

주행패턴의 상대 가속도에 따른 중소형 자동차의 온실가스 및 대기오염물질 배출 특성

이 태 우^{*1)} · 길 지 훈¹⁾ · 박 경 균¹⁾ · 박 준 흥¹⁾ · 박 용 희¹⁾ · 홍 지 형¹⁾ · 이 대 엽²⁾

국립환경과학원 교통환경연구소¹⁾ · 인하대학교 기계공학부²⁾

Greenhouse Gas and Pollutant Emission from Light-Duty Vehicles Regarding the Relative Positive Acceleration

Taewoo Lee^{*1)} · Jihoon Keel¹⁾ · Kyungkyun Park¹⁾ · Junhong Park¹⁾ · Yonghee Park¹⁾ · Jihyung Hong¹⁾ · Daeyup Lee²⁾

¹⁾National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received 25 May 2009 / Accepted 25 January 2010)

Abstract : Although driving patterns strongly influence greenhouse gas and air pollutant emission rate from light duty vehicles, emission measurements have been mainly based on chassis dynamometer testing with one standard driving pattern. And there has been limited work on quantifying the independent effect of driving parameters on emission rate because of multidimensional nature of real-world driving pattern. The objective of this study is to obtain the quantitative effect of relative positive acceleration (RPA) on vehicle emission rate. RPA has been used to define the occurrence of acceleration demanding large amounts of power in certain driving distance and shown to be a significant affecting parameter for real-world emission rate. 40 driving patterns have been developed with fixed driving parameters to investigate independent effect of RPA. For the same values of average vehicle speed and power, the trend in carbon dioxide emission rate and fuel consumption with respect to RPA is very clear. Emission rate of nitrogen oxide and particulate matter also increase with respect to RPA, but the trend is less clear. Carbon dioxide emission from diesel vehicle appear to be more affected by high accelerations compared to that from gasoline vehicle because of high intake air restriction during acceleration caused by turbocharger and intercooler. The results have implications for the possible reduction of environmental effects through better traffic planning and management, driver education and car design.

Key words : Relative positive acceleration, RPA(상대 가속도), Vehicle specific power, VSP(차량비출력), Driving pattern(주행패턴), Carbon dioxide(이산화탄소), Fuel consumption(연료소비량)

1. 서론

기후변화와 대기환경에 많은 영향을 미치는 자동차의 온실가스 및 대기오염물질 배출 특성은 여러 가지 방법으로 평가되고 있다. 그 중 널리 사용되고 있는 방법 중 하나는 표준 주행패턴을 이용한 차대

동력계 시험이다. 이는 여러 종류의 차량에 대한 배출량의 정량 비교가 가능하다는 큰 장점 때문에 차량 간의 배출량 비교나 배출허용기준의 만족 여부 등을 관장하는 데 많이 활용되고 있다.

이와 같은 장점에도 불구하고, 표준 주행패턴만으로 실제 도로상에서의 자동차 온실가스 및 대기오염물질 배출 특성을 이해하기에는 다소 미흡하

*Corresponding author, E-mail: taewoolee@me.go.kr

며, 경우에 따라서는 적절치 않을 수 있음이 지적되어 있다.¹⁾ 그 이유는 실제 도로상에서는 도로의 제한 속도, 차선 수, 교차로의 빈도 등과 같은 환경적 요인이 주행패턴에 영향을 미치고, 이는 다시 자동차의 속도, 가속도, 출력 등의 주행변수를 변화시키는 등, 1개의 특정한 주행패턴으로 대표하기 어려운 복잡하고 다양한 상황이 벌어지기 때문이다.²⁾

이런 배경 하에서 여러 주행변수가 온실가스 및 대기오염물질 배출에 미치는 영향이 각각도로 연구되고 있다.^{2,7)} 이와 같은 연구의 어려움 중 하나는 변화무쌍한 교통 환경의 특성 때문에 주행변수를 고정해가며 시험하기 어렵다는 것이다. 이 때문에 현재까지의 연구는 각 주행변수의 정성적인 영향력의 비교에 치중하고 있는 실정이며, 한 예로서 Ericsson 등⁸⁾은 자동차에 가속 제한 장치를 부착하고 그 전후 주행 결과를 비교한 연구에서 가속도가 감소되었음에도 불구하고 통제가 불가능했던 다른 주행변수의 영향에 의해 오히려 연료소비량이 증가하는 결과를 확인한 바 있다. 이동식 배출가스 측정장비(Portable Emission Measurement System, PEMS)를 활용한 연구는 실제 도로 상황에서 여러 주행변수의 영향을 가늠하는 데 큰 역할을 하고 있으나, 동일한 시점에 동일한 도로를 주행한 결과조차도 서로 다른 주행변수를 갖게 되는 경우가 있기 때문에,⁹⁾ 통제된 환경 하에서 진행되는 시험실 규모의 연구와 상호 보완적으로 진행 될 필요가 있다.

본 연구에서는 40개의 서로 다른 주행패턴에 대해 평균 차속, 평균 차량비출력 등 주요 주행변수를 고정한 상태로 차대동력계를 이용한 배출가스 시험을 실시하였다. 주행패턴의 변화, 특히 단위 주행 거리 당 가속 정도를 나타내는 상대 가속도(Relative Positive Acceleration, RPA)에 따른 자동차 온실가스 및 대기오염물질의 배출 특성을 분석하여 정량적인 상관관계를 도출하고자 하였다.

2. 시험내용 및 방법

2.1 시험용 주행패턴 구성

본 연구에서 사용한 시험용 주행패턴은 총 40개로서, 평균 차속 20, 30, 40 및 50 km/h를 갖는 5개의 정속 주행패턴과 5개의 과도(transient) 주행패턴으

로 구성된다.

정속 주행패턴은 차속을 일정하게 유지한 상태로 도로 구배를 0~4% 까지 1% 단위로 변경하여 구성하였다. 과도 주행패턴을 구성하기 위해 서울특별시 내에서 활동하는 영업용 택시 6대에 주행기록계를 부착하여 대당 12시간씩 총 72시간 동안의 주행 기록을 획득하였다. 주행 기록은 매 초당 순간 차속의 형태로 저장하였다. 전체 주행 기록을 900초 내외의 일정 시간을 갖는 주행 소구간(short trip)으로 나누어 총 276개의 소구간에 대한 평균 차속과 평균 차량비출력(Vehicle Specific Power, VSP)을 구하였다. 차량비출력은 차량의 도로 부하를 나타내는 지표³⁾로서, 차량의 속도 및 가속도를 포함하는 동시에 차량 중량에 대한 비출력이라는 점에서 차량 시험 결과 분석에 활용도가 높은 변수라 할 수 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 엄밀히 말해 차량비출력은 차량마다 모두 다르지만, 본 연구에서는 중 소형 차량에 대해서는 일반적으로 적용 가능하다고 알려진 식 (1)을 이용하였다.³⁾ 과도 주행패턴의 도로 구배는 0으로 설정하였다.

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

where,

VSP : Vehicle specific power (kW/ton)

v : Vehicle speed (m/s)

a : Vehicle acceleration (m/s²)

r : road grade (%)

Fig. 1은 주행 소구간의 평균 차속과 평균 차량비출력 분포이다. 소구간 평균 차속은 0~66.5 km/h 사이에 분포되어 있고, 소구간 평균 차량비출력은 0~6.8 kW/ton 사이에 분포되어 있다. 평균 차속과 평균 차량비출력 사이에는 y축 절편을 0으로 하는 2차 함수적인 상관관계가 있으며, 결정계수 R² 또한 0.97로서 매우 높다.

주행 소구간 결과 중 발진에서 시작하여 정지로 종료되는 60개의 주행 요소를 추출한 후 이들을 조합하여 평균 차속 20, 30, 40, 50 km/h를 갖는 과도 주행패턴을 각각 5개씩 구성하였다. 각 주행패턴의 평균 차량비출력은 Fig. 1에 표시된 평균 차속과 평균

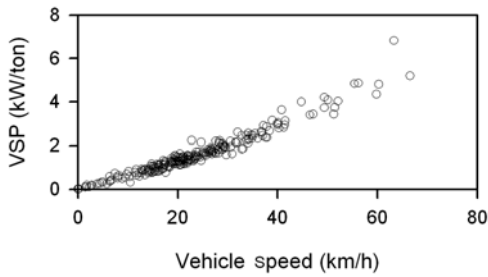


Fig. 1 Distribution of speed - vehicle specific power, VSP for urban driving pattern

차량비출력의 상관관계를 이용하여 결정하였다. 정차시간의 비율은 이전의 연구결과¹³⁾를 참고하여 평균 차속별로 지정하였다. 모든 주행패턴의 정차 횟수는 4회로 고정하였다. Fig. 2에 평균 차속 30 km/h를 갖는 5개의 시험용 주행패턴을 소개하였다.

Table 1은 시험용 주행패턴의 주요 주행변수이다. 이중 상대 가속도는 단위 주행 거리 당 가속 정도를 표현하는 변수이다. 여러 문헌^{2,4,14)}에서 온실가스 및 대기오염물질 배출량에 많은 영향을 미치는 변수로서 상대 가속도를 지적하고 있으나, 이에 대한 정량적인 분석 결과는 충분치 않은 상황이다.

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

where,

RPA : Relative positive acceleration (m/s²)

T : Total time (s)

v_i : Vehicle speed (m/s)

a_{i,positive} : Vehicle acceleration, positive values (m/s²)

x : Total distance (m)

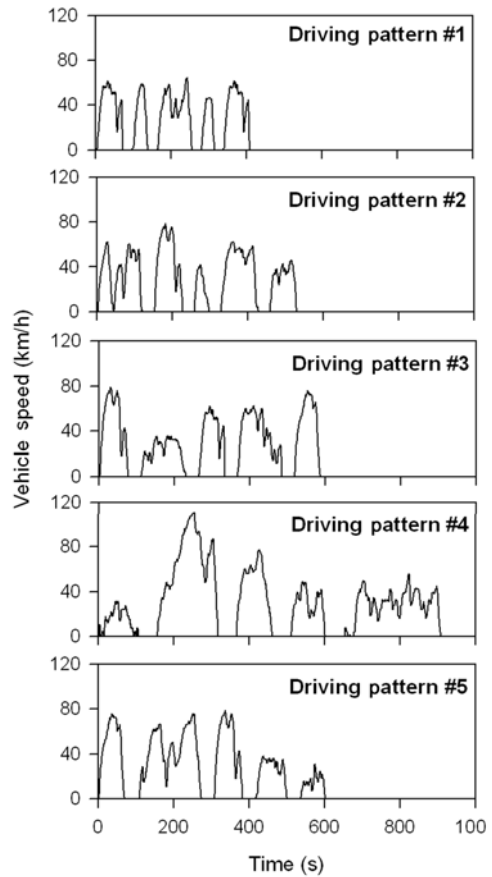


Fig. 2 Example of transient driving patterns that have 30 km/h average vehicle speed

상대 가속도는 식 (2)와 같이 계산되는데, 양의 가속도를 갖는 매 순간의 차속과 가속도를 곱한 합을 전체 주행거리로 나눈 값이기 때문에 특정 도로 주행 시의 전체 가속에너지와 같은 거시적인 개념을 내포한다고 볼 수 있다. 상대 가속도는 주행패턴의

Table 1 Driving pattern parameters that were calculated for each transient driving patterns

Mean speed (km/h)	Mean VSP (kW/ton)	RPA (m/s ²)	Distance (km)	Stop (-)	Time				
					Total	Idle	Cruise	Accel.	Decel.
20	1.2~1.3	0.27~0.32	3.3~3.9	4	593~708 s 100 %	199~236 s 33.3~33.6 %	285~337 s 47.1~50.4 %	158~191 s 26.6~30.1 %	141~180 s 22.8~25.4 %
30	2.0~2.1	0.26~0.35	3.4~7.6	4	410~914 s 100 %	102~220 s 23.4~24.9 %	153~393 s 37.3~43.0 %	162~282 s 30.9~39.5 %	95~239 s 23.2~27.5 %
40	2.9	0.26~0.29	5.9~7.2	4	529~641 s 100 %	73~84 s 13.1~13.8 %	176~202 s 30.0~33.9 %	195~246 s 36.9~39.7 %	158~193 s 28.5~30.3 %
50	3.9	0.22~0.28	7.8~20.2	4	562~1,460 s 100 %	31~53 s 3.6~5.5 %	148~485 s 24.7~31.6 %	246~556 s 38.1~43.8 %	168~446 s 29.9~33.6 %

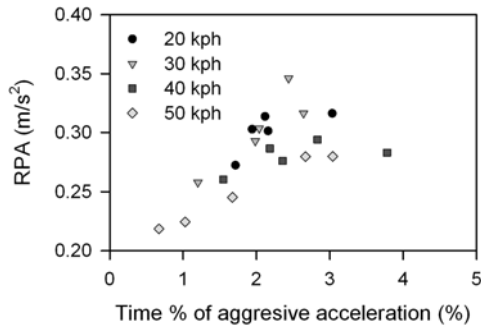


Fig. 3 Relationship between percentage of time at acceleration levels > 1.5 m/s² and relative positive acceleration, RPA

가속도 시간 비율과 관계가 있으며, 특히 1.5 m/s² (5.4 km/h/s) 이상의 급가속 시간 비율과는 Fig. 3과 같은 밀접한 상관관계를 보인다.

2.2 시험 차량 및 연료

시험 차량은 휘발유 승용차 및 경유 승합차 각각 1대로서, 주요 제원은 Table 2와 같다. 시험용 연료는 시중에서 판매되는 연료를 사용하였다.

Table 2 Main specification of the test vehicles

	V1	V2
Vehicle type	Sedan	Van
Fuel	Gasoline	Diesel
Model year	2007	2007
GVW (kg)	1,530	2,675
Transmission	4AT	4AT
Mileage (km)	48,575	31,392
Displacement (cc)	1,591	2,497
Intake air	Naturally aspirated	Turbocharged and intercooled
After treatment	Three way catalyst	Diesel oxidation catalyst
Max output (kW/rpm)	89.0 / 6,200	106.6 / 3,800
Max torque (Nm/rpm)	153.0 / 4,200	323.6 / 2,000

2.3 차대동력계 배출가스 시험

시험 차량이 차대동력계 상에서 시험용 주행패턴을 주행할 때 배출하는 배출가스를 희석용 공기로 희석한 후 정용량 시료 채취 장치(Constant Volume

Sampler, CVS)를 통해 채취하여 배출가스 분석기로 분석하였다. 차대동력계(AVL)는 지름 1.22 m의 롤러 1개와 롤러의 관성을 기계적, 전기적으로 제어하는 제어장비를 이용하여 시험 차량의 부하를 설정하였다. 배출가스 분석기(Horiba)는 탄화수소는 화염이온화법, 질소산화물은 화학발광법, 그리고 이산화탄소와 일산화탄소는 비분산 적외선법을 이용하여 배출가스의 농도를 측정하였다. 농도 결과는 정용량 시료 채취 장치에서 측정된 배출가스 부피 유량을 이용하여 질량 결과로 최종 환산하였다. 입자상물질은 희석 터널에서 채취한 후 여지에 측정하여 측정하였다. 온실가스 중에는 이산화탄소만을 분석하였다. 연료소비량은 배출가스 중 탄소 성분의 물질수지를 이용하여 계산하였다. Fig. 4는 차대동력계 배출가스 시험 모습이다.



Fig. 4 Experimental setup of chassis dynamometer test for vehicle emission measurement

3. 시험결과 및 검토

3.1 이산화탄소 및 연비

3.1.1 주행패턴별 결과 비교

Fig. 5는 시험용 주행패턴의 이산화탄소 배출량을 평균 차속, 도로 구배 및 평균 차량비출력에 대해 각각 도시한 것이다. 실선으로 연결한 결과는 정속 주행패턴 결과이고, 검은색 원으로 표시한 결과는 과도 주행패턴 결과이다. 연료소비량은 이산화탄소 배출량과 유사한 경향을 보이는 바, 그림에는 표시하지 않았다.

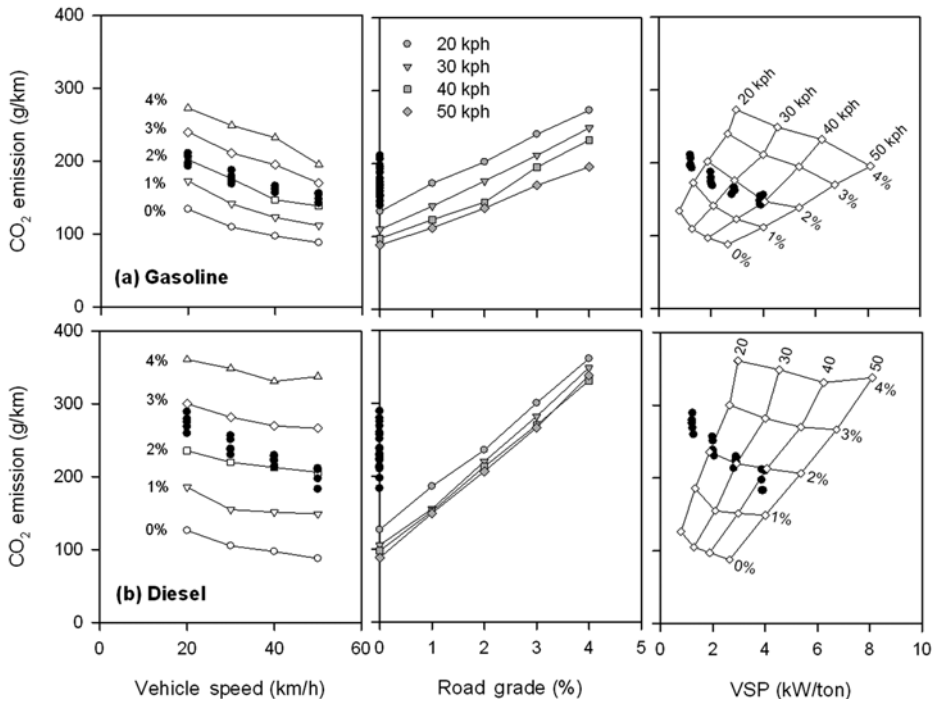


Fig. 5 Carbon dioxide emission per average vehicle speed (left), road grade (center) and vehicle specific power, VSP (right)

먼저 정속 주행패턴 결과를 검토하였다. 좌측 그림에서 이산화탄소 배출량은 차속 증가에 따라 감소하는데, 이 경향은 휘발유 승용차에서 더 뚜렷하게 나타난다. 가운데 그림에서 이산화탄소 배출량은 도로 구배 증가에 따라 증가하며, 이 경향은 뚜렷한 직선의 상관성을 보이고 있다. 도로 구배 1% 증가시 주행 거리 100 km 당 이산화탄소 배출량은 휘발유 승용차의 경우 2.7~3.5 kg, 경유 승합차는 5.8~6.2 kg 증가하며, 연료소비량은 각각 1.2~1.5 L, 2.2~2.3 L 증가한다. 동일한 도로 구배에서도 차속이 다르면 차량이 받는 도로 부하는 달라지기 때문에, 오른쪽 그림에 차량비출력을 이용하여 정속 주행패턴의 차속 조건별, 구배 조건별 이산화탄소 경향을 종합하여 나타내었다. 차량비출력 증가에 따라 이산화탄소 배출량은 증가하며, 이 경향은 낮은 차속에서 더 급하게 나타난다.

다음으로 과도 주행패턴 결과를 검토하였다. 먼저 과도 결과와 정속 결과를 비교하였고, 그 다음으로 과도 결과를 서로 비교하였다.

같은 차속 조건에서, 과도 결과는 정속 결과보다

많은 이산화탄소 배출량을 보인다. 과도 결과와 정속 결과의 차이에는 두 가지 요인이 함께 기여한다고 볼 수 있는데, 첫 번째는 차량비출력, 두 번째는 차속 변화를 들 수 있다. 본 연구에서는 차량비출력의 영향을 고정시킨 상태로 차속 변화의 독립적인 영향을 분석하기 위해, 도로 구배를 이용한 정속 가속 모사 (Acceleration Simulation) 조건을 이용하였다. 식 (1)의 차량비출력은 가속도 또는 도로 구배의 증가에 의해 변화된다. 과도 주행패턴의 차량비출력은 도로 구배가 0%인 조건에서 가속도의 변화에 의해 얻어진 값이기 때문에, 정속 주행패턴에서 도로 구배를 변화시켜 과도 주행패턴과 같은 차량비출력 조건을 얻을 수 있게 된다. 본 시험 조건에서는 도로 구배 1% 조건에서의 정속 주행패턴이 평균 차속이 같은 과도 주행패턴과 동일한 평균 차량비출력을 나타내었다. 이 두 조건에서, 과도 결과는 정속 결과 대비 19~56% 높은 이산화탄소 배출 결과를 보이고 있다. 이는 앞에서 언급한 두 가지 요인 중 차속의 변화 유무에 의한 영향으로 볼 수 있다.

다음은 과도 주행패턴 결과를 서로 비교한 결과

이다. 같은 평균 차속과 평균 차량비출력을 갖는 과도 주행패턴 5개의 이산화탄소 배출량은 휘발유 승용차의 경우 6~11%, 경유 승합차는 3~16%의 편차를 보인다. 이는 차속이 계속 변하는 과도 모드끼리의 결과이기 때문에, 차속의 변화 정도에 의한 영향이라 할 수 있다. 결론적으로 이상에서 확인된 여러 주행패턴 간의 이산화탄소 배출량의 차이는 차속의 변화 유무 및 변화 정도에 기인한 것으로 판단된다. 이하에서는 차속의 변화, 좀 더 구체적으로는 상대 가속도의 영향을 정량적으로 규명하기 위한 고찰 내용을 서술하였다.

3.1.2 상대 가속도의 정량적인 영향

Fig. 6은 이산화탄소 배출량과 연료소비량에 대한 상대 가속도의 영향을 도시한 것이다. 상대 가속도 0 m/s^2 결과는 도로 구배 0% 조건의 정속 주행패턴 결과이다. 이산화탄소 배출량 및 연료소비량은 상대 가속도 증가에 따라 증가하며, 이 경향은 뚜렷한 직선의 상관성($R^2 > 0.97$)을 보이고 있다. 동일한 평균 차속과 평균 차량비출력 조건 하에서 100 km를 주행하는 경우, 상대 가속도가 0.1 m/s^2 증가함에 따라 휘발유 승용차의 이산화탄소 배출량은 2.2~2.4 kg, 경유 승합차는 4.4~4.9 kg 증가한다. 마찬가지로 연료소비량은 각각 0.9~1.0 L, 1.6~1.8 L 증가한다. 도로 주행 중 가속은 불가피한 것이나, 완만한 가속 페달 조작으로 급가속 비율을 줄이는 친환경 운전법을 통해 동일한 교통 흐름 하에서도 이산화탄소 배출량을 저감시킬 수 있음을 의미하는 것이다. 또한 Fig. 3과 함께 생각해 보면, 하이브리드 자동차 주행 전략 수립 시, 운전자의 가속 요구량이 1.5 m/s^2 이상이 경우에는 보조 동력원을 함께 가동함으로써 동일한 주행 특성 하에서 이산화탄소 배출량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

경유 승합차와 휘발유 승용차의 결과는 엔진 배기량과 사용 연료가 다르기 때문에 직접적인 정량 비교는 어렵지만, 두 차량의 정속, 과도 이산화탄소 결과를 서로 비교해 보면 흥미로운 고찰이 가능하다. 상대 가속도 증가에 따른 이산화탄소 배출량의 증가 폭은 경유 승합차 쪽이 2배 정도 크다. 이는 경유 승합차의 이산화탄소 배출 특성이 휘발유 승용차의 배출 특성에 비해 가속의 영향을 더 많이 받고

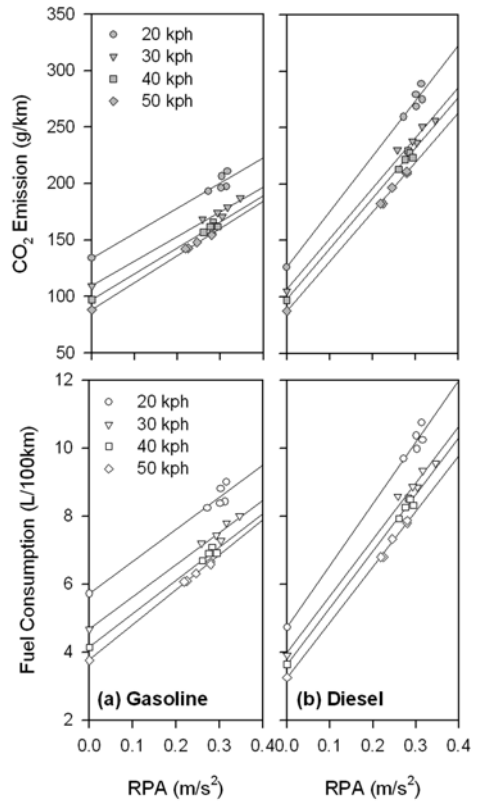


Fig. 6 Influence of relative positive acceleration, RPA on carbon dioxide emission (upper) and fuel consumption (lower) for each vehicle speed

있음을 의미하는 결과이다. 가능한 원인 중의 하나로 경유 승합차의 중간 냉각식 과급기를 들 수 있는데, 이는 정속운전 시에는 원활한 급기를 가능케 하여 이산화탄소 배출량 저감에 도움을 주지만, 가속 시에는 오히려 흡기계통의 장애물로 작용하여 엔진 효율을 악화시키기 때문이다. 이 결과는 엔진의 적용 기술에 따라 상대 가속도의 영향이 달라질 수 있음을 의미하는 결과로서, 신기술 개발이나 기존 기술의 최적화를 통해 상대 가속도의 영향력을 능동적으로 제어할 수 있는 가능성을 시사하는 결과라 할 수 있다.

3.2 대기오염물질

Fig. 7은 과도 주행패턴에서의 대기오염물질 배출량을 평균 차속과 상대 가속도에 대해 각각 도시한 것이다. 일산화탄소와 탄화수소 결과는 두 차량

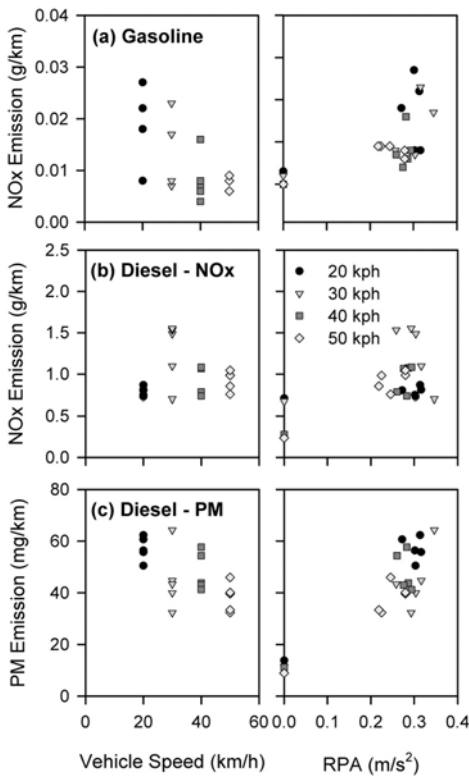


Fig. 7 Nitrogen oxide and particulate matter emission per average vehicle speed (left) and relative positive acceleration, RPA (right) (Data at 0 m/s² RPA are from steady state driving pattern)

모두 매우 낮은 수준을 나타내었기 때문에 검토 대상에 포함시키지 않았다.

왼쪽 그림을 통해 평균 차속과 평균 차량비출력이 같은 조건 하에서도 주행패턴이 다른 경우 질소산화물과 입자상물질 배출량은 2~4배 까지 차이를 보일 수 있음을 알 수 있다. 서로 다른 30여개 주행패턴의 대기오염물질 배출량을 측정하여 차속에 대한 의존성을 관찰한 연구¹⁵⁾에서도 이와 유사한 결과를 발견할 수 있다.

상대 가속도에 대해 도시한 오른쪽 그림을 보면, 질소산화물과 입자상물질 배출량이 상대 가속도 증가에 따라 증가하는 경향을 보이고는 있으나, 그 분포가 넓기 때문에 정량적인 효과를 이끌어 내기는 어렵다. 가속도가 오염물질 배출량에 중요한 영향을 미치고 있음은 주지의 사실이나, 그 영향이 매우 복잡하고 광범위하기 때문에 정량적인 규명에는 이

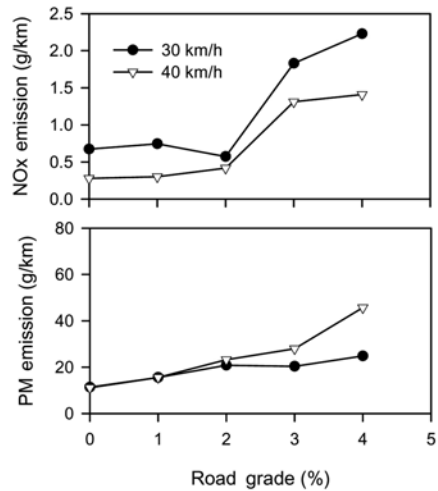


Fig. 8 Nitrogen oxide and particulate matter emission per road grade

르지 못하고 있는 실정이다.^{9,16)} 더욱이, 대기오염물질 배출량은 차속이나 부하의 변화 등에 대응한 엔진 연소 현상 변화의 영향과 함께, 운전 영역별로 설정되어 있는 연료 분사량, 연료 분사시기(또는 점화시기), 배출가스 재순환(Exhaust Gas Recirculation, EGR) 제어의 영향을 동시에 받기 때문에 획일화된 경향성을 보이지 않는 것으로 판단된다.

일례로, 본 시험 대상 경유 승합차의 차속 30~40 km/h 영역은 부하 조건에 따라 배출가스 재순환 밸브의 여닫힘 전환이 이루어지는 운전 영역이다. Fig. 7의 상대 가속도에 대한 경유 승합차 결과에서, 차속 30 km/h에서의 질소산화물 결과와 차속 40 km/h에서의 입자상물질 결과는 전체적인 경향과 반대되는, 즉, 상대 가속도 증가에 따라 배출량이 감소하는 결과를 보이고 있다. 차속 30 km/h, 40 km/h의 정속 결과를 도로 구배에 대해 도시한 Fig. 8에서 질소산화물과 입자상물질 배출량은 도로 구배 증가에 따라 증가하고 있으나, 차속 증가에 대해서는 서로 반대의 경향을 보이고 있다. 이 결과들은 차속이나 상대 가속도와 같은 거시적인 변수에 대해서는 전체적인 흐름과 다른 경향을 보이는 것으로 보일 수도 있다. 하지만 Fig. 9와 같은 질소산화물과 입자상물질 간의 전형적인 Trade-Off 관계를 보이고 있음을 볼 때, 운전 영역별로 세분화된 배출가스 재순환 제어의 영향을 반영하는 결과로 판단된다.

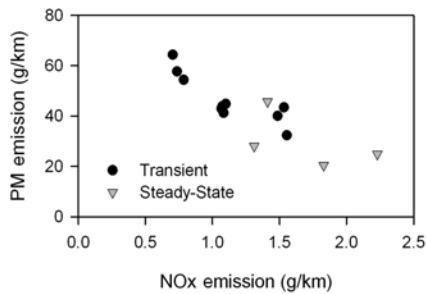


Fig. 9 Typical trade-off relationship between nitrogen oxide and particulate matter emission

4. 결론

- 1) 평균 차속과 평균 차량비출력이 같은 정속 주행 패턴과 과도 주행패턴의 이산화탄소 배출량을 비교한 결과, 과도 주행패턴은 정속 주행패턴보다 19~56% 많은 이산화탄소를 배출하였다.
- 2) 평균 차속과 평균 차량비출력이 같고 주행패턴이 다른 5개의 과도 주행패턴의 이산화탄소 배출량을 비교한 결과, 휘발유 승용차는 6~11%, 경유 승합차는 3~16%의 편차를 보였다.
- 3) 주행패턴의 차속 변화 정도를 상대 가속도로 정량화하였다. 이산화탄소 배출량 및 연료소비량은 상대 가속도 증가에 따라 선형적으로 증가한다. 본 시험 조건하에서 동일한 평균 차속과 평균 차량비출력으로 100 km를 주행하는 경우, 상대 가속도가 0.1 m/s^2 증가함에 따라 휘발유 승용차의 이산화탄소 배출량은 2.2~2.4 kg, 경유 승합차는 4.4~4.9 kg 증가하며, 연료소비량은 각각 0.9~1.0 L, 1.6~1.8 L 증가한다.
- 4) 평균 차속과 평균 차량비출력이 같은 조건 하에서도 주행패턴이 다를 경우 질소산화물과 입자상물질 배출량은 2~4배까지 차이를 보였다.

References

- 1) 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, pp.5944-5953, 2006.
- 2) K. Brundell-Freij and E. Ericsson, "Influence of Street Characteristics, Driver Category and Car Performance on Urban Driving Patterns," Transportation Research, Part D, Vol.10, pp.213-229, 2005.
- 3) M. C. Coelho, H. C. Frey, N. M. Rouphail, H. Zhai and L. Pelkmans, "Assessing Methods for Comparing Emissions from Gasoline and Diesel Light-duty Vehicles based on Microscale Measurements," Transportation Research, Part D, Vol.14, pp.91-99, 2009.
- 4) E. Ericsson, "Independent Driving Pattern Factors and Their Influence on Fuel Use and Exhaust Emission Factors," Transportation Research, Part D, Vol.6, pp.325-345, 2001.
- 5) H. Wang, L. Fu, Y. Zhou and H. Li, "Modelling of the Fuel Consumption for Passenger Cars Regarding Driving Characteristics," Transportation Research, Part D, Vol.13, pp.479-482, 2008.
- 6) M. Andre and M. Rapone, "Analysis and Modelling of the pollutant emissions from European Cars Regarding the Driving Characteristics and Test Cycles," Atmospheric Environment, Vol.43, pp.986-995, 2009.
- 7) I. D. Vlieger, D. D. Keukeleere and J. G. Kretzschmar, "Environmental Effects of Driving Behaviour and Congestion Related to Passenger Cars," Atmospheric Environment, Vol.34, pp.4649-4655, 2000.
- 8) H. Larsson and E. Ericsson, "The Effects of an Acceleration Advisory Tool in Vehicles for Reduced Fuel Consumption and Emissions," Transportation Research, Part D, Vol.14, pp.141-146, 2009.
- 9) 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, Vol.41, pp.5334-5344, 2007.
- 10) T. Lee, B. Lee, S. Cho, J. Park, M. Eom, J. Kim and D. Lee, "On-road Testing and Calculation of Emission Factor and Fuel Economy," Transactions of KSAE, Vol.17, No.3, pp.90-101, 2009.

- 11) 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, No.7, pp.2483-2489, 2008.
- 12) R. Rykowski, E. Nam and G. Hoffman, "On-road Testing and Characterization of Fuel Economy of Light-Duty Vehicles," SAE 2005-01-0677, 2005.
- 13) Y. Lee, G. Kim, Y. Pyo, M. Sunwoo and M. Eom, "Development of Chassis Dynamometer Test Modes to Derive the Emission Factors for Light Duty Vehicles," *Transactions of KSAE*, Vol.10, No.6, pp.117-124, 2002.
- 14) L. Pelkmans, "Influence of the Vehicle Test Cycle Characteristics on Fuel Consumption and Emission of City Buses," SAE 2001-01-2002, 2001.
- 15) L. Ntziachristos and Z. Samaras, "Speed-dependent Representative Emission Factors for Catalyst Passenger Cars and Influencing Parameters," *Atmospheric Environment*, Vol.34 pp.4611-4619, 2000.
- 16) C. M. Silva, T. L. Farias, H. C. Frey and N. M. Roupail, "Evaluation of Numerical Models for Simulation of Real-world Hot-stabilized Fuel Consumption and Emissions of Gasoline Light Duty Vehicles," *Transportation Research, Part D*, Vol.11, pp.377-385, 2006.