

## 운행차 배출가스 정밀검사 결과를 이용한 가솔린 차량에 대한 배출가스 특성 분석

노 현 구<sup>†</sup>

### Analysis of Emission Gas Characteristics for Gasoline Vehicles using the Inspection Results of Car Emission

Hyun Gu Roh

**Key Words:** Accumulated mileage(주행거리), Emission characteristics(배출특성), Emission regulation limit(배기가스 기준), In-use vehicle(운행차), Vehicle age(차량 연식)

#### Abstract

In this study, the following conclusions could be obtained from the analysis of emissions contribution rates and features for contaminated emissions by 13,456 gasoline vehicles passed in the vehicle load test (ASM-idle) under the inspection year 2013 to 2017. It was confirmed that the contamination of the CO, HC, NOx by the displacement is reduced on over 3L engine. As a result of comparing the exhaust gas in the low speed idle mode and the AS2525 mode, the exhaust gas in the low speed idle mode was measured high. It is estimated that if ISG function is applied, emissions from idle condition will be reduced. NOx emissions were reduced when the engine power was above 200HP. It has been confirmed that the amount of exhaust emissions are significantly reduced for vehicles manufactured after 2004. As a result of analyzing the exhaust gas according to the season, it is judged that there is a correlation between HC and NOx according to the ambient temperature. The concentration of exhaust emission in vehicles with high accumulated distance increases, which is considered to be the result of aging of the vehicle.

#### 1. 서 론

우리나라의 자동차는 2018년 7월 약 2,300만대가 등록되었으며 경유 차량이 약 980만대(42.6%), 휘발유 차량은 약 1,050만대(45.7%)가 운행되고 있다. 일반적으로 휘발유 차량은 경유 차량에 비해 상대적으로 오염물질 배출량이 적은 것으로 인식되고 있지만, 높은 차량 점유율로 인해 중요한 대기오염물질 배출원이라 할 수 있다.

2016년 서울시 서울연구원에서는 승용차량 중 휘발유 승용차 성능 및 제원상의 특성을 파악하고 자동차 배기

가스 배출량 특성에 대해 분석하여, 서울시 대기질 오염의 주요원인을 자동차로 인식하며 운행차 배출가스 검사제도에 대한 문제점과 여러 가지의 운행차 관리방안에 등에 대해서 보고하였다<sup>(1)</sup>.

또한 환경부 국립환경과학원 교통환경연구소에서는 다양한 주행거리를 가진 가솔린 GDI (Gasoline Direct Injection) 차량에 대한 배출특성 연구를 통하여 누적주행거리가 높은 차량에서 CO, NOx, NMOG(Nonmethane Organic Gas)의 배출량이 증가하는 결과에 대해서 보고하였다<sup>(2-4)</sup>.

Lee *et al.*<sup>(5)</sup>는 2003년부터 2010년까지의 수도권 지역에서 실시한 운행차 검사결과를 기반으로 1987년식부터 2008년식까지의 휘발유 승용자동차 758,075건을 분석하여 대기오염물질 배출량이 많은 고농도 배출 차량의 배출량 기여율과 특징을 보고하였다. 그리고 2010년

(Received: 4 Sep 2018, Received in revised form: 20 Sep 2018, Accepted: 21 Sep 2018)

<sup>†</sup>책임저자, 회원, 인덕대학교 기계자동차공학과  
E-mail : hgroh@induk.ac.kr  
TEL : (02)950-7548 FAX : (02)950-7559

도 수도권 지역의 운행차 검사결과를 준용하여, 전국의 승용차를 대상으로 고농도 배출 차량의 기여율을 추산하는 결과를 대기 정책 지원 시스템(Clean Air Policy Support System, CAPSS)에 적용하는 연구도 진행되었다.

근래에 들어서 가솔린 자동차에 GDI 엔진 적용에 따른 연료 인젝터 분무 특성 및 배출물 특성에 대한 연구가 Lee *et al.*<sup>(6-10)</sup> 등에 의해 진행되었으며 3-D 해석과 1-D 해석을 연계하여 이들의 거동을 고려한 인젝터의 성능을 효과적으로 예측하는 방법에 대해 연구되었다. 또한, 가솔린 엔진의 성능과 배출가스 저감을 위해 ETC(Electric Throttle Control), VVT(Variable Valve Timing), GPF(Gasoline Particulate Filters) 기술에 대한 연구개발이 진행되었으며<sup>(11,12)</sup>, 대기 온도와 주행 모드에 따른 연비 및 배출가스 특성은 Kim *et al.*<sup>(13,14)</sup>에 의해서 연구되었다.

최근에는 운행차로 인한 대기질 오염의 영향이 사회적 이슈가 되면서 운행차 및 제작차 관리를 위해 자동차 배출가스등급제도가 시행하고 있으며, 이와 관련된 많은 연구가 진행되어 왔다<sup>(15-19)</sup>.

본 연구에서는 운행차 배출가스 정밀검사 결과를 기반으로 휘발유 승용차의 배기가스 배출량을 분석하여, 휘발유 승용차량들이 전체 차량의 배기가스 배출량에 미치는 기여율을 분석하고자 하였으며, 운행차 배출허용기준 규제 연식 및 주행거리에 따른 배기 배출물에 대한 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 가솔린 차량 정밀 검사 운행 조건

정밀검사 모드의 운전 조건은 40 km/h 정속 주행 조건으로서 실제 주행 조건과는 다르며, 정밀검사 결과를 이용한 자동차 배출량 기여율 산정의 타당성을 보이기

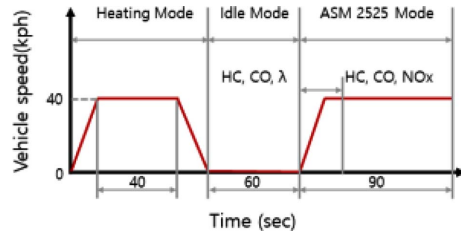


Fig. 1 ASM 2525 Test mode

위해서는 정밀검사 운전 조건이 실제 도로상의 운전 조건을 어느 정도 대표하고 있는지를 사전에 분석할 필요가 있다. 국립환경과학원에서는 본 모드에 대해서 소형차 배출가스 시험방법 국제 표준화 작업을 위해 측정된 국내 주행패턴 (NIER, 2010a)을 이용하여 정밀검사 운전 조건의 타당성 검토를 완료하였다. 운행차 배출가스 정밀검사 모드의 운전 조건과 실제 주행 조건과는 다르므로 다양한 운전 조건에 따른 배출가스 특성을 분석하기 어려운 상황이다. 따라서 배출가스 분석을 위해서는 오염물질과 상관성을 갖는 비출력 (Vehicle Specific Power, VSP)을 이용하면 효과적인 분석이 가능한 것으로 알려져 있으며<sup>(20-23)</sup>, 본 연구에서 VSP는 식 (1)과 같이 정의하였으며 ASM 2525 모드로 측정된 실험결과를 분석하였다. ASM 2525모드의 실험진행방법은 Fig. 1과 같다.

$$VSP = 0.278v \left[ 0.305a + 9.81 \left( \sin \left( \text{atan} \left( \frac{r}{100} \right) \right) \right) + 0.132 \right] + 0.0000065v^3 \quad (1)$$

VSP: Vehicle specific power (kW/ton)

v : Vehicle speed (m/s)

a : Vehicle acceleration (m/s<sup>2</sup>)

r : Road grade (%)

### 2.2 실험 장치

실험 장치는 차대 동력계, 배기가스 분석장치로 구성하

Table 1. Required specification of vehicle exhaust gas analyzer for the I/M Program.

Pollutants	CO/CO <sub>2</sub>	HC	NOx
Principle	NDIR	NDIR	NDIR, NDUV or Electro-Chemical sensor
Unit	%	ppm	ppm
Range	CO: 0.01~10% CO <sub>2</sub> : 0.01~16%	1~over 10,000 ppm	1~over 5,000 ppm
Resolution	0.01%	1 ppm	1 ppm
Detection limit	0.01%	1 ppm	1 ppm

Table 2. Number of vehicle exhaust gas analyzer

Test year	Number of test	Fuel	Number of test	Pass	Failure	Failure rate
2013	5,264	Gasoline	13,694	13,528	166	1.21%
2014	5,601	Diesel	13,650	10,900	2,750	20.15%
2015	6,372	LPG	2,192	2,158	34	1.55%
2016	6,535	LPG remodel	486	466	20	4.12%
2017	6,293	Hybrid	43	42	1	2.33%
Total	30,065	Total	30,065	27,094	2,971	9.88%

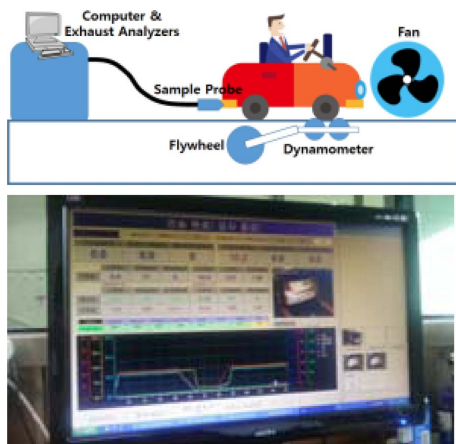


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus and test picture

였으며 실험 장치의 개략도와 실험 사진은 Fig. 2와 같다. 정밀검사용 배기가스 분석 장치의 제원은 Table 1과 같다.

### 2.3 실험 데이터

본 연구에서는 2013년부터 2017년까지 정밀검사 받은 차량 30,065대에 중 정밀검사에 패스한 휘발유 차량 13,528대 차량을 분석하였으며 무부하검사(ASM-Idle)만을 진행하는 4륜구동 차량(72대)의 데이터를 제외한 13,456대의 결과를 분석하였다. 정밀검사 차량 대수는 Table 2와 같다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 엔진 배기량 별 운행차 정밀검사 모드에서의 배기가스 특성

운행차 배기가스 정밀검사 테스트 모드는 예열모드

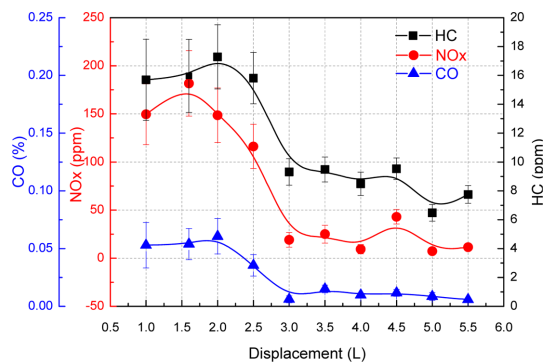


Fig. 3 Effect of Displacement of exhaust emissions at load mode

(heating mode), 저속공회전 검사모드(Low Speed Idle Mode)와 정속모드(ASM2525모드)로 구분되며 정속모드에서 40 km/h로 차대동력계상의 25%의 도로부하에서 배출가스를 측정하여 배기량을 500cc 단위로 분류하여 분석하였다. Fig. 3은 2013년부터 5년간 정밀 검사한 차량중 합격한 차량에 대해서 배기량별 CO, HC, NOx에 대해서 배기 특성에 대한 그래프로 3가지의 배출가스 항목 모두가 3.0L급이상의 엔진에서 감소하는 특성을 보이고 있다. 이는 일정한 부하와 속도로 검사하는 검사 모드인 ASM2525 모드에서는 높은 엔진의 출력으로 인한 연료 분사량 감소로 예상되며 이로 인해 배출가스가 감소하는 것으로 판단된다.

Figure 4는 저속공회전 검사모드와 정속모드에서의 배기량별 CO, HC 배출가스를 비교한 그래프로 부하조건을 CO, HC로 표시하고 저속 공회전 검사모드에서 CO, HC를 iCO, iHC로 표시하였으며 부하조건 대비 저속 공회전 검사 조건의 CO, HC 모두 높게 나오는 것을 볼 수 있다. 이는 저속 공회전 검사모드에서는 부하가 없는 조건에서 최소한의 연료량으로 아이들상태를 유지하기 위한 제어를 함에 따라 늦어지는 연소속도에 기인

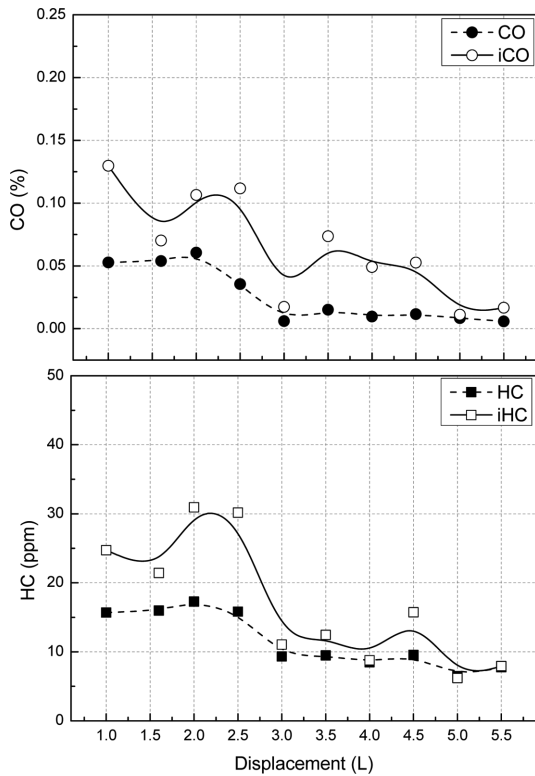


Fig. 4 Effect of Displacement of exhaust emissions at idle mode

하여 부하조건보다 높게 배출가스가 나오는 것으로 사료된다. 따라서 차량에 ISG(Idle Stop and Go)기능이 탑재되면 정차시에 배출가스를 줄이는 효과가 높을 것으로 판단된다.

### 3.2 엔진 정격 출력별 운행차 정밀검사 모드에서의 배기가스 특성

Figure 5는 엔진 정격 출력별로 50HP 단위로 분류하여 운행차 배출가스 정밀검사에 따른 배출가스를 정리한 그래프로 100HP 이상에서는 큰 변화 없이 배출되는 것을 볼 수 있다. 그러나 NOx의 경우 150HP까지 감소하다 200HP이상에는 변화폭이 감소되는 것을 볼 수 있다. 이는 엔진 출력이 낮은 엔진의 경우 25%의 부하 조건을 만족하기 위해서 연료 분사량이 증가하여 NOx가 증가하는 것으로 사료되며 200HP 이상의 엔진에서는 엔진 출력 대비 정밀검사를 위한 부하가 낮아 연료 분사량 높지 않을 것으로 예상된다. 이에 NOx도 변화폭이 낮은 것으로 사료된다.

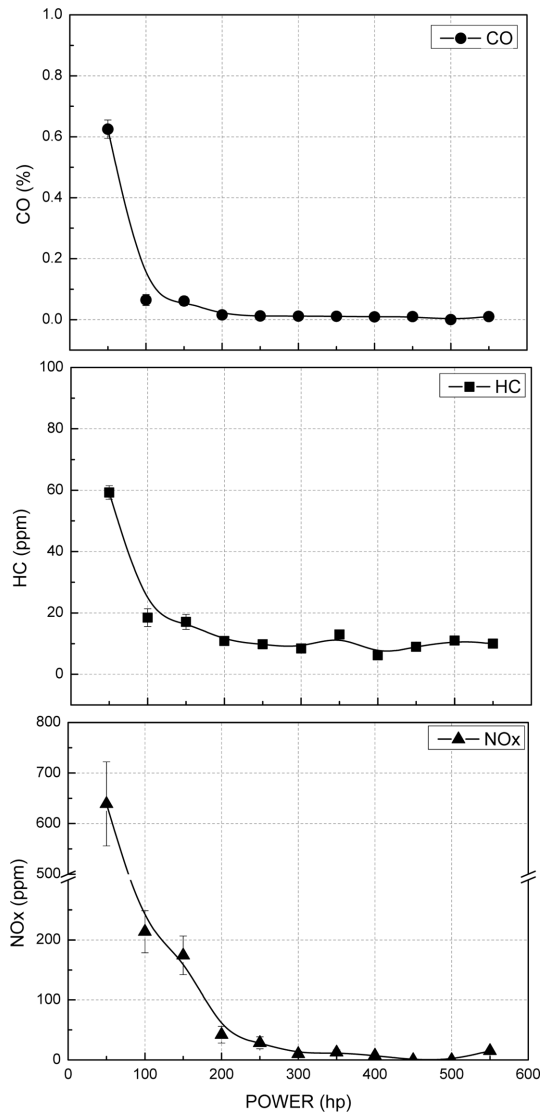


Fig. 5 Effect of engine power of exhaust emissions at load mode

### 3.3 제작 연도별 운행차 정밀검사 모드에서의 배기가스 특성

Figure 6은 자동차 제작 연도별로 분류하여 운행차 배출가스 정밀검사에 따른 배출가스를 정리한 그래프로 차량의 제작연식이 오래될수록 정밀검사 배출가스 항목 모두가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 제작차의 배출허용 기준이 완화됨에 따라 나타나는 현상으로 엔진의 노후화와 설정차이에 따른 영향으로 판단된다.

Figure 7은 운행차 배출가스 정밀검사에서의 저속 공회

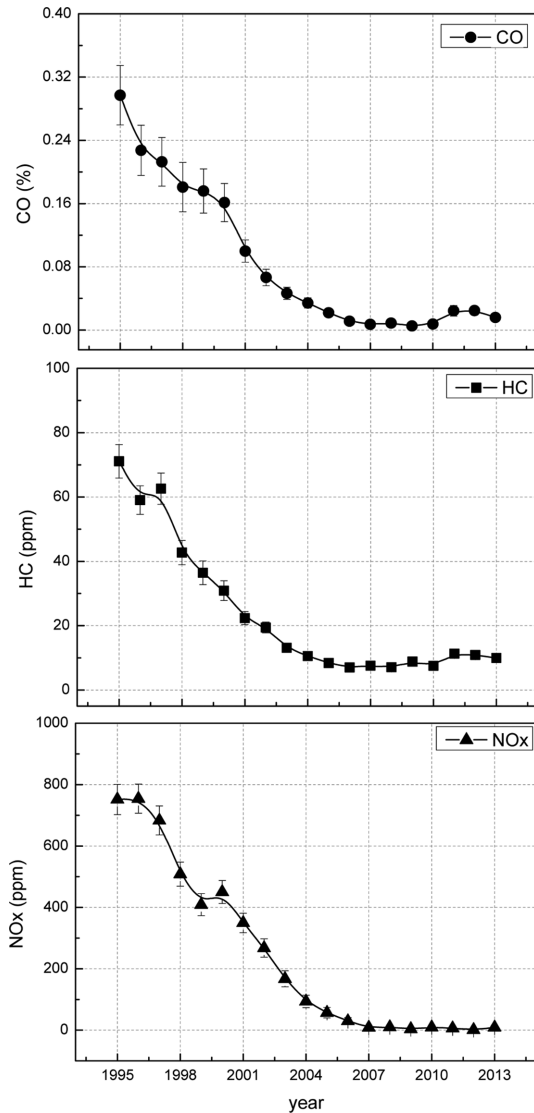


Fig. 6 Effect of year of exhaust emissions at Load mode

전 검사모드와 정속모드에서의 자동차 제작 년도별로 CO, HC 배출가스에 대해서 분석한 그래프로 CO, HC 모두 높게 배출되다가 최근 년식일수록 배출가스 배출량은 급격하게 낮아져 2004년 이후 거의 비슷한 수준의 배출가스가 배출되는 것을 볼 수 있다.

3.4 검사월별 운행차 정밀검사 모드에서의 배기가스 특성

Figure 8은 운행차 검사 월별로 배출가스 정밀검사 CO, HC, NOx에 대한 그래프로 CO의 경우 월별로 큰 변화는

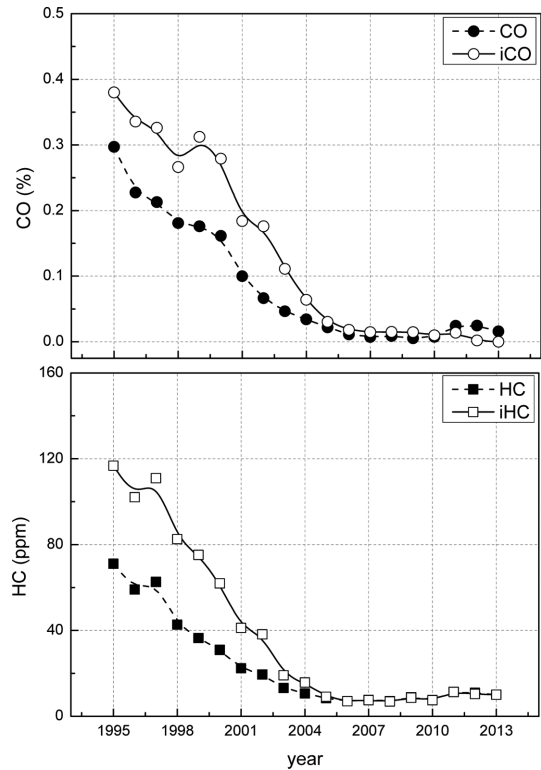


Fig. 7 Effect of test mode on the exhaust emissions at idle mode

없으나 HC는 4월부터 10월까지 높게 배출되는 특성을 보이며 11월부터 3월까지 낮게 배출되는 특성을 보이고 있다. 이는 계절에 따라 배출특성이 나타나는 것으로 판단된다. 또한 NOx의 경우 추운 겨울철에 높게 나타나는 경향을 보이나 여름철에는 낮게 배출되는 특성을 보이며 HC와 NOx는 계절에 따라 서로 상관관계 를 갖는 것을 볼 수 있다. 또한, 겨울철에는 추운 날씨로 인해 대기중 산소의 농도가 증가하여 연소실내의 유입되는 공기의 체적효율이 증가하여 연소가 활발히 일어날 것으로 추측된다.

그리고 Fig. 9와 같이 저속 공회전 검사모드와 정속모드 검사의 배출가스의 CO와 HC에서도 계절에 따라 비슷한 경향은 보이며 저속 공회전 검사 모드에서 2가지 배출가스에서 높게 나오는 것을 볼 수 있으며 이는 계절에 관계없이 정속 모드 검사대비 저속 공회전 검사에서 높게 나오는 것을 확인할 수 있다.

3.5 주행거리별 운행차 정밀검사 모드에서의 배기가스 특성

Figure 10(a)는 주행거리별 운행차 배출가스 정밀검사

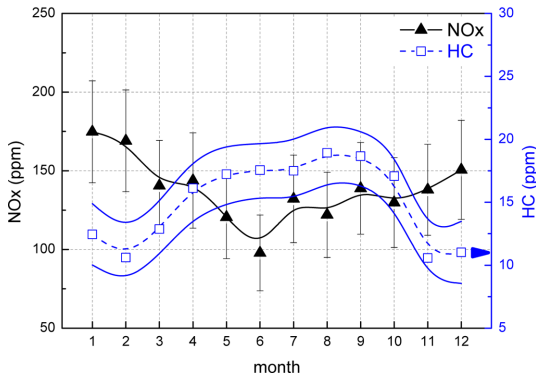
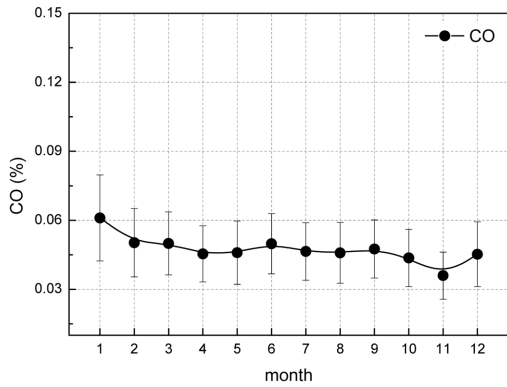


Fig. 8 Effect of test month of exhaust emissions at load mode

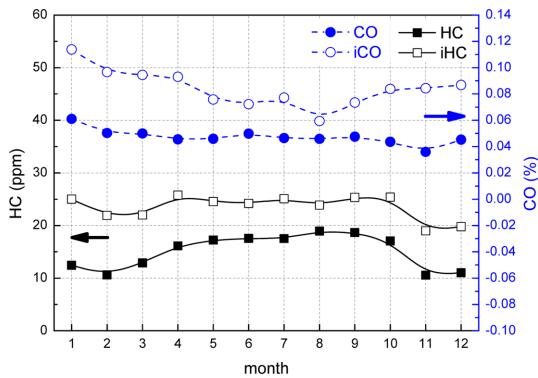
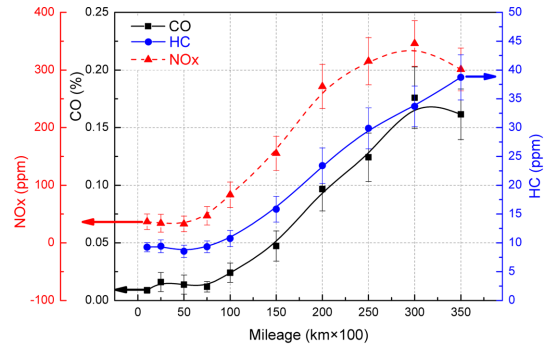


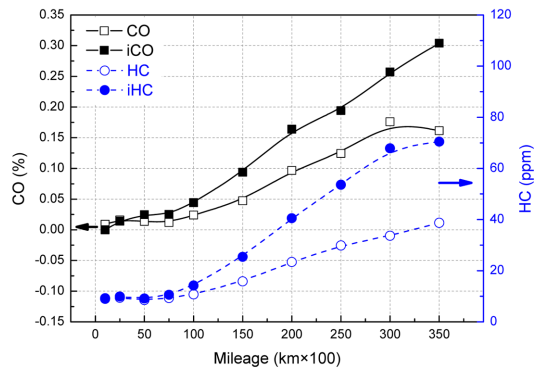
Fig. 9 Effect of test month of exhaust emissions at Idle mode

CO, HC, NOx에 대한 그래프로 주행거리가 증가할수록 배기가스도 같이 증가하는 경향을 보이며 (b)에서는 주행거리가 적을 때에는 비슷한 경향을 보이나 주행거리가 증가할수록 배기가스 또한 증가하는 경향을 보이기 있다.

Figure 11은 누적 주행거리 증가에 따른 오염물질 배



(a) CO, HC, NOx Emissions



(b) Exhaust emissions at Idle mode

Fig. 10 NOx, HC and CO emission from gasoline passenger cars according to accumulated mileage

출 특성을 나타낸 것이다. Fig. 10에서 연식 구분별로 뚜렷한 배출 특성의 차이를 확인하였으므로 운행차 배출 허용 기준의 각 연식 구분별로 도시하였다. 그리고 배기량 구분에 따른 오염물질 배출 특성은 뚜렷한 경향을 보이지 않음을 확인하였다. 차량의 누적 주행거리가 증가함에 따라 오염물질 배출량은 증가하며 연식 또한 오래된 차량일수록 증가폭이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 연식과 주행거리가 증가함은 차량 노화를 의미하며 이는 삼원 촉매 변환기의 성능 저하, 엔진 연소 성능 저하 등이 복합적으로 작용했을 것으로 판단된다. 그리고 주행거리가 증가할수록 오염물질의 증가폭은 더욱 증가하는 것이 확인할 수 있다.

2001년 이전 차량의 경우 10만 km까지의 초기 주행거리에서 배출량이 감소하는 경향을 보이고 있으나, 2001년 이후 차량에서는 배출량이 초기부터 지속적으로 증가하고 있다. 초기 주행거리의 배출량 변동성은 차량 자체의 안정화 단계에서 발생되는 편차로 판단된다.

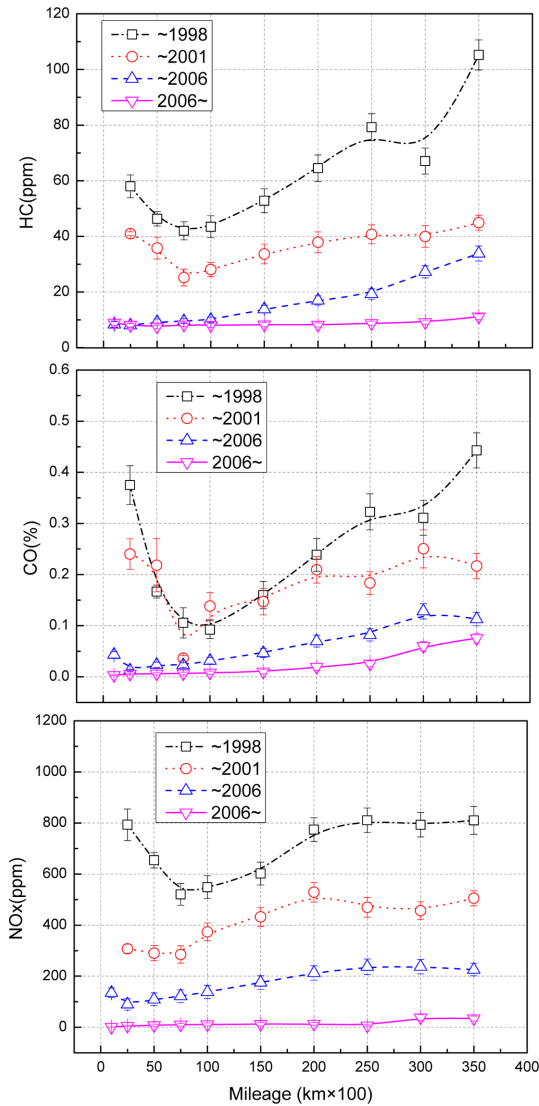


Fig. 11 Deterioration trends of exhaust emissions from gasoline passenger cars according to accumulated mileage

#### 4. 결 론

본 연구에서는 검사년도 2013~2017년 운행차 부하 검사(ASM-Idle) 받은 차량 중 합격한 가솔린 차량 13,456대를 오염 배출물에 대해서 배출량 기여율과 특징을 분석한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 배기량별 CO, HC, NOx에 대한 오염배출물이 1.0L부터 3.0L이하의 배기량에서 감소되는 것을 확인되

었고 3.0L이상에서는 큰 변화가 없는 것이 확인되었다.

(2) 저속공회전 검사모드와 정속모드에서의 유해 배출가스를 분석한 결과 저속 공회전 검사모드에서 더 높게 배출되는 것이 확인되었으며 ISG(Idle Stop and Go) 기능이 탑재된 차량에서 더 많은 유해 배출가스의 저감 가능성이 확인되었다.

(3) 엔진 출력이 큰 엔진일수록 운행차 검사모드에서는 유해 배출물 농도가 적게 배출되는 것이 확인되었으며 200hp 이상의 엔진에서 특히 NOx의 배출량 감소가 두드러지게 나타나는 것이 확인되었다.

(4) 제작 연식이 증가할수록 유해 배출물은 증가되는 것이 확인되었으나 2004년 이후 제작된 차량에서는 비슷한 수준의 배출가스가 배출되는 것이 확인되었다.

(5) 운행차 검사시기에 따라 배출물 특성에 영향이 있는 것이 확인되었고 특히 겨울철에는 NOx가 높게 배출되고 여름철에는 HC가 높게 배출되는 것을 확인되었다.

(6) 누적 주행거리와 운행차 검사 기준 연식이 증가할수록 유해 배기가스도 같이 증가하는 것이 확인되었다.

#### 후 기

본 연구는 연구재단 신진연구자 지원사업 이공학개인 기초연구지원비(NRF-2017R1D1A1B03035064)를 지원받아 수행된 연구로, 연구지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) J. Lee, Y. Lee, "The Combustion and Emission Characteristics with Increased Fuel Injection Pressure in a Gasoline Direct Injection Engine", Journal of Illass-korea, Vol. 22, No. 1, 2017, pp. 1~7.
- (2) K. Lee, N. Kim, Y. Cho, D. Lee and S. Park, "Modeling Dynamic Behavior and Injection Characteristic of a GDI Injector", Journal of Illass-korea, Vol. 22, No. 4, 2017, pp. 210~217.
- (3) H. Kim, J. Keel, G. Kang, S. Kim and J. Kim, "Investigation on the Exhaust Emission Characteristics of GDI Vehicles According to Various Mileage", Journal of Illass-korea, Vol. 22, No. 1, 2017, pp.8~12.
- (4) Z. Lee, J. Choi, J. Jang and S. Park, "Effects of Fuel Injection Strategies on Wall Film Formation at Port Injection Gasoline Engine", Journal of Illass-korea,

- Vol. 23, No. 1, 2018, pp. 36~41.
- (5) H. Jeun, K. Lee, M. Choi and S. Park, "Combustion Characteristics of Gasoline Direct Injection Engine with Water Injection into Intake Port under Low Engine-Load Operating Condition", *Journal of Ilass-korea*, Vol. 23, No. 2, 2018, pp. 96~101.
- (6) S. Mun, H. Hong, S. Kim, S. Seo, S. Jung, T. Chung, Y. Hong and J. Kim, "A Study on the VOCs Emission Characteristics of RV and MPV", *Journal of Ilass-korea*, Vol. 23, No. 2, 2018, pp. 66~73.
- (7) J. Lee, D. Kim, D. Baik and Y. Cho, "Numerical Analysis of Flow Characteristic of Residual Gas due to Changes in Valve Timings during an Idle Operation in an SI Engine", *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 14, No. 6, 2006, pp. 50~56.
- (8) C. Kim, H. Song, J. Lee, J. Yoo and H. Cho, "Effect of Valve Timing on Residual Gas Fraction and Combustion Characteristics at Part Load Condition in an SI Engine", *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 8, No. 4, 2000, pp. 26~33.
- (9) C. Lee, K. Lee, M. Chon, S. Choi and M. Kim, "Spray Behavior and Atomization Characteristics of High-pressure Gasoline Injector", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - B*, Vol. 23, No. 12, 1999, pp. 1555~1561.
- (10) S. Kwon, "The Domestic Regulations on the Vehicle Level System", *Auto Journal : Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 40, No. 6, 2018, pp. 50~53.
- (11) 김득수, 류정호, 유영숙, 엄명도, 전민선, 김대욱, "Measurements of N<sub>2</sub>O Emissions from Gasoline-powered Passenger Vehicles", *Proceeding of the 40th Meeting of KOSAE*, 2005, pp. 91~96.
- (12) E. Kang, M. Chon, J. Um, K. Kim and Y. Seo, "Characteristics Evaluation of Fuel Economy and Emission according to Driving Mode Conditions of The Vehicle by Fuel Type", *Transaction of KSAE*, 2015, pp. 199~202.
- (13) S. Oh, U. Yeo, W. Park, Y. Jung and B. Kang, "Improvement in Emission Inspection System of a Gasoline Vehicle in Service", *Transaction of KSAE*, 2012, pp. 536~542.
- (14) J. Kim, "In-use Vehicle Emission I/M Program", *Auto Journal : Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 38, 2016, pp. 31~34.
- (15) T. Lee, J. Kim, J. Lee and J. Kim, "Quantified Contribution of High Emitting Vehicles to Emission Inventories for Gasoline Passenger Cars based on Inspection and Maintenance Program Data", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 28, No. 4, 2012, pp. 396~410.
- (16) ㈜다산알앤디, "운행차 배출가스 정밀검사 제도/검사 시스템", *Workshop of KSAE*, 2006, pp. 55~62.
- (17) D. Won, "The Economic Value of Reducing Pollutants from Automobile", *Journal of Environmental Policy and Administration*, Vol. 22, No. 4, 2014, pp. 195~212.
- (18) 김선문, 김대욱, 엄동섭, 류정호, 유영숙, 이우근, "A Study on the Exhaust Characteristics of Gasoline Vehicle according to Ambient Temperature", *Proceeding of the 46th Meeting of KOSAE*, 2008, pp. 237~239.
- (19) 김대욱, 김선문, 류정호, 황춘식, "A Study on the Exhaust Characteristics of Gasoline Vehicle in Cold Climate", *Proceeding of the 41st Meeting of Kosae*, 2006, pp. 172~173.
- (20) H. C. Frey, A. Unal, J. Chen, S. Li and C. Xuan, "Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-scale Motor Vehicle & Equipment Emission System", EPA420-R-02-02; Prepared by North Carolina State University for Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency: Ann Arbor, MI, 2002.
- (21) E. Nam, "Proof of Concept Investigation for the Physical Emissions Estimator (PERE) for MOVES", EPA420-R-03-005, prepared by Ford Research and Advanced Engineering for Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality, EPA, February, 2003.
- (22) J. L. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1999.
- (23) H. C. Freya and K. Zhangb, "Implications of Measured In-Use Light Duty Gasoline Vehicle Emissions for Emission Inventory Development at High Spatial and Temporal Resolution", 16th annual international emission inventory, 2007, epa.gov.