

## 소형디젤엔진용 전기히터방식 매연여과장치의 재생특성 향상을 위한 흡기드로틀링 적용연구

김 흥 석<sup>1)</sup> · 한 승 한<sup>1)</sup> · 김 진 현<sup>2)</sup> · 조 규 백<sup>1)</sup> · 정 용 일<sup>1)</sup> · 황 재 원<sup>3)</sup> · 한 상 명<sup>3)</sup>

한국기계연구원<sup>1)</sup> · 명지대학교<sup>2)</sup> · 일진전기(주)<sup>3)</sup>

### Application of Intake Throttling for Improving Regeneration Characteristics of an Electrical Heated DPF System

Hongsuk Kim<sup>\*1)</sup> · Hanseung Han<sup>1)</sup> · Jinhyun Kim<sup>2)</sup> · Gyubaek Cho<sup>1)</sup> · Youngil Jeong<sup>1)</sup>  
· Jae-Won Hwang<sup>3)</sup> · Sangmyeong Han<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Engine R&D Group, Korea Institute of Machinery and Materials, 171 Jang-dong, Yuseong-gu, Deajeon 305-343, Korea

<sup>2)</sup>Mechanical Engineering Department, Myongji University, Gyeonggi 449-728, Korea

<sup>3)</sup>ILJIN Electric Co., Ltd., 112-83 Annyoung-ri, Taean-eup, Hwasung-si, Gyeonggi 445-976 Korea

(Received 29 March 2005 / Accepted 19 July 2005)

**Abstract** : Application of an electric heater is one of attractive methods for active regeneration in DPF systems, but its application has been limited by the capacity of electric power available in vehicles. This study was focused on intake throttling to reduce electrical energy required in the electrical heated DPF system. As results, this study showed the decrease of 30~50% of intake air mass flow rate and the increase of 20~60 °C of exhaust gas temperature by the proper control of intake throttling. These intake throttling effects was helpful for regenerable temperature achievement.

**Key words** : DPF(매연여과장치), Diesel engine(디젤엔진), Intake throttling(흡기드로틀링), Electrical heater(전기히터)

### 1. 서 론

매연여과장치는 경유자동차에서 배출되는 입자상물질을 가장 효과적으로 저감할 수 있는 방법 중의 하나로 알려져 있다. 매연여과장치 기술은 15년 이상 발전되어 왔으며, 경유 버너나 전기히터 등의 열원을 사용하는 강제재생방식의 1세대 기술을 거쳐서 촉매나 연료첨가제를 사용하는 자연재생방식의 2세대 기술이 현재 주로 사용되고 있다. 상용화된 자연재생방식의 매연여과장치로는 Johnson Matthey의 CRT와 Engelhard의 DPX 등이 있다. 그러

나 자연재생방식의 기술은 배출가스 온도가 높은 차량에만 적용이 가능하기 때문에 근래에는 1세대 기술과 2세대 기술을 접목한 복합 재생방식의 3세대 기술이 개발되고 있다.<sup>1)</sup> 프랑스 Peugeot 자동차는 세계 최초로 Peugeot 607 경유승용차에 복합재생방식 매연여과장치를 장착하여 2000년에 시판하였다. 이 Peugeot 607 경유승용차에서는 매연 재생 메커니즘으로 연료첨가제와 커먼레일 기술에 근거한 연료후분사 기술을 복합하여 사용하고 있으며, PM 저감 및 재생 특성이 우수한 것으로 알려져 있다.<sup>2,3)</sup> 그리고 현재 세계의 많은 자동차 제작사들도 매연여과장치의 재생방법으로 연료후분사방식을 채택하거나 고려하고 있는 실정이다. 하지만 이와 같은

\*To whom correspondence should be addressed.  
hongsuk@kimm.re.kr

연료후분사 기술은 후분사시기, 후분사량, 후분사에 의해 발생한 미연탄화수소를 연소시키기 위한 산화촉매의 light-off 온도 제어 등 정밀한 엔진 맵핑이 필요하다는 단점이 있으며, 이미 판매되어 사용되고 있는 운행차에 이러한 연료후분사 기술을 적용하는 것은 거의 불가능하다.<sup>4)</sup>

운행차 적용 복합재생방식 매연여과장치로는 전기히터, 플라즈마, 버너방식 매연여과장치가 주로 연구되고 있다. 이 중 전기히터식 매연여과장치는 개념상 간단하지만 차량에서 생산되는 전기량이 한정되어 있기 때문에 현재까지는 주로 정치용으로 운전되는 산업용 매연여과장치에 적용되었다.<sup>5)</sup>

특히, 최근의 디젤엔진에서는 출력증대를 목적으로 중간냉각기와 과급기를 사용하기 때문에 배출가스유량이 상대적으로 많아지게 되며, 엄격해지는 NOx 규제 만족을 위해 EGR율이 증가함에 따라 배출가스 온도는 낮아지는 추세이므로 전기히터 사용시 강제 재생 온도까지 높이는데 필요한 전기량은 더욱 더 많이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서 사용되는 전기히터 복합방식의 매연여과장치는 다음의 세 가지 방법으로 강제 재생시 요구되는 전기량을 저감하였다. 첫째, 분할형 전기히터를 사용하여 단위 히팅면적당 에너지밀도를 증가시켰다. 둘째, 귀금속 촉매가 코팅된 필터를 사용하여 BPT(Balance Point Temperature) 이상의 운전조건에서는 자연재생하고, 일정시간 BPT 이하에서 운전되는 경우 전기히터로 포집된 매연을 강제 재생하는 재생전략을 사용하여 전기히터 재생빈도를 줄였다. 셋째 흡기관에 드로틀을 사용하여 전기히터를 이용한 재생시 흡입공기량을 줄임으로서 전기히터 소모 전기량을 줄이고자 하였다.

디젤엔진은 통상 희박조건에서 연소되기 때문에 일정 수준의 흡기드로틀이 이론적으로 가능하지만 고부하운전 등의 경우 연소 특성이 나빠질 수 있으므로 주의를 요한다. 이에 따라 본 연구에서는 대상 엔진의 각 운전조건에서 최대 가능한 흡기드로틀링량을 결정하고자 하였으며, 흡기드로틀링이 적용되는 경우 DPF 재생 특성에 영향을 미치는 여러 인자들을 검토하고자 하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 실험 장치의 구성을 나타낸다. 실험장치는 디젤 엔진, 머플러, 매연여과장치, 흡입공기유량센서, 흡기드로틀장치 등으로 구성된다. 본 연구에서는 배기량 3000cc인 국산 RV 차량용 디젤엔진을 대상으로 하였으며, Table 1에 엔진의 제원을 요약하였다. 흡기드로틀 장치는 인터쿨러 후단에 위치하며, 흡기드로틀 장치의 플랩은 0~70도까지 수조작으로 조절되고, 그 각도를 가변저항을 이용하여 인지할 수 있도록 하였다. 플랩각이 0도인 경우 플랩각이 완전히 열린 상태가 되며, 플랩각이 70도인 경우 흡기관은 닫히게 된다. 본 엔진의 EGR 밸브는 공압으로 작동되며, 전자식 솔레노이드 밸브로 제어한다. 가속페달의 위치를 나타내는 TPS (Throttle Position Sensor)값이 5% 미만인 경우와 95% 이상인 경우는 EGR이 작동하지 않도록 제어된다. 필터 내부에 매연이 쌓임에 따라 배압 등 시험 조건이 변하기 때문에 본 연구에서의 흡기드로틀링 시험은 전단소음기(pre-muffler)가 장착된 상태를 기준으로 시험하였다. 다만, DPF 장착이 필요한 경우에는 전단소음기의 위치에 DPF를 장착하여 실험하였으며, 전단소음기 또는 DPF 전단 및 후단에 온도, 압력, 산소 센서를 설치하여 흡기드로틀링의 영향을 파악하고자 하였다. 매연여과장치는 높은 에너지 밀도를 구현하기 위해 5개로 히팅 영역이 분할된 전기히터와 체적이 약 3.7리터인 촉매 코팅된 코디어라이트 재질의 wall-flow type 필터로 구성된다.

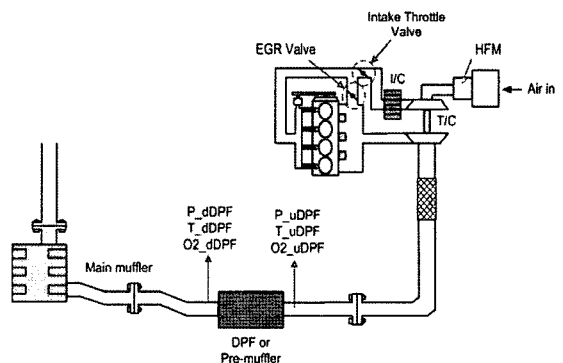


Fig. 1 Schematic diagram of an experimental setup

Table 1 Engine specifications

Turbo charger and intercooler equipped diesel engine	
No. of cylinder	4
Displacement volume (cc)	2902
Bore* stroke (mm)	97.1*98.0
Compression ratio	19.3
Max. power (kW)	81@3800rpm

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 실제 차속 조건의 배출가스 온도를 나타낸다. 대상 차량은 매연여과장치의 일반적 BPT 온도인 300°C 이하에서 주로 운전됨을 알 수 있으며, 이와 같은 운전조건에서는 자연재생방식의 매연여과장치만으로는 효과적인 재생이 불가능하고 전기히터 등 추가적인 보조 열원이 필요함을 알 수 있다.

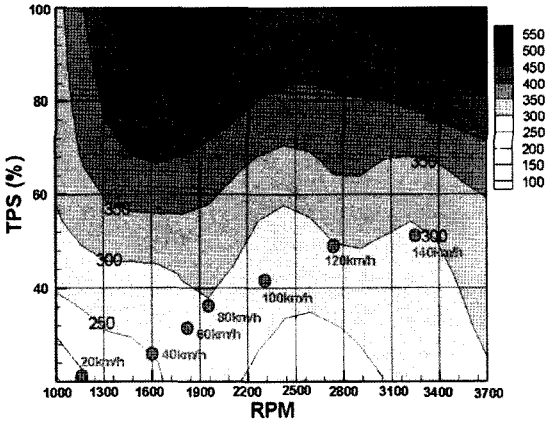
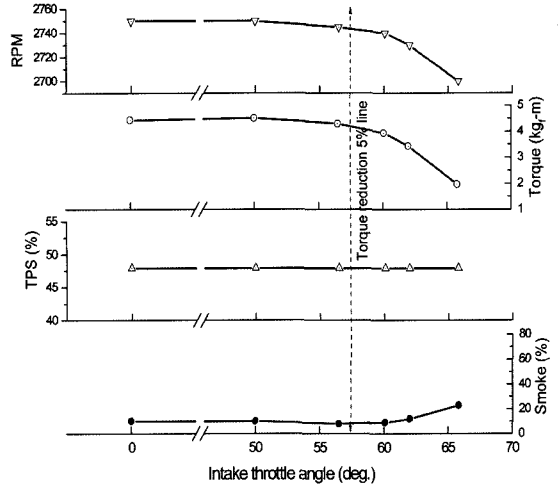


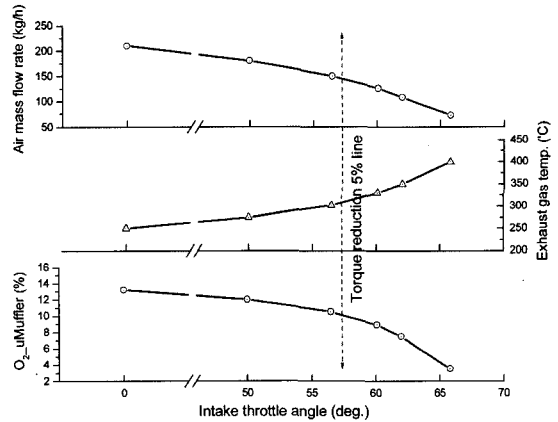
Fig. 2 Exhaust gas temperature map

#### 3.1 최대 가능 흡기드로틀링의 결정

Fig. 3은 차속 120 km/h 조건에서의 흡기드로틀링 시험 결과를 나타낸다. 가속페달의 위치를 나타내는 TPS값을 흡기드로틀링 동안 48%로 일정하게 유지하였으며, 이 때 EGR율은 흡입공기질량비율로 23%이었다. Fig. 3(a)는 엔진회전수, 토크, TPS, smoke의 변화를 보여주는 그림으로서 흡기드로틀 밸브각이 약 50도 이상이 되면 엔진회전수와 토크가 감소하기 시작하며, 흡기드로틀의 플랩 각도 약 57도일 때 토크가 5% 감소한다. 그리고 플랩 각도를 더 증가하는 경우 엔진회전수와 토크가 급격히 감소하고, smoke 발생량도 급격히 증가한다. Fig. 3(b)



(a) RPM, torque, and smoke



(b) Air mass flow rate, exhaust gas temperature, and oxygen concentration

Fig. 3 The effect of intake throttling at the condition of 120 km/h

는 흡입공기량, 배출가스 온도, 산소농도의 변화를 나타내는 그림으로서 토크가 5% 감소되는 시점에서 흡입공기유량은 31%감소하며, 배출가스 온도는 310°C로 상승한다. 그리고 이 조건에서 산소농도는 약 3% 감소함을 알 수 있다.

과도한 흡기드로틀링의 영향에 대해서 알아보기 위하여 Fig. 4의 실험에서는 흡기드로틀링시 감소되는 엔진회전수와 토크를 보정하기 위해서 TPS를 증가시켰다. 차속 조건은 120km/h이었다. 흡기드로틀의 플랩 각이 약 60도 이상인 경우부터 차속 조건을 유지하기 위해서 TPS값이 급격히 증가함을 알 수

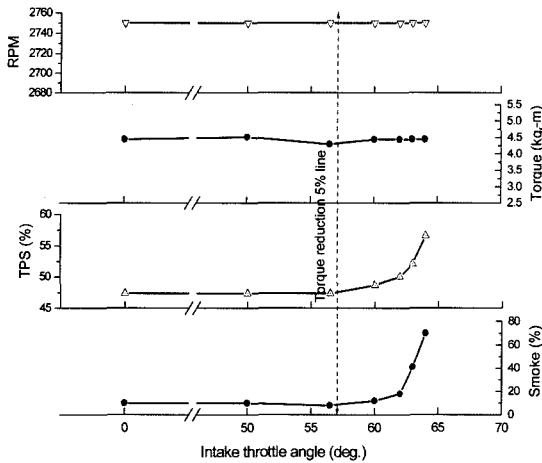


Fig. 4 Increase of TPS to keep RPM and torque constantly when intake throttling (100km/h)

있으며, 이에 따라 매연량도 급격히 증가함을 알 수 있다.

즉, 흡기드로틀링은 흡입공기량 감소와 배출가스 온도 상승 측면에서 매연여과장치의 재생에 유리하지만 과도한 흡기드로틀링은 출력 감소와 매연 증가를 유발한다. 따라서 본 연구에서는 엔진 토크가 5% 이내에서 감소하는 지점을 최적 흡기드로틀 플랩각으로 선정하였다.

Fig. 5는 차속 120 km/h 조건에서 흡기드로틀링과 1.4 kW의 전기히터를 사용하였을 때의 배출가스 온도를 나타낸다. Fig. 5의 배출가스 온도  $T$ 는 식 (1)로부터 계산된 값이다.

$$Q = \dot{m} C_p (T - T_{exh}) \quad (1)$$

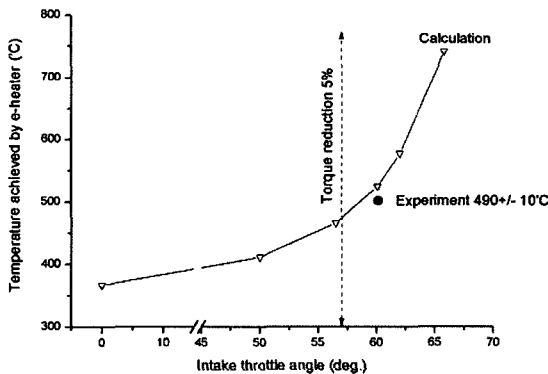


Fig. 5 Exhaust gas temperature obtained by intake throttling and electric heating at the condition of 120km/h

where  $Q$  : electric energy (kW)  
 $\dot{m}$  : air mass flow rate (kg/h)  
 $C_p$  : heat capacity (kJ/kg · K)  
 $T_{exh}$  : exhaust gas temperature (K)

또한, Fig. 5에 의하면 1.4 kW의 전기히터를 사용하고, 흡기드로틀 플랩각을 증가시키면 배출가스 온도는 점진적으로 증가하며, 토크가 5% 감소하는 흡기드로틀링 조건에서 약 500°C까지 배출가스 온도를 상승시킬 수 있음을 알 수 있다.

### 3.2 흡기드로틀링 효과

Fig. 6은 토크가 5% 감소되는 시점으로 흡기드로틀을 제한할 경우 각 차속 조건에서 얻을 수 있는 최대 흡기드로틀링 플랩 각을 나타낸다. 최대 흡기드로틀링 플랩 각은 56~67도로 각 차속 조건에 따라 변화함을 알 수 있다. 흡입공기유량은 흡기드로틀의 플랩 각도에 따라 급격히 변화하므로 실제 차량에 흡기드로틀 장치를 적용하는 경우에는 플랩 각도를 고정시켜 놓고 ON/OFF 제어하는 것 보다 각 운전 조건에 따라 플랩각도를 변화시켜 주는 것이 바람직함을 알 수 있다.

Fig. 7은 토크가 5% 감소되는 시점으로 흡기드로틀을 제한하는 경우 각 차속 조건에서 약 30~50%의 흡입공기유량의 감소 효과를 얻을 수 있음을 보여주며, Fig. 8은 흡기드로틀링으로 각 차속 조건에서 배출가스 온도가 약 20~60°C 상승되는 효과가 있음

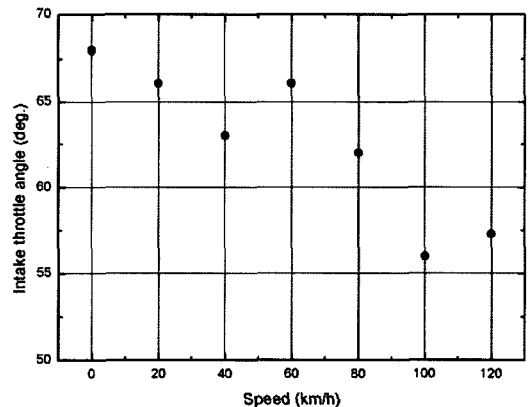


Fig. 6 Optimum flap angles of the intake throttle device with respect to vehicle speeds

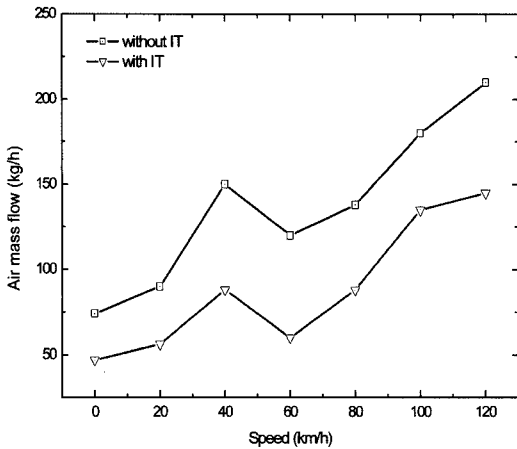


Fig. 7 The effect of intake throttling on air mass flow rate

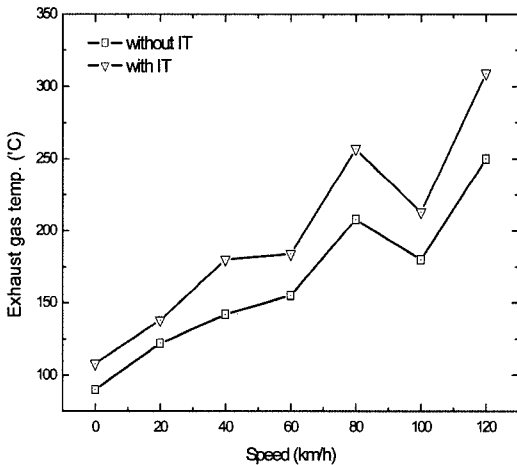


Fig. 8 The effect of intake throttling on exhaust gas temperature

을 보여준다. 이와 같은 흡입공기유량의 감소와 배출가스온도의 상승은 전술한 바와 마찬가지로 전기히터 보조방식 매연여과장치에 소요되는 전기에너지의 저감에 기여하게 된다.

Fig. 9는 토크가 5% 감소되는 시점으로 흡기드로틀링을 제한하는 경우 각 차속 조건의 배출가스중 산소농도를 나타내는데 흡기드로틀 적용시 차속 조건에 따라 5~1.5% 감소함을 알 수 있다. 특히 고속 고부하조건일수록 배출가스 중 산소농도 감소가 크게 나타났으며, 이 정도의 산소농도 감소가 soot 재생 반응물에 어떤 영향을 미치는지 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. Fig. 10은 배출가스 온도를

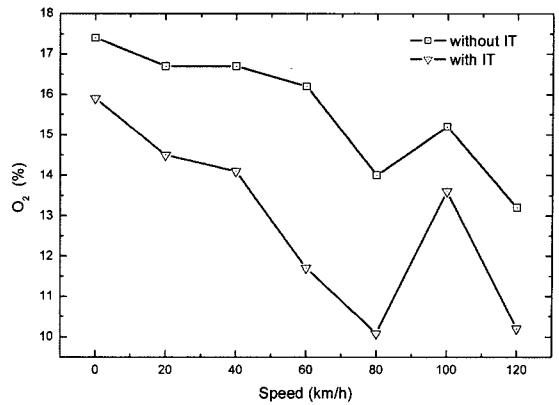


Fig. 9 The effect of intake throttling on O<sub>2</sub> concentration

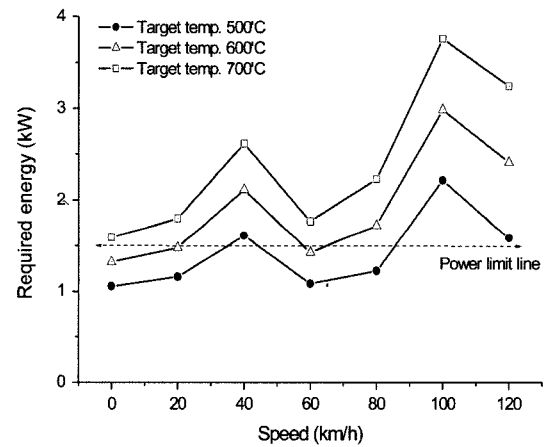


Fig. 10 Required electrical energy to achieve target temperature

목표 온도까지 상승시키기 위해 필요한 전력량을 나타내는 것으로 식 (1)을 사용하여 계산하였다. 1.4 kW의 전력을 전기히터로 공급하면서 흡기드로틀링을 하는 경우 배출가스 온도는 각 차속 조건에 따라 450~650°C까지 상승할 것으로 예측된다.

### 3.3 EGR OFF 조건의 흡기드로틀링 효과

흡기드로틀링시에 EGR을 OFF하는 경우 DPF 재생 관련 여러 인자들의 변화를 알아보려 하였다. Fig. 11은 차속 80 km/h 조건에서 EGR ON과 OFF시 흡기드로틀링의 영향을 비교한 그림이다. EGR ON 시에는 토크가 5% 감소되는 흡기드로틀링 각도는 62이었으나 EGR OFF시에는 연소실내 연소특성이 양호해져서 플랩 각도 64도까지 흡기드로틀링을

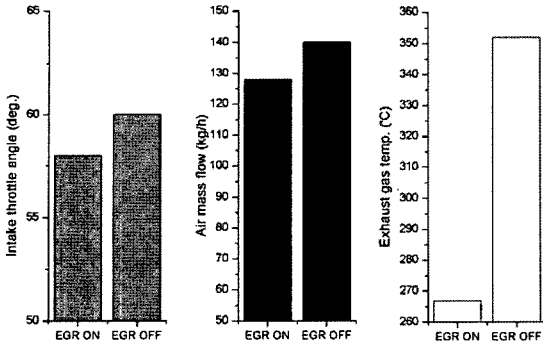


Fig. 11 The effect of EGR ON and OFF to the characteristics of intake throttling at the condition of 80km/h

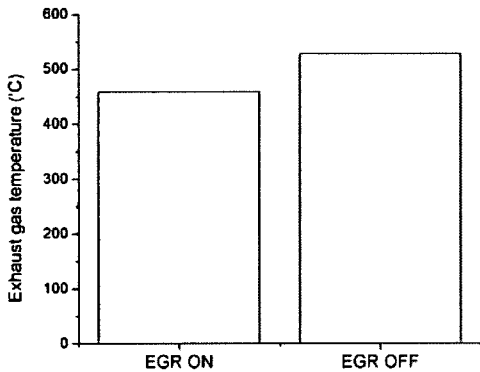


Fig. 12 The effect of EGR on electric heated exhaust gas temperatures at the condition of 80km/h

하여도 동일한 토크를 얻을 수 있었다. 또한, 흡기드로틀링시 EGR OFF하는 경우는 EGR ON시에 비해 흡입공기유량이 약 12 kg/h 증가하고, 배출가스 온도가 85°C 상승하는 효과가 있음을 알 수 있었다.

Fig. 12는 차속 80 km/h 조건에서 흡기드로틀링 적용시 EGR ON/OFF하는 경우 배출가스 온도를 비교한 그림이다. 전기히터에 1.4 kW의 전력량을 공급하였다. EGR ON 조건에서는 배출가스의 온도가 460°C까지 상승하고, EGR OFF 조건에서는 배출가스 온도가 530°C까지 상승함을 알 수 있다. 즉, EGR을 OFF하면 흡기드로틀링 효과를 크게 얻을 수 있다. 하지만 이와 같은 방법을 적용하는 경우 재생시 EGR ON/OFF 제어를 위한 제어가 추가로 필요할 것으로 판단된다.

### 3.4 흡기드로틀 적용시 전기히터 발열 특성

서론에서 언급한바와 마찬가지로 본 연구에서 사

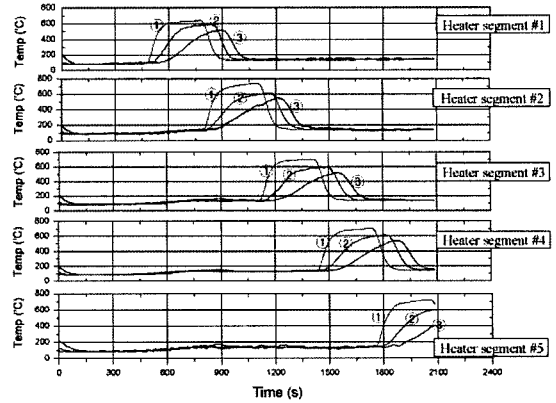


Fig. 13 The increase of temperatures in the filter by intake throttling and electrical heating at the idle condition

용하는 매연여과장치는 고속고부하 운전조건에서는 자연재생하며, 저속저부하조건에서는 전기히터를 이용하여 강제재생하는 로직을 갖는다. 따라서, 배출가스 온도가 가장 낮은 엔진 공회전 조건은 전기히터를 이용한 강제재생이 어려운 악조건중의 하나이다. Fig. 13은 엔진 공회전 조건에서 전기히터와 흡기드로틀을 동시에 적용하였을 때 필터 내부 온도가 어느 정도까지 상승하는지를 보여준다. 이를 위해서 각 히터 세그먼트의 중앙에 필터 길이 방향으로 2, 11, 20 cm 지점에 열전대를 삽입하여 온도를 측정하였다. 즉, 그림의 ①, ②, ③은 필터 길이 방향으로 2, 11, 20 cm 지점에서의 온도 값을 각각 의미한다. 이 실험에서는 soot가 포집되지 않은 필터를 사용하였으며, 흡기드로틀링은 토크가 5% 감소되는 시점으로 제한하였다. 5개로 분할된 히터에 공급되는 전류는 히터 세그먼트마다 다소 차이가 있으나 각 히터 세그먼트당 약 1.4 kW를 5분씩 공급하였다. 엔진 공회전 조건에서 전기히터와 흡기드로틀을 동시에 적용하는 경우 필터 내부의 온도는 soot 재생이 가능한 600~700°C까지 상승함을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 연구는 전기히터방식 매연여과장치의 재생 특성 향상을 위하여 흡기드로틀을 적용한 연구로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 흡기드로틀링시 운전자가 운전 특성의 변화를 느끼지 못하는 수준인 엔진 토크가 5% 감소하는

시점으로 흡기드로틀링을 제한하고, 실제 차량에 흡기드로틀링을 적용하는 경우에는 플랩을 임의의 각도에 고정하는 ON/OFF 제어 보다 각 운전 조건에 따라 플랩각도를 변화시켜 주는 것이 DPF 재생에 효과적일 것으로 판단된다.

- 2) 흡기드로틀링으로 30~50%의 흡입공기유량이 감소하였으며, 배출가스의 온도가 20~60°C 증가하였다. 이와 같은 흡기드로틀링 효과와 분할형 전기히터를 이용하여 재생 악조건인 엔진공회전 조건에서 실제 차량의 가용 전력용량으로 배출가스 온도를 수트 재생온도 수준까지 상승시킬 수 있었다.
- 3) 대상 엔진의 경우 흡기드로틀링시에 EGR을 OFF하면 흡입공기 유량이 증가하지만 배출가스 온도가 크게 증가하여 필요전력량의 감소 효과를 얻을 수 있다.

### References

- 1) Y. Jeong, "The Trend of Exhaust Emission standard and Diesel Particulate Filter Trap Technology for Diesel Powered Vehicles," Busan Engine International Symposium, 2001.
- 2) H. Kim, J. Kim, D. Shin, G. Cho, Y. Jeong, G. Kim and Y. Lee, "A Study on the Characteristics of DPF System of Peugeot 607 Diesel Passenger Car," Transactions of KSAE, Vol.12, No.3, pp.66-74, 2004.
- 3) N. Jeuland, B. Dementhon, G. Plassat, P. Coroller, J. C. Momiague and G. Belot, "Performances and Durability of PDF(Diesel Particulate Filter) Tested on a Fleet of Peugeot 607 Taxis First and Second Test Phases Results," SAE 2002-01-2790, 2002.
- 4) W. Kim and J. Chun, "Application of Catalyzed Diesel Particulate Filter System (CPF) to Small SUVs for EURO-4," The 4th Advanced Diesel Engine Technology Symposium, 2004.
- 5) D. Shin, J. Kim and Y. Jeong, "A Study on the Optimization of Electric Heater Performance for the Catalyst Type Diesel Particulate Filter System," Spring Conference Proceedings, Vol.I, KSAE, pp.360-365, 2003.

1) Y. Jeong, "The Trend of Exhaust Emission standard and Diesel Particulate Filter Trap