

# 삼원촉매를 장착한 가솔린 자동차의 실도로 주행 CO, NO<sub>x</sub> 배출 편차 분석

송진근<sup>1)</sup> · 차준표<sup>\*2)</sup>

경북대학교 자동차공학부<sup>1)</sup> · 한국교통대학교 자동차공학과<sup>2)</sup>

## Analysis of CO and NO<sub>x</sub> Deviations Under On-road Driving Test of Gasoline Vehicle with Three-way Catalyst

Jingeun Song<sup>1)</sup> · Junepyo Cha<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>School of Automotive Engineering, Kyungpook National University, Kyeonbuk 37224, Korea

<sup>2)</sup>Department of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation, Chungnam 27469, Korea

(Received 20 May 2021 / Revised 24 May 2021 / Accepted 24 May 2021)

**Abstract** : RDE has recently been adopted in emission tests in order to measure exhaust gases under actual driving conditions. However, difference in driving routes and traffic conditions would cause deviations in the emission results. A correction factor is applied to compensate for the deviations, but it does not work properly. Thus, CO and NO<sub>x</sub> deviations were analyzed in the present study. Ten cases of on-road driving were conducted on three driving routes. CO emissions were highly dependent on the coolant temperature and equivalence ratio. About 10 % of CO was exhausted during the cold start, and the rich air-fuel mixture increased the CO emissions by more than two times. NO<sub>x</sub> emission was also strongly affected by the equivalence ratio and catalyst temperature. About 15 % of NO<sub>x</sub> was exhausted when the catalyst temperature was low. Oxygen saturation of the catalyst and high load condition were also the reasons for the NO<sub>x</sub> deviation.

**Key words** : Real driving emission(실제도로 배기측정), Three-way catalyst(삼원촉매), CO(일산화탄소), NO<sub>x</sub>(질소산화물), Cold start(냉간시동)

### 1. 서론

최근 자동차 시장에서 가장 중요한 이슈는 온실가스 와 대기 오염물질 배출이다. 특히 도로이동오염원에서 주로 배출되는 입자상 물질(PM; Particulate Matter)과 질소산화물(NO<sub>x</sub>; Nitrogen Oxide)은 배기가스 배출에 대한 규제정책이 강화되는 중요한 요인이 되었다.<sup>1,3)</sup> 이처럼 배기 규제정책이 강화됨에 따라 배기 배출 저감 기술이 발전되는 성과도 있었지만, 자동차 배출가스의 규제를 편법으로 만족시키기 위한 인증모드 전용 주행패턴이 사용되는 사례도 발생하였다.<sup>4)</sup> 이러한 배경에 따라 유럽을 중심으로 인증시험 시 배출되는 배기가스와 실제 주행 시 배출되는 배기가스의 양에 큰 차이가 있다는 문제가 제기되고 있다.<sup>5)</sup> 이를 보완하기 위하여 유럽연합(EU; European Union)에서는 실제도로를 주행하며 배기가스를 측정해 평가하는 RDE-LDV(Real Driving Emission-Light

Duty Vehicle) 시험 방법을 개발하여 적용하고 있으며, 이러한 변화에 맞춰 국내에서도 현재 이 방법을 적용하고 있다.<sup>6)</sup>

RDE-LDV는 자동차가 차대동력계가 아닌 실제 도로를 주행하며 주행 중 배출되는 배기가스를 측정하는 방식이다. 배기가스 측정에는 자동차에 탑재할 수 있는 포터블 배기 측정장치인 PEMS(Portable Emissions Measurement System)가 사용된다. 안정된 온도의 실내에서 차대동력계를 사용하여 정해진 주행모드를 운전하는 기존의 방식과 달리, 실제도로에서 교통상황이나 날씨 등 다양한 변수를 가진 상태로 주행하는 것이기 때문에, 자동차 제작사 입장에서 특정 주행모드를 겨냥한 운전전략을 수립할 수도 없고 현실적인 운전상황에 맞는 배기 측정이 가능하다는 장점이 있다.

하지만, 이러한 임의성 때문에 주행 케이스마다 측정

\*Corresponding author, E-mail: [chaj@ut.ac.kr](mailto:chaj@ut.ac.kr)

<sup>†</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

된 배기가스에 편차가 발생한다는 문제점이 있다. 동일한 경로를 주행하더라도 매 주행마다 교통상황과 운전자의 운전습관이 다르기 때문에 배출되는 배기가스의 양 또한 다를 수 있다.<sup>7,8)</sup> RDE 규정에서는 이러한 편차를 보완하기 위하여 실제 도로 주행 중 측정된 이산화탄소(CO<sub>2</sub>; carbon dioxide)와 WLTP(Worldwide harmonized light duty driving test procedure) 시험 시 측정된 CO<sub>2</sub>를 비교하여 보정계수를 적용하는 방식을 사용하고 있다. 하지만, 이러한 방식은 NO<sub>x</sub>나 일산화탄소(CO; carbon monoxide) 등의 배출량이 연료 사용량과 비례한다는 가정이 전제되어 있다는 문제가 있다. 예를 들어, RDE 시험에서 측정된 CO<sub>2</sub>가 WLTP 시험에서 측정된 CO<sub>2</sub>보다 1.2배 이상 많으면 이 두 CO<sub>2</sub>값의 비율에 비례하는 보정계수가 CO와 NO<sub>x</sub>에 일괄적으로 곱해진다. 이러한 보정방식은 각 배기가스의 생성원리에도 부합하지 않을 뿐만 아니라, 보정을 완료한 최종 배기가스 결과값에도 편차가 그대로 남아있을 수 있다. 따라서, 이러한 문제를 보완하기 위한 선결과제로 실제 도로 주행 시험 간 CO와 NO<sub>x</sub> 배출량의 편차가 발생하는 원인에 대한 분석이 요구된다.

본 연구에서는 CO와 NO<sub>x</sub>에 편차가 발생하는 원인을 분석하기 위하여 삼원촉매를 장착한 가솔린 자동차를 이용하여 3가지 주행 경로에서 총 10회의 실제 도로 주행 시험을 실시하였다. 이러한 실도로 주행 시험 중 실시간으로 배기 및 주행 데이터를 취득하였으며, 측정된 데이터를 통해 각 배기 배출량에 편차가 발생하는 원인을 분석하였다.

## 2. 시험 장치 및 방법

### 2.1 시험 장비

시험에 사용된 차량은 1.6 L 4기통 T-GDI(Turbo Gasoline Direct Injection) 엔진을 장착한 승용차이며, 엔진의 최대

Table 1 Specifications of the test vehicle

Type	Sedan
Engine	1.6 L T-GDI I4
Max. power	134.2 kW
Max. torque	264.8 Nm
Transmission	7-speed DCT
Emission regulation	ULEV
After treatment	Three-way catalyst
Overall width / height	1.865 m / 1.475 m
Mass	1,790 kg

출력은 134.2 kW이고 최대 토크는 264.8 Nm이다. 그 외 자동차의 제원은 Table 1에 정리되어 있다. 자동차의 공차중량은 대략 1,470 kg이지만, 실제로 주행시험을 할 때는 이에 더하여 운전자와 데이터 측정장비, 그리고 장비 전원을 공급하기 위한 배터리 등의 무게가 추가되어 1,790 kg이 되었다. 실제도로 주행 시험 중 자동차의 주행 및 배기 데이터는 Sensors사의 PEMS 장비를 이용해 취득하였다. 이 장비는 배기가스 분석기, GPS(Global Positioning System) 측정기, OBD(On Board Diagnostics) 커넥터 등으로 구성되어 배기가스와 자동차 주행 정보를 1 Hz의 속도로 실시간 측정할 수 있으며, 각 센서들로부터 취득된 데이터를 취합하여 타이밍 보정(Time alignment)까지 수행한다. 간단한 구조의 포터블 배기가스 측정장치이지만, 앞선 연구에서 CVS(Constant Volume Sampler) 장비와 동시에 배기 데이터를 측정하고 상관성을 비교함으로써 측정 데이터의 신뢰성을 검증한 바 있다.<sup>4)</sup>

### 2.2 주행 경로

본 연구에서 사용한 주행경로와 주행정보는 Fig. 1과 Table 2에 나타나 있다. RDE 규정5)에 따르면 주행경로

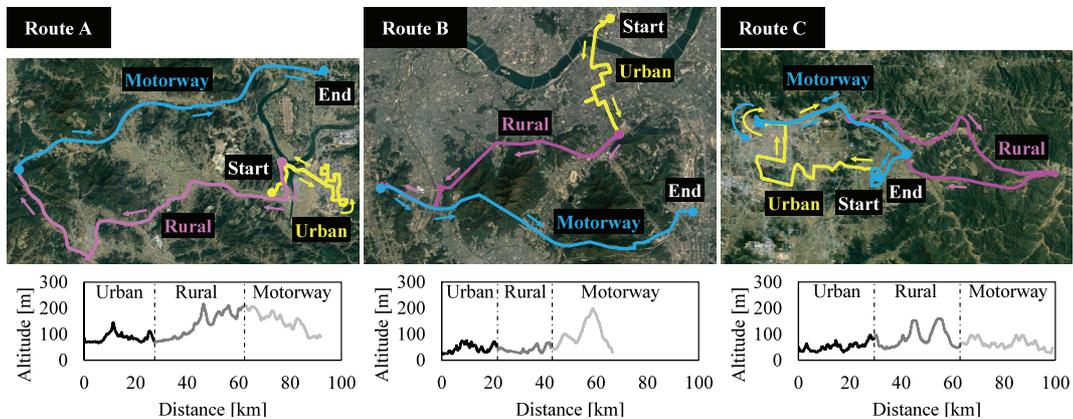


Fig. 1 On-road driving test route and altitude

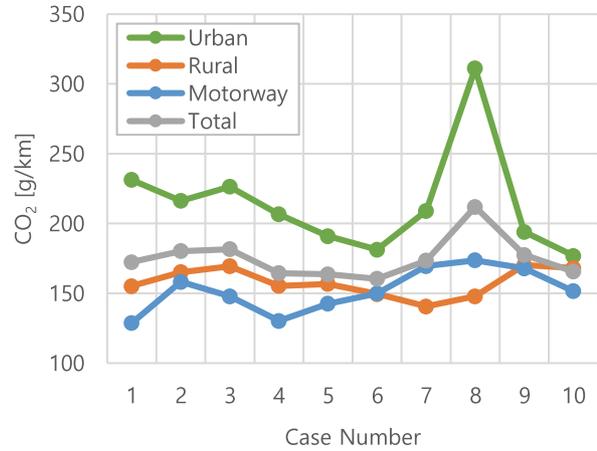
Table 2 Trip information analysis

		Urban	Rural	Motorway	Total
Route A	Distance	27.49 km	34.84 km	29.69 km	92.02 km
	Duration	65.12 min	26.18 min	16.25 min	107.55 min
Route B	Distance	21.72 km	21.30 km	23.56 km	66.59 km
	Duration	59.50 min	17.42 min	14.12 min	91.03 min
Route C	Distance	29.56 km	33.33 km	36.15 km	99.04 km
	Duration	60.07 min	26.77 min	20.08 min	112.92 min

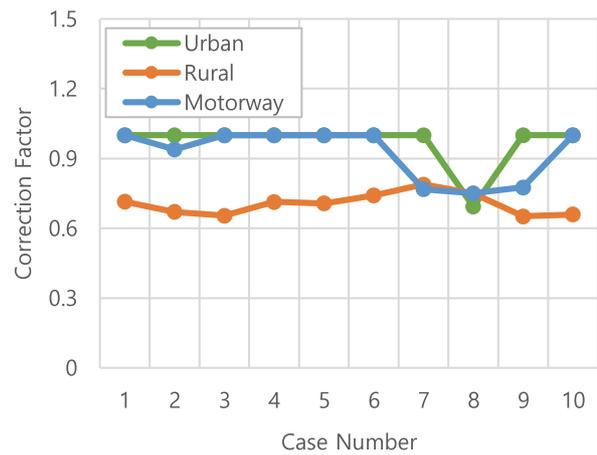
는 도심(Urban)과 교외(Rural), 그리고 고속도로(Motorway)가 순차적으로 나타나야 하며, 각 구간의 거리 비율과 속도가 정해진 범위 안에 들어가야 유효한 테스트로 인정된다. 이러한 조건을 충족시키기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 세 가지 주행 경로를 선정하였다. Route A는 충주의 한국교통대학교에서 출발하여 충주 시내를 거쳐 평택제천 고속도로를 주행하는 경로이다. Route B는 서울의 한양대학교에서 출발하여 강남을 거쳐 제2경인 고속도로를 주행하는 경로이다. Route C는 천안의 한국자동차연구원에서 출발하여 천안 시내를 거쳐 논산천안 고속도로와 경부 고속도로를 주행하는 경로이다. Route A에서는 냉간시동(Cold start) 3회(Case 1~3), 열간시동(Hot start) 3회(Case 4~6)로 총 6회 주행 시험을 실시하였다. Route B와 C에서는 각각 열간시동을 2회(Case 7, 8 & Case 9, 10)씩 수행하여 총 10회의 주행시험을 실시하였다. Table 2에 주어진 주행기간(Duration)은 시험을 수행할 때 마다 교통상황 또는 주행패턴에 따라 달라질 수 있는 값이지만 대략적인 비교를 위하여 기재하였다.

### 3. 시험 데이터 분석 및 고찰

우선 CO와 NOx를 보정하기 위하여 RDE 규정에 따라 데이터를 분석하고, 서론에서 설명한 것과 같은 방식으로 보정계수를 계산하였다. Fig. 2는 전체 10회의 시험 케이스에 대하여 CO<sub>2</sub>를 측정할 결과와 그에 따른 보정계수를 나타낸 그래프이다. Fig. 2(a)를 보면, 도심에서는 냉간시동 조건인 Case 1~3에서 상대적으로 많은 CO<sub>2</sub> 배출이 관찰되었다. 한편, Case 8의 경우 열간시동임에도 불구하고 비정상적으로 높은 CO<sub>2</sub> 배출이 측정되었는데, 이 케이스는 오전 11시에 교통흐름이 원활하지 않은 강남(Route B)을 주행한 케이스이므로 유효한 RDE 인증 시험이라고 볼 수 없다. 그 밖에 교외와 고속도로 구간에서는 상대적으로 시험 간 편차가 적게 발생했으며, 모든 주행을 통합한 Total CO<sub>2</sub> 배출 결과를 보아도 Case 8을 제외한 나머지 케이스들은 160~180 g/km 수준의 비슷한 배출량을 보였다. 이러한 결과로부터 계산된 보정계수



(a) CO<sub>2</sub> emissions

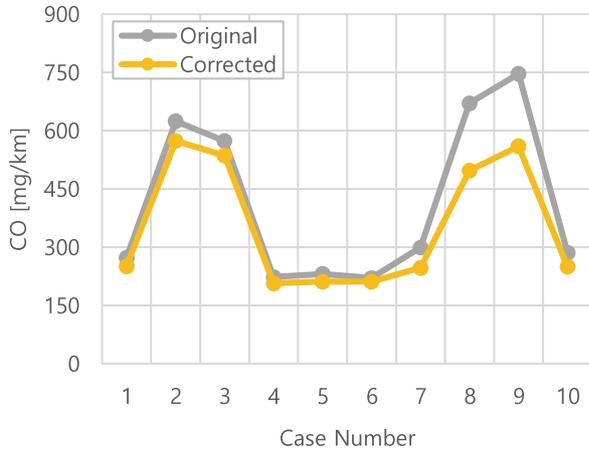


(b) Correction factors

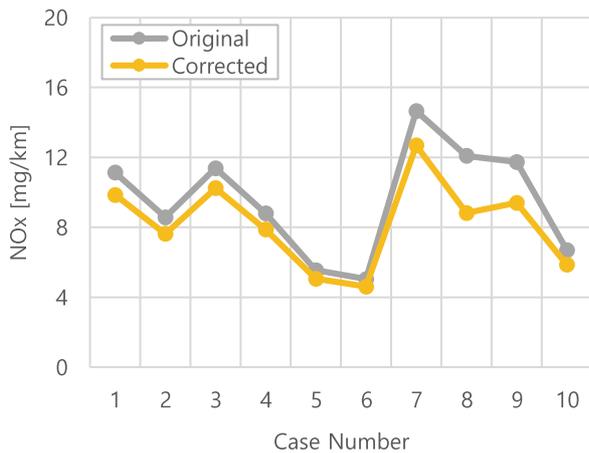
Fig. 2 (a) CO<sub>2</sub> emissions under urban, rural, and motorway driving and (b) correction factors for 10 test cases

는 Fig. 2(b)와 같다. 특히 교외에서의 CO<sub>2</sub> 배출량이 WLTP에서 측정된 CO<sub>2</sub> 배출량에 비하여 많았기 때문에 RDE에서 측정된 NOx와 CO를 줄이기 위한 보정계수가 적용되었다.

Case 8을 제외한 나머지 케이스들에서 비슷한 수준의 CO<sub>2</sub>가 배출된 것과 달리, CO와 NOx는 케이스 간 편차가 크게 발생했다. Fig. 3은 보정계수를 적용하기 전(Original) 배기 데이터와 보정계수를 적용한 후(Corrected) 배기 데이터를 나타낸 그래프이다. Route A에서 냉간시동 조건으로 주행한 Case 1~3은 모두 같은 조건에서 운전되었기 때문에 서로 비슷한 수준의 CO 배출이 기대되었지만 실제 측정 결과에서는 큰 편차가 발생하는 것이 확인되었다. Route A에서 열간시동 조건으로 주행한 Case 4~6을 서로 비교하더라도 역시 NOx 배출량에서 큰 편차가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 편차는 보정계수



(a) CO emissions

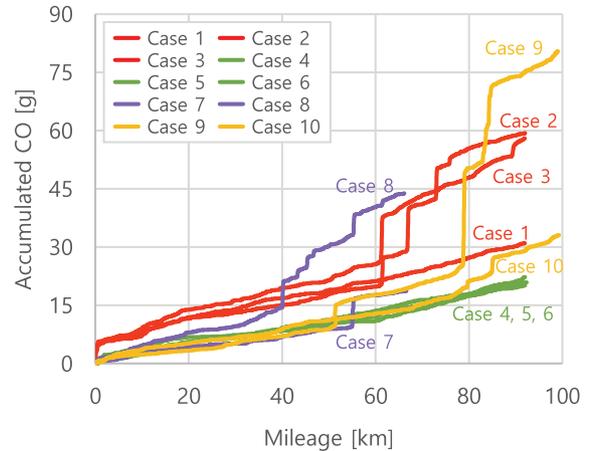


(b) NOx emissions

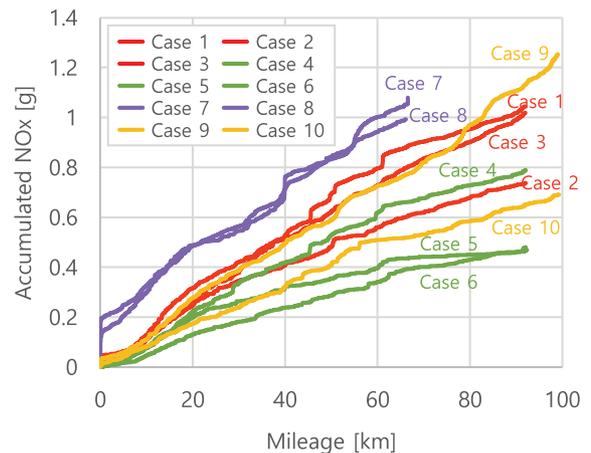
Fig. 3 Original and Corrected (a) CO and (b) NOx emissions for 10 test cases

를 적용한 후에도 여전히 남아있었다. 보정계수를 도입하는 이유는 시험 간 편차를 보정하여 시험 차량의 대표 배기량을 평가하기 위함이지만, 보정계수 적용 결과를 보면 최초에 나타났던 편차가 여전히 남아있는 것을 확인할 수 있다. 그 결과, CO와 NOx 모두 최소 배출 케이스에 비하여 최대 배출 케이스의 배출량이 약 3배 정도 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 시험 간 CO와 NOx 배출량에 편차가 발생하는 원인은 Fig. 4를 통해 분석할 수 있다. Fig. 4는 본 연구에서 수행한 10회의 시험 케이스들에 대하여 주행 거리에 대한 CO와 NOx의 누적 배출량을 나타낸 그래프이다. Fig. 4(a)를 보면, Case 1~3에서 출발과 동시에 CO 배출량이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 냉간시동에 의한 것으로, 냉간시동 시 엔진으로부터 CO가 많이 생성될 뿐만 아니라<sup>9)</sup> 삼원촉매의 온도 또한 30 °C 수준



(a) Accumulated CO emissions



(b) Accumulated NOx emissions

Fig. 4 (a) Accumulated CO emissions and (b) accumulated NOx emissions over the total trip distance

으로 매우 낮기 때문에 생성된 CO가 완전히 정화되지 않고 배출된 것으로 보인다.<sup>10)</sup> 이러한 이유에 따라 냉간시동의 경우 시동 후 2분 이내에 배출되는 CO가 전체 주행 동안 배출하는 총 CO의 10~20% 수준이 될 정도로 많았다. 한편, 동일한 주행경로에서 열간시동을 하는 Case 4~6의 경우 주행기간동안 거의 일정한 기율기로 CO가 배출되었다. Route A를 92 km 주행하면서 배출한 CO가 약 20g이었으며, 다른 모든 시험 케이스들보다 배출량이 적었다. Case 1의 경우에도 초반의 냉간시동 구간을 제외한 나머지 구간에서는 Case 4~6과 비슷한 수준의 기율기를 보였다. 반면, 그 밖에 다른 케이스에서는 CO 배출량이 순간적으로 급격하게 증가하는 구간이 다수 발견되었다. 특히, Case 9의 경우에는 주행거리 80 km 부근에서 약 23.8 g의 CO가 한 번에 배출되는 것이 관찰되었다. 이는 Case 4~6에서 92 km를 주행하면서 배출한 총 CO보다

도 많은 양이다. 이렇게 많은 양의 CO가 한꺼번에 배출된 이유는 농후한 당량비 때문이다. Table 3은 CO가 급격히 증가한 부분에서의 당량비와 엔진 토크를 나타낸 표이다. Case 9에서 CO가 크게 증가한 시기는 78.9 km와 84.3 km이며, 이 시기에 당량비는 모두 1.05 이상의 농후한 조건에서 운전되었다. 농후한 운전조건에서는 CO가 많이 생성될 뿐만 아니라 삼원촉매에서 CO의 전환효율 또한 떨어지기 때문에 CO의 배출이 폭발적으로 증가하는 것이라 볼 수 있다.

농후한 연소가 발생한 시기는 대부분 엔진 토크 250 Nm 수준의 높은 부하 조건이었다. 본 연구에 사용된 자동차의 최대 토크가 264.8 Nm임을 고려하면, 250 Nm는 약 94% 이상의 고부하 조건이다. 따라서 대부분의 CO 배출 급증은 고속도로 구간에서 발생했다. 반면, 250 Nm 이상의 고부하 조건에서 운전되더라도 농후하게 운전되지 않는 경우도 있었다. 이러한 현상은 시험 간 CO 배출 편차를 더욱 증가시키는 요인이 될 수 있다. 예를 들어, Case 1~3의 경우 동일한 주행경로에서 비슷한 주행패턴으로 운전했지만 당량비 차이에 따라 CO 배출량은 2배 정도 차이가 발생했다. 이러한 관점에서 볼 때, RDE에서 뿐만 아니라 WLTP에서 또한 시험 케이스마다 CO 배출량이 크게 변동할 수 있다. Fig. 5는 본 연구에 사용된 자동차의 질량과 변속 패턴을 이용하여 WLTP의 속도 프로파일로부터 엔진에 요구되는 토크를 계산한 그래프이다. 약 120 km/h로 고속 주행하는 시기인 25분 근처에서 엔진의 토크가 250 Nm 이상 사용되는 것을 볼 수 있다. 따라서, 이 시기에 CO가 크게 증가할 것이 예상된다. 하지만, 실제 WLTP 모드 주행 시 운전자에 의한 주행패턴 편차가 허용되며, 이러한 편차에 의하여 CO 배출량은 시험 케이스에 따라 2배 이상 차이가 날 수 있다.

Table 3 Equivalence ratio and engine torque where CO increased

Case number	Mileage [km]	Increase of CO [g]	Equivalence ratio	Engine torque [Nm]
1	61.5 (Highway)	6.7	1.075	264.4
	73.0 (Highway)	7.9	1.075	256.7
2	66.9 (Highway)	10.7	1.099	260.6
3	61.3 (Highway)	12.1	1.124	262.0
7	55.0 (Highway)	7.0	1.087	262.7
8	40.1 (Highway)	6.7	1.064	245.8
	55.2 (Highway)	4.8	1.064	217.8
	51.2 (Rural)	4.5	1.031	234.7
9	78.9 (Highway)	23.8	1.176	243.5
	84.3 (Highway)	19.0	1.087	233.7
10	85.0 (Highway)	3.7	1.075	232.9

Fig. 4(b)는 NOx의 누적 배출량을 나타낸 그래프이다. Case 7과 8의 경우 주행 시작과 동시에 NOx 배출이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상이 발생한 이유는 낮은 삼원촉매 온도에서의 낮은 NOx 정화율과 높은 토크조건에서의 NOx 생성 증가가 함께 발생했기 때문이다. Table 4에는 시동 시 냉각수와 삼원촉매의 온도가 나타나 있으며, 삼원촉매의 온도가 500 °C에 도달할 때까지 소요된 시간과 거리가 정리되어 있다. RDE 규정에서는 냉각수 온도 70 °C를 기준으로 냉간시동 여부를 판단하기 때문에 Case 4~10은 모두 열간시동이라고 볼 수 있다. 하지만, 삼원촉매의 온도는 냉각수보다 빠르게 떨어지기 때문에 열간시동 간에도 삼원촉매의 온도는 서로 다르다. Case 7과 8에서 삼원촉매의 온도는 300 °C 이내

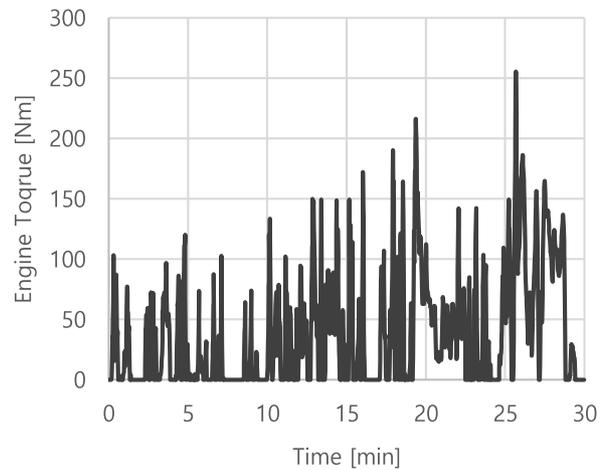


Fig. 5 Engine torque calculated using WLTP speed profile and vehicle specification

Table 4 Coolant temperature and catalyst temperature at start; time and mileage required for the catalyst temperature to reach 500 °C

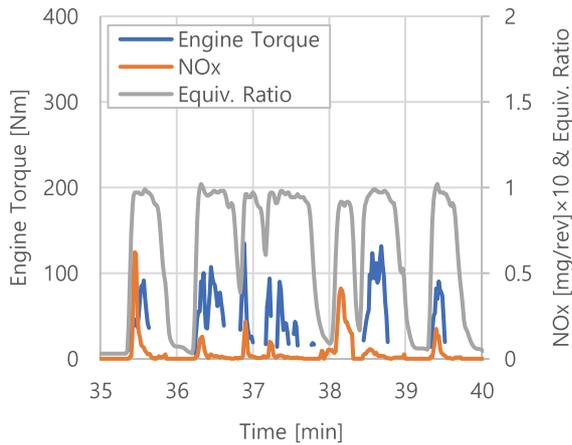
Case number	Coolant temperature	Catalyst temperature	Time / Mileage @ 500 °C
1	36 °C	35.2 °C	145 s / 797 m
2	30 °C	26.2 °C	130 s / 637 m
3	30 °C	32.2 °C	133 s / 699 m
4	83 °C	589.0 °C	-
5	88 °C	539.8 °C	-
6	88 °C	435.8 °C	32 s / 56 m
7	85 °C	304.7 °C	38 s / 173 m
8	81 °C	250.6 °C	60 s / 226 m
9	86 °C	477.8 °C	17 s / 28 m
10	96 °C	467.6 °C	16 s / 16 m

로 다른 조건들에 비하여 150 °C 이상 온도가 낮았다. 이처럼 낮은 삼원촉매 온도에서는 NOx 정화효율이 크게 떨어진다. 한편, 냉간시동인 Case 1~3에서는 삼원촉매의 온도가 훨씬 더 낮았지만 NOx의 배출이 크게 두드러지지 않았다. 이는 주행 경로의 차이로부터 기인한 엔진 토크의 차이가 원인으로 보인다. Route A의 경우 출발 후 약 600 m 이상 경사도 3.6% 수준의 내리막길이 이어지며, 이 때 도로구배에 의하여 자동차에 작용한 힘은 600 N 이상이다. 따라서 삼원촉매의 온도가 충분히 높아질 때까지 엔진의 부하를 높이지 않고도 주행이 가능했으며, 그 결과 주행 초기에 NOx 배출량이 많지 않았다. 반면, Route B의 경우 출발 지점의 지형은 경사도 1.5% 수준의 완만한 내리막길이었다. 이로 인하여 자동차에 작용한 힘은 구름저항과 비슷한 수준이므로 주행을 위해서는 보다 높은 엔진 토크가 요구되었으며, 이 때 생성된 NOx가 낮은 온도의 삼원촉매에 의하여 원활이 정화되지 않음으로써 많은 양의 NOx가 한꺼번에 배출되었다. 이로

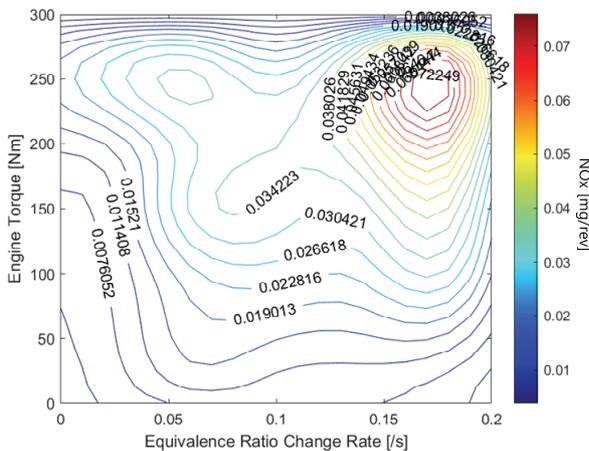
인하여 Case 7과 8의 경우 주행거리 100 m 이내에 배출된 NOx가 전체 주행 동안 배출된 NOx의 15~20%에 달했다.

삼원촉매의 온도는 빠르게 상승하여 700~800 °C 사이에서 안정되었지만, 그 이후에도 부분적으로 NOx의 배출이 급격하게 증가하는 조건들이 관찰되었다. NOx가 급격하게 증가하는 부분에서의 운전조건은 당량비가 급변하거나 엔진 부하가 높은 경우였다. Fig. 6(a)는 희박 조건으로부터 이론공연비 연소로 당량비가 급격하게 변하는 조건에서 NOx 배출이 증가하는 경향을 보여준다. 이러한 운전조건은 연료 차단(Fuel cutoff) 또는 아이들 스탑(Idle stop) 이후 재연소시 발생하며, 운전 중 상당한 빈도로 발생한다.<sup>11,12)</sup> Peckham 등<sup>13)</sup>에 따르면, 이러한 운전조건에서 NOx 배출 증가는 삼원촉매의 산소 포화에 의하여 발생한다. 연료가 차단되는 동안 삼원촉매에는 연소되지 않은 공기가 통과하게 된다. 이 기간동안 삼원촉매에 축적된 산소는 이후 연소가 재개되었을 때 NOx의 환원을 방해하므로 NOx의 배출이 증가하게 된다. 이러한 경향을 정량적으로 확인하기 위하여 Fig. 6(b)에서는 본 연구에서 수행된 모든 시험 데이터를 통합하여 당량비의 단위시간 당 변화율과 엔진 토크에 대하여 NOx 배출량을 나타냈다. 이 그래프에서는 당량비가 급격하게 증가하는 조건에서 엔진의 토크가 높을 경우 더 많은 양의 NOx가 배출되는 경향이 명확하게 확인된다.

하지만 전체 NOx 배출량 측면에서 볼 때, 당량비 변화에 의한 순간적인 NOx 증가보다는 고부하 조건이 지속되는 구간에서의 지속적인 NOx 배출이 더욱 큰 비중을 차지했다. Fig. 7은 Case 1의 NOx의 배출이 급격히 증가하는 60 km 지점에서의 NOx 배출경향을 나타내는 그래프이다. 주행시간상으로는 약 91분 지점에 해당하며, 이 시기에 당량비는 0.98, 엔진 토크는 250 Nm 수준이었다.



(a) NOx increase where equivalence ratio change



(b) Relation between equivalence ratio change rate and NOx

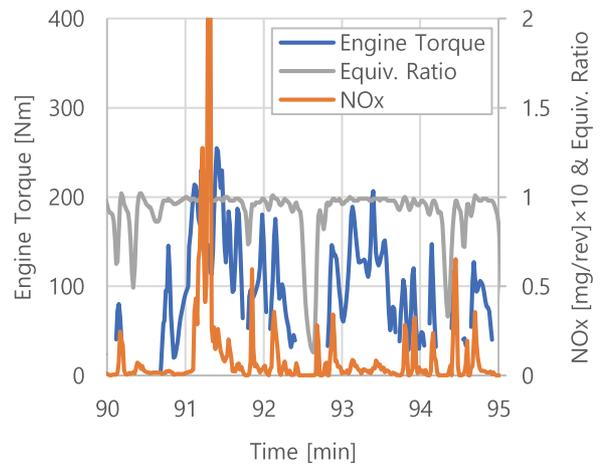


Fig. 7 Relation between torque and NOx

Fig. 6 Relation between torque, equivalence ratio, and NOx

이 시기에는 이러한 고부하 조건이 30초가량 지속됨에 따라 NOx가 급격하게 증가한 이후 완전히 감소하지 않고 지속적으로 일정 이상의 배출량이 유지되어 총 배출량이 증가하는 요인이 되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 삼원촉매를 장착한 가솔린 차량을 실제 도로에서 주행하며 배기가스를 측정하였고, 이로부터 시험 간 CO와 NOx 편차의 원인을 분석하였다. 본 연구로부터 도출한 결론은 다음과 같다.

- 1) 냉간시동은 CO 배출의 주된 요인 중 하나였으며, 전체 주행 동안 배출된 CO의 10~20%가 냉간시동 중에 배출되었다.
- 2) 고속도로 구간에서 CO 배출이 급증하는 구간이 발생하며, 이는 고부하 조건에서의 농후한 운전조건이 원인이었다. 이러한 운전조건이 한 케이스만 발생하더라도 CO 배출량이 2배 이상 증가할 수 있기 때문에 CO에 편차가 발생하는 주요 원인이라고 할 수 있다.
- 3) 주행 초기 NOx 배출은 삼원촉매의 온도와 엔진 부하에 좌우되었다. 삼원촉매의 온도가 낮은 시점에 높은 엔진 부하가 발생할 경우 많은 양의 NOx가 배출되었으며, 전체 주행 동안 배출된 NOx의 15~20%가 이 시기에 배출되었다.
- 4) 주행 중 NOx 배출은 당량비가 급격하게 변하거나 고부하 조건으로 운전될 때 크게 증가하였다. 이처럼 운전조건이나 운전습관에 따라 발생빈도가 달라질 수 있는 현상들에 의하여 NOx 배출량이 크게 변하기 때문에 시험 케이스 간 편차가 발생할 수 있다.

#### 후 기

이 논문은 2020학년도 경북대학교 신입교수정착연구비에 의하여 연구되었음.

#### References

- 1) J. Kim, S. Kim, S. Yeo, K. Lee, H. Lee and S. Seol, National Air Pollutants Emission, National Institute of Environment Research, Incheon, 2016.
- 2) European Commission, Amending Regulation(EC) No 692/2008 as Regards Emissions from Light Passenger and Commercial Vehicles(Euro 6), 2016.
- 3) European Parliament, Setting CO2 Emission Performance Standards for New Passenger Cars and for New Light Commercial Vehicles, 2019.
- 4) T. Zachariadis, "After 'dieselgate': Regulations or Economic Incentives for a Successful Environmental Policy?," Atmospheric Environment, Vol.138, pp.1-3, 2016.
- 5) M. Weiss, P. Bonnel, R. Hummel and N. Steininger, A Complementary Emissions Test for Light-duty Vehicles: Assessing the Technical Feasibility of Candidate Procedures, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2013.
- 6) Y. S. Yu, J. W. Jeong, M. S. Chon and J. Cha, "Impact of Test Routes and Driving Style on NOx Emissions of Light-Duty Diesel Vehicle over Real Driving Emissions Test," Journal of ILASS-Korea, Vol.24, No.2, pp.73-81, 2019.
- 7) J. Park, J. Lee, S. Kim, J. Kim and K. Ahn, "A Study on the Emission Characteristics of Korean Light-duty Vehicles in Real-road Driving Conditions," Transactions of KSAE, Vol.21, No.6, pp.123-134, 2013.
- 8) J. Gallus, U. Kirchner, R. Vogt and T. Benter, "Impact of Driving Style and Road Grade on Gaseous Exhaust Emissions of Passenger Vehicles Measured by a Portable Emission Measurement System (PEMS)," Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.52, pp.215-226, 2017.
- 9) J. Song, Z. Lee, J. Song and S. Park, "Effects of Injection Strategy and Coolant Temperature on Hydrocarbon and Particulate Emissions from a Gasoline Direct Injection Engine with High Pressure Injection up to 50 MPa," Energy, Vol.164, pp.512-522, 2018.
- 10) A. B. Getsoian, J. R. Theis and C. K. Lambert, "Sensitivity of Three-Way Catalyst Light-Off Temperature to Air-Fuel Ratio," Emission Control Science and Technology, Vol.4, No.3, pp.136-142, 2018.
- 11) G. Zhu, J. Liu, J. Fu, Z. Xu, Q. Guo and H. Zhao, "Experimental Study on Combustion and Emission Characteristics of Turbocharged Gasoline Direct Injection (GDI) Engine Under Cold Start New European Driving Cycle (NEDC)," Fuel, Vol.215, pp.272-284, 2018.
- 12) K. H. Ko, S. H. Jeong, I. K. Yoo, S. H. Lee and J. W. Kim, "An Experimental Study on Reduction of CO<sub>2</sub> Exhausted Emission by using Fuel-cut Function of Vehicles," Transactions of KSAE, Vol.18, No.1, pp.86-92, 2010.
- 13) M. S. Peckham, A. Finch and B. Campbell, "Analysis of Transient HC, CO, NOx and CO<sub>2</sub> Emissions from a GDI Engine using Fast Response Gas Analyzers," SAE International Journal of Engines, Vol.4, No.1, pp.1513-1522, 2011.