

도로 기반시설 개선과 교통흐름 변화에 따른 소형 경유자동차의 대기오염물질 배출특성

길지훈*[†] · 이태우* · 이상은* · 정성운* · 윤보섭* · 김정수* · 최광호**

Air Pollutant Emission Characteristics of a Light Duty Diesel Vehicle Affected by Road Infrastructure Improvement and Traffic flow Changes

Jihoon keel, Taewoo Lee, Sangeun Lee, Sungwoon Jung, Boseop Yun,
Jeongsoo Kim and Kwangho Choi

Key Words: Driving Pattern(주행패턴), VSP(차량비출력), RPA(상대가속도), Operating Mode(운전영역)

Abstract

Changes in road infrastructure affect driving patterns and pollutant emission characteristics. we analyzed the changes in driving patterns and pollutant emission characteristics of the driving route via measured driving patterns at year 2009 and 2016. Since 2009, there has been an increase in population and traffic demand, including residential areas and industrial facilities. Traffic conditions were improved such as the opening of the highway Inter-Change to Seoul and the construction of underground driveway. As a result, the average vehicle speed increased. More detail comparisons have made on the changes of the underground driveway section and the crossroad section, which are expected to have significant changes in the transportation infrastructure. The vehicle speed distribution of the underground driveway changed from low speed to high speed, and the increase of the time spent at the high speed and high load caused the increase of NO_x emissions. The vehicle speed also increased at the crossroad section, and the consequence NO_x and CO₂ emissions decreased. It is mainly because the decreased time spent at idle, which results from the proper traffic demand management at this area.

1. 서 론

특정 지역의 경제적 사회적 발전은 토지이용의 변화를 초래한다. 주택단지 등과 같이 인구 증가가 예상되는 경우, 설계 단계에서 교통수요의 증가를 예측하여 도로 기반시설의 개선, 도로 이외의 대체 교통수단의 마련 등

과 같은 교통량 해소 방안을 강구하게 된다⁽¹⁾. 도로 기반시설 변화에 따른 도로상의 교통량 변화 및 교통흐름의 변화는 자동차의 주행패턴 변화를 초래한다^(2,3). 주행패턴은 자동차의 대기오염물질 배출에 중요한 영향을 미치는 변수로 알려져 있다⁽⁴⁻⁸⁾. 따라서 도로 기반시설의 변화가 주행패턴을 어느 정도로 변화시키고, 나아가 자동차의 오염물질 배출특성에 얼마나 영향을 미치는지를 파악하는 것은 매우 중요하다. 기반시설을 설계하는 입장에서는 교통량 해소 및 흐름속도 개선이 중요한 편익 중 하나로 간주될 수 있을 것이다. 반면 자동차의 오염물질 배출량은 매우 복잡한 기계적, 전기적 동작의 결과물이기 때문에, '흐름 개선'이라는 교통 측면의 편익이 '배출량 감소'라는 환경측면의 편익과 항상 이어진다

(Received: 20 Nov 2016, Received in revised form: 17 Dec 2016, Accepted: 19 Dec 2016)

*국립환경과학원 교통환경연구소

**남서울대학교 교양과정부

[†]책임저자, 회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : episode23@korea.kr

TEL : (032)560-7609 FAX : (032)561-7013

고 단언하기는 어렵다고 할 수 있다.

이런 복잡한 배출특성을 감안하기 위해서는 배출가스를 직접 측정하는 시험적 방법이 가장 적당하다. 하지만 교통 기반시설이 아직 마련되어 있지 않은 설계 단계에서는 시설 개선 전후 시험이 불가능하다. 이 경우 다양한 교통 모델을 사용하여 주행패턴의 변화를 예측하고, 이를 기반으로 배출량 변화를 예측하는 방법이 활용되고 있다.

대표적인 배출량 모델로는 국립환경과학원의 자동차 배출계수를 들 수 있다⁽⁹⁻¹¹⁾. 배출계수는 자동차의 주행 평균차속에 대한 함수형태로 배출량을 표현하며, 거시적이고 평균적인 배출량 예측에 유용하게 활용될 수 있다. 좀 더 세밀한 시공간 규모에 대해 유용한 모델로는 미국 EPA의 MOVES 모델을 들 수 있다^(12,13). MOVES는 자동차의 운전조건을 23개의 운전모드, OpMode라고 칭하는 Operating Mode로 그룹화하고, 각 OpMode에서의 오염물질 배출율을 각각의 시간 활동도로 가중 합산하여 배출량을 예측하는 체계를 가지고 있다⁽¹⁴⁻¹⁶⁾.

오염물질 배출원으로써의 자동차의 특징을 감안하면 소형 경유 자동차의 중요성이 특히 크다고 할 수 있다. 이는 최근 판매량이 꾸준히 증가하여 그 대수가 많고, 도심지 운행 빈도가 높아 그 환경적인 영향이 크다. 특히, 실제 도로상에서의 질소산화물(NOx) 배출량이 배출허용기준을 크게 상회하는 등, 그 배출특성이 통상적인 인식수준과는 큰 차이를 보이고 있어 연구의 필요성이 크다고 할 수 있겠다^(17,18).

본 연구의 목적은 교통 기반시설의 변화에 따른 교통

흐름의 개선 여부, 그리고 이로 인해 초래되는 자동차 주행패턴과 오염물질 배출량 간의 상호작용을 분석하는 것이다. 이를 위해 도로 기반시설 변경 전후의 주행패턴을 실제로 측정된 후, MOVES 모델을 이용하여 소형 경유 자동차의 대기오염물질 배출량을 산출하고 시설 개선 전후의 결과를 비교하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 2009년 실도로 주행시험

2009년의 연구는 본 논문의 ‘도로기반시설 개선 전’에 해당하는 결과이다⁽¹⁹⁾. 당시 본 연구진은 이동식 배출가스 측정기를 소형 경유 자동차에 탑재하여 실제 도로 주행 중의 배출가스를 측정하고, 그 결과를 도로의 주행여건과 함께 분석한 바 있다. 주행시험 경로는 인천광역시 서구에 위치한 국립환경과학원을 기점 및 종점으로, 인천광역시 계양구 소재의 임학사거리를 회차지점으로 하는 왕복 약 22 km의 경명대로 구간이었다. 시험은 첨두시간(주중 출퇴근 시간) 4회 및 그 외의 비첨두시간 6회 등 총 10회에 걸쳐 진행하였다.

2.2 주행 시험 경로

본 연구의 주행시험 경로는 Fig. 1과 같고 이는 2009년 연구 당시의 경로와 동일하다. 2009년 당시와 마찬가지로, 본 연구에서도 주행경로를 1 km 단위의 소구간(Link)으로 구분하였다. 22 km의 주행경로를 1 km씩 구

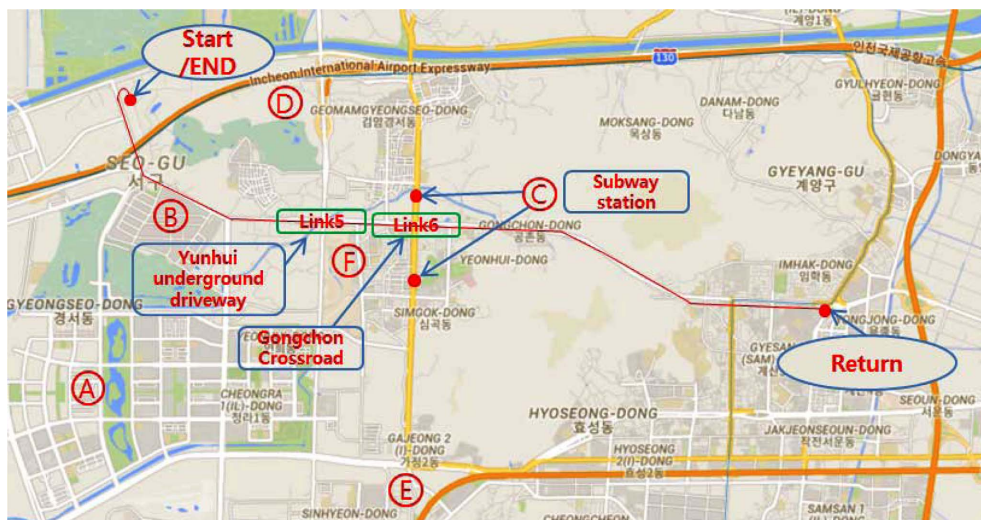


Fig. 1 Test route and road infrastructure change spot

분하여 10회씩 측정하였기 때문에, 2009년 및 2016년 각각에 대해 총 220개의 링크 결과를 확보하게 되었다.

2.2.1 소구간별 특징

경로의 시작 부분은 국립환경과학원 진입도로(Link-1~2)와 서부공단 인근 구간(Link-3~4)이다. Link-5는 주행 경로 중 유일한 지하차도 구간이고, Link-6은 본 주행 경로상에서 가장 정체가 심한 공촌사거리가 위치하고 있는 구간이다. 이어지는 Link-7~10은 계양산 자락의 징메이 고개를 넘어 서구에서 계양구로 진입하는 구간이며, 교통흐름이 원활한 구간이다. Link-11은 인천지하철 1호선 계산역부터 임학사거리까지의 구간으로 횡단보도가 많고 교통량이 많은 지역이다. Link-12~22는 Link-1~11구간을 반대방향으로 주행하여 기점인 국립환경과학원으로 돌아오는 구간이다.

2.2.2 2009년과 2016년의 주요 기반시설 변화

본 주행경로에는 2009년 이후 입지여건 상의 여러 변화가 있었다. 교통수요 증가 측면의 변화로는 Fig. 1에 표시된 A구역인 Link-4~5 인근의 청라지구(2009년부터 입주 시작, 현재 거주인원 약8만명)를 들 수 있으며, B구역인 Link-3에 위치한 LG전자 인천캠퍼스(2013년 입주, 근무인원 약550명)도 영향을 줄 수 있다. 이에 대응한 교통수요 분산 노력으로는 공촌사거리 인근 C구역의 남북방향을 연결하는 인천지하철 2호선 개통과, 청라지구와 서울특별시를 연결하는 공항고속도로인 D구역의 청라IC 개통, E구역 경인고속도로 직선화 등을 들 수 있다. 또한 Link-5 인근의 F구역은 ‘2014년 인천 아시안 게임’의 주경기장과 인접한 구간으로써, 행사를 앞두고 주변 11개소의 교통여건 개선이 추진된 바 있다. Link-7~16의 계양산 및 계양구 구간은 도로 기반시설이 거의 변화없이 유지되고 있는 상황이다.

2.2.3 Link-5와 Link-6 상세 비교

경로 중 Link-5와 Link-6은 주행 여건상의 변화가 크기 때문에 좀 더 주목해 볼 만한 지점이다. 2009년 당시 Link-5는 경명대로(동서방향)와 봉수대길(남북방향)이 교차하는 사거리였으나, 이후 청라 택지지구 및 아시안 게임 등 교통수요 증가 요인에 대응하여 경명대로 방향의 연회지하차도가 신설되었다. Link-6은 상습정체구간인 공촌사거리 구간이다. 이 구간은 도로 자체의 기반시설 변화내역은 없으나, 사거리의 남북방향으로 인천지하철 2호선이 개통되어 남북방향의 교통수요가 분산되

었다는 점이 두드러진 특징이라 할 수 있을 것이다. 공촌사거리 남북방향으로 위치한 검단사거리역과 서구청역이 인천지하철 2호선 수송인력의 1, 2위를 차지하고 있는 등, 지하철 개통으로 인해 공촌사거리 남북방향의 여객수요가 효과적으로 분산되고 있음을 알 수 있다.

2.3 주행패턴 측정

기반시설 개선 이전의 주행패턴은 2009년 연구결과를 그대로 활용하였다. 기반시설 개선 이후인 2016년의 주행패턴은 시험횟수, 각 시험의 출발시간 및 운전자를 2009년 측정 당시와 동일하게 설정하여 2016년 10월 5일~14일 사이에 측정하였다. 시험차량은 2009년 당시 차량(테라칸)과 유사한 경우 SUV(싼타페)를 사용하였다. 차속은 OBD 데이터 취득 장치를, 주행계측은 GPS를 통해 확보하였다.

2.4 대기오염물질 배출량 모델링

본 연구에서는 미국 EPA의 MOVES 방법을 이용하여, 측정된 주행패턴을 따라 도로를 주행할 때의 대기오염물질 배출량을 예측하였다. MOVES의 OpMode는 Table 1과 같이 차속과 차량비출력(VSP, Vehicle Specific Power)으로 정의된다. 차량비출력은 차량의 도로부하를 대표하는 변수 중 하나로써, 많은 연구에서 활용되고 있다⁽²⁰⁾.

Table 1 Definition of MOVES Operating Modes for running-exhaust operation

Vehicle specific Power (kW/t)	Speed Class (km/h)		
	1~40	40~80	80 ≤
30 ≤	Op 16	Op 30	Op 40
27~30		Op 29	Op 39
24~27		Op 28	Op 38
21~24			
18~21		Op 27	Op 37
15~18			
12~15	Op 15	Op 25	Op 35
9~12	Op 14	Op 24	
6~9	Op 13	Op 23	Op 33
3~6	Op 12	Op 22	
0~3	Op 11	Op 21	
< 0			

Note) Op 0 = Breaking, Op 1 = Idle

엄밀히 말하자면 차량마다 차량비출력은 모두 다르지만, 본 연구에서는 중소형 차량에 일반적으로 적용할 수 있다고 알려진 식 (1)을 이용하였다.

$$VSP = v \cdot (1.1 \cdot a + 9.81 \cdot \sin((\arctan(r)) + 0.132)) + 0.000302 \cdot v^3 \quad (1)$$

where,

VSP : Vehicle specific power [kW/ton]

v : Vehicle speed [m/s]

a : Vehicle acceleration [m/s²]

r : Road grade [-]

배출량 예측에 필요한 배출율은 Euro-5 배출허용기준 대응 경유 소형 SUV(스포티지)의 실도로 주행결과를 통해 산출한 Fig. 2의 결과를 활용하였다⁽⁴⁾. 이 결과는 실도로 상에서 이동식 배출가스 측정기를 이용해 측정된 결과를 Table 1 및 식 (1)에 의해 정리한 결과이다. 주행패턴 측정에 이용된 차량(2009년 테라칸, 2016년 싼타페)과 다른 차량(스포티지)의 배출율 데이터를 사용한 이유는 2009년 및 2016년 각각의 도로 주행패턴은 실측을 통해 확보하였으나, 2016년 현재 시점에는 2009년 시험 당시에 사용했던 자동차(테라칸)를 보유하고 있지 않기 때문에 두 경우의 대기오염물질 배출량을 실험

적으로 비교할 수는 없었기 때문이다. 스포티지의 측정 결과는 도심, 비도심 및 자동차 전용구간을 포함한 총연장 325.8 km에서의 측정결과인 바, 자동차 운전 영역 전체를 반영하는데 좀 더 적합하다고 판단되었기 때문이다.

동일 차속 범위에서 차량비출력의 증가에 따라 배출량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 오염물질은 질소산화물(NOx) 및 이산화탄소(CO₂)를 대상으로 분석하였다. 입자상물질(PM)은 적절한 배출율 맵이 확보되지 않았기 때문에, 탄화수소(HC)와 일산화탄소(CO)는 경유차에서의 중요성이 크지 않다고 판단되어 분석 대상에서 제외하였다.

2.5 데이터 분석

총 220개의 Link 각각에 대해 평균 차속, NOx 배출량, CO₂ 배출량을 산정하였다. Link의 가속도는 상대가속도(RPA, Relative Positive Acceleration)를 이용하여 정량화하였다. RPA는 식 (2)와 같이 단위 주행거리당 가속 정도를 감속의 영향을 제외한 양(+)의 가속도만을 이용하여 감안하는 변수로써, 대기오염물질 배출량에 중요한 영향을 미치는 변수로 알려져 있다⁽²¹⁾.

$$RPA = \frac{\int_0^T (v_i \times a_{i,positive}) dt}{x} \quad (2)$$

where,

RPA : Relative positive acceleration [m/s²]

T : Total time [s]

v_i : Vehicle speed [m/s]

a_{i,positive} : Vehicle acceleration, positive value [m/s²]

x : Total distance [m]

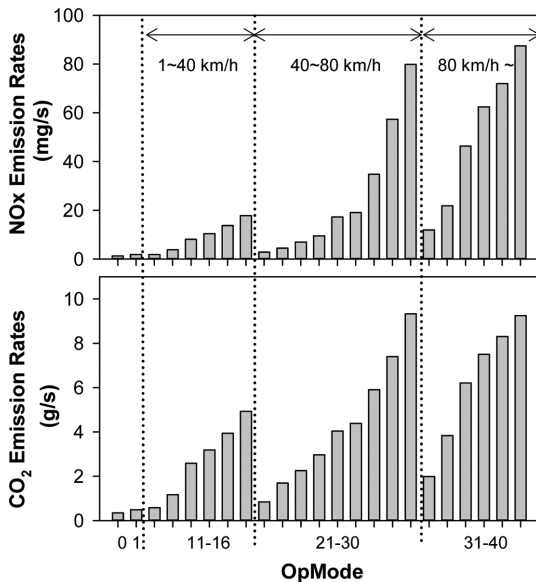


Fig. 2 NOx and CO₂ emission rates map of a selected Euro-5 light diesel vehicle in MOVES OpMode definition

3. 결과 및 고찰

3.1 전체 경로에서의 결과

2016년 주행시험 10회의 평균 차속은 2009년 결과 대비 3.8 km/h 증가하여, 주행 흐름이 차속기준 14.4% 개선된 것으로 나타났다(Table 2). 침두 시간과 비침두 시간대를 구분하여 비교한 결과도 역시 각각 3.3 km/h, 4.2 km/h 증가하였다. NOx는 소폭 증가하는 경향을 보였으며, 침두 시간에는 감소, 비침두 시간에는 증가하는 상반된 결과를 보였다. 평균 차속이 시간대 구분에 관계없이 증가한 것으로 볼 때, NOx 배출량 결과를 해석하기 위

Table 2 Test result of vehicle speed, NOx and CO₂ emissions

Test time		Vehicle Speed (km/h)			NOx (g/km)			CO ₂ (g/km)		
		AVE	Max	min	AVE	Max	min	AVE	Max	min
2009	Overall	26.4	32.1	19.1	0.74	0.85	0.68	207.1	234.4	190.6
	Peak	23.5	28.6	19.1	0.78	0.85	0.73	218.4	234.4	201.6
	Off-peak	28.3	32.1	24.9	0.71	0.79	0.68	199.5	209.9	190.6
2016	Overall	30.2	35.9	24.5	0.77	0.82	0.71	197.8	207.3	188.0
	Peak	26.8	29.1	24.5	0.73	0.75	0.71	201.1	207.3	195.9
	Off-peak	32.5	35.9	30.6	0.80	0.82	0.75	195.7	200.2	188.0

해서는 평균 차속 이외의 다른 요인을 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다. 2016년도의 CO₂ 결과는 2009년 대비 감소하는 것으로 나타났다.

3.2 단위거리로 분할된 220개 Link의 결과

220개의 Link를 각자의 평균 차속에 따라 8개 그룹으로 분류하였다. 매 10 km/h마다 대표차속을 선정하고 대표 차속을 중심으로 ±5 km/h 범위를 하나의 차속그룹으로 설정하였다. 2009년과 2016년의 주행패턴을 차속그룹별 빈도 측면에서 분석한 결과, 2016년의 주행패턴은 2009년 대비 고속 영역에서의 주행 빈도가 더 많은 것으로

확인되었다(Fig. 3). 대표 차속 40 km/h 이하 영역의 빈도는 2009년이 72%, 2016년이 64%로서 2009년이 더 높은 반면, 대표 차속 50 km/h 이상 영역의 빈도는 2009년이 28%, 2016년이 36%로서 2016년이 더 높다. 이는 도로 기반시설 개선으로 인해 차량 정체 시간이 짧아지고 교통흐름이 개선되는 등, 고속으로 주행하는 도로 구간이 늘어났음을 나타내는 결과라 할 수 있다.

각 차속그룹에 포함된 Link들의 RPA, NOx 배출량 및

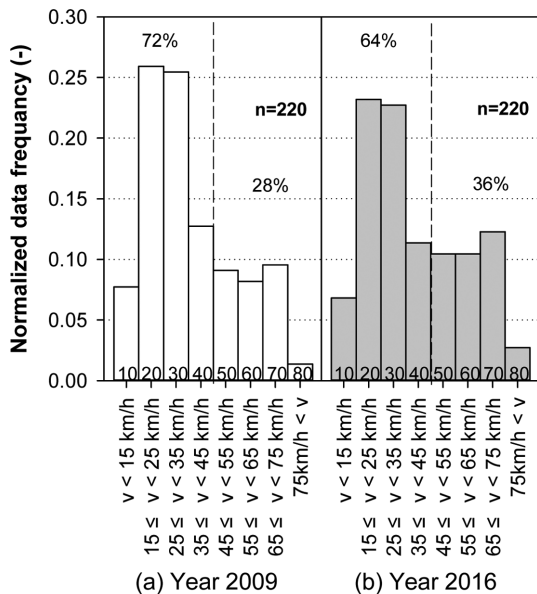


Fig. 3 Normalized data frequency of 220 individual Links that categorized into eight speed bins by Link average speed

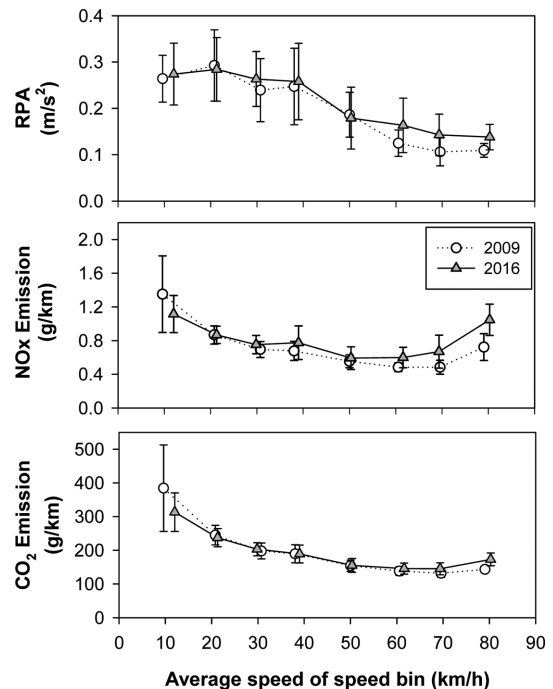


Fig. 4 Average value of Relative Positive Acceleration (RPA), NOx and CO₂ emissions of 220 individual Links that categorized into eight speed bins

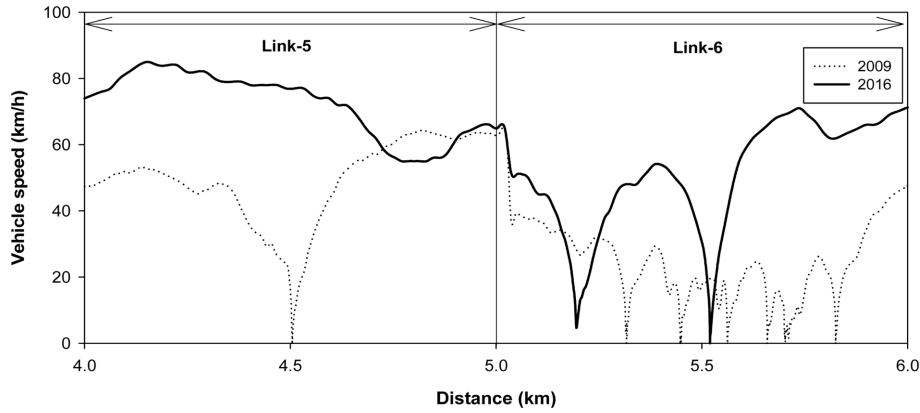


Fig. 5 Selected Vehicle speed trajectories at Link-5 and Link-6 in year 2009 and 2016, respectively

CO₂ 배출량의 평균 및 표준편차를 각 차속그룹의 평균 차속과 함께 Fig. 4에 도시하였다. RPA는 차속 증가에 따라 감소하는 경향을 보인다. 2016년의 경우는 2009년 대비 감소 경향이 작아, 결과적으로 60 km/h 이상 영역에서는 2009년 대비 최대 2.1배 높은 RPA 수준을 보이고 있다. 이는 동일한 평균 차속으로 주행하는 경우, 2016년의 경우는 2009년 대비 중저속에서는 유사한 가속 정도로, 고속에서는 2배 정도 높은 가속 정도로 주행하고 있음을 나타내는 결과이다. 또한 2016년의 고속 결과는 RPA의 범위도 더 넓게 분포되어 있는데, 이는 주행 중 자유롭게 가속할 수 있는 교통 흐름 여건이 마련되었기 때문인 것으로 사료된다.

NO_x 배출량은 차속 증가에 따라 감소하다가 일정 수준 이상에서는 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. RPA가 높아진 60 km/h 이상에서의 2016년 결과는 2009년 대비 37% 높은 NO_x 수준을 보였으며, 이는 RPA 증가에 따른 NO_x 배출량 증가 경향을 잘 나타내는 결과로 판단된다. CO₂ 역시 2016년 결과가 더 높은 수준을 보였으나, NO_x의 증가수준과 비교할 때 그 증가량은 매우 적은 것으로 나타났다. 이는 가속도 증가에 따른 CO₂, 즉 연비의 증가는 매우 둔감한 데 비해, NO_x의 증가는 매우 예민함을 보여주는 결과로써, 현재 소형 경유 자동차의 배출특성이 오염물질 배출 저감보다는 연비 개선 측면을 강조하여 개발되어 있음을 간접적으로 시사하는 사례 중 하나라고 할 수 있을 것이다.

3.3 Link-5와 Link-6 비교

3.3.1 Link별 평균차속 및 평균배출량 분포 비교
전술한 바와 같이, Link-5와 Link-6은 전체 주행경로

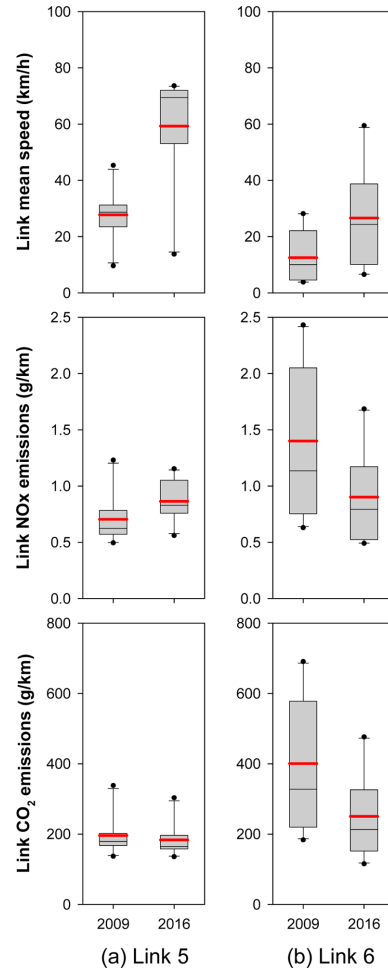


Fig. 6 Distribution of Link mean speed, NO_x and CO₂ emissions of Link-6 in year 2009 and 2016 (Bold red lines denotes mean value)

중에서 교통 여건이 가장 두드러진 변화를 보인 지점이다. Fig. 5는 Link-5-6에서의 주행패턴 중 대표적인 사례를 예시로 비교한 것이다. 두 Link를 통과하는데 소요된 평균시간은 2009년, 2016년에 각각 641초, 323초였으며, 정차, 즉 공회전 시간은 각각 371초, 140초로 측정되었다.

두 Link에서 얻은 10회의 주행평균차속과 배출량 결과 분포를 상자그림을 이용하여 도시하였다(Fig. 6). Link-5에서는 2016년의 차속이 큰 폭으로 증가하여, 2009년과는 유사성이 거의 없는 차속 분포를 보이고 있다. 이때 NOx 배출량은 증가, CO₂ 배출량은 동등 수준을 유지하였다. Link-6에서도 2016년의 차속이 증가하기는 하였으나, 이 구간에서는 어느 정도 유사한 차속 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. Link-6에서의 NOx 배출량과 CO₂ 배출량은 모두 감소하였다.

두 Link에서의 차속 증가에 따른 NOx 배출량 변화는 서로 상반된 경향을 보이고 있다. 앞서 평균 차속이 일정 수준 이상으로 증가하는 경우 NOx 배출량이 증가하는 경향을 보이며, 2016년의 결과에서 그 증가 폭이 좀 더 크게 나타났음을 확인한 바 있다. 이 두 결과를 함께 감안한다면, Link-5에 신설된 연회지하차도는 2009년 대

비 대폭적인 차속 증가를 가져왔으며, 이 때 고부하 운전 영역의 사용이 활성화 되었을 것으로 추정된다. 이를 확인하기 위해, MOVES OpMode를 이용하여 운전영역별 배출량을 분석하였다.

3.3.2 Link별 MOVES OpMode 분포 비교

Figure 7과 8은 각각 Link-5와 Link-6 두 소구간에서의 주행패턴 및 배출량을 OpMode별로 분석한 것이다. 그림에 OpMode별로 표시된 결과는 10회 주행시험의 총량이다. 2009년도 Link-5 결과는 저부하 및 Idle(Op 1) 구간이 많은 비율을 차지하였으나, 2016년에는 Idle 구간이 대폭 줄어들고 대신 고부하 영역의 빈도가 증가하였다. Idle구간의 단축으로 2009년 다량 배출되던 NOx와 CO₂모두 감소하는 효과가 있었으나, 대신 2009년 비율이 매우 적었던 고속·고부하 구간의 배출량이 2016년에는 높은 비율을 차지하고 있음을 보여준다. 이로 인해 고속·고부하의 배출량이 많은 NOx는 전체 배출량이 증가하였고, 상대적으로 증가폭이 적었던 CO₂는 소량 감소한 결과를 보였다.

Link-6는 Link-5와는 달리 이 구간은 2009년과 2016년

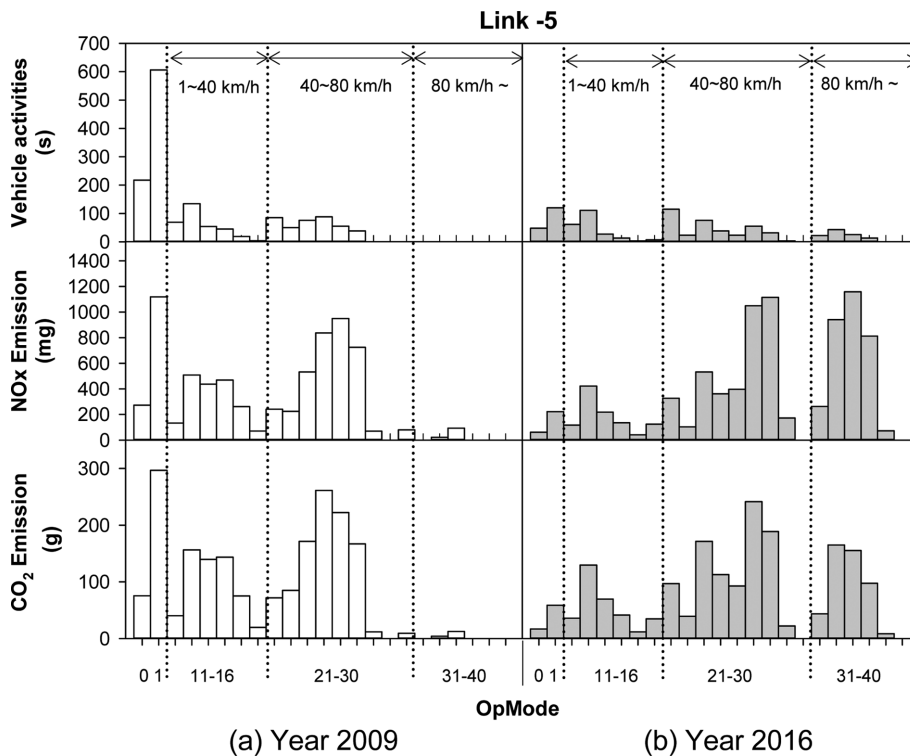


Fig. 7 Vehicle activities and associated NOx and CO₂ emissions of Link-5 in year 2009 and 2016, respectively

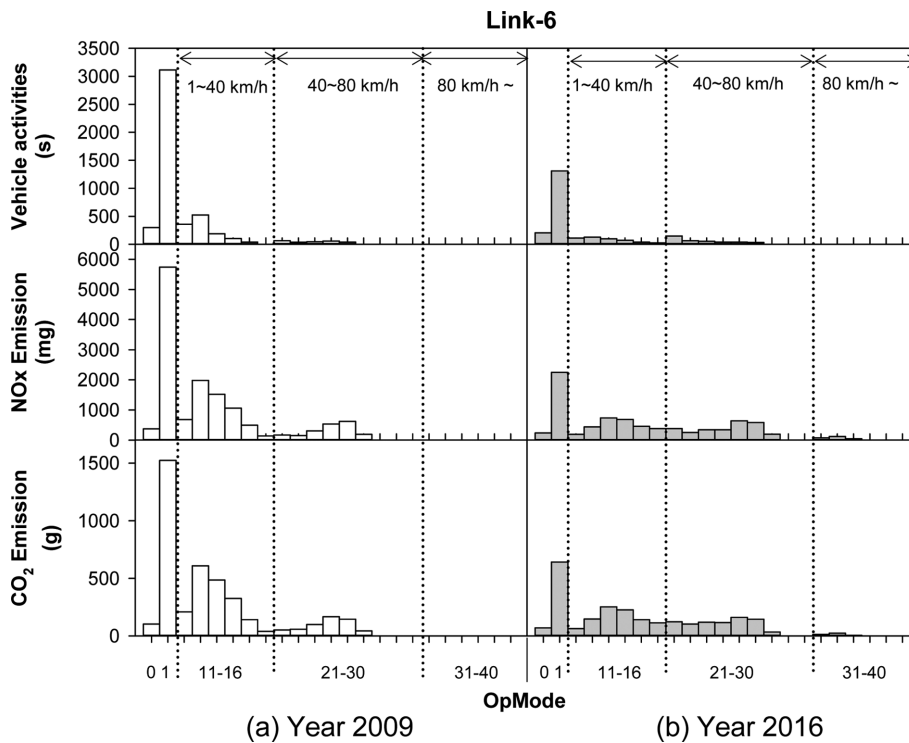


Fig. 8 Vehicle activities and associated NOx and CO₂ emissions of Link-6 in year 2009 and 2016, respectively

이 유사하게 Idle 과 저속구간이 대부분을 차지하는 주행패턴을 보이고 있다. 이는 상습정체구간의 특징을 유지하고 있기 때문으로 판단된다. 그러나 교통인프라의 변화로 인해 2009년 가장 많은 주행시간을 보이던 Idle 구간이 2009년 3112초에서 2016년 1311초로 반이상 줄어든 경향을 보였다. 이는 NOx 및 CO₂의 배출량 저감을 가져왔다. 그 이유는 중속, 고속구간의 비율이 크지 않은 해당구간에서는 부하의 영향이 적지만 배출량 비율이 매우 높았던 Idle구간의 시간단축이 소구간 전체의 오염물질 배출량 저감에 도움이 된 것으로 판단된다.

4. 결 론

지역의 교통수요 및 도로 기반시설 변화 전후의 자동차 주행패턴과 배출량을 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 본 연구대상 지역의 도로 기반시설 변화는 변화 이전 대비 주행 평균차속을 14% 정도 증가시킨 것으로 조사되었다. 다만 이로 인한 소형 경유차의 대기오염물

질 배출량은 증가 또는 감소 경향을 모두 나타내고 있어, 도로상의 자동차 주행 속도 증가가 배출량 저감과 확일적으로 연결되지는 않음을 확인하였다.

(2) 본 사례의 경우, 주행 차속의 증가는 고속영역에서의 자동차 가속 정도를 약 30% 증가시키고, 이는 NOx 배출량 증가에 중요한 영향을 미침을 확인하였다. 동일한 정도로 가속도가 증가할 때의 오염물질별 민감도는 NOx가 CO₂ 대비 훨씬 예민한 것으로 나타나, 가속이 심한 주행패턴으로 주행할 때의 악영향은 연비보다는 NOx 측면에서 훨씬 클 것으로 예상되었다.

(3) 자동차 운전영역별 배출특성과 활동도를 함께 분석하여 소규모의 시공간 스케일에서의 기반시설-배출량 상관관계를 파악하였으며, 본 사례에서는 자동차의 고속·고부하영역 사용 여부가 오염물질 증감에 중요한 영향을 미침을 확인하였다. 이 접근 방법은 배출량 증감에 대한 원인 분석은 물론, 향후 배출량 감소를 위한 대안 마련에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 도로 교통 기반시설은 대규모 예산이 투입되는 사업인 바, 교통공학측면은 물론, 이로 인해 필연적으로 영향을 받게 되는 환경적 측면을 좀 더 세밀하게 감

안함으로써 투자 효율성 및 편익을 극대화 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) MOLIT (Ministry of land, Infrastructure and Transport), "Guidelines of Transportation Investments (5th)", MOLIT:Sejong, Republic of Korea, 2013.
- (2) K. Brundell-Freij and E. Ericsson, "Influence of street characteristics, driving category and car performance on urban driving patterns", Transportation Research Part D, Vol. 10, 2005, pp. 213~229.
- (3) M. Coelho, T. Farias and N. Roupail, "Effect of roundabout operations on pollutant emissions", Transportation Research Part D, Vol. 11, 2006, pp. 333~343.
- (4) T. Lee, J. Kim, J. Prak, S. Jeon, J. Lee and J. Kim, "Influence of Driving Routes and Seasonal Conditions to Real-driving NOx Emissions from Light Diesel Vehicles", Transactions of KSAE, Vol. 22, No. 1, 2014, pp. 148~156.
- (5) J. Park, T. Lee, J. Keel, J. Lee, J. Kim and S. Jeon, "Vehicle Emission Reduction effect by the improvement of traffic flows-Regarding Hi-pass System in Highway", Transactions of KSAE, Vol. 18, No. 4, 2010, pp. 33~39.
- (6) M. Andre, R. Joumard, R. Vidon, P. Tassel and P. Perret, "Real world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high and low powered cars", Atmospheric Environment, Vol. 40, 2006, pp. 5944~5953.
- (7) H. C. Frey, K. Zhang and N. Roupail, "Fuel Use and Emissions Comparisons for Alternative Routes, Time of Day, Road Grade, and Vehicles Based on In-use Measurements", Environ Sci Technol., Vol. 42, 2008, pp. 2483~2489.
- (8) H. Hong, S. Jung, J. Son, T. Moon, H. Yun, J. Kim and J. Kim, "Speed-dependent Emission Characteristics of the Hazardous Air Pollutants from Diesel Medium-duty Trucks according to Emission Standards", Journal of ILASS-KOREA, Vol. 20 No. 2, 2015, pp. 121~129.
- (9) National Institute of Environmental Research, Air pollutant emission factors in Korea 2012, Administrative Publication, NO.11-1480523-002288-01, 2015.
- (10) NIER (National Institute of Environmental Research) "Development of light duty vehicle emission factors and inventories based on experimental results over various driving cycles and operating conditions", NIER:Incheon, Republic of Korea, 2014.
- (11) T. Lee, B. Lee, S. Cho, J. Park, M. Eom, J. Kim and D. Lee, "On-road Teting and Calculation of Emission Factor and Fuel Economy", Transactions of KSAE, Vol. 17, No. 3, 2009, pp. 90~101.
- (12) U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Development of Emission Rates for Light-duty Vehicle in the Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES2010), EPA-420-R-11-011, 2011.
- (13) R. Chamberlin, B. Swanson, E. Talbot and J. Dumont, "Analysis of MOVES and CMEM evaluating the emissions impact of an intersection control change", Transportation Research Board, 2011, pp. 11~0673.
- (14) Y. Kim, S. Hong and T. Lee, J. Park, "Improvement of the Emission model Based on Average Speeds in the Transportation Sector", Korean Society of Transportation, Vol 30, No. 2, 2012. pp. 117~126.
- (15) H. Hu, C. Yoon, T. Lee, I. Yang and J. Sung, "Instantaneous GHG Emission Estimation Method Considering Vehicle Characteristics in Korea", Korean Society of Transportation, Vol. 31, No. 6, 2013, pp. 90~105.
- (16) H. Hu, C. Frey, C. Yoon, C. Yang and J. Kim, "A study for developing a Operating Mode-Based Emission Model for Korea", Korean Society of Transportation, Vol. 34, No. 2, 2016, pp. 180~190.
- (17) National Institute of Environmental Research, An evaluation of real driving emissions for light duty vehicles using PEMS, Administrative Publication, NO. 11-1480554-000004-01, 2012.
- (18) National Institute of Environmental Research, Analysis of On-Road Air Pollutants Emissions from Light Duty Diesel Vehicles 2013, Administrative Publication, NO.11-1480523-001439-01, 2013.
- (19) T. Lee, J. Lee and J. Kim, "Evaluation of On-Road NOx Emission from a Light Duty Diesel Vehicle using a Portable Emissions Measurement System", J. KOSAE Vol. 28, No. 1, 2012, pp. 24~104.
- (20) T. Lee, J. Keel, J. Park, Y. Park, J. Hong and D. Lee, "Speed-based Emission Factor regarding Vehicle Specific Power and Acceleration during On-road Driving", Transactions of KSAE, Vol. 19, No. 1, 2011, pp. 73~81.
- (21) T. Lee, J. Keel, K. Park, J. Park, Y. Park, J. Hong and D. Lee, "Greenhouse Gas and Pollutant Emission from Light-Duty Vehicles Regarding the Relative Positive Acceleration", Transactions of KSAE, Vol. 18, No. 4, 2010, pp. 33~39.