

대형 경유트럭의 NO_x 저감장치에 따른 배출가스 특성비교

문선희 · 유흥민 · 손지환 · 윤창완 · 박규태 · 김정수 · 이종태[†]

Comparison on Exhaust Gas of Heavy Duty Diesel Trucks; THC and CO Emission Affected by NO_x Control Devices (EGR, SCR)

SunHee Mun, Heung-Min Yoo, JiHwan Son, Changwan Yun,
Gyu Tae Park, JeongSoo Kim and Jongtae Lee

Key Words: Heavy Duty Diesel Trucks(대형 경유트럭), NO_x Control Device(NO_x 저감장치), EGR(배기 가스 재순환), SCR(선택적 환원촉매), THC(총탄화수소)

Abstract

With increasing of GDP, the registration number of passenger cars has exceeded 20 million last year in Korea. Especially, the registration number of the diesel engine vehicles has been increasing. However, the WHO(World Health Organization) IARC (International Agency for Research on Cancer) has reported that diesel engine exhaust gas is an one of HAPs, which has carcinogenic for human, and they have designated it to Group 1. To solve this problem, exhaust gas from diesel engines has to be controlled. Thus, it has been controlling by European regulatory standard in Korea. On the other hand, in order to meet the enhanced emission regulations, all manufacturing company applied NO_x control device to vehicles such as EGR (Exhaust Gas Recirculation), SCR (Selective Catalytic Reduction) and so on. However, these devices (EGR, SCR) were operated by difference reaction mechanism respectively, and the composition of exhaust gas would be differenced from that of them. In this study, it was conducted to evaluate variety characteristics on changing of exhaust gas composition by each NO_x control device, and the heavy duty diesel trucks were chosen as experimental vehicles. From the result, it revealed that vehicles (with EGR) were discharged higher THC as 52.5% than that of others (with SCR). However, it did not followed that trend, in the case of CO; it was discharged as 57.2% lower than that of others (with SCR). In the future, these data would be used to apply to efficient NO_x control device for meeting to EURO 6.

1. 서 론

승용차, 트럭, 이륜차 등 도로이동오염원에서 배출되는 유해대기오염물질은 산업 및 경제 생산 활동이 발전함에 따라 그 비중도 증가하고 있으며, 대기오염원 중

가장 높은 비중을 차지하고 있다⁽¹⁾. 이에 따라, 최근 자동차 등록대수는 지난해 말 2천만대를 초과하였으며⁽²⁾, 이중에서도 특히, 디젤자동차의 등록대수가 크게 증가하고 있다. 이는 디젤엔진의 압축비가 높고, 흡입공기의 저항이 없어 연비가 우수하다는 장점에 의한 영향이 크다. 한편, 가솔린과 디젤엔진의 가장 큰 차이점은 팽창 방식으로 가솔린엔진은 압축한 가솔린과 공기를 전기불꽃으로 점화한 후 폭발시켜 구동에너지를 얻는 ‘압축·점화’ 방식이지만, 디젤엔진은 공기만을 흡입하여 압축한 후 가열된 공기 중에 경유를 분사해 자연발화 시킴으로써 구동에너지를 얻는 ‘압축·착화’방식을 적용한

Received: 15 Aug 2015, Received in revised form: 21 Sep 2015,
Accepted: 22 Sep 2015)

*교통환경연구소

[†]책임저자, 회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : leelee@korea.kr

TEL : (032)560-7606 FAX : (032)561-7013

다. 이러한 압축·착화 방식은 토크가 높기 때문에 대형 자동차에 널리 이용되고 있다^(3,4). 대형트럭은 전체 차량 등록대수의 1.2%(2014년 기준)로 낮은 비율을 차지하고 있지만⁽²⁾, 오염물질 중 NO_x와 PM 배출량은 각각 41.7%, 34.5%로 기여도가 높으며, 장거리 운행 특성으로 인해 도로이동오염원의 주요 배출원으로 지목되고 있다⁽⁵⁾. 또한, 최근 세계보건기구(WHO, World Health Organization) 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서는 인체 위해성 평가 결과들을 바탕으로 디젤자동차 배출가스를 발암물질 group 2A(인체 발암 가능성 높은 그룹)에서 group 1(인체 발암성 있는 그룹)로 상향 조정하여 발표한 바 있다⁽⁶⁾. 이에 국내에서는 배출허용기준을 유럽(EU)의 기준을 적용하여 배출가스를 지속적으로 관리해 왔으며, 강화된 배출가스 기준을 만족하기 위해 배출가스 저감장치인 EGR, SCR 등을 장착하였다⁽⁷⁾.

상기된 저감장치들 중 NO_x 제어를 목적으로 한 EGR의 경우, 저온연소로 인한 연소효율 감소, 연비 감소 등의 한계성을 나타내어 출력증대 및 연비개선 효과가 높은 SCR의 적용이 더 확대되고 있는 실정이다^(8,9). EGR과 SCR은 제어방식에 따라 반응기작이 다른데, EGR의 경우 물리적으로 배기가스를 재순환하여 연소온도를 낮추어 제어하는 방식인 반면, SCR은 화학적으로 NH₃(urea) 분사를 통해 촉매반응에 의한 선택적 환원 반응이 유도되어 제어되는데 이 과정에서 배출가스 조성에도 영향을 끼치게 된다^(10,11).

따라서 본 연구에서는 다양한 주행조건에서 대형트럭을 대상으로 NO_x 저감장치별(EGR+DPF, SCR)로 오염물질이 어떠한 특성이 있는지 평가하였으며, 이는 향후 EURO 6에 대한 저감장치 선정과 대응방향 설정에 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구내용 및 시험방법

2.1 시험장치 및 측정방법

Figure 1에는 본 연구에 사용된 차대동력계(Chassis dynamometer) 시스템을 나타낸 것으로, 차대동력계의 롤러 위에서 시험차량이 정지, 정속, 가속, 감속 등의 주행패턴을 반영하는 시스템으로서 실제 도로를 주행할 때와 유사한 조건으로 운전되도록 재현한다. 측정장치는 차대동력계, 보조운전장치, 정용량 시료채취장치, 희석터널, 입자상물질 측정 장치, 배출가스 분석기 등으로

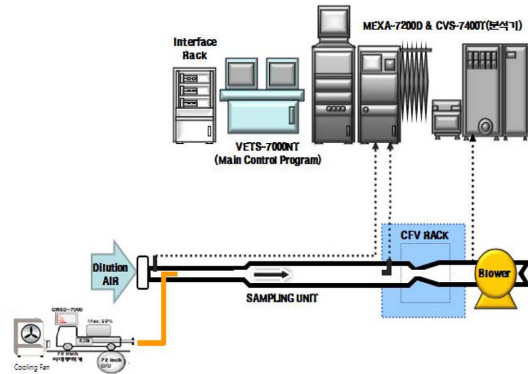


Fig. 1 Schematic diagram on chassis dynamometer process

구성되어 있다.

배출가스 측정은 시험차량의 배기관으로부터 배출되는 배출가스를 정용량 시료 채취장치(CVS, Constant volume sampler)에서 일정량의 공기와 희석한 후, 90L 테들러 백(Tedlar bag)에 3 L/min 유량으로 유입되어 배출가스분석기(Horiba, MEXA-7200D)로 분석하였다. 배출가스 중 THC(Total Hydro Carbon)는 열식불꽃이온화 검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), CO는 비분산적외선분석법(NDIR, Non Dispersive Infra-Red)을 이용하여 분석하였으며, 주행거리당의 중량단위(g/km)로 측정된다.

2.2 시험대상 차량 및 주행모드

시험대상 차량은 국내에 보급되어 있는 대형 트럭 중 대기정책원시스템(CAPSS)의 현황자료에 근거하여 점유율에 맞게 선정하였다. 또한 실험목적에 따라 배출허용기준(EURO4, EURO5)에 부합하기 위해 개발된 NO_x 저감장치(EGR, SCR)가 장착된 차량을 위주로 재선별하였고, 선정된 차량의 제원을 Table 1에 나타내었다.

주행모드는 Fig. 2와 같이 시험검증 및 주행모드 변화에 따른 배출특성을 분석하기 위해 대기오염물질 인증모드로 검토되고 있는 국제표준화 모드(WHVC, Worldwide Harmonized Vehicle Chassis dynamometer test)로 시험하였다.

또한, 차속 또는 주행패턴에 따라 배출가스의 구성이 달라질 것으로 예상되는 바⁽¹²⁻¹⁴⁾, 이를 반영하기 위해 국내 차속모드를 이용하여 실도로 주행패턴을 반영하면서 차속에 따른 배출가스의 변화를 관찰하고자 하였다. 이에 WHVC(평균차속 40.2 km/h) 모드 외에 NIER1(평균

Table 1 Specifications of selected vehicles for experiment

| Trucks | Standard | Max. Loading capacity (ton) | Made year | Displacement (cc) | Running distance (km) | NO _x control device |
|--------|----------|-----------------------------|-----------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| A | EURO4 | 25 | 2009 | 12,344 | 574,336 | EGR + pDPF |
| B | | 25.5 | 2009 | 12,344 | 471,419 | EGR + pDPF |
| C | EURO5 | 25 | 2012 | 10,800 | 355,217 | SCR |
| D | | 25 | 2012 | 12,742 | 221,221 | SCR |
| E | | 25.5 | 2012 | 12,777 | 193,537 | SCR |

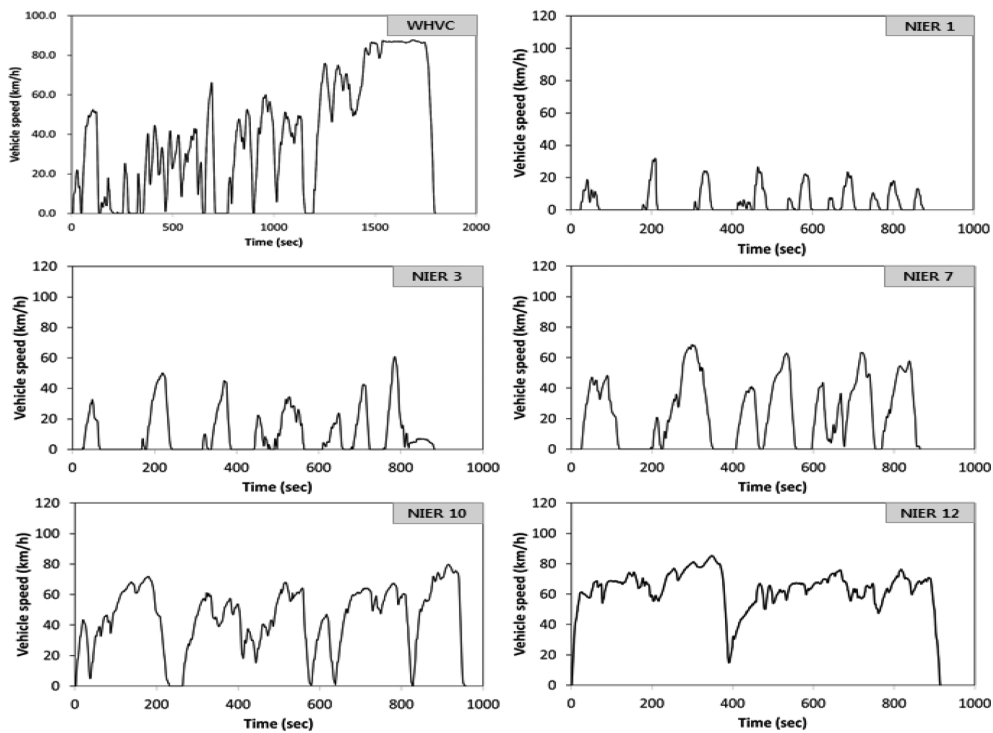


Fig. 2 The Driving patterns on WHVC and NIER modes

Table 2 Specification of driving modes

| Test mode | Total driving distance (km) | Driving Time (s) | Average speed (km/h) | Maximum speed (km/h) |
|-----------|-----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| WHVC | 20.06 | 1,798 | 40.2 | 87.9 |
| NIER1 | 1.11 | 876 | 4.6 | 31.9 |
| NIER3 | 2.59 | 882 | 10.6 | 60.9 |
| NIER7 | 5.80 | 864 | 24.2 | 68.5 |
| NIER10 | 11.96 | 956 | 45.0 | 79.8 |
| NIER12 | 15.57 | 866 | 64.7 | 85.4 |

차속 4.6 km/h), NIER3(평균차속 10.6 km/h), NIER7(평균차속 24.2 km/h), NIER10(평균차속 45.0 km/h), NIER12(평균차속 64.7 km/h)를 적용하여 실험을 수행하였다. 주행모드에 대한 조건은 Table 2에 정리하였다.

한편, 일반적으로 화물차량은 적재를 목적으로 제작된 차량으로서 왕복구간에서 적재율 100%는 일반적인 양상이 아니라고 판단되어, 왕복구간 적재율의 평균값인 50%를 적재율로 반영하여 측정하였다.

2.3 배출허용기준

국내의 대형화물자동차에 대한 규정은 화물을 운송하

Table 3 Changing of trend on emission standards for HDDVs (Unit : g/kwh)

| Standards | THC | CO | NO _x | PM |
|-----------------|------|-----|-----------------|------|
| EURO3(by 2002~) | 0.66 | 2.1 | 5.0 | 0.1 |
| EURO4(by 2006~) | 0.46 | 1.5 | 3.5 | 0.02 |
| EURO5(by 2009~) | 0.46 | 1.5 | 2 | 0.02 |
| EURO6(by 2014~) | 0.13 | 1.5 | 0.4 | 0.01 |

기 적합하게 제작된 것으로 차량 총중량이 3.5톤 이상인 것으로 분류하고 있다. 국내 대형 경유자동차에 대한 배출가스 허용기준 강화 추이를 Table 3에 나타내었으며 3~5년 마다 단계를 높여 강화하고 있다. 오염물질 배출허용기준은 2006년 도입된 EURO4 대비 2009년에 도입된 EURO5는 NO_x 항목에서 약 43% 기준이 강화되었다. 특히 단계적으로 THC, NO_x의 배출허용기준이 대폭 강화되었으며 EURO6 인증기준을 맞추기 위해서는 EURO5 대비 NO_x와 THC는 각각 약 80%, 72% 가량 줄여야한다⁽⁷⁾.

대형자동차 배출가스 인증시험은 엔진을 탈착하여 엔진동력계에서 ND-13, ETC 모드로 측정되며 2014년부터 WHSC, WHTC 모드의 측정방법을 적용하였다. 한편, 해당모드로부터 측정되는 값의 단위는 g/kwh인데 반해⁽⁷⁾, 본 연구에서 수행한 차대동력계에서의 결과 값은 g/km로 배출허용기준 적합여부 및 배출수준을 평가하는 것은 다소 무리가 있다. 그러나 본 연구에서는 선행연구로부터 엔진동력계와 차대동력계의 결과값을 상호·비교할 수 있도록 도출한 전환계수를 활용하여⁽¹⁵⁾ NIER 7 모드에서의 결과 값을 비교하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 오염물질 배출특성

앞서 언급한 바와 같이 인증모드에 준하여 NO_x 저감효과를 비교하는 것은 대형트럭의 경우에는 인증모드가 별도로 존재하기 때문에 다소 무리가 있다⁽⁷⁾. 그러나 본 연구에서는 선행연구로부터 도출된 NIER 6에서의 전환계수를 활용하여 NIER 7 모드에서의 결과 값을 비교하였다. Fig. 3과 같이 EGR, SCR 장착 차량의 THC 배출량은 각각 0.06, 0.03 g/kWh로 EURO 4와 5의 배출허용기준인 0.46 g/kWh를 충족하였다. CO의 배출량은 SCR

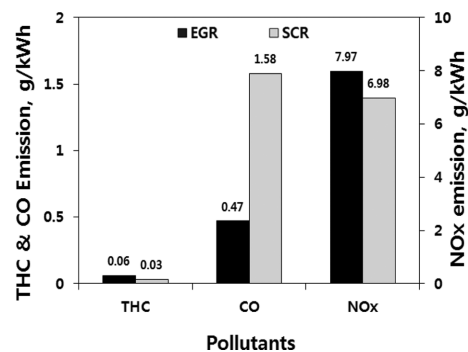


Fig. 3 The Correction Result using Conversion Factor (on NIER 7)

장착 차량에서 배출허용기준치보다 0.08 g/kWh 초과하는 결과를 보였다. 한편, NO_x의 배출량을 비교해본 결과 SCR에 의한 NO_x 저감효과가 더 높은 것으로 확인되었지만, EGR, SCR 장착 차량의 NO_x 배출량은 모두 배출허용기준을 초과하였다. 이는 SCR 작동원리가 실제로 주행패턴을 반영한 모드에 실시간으로 응답하지 못하기 때문인 것으로 판단된다.⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ Fig. 3의 결과로부터 SCR 차량은 EGR 차량과 비교해볼 때, NO_x 저감효과가 있고 상대적으로 HC에 대한 제어효과가 우수하나 더 많은 양의 CO를 배출하는 것으로 확인되었다.

Table 4는 차속에 따른 오염물질의 배출특성 비교결과를 나타낸 것으로 국내·국외에서 준용되는 인증모드를 적용하였다. WHVC 모드는 자동차 인증 국제표준화기구(WP 29)에서 개발한 대형차 인증모드이며, WHVC의 평균차속(40.2 km/h)은 국내 시가지 모드 중 NIER 10 모드의 평균차속(45 km/h)과 유사하다. 각 모드를 비교해본 결과, 전체적으로 차속이 증가함에 따라 배출량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 저속모드인 NIER 1 모드와 고속모드인 NIER 12 모드를 비교해 볼 때, 고속운전에 의한 온도상승이 촉매 활성화를 유발시켜 상대적으로 CO와 NO_x를 감소시킨 것으로 판단된다. 특히 THC는 고속모드 대비 저속모드에서 약 50% 이상의 높은 배출량을 보여, 상기된 바와 같이 저속구간과 낮은 RPM으로부터 연료의 불완전연소가 유발된다는 해석을 뒷받침한다. 또한 CO₂와 연비의 상관성을 분석한 결과 차속이 4.6 km/h에서 64.7 km/h로 증가함에 따라 CO₂ 배출량은 감소하는 반면 연비는 약 3배 정도 향상되는 것을 확인하였다. 이는 에너지소비량을 계량할 수는 없지만 연료연소에 따른 탄소전환률로부터 계산될 수 있다. 연료 내의 탄소성분이 완전연소 또는 불완전연

Table 4 Emission Factor of the Regulated Pollutants
(Unit : g/km)

| Trucks | Driving mode | NO _x control device | Emission factor | | | | |
|--------|--------------|--------------------------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|------|
| | | | THC | CO | NO _x | CO ₂ | E.F |
| A | | EGR | 0.12 | 0.98 | 9.63 | 900.16 | 2.96 |
| B | | | 0.09 | 1.31 | 7.65 | 1046.99 | 2.54 |
| C | WHVC | SCR | 0.04 | 3.53 | 9.79 | 922.39 | 2.88 |
| D | | | 0.07 | 2.23 | 7.79 | 990.96 | 2.68 |
| E | | | 0.02 | 3.10 | 3.19 | 973.71 | 2.73 |
| A | NIER1 | EGR | 0.73 | 3.23 | 26.65 | 1995.47 | 1.34 |
| B | | | 0.67 | 3.20 | 24.03 | 2200.61 | 1.22 |
| C | | SCR | 0.32 | 6.66 | 27.60 | 1913.39 | 1.40 |
| D | | | 0.39 | 5.35 | 29.88 | 2381.41 | 1.13 |
| E | | | 0.32 | 8.99 | 27.18 | 2301.40 | 1.16 |
| A | NIER3 | EGR | 0.35 | 3.08 | 19.21 | 1581.10 | 1.69 |
| B | | | 0.33 | 2.99 | 15.69 | 1790.76 | 1.50 |
| C | | SCR | 0.13 | 7.93 | 22.18 | 1680.91 | 1.59 |
| D | | | 0.24 | 4.41 | 22.54 | 1771.34 | 1.51 |
| E | | | 0.10 | 10.71 | 11.78 | 1769.22 | 1.51 |
| A | NIER7 | EGR | 0.16 | 1.82 | 13.69 | 1222.08 | 2.19 |
| B | | | 0.16 | 2.18 | 10.50 | 1462.43 | 1.84 |
| C | | SCR | 0.06 | 7.51 | 15.29 | 1249.80 | 2.13 |
| D | | | 0.11 | 3.12 | 13.20 | 1306.49 | 2.05 |
| E | | | 0.05 | 9.28 | 3.28 | 1354.08 | 1.97 |
| A | NIER10 | EGR | 0.11 | 0.94 | 10.66 | 1020.10 | 2.63 |
| B | | | 0.08 | 1.42 | 9.30 | 1111.43 | 2.42 |
| C | | SCR | 0.03 | 5.86 | 11.99 | 1041.24 | 2.56 |
| D | | | 0.07 | 2.29 | 10.88 | 1039.97 | 2.58 |
| E | | | 0.02 | 3.67 | 1.93 | 1089.83 | 2.45 |
| A | NIER12 | EGR | 0.08 | 0.76 | 8.87 | 763.17 | 3.52 |
| B | | | 0.07 | 0.96 | 6.56 | 833.26 | 3.23 |
| C | | SCR | 0.03 | 3.26 | 10.34 | 744.28 | 3.59 |
| D | | | 0.04 | 1.76 | 9.92 | 746.82 | 3.59 |
| E | | | 0.01 | 2.53 | 1.36 | 772.84 | 3.46 |

소에 의해 CO, CO₂, HC로 전환되는데 각 성분의 생성률이 낮을수록 연비는 높게 계산된다. 즉, 연료소비량이

낮을수록 해당 성분들의 배출량이 줄어들어 동일한 거리를 운전할 때 적은 양의 연료가 소모되었다고 판단할 수 있다. 이는 현재 산업통상자원부의 ‘자동차의 에너지 소비효율 및 등급표시에 관한 규정’에 고시되어 있는 에너지소비효율에 대한 공식으로부터 계산되어지며, 해당 식은 식 (1)에 나타내었다⁽¹⁹⁾.

$$\frac{734(g/l)}{0.866 \times HC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2} \quad (1)$$

3.2 NO_x 저감장치에 따른 THC와 CO의 배출특성 변화

Figure 3에 나타낸 바와 같이 THC의 배출량은 EGR가 장착된 차량 대비 SCR이 장착된 차량에서 52.5%(최대: 0.124→0.068, 최소: 0.092→0.037) 저감되었다. EURO4에서 EURO5의 배출허용기준 강화율이 없음에도 불구하고 THC는 높은 저감 수준을 보였으며, 이는 NO_x 저감장치에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 Gerald liu *et al.*(2008)에 의해서도 DPF 대비 SCR 엔진에서 THC가 더 높게 저감되는 결과를 보였으며, 이는 탄화수소와 SCR zeolite 촉매의 공극 사이에서 van der waal's의 입자 인력에 의해 SCR zeolite 촉매에 탄화수소가 흡착(저장)되어 높은 저감효율을 나타낸다고 보고하고 있다⁽¹⁸⁾. 또한, EGR 장착 차량에서는 EGR로 인해 연소온도가 저감되어 불완전연소로 인해 THC가 높게 배출된 것으로 판단된다^(20,21).

반면 CO는 EGR 장착 차량 대비 SCR 장착 차량에서 57.2%(최대: 1.306→3.526, 최소: 0.984→1.826)가 증가하였는데 이는 SCR 장착 차량의 엔진 맵핑의 변화 때문인 것으로 판단된다. 또한 EGR 장착 차량에 장착된 디젤 산화 촉매기(DOC, Diesel Oxidation Catalyst)의 산화촉매 기능으로 인해 CO₂와 H₂O로 산화됨에 따라 EGR 장착 차량에서의 CO 배출량이 SCR 장착 차량보다 적게 배출된 것으로 판단된다. 특히, A 차량은 타 차종에 비해 CO 배출량이 적고, THC는 높는데 이는 CO₂ 전환율보다는 H₂O의 전환율이 상대적으로 더 높기 때문인 것으로 판단된다. Gerald liu *et al.*(2008)에 의해서도 CO는 SCR 장착 엔진에서 더 높게 배출되었으며, SCR zeolite 촉매는 활성화 온도 범위에서 탄화수소가 방출되는 동안 부분적 산화가 발생하여 CO가 높게 배출되는 것으로 보고하고 있다⁽²²⁾. 이러한 NO_x 저감장치의 저감 효율은 제작사나 제품에 따라 시험결과에 영향을 주기 때문에 절대적으로 비교하기에는 추가적인 연구와 해석이 더 필요할 것으로 판단된다.

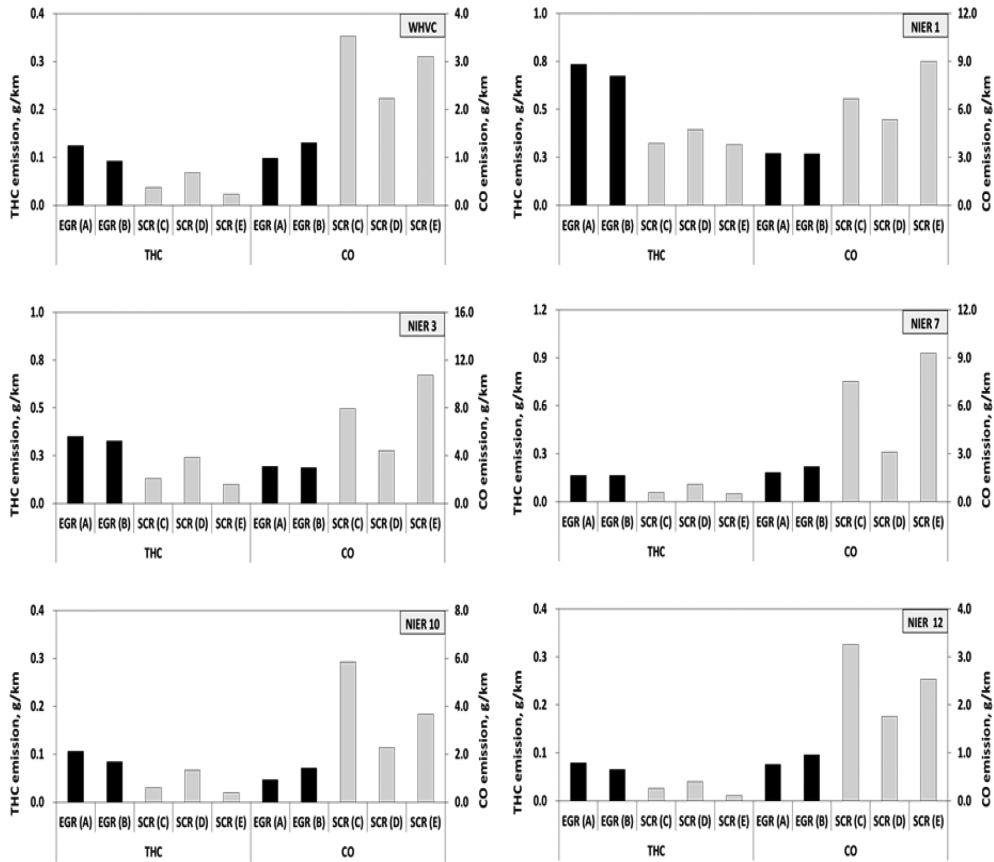


Fig. 4 Comparison results of THC and CO emission on driving modes

본 연구에서는 NO_x의 저감효과에 대한 직접적인 비교는 불가하나 상대적인 비교를 통해 차속이 증가할수록 NO_x가 저감되는 경향을 확인하였다. 그러나 동일한 SCR 저감장치임에도 NO_x 배출량이 다르고 경향이 뚜렷하지 않아 제작사 또는 차종에 대한 변수도 고려되어야 할 것이다. 또한, 저감장치에 따라 THC, CO의 배출량이 달라지는 경향을 확인한 바, 향후 동일한 차종과 주행모드에서의 비교 실험이 필요한 것으로 판단되며, 이는 향후 NO_x 제어를 위해 THC와 CO 간의 ‘trade-off’ 현상에 대해 좀 더 정량적이고 면밀하게 파악할 필요가 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 대형트럭에 대한 NO_x 저감장치에 따른 오염물질의 배출특성을 분석하였으며, 다음과 같은

결론을 얻었다.

- (1) 오염물질에 대한 분석결과, 전체적으로 차속이 증가함에 따라 배출량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 고속운전에 의한 온도상승이 촉매 활성화를 유발시켜 상대적으로 CO와 NO_x를 감소시킨 것으로 판단된다.
- (2) THC의 배출특성 결과 EGR 장착 차량 대비 SCR 장착 차량에서 52.5% 적게 배출 되었으며, 이는 SCR 촉매의 탄화수소 흡착 기능에 의한 것으로 판단된다.
- (3) 반면에 EGR 장착 차량에서 THC가 높게 배출된 이유는 EGR로 인해 연소온도가 저 감되어 산화반응 속도 감소와 불완전연소 반응이 유발되었기 때문인 것으로 판단된 다. 이러한 경향은 THC 배출량이 많은 저속 구간에서 명확히 드러났다.
- (4) CO의 배출특성 결과 EGR 장착 차량 대비 SCR 장착 차량에서 57.2% 높게 배출되었 으며, 이는 SCR 장착에 따른 엔진 맵핑의 변화 때문인 것으로 판단된다.
- (5) EGR 장착 차량에서 CO가 낮게 배출된 것은

DOC 장작에 따른 산화촉매 기능에 의해 CO₂와 H₂O로 산화된 것으로 판단된다.

(6) 저감장치에 따라 THC, CO의 배출량이 달라 지는 경향을 확인한 바, 향후 동일한 차종 과 주행모드에서의 비교 실험이 필요한 것으로 판단되며, 이는 향후 NO_x 제어에 따른 'trade-off' 현상에 대해 좀 더 정량적이고 면밀 하게 파악할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) NIER, "National air pollutants emissions statistics", 2012.
- (2) MOLIT, "The number of vehicle registration, press released", 2014.
- (3) MEST, "Status of technology development on diesel engine for low emission air pollutant", 2009.
- (4) SK ENERGY, "Gasoline engine vs diesel engine", 2015.
- (5) NIER, "Capss emissions", 2011.
- (6) IARC, "Diesel engine exhaust carcinogenic, press release", N213, 21-4, 2012.
- (7) Clean air conservation act, "Emission standard for vehicles", 2014.
- (8) Buslife, "EGR vs SCR", Buslife homepage, 2015.
- (9) J. Zhang, "Diesel emission technology - part II of automotive aftertreatment system", Bowmannz homepage, 2010.
- (10) Jose Maria Lopez, Felipe Jimenez, Francisco Aparicio and Nuria Flores, "On-road emissions from urban buses with SCR + Urea and EGR + DPF systems using diesel and biodiesel", Transportation Research, 14, 2009, pp. 1-5.
- (11) J. D. Herner, S. Hu, W. H. Robertson, T. Huai, J. F. Collins, H. Dwyer and A. Ayala, "Effect of advanced aftertreatment for PM and NO_x control on heavy-duty diesel truck emissions", Environmental Science and Technology, 43, 2009, pp. 5928-5933.
- (12) T. Huai, S. D. Shah, J. Wayne Miller, T. Younglove, D. J. Chernich and A. Ayala, "Analysis of heavy-duty diesel truck activity and emissions data", Atmospheric Environment, 40, 2006, pp. 2333-2344.
- (13) C. Chen, C. Huang, Q. Jing, H. Wang, H. Pan, L. Li, J. Zhao, Y. Dai, H. Huang, L. Schipper and D. G. Streets, "On-road emission characteristics of heavy-duty diesel vehicles in Shanghai", Atmospheric Environment, 41, 2007, pp. 5334-5344.
- (14) L. Pelkmans, P. Debal, "Comparison of on-road emissions with emissions measured on chassis dynamometer test cycles", Transportation Research Part D, 11, 2006, pp. 233-241.
- (15) NIER, "A study on the establishment test method and emission standard for heavy duty chassis dynamometer", 2006.
- (16) J. H. Seo, "A numerical study for development of urea SCR model to predict De-NOX performance under diesel engine exhaust gas composition", Kookmin University, 2012.
- (17) K. Hong, K. Choi, H. Lee, S. Park and C. Lee, "Experimental investigation of urea dosing control unit in urea SCR system on injection characteristics and control strategy for NO_x reduction", KSAE, 08-S0088, 2008, pp. 540-545.
- (18) Z. Gerald liu, D. R. Berg, T. A. Swor and J. J. Schauer, "Comparative analysis on the effects of diesel particulate filter and selective catalytic reduction systems on a wide spectrum of chemical species emissions", Environmental Science and Technology, 42, 2008, pp. 6080-6085.
- (19) Ministry of trade, industry & energy, "Regulation on energy consumption efficiency of vehicle and label of level", 2015.
- (20) S. Lee, J. H. Chang, Y. Lee, S. Oh, Y. Kim and D. Kim, "Effect of Intake Pressure on Emissions and Performance in low temperature combustion operation of a diesel engine", Transactions of KSAE, 20(1), 2012, pp. 88-94.
- (21) S. Cho, K. C. Oh and C. B. Lee, "Characteristics of low temperature combustion in sing cylinder engine by high EGR rate", Transactions of KSAE, 7(4), 2009 pp. 79-85.
- (22) Z. Gerald liu and D. R. Berg, "Effects of a zeolite-selective catalytic reduction system on comprehensive emissions from heavy-duty diesel engine", Air Waste Management Association, 58, 2008, pp. 1258-1265.