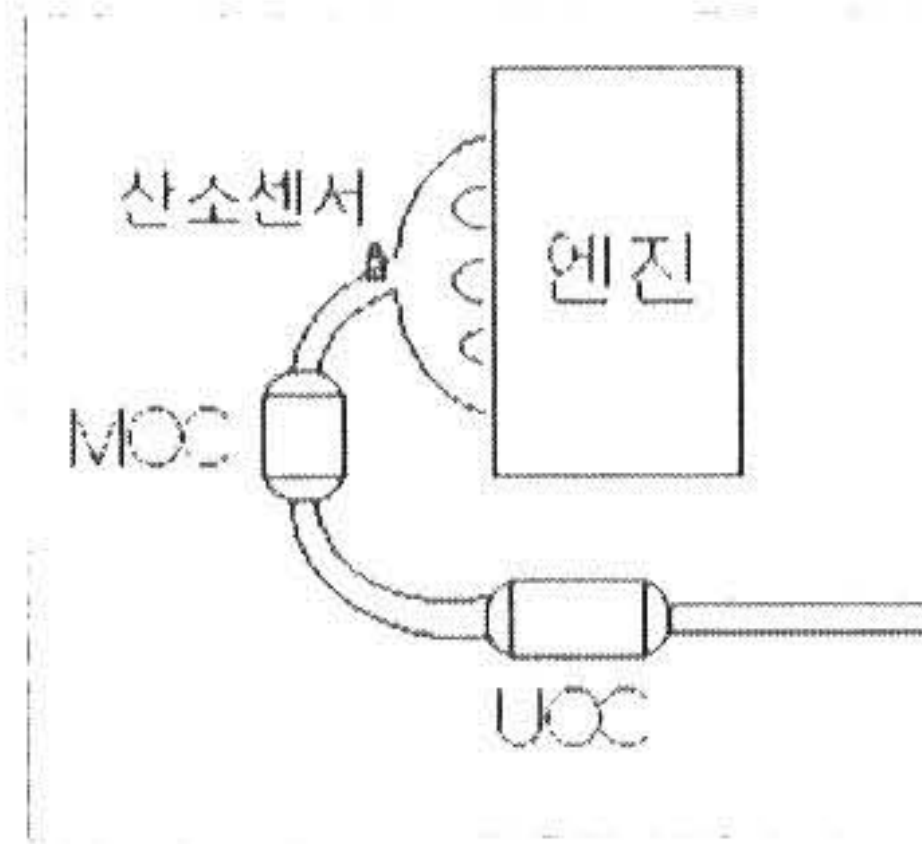


Fig. 1 2-촉매 시스템

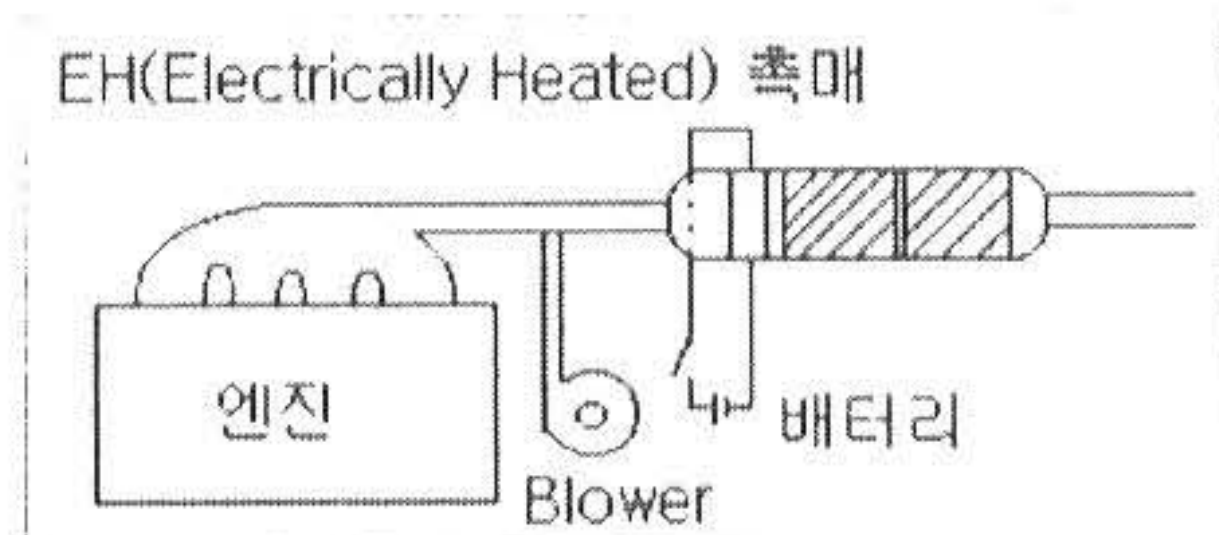


Fig. 2 EHC 시스템

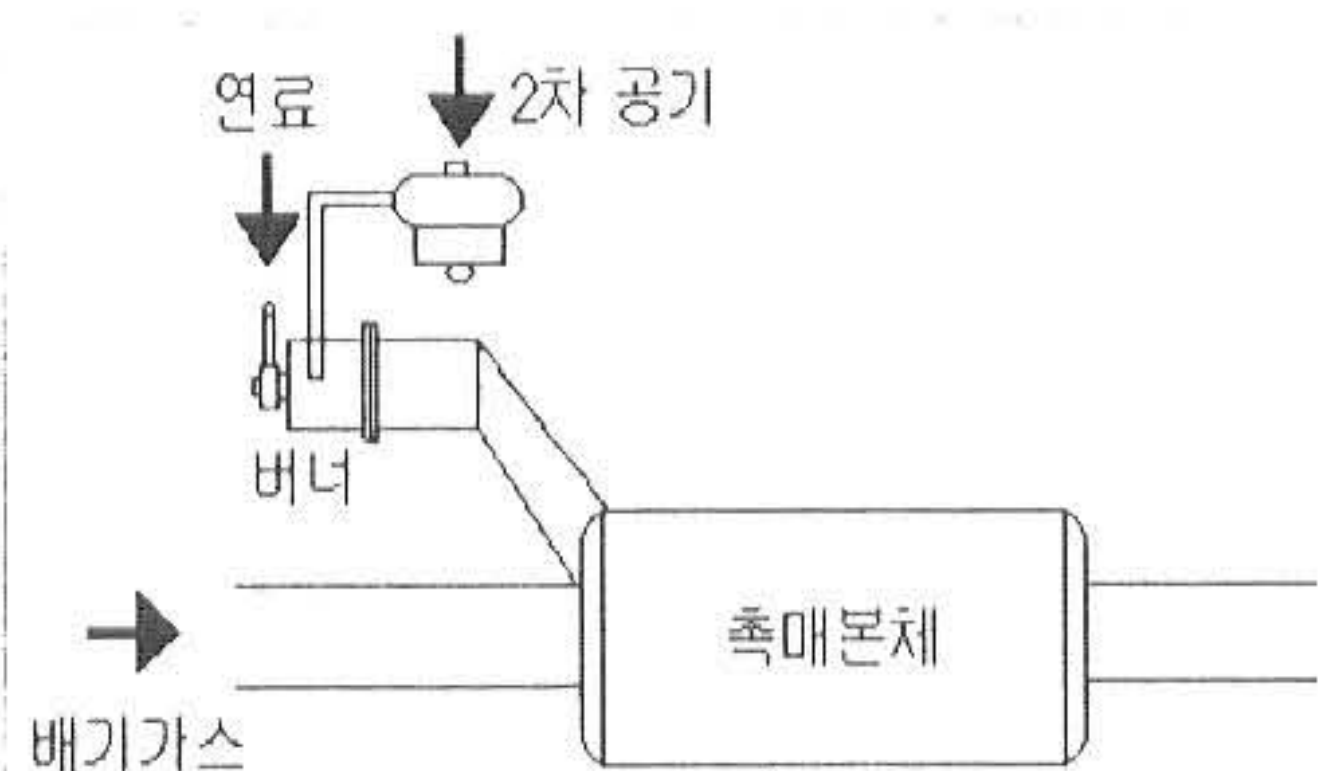


Fig. 3 버너 시스템

90년대 초에는 LEV 이상의 규제를 대응하기 위해서 EHC와 같은 시스템을 장착해야 할 것으로 예상되었으나, 구조가 복잡하여 차량전체의 레이아웃을 변경해야 하는 어려움이 있고, Fig. 4에 있는 BMW社의 비용분석 결과를 보아도 2-촉매 시스템에 비해 타 시스템은 월등히 높은 비용을 필요로 하므로, 3000cc 이상의 대형 차량을 제외하고는 그 적용이 불투명한 상태이다<sup>2)</sup>. 또한 Fig.5의 미국 CARB (California Resource Board)에서 분석한 제조업체별 후처리 장치 종류에 대한 비율을 보아도 In-line 4기통 형식의 경우에는 100% 2-촉매 시스템을 사용하며, V6 엔진의 경우에는

뱅크별로 MCC를 장착한 후 기존의 UCC를 적용하는 변형된 2-촉매 방식이 80%를 차지한다. 따라서 LEV 규제를 만족시키기 위한 대표적인 시스템의 형태가 2-촉매 시스템이라는 것을 알 수 있다<sup>2)</sup>.

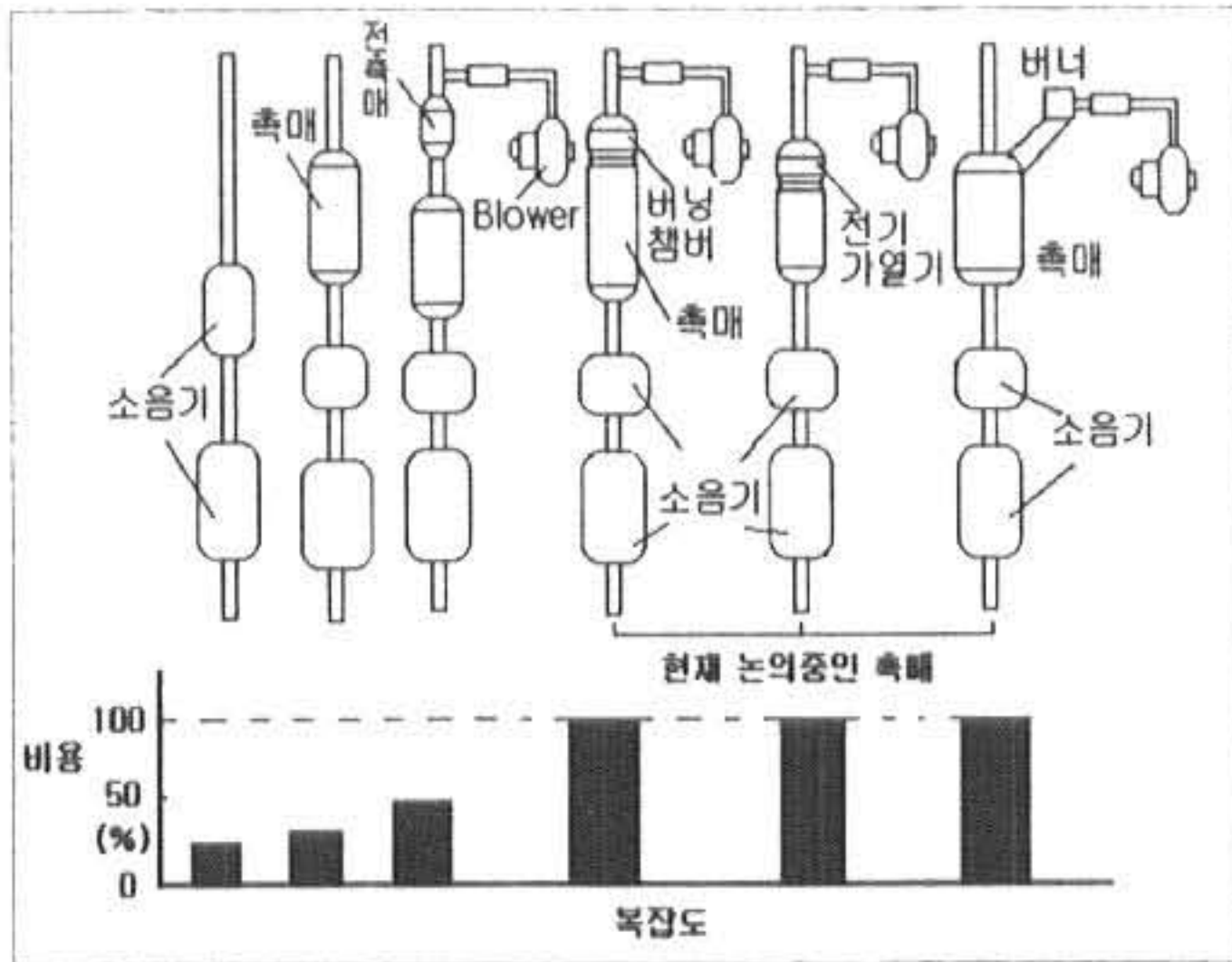


Fig. 4 촉매 시스템에 따른 비용 분석결과(BMW社)

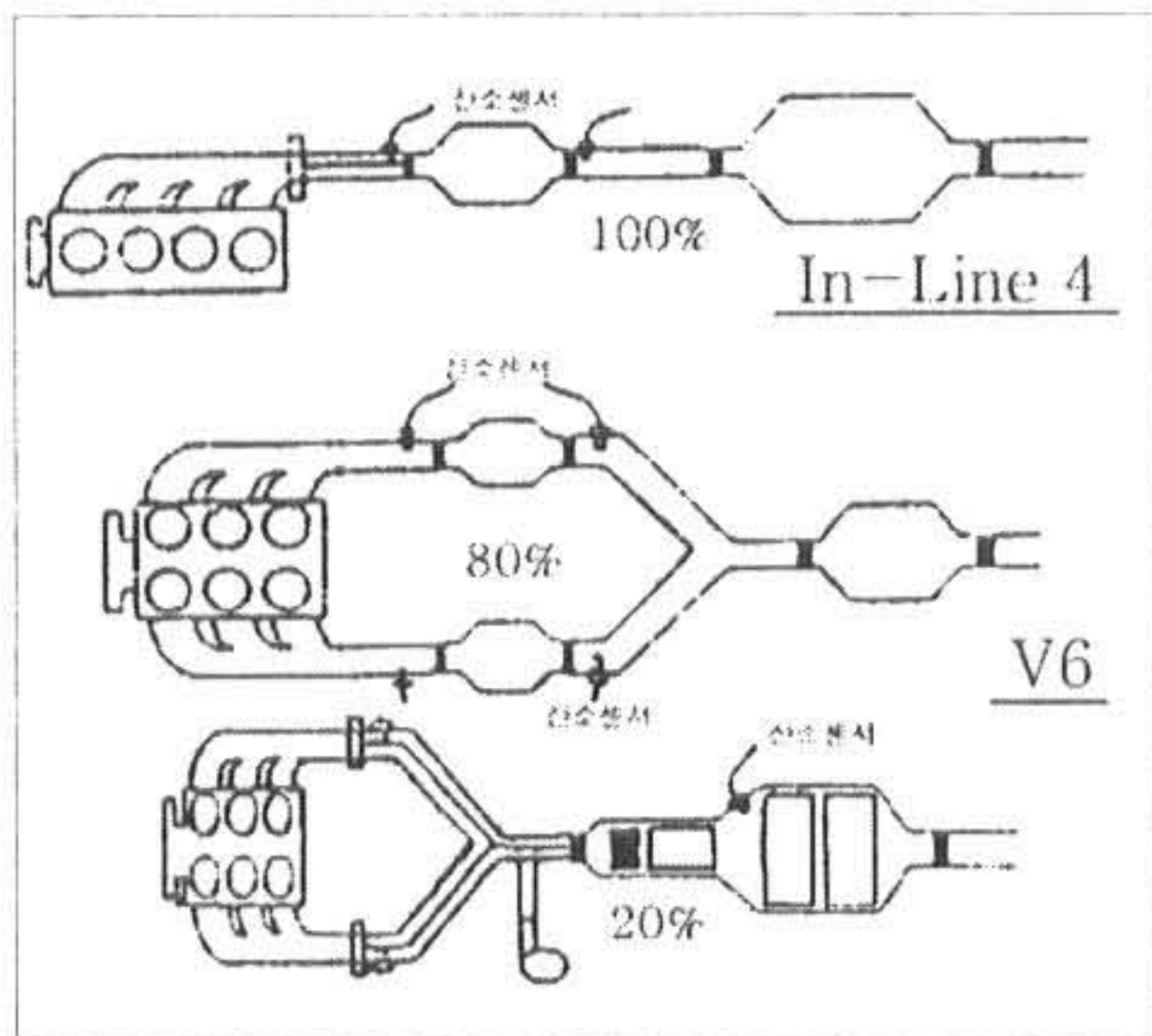


Fig. 5 제조사별 후처리장치의 비용 분석결과(CARB)

### 2.2. 2-촉매 시스템의 최적화 실험

본 실험에 사용된 차량은 국내 K사의 S모델로써, 1800cc DOHC 엔진을 사용하였다. 시험은 FTP(Federal Test Procedure)로써, 상온 LA4 모드로 그 배기가스 성능을 평가하였다. 구체적인 엔진 배기계의 형태는 Fig. 6과 같다. 이 차량의 THC 엔진 배출 목표치의 수준은 1.5g/mile이며, 4,000마일 주행후에는 보통의 촉매 정화율이 96% 수준이므로 0.06g/mile

정도의 배출가스 수준을 얻을 수 있다. 또한 THC와 NMOG의 비율은 보통 1.02 수준이므로 이 경우 NMOG는 약 0.059g/mile 정도이다<sup>3)</sup>. 따라서 문헌 조사의 결과로는 2-촉매 시스템에서도 LEV 규제에 대한 대응이 가능하다는 결론을 얻을 수 있다.

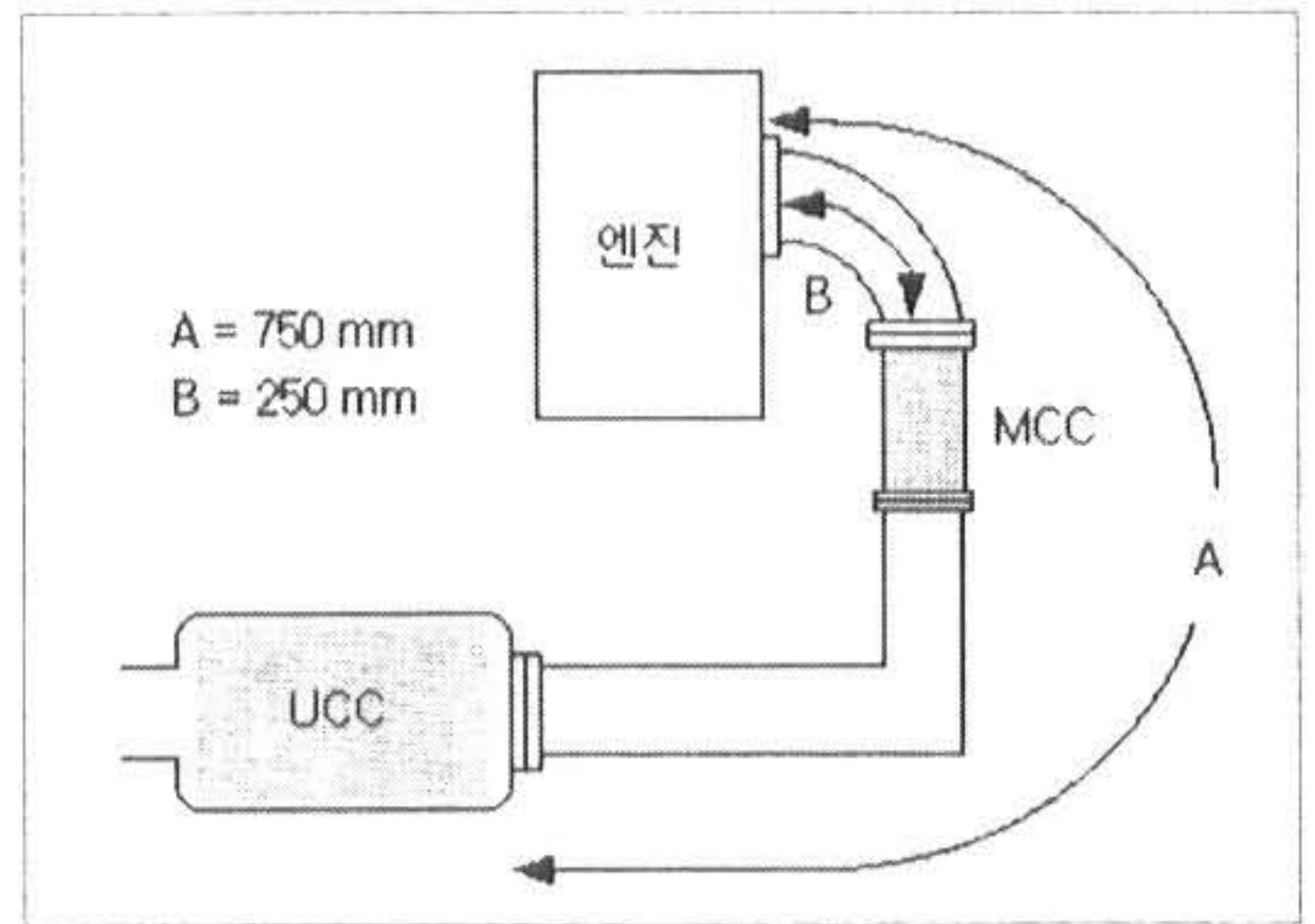


Fig. 6 실험에 사용된 차량의 배기계 개략도

일단 문헌 조사 결과에서 긍정적인 결과를 얻었으므로, 2-촉매 시스템에서 MCC와 UCC의 사양과 용량 결정이 이슈가 된다. 촉매의 사양은 일단 Pt/Rh=5/1의 비율을 사용하며, 로딩량이 MCC 1.6g/L, UCC 1.5g/L인 E사의 제품을 사용하기로 하였다.

촉매의 용량(체적)을 증가시키면 배출 가스는 감소하지만, 용량을 크게 증가시켜도 배출되는 배출 가스는 여전히 존재하므로 촉매용량과 배출 가스 사이에는 지수 감소적인 관계가 있다고 예상할 수 있다. 즉, 촉매를 전혀 사용하지 않았을 때(용량=0)는 엔진 배출가스 수준으로 배출가스가 나오므로, 배출가스( $EM[g/mile]$ )와 촉매용량( $X[L]$ ) 사이에는 다음의 관계가 성립한다<sup>4)</sup>.

$$EM = a + b \times \exp(-c \cdot X) \quad (1)$$

여기서  $a, b, c$ 는 각각 실험으로 결정되는 상수이다. 따라서, 용량  $X$ 와  $EM$  수준간의 3개의 실험결과만 있으면, 상수  $a, b, c$ 를 결정할 수 있으므로 가장 간단하게는 UCC용량과 MCC용량을 합하여 3가지 값에 대해서만 배출가스 수준을 찾아내면 될 것이다.

그러나, 실험결과의 오차나, 분포 특성까지 고려하여야 하므로, 본 실험에서는 MCC용량이 0, 0.25L, 0.5L, UCC용량이 0, 1.0L, 2.0L인 경우에 대해 각각 실험하였다. 실험은 한 조합에 대해 2~3회 반복하여 대표값을 선정하였으며, 사용된 축매는 모두 4,000마일 상당으로 열화시킨 것이다. 실험 조합을 Table 1에 정리하였는데, Table에서도 알수 있듯이 9개의 축매용량에 대한 배출가스 실험을 실시하였다.

Table 1. 실험에 사용된 전체 축매용량(L)

UCC \ MCC	0.0L	1.0L	2.0L
0.00L	0	1.0	2.0
0.25L	0.25	1.25	2.25
0.50L	0.5	1.5	2.5

2.3. 실험결과 및 분석

실험은 FTP에 의거한 LA4 모드로 실시하였으며, CO와 NOx의 경우는 그 결과가 규제치보다 상당히 낮은 수준이므로, THC의 배출수준(g/mile)과 정화율(%)만 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. 축매용량 변화에 따른 THC 배출수준과 정화율

UCC \ MCC	0 L	1.0 L	2.0 L	비 고
0 L	2.207	0.147/93.3	0.119/94.6	배출량 (g/mile) /정화율(%)
0.25 L	0.288/86.9	0.100/95.5	0.074/96.6	
0.5 L	0.154/93.0	0.079/96.4	0.058/97.4	

Table 2의 데이터를 이용하여 상수값 a, b, c를 결정해야 한다. UCC의 체적을 0, 1.0, 2.0L로 고정하고, MCC의 용량을 증가시켰을 때의 상수값을 구하면 각각 Table 4와 같다.

Table 5. UCC용량을 고정했을 때의 상수계산 결과

UCC체적 (L)	상수값			비 고
	a	b	c	
0.0	0.085	0.597	-4.312	식(1)에서 X의 값이 MCC의 용량값이 된다.
1.0	0.062	0.085	-3.223	
2.0	0.043	0.064	-2.896	

즉, 상수값 a, b, c를 (2)식에 대입하고, MCC

$$THC(g/mile) = a + b \times \exp(-c \cdot X) \quad (2)$$

의 용량을 (2)식의 X에 대입하면, UCC=0L일 때( MCC만 사용하는 경우) MCC 용량의 증가에 따른 THC의 배출량을 계산할 수 있고, 같은 방법으로 UCC=1.0L 및 2.0L로 고정하고, MCC의 용량을 증가시켰을 때의 THC 배출량을 예측할 수 있다. 또한 축매의 정화율은 (3)식으로 계산할 수 있다.

$$\text{정화율}(\%) = \frac{THC_{RAW} - THC_{CATA}}{THC_{RAW}} \times 100 \quad (3)$$

단,  $THC_{RAW}$ 는 축매를 전혀 사용하지 않았을 때의 THC 배출량이고,  $THC_{CATA}$ 는 축매가 있는 경우의 THC 배출량이다.

이상과 같이 THC의 배출량과 정화율을 MCC 용량의 변화에 따라 도시해 보면 Fig. 7, 8과 같다. 예를 들어 Fig 8의 정화율 그래프에서 4,000마일 목표 정화율 96%를 얻기 위해서는, UCC 1L의 경우 MCC 0.8L를 사용해야 하며, UCC가 없는 경우에는 MCC 용량을 크게 증가시켜도 정화율 96%를 얻기가 어렵다는 것을 알 수 있다. 또한 2L의 UCC를 사용하면 0.35L 정도의 MCC만 사용하여도 96% 정화율을 얻을 수가 있다.

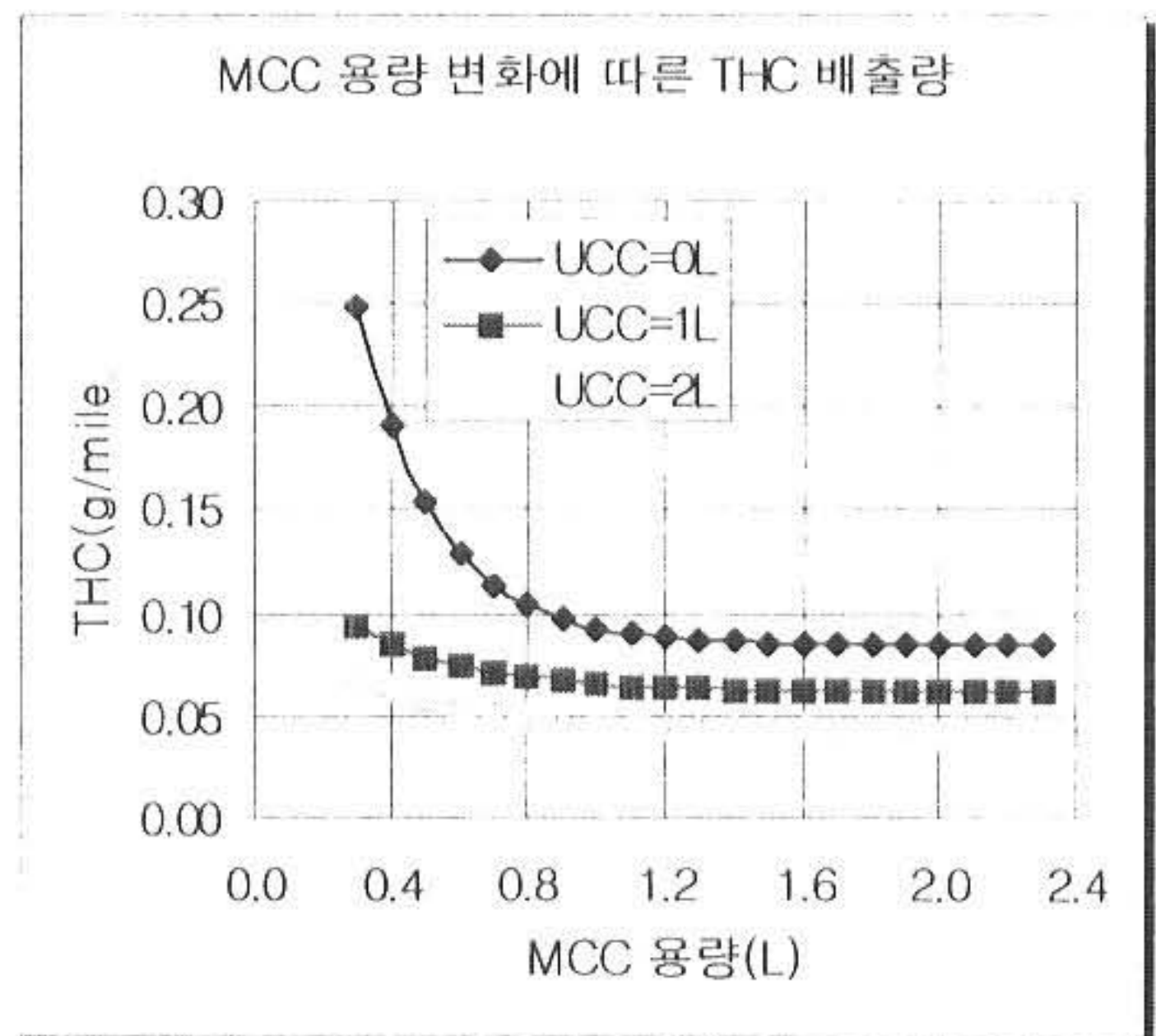


Fig. 7 MCC용량 변화에 따른 THC 배출량

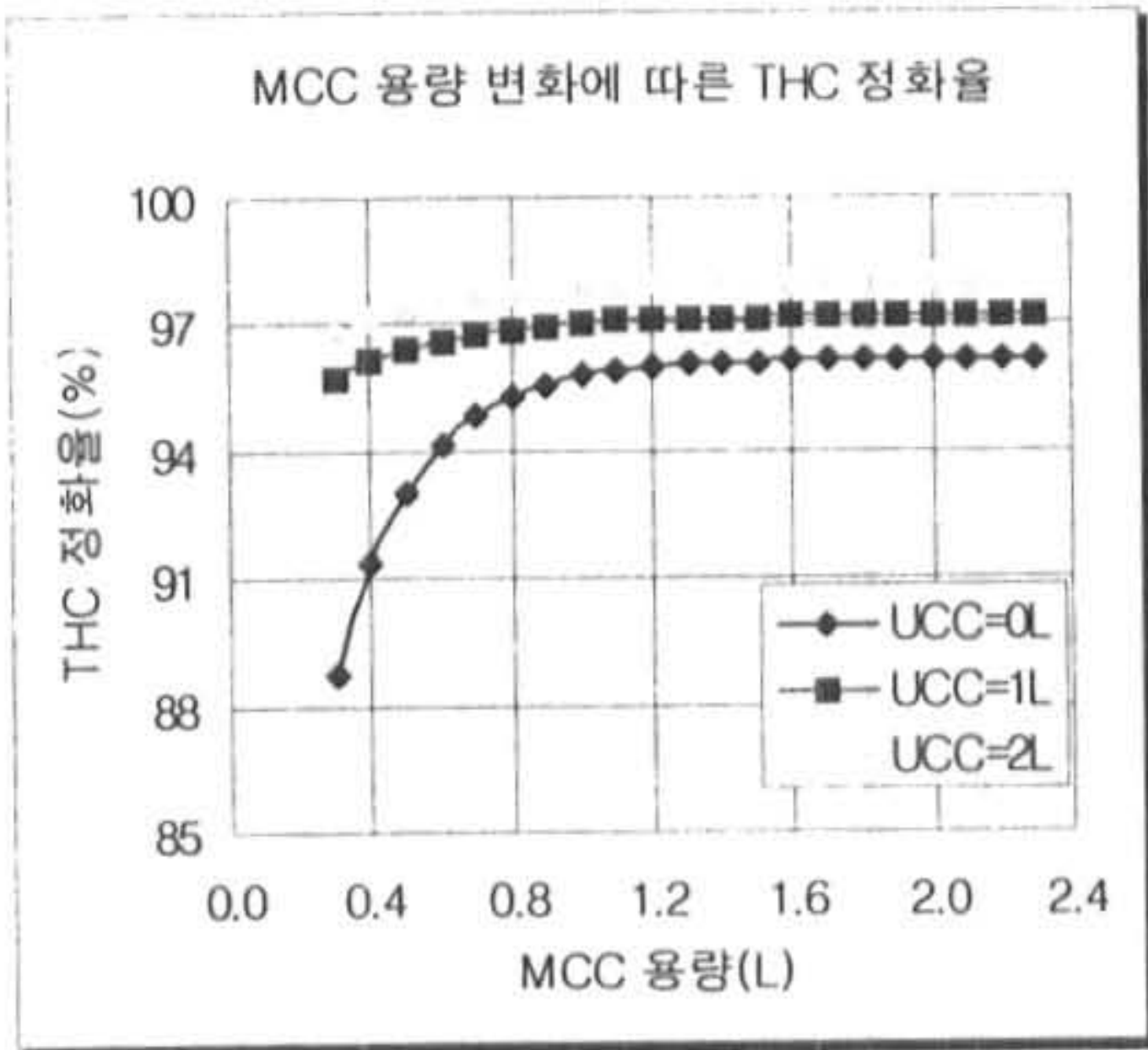


Fig. 8 MCC용량 변화에 따른 THC 정화율

Table 4. MCC 용량을 고정했을 때의 상수 계산 결과

MCC체적 (L)	상수값			비 고
	a	b	c	
0.0	0.052	0.137	0.736	식(1)에서 X의 값이 UCC의 용량값이 된다.
0.25	0.063	0.534	12.79	
0.50	0.689	0.389	4.817	

마찬가지의 방법으로 MCC의 용량을 0L, 0.25L, 0.50L로 고정하고, UCC의 용량을 변화시켰을 때 얻어지는 상수값  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 는 Table 4와 같이 계산할 수 있다.

Table 4에서의 상수값을 이용해 같은 방법으로 UCC의 용량에 따른 THC의 배출량과 정화율을 계산할 수 있다.

이상과 같은 방법으로 일단 UCC와 MCC의 용량변화에 따른 THC의 배출량 및 정화율을 계산할 수는 있으나, 이렇게 결정된 촉매의 용량 분포의 조합은 다양하게 결정된다. 따라서 단순히 위에서 언급된 방식외에도 촉매 용량 변화에 따른 비용의 증감과 각 용량에 해당하는 촉매를 차량에 장착할 수 있는 여유공간이 확보되는지를 충분히 검토해야 할 것이다.

### 3. 결론

LEV 규제 대응을 위해 가장 널리 사용되고 있는 MCC-UCC의 2-촉매 시스템에 있어 각 촉매의 용량을 결정하기 위해 제안된 이론을

실험적으로 검증해 보았다. 배출가스의 양이 촉매 용량에 따라 감소하나, 용량이 클수록 그 감소속도가 감소함을 이용하여 촉매용량과 배출가스량이 지수감소적인 관계에 있다는 가정하에 식(1)이 제안되었다. 본 연구에서는 촉매용량을 변화시킨 9가지 실험결과를 이용하여 상수  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 를 결정할 수 있음을 확인하였다.

이상과 같이 결정된 상수를 이용하여 촉매 용량변화에 따른 배출가스 변화를 예측할 수 있으므로 목표 배출량과 정화율을 얻을 수 있는 촉매의 용량을 손쉽게 결정할 수 있었다. 그러나, 단순히 촉매용량과 배출수준만을 가지고 사양을 고정하는 것은 위험한 일이며, 이때 비용과 차량 레이아웃과 관련된 고려사항을 하나씩 검토해 나가는 것이 필요할 것이다.

### 참고 문헌

- 1) LEV/ULEV Emission Technologies, SAE SP-1044, 1994
- 2) Developments and Advances in Emission Control Technology, SAE SP-1120, 1995
- 3) Kummer, J. : Catalysts for Automobile Emission Control. Prog. Energy Combust. Sci., vol. 6, pp. 177-199, 1991.
- 4) Herman Weltens : Optimization of Catalytic Converter Capacity, SAE 930780
- 5) Cadle, 5. H., Nobel, G. and Williams, R.: Measurements of Unregulated Emissions from General Motors' Light-Duty Vehicles. SAE paper 790694, SAE Trans., vol.88, 1979.
- 6) J.C. Summers, W.B. Williamson and J.A. Scaparo : The role of Durability and Evaluation Condition on the Performance of Pt/Rh and Pd/Rh Automotive Catalysts, SAE paper 900495

(2002년 10월 17일 접수, 2003년 1월 20일 채택)