

## 2A4) 도로변의 검댕 농도 특성

### Characteristics of Black Carbon Concentrations at Roadside

이승복 · 박수미 · 진현철 · 변두섭 · 이동희 · 배귀남  
한국과학기술연구원 유해물질연구센터

#### 1. 서 론

최근 대기환경을 개선하기 위하여 경유 버스가 CNG 버스로 대체되고 있으며, 경유 버스 배기관에 매연저감장치가 장착되고 있다. 이러한 교통환경 정책의 효과를 평가하기 위하여 경유 자동차에서 배출되는 입자의 주요 성분인 원소탄소(elemental carbon, EC)를 대기 중에서 장기간 측정하여 농도 특성을 파악할 필요가 있다. 그런데 원소탄소를 실시간으로 측정하기 어려우므로, 입자에 의한 빛의 흡수현상을 이용하는 aethalometer로 검댕(black carbon, BC)을 측정하여 BC/EC 비로부터 EC 농도를 추정하기도 한다(Park et al., 2002; Fruin et al., 2004). 본 연구팀은 자동차로부터 배출되는 극미세 입자가 대기질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 서울시 도로변에서 가스상 물질과 함께 극미세 입자의 입경분포, PM<sub>2.5</sub> 및 PM<sub>10</sub> 질량농도, BC 농도를 정기적으로 측정하고 있다. 본 연구에서는 BC 농도의 일변화, 주간변화, 계절변화를 살펴보았다.

#### 2. 측정 방법

서울시 서대문구 신촌동에 위치한 연세대학교 정문 앞의 왕복 8차선 도로에서 약 10 m 떨어진 곳에서 총 5회 집중 측정을 수행하였다. 측정기간은 2005년 4월 7일~12일 6일간(1차), 5월 19일~25일 7일간(2차), 9월 7일~13일 7일간(3차), 11월 17일~23일 7일간(4차), 2006년 4월 13일~18일 6일간(5차) 이었다.

BC 농도는 7개의 파장(370, 470, 520, 590, 660, 880, 950 nm) 빛들이 석영 필터에 채취된 입자에 의해 감쇄되는 정도를 각 파장별 질량농도로 변환하는 휴대용 aethalometer (model AE42-7-ER-MC, Magee Scientific)를 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 표준 파장인 880 nm의 측정값을 이용하였다. Aethalometer의 샘플링 튜브 앞에 1 µm 이상의 입자를 제거하는 PM<sub>1</sub> 사이클론을 장착하여 지면에서 약 1.5 m 높이에 설치하였으며, 2.0 L/min의 흡입유량으로 5분 평균 BC 농도를 24시간 연속해서 측정하였다. 석영 필터의 동일 위치(spot)에 채취된 입자의 양이 증가하여 빛의 감쇄가 75%를 초과하면 석영 필터가 자동으로 전진한 후 초기 광원 신호를 측정하는 약 20분 동안 BC 농도를 얻지 못하였는데, 본 측정에서는 이러한 필터 전진이 약 2~5시간 간격으로 이루어졌다.

#### 3. 결과 및 고찰

그림 1에 전체 측정기간에 대하여 주중(월-금)과 주말(토-일)로 구분하여 BC 농도의 일변화를 나타내었다. 그림 1에서 BC 농도의 주중 일변화 특성을 살펴보면, 새벽 2~5시에 하루 중 최소 농도를 보이다가 5시 이후부터 출근시간의 정점인 8시경까지 급격히 증가하였다가 서서히 감소하였다. 시간대별 평균 BC 농도는 점심시간까지 조금 낮아졌다가 다시 서서히 증가하여 퇴근시간인 저녁 7시경에 하루 중 최고 농도가 되었다가 자정을 지나 다음날 새벽 2시까지 대체로 감소하는 경향을 보였다. 주말의 BC 농도의 일변화도 주중과 대체로 유사하였으나, 주말의 경우에는 오전 출근시간대의 피크가 상대적으로 늦게 나타났고, 저녁 퇴근시간대의 피크는 나타나지 않았다. 주중과 주말의 BC 평균 농도를 비교하면, 각각 7.1±1.8 µg/m<sup>3</sup>, 6.6±1.5 µg/m<sup>3</sup>으로 10% 미만의 차이를 보였다. 이것은 주말의 교통량이 주중에 비하여 크게 줄지 않았음을 암시한다.

Park et al. (2002)은 교통량이 많은 서울시 도로에서 약 200 m 떨어진 중학교 옥상에서 aethalometer로 약 2주간 BC 농도를 측정하였는데, 이 때 기기 입구에 PM<sub>2.5</sub> 입펙터를 설치하였다. 이 중학교 옥상

에서 측정된 BC 농도의 일변화에서는 오후 15시에 하루 중 최소 농도를 나타내었고, 퇴근시간의 고농도 피크는 그다지 뚜렷하지 않았다. 본 연구에서 측정된 전체 기간의 BC 평균 농도인  $6.9 \pm 1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 는 Park et al. (2002)의 BC 평균 농도인  $7.0 \pm 5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 유사하지만 샘플링 입경이  $\text{PM}_{10}$ 과  $\text{PM}_{2.5}$ 로 다른 것을 고려하면, 본 측정지점의 BC 농도가 더 높았던 것으로 판단할 수 있다. 이와 같은 일변화 및 평균 농도의 차이는 도로의 시간대별 교통량 특성뿐만 아니라 도로에서 떨어진 거리, 샘플링 높이, 풍향과 같은 기상요소 등에 의한 것으로 생각한다. Park et al. (2002)이 BC와 EC 측정결과를 이용하여 계산한 BC/EC 비는 서울과 광주에서 각각 0.93, 1.07이었으므로 본 측정의 BC 중 대부분은 EC라고 간주할 수 있다.

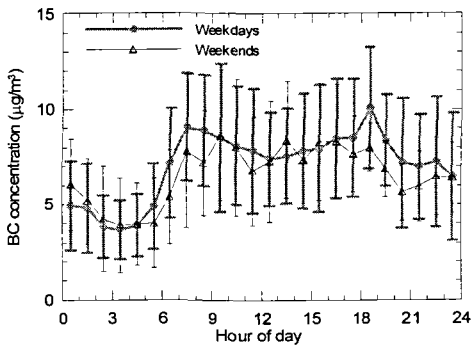


Fig. 1. Diurnal variation of BC concentration.

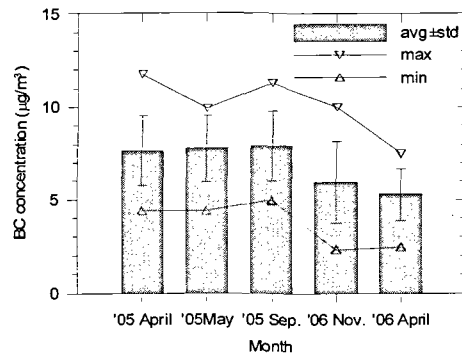


Fig. 2. Monthly average of BC concentration.

장기간에 걸친 BC 농도의 변동 추이를 살펴보기 위하여 그림 2에 각 월별 평균 농도를 표준편차, 최대, 최소와 함께 나타내었다. 그림 2에서 보듯이 2005년 4월, 5월, 9월에는 평균 농도가 유사하였다가 2005년 11월에 크게 감소한 후, 2006년 4월에도 약간 더 감소하였다. 평균 농도뿐만 아니라 최소 농도에서도 같은 경향이 나타났다. 이와 같은 2005년 11월 이후의 감소 추세가 경유 버스의 CNG 버스로의 교체 등과 같은 환경부의 수도권 대기질 개선 노력의 결과인지의 여부는 아직 확실치 않으므로, 추가적인 연구가 필요하다.

2006년 11월 측정기간 동안 BC와 함께 Scanning Mobility Particle Sizer(SMPS)로 측정된 입자(14~615 nm)의 총 수농도와 BC 농도와의 상관성을 살펴보면  $R^2$ 가 0.78인 양의 상관관계를 보였다. 직경이 100~615 nm 범위인 입자의 수농도를 이용하면  $R^2$ 는 0.90으로 더 커졌다. 이와 같은 특성은 미세입자의 수농도 및 BC의 농도가 지배적인 하나의 오염원에서 함께 배출되었다는 것을 암시하며, 본 연구에서는 그 오염원이 자동차일 것으로 판단한다.

## 사 사

본 연구는 환경부 Eco-STAR project(무·저공해자동차사업단)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- Fruin, S.A., A.M. Winer, and C.E. Rodes (2004) Black carbon concentrations in California vehicles and estimation of in-vehicle diesel exhaust particulate matter exposures, Atmospheric Environment, 38, 4123-4133.
- Park, S.S., Y.J. Kim, and K. Fung (2002)  $\text{PM}_{2.5}$  carbon measurements in two urban areas: Seoul and Kwangju, Korea, Atmospheric Environment, 36, 1287-1297.