

# 경유자동차의 실험실과 실도로 주행시험에 관한 비교 분석

이광범\* · 용부중\*\*†

## An analysis of Laboratory and Real Driving Test using Diesel Vehicles

Kwangbum Lee\*, Boojoong Yong\*\*†

**Key Words :** *Defeat Device*(임의조작장치), *NOx*(질소산화물), *FTP-75*(미국 시가지 배출가스주행모드), *HWFET*(미국 고속도로 배출가스 주행모드), *NEDC*(유럽 시가지 배출가스주행모드), *PEMS*(이동형 배출가스 측정 장비), *Real Driving Emission*(실도로주행 배출가스)

### ABSTRACT

Since a diesel vehicle scandal related to the 'A' automobile company was issued in the United States in 2015, many countries have been interested in emission defeat devices. Being embedded in some diesel passenger cars sold in Korea, a defeat device for exhaust gas may have influence on both fuel economy and NOx emissions. In order to examine such effects, we carried out laboratory indoor tests as well as real road driving tests using four models of 'A' automobile company which may employ defeat devices. Those tests were performed observing the test modes of FTP-75, HWFET, and NEDC. Although fuel economy and NOx emissions according to indoor tests comply with the suggested tolerance, the findings in the real road driving tests do not satisfy the tolerance. Along with the results provided in this study, further evaluation may be necessary to investigate the noticeable difference between the indoor and real road tests.

### 1. 서론

2015년 미국 연방환경청(EPA)와 캘리포니아 대기 환경보전국(CARB)는 A 자동차사의 EURO 5 경유승용차에서 배출가스 저감장치를 조작하는 불법 소프트웨어가 적용된 사실을 적발했다고 발표하였다.<sup>(1,2)</sup> 불법 소프트웨어를 적용한 사실을 발표한 직후, A 자동차사는 배출가스저감장치의 임의조작장치 혐의를 인정하고 대상 차량의 미국 내 판매를 전면 중단하였다.<sup>(1,3)</sup> 국내에서도 A 자동차사는 공식사와 성명을 발표하였으며, 환경부는 대상 차종에 대한 배출가스 저감장치 임의조작장치 적용여부를 확인하기 위하여 실도로 주행시험 계

획을 발표하였다.<sup>(4)</sup>

A 자동차사는 이에 대한 책임으로 CEO가 사임하였으며, 사회적으로 가장 큰 충격은 임의조작장치가 얼마나 널리 퍼져 있는지에 대한 것이었다. 예를 들어, 2015년 9월 말 독일의 정부 당국자는 배출가스 임의조작장치가 유럽 뿐만 아니라 전세계적으로 1,100만 경유자동차에 "CHEAT" 소프트웨어가 포함되어 있다는 것을 인정하였다.<sup>(5)</sup> 2018년 현재 A 자동차사는 세계에서 두 번째로 큰 자동차 회사이며, 전 세계에서 운영되는 진정한 다국적 회사이다. 여전히 진행 중인 A 자동차의 배출가스 스캔들은 2015년 9월에 공개되었으며 그 후 몇 년동안 많은 사람들은 A 자동차사와 같은 조직이 배출가스 임의조작장치를 이용하여 정부와 핵심 이해 관계자를 완전히 속이려고 했다는 불쾌감을 느끼고 있다.<sup>(6)</sup>

국내에서 판매된 A 자동차사의 경유자동차 일부에도 배출가스 임의조작장치 장치가 확인됨에 따라 이러한 임

\* 경일대학교 기계공학과, 학생 / 자동차안전연구원 부원장

\*\* 경일대학교 기계공학과, 교수

† 교신저자

E-mail : katrietf@kotsa.or.kr

의조작장치 작동에 따른 연비와 NOx 배출량에 대한 영향이 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 A 자동차사의 배출가스 임의조작장치 탑재 가능성이 높은 경유자동차에 대한 차대동력계를 이용한 실내시험과 실도로 주행시험을 통하여, 조작장치가 연비와 NOx 배출량에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 미국의 조사내용

2015년 9월 미국에서 발생한 경유자동차 배출가스 스캔들 이전의 자동차 제작사들은 경유자동차에 대하여 “청정”자격 증명을 시도하였고, 명시적으로 그들은 미국 연방 정부의 엄격한 배출가스 기준에 부합되는 질소산화물을 저감시킨 환경 친화적 경유엔진을 개발했다고 발표하였다.<sup>(6)</sup>

웨스트버지니아 대학교(WVU)의 대체연료, 엔진 및 배기가스센터(CAFEE)는 국제청정교통위원회(ICCT)와 계약을 맺고 이동식 배출가스 측정시스템을 사용하여 세 대의 승용 경유 자동차에 대한 시험을 다양한 운전조건에 따라 수행하였다. 시험 차량은 US-EPA Tier2-Bin5 및 캘리포니아 LEV-II ULEV 배출가스 규제에 대해 인증되었으며 한 차종은 Lean NOx 트랩 (LNT), 두 차종은 요소수 기반의 선택적 촉매환원장치(SCR)를 포함하여 NOx 후처리기술이 장착되어 있었다. 시험결과, 실제 도로상에서 NOx 배출량은 LNT 장착 차량의 경우 US-EPA Tier2-Bin5 기준의 15배에서 35배, SCR 장착 차량의 경우는 5배에서 20배 초과 한 것으로 밝혀졌다.<sup>(7)</sup>

### 2.1. 실도로 NOx 분석

미국의 EPA 배출가스 시험모드인 FTP-75를 차대동력계에서 측정된 NOx 값을 1로 하여 고속도로, 시가지, 교외도로를 이용한 실도로 운행 시 NOx 측정된 결과 NOx 발생량이 15배에서 35배까지 증가하였다(Fig. 1).

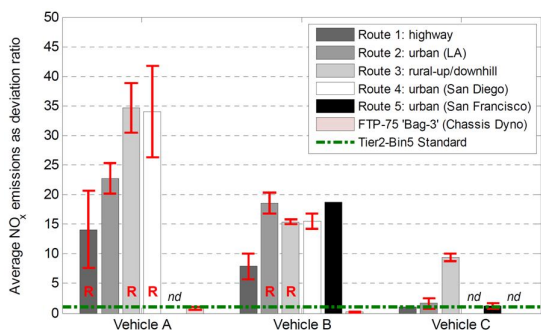


Fig. 1 RDE NOx result of USA

### 2.2. 실도로 연비 분석

미국의 EPA 배출가스 시험모드인 FTP-75를 차대동력계에서 측정된 연비와 고속도로, 시가지, 교외도로를 이용한 실도로 운행시 연비를 측정된 결과 도심지역 연비는 약 20%, 고속도로 연비는 약 3%, 도심과 고속도로 복합연비는 약 19% 향상되었다(Fig. 2).

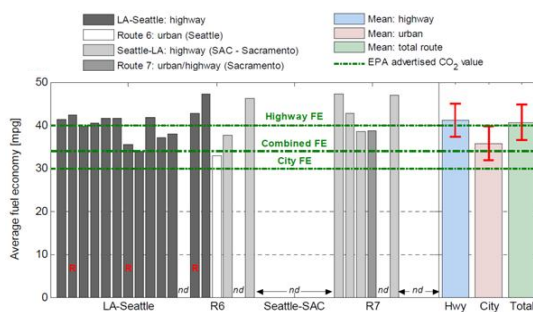


Fig. 2 RDE fuel economy result of USA

### 2.3. 임의조작장치 알고리즘

A 자동차사의 경우 임의조작장치는 하드웨어 장치가 아닌 자동차전자제어장치(ECM) 내부의 소프트웨어 알고리즘인 것으로 파악되었다(Fig. 3). 임의조작장치는 프

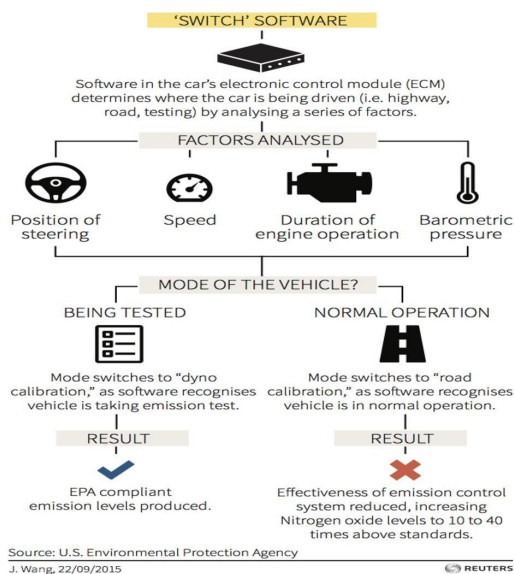


Fig. 3 Operational concept of defeat device<sup>(8)</sup>

로그그램에 의해 핸들위치, 차속, 엔진작동시간, 기압 등을 분석해 차대동력계 인증시험 상황과 일반도로 상황을 판단하는 장치이며, 임의조작장치의 작동을 통해, 인증 시험에서는 배출가스 제어장치인 EGR, SCR 또는 LNT를 최대한 가동하도록 하고 일반 도로주행에서 작동을 임의로 줄여 연비를 높게 하였다.<sup>(8)</sup>

### 3. 연구방법

#### 3.1. 연구대상 차종

본 연구대상 차종은 2015년 미국에서 배출가스 임의 조작장치가 설정된 것으로 확인된 엔진과 동일한 엔진 (Euro 5)을 탑재한 A 자동차사의 승용자동차 3차종과 SUV 1차종을 선정하여 차대동력계 실내시험과 실도로 시험을 진행하였다.

#### 3.2. 시험방법

연구대상 차량은 관련법규에 따라 시험전 길들이기 6,400km 주행을 실시하였고, 실내 시험장비인 배출가스 분석시스템과 실외시험장비인 이동형 배출가스 측정시스템에 대한 상관성 시험을 하였다. 이러한 상관성 시험 절차는 법규 인증 시험용으로 사용되는 차대동력계 시험실의 배출가스분석시스템과 이동형 배출가스 측정시스템의 데이터를 동일한 조건에서 비교 분석하는 것으로 시험결과를 분석하는데 사용되었다.

시험시 사용한 기본 주행모드는 한국과 미국의 연비시험 모드로써 시가지모드인 FTP-75, 고속도로모드인 HWFET를 사용하였으며, NOx 배출량은 유럽의 배출가스 주행모드인 NEDC를 사용하였다.

##### 3.2.1. 차대동력계 실내시험

차대동력계 실내시험은 일정한 상온이 유지되는 시험실에서 차대동력계, 정용량 시료채집장치, 희석터널, 배출가스 분석기, 운전자보조장치를 이용하여 연비와 배출가스 관련 법규에 따라서 인증시험과 동일하게 진행하였다(Fig. 4). 시험 자동차에 장착되어있는 계기판의 Trip 연비도 동시에 같이 측정하였으며, 시험 데이터는 가스분석기, Trip 값을 사용하여 분석하였다.

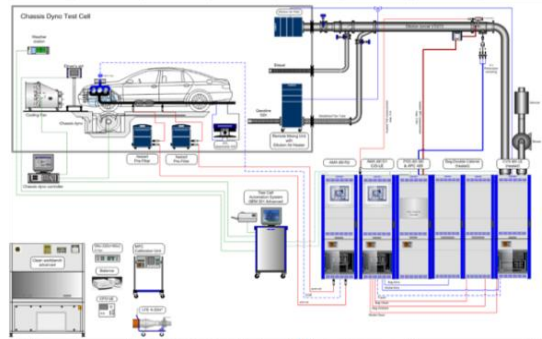


Fig. 4 Diagram of chassis dynamometer test equipment

##### 3.2.2. 실도로 시험

실도로 시험은 시험용 트랙에서 운전자가 모니터를 통하여 실내시험시 사용한 주행모드를 보면서 같은 속도의 프로파일을 추종하였다. 또한 실차 상태의 배출가스를 측정하기 위하여 PEMS를 설치하여 배출가스를 측정하였고 자동차 계기판 Trip 데이터도 동시에 측정하여 분석하였다(Fig. 5).

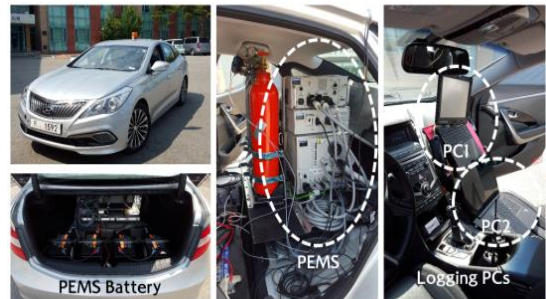


Fig. 5 Test equipment installation of PEMS

## 4. 실차 시험 및 결과분석

### 4.1. 실내시험 및 실도로시험 장비간 상관성

시험장비간 상관성을 확인하기 위하여 차대동력계 시험실에서 PEMS를 설치하여 시험하였다. 이를 통하여 배출가스 분석기, 자동차 Trip, PEMS 연비를 비교하였고, 배출가스 분석기, PEMS NOx 배출량을 비교 분석하였다.

4.1.1. 연비시험 결과

배출가스분석기 연비와 Trip 연비는 FTP-75 주행모드에서 0.8%, NEDC 주행모드에서 -0.2%의 차이가 발생하고, 전체 평균값 대비 약 0.3% 차이가 발생하였다. 배출가스분석기 연비와 PEMS 연비는 FTP-75 주행모드에서 -6.3%, HWFET 모드에서 -8.8% 및 NEDC 모드에서 -9.5% 차이 발생하고, 전체 평균값 대비 약 -8.2% 차이가 발생하였다.

Table 1 Fuel Economy correlation between analyzer and PEMS

구 분	FTP-75	HWFET	NEDC
분석기 연비	18.460	22.135	18.640
Trip 연비	18.6 (0.8%)	-	18.6 (-0.2%)
PEMS 연비	17.294 (-6.3%)	20.182 (-8.8%)	16.861 (-9.5%)

4.1.2. NOx 시험 결과

배출가스분석기 NOx와 PEMS NOx는 FTP-75 주행모드에서 11.7%, HWFET 모드는 10.7% 및 NEDC 모드에서는 20.3% 차이 발생하고, 전체 평균값 대비 약 14.0% 차이가 발생하였다.

Table 2 NOx correlation between analyzer and PEMS

구 분	FTP-75	HWFET	NEDC
분석기 NOx	0.350	0.271	0.276
PEMS NOx (kNOx 적용)	0.391 (11.7%)	0.300 (10.7%)	0.332 (20.3%)

4.2. A 차종 시험결과

A 차종은 대형 승용자동차로서 제작사가 제시한 주행저항 값을 사용하여 시험을 진행하였다.

4.2.1. 연비시험 결과

인증 연비와 차대동력계 FTP-75 및 HWFET 연비는 각각 5.0%, -0.9%으로 연비 허용오차를 만족시키고 있다. 차대분석기 연비와 PEMS 연비는 FTP-75에서 -14.8%, HWFET에서 -25.6% 차이가 발생하였고, 차대

분석기 연비와 실도로 Trip 연비는 FTP-75에서 -12.9%, HWFET에서 -24.6% 차이가 발생하였다.

Table 3 Fuel economy result of A vehicle

구 분	FTP-75	HWFET
인증 연비	16.611	26.069
분석기 연비 (차대동력계)	17.482	25.824
Trip 연비 (차대동력계)	17.1 (-2.2%)	25.3 (-2.0%)
PEMS 연비 (실도로)	14.888 (-14.8%)	19.221 (-25.6%)
Trip 연비 (실도로)	15.233 (-12.9%)	19.467 (-24.6%)

4.2.2. NOx 시험 결과

Euro-5 NOx 배출량 허용기준(0.18g/km)과 비교하면 차대동력계 NEDC 모드 이외의 시험모드에서 배출량 허용기준을 1.1배~1.9배 초과하였다. Euro-5 NOx 배출량 허용기준과 실도로시험에서는 전체 시험모드에서 배출허용기준을 3.5배~4.4배 초과하였다.

Table 4 NOx result of A vehicle

구 분	FTP-75	HWFET	NEDC
NOx 기준 (EU5)	-	-	0.180
인증 NOx	0.348 (1.9배)	0.207 (1.2배)	-
분석기 NOx (차대동력계)	0.321 (1.8배)	0.201 (1.1배)	0.123 (0.7배)
PEMS NOx (실도로)	0.792 (4.4배)	0.633 (3.5배)	0.779 (4.3배)

4.3. B 차종 시험결과

B 차종은 중형 승용자동차로서 제작사가 제시한 주행저항 값을 사용하여 시험을 진행하였다.

4.3.1. 연비시험 결과

인증 연비와 차대동력계 FTP-75 및 HWFET 연비는 각각 -6.6%, -2.2%로써 FTP-75에서 연비 허용오차를 초과하였다. 차대분석기 연비와 PEMS 연비는 FTP-75 주행모드에서 -16.2%, HWFET 모드에서는 -24.6% 차

## 경유자동차의 실험실과 실도로 주행시험에 관한 비교 분석

이가 발생하였고, 실도로 Trip 연비는 -12.7%, -22.4%의 차이가 발생하였다.

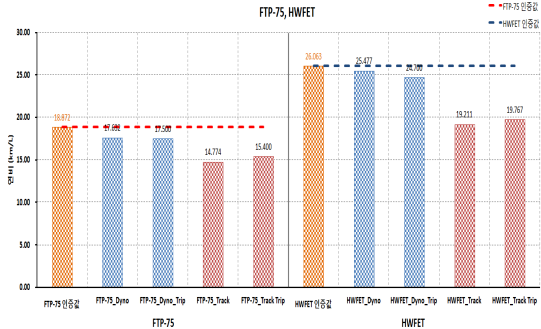


Fig. 6 Fuel economy result of B vehicle

### 4.3.2. NOx 시험 결과

Euro-5 NOx 배출량 허용기준(0.18g/km)과 비교하면 차대동력계 NEDC 모드 이외의 시험모드에서 배출허용기준을 1.6배~2.6배 초과하였다. 또한 실도로 전체 시험모드에서 배출허용기준을 3.9배~5.5배 초과하였다.

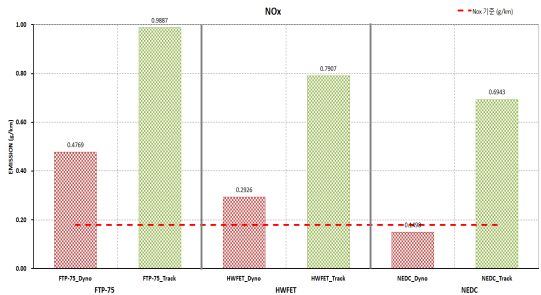


Fig. 7 NOx result of B vehicle

### 4.4. C 차종 시험결과

C 차종은 소형 승용자동차로서 제작사가 제시한 주행저항 값을 사용하여 시험을 진행하였다.

#### 4.4.1. 연비시험 결과

인증 연비와 차대동력계 FTP-75 및 HWFET 연비는 각각 1.7%, 1.2%으로 연비 허용오차를 만족하였다. 차대 분석기 연비와 PEMS 연비는 FTP-75 모드에서 -15.3%, HWFET 모드에서 -24.4%의 차이가 발생하였고 실도로

Trip 연비는 FTP-75 주행모드에서 -11.4%, HWFET 모드에서는 -24.2%의 차이가 발생하였다.

Table 5 Fuel economy result of C vehicle

구분	FTP-75	HWFET
인증 연비	18.248	26.500
분석기 연비 (차대동력계)	18.558	26.886
Trip 연비 (차대동력계)	18.2 (-1.9%)	26.5 (-1.4%)
PEMS 연비 (실도로)	15.726 (-15.3%)	20.333 (-24.4%)
Trip 연비 (실도로)	16.433 (-11.4%)	20.367 (-24.2%)

### 4.4.2. NOx 시험 결과

Euro-5 NOx 배출량 허용기준(0.18g/km)과 비교하면 차대동력계 NEDC 모드 이외의 시험모드에서 배출허용기준을 1.4배~2.2배 초과하였다. 실도로 전체 시험모드에서 배출허용기준을 2.2배~4.7배 초과하였다.

Table 6 NOx result of C vehicle

구분	FTP-75	HWFET	NEDC
NOx 기준 (EU5)	-	-	0.180
인증 NOx	0.391 (2.2배)	0.319 (1.8배)	-
분석기 NOx (차대동력계)	0.376 (2.1배)	0.256 (1.4배)	0.104 (0.6배)
PEMS NOx (실도로)	0.850 (4.7배)	0.808 (4.5배)	0.400 (2.2배)

### 4.5. D 차종 시험결과

D 차종은 중형 SUV로서 제작사가 제시한 주행저항 값을 사용하여 시험을 진행하였다.

#### 4.5.1. 연비시험 결과

인증 연비와 차대동력계 FTP-75 및 HWFET 연비는 각각 -1.2%, -1.9%으로 연비 허용오차를 만족시켰다. 차대 분석기 연비와 PEMS 연비는 FTP-75 주행모드에서 -10.2%, HWFET 모드에서는 -17.4%의 차이가 발생하였고, 실도로 Trip 연비는 각각 -8.3%, -17.7%의 차이가 발생하였다.

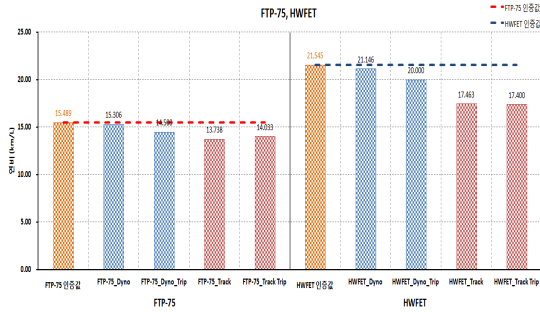


Fig. 8 Fuel economy result of D vehicle

#### 4.5.2. NOx 시험 결과

Euro-5 NOx 배출량 허용기준(0.18g/km)과 비교하면 차대동력계 NEDC 모드 이외의 시험모드에서 배출허용기준을 2.9배~3.2배 초과하였다. 실도로 전체 시험모드에서 배출허용기준을 4.7배~5.3배 초과하였다.

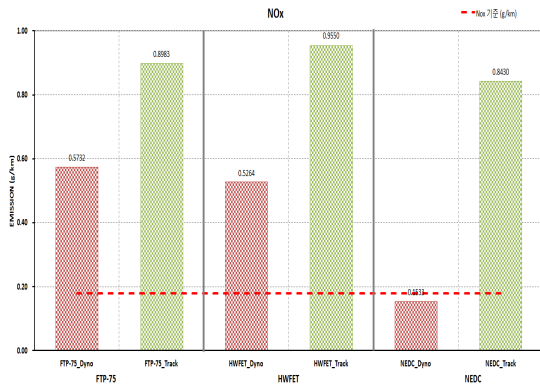


Fig. 9 NOx result of D vehicle

### 5. 결론

A 자동차사 4개 차종의 연비시험 결과는 FTP-75 주행모드 평균값 비교시, 차대분석기 연비 대비 차대동력계 Trip, 실도로 PEMS 및 실도로 Trip 연비는 각각 -2.4%, -14.3%, -11.4% 수준의 차이를 나타내며, 실도로 조건에서 약 13% 정도 더 악화되는 결과를 보이고 있다. HWFET 주행모드 4차종 평균값 비교시, 차대분석기 연비 대비 차대동력계 Trip, 실도로 PEMS 및 실도로 Trip 연비는 각각 -2.9%, -23.3%, -22.5% 수준의 차이를 나타내며, 실도로 조건에서 약 23% 정도 악화되는 결과를 보이고

있다. 실도로 시험에서 연비가 악화되는 요인은 주행저항, 운전조건, 환경조건 등을 생각할 수 있다.

NOx 배출량 시험 결과는 FTP-75 주행모드 4차종 평균값 비교시, Euro-5 NOx 배출량 허용기준 대비 차대동력계 분석기 및 실도로 PEMS NOx는 각각 2.4배, 4.9배 수준의 차이를 나타내며, HWFET 모드 4차종 평균값 비교시, Euro-5 NOx 배출량 허용기준 대비 차대동력계 분석기 및 실도로 PEMS NOx는 각각 1.8배, 4.4배 수준의 차이를 나타내고 있다.

NEDC 주행모드 4차종 평균값 비교시, Euro-5 NOx 기준 대비 차대동력계 분석기 NOx는 약 0.7배 수준으로 Euro-5 NOx 허용기준 만족하나, 실도로 PEMS NOx는 약 3.8배 수준으로 Euro-5 Nox 허용기준을 초과하고 있다.

상기 시험결과를 종합적으로 분석하면, A 자동차사 Euro 5 경유자동차의 경우, 연비는 FTP-75 및 HWFET 주행모드의 차대동력계 시험에 특화되어 있고, NOx는 NEDC 주행모드의 차대동력계 시험에 특화되어 있음을 알 수 있다. 특히, 동일한 주행모드를 이용한 실도로 시험에서 NOx 배출량은 차대동력계 시험대비 약 5.4배로 증가함을 알 수 있었다. 실내시험과 실도로시험의 이러한 특성을 활용하면 배출가스 임의조작장치의 탐재 여부를 확인할 수 있다.

### 참고문헌

- (1) <https://foiaonline.gov/foiaonline/action/public/submissionDetails?trackingNumber=EPA-HQ-2015-011001&type=request>
- (2) <https://www.epa.gov/vw/statement-20-liter-diesel-vehicles>
- (3) <https://www.epa.gov/enforcement/volkswagen-clean-air-act-civil-settlement>
- (4) 환경부, 2015년, “보도자료 아우디폭스바겐 경유차 검사계획”.
- (5) Tidwell, M. 2017, “An analysis of Volkswagen’s crisis response strategy. Retrieved from University of Kansas”.
- (6) Zurich University, 2018, “Stakeholder Relationships in International Crisis : Focus on VW Emission Scandal”.
- (7) CAFEE, 2015, “In-Use Emissions Testing of Light-duty Vehicles in the United States”.
- (8) KBA, 2016, bericht der Untersuchungskommission VW.