

PZEV 대응 증발가스 흡착필터의 부탄 흡탈착 능력 평가

김 덕 중¹⁾ · 이 기 수²⁾ · 김 현 철²⁾ · 허 형 석²⁾ · 나 병 철²⁾ · 최 승 배³⁾ · 나 완 용⁴⁾ · 조 용 석¹⁾

국민대학교 자동차공학전문대학원¹⁾ · 자동차부품연구원²⁾ · (주)만엔휴멜동우³⁾ · 신성대학교⁴⁾

Butane Working Capacity Evaluation of HC Adsorption Filter for Evaporative Gas to Satisfy PZEV Regulation

Deokjung Kim¹⁾ · Geesoo Lee²⁾ · Hyunchul Kim²⁾ · Hyungseok Heo²⁾ · Byungchul Na²⁾ ·
Seungbae Choi³⁾ · Wanyong Ra⁴⁾ · Yongseok Cho¹⁾

¹⁾Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

²⁾Korea Automotive Technology Institute, 74 Yongjeong-ri, Pungse-myeon, Cheonan-si, Chungnam 330-912, Korea

³⁾Mann+hummel Dong Woo Co., Ltd, 612-2 Geumeo-ri, Pogok-eup, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi 449-812, Korea

⁴⁾Shinsung College, Chungnam 343-861, Korea

(Received 23 December 2008 / Accepted 3 February 2009)

Abstract : The continued rise in the number of automobiles on the roads is prompting air pollution to emerge as a serious problem due to the harmful exhaust gas emissions throughout the world. Specifically, based on the exhaust gas regulation in North America represented by PZEV, the regulation on evaporative emission, which originates from the intake manifold system when the engine is stopped, is substantially being intensified. And the technology that can meet and satisfy these regulations has been needed. This study aimed to analyze and evaluate the butane working capacity (BWC) of HC adsorption filter according to the shape of it, which was developed to reduce evaporative emission, and the effect of HC adsorption filter on the engine performance. As a results, HC adsorption filter of the plate type, which was improved compared to that of the corrugated type and also became thinner, indicates higher absorption performance compared to the corrugated one. The absorption performance of the honeycomb type, derived from improving the shape of plate type, is 33.5% higher than that of the corrugated type. However, there was no significant difference in engine performance in all shapes.

Key words : PZEV(Partial Zero Emission Vehicle), Evaporative gas(증발가스), Activated carbon(활성탄), Hydrocarbon adsorption filter(HC 흡착필터), BWC(부탄 흡탈착 능력), Air intake system(흡기시스템)

Nomenclature

NE : engine rpm, rev/min

ΔP : pressure drop, mmAq

P : engine power, HP

Q : air flow rate, L/min

T : engine torque, N·m

WL : loading weight, g

t : time, min

1. 서 론

세계 각국은 자동차의 증가와 함께 자동차로부터 배출되는 유해 배기가스에 의한 대기 오염문제가 심각하게 대두됨에 따라 배출가스에 대한 규제를 시행하고 있다. 현재 가장 대표적인 배출가스 규제

*Corresponding author, E-mail: kimdj@katech.re.kr

로는 PZEV로 대표되는 북미의 배출가스 규제로 배출가스 규제와 더불어 차량 엔진 정지 시 흡기시스템을 통해 배출되는 소량의 증발가스에 대한 규제를 대폭 강화하고 있다. 엔진 정지 직후 분사된 연료는 엔진의 열에 의해 충분히 기화되어 있으며, 기화된 증발가스는 역으로 에어크리너를 거쳐 대기로 방출되게 된다. 시동이 꺼지면서 발생되는 증발가스가 HC 흡착필터에 흡착되는 과정을 Fig. 1에 나타내었다. HC 흡착필터는 흡착 작용을 하는 기본 물질에 따라 활성탄소계와 Zeolite계로 구분하며 활성탄소계는 활성탄을 필터에 도포하거나 활성 탄소섬유를 직접 사용하기도 한다.¹⁾

Kunitaka Maeda는 HC 흡착필터를 흡기 다기관 내 장착 위치에 따른 증발가스 흡착 성능 및 엔진에 미치는 영향의 연구 결과를 발표하였으며,²⁾ 일본의 Hideaki itakura는 흡기시스템의 형태를 변화시키면서 엔진에서 발생되는 증발가스를 각 측정 포인트에서 측정 후 증발가스의 성분 분석으로부터 LEV II 규제에 만족할 수 있는 활성탄 캐ニ스터 연구 결과를 발표하였다.^{3,4)} Jef lebowitz는 활성탄 흡착성능 시험 방법인 Butane Working Capacity(BWC)를 사용하여 증발가스 흡착성능에 대한 연구 결과를 발표하였다.⁵⁾ 국내에서는 가솔린 엔진이 작동하는 동안 활성탄 캐ニ스터 조건과 엔진 성능 사이의 관계를 평가하고 증발가스가 가솔린 엔진의 성능에 미치는 영향의 연구⁶⁾에 대한 증발가스 발생원리 및 저감방법 등에 대한 연구결과를 발표하였다.¹⁾

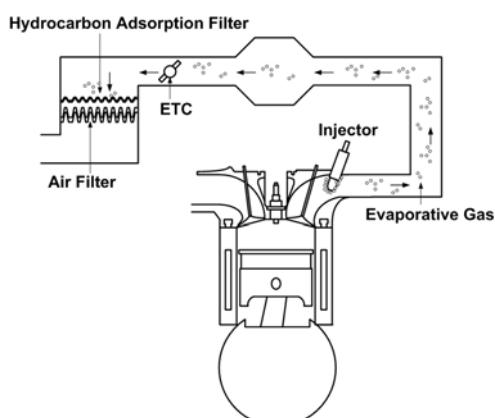


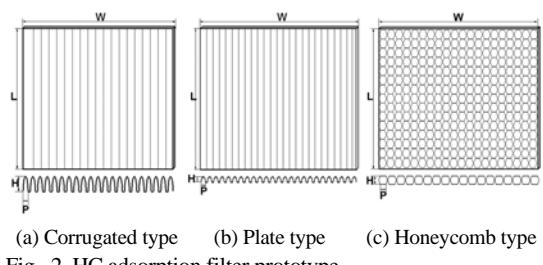
Fig. 1 Process of evaporative gas generation from air intake system

본 연구에서는 증발가스 저감을 위해 개발된 HC 흡착필터를 에어크리너 필터 위에 덧붙이는 방식을 채택하여 HC 흡착필터 형상 변경을 통한 흡착성능 및 HC 흡착필터 장착이 엔진 출력에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 시험장치 및 시험방법

2.1 시험 장치 구성

Fig. 2는 시험에 사용된 HC 흡착필터 형상이며 3.3L 엔진의 에어크리너 어셈블리에 장착 할 수 있도록 간단한 구조로 제작되었다. 개발된 HC 흡착필터는 효과적으로 증발가스를 흡착시킬 수 있는 반면에 흡기저항을 유발하는 단점을 가지고 있다. HC 흡착필터 형상에 따라 주름진 형(Corrugated Type), 판 형(Plate Type), 벌집 형(Honeycomb Type)으로 나뉘며 HC 흡착필터 사양을 Table 1에 나타내었다. 개발된 HC 흡착필터의 BWC 성능을 평가할 수 있는 시험 장치인 Bench Aging System의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 4의 BWC 성능 평가 장비는 HC 흡착필터에 부탄과 질소의 혼합 가스를 공급하여 흡착 및 탈착 성능시험이 가능한 시험장비이다. 시험장비는 부탄, 질소(0~700 ml/min), 공기(0~600 l/min) 중 택일하여 사용 가능한 가스공급시스템과 유량제어시스템, 중량을 측정 할 수 있는 전자저울로 구성되어져 있다. HC 흡착필터 장착 전, 후의 엔진 동력 성능 영향도 평가를 하기 위한 엔진 동력계



(a) Corrugated type (b) Plate type (c) Honeycomb type
Fig. 2 HC adsorption filter prototype

Table 1 HC adsorption filter specification

Model	Width (cm)	Length (cm)	Pitch (cm)	Height (cm)
Corrugated type	17	18	0.5	1.5
Plate type	18.5	16.5	0.5	0.4
Honeycomb type	18	16	0.5	1

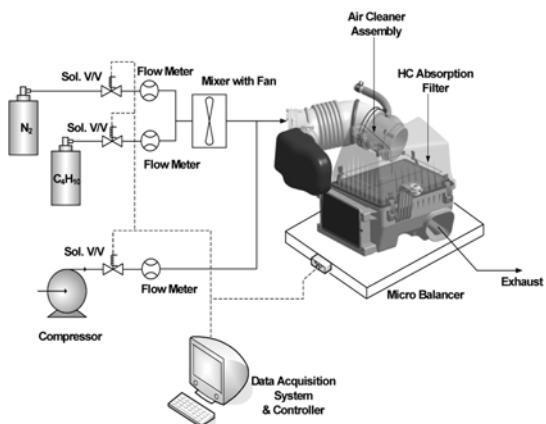


Fig. 3 Schematic diagram of BWC test



Fig. 4 Photo of BWC experimental set-up

의 사양 및 시험 장치 사진을 Table 2와 Fig. 5에 나타내었다.

Table 2 Engine test bench specification

Type	Water brake dynamometer
Model	XD-211
Speed & Power	6000 rpm & 700 hp
Throttle actuator	± 25 rpm
Input shaft	1.25 inch

2.2 시험 방법

2.2.1 BWC 성능 평가

BWC 성능 평가는 HC 흡착필터의 흡착 성능시험을 위하여 BWC 성능 평가 방법으로 개발된 ASTM D5228-92(2000) 규격을 토대로 흡기시스템에 맞게 수정 보완해서 적용하였다.⁷⁾



Fig. 5 Photo of engine test bench

BWC 시험 방법은 HC 가스와 유사한 특성을 가진 부탄이 활성탄에 어느 정도 흡착되는지를 평가하는 기준으로 BWC 성능은 HC 흡착필터의 흡착 및 탈착 반복성능으로 판단된다. 에어크리너 어셈블리에 장착된 주름진 형, 판 형, 벌집 형의 HC 흡착필터에 부탄과 질소를 혼합하여 공급한 후 흡착 및 탈착을 반복하여 혼합가스 공급 전, 후의 중량 차이를 측정하여 흡착 성능을 평가하였다.

흡착 성능시험 단계는 크게 안정화, 흡착, 탈착 총 3단계로 이루어지며 안정화 단계는 시료 장착 후 전자저울의 안정화 및 시험의 정확도를 높이기 위하여 흡착필터에 흡착되어 있는 이물질을 제거하는 단계이다. 흡착 단계에서는 가속시험을 수행하기 위하여 일반적인 차량의 인젝터 연료 누설량($0.0016 \text{ ml}/\text{min}$)¹⁾으로부터 발생되는 HC 가스의 약 100,000 배 정도의 $176 \text{ ml}/\text{min}$ (부탄 50% + 질소 50%) 혼합가스를 공급하여 시료 중량변화가 $0.1 \text{ g}/10\text{min}$ 로 흡착량이 안정화 될 때까지 중량을 측정하며, 탈착 단계에서는 주 운전 구간인 1270 rpm에서 측정된 흡입 공기유량 값을 적용한 $563 \text{ l}/\text{min}$ 유량으로 깨끗한 공기를 공급하여 20분간 강제 탈착을 시키게 된다.

2.2.2 엔진 동력성능 영향도 평가

HC 흡착필터 장착 엔진크리너 단품을 대상으로 흡착필터 전, 후단의 차압을 측정하는 동시에 HC 흡착필터 장착이 엔진 출력에 미치는 영향을 평가하기 위하여 3.3L 가솔린 엔진을 대상으로 3종류의 HC 흡착필터 장착 전, 후의 엔진의 파워 및 출력에 대한 동력성능 영향도 평가를 수행하였다. 엔진 동

력성능 영향도 평가는 자동차 기관출력 실험방법 (KS R 0071)을 토대로 실험에 앞서 권장된 엔진 길들이기 운전을 실시하였고, 엔진 회전수 2,000 rpm~5,000 rpm까지 단계적으로 상승시키며 안정화된 상태에서 각각의 회전수당 엔진 성능평가 요소들을 측정한 후 기록하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 HC 흡착필터 BWC 성능 평가

Fig. 6은 BWC 성능 평가 시 탈착유량을 선정하기 위하여 공인된 연비모드인 FTP-75 모드에서 엔진 회전수에 대한 흡입공기량을 측정한 결과이며 측정 결과를 바탕으로 엔진의 주 운전구간에서의 흡입 공기량을 계산한 결과 1,270 rpm에서 흡입 공기량은 563 ℓ/min로 나타났으며, 이 값을 탈착 유량으로 선정하였다.

Fig. 7은 주름진 형의 HC 흡착필터를 대상으로 흡착 공급 유량에 대한 BWC 성능 평가에 대한 결과이며 공급유량을 부탄 50%, 질소 50% 비율로 혼합하여 88 ml/min, 176 ml/min, 300 ml/min, 500 ml/min로 변화시킴에서 평가를 하였다. 흡착 공급유량 증가로 인하여 활성탄 고유의 수명이 단축되어 흡착 성능 감소 및 시험 시간이 단축되는 결과를 나타냈다. 공급유량 88 ml/min와 176 ml/min의 흡착량은 비슷한 결과가 나왔으나 시험시간을 고려할 때 176 ml/min을 공급유량으로 선정하기에 적합하였다.

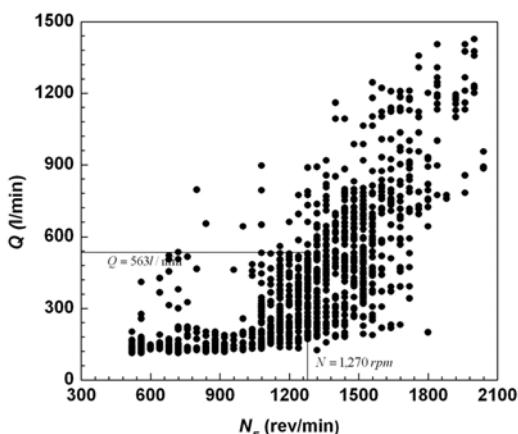


Fig. 6 Air flow rate measurements on FTP-75 driving cycle

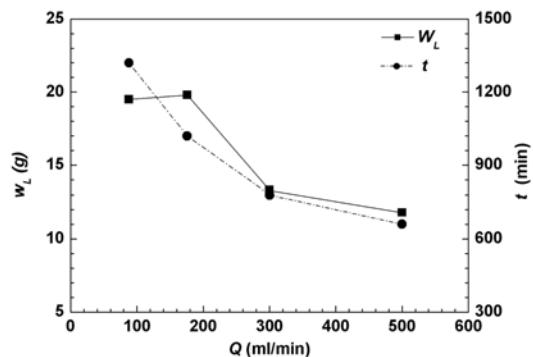


Fig. 7 Adsorption loading weight and test time with flow rate

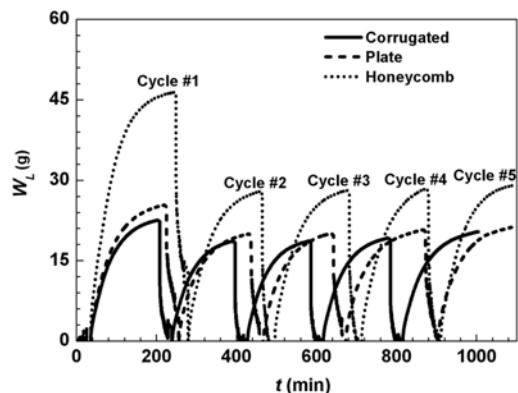


Fig. 8 BWC test results of HC Adsorption filter

흡착필터 형상이 다른 3 종류의 주름진 형, 판 형, 벌집 형의 HC 흡착필터에 대한 BWC 성능 평가 결과를 각 Cycle 별로 정리하여 Fig. 8에 나타내었으며 시험 시간은 약 15시간으로 HC 흡착필터의 흡착 및 탈착량을 측정하였다. 주름진 형의 HC 흡착필터는 Cycle #1에서 가장 높은 약 21.0 g의 흡착성을 보였다. 전 Cycle에서의 평균 흡착량은 약 19.8 g으로 나타났으며 Cycle #2~Cycle #5로 진행되면서 점점 안정화가 진행되어 거의 비슷한 흡착성을 보였다. 이는 흡착필터에 붙어 있는 활성탄의 초기 성능은 우수하나 흡, 탈착 반복시험으로 인하여 탈착 단계 시 활성탄에 흡착된 증발가스가 완전 탈착이 되지 않아 Cycle #2~cycle #5의 흡착성이 초기 흡착 성능보다 감소하는 결과로 나타났다. 판 형의 HC 흡착필터는 주름진 형과 마찬가지로 Cycle #1에서 가장 높은 약 24.0 g의 흡착성을 보였으며, 평균 흡

착량은 약 21.5 g으로 나타났다. 별집형의 HC 흡착필터에서 전 Cycle를 비교했을 시 Cycle #1에서 약 48.0 g의 높은 흡착 성능을 보였으며 평균 흡착량은 26.4 g으로 나타났다. HC 흡착필터 중 초기 모델인 주름진 형에 비해 개선된 판형의 HC 흡착필터는 두께를 크게 감소시켰음에도 불구하고 조밀한 구조로 제작함으로써 흡착 성능은 동등 이상의 결과가 나왔다. 별집형의 HC 흡착필터의 흡착 성능이 가장 높게 나왔는데, 이는 흡착필터 형상을 별집 모양으로 개선함과 동시에 나노크기 및 기공구조로 설계한 분말을 활성탄의 원료로 이용하여 마이크로 크기로 성장시킨 구형의 복합물인 나노 탄소복합체를 사용함으로 인하여 증발가스의 흡착성이 높아진 것으로 나타났다.

Fig. 9는 흡착 및 탈착 반복시험에 따른 각 Cycle 별 흡착 성능 감소 결과이며 별집형의 흡착 성능이 가장 큰 폭으로 감소하는 것을 알 수 있다. BWC Heel은 흡, 탈착 단계를 거치면서 HC 흡착 필터에 남은 증발가스의 잔량을 의미하며 HC 흡착필터에 흡착된 증발가스를 탈착시키는데 필요한 시간과 에너지는 제한되어 있기 때문에 증발가스가 완전히 탈착 되지 않는다고 판단된다. 시간이 지나면서 Heel은 고분자 성분의 증기압이 낮은 성분으로 대체되어 결국 이 무효 잔량이 일정수준을 유지하면서 흡착 및 탈착 성능이 안정되는 것이다.

Fig. 10은 측정범위 70mbar, 0.075%의 정밀도를 가진 디지털 차압센서(DPI 150)를 이용하여 단품 상

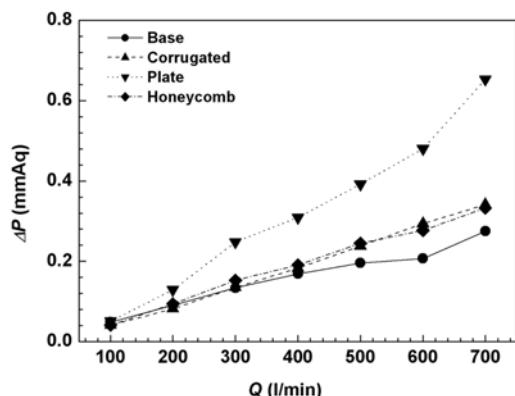


Fig. 10 HC adsorption filter pressure drop for air flow rate

태에서의 공기 유량에 따른 HC 흡착필터 전, 후단의 차압을 측정한 결과이며 HC 흡착필터 중 판형의 차압이 가장 크게 발생하였으며 주름진 형과 별집형의 HC 흡착필터는 동등한 결과를 나타냈다.

3.2 엔진 동력 성능 영향도 평가

Fig. 11은 HC 흡착필터 장착 시 흡기저항으로 인한 엔진 출력 저하를 알아 보기 위해 HC 흡착필터 장착 전, 후의 엔진 토크 및 파워를 측정한 결과이다. 최대 토크는 엔진회전수 약 4,000 rpm에서 340 N·m로 측정되었으며 HC 흡착필터 장착 전, 후의 시험 결과와 비교해 보았을 시 엔진 파워와 토크 특성은 동일한 경향을 보이며 측정된 것으로 보아 HC 흡착필터 장착이 엔진 출력에 미치는 영향은 거의 없다고 판단할 수 있다.

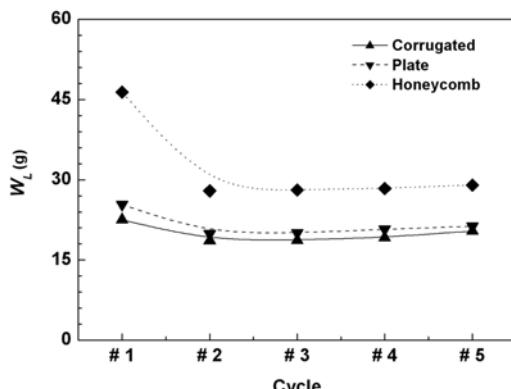


Fig. 9 BWC Heel results of HC Adsorption filter

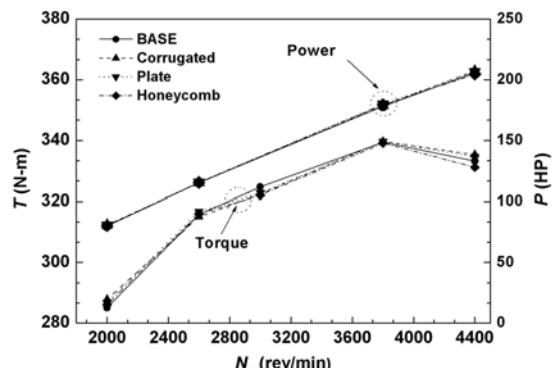


Fig. 11 Engine torque measurements on engine test bench

4. 결 론

본 연구에서는 PZEV 규제 대응 흡기계 증발가스 저감을 위해 개발된 HC 흡착필터의 형상 변경을 통한 흡착 성능 및 흡착필터의 장착이 엔진 출력에 미치는 영향을 분석하였다.

- 1) HC 흡착필터의 흡탈착 성능 시험을 하기 위하여 BWC 시험 규격인 ASTM D5228-92(2000) 시험 방법을 토대로 시험조건 및 시험 방법을 재정립하였다.
- 2) 흡착필터 형상이 다른 총 3종류의 HC 흡착필터를 대상으로 흡착 성능 시험 결과 중 평균 흡착량은 주름진 형이 19.8 g, 판 형이 21.5 g, 별집 형의 HC 흡착필터가 26.4 g의 흡착 성능을 나타냈다. HC 흡착필터 중 초기 모델인 주름진 형에 비해 개선된 판 형은 두께를 크게 감소시켰음에도 불구하고 조밀한 구조로 제작함으로써 흡착 성능은 동등 이상의 결과가 나왔다. 별집형의 HC 흡착필터의 흡착 성능이 가장 높게 나왔는데, 이는 흡착필터 형상을 별집 모양으로 개선함과 동시에 나노크기 및 기공구조로 설계한 분말을 활성탄의 원료로 이용하여 마이크로 크기로 성장시킨 구형의 복합물인 나노 탄소복합체를 사용함으로 인하여 증발가스의 흡착성능이 높아진 것으로 나타났다.
- 3) 공기 유량에 따른 HC 흡착필터 전, 후의 차압을 측정하였으며 측정 결과 흡착필터 중 흡착성능을 높이기 위하여 좀 더 조밀한 구조를 가진 판 형태의 차압이 가장 크게 발생하였으며 주름진 형태 와 별집 형태의 HC 흡착필터는 동등한 결과를 나타냈다.
- 4) HC 흡착필터 장착이 엔진 출력에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 3.3L 가솔린엔진을 대상으로 흡착필터 장착 전, 후의 엔진 동력성능영향도 평가를 하였으며, 그 결과 HC 흡착필터 장착으로 인한 흡기 저항이 엔진 출력에 미치는 영향은 극히 적은 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 지식경제부가 지원하는 핵심기반기술 개발사업의 일환으로 수행되었다. 도움을 주신 관계자 여러분께 감사하는 바이다.

References

- 1) S. H. Han, H. Y. Kim, E. S. Kim and S. W. Yang, "Development of a Evaporative Emission Reduction Device in the Air Intake System," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.118-123, 2006.
- 2) K. Maeda, K. Oda, M. Honda, S. Kiyomiya, T. Nishimoto, T. Ooi, Y. Mochizuki, N. Kato and M. Takeyama, "Development of a Hydrocarbon Adsorption Filter," SAE 2003-01-0565, 2003.
- 3) H. Itakura, T. Kato, N. Kato and T. Nishimoto, "Analysis of the HC Behavior in the Air Intake System While Vehicle is Parked," SAE 2004-01-0141, 2004.
- 4) H. Itakura, N. Kato and T. Kohama, "Studies on Carbon Canisters to Satisfy LEVII EVAP Regulations," SAE 2000-01-0895, 2000.
- 5) J. Lebowitz, J. Lovette, C. Chan and D. Frich, "Activated Carbon Coated Polymeric Foam for Hydrocarbon Vapor Adsorption," SAE 2005-01-1103, 2005.
- 6) G. H. Choi, K. S. Cho, Y. J. Chung, J. M. Kim, R. W. Dibble and S. B. Han, "Activated Carbon Canister Performance for a Spark Ignition Engine," Int. J. Automotive Technology, Vol.7, No.1, pp.9-15, 2006.
- 7) ASTM D5228-92(2000), Standard Test Method for Determination of Butane Working Capacity of Activated Carbon, ASTM, 2005.