

## 유사경유 및 정상경유 미립화특성과 배출가스 환경성평가

이종태\* · 문선희\* · 김정수\* · 김선문\* · 박규태\* · 임윤성†

### The Characteristics of Spray and Exhaust Emissions Environmental Assessment of Adulteration and Convention Diesel

Jong-Tae Lee, Sun-Hee Moon, Jeong-Soo Kim, Sun-Moon Kim, Gyu-Tae Park and Yun-Sung Lim

**Key Words:** Adulteration diesel(유사경유), Convention diesel(정상경유), MSAT(이동오염원유해대기오염물질)

#### Abstract

Adulterations fuel have been using in the vehicle in these days. Because gasoline, diesel prices are rising every day. so people find more cheap price fuel. Adulterations fuel caused a serious air pollution problems. Adulteration fuel were made from waste engine oil, waste paint. According to Government regulations permit to be used recycle fuel(adulteration fuel) only in industrial boiler. Unburned fuel pollutants are effected to human health. In this paper, the hazardous air pollutants characteristics in the diesel vehicles according to adulterations of vehicle fuels were carried out in the NEDC test mode in chassis dynamometer. It is revealed that the all of the regulation pollutants (THC, NO<sub>x</sub>, CO and PM) emission in the adulterations of vehicle fuels was increased also the green house gas, CO<sub>2</sub> was increased. In the hazardous air pollutants characteristics, the VOCs(Volatile Organic Compounds) BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene) emissions in the adulterations of vehicle fuels showed higher level than these in the diesel fuels.

#### 1. 서 론

원유가의 상승과 경제침체로 인해 최근 들어 유사휘발유, 경유에 대한 사용이 정부기관의 단속에도 불구하고 지속적으로 증가되고 있는 추세이다. 유사석유는 대기환경보전법 또는 석유 및 석유대체연료사업법에서 규정하고 있는 자동차연료의 제조기준에 부적합하게 제조되고 있으며, 제조된 물질역시 어떠한 물질이 어떻게 배합되었는지 알 수 없어 차량에 악영향을 미치게 된다.

유사 자동차연료의 사용으로 인해 규제물질인 일산화

탄소, 질소산화물, 탄화수소 등의 물질과 유해 배기가스 증가로 대기오염 악화 시킬 수 있으며 연료의 발화점이 낮아 폭발 등의 화재사고, 엔진의 오작동에 따른 부품손상으로 차량이 주행 중 갑자기 정지하는 등 인체 유해성과 도로안전사고에 원인이 되고 있는 것으로 조사되고 있다<sup>(5,6)</sup>.

차량 배출가스 중 탄화수소의 VOCs는 NO<sub>x</sub>와 함께 광화학반응을 일으켜 인체 및 동식물에 유해한 고농도의 오존을 발생시키며 자체의 유독성으로 동식물 및 인간에게 악영향을 주게된다. 또한 VOCs에 포함된 벤젠은 발암물질로 규제되고 있으며 유사석유 사용 차량은 벤젠, 알데히드 등의 발암물질을 60% 이상 높게 배출해 환경오염 문제의 심각성이 대두되고 있다<sup>(1,2)</sup>.

이번 연구에서는 유사 경유 사용에 따라 발생하는 배출가스의 유해대기오염물질 특성을 살펴보기 위해 기존 엔진의 동일조건 상태에서 액체분무시험을 실시하였으

(2013년 6월 5일 접수 ~ 2013년 6월 20일 심사완료, 2013년 6월 24일 게재확정)

\*교통환경연구소

†임윤성, 회원,국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : yun911@korea.kr

TEL : (032)560-7618 FAX : (032)561-7013

며, 이에 따른 배출가스의 환경성평가를 위해 경유자동차를 선정하여 차대동력계를 이용하여 유해대기오염물질의 특성을 살펴보았다.

## 2. 시험방법

### 2.1 시험용 연료

실험에 사용한 연료는 정상경유와 유사경유를 사용하였다. 이번 유사경유는 엔진오일 등을 정제한 정제유로 정제유는 석유를 정제하여 석유제품을 제조하는 것을 말하며 일반적으로 페페인트, 페엔진오일 등 석유계 원료를 사용하여 보일러 등에 사용되도록 만든 연료를 말한다. 제품의 품질은 자동차 경유보다 질이 낮으며 다양한 오염물질이 포함되어 있어 자동차연료로는 부적합한 연료임에도 운전자들이 경유보다 낮은 가격으로 유사경유를 사용하고 있고 있다. 일반적으로 정제유는 보일러나 산업공정에서 사용될 수 있도록 만든 제품이다.

### 2.1 차량시험 장치 및 측정 방법

차대동력계는 자동차가 실제 도로를 주행할 때 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 모사 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치로, 관성중량(Inertia weight), 동력 흡수계(Power absorption unit), 제어기(Controller)로 구성되어 있다. 측정 장치는 차대동력계, 보조운전 장치, 시료채취장치, 희석터널, 입자상물질 측정장치 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어 있다<sup>(3)</sup>.

배출가스 측정은 시험자동차가 차대동력계의 롤러위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치(CVS:Constant volume sampler)에서 일정량의 공기로 희석한 후, 시료채취백에 채취하여 배출가스 분석기로 분석하였다. 운전보조 장치(Driver aid)는 운전자가 자동차로 도로에서 주행하는 상태로 운전 할 수 있도록 화면에 운행상태를 표시해 주는 장치이다. 또한 시료채취장치(Constant volume sampler)는 자동차 배출가스를 공기와 희석하여 채취할 수 있는 장치이며 희석터널은 고온에 의한 입자상물질의 변화를 배제시키고 대기조건으로 제어하기 위해 시료채취온도가 항상 52°C 이내로 유지되도록 외부공기와 배기가스를 희석시키는 기능을 한다. 차대동력의 측정시스템 개략도를 Fig. 1에 이용하여 시험하는 모습을 Fig. 2에 나타내었다<sup>(4)</sup>.

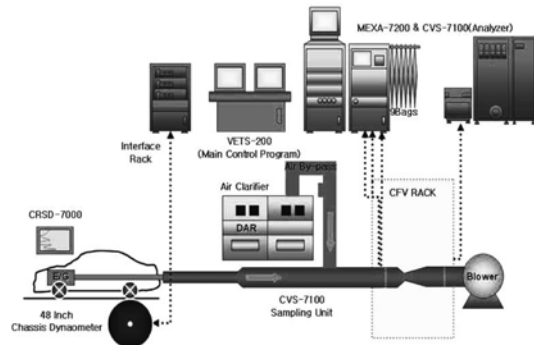


Fig. 1 Schematic diagram for vehicle emission test



Fig. 2 Overview of chassis-dynamometer

### 2.2 시험대상 차량

선정된 시험차량은 국내 점유율을 고려해서 SUV (sport utility vehicle)를 선정하였다. 시험차량은 시험 연료를 주입하고 길들이기 주행을 하기 위해 200 km 주행 후 새로 주입된 연료가 차량에 충분히 적응하도록 하고 실험을 실시하였다. 시험차량들을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Test vehicle and engine status

Model	TUCSON(2012)
Manufacturer	Hyundai
Fuel	Diesel
Displacement (cc)	1,995 cc
Engine type	L4 2.0e-VGT
Odometer	8,000 km
Test mode	NEDC

2.3 분무 가시화

분무 가시화 실험은 엔진내의 유사연료와 정상경유와의 분무형태를 확인하여 연료의 물리적 특성에 따라 어떠한 영향이 있는지를 확인하였으며 또한 이러한 결과에 따라 발생하는 오염물질의 특성을 확인하기 위한 실험을 실시하였다.

Figure 3은 가시화 실험장치의 구성도를 나타내었다. 연료는 공압식펌프(Haskel, DSXHF-903)를 사용하여 가압하였으며 인젝터 드라이버(TEMS, TDA-3300)를 사용하여 분사 신호를 제어하였다. 또한, 펄스 제너레이터(Berkeley Nucleonics Corp, Model555)와 CCD 카메라(Photron, Fastcam-APX RS)를 동기화하여 동일한 타이밍에 신호를 발생하고 데이터를 취득하도록 제어하였다.

본 실험에서는 단공인젝터를 사용하여 Side view방식으로 분무형태를 취득하였으며 인젝터와 실험조건의 제원은 Table 2에 나타내었다.

2.4 시험연료 분석

대기환경보전법 시행규칙 별표33에 제조기준 준수 여부를 확인하였다. 분석 시험방법은 고시(환경부 제

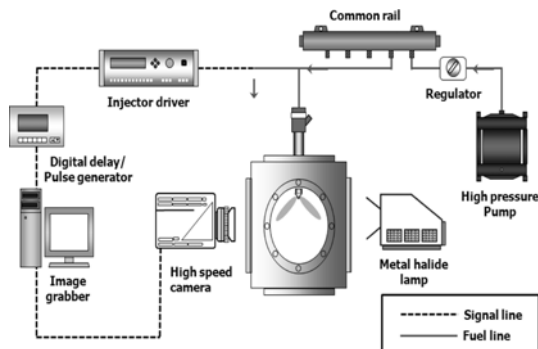


Fig. 3 Schematic diagram for fuel spray chamber

Table 2 Specification of spray chamber

Injection type	Solenoid
Number of holes	1
Nozzle hole diameter	0.131
Injection pressure(MPa)	50, 100, 150
Ambient pressure(MPa)	0.1
Injection duration(ms)	0.5, 1.0, 1.5

Table 3 Analysis method of diesel fuel

Test item	Test method(KS, ASTM)
Carbon Residue (wt%)	KS M 2017
Density@15°C (kg/m <sup>3</sup> )	KS M ISO 12185
Sulfur contents(ppm)	ASTM D 5453
Poly aromatics (wt%)	ASTM D 5186
Lubricants (µm)	CEC F-06-A
Aromatics (wt%)	ASTM D 5186
Cetane intex (or Cetane number)	KS M 2610

2012-17호)에 규정하고 있는 방법에 준하여 실시하였다.

국내 연료는 품질은 세계 최고수준이다. 연료는 자동차의 배출규제기준을 만족하기 위해 사용되는 후처리장치인 DPF(diesel particle filter) 또는 DOC(diesel oxidation catalyst)와 같은 장치가 원활하게 작동하기 위해 품질관리가 지속적으로 요구된다. 특히 향후 EURO-6 이후 강화되는 질소산화물(NOx)의 규제를 만족하기 위해서는 SCR(selective catalyst reduction) 또는 EGR(exhaust gas recirculation) 같은 장치가 사용되고 있다. 이런 장치의 원활한 사용을 위해서는 경유의 황함량이 10 ppm(wt%) 이하로 공급되어야 한다.

3. 결 과

3.1 시험연료 분석 결과

유사연료와 정상경유를 검사항목별로 분석하여 기준치에 따른 차이를 살펴보았다. 그 결과는 Table 4에 나타내었다.

유사연료와 정상경유의 가장 큰 차이는 황함량과 세탄지수의 차이가 나타났다. 특히 황함량의 경우 정상경유보다 약128배 높은 770 ppm(wt%)으로 조사되었다. 이런 높은 황함량을 가진 연료를 사용할 경우 경유자동차에 배출가스 저감을 위해 장착된 DPF, DOC의 작동에 미연소된 황화합물에 의해 입자상물질이 침적되어 악영향을 미쳐 정상적인 작동되지 않을 뿐만 아니라 심할 경우 자동차가 운행 중 시동이 꺼지는 현상이 나타나기도 한다. 가격이 싼 유사연료 사용으로 고가 장치의 고장을 야기 시킬 수 있다.

Table 4 Analysis result of diesel fuel

Fuel Item	Limit	Conventional diesel	Adulteration diesel
Carbon Residue (wt%)	0.15 ↓	0.01	0.01
Density@15°C (kg/m <sup>3</sup> )	815~835	827	867
Sulfur contents(ppm)	10 ↓	6	770
Poly aromatics (wt%)	5 ↓	3.4	25.4
Lubricants (μm)	400 ↓	275	575
Aromatics (wt%)	30 ↓	22	40
Cetane intex (or Cetane number)	52 ↓	54	39

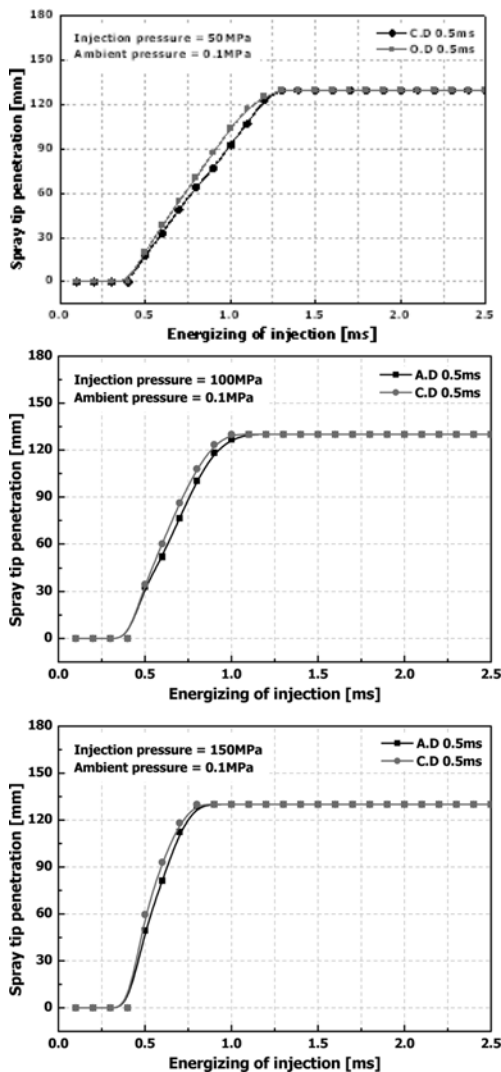


Fig. 4 Spray penetrations according to the injection pressures

### 3.2 분무 가시화 결과

본 실험에서 분무도달거리는 인젝터의 노즐 팁으로부터 분사되는 최대 도달거리로 정의하였다. Fig. 4는 분위기 압력 0.1 MPa, 통전기간 0.5 ms의 조건에서 50, 100, 150 MPa로 분사압력 변화에 따른 분무도달거리를 나타내었다. 모든 분사압력 조건에서 정상경유가 유사경유보다 빠르게 발달하는 것으로 측정되었으며 분사압력이 증가할수록 실험연료간의 분무 발달의 차이는 소폭 감소 하였다. 이는 분사압력이 증가하면 인젝터 내의 온도와 압력이 증가하여 연료의 물성에 대한 영향이 적어지기 때문에 분사압력이 증가할수록 정상경유와 유사경유의 분무발달의 속도차이가 감소하는 것으로 판단된다.

분무각은 분무의 좌우 반경방향 최대 지점과 노즐 팁이 이루는 사이각으로 정의하였다. Fig 5는 분무도달거리와 동일한 조건의 분무각을 나타내었다. 분사시작부터 분사가 끝날 때 까지는 불안정하여 큰 차이를 보기 힘들기 때문에 분사가 끝난 후 1.5 ms구간을 비교하였다.

모든 분사압력 조건에서 유사경유의 분무각이 정상경유에 비하여 좁게 나타났으며 분사압력에 대해서는 크게 차이를 나타내지 않았다. 이는 유사경유가 가진 높은 밀도의 영향으로 인하여 정상경유보다 분무각이 좁게 나타나는 것으로 판단된다.

위의 결과를 바탕으로 상대적으로 넓은 분무각을 가지고 빠르게 발달하는 정상경유가 혼합기의 혼합에 유리할 것으로 판단된다.

### 3.2 규제물질 분석 결과

유사연료와 정상경유 따른 배출가스의 특성에 대해 살펴보고자 한다. 배출가스 환경인증시험방법인 NEDC 모드에 따라 발생하는 CO(일산화탄소), THC(탄화수소), NOx(질소산화물), CO<sub>2</sub>(이산화탄소)에 대한 결과를 Fig.

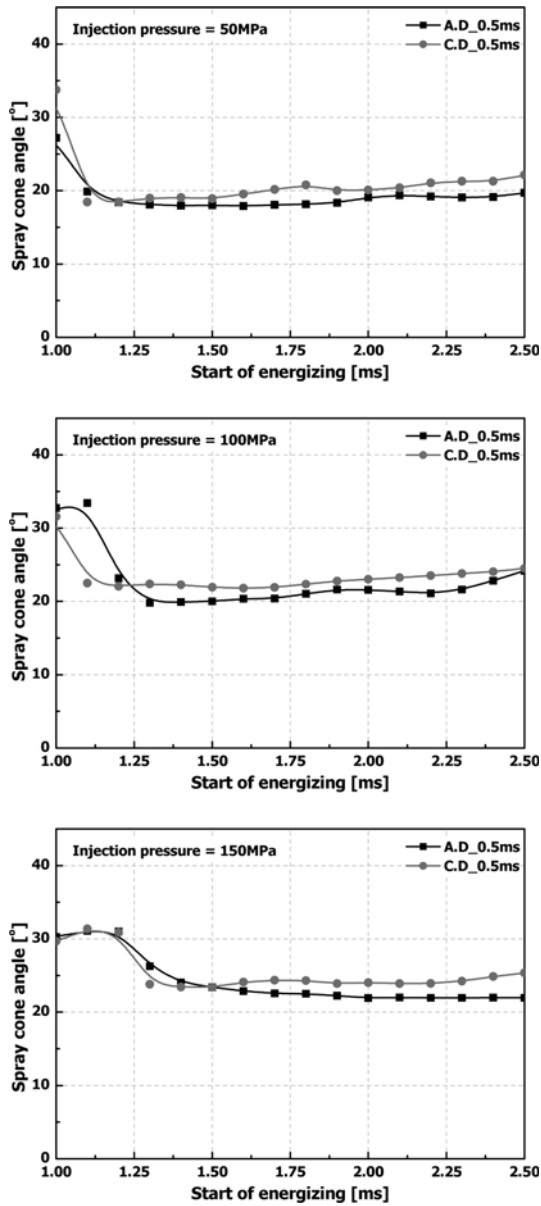


Fig. 5 Spray cone angles according to the injection pressures

6에 나타내었다.

배출가스 규제시험방법인 NEDC 운행 결과 정상 경유보다 유사 경유에서 배출가스 및 온실가스가 더 많이 증가 하였다. 특히 CO의 경우 59.4배, NOx의 경우 1.3 배, THC의 경우 4.9배 정도 많이 증가 하였다. 이는 유사연료에 의한 물성 중 품질기준에 맞지 않는 부분과 특히 방향족화합물의 영향으로 고려된다. 방향족화합물

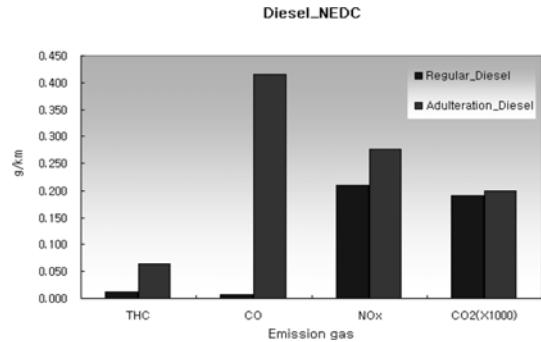


Fig. 6 Result of diesel & adulteration diesel emission Conc

의 증가시 THC가 증가하며 세탄가가 낮을 경우 CO가 증가하는 경향을 나타나게 된다. 또한 연료 물성에 따른 분무결과와 같이 공기와 연료의 혼합면에서 유사연료의 경우 혼합 정도가 낮기 때문에 일반적 연소에 있어 정상경유에 비해 CO, THC의 발생 비율이 높은 것으로 조사되었다. 또한 온실가스 측면에서도 CO<sub>2</sub>의 경우 4.2% 정도 높게 배출되었다. 전체적인 내용면에서 유사연료는 정상연료보다 오염물질을 많이 배출하게 된다.

### 3.2 미규제물질 분석 결과

유사연료와 정상경유 사용에 따른 VOCs 배출농도를 물질별로 나타내어 특성에 대해 살펴보고자한다. VOCs의 분석은 EPA TO-14 시험방법을 준용하여 GC/MSD (gas chromatic/mass detector)를 이용하여 분석 하였다<sup>(5)</sup>. NEDC 모드에 따라 발생되는 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, Styrene, o-Xylene에 대한 결과를 Fig. 7, 8에 나타내었다.

유사경유 NEDC 모드에서 Toluene > Benzene > Ethylbenzene > m,p-Xylene > o-Xylene > 1,3-butadiene > Styrene 순으로 나타났다. 또한 방향족성분인 Toluene의

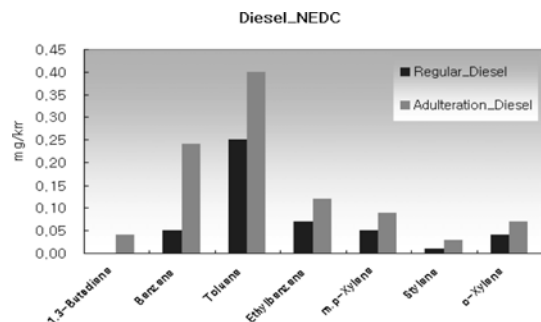


Fig. 7 Result of diesel & adulteration diesel VOCs Conc

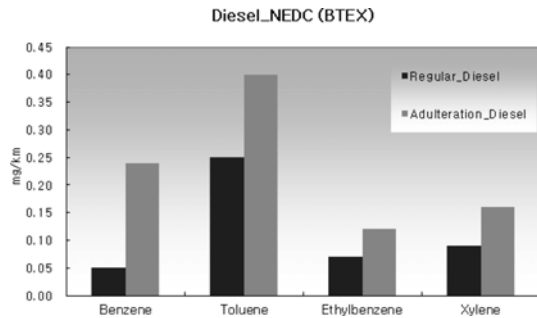


Fig. 8 Result of diesel & adulteration diesel BTEX Conc

배출농도가 가장 높게 나타났고 다음으로 Benzene이 높게 나타내었다. Toluene 경우 유사경유는 정품경유에 비해 약 1.6배, Benzene은 약 4.8배, Ethylbenzene은 약 1.7배, Xylene은 약 1.8배 높게 나타났다.

#### 4. 결 론

1) 연료 품질 결과 유사연료에서 세탄가와 황함량이 낮았으며 이는 배출가스 중 입자상물질과 CO, THC에 증가로 나타났다.

2) 정상경유에 비해 유사경유의 분무속도가 느린 것을 알 수 있습니다. 그렇기 때문에 공기와 연료의 혼합 면에서 정상 경유가 우세할 것으로 나타났습니다.

3) 정상경유의 배출가스가 유사경유보다 낮은 배출가스의 농도를 나타냈으며 이는 연료물성과 CH비율에 따른 결과로 사료 됩니다.

4) VOCs의 분석결과 배출가스 중 THC 농도와 연관하여 유사 경유의 BTEX 발생 부분이 높은 것으로 조사되었습니다.

#### 참고문헌

- (1) C. Y. Seo, S. C. Gwoak, M. D. Eom, J. T. Lee, Y. S. Lim, Y. H. Park, S. B. Lee, C. W. Yoon, S. I. Shin, S. J. Jeon, C. S. Hwang, S. L. Moon, Y. J. Lee, Y. D. Pyo, H. G. Kim and E. S. Yim, "The Characteristics of the Exhaust Gas Emission by Fuel Types, National Institute of Environmental Research", NIER NO. 2004-27-733.
- (2) M. D. Eom, S. C. Gwoak, J. S. Han, D. I. Kang, H. M. Kim, J. K. Lee, C. S. Hwang, H. J. Lee and J. C. Kim, "A study on the investigation on the HAPs emissions by the mobile source(IV), National Institute of Environmental Research, NIER NO. 2007-43-899.
- (3) M. D. Eom, D. W. Kim, J. S. Han, Y. H. Park, C. Y. Seo, S. I. Kwon, S. C. Gwoak and J. W. Choi, "A Study on the Estimation of the HAPs Emission Factors for the Mobile Source (I)" Motor Vehicle Emission Research Laboratory National Institute of Environmental Research, 2004.
- (4) Y. S. Lyu, J. S. Han, S. M. Kim, C. S. Lim, D. W. Kim, D. M. Lee, J. G. Lee, M. D. Eom and H. C. Kim, "Exhaust VOCs Emission Characteristics from Motor Vehicles", Journal of Korea Society for Atmospheric Environment, Vol. 24, No. 3, pp. 275-283 (2008).
- (5) EPA, Compendium method TO-14, 1999.
- (6) B. D. Soh, S. G. Lee, H. H. Lee, C. H. Song, J. S. Kim, "The study on the effective evaluation of irregular diesel for diesel engine", KSAE07-S0080, pp. 521-526, 2007.
- (7) S. Y. Jeon, Y. K. Jang and B. J. Jun, "Estimation of BTX Emission Using Pseudo-gasoline", Journal of Korea Society for Atmospheric Environment Vol. 28, No. 5 pp. 527-537 (2012).