Transactions of KSAE, Vol. 25, No. 3, pp.287-296 (2017)

Check for updates

Copyright © 2017 KSAE / 148-03
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI https://doi.org/10.7467/KSAE.2017.25.3.287

소형자동차 실제도로 주행 배출가스 측정을 위한 국내 주행경로 개발

강 건 우[1] · 이 종 태[1] · 박 준 홍[1] · 차 준 표[2] · 전 문 수[*2]

국립환경과학원 교통환경연구소[1] · 한국교통대학교 자동차공학과[2]

Development of Korean RDE Routes for On-road Emissions Measurement of Light Duty Vehicles

Gunwoo Kang[1] • Jongtae Lee[1] • Junhong Park[1] • Junepyo Cha[2] • Mun Soo Chon[*2]

[1]*Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research, 42 Hwangyeong-ro, Seo-gu, Incheon 22689, Korea*

[2]*Department of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation, Chungbuk 27469, Korea*

(Received 20 February 2017 / Revised 10 March 2017 / Accepted 12 March 2017)

Abstract : Although emission regulations have been gradually strengthened in the past decade, the road transport section remains the most important source of NOx emission in air pollution. One reason is that there has been an increase in the proportion of diesel vehicles and in the volume of traffic. In addition, the certification procedure for standard emission limit does not sufficiently reflect real traffic condition and various driving patterns. Therefore, the European Commission(EC) has recently come up with the RDE-LDV(Real driving emissions-light duty vehicle) regulations, and the Ministry of Environment in Korea has been conducting research on evaluating RDE-LDV with PEMS(Portable Emission Measurement Systems). According to the trip requirements of the 2nd RDE package announced by the EC, the objectives of the present study include the development of Korean RDE routes to reflect domestic traffic and road conditions. Based on the results, both RDE routes are in correct compliance with RDE-LDV regulations, including trip requirements and trip dynamics. KOR-NIER Route 1, in particular, has a higher driving load in rural driving with regard to excessive gradient of elevation compared to KOR-NIER Route 2, including relatively plane rural driving.

Key words : Emission regulations(배기가스 규제), RDE-LDV(소형차 실제도로 주행 배출가스), PEMS(이동식 배기가스 측정장치), Trip requirements(주행요건), Trip dynamics(주행 동특성)

1. 서 론

경유자동차로부터 배출되는 질소산화물(NOx)은 입자상물질(PM, Particulate Matter)과 함께 지속적으로 관리해야할 유해 배기가스 중의 하나이다. 정부는 2002년 유럽의 배출가스 관리제도를 도입한 이후 유로 5 및 유로 6 기준을 유럽과 동일한 시기인 2009년과 2014년에 각각 적용하였다.[1,2)]

상대적으로 짧은 시기에 선진국과 동일한 수준을 적용한 배출가스 허용기준 강화정책은 자동차 제조사의 기술적 성과를 유도하여 국내 자동차산업의 국제경쟁력 강화에 기여하였다. 국립환경과학원이 발표한 2013년 '도로이동오염원'에 의한 국내 NOx 배출량은 2003년 대비 약 29 % 감소하였으며, 유럽의 경우에도 1990년 이후 2013년까지 약 59 % 감소하는 것으로 보고되고 있어 각 국의 배출가스 허용기준 강화정책은 어느 정도 실효성이 있는 것으로 분석할 수 있다.[3,4)]

그러나 이러한 NOx 배출량 감소 경향에도 불구

*Corresponding author, E-mail: mschon@ut.ac.kr

하고 2012년 및 2013년 국내 NOx 배출 오염원 중 '도로이동오염원'은 각각 32.1 % 및 30.8 %로 여전히 가장 큰 비율을 차지하고 있으며, 유럽의 경우에도 2013년 및 2014년 총 NOx 배출량 중 '도로이동오염원'이 모두 39 %로 가장 크게 기여하는 배출원인 것으로 보고되어 '도로이동오염원'에 의한 NOx 배출은 여전히 중요하게 관리해야할 오염물질 배출원 중의 하나인 것으로 나타나고 있다.[3-6)]

국립환경과학원은 이와 같은 현상이 나타나는 주요 원인을 배출가스 허용기준 관리제도의 현행 인증시험 모드가 실제도로의 다양한 주행패턴을 충분히 반영하지 못하기 때문인 것으로 판단하고 2011년부터 PEMS(Portable Emission Measurement Systems) 장비를 이용한 소형자동차 실제도로 주행 배출가스(RDE-LDV, Real Driving Emissions-Light Duty Vehicles)에 관한 연구를 진행하였으며, 실제도로 주행 조건에서 소형 경유자동차의 NOx 배출량이 배출 허용기준을 상당히 초과하는 것을 확인하고 현행 제작 자동차 배출가스 관리 제도에 문제점이 있음을 보고하였다.[7-12)]

환경부는 이러한 연구결과를 바탕으로 실제도로 주행 배출가스 검사제도의 국내도입에 대한 가능성 및 실효성을 확인하였으며, 2014년 2월 RDE-LDV 검사방식의 초안을 유럽과 동시에 공개하고 2015년 5월 소형 경유자동차 RDE-LDV 검사방식 최종안을 확정하였다. 또한 RDE-LDV 관리제도의 NOx 배출 허용기준을 2017년 9월부터는 인증기준의 2.1배, 2020년 1월부터는 1.5배를 만족해야 한다는 최종안을 확정하여 2015년 10월에 발표하였으며, 2016년 '경유승용차 실제도로 조건 배출가스 관리제도'를 입법 예고하였다.

RDE-LDV 관리제도 세부규정의 '2nd Package'에는 주행거리, 주행시간, 주행속도 및 주행경로의 구성 등 경로요건(Trip requirements) 등을 제시하고 있으며, 최근에 보완한 '3rd Package'에는 냉간시동(Cold start) 조건, 하이브리드 자동차 적용방법, 입자수(Particle number) 적용기준 등을 추가하였다. 따라서 효율적인 제도운영을 위해서는 경로요건 규정을 만족하는 국내 RDE 주행경로가 개발되어 다양한 시험을 통한 기술적 경험이 축적되어져야 한다. 본 연구에서는 RDE-LDV 관리제도의 세부규정을 만족하는 국내 RDE 주행경로를 개발하였으며, 다양한 차종으로 주행시험을 수행하여 주행특성을 분석하였다. 또한 국내 RDE 경로의 주행특성을 EC-JRC (European Commission-Joint Research Centre)에서 개발한 유럽 RDE 경로와 비교하여 국제 표준화에 부합하는 RDE-LDV 제도의 국내도입 방안을 제시하고자 한다.

2. 주행경로 및 주행특성 검증방법

2.1 RDE 시험의 주행경로 요건

EC(European commission)에서 규정한 RDE-LDV 시험의 주행경로는 기본적으로 도심(Urban), 교외(Rural), 전용도로(Motorway) 순서로 구성되어야하며, 주행시험은 연속적으로 이루어져야 한다. 여기서 도심주행은 60 km/h 이하의 차속, 교외주행은 60 km/h 초과 90 km/h 이하의 차속, 전용도로 주행은 90 km/h 초과 차속으로 정의한다. 총 주행거리에 대한 백분율로 나타내는 주행 점유율은 각각 34 %의 도심주행, 33 %의 교외 및 전용도로 주행 점유율로 구성하며 ±10 % 범위 내에서 조정이 가능하나 도심주행 점유율은 최소 29 % 이상이어야 한다. 또한 도심, 교외 및 전용도로 주행거리는 모두 16 km 이상이어야 한다.

도심구간 평균차속은 정지구간을 포함하여 15 km/h ~ 40 km/h의 주행되어야 하며, 1 km/h 미만의 차속으로 정의되는 정지구간은 도심구간 주행시간의 6 % ~ 30 %를 차지하여야 하고 10초 이상의 정지구간을 2회 이상 포함하여야 한다. 전용도로 차속은 90 km/h ~ 110 km/h의 범위로 주행되어야 하며, 100 km/h 이상으로 주행되는 시간이 5분 이상이어야 한다. 이상의 RDE 시험에 대한 총 주행시간은 90분 ~ 120분 사이에 이루어져야 한다.

2.2 RDE 시험의 주행 동특성 검증

2015년 확정한 RDE 규정인 2nd Package에는 실제도로 주행 시험은 도심, 교외 및 전용도로로 구성된 각 주행구간에서 시험차량이 과도한 출력으로 주행되어서는 안 되며, 또한 충분한 가속도가 유지되어야 한다는 개념을 제시하고 있으며, 이를 검증하기 위한 주행 동특성 변수로 양의 상대가속도

(RPA, Relative Positive Acceleration)와 비출력($v \times a$, Vehicle speed per positive acceleration)을 정의하였다. 여기서 $v \times a_{pos}$는 차속에 양의 가속도를 곱한 값으로 단위가 m^2/s^3 또는 W/kg으로 표시되어 본 연구에서는 이 변수를 비출력(Mass specific power)로 표현하였다. RDE 주행에 대한 시험차량의 비출력과 상대가속도는 다음과 같이 계산한다. 먼저 실시간(1 Hz)으로 취득된 차속(km/h) 데이터를 이용하여 다음 식으로 시험차량의 주행거리, 가속도 및 비출력($v \times a$)을 계산한다.

$$d_i = \frac{v_i}{3.6} \tag{1}$$

$$a_i = \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2 \times 3.6} \tag{2}$$

$$(v \times a)_i = \frac{v_i \times a_i}{3.6} \tag{3}$$

where d_i : distance covered in time step i, [m]
v_i : vehicle speed in time step i, [km/h]
a_i : acceleration in time step i, [m/s^2]

계산된 데이터들은 차속을 기준으로 도심($v_i \leq 60$ km/h), 교외(60 km/h < $v_i \leq$ 90 km/h) 및 전용도로(v_i > 90 km/h) 구간으로 구분한 후 식 (4)를 이용하여 각 주행구간의 평균차속을 계산한다.

$$\bar{v}_k = \frac{1}{N_t} \Sigma (v_i)_k \tag{4}$$

where N_k : total number of samples of the urban, rural, and motorway shares

RDE 시험시 인위적인 정속주행을 제한하고 충분한 동특성을 확보한 상태에서 실제도로 주행시험이 완료될 수 있도록 유도하기 위하여 도심, 교외 및 전용도로 주행조건에서 식 (2)에 나타낸 가속도 데이터 중 0.1 m/s^2를 초과하는 가속도 데이터가 최소 150개 이상 나타나도록 주행되어야 한다. 또한 각 주행구간의 가속도 데이터 중 $a_i \geq 0.1$ m/s^2인 조건에 해당하는 양의 비출력($v \times a_{pos}$) 데이터를 오름차순으로 정렬한 후 95 % 백분위수(95 % Percentile)에 해당하는 $(v \times a_{pos})_k$_[95]를 계산한 후, 이 값을 WLTC (Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle) 개발 데이터로부터 산출된 기준 비출력과 비교하여 주행상태의 과도(Excess) 정도를 평가하며, 주행구간별 평균차속으로 계산한 아래의 비출력 조건에 부합하는 경우 주행시험은 무효한 것으로 판단한다. Fig. 1에 RDE 시험 데이터의 각 주행구간의 비출력, 비출력의 95 % 백분위수 및 기준 값의 계산 예를 나타내었다.

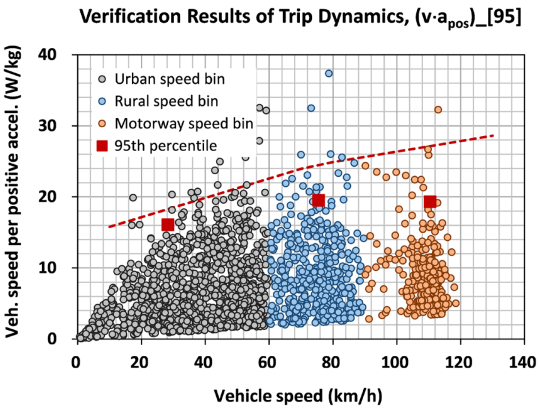


Fig. 1 Evaluation example of vehicle speed per positive acceleration with RDE test data

$$\bar{v}_k \leq 74.6 : (v \cdot a_{pos})_[95] > (0.136\bar{v}_k + 14.44) \tag{5}$$

$$\bar{v}_k > 74.6 : (v \cdot a_{pos})_[95] > (0.0742\bar{v}_k + 18.966) \tag{6}$$

한편, 각 주행구간의 평균 양의 상대가속도인 RPA는 식 (7)을 이용하여 계산하여 WLTC 개발 데이터로부터 산출된 가속도를 기준으로 RDE 시험의 가속조건에 대한 부족(Insufficiency) 정도를 평가하며, 각 주행구간의 평균차속으로 계산되는 아래의 조건에 부합하는 경우 RDE 주행시험은 무효한 것으로 판단한다. Fig. 2에 RDE 시험의 주행구간별 상대가속도 계산 예를 기준 값과 비교하여 나타내었다.

$$RPA_k = \frac{\Sigma_j [\Delta t (v \times a_{pos})_{j,k}}{\Sigma_i (d_i)_k} \tag{7}$$

$$\bar{v}_k \leq 94.05 : RPA_k < (-0.0016\bar{v}_k + 0.1755) \tag{8}$$

$$\bar{v}_k > 94.05 : RPA_k < 0.025 \tag{9}$$

2.3 RDE 경로의 누적 상승고도 검증

RDE 주행경로의 고도조건을 검증하기 위한 변수

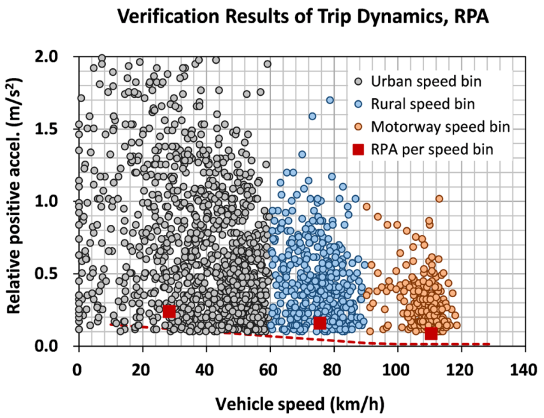


Fig. 2 Evaluation example of relative positive acceleration with RDE test data

인 누적 상승고도(Cumulative positive altitude gain)는 다음과 같이 계산한다. 실시간(1 Hz)으로 취득된 GPS 고도 데이터 중 지형도(Topographic map)와의 고도차이가 40 m 이상 차이가 나는 경우에는 지형도의 고도 값으로 수정하고, 이전시간과의 고도차이가 현재시간 차속기준 45° 경사로 높이보다 큰 경우 이전 시간의 고도 값으로 수정한다. 고도 데이터의 수정을 완료한 후, 주행시간에 대한 고도 값을 선형보간법을 사용하여 1 m 간격의 주행거리에 대한 고도 값으로 변환한다. 이 고도 데이터는 식 (10)에 나타낸 400 m 주행거리에 대한 도로 경사도(Road grade)를 이용하여 식 (11)과 같이 고도 데이터의 순탄(Smoothing) 과정을 수행한다.

$$R_{grade\,1} = \frac{h(d+200\,m) - h(d-200\,m)}{(d+200\,m) - (d-200\,m)} \tag{10}$$

$$h_{sm}(d) = h_{sm}(d-1m) + R_{grade\,1}(d) \tag{11}$$

where $R_{grade\,1}$: road grade at discrete way point
h : altitude at discrete way point, [m]
d : distance at discrete way point, [m]
h_{sm} : dmoothered altitude at discrete way point, [m]

식 (11)에 의해 변환된 고도데이터를 이용하여 400 m 주행거리에 도로 경사도를 다시 계산한 후, 양의 경사도 값만 모두 합산하여 총 주행거리로 나눈 최종 누적 상승고도를 산출한다. 총 주행거리에 대한 누적 상승고도(Cumulative positive altitude gain)은 1,200 m/100 km보다 작아야 한다.

3. RDE 경로 주행특성 시험결과 및 고찰

3.1 국내 RDE 주행경로

EC에서 규정한 RDE-LDV 주행경로 요건을 만족하는 국내 RDE 주행경로로 수도권을 우선 검토하였다. 우리나라 수도권인 서울, 경기, 인천지역은 국내 인구의 50 % 가량인 약 2천 5백만 명이 거주하고 있으며, 차량등록 대수는 약 45 % 정도를 차지하고 있어 국내의 대표적인 교통상황 및 주행특성을 반영하는 지역으로 자동차 배출가스 관리정책에 우선적으로 고려해야하는 지역이다.

경로구성을 위하여 도심경로는 서울시내의 광화문, 잠실 및 강서구청을 통과하는 구간을 검토하였으며, 교외경로는 경인지역의 아라뱃길, 올림픽대로, 강변북로 및 산악지역이 포함된 서울시 북쪽 장흥 구간을 검토하였다. 전용도로 경로는 교외경로와의 연결성을 고려하여 인천국제공항고속도로와 서울외곽순환고속도로 구간을 검토하였다.

이상의 주행구간에서 주행시험을 반복 수행하였으며, GPS 데이터 로거를 이용하여 차속, 주행시간, 고도 등의 데이터를 취득하였으며, GPS 차속데이터는 시험차량의 OBD 차속데이터와 비교 검증하였다. 취득한 데이터를 이용하여 RDE 시험의 경로요건 적합성 등을 분석하여 국내 RDE 주행경로인 KOR-NIER Route 1과 KOR-NIER Route 2를 개발하였다.

Fig. 3에 나타낸 KOR-NIER Route 1은 교외구간에서 높은 주행부하를 갖도록 개발한 주행경로이며, 행신역을 출발하여 연세대, 독립문, 구파발까지의 도심구간과 송추역, 의정부 외곽도로로 이어지는 교외구간, 호원 IC에서 김포 IC까지 주행되는 서울외곽순환고속도로의 전용도로 구간으로 구성하였다.

Fig. 4에 나타낸 KOR-NIER Route 2는 서울 도심의 주행특성을 반영한 경로로 능곡역을 출발하여 연세대, 광화문, 서대문역, 서강대교까지의 도심구간과 강변북로, 북로 JC, 제2자유로의 능곡 IC까지 이어지는 교외구간, 강매 IC에서 금산 IC까지의 인천국제공항고속도로의 전용도로 구간까지 주행된

Fig. 3 Map of KOR-NIER Route 1

Fig. 4 Map of KOR-NIER Route 2

다. 개발된 국내 RDE 경로에서 총 18대의 차량을 이용하여 KOR-NIER Route 1과 KOR-NIER Route 2에서 각각 38회, 45회 주행시험을 수행하였으며, 경로 요건 및 주행 동특성 등을 분석하였다.

3.2 국내 RDE 주행경로의 주행특성

총 38회에 걸쳐 시험한 KOR-NIER Route 1은 평균 77.1 km로 주행되었다. 도심, 교외 및 전용도로 구간의 평균 주행거리는 각각 28.5 km, 22.1 km, 26.5 km인 것으로 나타났으며, 평균 주행 점유율은 각각 36.9 %, 28.7 % 및 34.4 %인 것으로 분석되어 구간별 16 km 이상으로 규정된 RDE 주행거리 요건과 주행 구간 점유율 요건(33 ± 10 %)을 모두 만족하였다. 또한 이 경로에서 수행한 주행시험 시간은 평균 106.6분인 것으로 계산되어 RDE 주행시간 조건(90분 ~ 120분)을 충족하는 것으로 분석되었으며, 도심, 교외 및 전용도로 구간에서 시험차량은 각각 23.3 km/h, 72.0 km/h 및 106.2 km/h의 평균 차량속도로 주행되

Table 1 Trip summary of KOR-NIER Route 1 (averaged from 38 RDE tests)

	Urban	Rural	M.way	Total
Trip distance (km)	28.5	22.1	26.5	77.1
Trip share (%)	36.9	28.7	34.4	100.0
Trip duration (sec)	4,392	1,104	900	6,396
Avg. veh. speed (km/h)	23.3	72.0	106.2	-

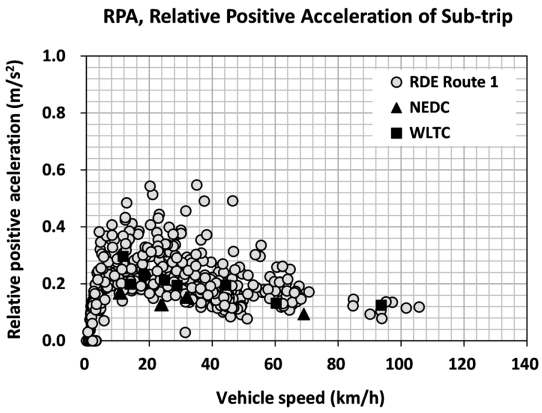
Table 2 Trip summary of KOR-NIER Route 2 (averaged from 45 RDE tests)

	Urban	Rural	M.way	Total
Trip distance (km)	27.0	19.8	27.1	73.9
Trip share (%)	36.5	26.8	36.7	100.0
Trip duration (sec)	4,416	960	918	6,294
Avg. veh. speed (km/h)	22.0	74.4	106.5	-

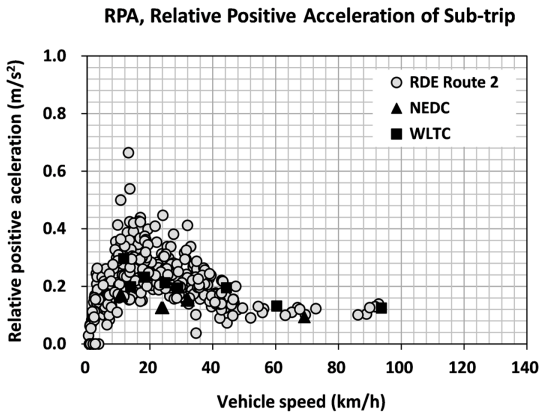
는 것으로 나타났다. 이상의 주행시험 데이터를 이용하여 KOR-NIER Route 1의 주행특성을 Table 1에 요약하여 나타냈다.

Table 2에 요약한 KOR-NIER Route 2에서는 총 45회의 주행시험을 수행하였으며, 평균 주행거리는 KOR-NIER Route 1 보다 조금 짧은 평균 73.9 km이다. 구간별 평균 주행거리는 도심 27.0 km, 교외 19.8 km, 전용도로 27.1 km로 모든 구간이 16 km 이상 주행되었으며, 주행점유율은 도심 36.5 %, 교외 26.8 %, 전용도로 36.7 %로 나타나 모든 구간이 RDE 규정의 경로요건을 만족하다. 각 주행구간의 평균 차량속도는 도심 22.0 km/h, 교외 74.4 km/h, 전용도로 106.5 km/h로 주행되었으며, 총 45회 수행한 평균 주행시간은 104.9분인 것으로 나타나 주행시간 조건을 충족하는 것으로 나타났다.

한편, 본 연구에서 개발한 국내 RDE 시험경로인 KOR-NIER Route 1과 KOR-NIER Route 2의 주행부하 특성을 분석하기 위하여 두 주행경로에서 나타나는 하위 주행구간(Sub-trip)의 평균차속에 대한 상대 가속도(RPA, Relative positive acceleration) 분포를 인증모드인 NEDC와 WLTC 주행모드와 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 두 RDE 주행경로의 하위 주행구간에 대한 RPA 분포는 NEDC와 WLTC와 같은 인증시험 주행모드 보다 다양한 차속구간에서 광범위하게 분포하고 있어 인증모드의 가속특성이 실제 도로 주행조건을 충분하게 반영하고 있지 못하고 있음을 알 수 있으며, 이러한 경향은 특히 평균차속



(a) KOR-NIER Route 1



(b) KOR-NIER Route 2

Fig. 5 Comparison of on-road relative positive acceleration of sub-trip with NEDC and WLTC

이 50 km/h 이하인 중저속 구간에서 더욱 두드러지게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

또한, 두 경로의 도심구간이 교통 지체현상이 많은 서울 중심지를 경유하도록 개발하였기 때문에 두 경로의 저속 및 고속구간의 RPA는 대체적으로 유사하게 분포하지만, 평균차속이 40 km/h ~ 70 km/h인 중속구간에서 KOR-NIER Route 1의 상대가속도가 KOR-NIER Route 2보다 상대적으로 높게 분포하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과가 나타나는 이유는 KOR-NIER Route 2의 교외구간은 강변북로를 지나는 비교적 평탄한 주행구간인 반면 KOR-NIER Route 1의 교외구간은 경사로가 포함된 서울시 북쪽의 장흥지역을 경유하도록 개발되었기 때문에 중속구간인 교외구간에서 상대적으로 높은

양의 가속도를 갖는 주행부하 특성이 나타난 결과인 것으로 해석할 수 있다.

3.3 국내 RDE 주행경로의 주행 동특성

국내 RDE 경로의 주행 동특성을 검증하기 위하여 두 경로에서 반복 시험한 차속데이터를 바탕으로 주행 동특성 변수인 비출력($v \times a$)과 양의 상대가속도(RPA)를 계산하였으며, 두 RDE 경로 각 주행구간에서 나타난 $a > 0.1$ m/s^{2}인 양의 가속도의 평균개수와 범위를 Fig. 6에 나타내었다.

두 경로에서 각각 38회 및 45회 주행 시험한 결과 각 주행구간에서 $a > 0.1$ m/s^{2}인 최소 가속도 수가 모두 150개 이상으로 주행되어 기준요건을 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 두 경로의 도심구간 양의 가속도 평균 개수가 교외 및 전용도로보다 훨씬 많은 약 1,300개인 것으로 분석되어 빈번한 정지신호 및 교통 지체현상이 심한 도심 주행특성이 잘 나타나고 있으며, 정지구간이 거의 없는 전용도로 구간의 양의 가속도 평균 개수는 각각 207개, 237개로 가장 적게 나타나고 있다. 한편 교외주행 구간에서 KOR-NIER Route 1의 양의 가속도 평균 개수는 KOR-NIER Route 2의 288개 보다 약 24 % 많은 379개인 것으로 분석되어 교외구간에서 높은 주행부하를 갖도록 개발한 KOR-NIER Route 1의 주행특성이 잘 반영된 것으로 분석되었다.

KOR-NIER Route 1과 KOR-NIER Route 2에서 각각 38회 및 45회 시험한 차량의 비출력 95 % 백분위수인 $(v \times a_{pos})_k$_[95] 값을 도심, 교외 및 전용도로 구

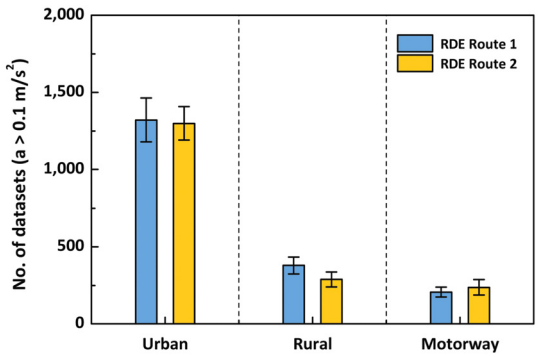


Fig. 6 Number of datasets with acceleration values $a > 0.1$ m/s^2 on Korean RDE Routes

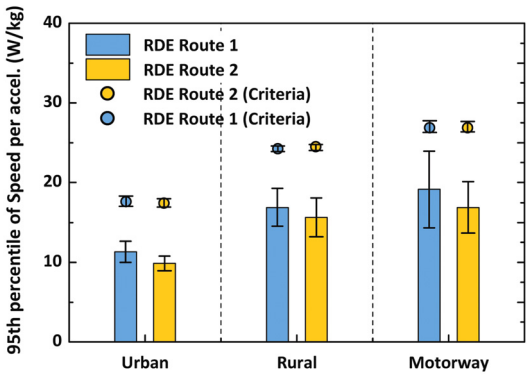


Fig. 7 95th percentile of speed per acceleration and criteria with each speed bin in Korean RDE Routes

간으로 분류하여 계산한 후, 평균값과 표준편차를 기준 값과 비교하여 Fig. 7에 나타냈다. 두 경로의 $(v \times a_{pos})_k$_[95] 값은 전용도로 구간에서 가장 큰 값을 갖는 것으로 나타났으며, 모든 주행구간에서 KOR-NIER Route 1의 $(v \times a_{pos})_k$_[95] 값이 큰 것으로 분석되었다. 또한, 두 주행경로의 각 주행구간에서 $(v \times a_{pos})_k$_[95] 값이 모두 기준 값 보다 작은 것으로 나타나 본 연구에서 개발한 RDE 주행경로는 모두 과도(Excess) 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

KOR-NIER Route 1과 KOR-NIER Route 2의 양의 상대가속도(RPA) 평균값, 표준편차 및 기준 값은 Fig. 8에 나타냈다. Fig. 5에서 설명한 바와 같이 정지신호가 많고 교통 지체현상이 심한 도심구간의 상대가속도가 크고 정지구간이 거의 없는 전용도로 구간에서 상대가속도가 작은 것으로 나타났다. 또한, 비출력의 경우와 유사하게 모든 주행구간에서 KOR-NIER Route 1의 상대가속도가 KOR-NIER Route 2보다 큰 것으로 분석되었으며, 이러한 경향은 교외구간에서 상대적으로 크게 나타나 교외구간에서 높은 주행부하를 갖도록 개발한 KOR-NIER Route 1의 주행특성이 잘 반영되었다는 것을 다시 한 번 확인할 수 있다.

상대가속도의 경우에도 두 주행경로의 각 주행구간에서 RPA 값이 모두 기준 값보다 큰 것으로 분석되어 RDE 주행경로 모두 가속조건에 대한 부족(Insufficiency) 조건을 충족하는 것으로 로 나타났다. 이러한 동특성 분석 결과들로부터 본 연구에서 개발한 국내 RDE 시험경로인 KOR-NIER Route 1과

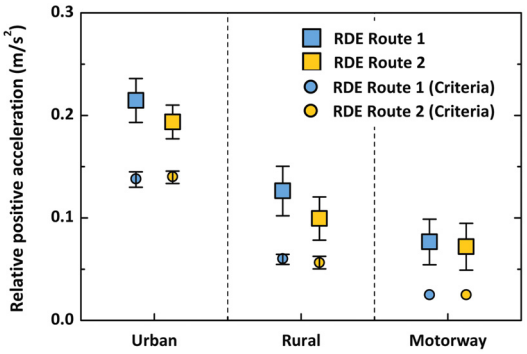


Fig. 8 Relative positive acceleration and criteria with each speed bin in Korean RDE Routes

Table 3 Cumulative positive altitude gain of trip for KOR-NIER Route 1 and KOR-NIER Route 2

	Results	Stdev.	Criteria
RDE Route 1 (m/100 km)	658.5	18.1	1,200
RDE Route 2 (m/100 km)	460.9	28.3	

KOR-NIER Route 2는 모두 RDE 시험에 적용할 수 있다는 것을 정량적으로 확인할 수 있다.

두 RDE 시험경로의 총 주행거리에 대한 누적 상승고도의 평균값과 표준편차는 Table 3에 정리하여 나타냈다. KOR-NIER Route 1과 KOR-NIER Route 2의 누적 상승고도는 각각 658.5 m/100 km, 460.9 m/100 km인 것으로 분석되어 교외 주행구간에 산악지역이 포함된 KOR-NIER Route 1의 누적 상승고도가 약 200 m/100 km 정도 더 높은 것으로 평가되었으며, 두 경로 모두 고도조건을 만족하는 것으로 나타났다.

3.4 국내 및 유럽의 RDE 주행경로 비교분석

국내 RDE 주행경로의 적합성을 판단하고 구간별 주행특성과 동특성을 비교 평가하기 위하여 이탈리아 Ispra 지역에서 EC-JRC가 개발한 유럽의 RDE 주행경로인 Labiena 경로와 Esperia 경로에서 주행시험을 수행하였으며, 총 주행거리 및 도심, 교외, 전용도로 구간에 대한 주행 점유율을 비교하여 Fig. 9에 나타내었다.

총 주행거리가 74 km ~ 77 km 범위로 개발한 국내 RDE 경로는 약 77 km로 주행된 EC-JRC의 Esperia 경로와 유사한 주행거리를 갖고 있으며, EC-JRC의

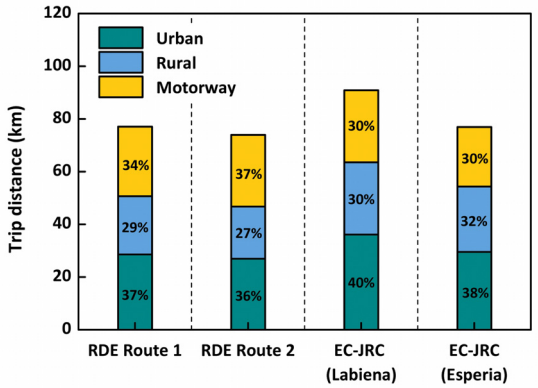


Fig. 9 Comparison of trip distance and share between Korean RDE Routes and EC-JRC RDE Routes

Labiena 경로는 도심구간 약 36 km로 다른 경로보다 길게 구성되어 총 주행거리는 약 91 km인 것으로 나타났다. 국내와 EC-JRC의 RDE 시험경로의 각 구간별 주행거리는 모두 16 km 이상으로 구성되어 있으며, 주행거리 점유율은 도심 36 % ~ 40 %, 교외 27 % ~ 32 %, 전용도로 30 % ~ 37 % 범위로 모두 경로요건을 만족하고 있다. 그러나 국내 RDE 경로의 도심구간 주행거리 점유율은 EC-JRC의 경로 보다 낮게 구성되어 있으며, 전용도로 구간의 점유율은 높게 주행되는 특성을 보이고 있다.

Fig. 10은 국내 RDE 경로와 EC-JRC의 RDE 시험경로의 총 주행시간에 대한 도심, 교외 및 전용도로 주행시간 점유율을 도심구간의 정시시간 비율과 함께 비교하여 나타낸 그래프이다.

국내 및 EC-JRC RDE 경로의 도심구간 주행시간 점유율은 전체 주행시간의 66 % ~ 70 %의 범위에서 국내 RDE 경로가 약간 높은 점유율을 보이고 있으며, 교외구간은 국내 RDE 경로가 약 16 %인 것으로 나타나 약 21 %로 나타난 EC-JRC 경로보다 약 5 % 낮은 수준인 것으로 분석되었다. 12 % ~ 15 %의 범위인 전용도로 구간의 주행시간 점유율은 국내 RDE 경로가 2 % 정도 높은 점유율로 주행되었다.

국내 및 EC-JRC RDE 시험경로의 구간별 주행시간 점유율은 대체적으로 유사한 것으로 나타났지만, 국내 시험경로는 도심구간에서의 정지기간이 유럽의 시험경로에 비하여 2배 가까이 긴 시간을 차지하고 있다. 이는 EC-JRC 경로의 도심지역은 교차로에 신호등이 거의 없고 차량 통행량이 적은 반면

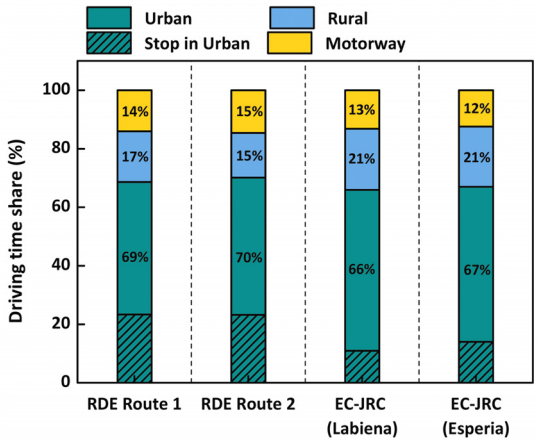


Fig. 10 Comparison of driving time share between Korean RDE Routes and EC-JRC RDE Routes

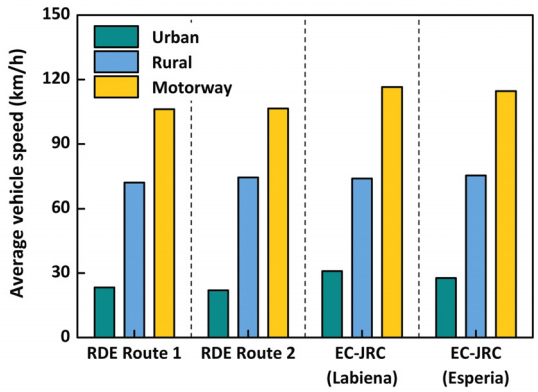


Fig. 11 Comparison of average vehicle speed between Korean RDE Routes and EC-JRC RDE Routes

에 KOR-NIER Route 1과 Route 2의 경우에는 서울 도심지역을 통과하기 때문에 정지신호가 빈번하게 나타나고 도심지역에서 차량지체 현상이 심하기 때문에 나타나는 현상으로 판단하였다.

이러한 결과는 Fig. 11에 나타낸 국내 및 EC-JRC RDE 경로의 주행구간별 평균 차량속도에서도 확인할 수 있다. 국내 RDE 경로의 교외구간 평균차속은 EC-JRC 경로와 유사한 수준인 것으로 나타났으나, 도심구간 평균차속은 국내 RDE 경로가 28 km/h ~ 31 km/h 범위로 나타나는 EC-JRC 경로 보다 약 23 % 낮은 22 km/h ~ 23 km/h 범위인 것으로 분석되었다. 이러한 결과로부터 서울 도심을 통과하는 국내 RDE 경로 도심구간의 빈번한 정지신호와 차량지체 현상이 도심구간 평균차속을 저하시키고 정지시간을 증가시키는 원인임을 더욱 명확하게 확인할 수 있다. 한편, 전용도로 구간의 경우에는 속도제한이 130 km/h인 EC-JRC 경로가 속도제한이 낮은 국내 RDE 경로보다 상대적으로 높은 평균차속으로 주행되는 것으로 나타났다.

RDE 시험의 총 시험시간이 90 분 ~ 120분 사이에 완료되어야하는 규정을 고려할 때, 정지신호가 많고 차량 지체현상이 심한 국내 RDE 시험경로의 도심구간의 주행거리 점유율이 유럽의 시험경로에 비하여 적게 구성되어야 한다는 것을 알 수 있으며, 따라서 본 연구에서 개발한 KOR-NIER Route 1과 KOR-NIER Route 2는 RDE-LDV 규정을 만족하면서 대도시 중심으로 인구 및 차량운행 밀집도가 높은 국내 실제도로 주행특성을 적절하게 반영한 시험경로인 것으로 판단할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 소형 경유자동차의 실제도로 주행 배출가스 평가를 위해 EC 규정을 만족하는 국내 RDE 주행경로를 개발하였으며, 다양한 차종으로 총 83회의 주행시험을 수행하여 주행특성을 평가하였다. 또한 국내 RDE 경로의 주행특성을 EC-JRC에서 개발한 유럽 RDE 경로와 비교 분석하였으며, 본 연구의 결론을 다음과 같이 요약하였다.

1) 국내의 대표적인 교통상황 및 주행특성을 반영하는 지역인 서울 도심을 통과하는 국내 RDE 시험경로인 KOR-NIER Route 1과 KOR-NIER Route 2를 개발하였으며, 개발된 경로에서 주행시험을 반복 수행한 결과 국내 RDE 경로는 EC에서 규정한 RDE-LDV 주행경로 요건을 모두 만족하였다.
2) 국내 RDE 시험경로의 하위 주행구간(Sub-trip)의 상대가속도(RPA) 분포를 분석한 결과, 평균차속이 40 km/h ~ 70 km/h인 중속구간에서 KOR-NIER Route 1의 상대가속도가 KOR-NIER Route 2 보다 높게 분포하여 경사로가 포함된 교외구간의 주행부하 특성이 반영된 것으로 분석되었다.
3) 국내 RDE 경로에 대한 주행 동특성을 분석한 결과, 모든 주행구간에서 $(v \times a_{pos.})_k$_[95], RPA 및 누적 상승고도 값 기준 값을 만족하는 것으로 분석

되어 KOR-NIER Route 1과 KOR-NIER Route 2는 국내 RDE-LDV 시험에 적용 가능하다는 것을 정량적으로 확인하였다.

4) 국내 RDE 주행경로의 적합성을 판단하기 위하여 EC-JRC가 개발한 유럽의 RDE 주행경로와 주행특성을 비교한 결과, 도심, 교외 및 전용도로 구간에 대한 주행거리 점유율, 주행시간 점유율 모두 유사한 특성을 갖는 것으로 분석되었다.
5) 국내 RDE 경로의 경우 서울 도심지역을 통과하기 때문에 도심구간에서의 정지기간이 유럽의 시험경로에 비하여 2배 가까이 긴 시간을 차지하고, 평균 차속이 약 23 % 낮은 특성을 보였다. 이는 서울 도심구간의 빈번한 정지신호와 차량지체현상이 국내 RDE 경로에 반영된 결과로 분석되었다.

후 기

본 연구는 한국형 오토오일 사업과 국립환경과학원의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1) J. Hwang, Understanding of Vehicle Emissions Certification System(I), National Institute of Environmental Research, National Transportation Pollution Research Center, 2013.
2) UN ECE Regulation No.83, Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with Regards to the Emission of Pollutants according to Engine Fuel Requirements, 2011.
3) National Institute of Environmental Research, National Air Pollutants Emission 2013, NIER-GP 2015-240, 2015.
4) EEA, European Union Emission Inventory Report 1990-2014 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), EEA Technical Report No.16/2016, 2016.
5) National Institute of Environmental Research, National Air Pollutants Emission 2012, NIER-GP 2014-318, 2014.
6) EEA, European Union Emission Inventory Report 1990-2013 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), EEA Technical Report No.8/2015, 2015.
7) National Institute of Environmental Research, An Evaluation of Real Driving Emissions for Light Duty Vehicles using PEMS, NIER-GP 2012-043, 2012.
8) 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.
9) National Institute of Environmental Research, A Study on the Evaluation System Introduction of Real Driving Emission For Light-duty Vehicles, NIER-2014-051, 2014.
10) S. Oak, M. Eom, J. Lee, J. Park, J. Kim and M. Chon, “Characteristics of Real-road Driving NOx Emissions from Korean Light-duty Vehicles regarding Driving Routes,” Transactions of KSAE, Vol.23, No.1, pp.130-138, 2015.
11) National Institute of Environmental Research, Evaluation of Real Driving Emissions for Hybrid and Euro-6 Light-duty Diesel Vehicles, NIER-SP2015-055, 2015.
12) J. Lee, J. Kim, M. S. Chon and J. Cha, “Characteristics of Real-Driving CO_2 and NOx Emissions Compared to Test Modes on Euro-6 LDVs Equipped with SCR and LNT,” Journal of ILASS-Korea, Vol.21, No.4, pp.200-206, 2016.