

도로변 측정을 이용한 2행정 스쿠터의 대기오염물질 배출특성 연구

Emission Characteristics of a Passing Two-stroke Scooter using at a Roadside Measurement

우대광^{1),2)} · 이승복¹⁾ · 배귀남^{1),*} · 임철수³⁾ · 김태성^{2),4)}

¹⁾한국과학기술연구원 환경센서시스템연구센터,

²⁾성균관대학교 기계공학부, ³⁾국립환경과학원 기후변화연구과,

⁴⁾성균관대학교 성균나노과학기술원

(2011년 5월 1일 접수, 2011년 8월 8일 수정, 2011년 10월 10일 채택)

Daekwang Woo^{1),2)}, Seung-Bok Lee¹⁾, Gwi-Nam Bae^{1),*},
Cheolsoo Lim³⁾ and Taesung Kim^{2),4)}

¹⁾*Environmental Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology*

²⁾*Department of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University*

³⁾*Climate Change Research Division, National Institute of Environmental Research*

⁴⁾*SKKU Advanced Institute of Nanotechnology (SAINT), Sungkyunkwan University*

(Received 1 May 2011, revised 8 August 2011, accepted 10 October 2011)

Abstract

Although a scooter is a convenient transportation means for a short distance traveling with a light package in the congested urban center, it might be one of the significant sources of air pollutants to which many people can easily be exposed during its passing-by. In this paper, we measured concentrations of gases and particles emitted from a scooter at roadside with no other traffic. To understand the characteristics of scooter emissions with respect to driving speed (idling, 30 km/h) at the roadside, total particle number concentration, particle size distribution, average surface area of particles deposited in the alveolar region, and concentrations of black carbon, CO, and NO_x were measured. The concentrations of the particle number, surface area of deposited particles, CO, and NO_x were highly fluctuated in the scooter's idling condition. The trends of particle number concentration, CO, and NO_x generation were similar to one another. When the scooter started to move, all of NO_x, CO and particle number concentrations increased and after it passed by at the speed of 30 km/h, the concentration peaks of the particles and gases appeared at the same time. Unimodal size distribution with ~70 and ~93 nm mode diameters was observed for the idling and cruising condition, respectively. From this work, we found that emission from a passing vehicle could be characterized using a roadside monitoring technique.

Key words : Scooter emissions, Roadside measurement, Ultrafine particle, NO_x, CO, EEPS (engine exhaust particle sizer)

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-958-5676, E-mail : gnae@kist.re.kr

1. 서 론

도시에서 스쿠터는 일상생활에 매우 밀접한 교통 수단으로 대기오염 측면에서 중요한 관리대상이다. 세계적으로 2행정 스쿠터의 수는 해마다 증가하고 있으며, 그 비율 역시 증가하고 있다. 2005년 당시 유럽에 등록된 스쿠터는 약 1,300만대였으며, 이탈리아의 경우 약 500만대에 이르렀다(ACEM, 2008). 국내에 등록된 스쿠터는 2009년 현재 총 180만여대로 국내에 등록된 차량 총 대수의 약 10%를 차지하고 있다(국토해양부, 2009). 2행정 스쿠터는 대기 중 입자상 물질 및 탄화수소와 같은 가스상 물질의 주요 배출원 중 하나이다(EEA, 2006). 스쿠터는 일반 도로뿐만 아니라 주거시설과 매우 밀접한 골목길과 같은 생활인접형 도로에서 많이 사용하므로, 도로를 주행하면서 배출된 오염물질은 주변으로 확산되어 호흡기 질환, 면역력 약화 등 인체에 잠재적으로 나쁜 영향을 미칠 수 있다고 보고되고 있다(Ye *et al.*, 1999).

유럽을 중심으로 스쿠터에서 배출되고 있는 오염물질이 도시 대기오염에 미치는 영향에 대하여 많은 연구가 수행되고 있다. 차대 동력계 또는 엔진 동력계를 이용한 연구를 통해 스쿠터의 운전조건, 연료 조성, 샘플링 방법 등 다양한 조건에 따른 다환방향족 탄화수소와 같은 오염물질의 배출 특성이 밝혀지고 있다(Spezzano *et al.*, 2009, 2008; Czerwinski *et al.*, 2006). 또한, 2행정 엔진이 4행정 엔진에 비해 고농도의 CO와 탄화수소가 배출되며, 벤젠 배출량이 5배 가량 높다고 보고되었다(Tsai *et al.*, 2003, 2000; Leong *et al.*, 2002). 2행정 엔진은 4행정 엔진에 비해 추가적인 크랭크축의 회전 없이 발생하는 가스교환 방식이므로, short-circuit scavenging 문제와 연소 챔버에 지속적으로 유회유가 공급되어 고농도의 오염물질이 발생하는 문제가 생길 수 있다. 이들 연구는 모두 차대 동력계 또는 엔진 동력계에서 수행되었는데, 실제 도로를 주행하는 스쿠터에서 대기로 배출되는 입자상 및 가스상 물질의 배출 특성은 실험실에서 진행된 결과와는 다를 수도 있으나, 아직 이에 관한 연구는 국내외적으로 많이 알려져 있지 않다.

본 연구팀은 통행량이 많은 간선도로 주변에서 자동차로 인한 대기오염을 모니터링한 연구와 SMPS

(Scanning Mobility Particle Sizer)와 TR-DMPS (Transient Differential Mobility Particle Spectrometer)를 이용하여 교차로 도로변의 초미세입자 오염 특성에 관한 연구를 통해 실제 도로를 주행하는 자동차에서 배출되는 입자상 오염물질에 대한 보행자들의 노출이 심각한 것을 확인하였다(Lee and Bae, 2010; Woo *et al.*, 2008; Bae *et al.*, 2007). 본 연구에서는 실험실이 아닌 현장에서 자동차와 같은 이동오염원의 오염물질 배출특성을 파악할 수 있는 방법으로 도로변 측정의 가능성을 탐색하기 위하여 통행량이 없는 한적한 도로에서 2행정 스쿠터의 운전조건에 따른 오염물질의 배출특성을 조사하였다. 즉, 도로변에 입자의 총 수 농도 및 입경분포, 폐에 침착되는 입자의 표면적 농도, 검댕(black carbon) 농도, 그리고 CO 및 NO_x 농도의 실시간 측정장비를 설치하고, 스쿠터를 공회전 또는 30 km/h로 주행시켰을 때 오염물질의 변화를 모니터링하였다.

2. 연구방법

그림 1에 나타난 서울시 성북구 하월곡동에 위치한 한국과학기술연구원 내부의 1차선 일방통행로를 한적한 도로로 선정하여 2008년 6월 21일(토) 10시부터 12시까지 스쿠터로부터 배출되는 입자상 및 가스상 오염물질을 도로변에서 측정하였다. 한국과학기술연구원의 정문과 후문으로부터 유입되는 차량을 통제하여, 다른 차량의 영향을 최소화시켰다. 또한, 외부로부터 바람에 의해 유입되는 입자상 및 가스상 오염물질의 영향을 최소화하기 위해 4층 높이의 건물과 낮은 산으로 둘러싸여 있는 위치를 측정지점으로 선정하였다.

본 연구에서는 스쿠터가 공회전 및 30 km/h의 속도로 주행 시 배출되는 입자상 및 가스상 오염물질을 측정하기 위하여 모니터링 장비를 2개의 이동식 캐비닛에 설치하여 도로변에 고정시켰다. 정차한 상태로 공회전 시 스쿠터의 배기관과 이동식 캐비닛의 흡입구 사이의 거리를 3m로 유지하였으며, 주행 시에도 공회전 시의 정차지점을 통과하도록 운전하였다(그림 2). 공회전 시 측정은 10분간 지속하였고, 30 km/h 속도로 주행 시 측정은 재현성을 확보하기 위해 3회 반복하였는데, 주행으로 인해 올라간 엔진의

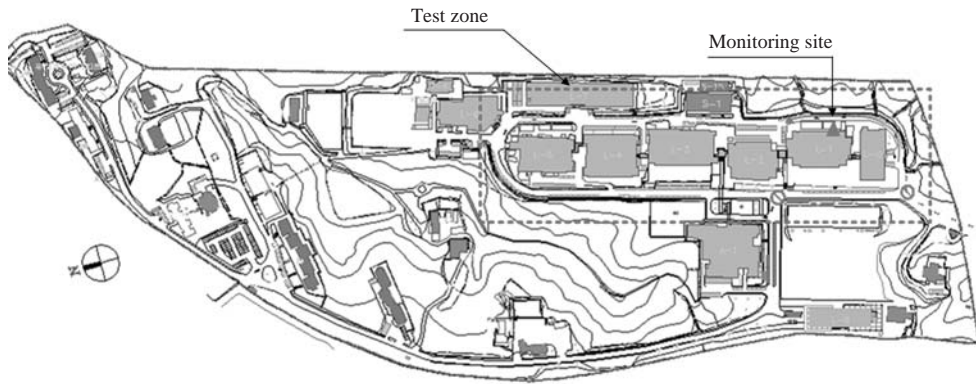


Fig. 1. Monitoring location for measurement of the scooter emissions (▲: monitoring site, ⊙: no passing zone, arrow: driving direction).

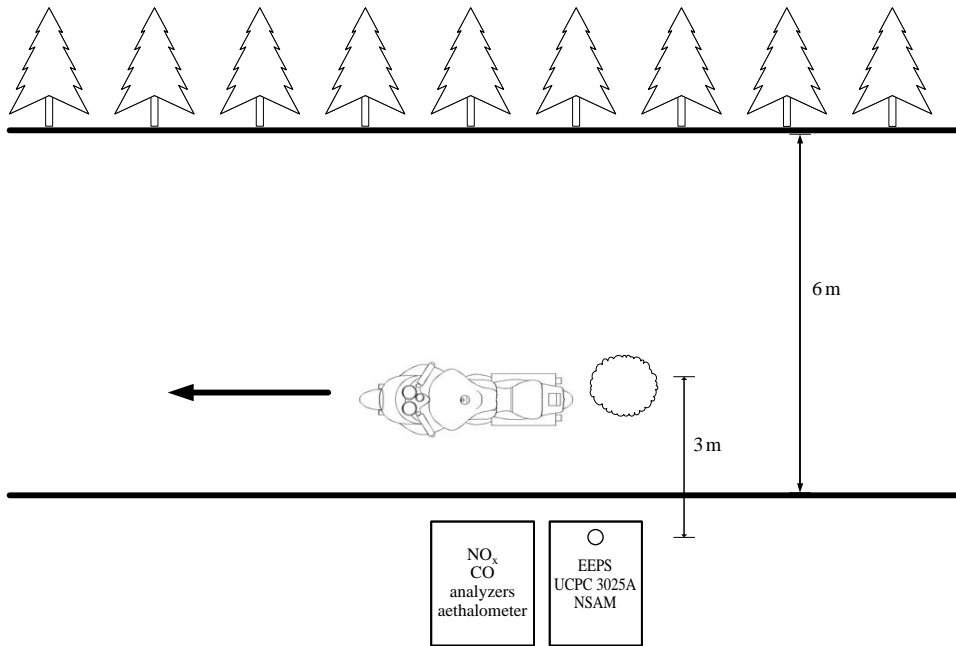


Fig. 2. Schematic of experimental set up.

온도가 측정결과에 영향을 줄 것을 고려하여 11분간 공냉한 후 다시 실험하였다. 또한, 대부분의 입자상 및 가스상 오염물질의 농도가 배경농도로 낮아진 후 다시 실험하였다.

본 연구에서 사용한 스쿠터는 49.5 cc의 배기량과 강제공냉식 및 2-행정의 가솔린 엔진을 가지고 있는 대립자동차 Cordi이였으며, 자세한 제원을 표 1에 나

타내었다. 입자의 총 수 농도를 측정하기 위해 검출 가능한 최소 측정입경이 3 nm인 UCPC (Ultrafine Condensation Particle Counter, TSI model 3025A)를 사용하였다. UCPC의 샘플링 유량은 1.5 L/min이었으며, 매 1초마다 평균 농도가 측정되었다. 동시에 입경분포 변화를 실시간으로 측정하기 위해 EEPS (Engine Exhaust Particle Sizer, TSI model 3090)를 사용하여

Table 1. Specification of a scooter used in this study.

Dimensions	Overall length (mm)	1,715
	Overall width (mm)	665
	Overall height (mm)	1,053
Engine	Type	Single cylinder
	Stroke	2
	Displacement (cc)	49.5
	Bore × stroke (mm)	40.0 × 39.4
	Weight empty (kg)	76.5
	Cooling	Air forced
Others	Fuel tank capacity (liter)	4.8

10 L/min으로 대기를 샘플링하였고, 7~523 nm 범위의 입자를 매 0.1초마다 측정하였다. 또한, NSAM (Nanoparticle Surface Area Monitor, TSI model 3550)을 사용하여 2.5 L/min씩 샘플링하고 매 10초마다 폐의 alveolar 영역에 침착되는 0.01~1 µm 범위인 입자의 표면적을 측정하였다. 위의 UCPC, EEPS 및 NSAM을 같은 이동식 캐비닛에 설치하여 통합 흡입구로부터 가능한 등속 샘플링 (isokinetic sampling)에 가깝게 유량이 분기되도록 하였다.

또한, 스쿠터에서 발생하는 검댕 (black carbon, BC)의 질량 농도를 모니터링하기 위하여 Aethalometer (Magee Scientific model AE42-7-ER-MC)를 사용하였고, 샘플링 유량은 2 L/min이며 2분 동안의 평균 농도를 연속적으로 측정하였다. NO-NO₂-NO_x Analyzer (TEI model 42)와 CO Analyzer (TEI model 48)를 사용하여 스쿠터에서 발생하는 질소산화물과 일산화탄소를 각각 10초마다 모니터링하였다. Aethalometer와 NO_x 및 CO 가스분석기는 별도의 이동식 캐비닛에 설치하였는데, 두 대의 가스분석기는 동일한 흡입구에서 분기되도록 하였으며, Aethalometer 흡입구는 가스분석기와 별도의 독립된 흡입구를 사용하였다. 모든 측정장비의 흡입구는 지면에서 약 2 m 높이에 설치하였다.

3. 결과 및 고찰

스쿠터가 공회전 및 30 km/h 속도로 주행 시 배출되는 입자상 물질과 가스상 물질의 특성을 살펴보기 위해 입자의 수 농도 변화와 함께 가스상 물질 (NO_x, CO)의 농도 및 BC 농도를 공회전 (I), 주행 (II) 구간

으로 구분하여 그림 3에 나타내었다. 그림 3(b)에는 EEPS로 측정된 결과를 7~100 nm 범위인 초미세입자의 수 농도와 100~523 nm 범위의 미세 입자의 수 농도로 구분하여 나타내었다. 그림 3을 보면, 스쿠터가 공회전 및 주행 시 초미세입자, NO_x 및 CO의 농도가 모두 유사한 시기에 최고치에 도달하는 것을 알 수 있다. 이것은 측정장비들의 반응시간의 차이가 큰 영향을 미치지 않고, 스쿠터에서 배출된 입자상 및 가스상 오염물질을 동시에 잘 검출하고 있음을 의미한다.

UCPC로 측정된 배경 입자의 수 농도는 평균적으로 5,400개/cm³이었으며, 공회전 및 주행 시 수 농도는 각각 5,028~45,080개/cm³, 4,910~18,500개/cm³ 범위이었다. 그림 3(b)에서 보듯이 EEPS로 측정된 미세 입자에 대한 초미세 입자의 농도비는 1.6~4로 초미세 입자가 전체 수 농도의 변화를 주도하고 있음을 알 수 있으며, UCPC 및 NSAM의 농도 변화 경향과 매우 잘 일치하였다. Lee and Bae (2010)가 2007년 3월 20일 청량리 도로변에서 SMPS로 측정된 초미세 입자(20~100 nm) 및 미세 입자(100~600 nm)의 일평균 수 농도와 비교하면, 스쿠터에서 배출된 초미세 입자 및 미세 입자의 평균 수 농도는 공회전 시 각각 0.4, 0.9배이고, 30 km/h로 주행 시 각각 0.4, 1.3배이다. 이때 SMPS와 EEPS의 측정입경 범위가 다르므로, EEPS의 입경범위를 SMPS와 일치시켜 비교하였다. 본 연구에서 관측한 스쿠터에서 배출되는 입자의 오염도 수준은 통행량이 많은 도로변에서 관측된 농도의 0.4~1.3배 범위로 절대값도 상당한 의미를 갖는다는 것을 시사한다.

NSAM으로 측정된 공회전 시 배경 입자의 표면적 농도는 31.2 µm²/cm³이었으며, 최고 246.3 µm²/cm³까지 증가하였고, 주행 시 최고 124 µm²/cm³의 입자가 폐에 침착될 수 있다는 것을 보여준다(그림 3(c)).

또한, 공회전 시 스쿠터로부터 배출되어 공기 중에서 희석된 CO 농도는 최고 868 ppb로 관측되었으며, NO_x 역시 입자상 물질이나 CO와 유사한 농도 변화를 나타내며 최고 농도가 21 ppb 정도로 관측되었다(그림 3(d)). BC는 측정시간이 2분으로 타 측정장비에 비해 매우 길어 정확한 배출 특성을 관찰할 수 없었다. 공회전 시 최고 BC 농도는 3.5 µg/m³이었으며, 주행 시에는 4 µg/m³이었다(그림 3(e)). 전반적으로 주행에 비해 공회전 시 입자 및 가스 농도가 높

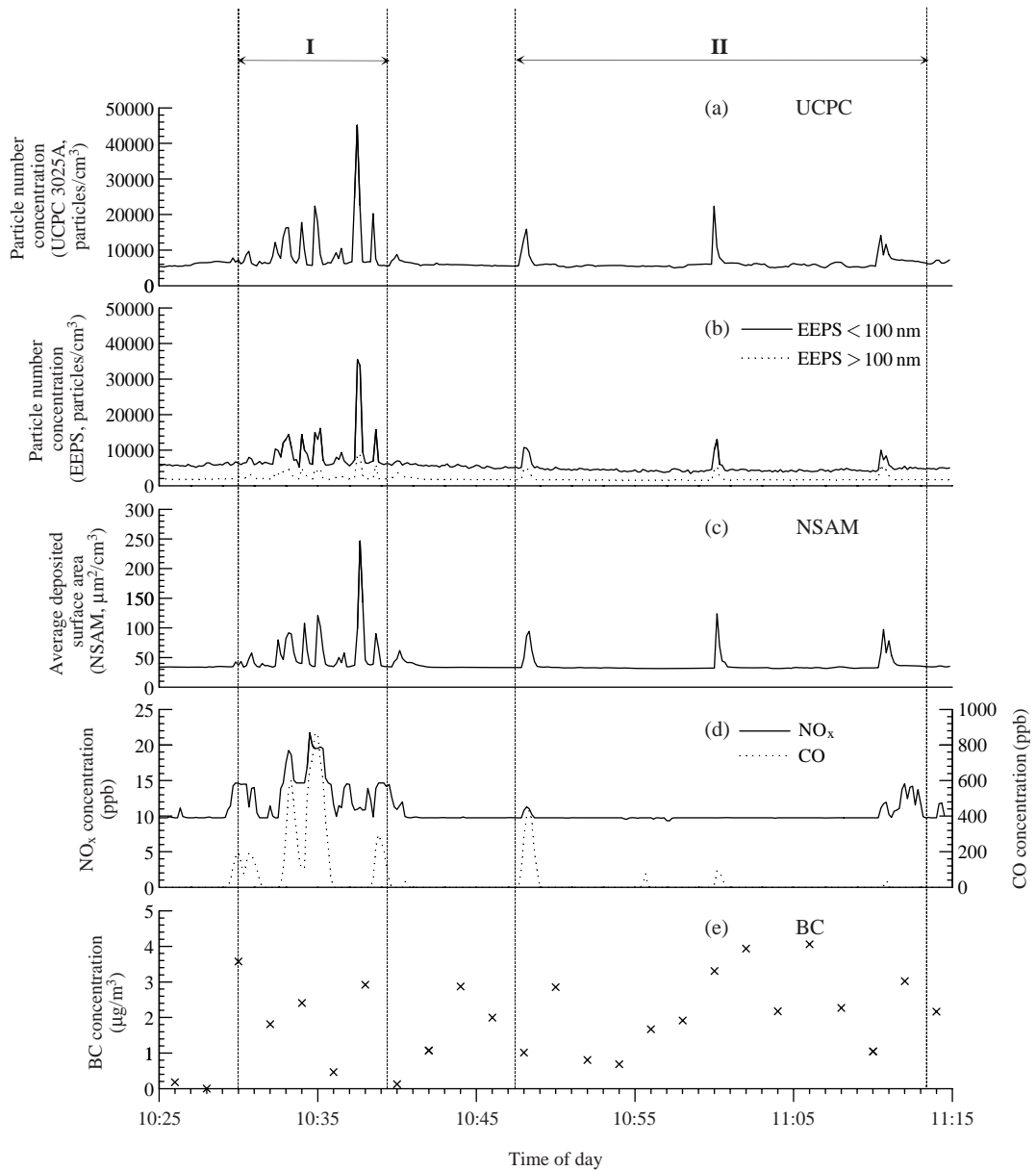


Fig. 3. Variations of total particle number concentration, surface area concentration of particles deposited on the alveolar region and gases concentrations due to scooter emissions (I: Idling, II: 30 km/h).

았고, 변화가 심하였다. 주행 시 배출된 입자 및 가스 농도 자체가 공회전에 비해 낮았을 가능성이 있으며, 주행 중에는 스쿠터가 측정지점을 지나가면서 바람이 생기고 이에 따른 희석 효과가 커지고, 공회전에 비해 배출시간이 상대적으로 짧기 때문에 전반적으로

로 주행 시 입자 및 가스 농도가 상대적으로 낮았다고 추정된다.

3.1 공회전 시 배출특성

그림 4에는 10분간 공회전 실험 시 입자 수 농도,

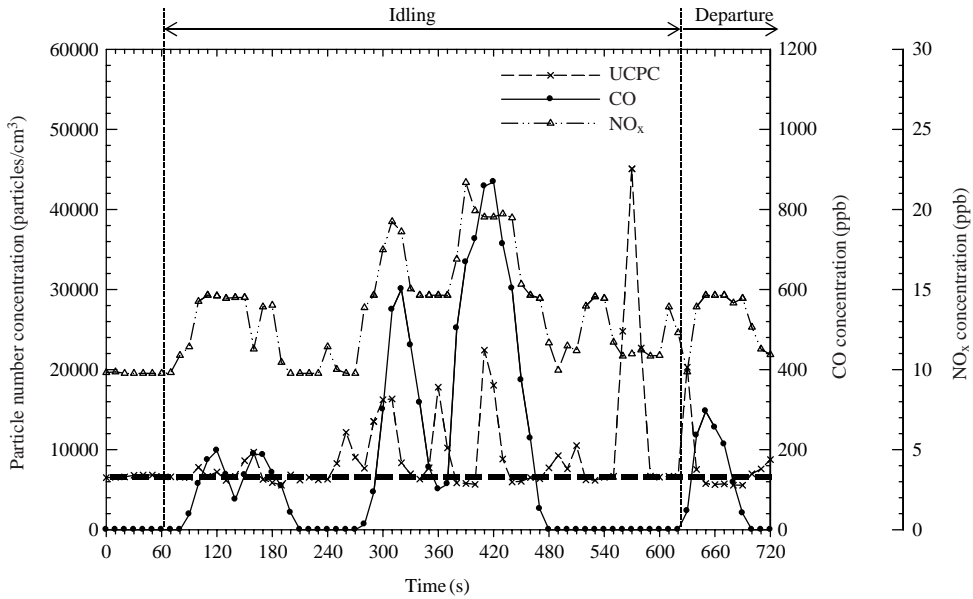


Fig. 4. Variations of concentrations of particle number, NO_x and CO during the scooter's idling and departure (Dashed line: background particle number concentration).

CO 및 NO_x 농도의 변화를 그림 3에 비해 자세하게 나타내었다. 배경 입자의 수 농도, CO 및 NO_x 농도는 각각 6,500개/cm³, < 40 ppb (lower detection limit), 9.7 ppb를 나타내었다. 공회전 시 수 농도는 5,555~45,080개/cm³로 나타났으며, CO나 NO_x와 같은 가스 상 물질의 농도에 비해 변동이 심하였다. NO_x 및 CO 농도는 각각 9.7~21.6 ppb, < 40~868 ppb로 나타났으며, NO_x에 비해 CO 농도의 변동이 매우 심했다. 공회전 실험을 종료한 620초경 스쿠터가 공회전 상태에서 주행을 시작할 때 입자, NO_x, CO가 고농도로 배출되었다.

공회전 시 입자의 수 농도는 짧은 시간 동안 변동이 심하였는데, 이런 변화를 주도하는 입자의 크기를 살펴보기 위하여 EEPS로 0.1초마다 측정된 입경분포 데이터를 1초 간격으로 평균하여 그림 5에 나타내었다. x축은 측정 시간, y축은 입경, color contour는 입자의 수 농도를 나타낸다.

스쿠터가 공회전 시 100 nm 이하인 초미세 입자가 고농도로 종종 관측되었으며, 대부분의 시간에서는 배경 농도보다 약간 높은 수준으로 관측되었다. 약 30~110 nm 범위에서 수 초에서 최대 20초 동안 고농도 현상이 발생하였고, 공기 중 희석 또는 확산에

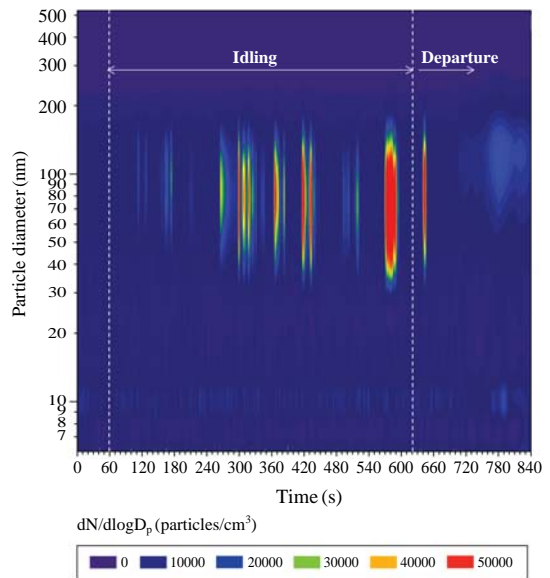


Fig. 5. Variations of the particle size distribution during the scooter's idling and departure.

의해 매우 불규칙적으로 관측된 것으로 추정된다. 이는 앞서 유추한대로 스쿠터의 2행정 엔진의 특성과

관련이 있는 것으로 생각되나 이번 연구에서는 측정 자료가 많지 않아 이러한 상관성을 정확히 규명할 수 없었다. 향후 2행정 엔진의 소기 유동 특성과 입자 수 농도, 가스 농도간 상관관계를 엔진 동력계 등을 이용하여 규명할 필요가 있다.

3.2 주행 시 배출특성

그림 3의 II 구간에 나타내었듯이, 스쿠터를 30 km/h의 속도로 운전하면서 약 11분 마다 모니터링 장비 앞을 3번 통과하였다. 이 때마다 입자 농도는 모두 확연한 변화를 나타냈으나, 가스(NO_x, CO) 농도는 입자 농도에 비해 상대적으로 적은 변화와 불규칙적인 농도 수준을 나타냈다. 스쿠터의 주행 시 배출되는 입자상 물질의 특성을 살펴보기 위하여 UCPC로 측정할 3번의 수 농도 데이터를 배경 농도로 정규화하여 그림 6에 나타내었다. 그림에서 평균을 동그라미 심볼로 표시하였고, 표준편차를 수평선으로 나타내었으며, 실제 스쿠터가 지나간 시간은 그림에서 0초이다. 동시에 EEPS로 측정할 데이터를 100 nm를 기준으로 미세 입자와 초미세 입자의 비율을 나타내어 주행 시 어떤 크기의 입자가 많이 발생하는지 살펴보았다.

30 km/h로 정속 주행할 때 평균적으로 3배 이상의 고농도 입자가 관찰되었으며, 스쿠터가 지나간 시점부터 약 30초 후에 최고 농도에 도달하고 다시 40초 후에 배경 농도 수준으로 회복되었다. 이것은 스쿠터

가 한 대 지나갈 때 배출되는 입자가 약 70초 동안 주위에 머물러 인체에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 미세 입자에 대한 초미세 입자의 수 농도비는 일반 배경 농도 조건에서 2.6~3 범위이지만, 30 km/h로 주행 시 2 정도로 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 스쿠터가 주행 시 100 nm 이하의 입자가 증가하는 비율보다 100 nm 이상의 미세 입자 증가율이 더 크다는 것을 의미한다. 스쿠터에서 배출된 고체입자의 표면에 휘발성 성분이 응축하고, 스쿠터가 주행 시

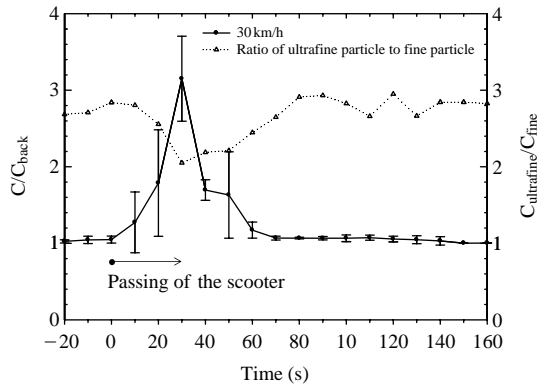


Fig. 6. Average ratio of particle number concentration measured three times to its background with time after the scooter's passing at a speed of 30 km/h and the concentration ratio of ultrafine particles (<100 nm) to fine particles (>100 nm).

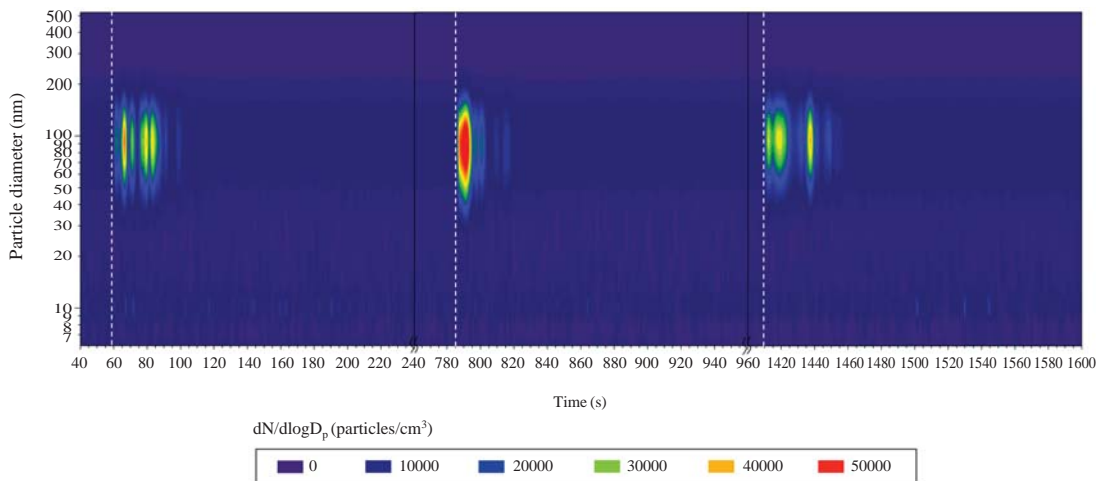


Fig. 7. Variations of the particle size distribution caused due to passing of the scooter cruising at a speed of 30 km/h.

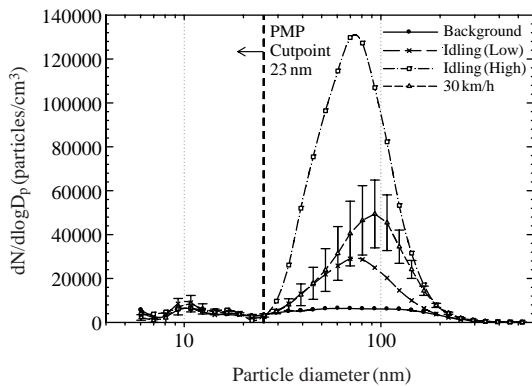


Fig. 8. Comparison of the particle size distribution measured for the background, and during the scooter's idling and passing at a speed of 30 km/h.

생기는 유동과 이에 따른 희석 효과가 커지면서 미세 입자의 농도 증가율이 초미세 입자 농도 증가율에 비해 일시적으로 커진 것으로 추정된다. 이러한 현상을 보다 자세하게 관찰하기 위해 그림 7에 EEPS로 측정된 입경분포 변화를 1초 간격으로 평균하여 그림 5와 같이 color contour로 나타내었다. 하얀색 점선은 스쿠터가 지나갔을 때를 나타낸다.

스쿠터가 모니터링 장소를 통과할 때 바로 100 nm 근처의 초미세 입자와 미세 입자가 관측되었으며, 50~110 nm 범위에서 20~40초 동안 높은 수 농도로 관측되었다. 이후 배출된 입자는 대기 중으로 확산 및 희석되어 배경 농도로 회복된 것으로 판단된다 (Zhang and Wexler, 2004). 3번의 반복 실험을 통해 비슷한 범위의 초미세 입자와 미세 입자들이 고농도로 발생하였다.

그림 5와 7에 나타난 입경분포의 특징을 비교하기 위하여 배경 조건, 공회전 조건, 30 km/h 주행 조건의 데이터를 그림 8에 함께 나타내었다. 배경 농도는 최고 7,000개/cm³로 공회전 및 주행 조건보다 매우 낮았다. 그림 4에서 보는 바와 같이 스쿠터가 공회전 시 측정된 입자의 수 농도는 변동이 매우 심하였으므로, 최고 농도를 나타내는 570초일 때 입경분포 (high)와 피크 중 상대적으로 수 농도가 낮은 260초일 때 입경분포 (low)를 비교해 보면, 대체로 배경 입경분포에 비해 20 nm 이하인 입자 수 농도는 변화가 매우 적었으며, 모드 입경이 약 70 nm인 단일모드 분포를 나타냈다. 그림 4에서 피크 수 농도는 6배 가량

차이가 났으나, 같은 모드 입경을 가진 단일모드의 입경분포를 나타내어 물리적 특성은 서로 유사할 것으로 추정된다. 30 km/h로 주행 시 모드 입경은 93 nm로 공회전 시 입경분포에 비해 약간 오른쪽으로 이동하였으며, 피크 농도는 공회전 시 발생하는 고농도 현상 (high)에 비해 약 1/3 수준이었다.

4. 결 론

본 연구에서는 외부와 차단된 환적한 도로에서 2행정 스쿠터가 공회전 및 30 km/h 주행 시 발생하는 입자 및 가스 오염의 특징을 파악하였으며, 이를 통해 도로변 측정방법에 의해 주행하는 개별 자동차의 오염물질 배출특성을 파악할 수 있는 가능성을 확인하였다. 도로변 측정방법을 통해 얻은 스쿠터의 오염물질 배출특성은 다음과 같다.

첫째, 스쿠터는 공회전 및 주행 시 입자상 물질과 가스상 물질을 동시에 배출하였고, 초미세 입자 (7~100 nm)의 수 농도가 미세 입자 (100~523 nm)에 비해 높아 전체 수 농도 변화를 주도하였다. 공회전 시에는 주행 시에 비해 전반적으로 고농도의 입자와 NO_x, CO가 빈번하게 배출되었다.

둘째, 공회전 시 입자의 수 농도, CO 및 NO_x 농도 모두 유사한 변화를 보였다. 수 농도는 CO나 NO_x와 같은 가스상 물질의 농도에 비해 변동이 심하였고, CO는 상대적으로 NO_x에 비해 높은 농도를 나타내고 변동도 심하였다. 또한, 스쿠터가 공회전 상태에서 출발할 때 입자, NO_x, CO 등 오염물질이 고농도로 배출되었다. 스쿠터가 공회전 시 100 nm 이하인 초미세 입자가 관측되었으며, 공회전 시간 동안 비정상상태로 입자를 배출하여 매우 불규칙한 경향을 나타냈다.

셋째, 스쿠터가 공회전 및 30 km/h 주행 시 입경분포는 모두 단일모드 형상이었으며, 모드 입경은 각각 70, 93 nm로 나타났으며, 이를 통해 공회전 시 배출된 입자는 주행 시 배출된 입자와 상이한 특성을 가질 것으로 판단된다. 또한, 공회전 시 배출된 입자는 모드 입경이 70 nm로 같았으나, 수 농도는 경우에 따라 6배 정도의 차이를 나타냈다.

본 연구에서 제시한 스쿠터에서 발생하는 입자의 수 농도 및 입경분포, 가스 농도 자료는 스쿠터로 인

한 대기오염 특성 및 보행자에게 영향을 미치는 노출 정도를 파악하는데 활용될 수 있다. 향후 풍속, 풍향 등의 영향을 최소화시키기 위하여 샘플링 시스템을 개발하는 등 본 연구에서 탐색한 도로변 측정방법을 보완 및 발전시켜서 다양한 교통수단에서 배출되는 오염물질을 모니터링 할 수 있는 방법을 개발하면, 객관적인 측정자료를 바탕으로 환경지역을 출입하는 자동차 및 스쿠터를 제한할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 스쿠터에서 배출되는 입자상 및 가스상 물질의 배출 특성은 엔진 동력계 등의 안정적인 실험실 연구를 통해 엔진의 특성과 입자 수 농도, 가스 농도간 상관관계를 추가적으로 밝혀낼 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 환경부 Eco-STAR project (무·저공해 자동차사업단)의 지원과 경기도의 경기도지역협력연구센터 (GRRCC) 사업 [2010-B05 자동차에서 발생하는 미세먼지 (PM_{2.5}) 및 TVOCs 통합 센서 모듈 개발]으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한, NSAM 장비를 지원하여 준 ABC 무역에 감사드립니다.

참 고 문 헌

국토해양부 (2009) 이륜자동차사용신고현황 (2009. 11월말), Available from http://stat.mltm.go.kr/stat/mlist_view.jsp?rs_id=58.

ACEM (2008) ACEM Yearbook 2007 Facts and Figures on PTWs in Europe, Available from <http://www.acembike.org> (accessed February 2008).

Bae, G.-N., S. Huh, S.-B. Lee, M. An, D. Park, and J. Hwang (2007) Ultrafine particle pollution level at the roadside of Seoul in spring, Part. Aerosol Res., 3(1), 29-40. (in Korean with English abstract)

Czerwinski, J., P. Comte, F. Reutimann, and A. Mayer (2006) Influencing (nano)particle emissions of 2-stroke

scooters, Int. J. of Automot. Technol., 7(3), 237-244.

EEA (2006) EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2006, Technical Report No.11/2006, Available from <http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR4>.

Lee, S.-B. and G.-N. Bae (2010) Characteristics of air pollution at a junction area contaminated with vehicle emissions, Trans. of KSAE, 18(4), 48-53. (in Korean with English abstract)

Leong, S.T., S. Muttamara, and P. Laortanakul (2002) Influence of benzene emission from motorcycle on Bangkok air quality, Atmos. Environ., 36(4), 651-661.

Spezzano, P., P. Picini, and D. Cataldi (2009) Gas- and particle-phase distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in two-stroke, 50-cm³ moped emissions, Atmos. Environ., 43(3), 539-545.

Spezzano, P., P. Picini, D. Cataldi, F. Messale, and C. Manni (2008) Particle- and gas-phase emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons from two-stroke, 50-cm³ mopeds, Atmos. Environ., 42(18), 4332-4344.

Tsai, J.-H., Y.-C. Hsu, H.-C. Wen, W.-Y. Lin, and F.-T. Jeng (2000) Air pollutant emission factors from new and in-use motorcycles, Atmos. Environ., 34(28), 4747-4754.

Tsai, J.-H., H.-L. Chiang, Y.-C. Hsu, H.-C. Weng, and C.-Y. Yang (2003) The speciation of volatile organic compounds (VOCs) from motorcycle engine exhaust at different driving modes, Atmos. Environ., 37(18), 2485-2496.

Woo, D., S.-B. Lee, G.-N. Bae, and T. Kim (2008) Comparison of ultrafine particles monitored at a roadside using an SMPS and a TR-DMPS, Korean J. of Atmos. Environ., 24(4), 404-414. (in Korean with English abstract)

Ye, S.H., W. Zhou, J. Song, B.C. Peng, D. Yuan, Y.M. Lu, and P.P. Qi (1999) Toxicity and health effects of vehicle emissions in Shanghai, Atmos. Environ., 34(3), 419-429.

Zhang, K.M. and A.X. Wexler (2004) Evolution of particle number distribution near roadways - Part I: Analysis of aerosol dynamics and its implications for engine emission measurement, Atmos. Environ., 38(38), 6643-6653.