

## 도시녹지 미세먼지 조절 서비스 수요와 공급의 공간적 차이 분석\* - 수원시를 대상으로 -

강다인<sup>1),2)</sup> · 권혁수<sup>3)</sup> · 최태영<sup>4)</sup> · 박찬<sup>5)</sup> · 김성훈<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> 국립생태원 생태계서비스팀 연구원 · <sup>2)</sup> 서울시립대학교 일반대학원 조경학과 학생 ·  
<sup>3)</sup> 국립생태원 생태계서비스팀 선임연구원 · <sup>4)</sup> 국립생태원 생태계서비스팀 전임연구원 ·  
<sup>5)</sup> 서울시립대학교 일반대학원 조경학과 교수 · <sup>6)</sup> 한국국토정보공사 공간정보연구원 정책연구실 선임연구원

## Spatial Analysis on Mismatch Between Particulate Matter Regulation Services Supply and Demand in Urban Area\* - A Case Study of Suwon -

Kang, Da-In<sup>1),2)</sup> · Kwon, Hyuk-Soo<sup>3)</sup> · Choi, Tae-Young<sup>4)</sup> · Park, Chan<sup>5)</sup> and Kim, Sung-Hoon<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>National Institute of Ecology, Team of Ecosystem Services, Researcher.

<sup>2)</sup>Dept. of Landscape Architecture, Graduate School of University of Seoul, Student

<sup>3)</sup>National Institute of Ecology, Team of Ecosystem Services, Senior Researcher,

<sup>4)</sup>National Institute of Ecology, Team of Ecosystem Services, Associate Researcher.

<sup>5)</sup>Dept. of Landscape Architecture, Graduate School of University of Seoul, Professor

<sup>6)</sup>LX Spatial Information Research Institute, Policy Research office, Senior Researcher

### ABSTRACT

Urban green spaces supply ecosystem services (ESs), which are consumed by city residents and generate demand, to improve air quality. It is important to determine supply and demand for ESs and reduce the gap for efficient management. This study proposed a method to use the concept of supply and demand for ESs in the decision-making process for urban planning or management. PM<sub>10</sub> concentrations were converted to weight for demand assessment on PM<sub>10</sub> reduction, and PM<sub>10</sub> absorption capacity of all green spaces including the forests, and that of urban green spaces excluding

\* 이 논문은 국립생태원의 전략과제로 수행된 지역의 생태가치 평가 및 인식증진방안 연구 사업(NIE-전략연구-2021-07)의 지원을 받아 수행되었습니다.

**First author** : Kang, Da-in, National Institute of Ecology, Researcher,

Tel : +82-41-950-5478, E-mail : rkdekdl44@nie.re.kr

**Corresponding author** : Kim, Sung-Hoon, LX Spatial Information Research Institute, Senior Researcher,

Tel : +82-63-906-5654, E-mail : sh\_kim@lx.or.kr

**Received** : 10 February, 2021. **Revised** : 1 April, 2021. **Accepted** : 23 March, 2021.

forests, was calculated for each supply assessment. The differences in the calculated supply and demand were analyzed to derive the mismatched regions in Suwon. As a result, regions with big forested areas showed sufficient supply, indicating that the degree of mismatch among administrative neighborhoods (dong) varied greatly depending on whether they had a forest. An analysis of only urban green spaces showed that all neighborhoods lacked supply. Forests with high PM<sub>10</sub> absorption capacity had a great effect, but urban green spaces can be considered a key element in reducing PM<sub>10</sub> in daily life. Considering the mismatch of supply and demand, spatial distribution, and population distribution, it is possible to prioritize the supply of urban green spaces to reduce PM<sub>10</sub> and, furthermore, support decision making for priority zones subject to forest conservation and designation and cancellation of green spaces, which gives significance to this study.

**Keyword:** *Ecosystem services mismatch, PM<sub>10</sub>, Spatial Decision Making, Green Infrastructure, Park System Planning*

## I. 서론

미세먼지는 심혈관계와 호흡기계 질환 발병을 증가시키는 것으로 알려져 있으며(Bae, 2011), 국제암 연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서는 1군 발암물질로 지정하여 관리하고 있다. 미세먼지와 같은 대기오염으로 인한 유럽인구의 조기 사망 인구는 43만 명으로 추정되고 있으며(Ten Brink, 2016), 특히 교통량이나 건설활동이 많은 대도시에서 피해가 높은 것으로 보고되고 있다(Kim & Kim, 2011). 도시 내 녹지는 미세먼지나 대기질 문제를 개선하여 시민들의 생태복지 향상에 기여하는 것으로 알려져 있다(Fuches, 1964; Nowak, 1998; Tiwari et al., 2019).

최근에는 고농도 미세먼지에 대한 이슈로 녹지조성에 대한 인식과 중요성이 지속적으로 증가하고 있어(Song & Yoon, 2019; Kim et al., 2018), 도시 대기질 개선을 위한 생태계서비스 연구 및 적용은 중요한 의미를 지닌다(Ten Brink, 2016). 대기질 개선에 대한 연구는 녹지가 흡수하는 대기오염물질의 정량적 평가가 주로 진행되었고(Jo et al., 2003; Powe & Willis,

2004; Nowak et al., 2014), 도로로부터의 거리, 수고, 잎의 모양, 잎의 성장정도 등 녹지의 특성에 따른 미세먼지 저감 정도가 평가 되었다(Nguyen et al., 2015; Yin et al., 2011). 그러나 미세먼지 저감 효과에 대한 수요와 공급을 정의하고, 이를 평가하여 공간적 차이를 분석한 사례는 미흡하다.

도시관리의 주요 목적 중 하나는 시민이 생태계의 혜택을 안정적으로 제공받을 수 있도록 계획하는 것이지만, 인구가 많고 집약적으로 발달한 도시에서는 생태계 혜택이 수요와 공급이 일치하지 않아 불균형이 발생하기도 한다(MA, 2005; de Groot, 2010; Lee et al., 2018). 이러한 문제를 해결하기 위해서는 생태계서비스 수요와 공급을 평가하여 서비스가 결핍되거나 남는 서비스가 버려지지 않도록 유지하는 것이 필요하다(Burkhard, 2012). 생태계서비스 수요량과 공급량을 평가하고 이를 통해 그 차이를 감소시킨다면 사회적 형평성과 도시 녹지의 건강가치를 향상시킬 수 있는 계기가 될 수 있다(Baró et al., 2016; Chen et al., 2019).

본 연구는 도시를 대상으로 녹지의 미세먼지 저감에 대한 수요와 공급을 평가하고, 그 차이를

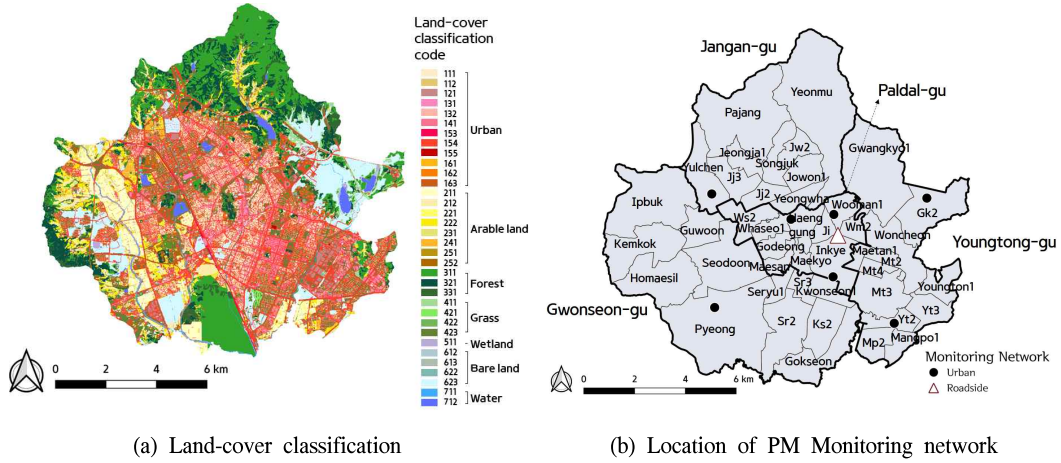


Figure 1. Study Site.

도출하여 도시관리를 위한 의사결정을 지원하는 생태계서비스 평가 기법을 제안하고자 한다.

## II. 연구방법

수원시는 경기도에서 인구밀도가 세 번째로 높은 도시이며, 용도지역 기준 도시지역비율은 100%이다(KOSIS, 2019). 설치된 미세먼지 측정망 수는 8개소로 경기도 내 기초지자체 중 가장 많으며 측정소 위치는 구별로 1개소 이상 위치한다(Fig 1). 또한 수원형 미세먼지 관리 대책 수립을 위해 미세먼지 배출원을 전수조사하고, 토지·인구·산업 등 다양한 특성에 따른 미세먼지 농도를 분석하고 있어 연구대상지로 선정하였다(Suwon, 2020).

### 1. 미세먼지 저감에 대한 수요평가

특정 기간과 공간 내에서 자연생태계는 생태적 혜택을 공급하고 인간사회는 이를 소비한다(Burkhard, 2012). 이때 제공하는 혜택을 생태계서비스 공급, 도시 지속을 위해 소비되는 형태를 생태계서비스 수요로 정의할 수 있다(Villamagna et al. 2013).

미세먼지 저감에 대한 수요는 미세먼지 무게

로 정의하였다. 기존 연구에서는 미세먼지 저감에 대한 수요를 인구밀도, 법이나 제도적으로 제한하고 있는 목표농도, 미세먼지 무게 등으로 정의하였고(Baró et al., 2016; Chen et al., 2019; Larondelle & Lauf, 2016) 본 연구에서도 수요-공급의 차이를 분석하기 위해 미세먼지 무게를 수요로 사용하였다. 미세먼지 농도를 무게로 환산하기 위해 Larondelle & Lauf(2016)가 제시한 모델을 참고하였고(Formula 1), 식에 사용된 높이(H)는 대류권 하부 200m로 설정하였다. Nowak 등(2006)은 시간당 오염물질 농도의 양을 산출하기 위해 대류권 하부 기준 높이를 주야간의 차이에 따라 150~250m로 설정하였고 Larondelle & Lauf(2016)도 이를 인용하였다.

미세먼지 무게(Weight of PM<sub>10</sub>)=

$$PM_{10} \times day \times H \times A_d \quad (1)$$

PM<sub>10</sub> = PM<sub>10</sub>concentration

day = period in month

H = Hight (200m)

A<sub>d</sub> = Each area in district

미세먼지는 토지피복에 영향을 받으며, 특

히 도로 영향력이 크다(Choi et al., 2019; Jung & Lee, 2018; Choi et al., 2019; Ho et al., 2015). 2016년도 기준, 전체 미세먼지 배출량 중 도로가 배출하는 미세먼지는 약 35%이며(NAPES, 2020) 일부 연구는 도로를 미세먼지의 주요 배출원으로 설정하였다(Yin et al., 2011; Chen et al., 2016). 이를 토대로 도로에 대한 가중치를 적용하여 측정망에서 관측된 농도를 보정하였다. 수원시 구별로 위치한 측정망의 평균값을 구에 포함된 동의 기본 농도 값으로 사용하였다. 동별 세분류토지피복도 중 도로 면적에 35%의 가중치를 부여하여 농도를 월별로 산출하고 이를 합산해 미세먼지 총 무게로 환산하였다.

## 2. 미세먼지 저감에 대한 공급평가

미세먼지 저감에 대한 공급은 녹지가 흡착한 미세먼지 양으로 정의하였다. 녹지는 미세먼지 입자를 잎과 가지 등 표면에 달라붙게 하여 미세먼지 농도를 저감시킨다(Nowak, 1998). 기존 연구에서도 녹지가 흡착하는 양을 공급으로 정의하였다(Baró et al., 2016; Chen et al., 2019). 본 연구에서 활용한 미세먼지 흡착량 산정방법은 Powe & Willis (2004)가 제시한 모델을 적용하였다(Formula 2; Park et al., 2017).

$$\text{미세먼지 흡착량(Amount of PM deposition)} = \text{FLUX} \times \text{SURFACE} \times \text{PERIOD} \quad (2)$$

FLUX = deposition velocity (m/s) × pollutant concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

SURFACE = area of land considered ( $\text{m}^2$ ) × surface leaf-area index ( $\text{m}^2/\text{m}^2$  of ground area)

PERIOD = period of dry days in analysis (day) × 86,400(second in day)

FLUX는 흡착속도와 농도의 곱으로 구한다. 흡착속도는 수목의 잎, 줄기 등의 표면에 따라 다르며, 수중에 영향을 받는다(Petroff et al.,

2008). 침엽수와 활엽수, 초지에 대한 흡착속도는 Powe & Willis (2004) 연구에서 제시한 값을 적용하였다. 혼효림 흡착속도는 제시되어 있지 않아 침엽수와 활엽수의 중간 값을 사용하였다(Table 1). 세분류토지피복도 중 기타초지는 도로 및 아파트 주변의 완충 녹지, 초지 및 가로수, 인터체인지 내부, 도시공원 내 수목 등 다양한 녹지의 유형을 포함하기 때문에(MOE, 2013) 도시녹지로 구분하였다. 흡착속도는 혼효림과 동일한 값으로 계산하였다. 잎의 유무에 따른 흡착속도 차이를 구분하기 위해 잎이 있는 시기(On-leaf)는 5~10월, 잎이 없는 시기(Off-leaf)는 1~4월과 11~12월로 설정하였다. 농도는 앞서 산출한 월별 값을 대입하였다.

SURFACE는 녹지면적과 엽면적의 곱으로 구한다. 녹지면적은 세분류토지피복도 중 산림지역과 초지 면적을 이용하였고, 군사적 목적의 비행 훈련을 위한 장소는 토지피복도 상 녹지로 분류되지만 실제 토지피복과 다르기 때문에 분석에서 제외하였다. 엽면적 지수(LAI, Leaf Area Index)의 월별 값 산출을 위해 Sentinel-2A와 2B 위성영상 중 대기보정 및 지형보정이 완료된 Level2 Product를 사용하였다. 엽면적 지수 산출은 전용 프로그램인 SNAP(Sentinel Application Platform)

**Table 1.** Deposition velocities by Land cover surfaces (revised based on Powe & Willis (2004)).

Category	Land-cover code	deposition velocity (m/s)	
		On-leaf	Off-leaf
Conifer forest	321	0.0080	0.0080
Deciduous forest	311	0.0050	0.0014
Mixed forest	331	0.0065	0.0047
Grass	411/421/422	0.0010	0.0010
Urban Green	423	0.0065	0.0047

source: <https://egis.me.go.kr/>

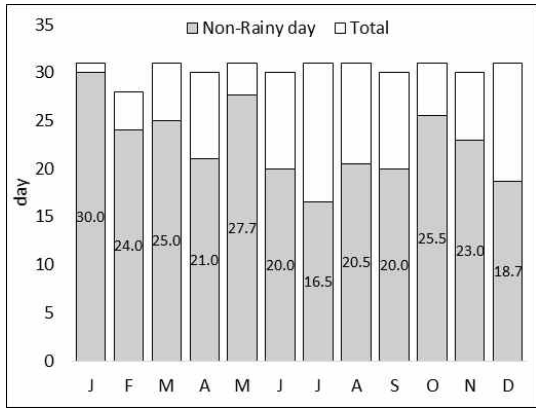


Figure 2. Monthly non-rainy days(2019).

을 이용하였으며, 2019년 7~8월에 촬영된 영상은 구름이 덮인 지역의 비율이 높아 열면적 지수 산출이 어려워 6월 값으로 대체하였다.

PERIOD는 월별 비강우일에 일 초 단위로 환산한 86,400초를 곱하여 산출하였다. 강우는 표면에 달라붙은 미세먼지를 제거하기 때문에 (Nowak, 1998) 강우기간 내 흡착속도는 0으로 가정하였다(Powe & Willis, 2004).

3. 미세먼지 저감에 대한 수요와 공급의 차이 평가

미세먼지 저감의 수요와 공급에 대한 차이는 수요대비 공급량 초과 및 부족에 대한 비율로 평가하였다(Formula 3). 수요대비 공급량 비율

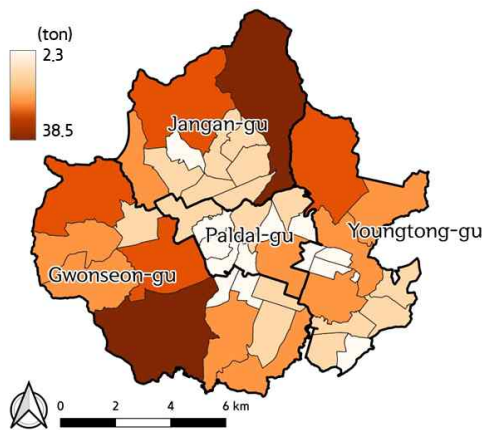
이 0%를 넘지 못하는 경우 공급이 부족한 지역으로 구분하였다. 산림이 포함된 모든 녹지와 도시녹지 각각에 대한 연간 및 월별 평가를 실시하고, 지역의 인구수와 비교하였다.

$$\text{수요-공급 차이 비율(Percentage of mismatch)} = \{(\text{Supply-Demand})/\text{Demand}\} \times 100 \quad (3)$$

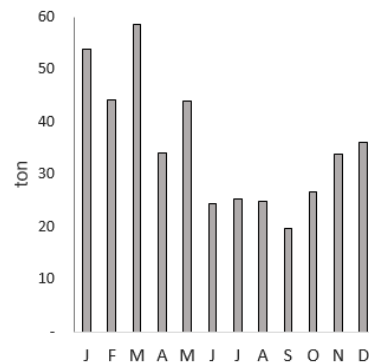
III. 결 과

1. 미세먼지 저감에 대한 수요평가 결과

미세먼지의 연간 수요 평가결과 권선구가 13.7ton으로 가장 높은 수요를 보였고, 장안구 11.6ton, 영통구 8.2ton, 팔달구 4.7ton 순이었다. 동별로는 장안구에 위치한 연무동이 38.5ton으로 가장 높은 수요를 보였고, 권선구에 위치한 평동이 37.8ton으로 두 번째로 높은 수요를 보였다. 팔달구 중심부에 있는 매교동이 2.6ton으로 수요가 가장 낮았고, 그 주변에 있는 매산동, 고등동, 지동 등이 2.8~3.5ton정도의 수요를 가졌다(Fig 3). 이러한 결과는 동별 면적이 반영되기 때문에 면적의 영향을 일부 받은 것으로 보인다. 그러나 미세먼지를 환산하는 과정에서 도로 면적에 가중을 두어, 실제 값과 최대한 가깝도록 처리하였다.



(a) Annual PM<sub>10</sub> removal demand



(b) Monthly PM<sub>10</sub> removal demand

Figure 3. Result of demand assessment.

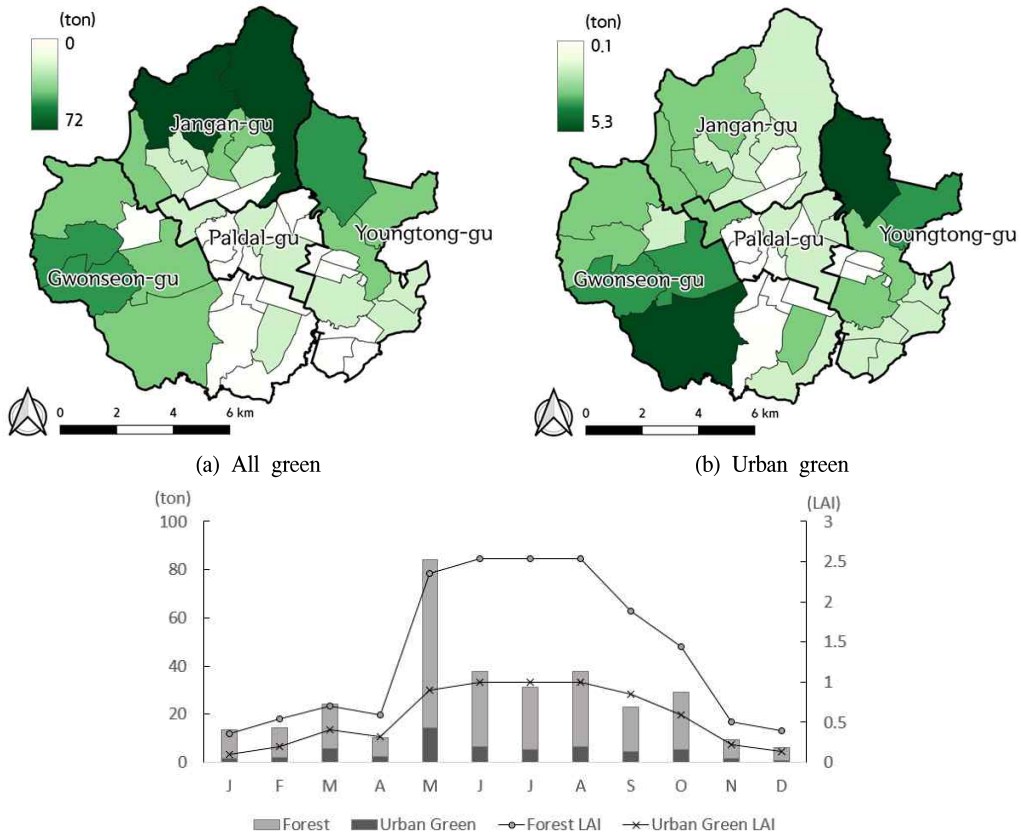
월별 미세먼지 분석 결과 3월에 높게 나타났고, 계절적으로는 봄과 겨울에 높은 것으로 분석되었다. 미세먼지 농도는 일반적으로 봄과 겨울에 높게 나타나는데(MOE, 2020), 이와 유사한 추세를 보였다.

**2. 미세먼지 저감에 대한 공급평가 결과**

공급평가는 토지피복상 산림지역과 초지로 구분된 모든 녹지와 도시녹지로 구분하여 분석하였다. 분석결과 수원시 모든 녹지의 연간 공급량은 장안구 16.8ton, 영통구 5.7ton, 권선구 5.5ton, 팔달구 1.9ton이었다. 장안구에 위치한 연무동과 파장동의 녹지는 각각 71.7ton, 61.6ton을 흡착하였고 영통구에 위치한 광교 1동이

37.7ton을 흡착 하였다. 해당지역들은 산림의 면적이 넓은 동이었다(Fig 4). 수원시 중심부에 있는 팔달구 내에 잔존산림이 있는 화서2동과 행궁동의 미세먼지 흡착량이 각각 4.4ton, 3.3ton으로 두 동에 인접해 있는 화서 1동에 비해 1.6~2.6ton 높았다. 미세먼지 흡착량은 산림 면적이 넓거나 잔존산림이 있는 곳에서 높았다.

도시녹지를 통한 미세먼지 흡착량은 모든 녹지와는 다른 경향을 보였다. 공급량이 가장 많은 구는 권선구로 1.7ton이었고, 영통구 1.5ton, 장안구 1.1ton, 팔달구 0.7ton이었다. 동별로는 영통구에 위치한 광교1동과 권선구에 위치한 평동의 흡착량이 각각 5.2ton, 5.0ton으로 높게 나타났고 전체 녹지에서 가장 공급량이 높았던 연무



(c) Monthly Supply and LAI  
**Figure 4.** Result of supply assessment.

동과 파장동은 1.5ton, 2.3ton으로 중위에서 중상위 정도의 수준이었다. 산림 면적이 넓은 동은 도시공원을 추가적으로 조성할 필요성이 상대적으로 낮아 이와 같은 결과가 도출된 것으로 분석하였다.

공급량에 영향을 주는 엽면적 지수의 월별 분석결과 1~4월에 1을 초과하지 않지만 5월에는 두 배 이상 증가하고 11월이 되면 다시 1보다 낮아진다. 도시녹지의 엽면적 지수도 산림과 유사한 경향성을 보이지만 수목 밀도가 낮고 면적이 작기 때문에 산림보다 엽면적 지수가 다소 낮게 산출되었다. 월별 미세먼지 흡착량을 비교한 결과 엽면적 지수 값이 급격히 높아지는 시기인 5월의 공급량이 가장 높았다. 하지만 엽면적 지수 값이 가장 높은 6~8월에는 강우일이 많아 5월에 비해 미세먼지 흡착량이 높지 않았다.

**3. 미세먼지 저감에 대한 수요와 공급 차이 평가 결과**

미세먼지 저감 수요-공급 평가결과를 바탕으로 연간 수요와 공급이 차이가 있는 지역을 도출하였다(Fig 5). 모든 녹지의 공급량으로 차이를 분석한 결과 산림이 많은 지역에서 공급이 우세하였다. 수원시 4개 구 중에서는 장안구만 공급량이 수요량을 초과하였고 동별로는 장안구

에 위치한 연무동과 파장동, 영통구에 위치한 광교 1동, 권선구에 위치한 금곡동과 호매실동의 공급량이 수요량을 초과하였다. 그 외 지역에서는 모두 수요량보다 공급량이 적었고, 팔달구가 가장 낮았다. 동별로는 권선구 남쪽에 위치한 서둔동, 평동, 세류2동, 곡선동, 권선1동, 권선2동, 세류3동 등은 전반적으로 공급량이 부족하였다. 이 중 평동, 권선2동, 서둔동은 인구수도 많아 수요량 충족이 중요하였다. 도시녹지의 공급량으로 차이를 분석한 결과 모든 동에서 수요량을 충족하지 못하였고 인구수가 많아 공급이 우선적으로 필요한 동은 평동, 서둔동, 호매실동, 권선 2동 등이었다.

미세먼지 저감에 대한 연간 차이 평가 결과 권선구에 위치한 서둔동, 평동, 권선2동, 팔달구에 위치한 인계동, 영통구에 위치한 매탄3동은 모든 녹지 및 도시녹지의 공급량이 수요에 비해 낮고, 인구수가 다른 지역에 비해 상대적으로 높아 녹지계획 수립 시 우선적인 고려되어야 할 지역이라고 분석하였다.

수요와 공급이 차이나는 지역을 월별로 분석하였다(Fig 6). 모든 녹지의 공급량으로 차이를 평가한 결과, 미세먼지 발생이 높은 1~4월, 11~12월에는 대부분 지역에서 공급이 부족하였고, 지역별 평균 공급량은 약 58.3(SD±28.4)%

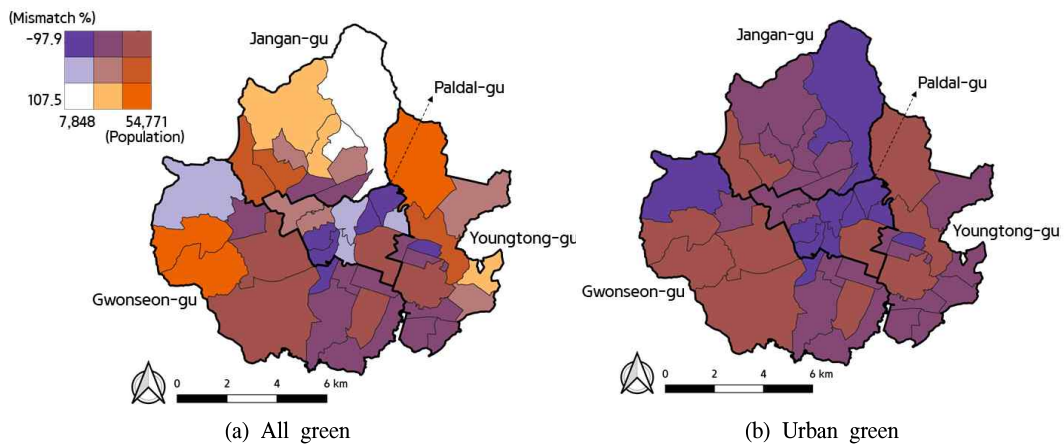


Figure 5. Annual mismatch district and population.

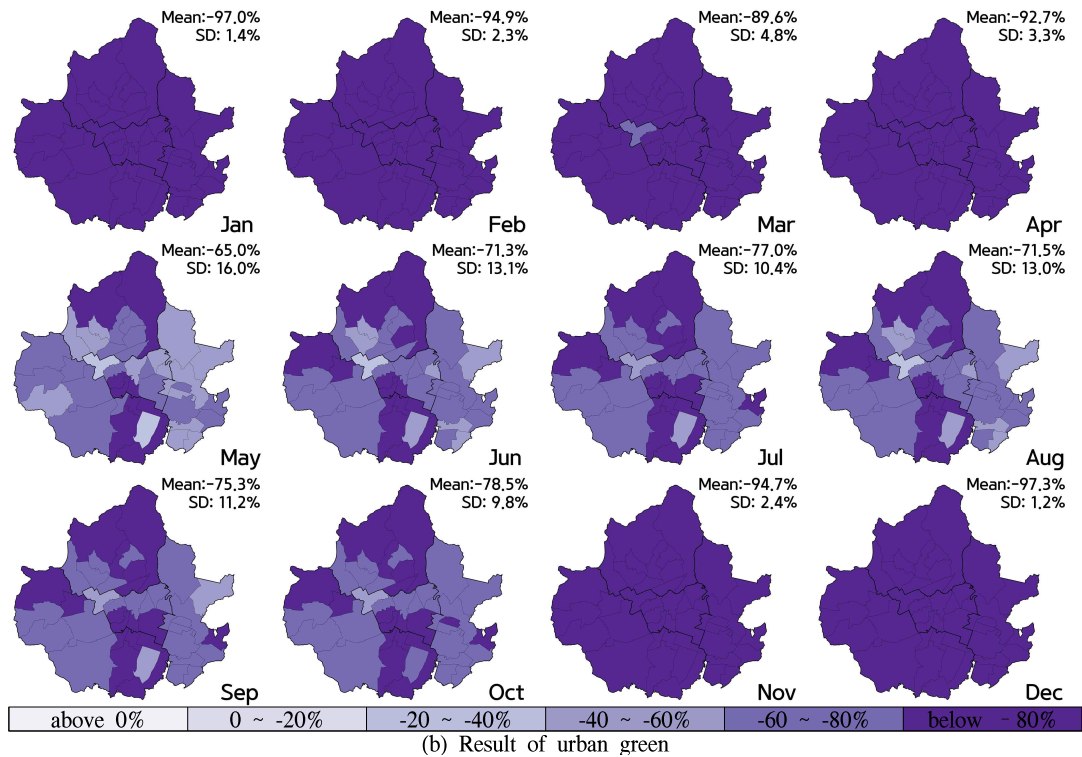
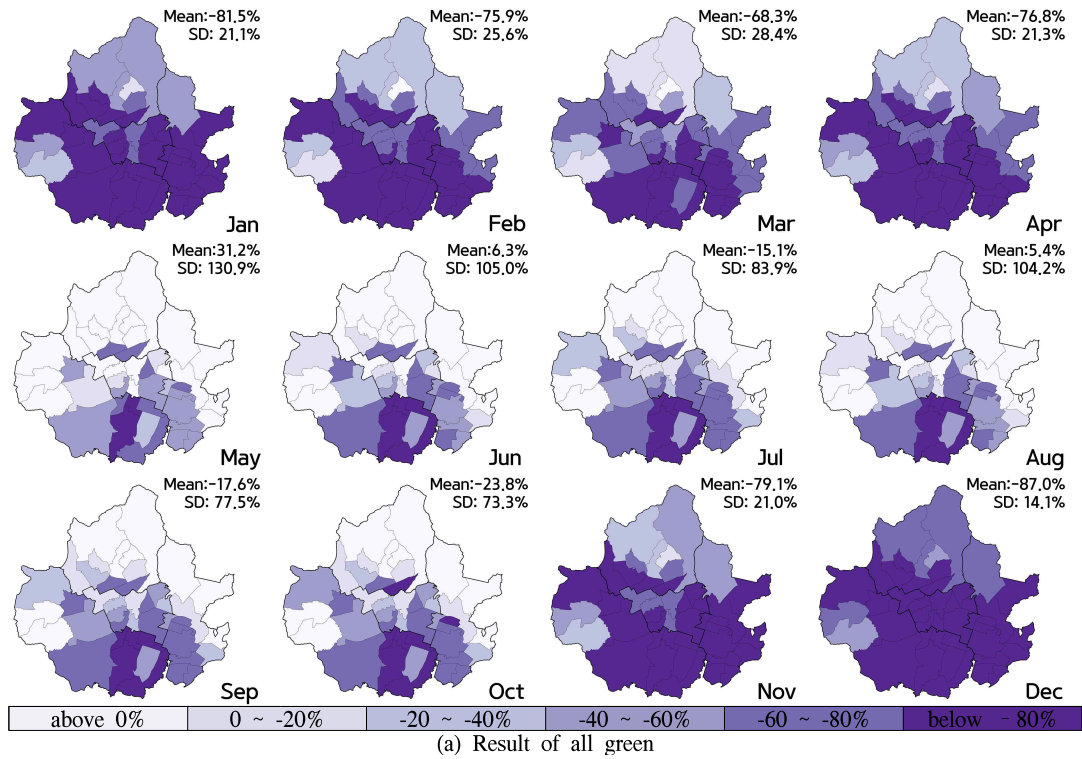


Figure 6. Mismatch district.



부족한 것으로 평가되었다. 미세먼지 발생이 상대적으로 낮은 5~10월은 장안구 북쪽에 위치한 연무동과 파장동 및 권선구 서쪽에 위치한 금곡동과 호매실동의 공급이 우세하였으나 그 외 지역은 부족하였다. 평균 공급량은 5월이 31.2%로 가장 높았고 12월이 - 87%로 가장 부족하였다. 5월은 4월보다 수요량이 높았지만, 5월의 미세먼지 흡착량이 높아 수요량보다 공급량이 초과하였다. 하지만 월별 차이를 평가한 결과의 표준편차가 커 공급이 충분한 동인 파장동, 연무동 등과 공급이 낮은 동인 세류 2동, 곡선동 등과의 격차가 큰 것으로 분석되었다. 도시녹지 공급량을 기준으로 분석한 결과 모든 녹지와 마찬가지로 1~4월, 11~12월에는 거의 모든 동에서 공급량이 90% 가까이 부족하였다. 하지만 가장 공급이 높은 5월도 수요량 대비 65%가 부족하였다.

녹지의 공간적 특성에 따른 미세먼지 수요-공급 차이를 평가한 결과, 모든 녹지는 산림 비율이 높은 지역에서 공급이 우세하였으나 도시녹지는 전반적으로 공급이 부족하였다. 큰 면적의 산림이 미세먼지 저감에 탁월한 효과를 보이지만(Cavanagh et al., 2009; Yin et al., 2011), 대부분 도시 외곽지역에 분포하여 도시민이 직접적으로 혜택을 느끼기에 한계가 있다. 반면, 도시녹지는 산림에 비해 미세먼지 저감 효과가 크진 않지만 도시민의 가까운 거리에 위치해 미세먼지 저감이라는 실질적 혜택을 부여한다는 측면에서 그 중요성은 부각될 것이다(Abhijith and Kumar, 2019 ; Abhijith et al., 2017 ; Baldauf, 2017; Bikkina et al., 2019; Twiri et al., 2019).

미세먼지 저감에 대한 수요와 공급은 월별 특성에 따라 차이를 보였다. 미세먼지 계절관리제가 시행되는 1~4월, 11~12월 기간 동안 공급이 대체로 부족하였다. 5~10월은 그 외의 월에 비해 공급량이 다소 높았고 특히 5월이 가장 높았다. 겨울이나 봄철에 지역 전체의 수요-공급 차이가 높아, 미세먼지 계절관리제와 같은 추가적인 정책적 수단이 필요한 것으로 보인다(Javed

& Zaineb, 2021; MOE, 2020).

## VI. 결론 및 고찰

본 연구는 미세먼지 문제를 수요와 공급 측면으로 나누어 녹지에 따른 미세먼지 저감 혜택이 충분한지를 살펴보았다. 미세먼지 저감 수요량을 추정하기 위해 측정소에 도로 농도 가중을 통하여 동별 미세먼지 발생량을 평가하였다. 미세먼지에 대한 생태계서비스 공급량을 평가하기 위해 모든 녹지와 도시 녹지로 나누어 미세먼지 흡착량을 평가하였다. 수요량과 공급량을 활용하여 수원시의 미세먼지 저감에 대한 수요-공급 차이가 나는 지역과 그 정도를 월별로 평가하였다. 모든 녹지의 연간 공급량을 분석한 결과 수원시 4개 구 중 장안구가 수요대비 초과 공급을 제공하였고 동별로는 수원시 북쪽에 위치한 연무동, 파장동, 광교1동, 송죽동, 조원2동, 수원시 서쪽에 위치한 금곡동, 호매실동이 수요 대비 초과 공급을 제공하였다. 그 외 지역에서는 공급량이 부족하였다. 도시녹지만을 공급대상으로 분석한 경우, 모든 구와 동에서 수요 대비 연간 공급량이 부족하였다. 특히, 계절관리제가 시행되는 12월에서 3월사이의 미세먼지 저감에 대한 수요-공급 차이가 큰 것으로 분석되었다.

이번 연구는 수요-공급 평가를 통해 수원시 미세먼지 저감 기능을 하는 녹지가 부족한 지역을 공간 분석 했다는 점에서 의의가 있다. 또한 수요 및 과학적 근거 기반의 도시녹지 및 미세먼지 저감 정책을 수립하거나 제시할 수 있는 계기를 마련하였다고 할 수 있다(Lin, 2020; Song et al., 2020). 미세먼지 저감에 관한 수요와 공급을 공간적으로 파악하여 미세먼지 저감 수요가 높은 지역과 그 비율을 분석 하였다. 이를 활용하여 행정동 단위의 공원녹지 조성, 가로수 식재 등과 같은 세밀한 공간 정책의사결정이 가능할 것이다. 또한 월별평가는 시간적 특성에 따라 변화하는 요소의 반영과 수요에 관한 변화를

탐색해 지속적으로 공급이 요구되는 지역을 도출할 수 있었다. 다만 계절관리제가 시행되는 겨울이나 봄철에 지역 전체의 수요-공급 차이가 큰 것으로 보아 교통이나 발전시설 제한과 같은 추가적인 정책적 수단이 필요한 것으로 보인다 (Javed & Zaineb, 2021; MOE, 2020; Suwon, 2020; Tian et al., 2019; MOE, 2016).

인체 위해성이 높은 미세먼지 문제는 지속적으로 발생하고 있다. 특히 인구가 집중된 도시는 미세먼지의 위험도가 상대적으로 높다(Kim & Kim, 2011). 중앙 및 지방정부는 비산먼지 저감, 노후경유차 운행 중지 등 미세먼지 배출을 저감하는 다양한 정책이 실행 중이며, 생태적(환경적) 차원에서도 미세먼지 흡착을 위해 녹지를 조성하는 등 다양한 노력을 기울이고 있다 (MOE, 2016; 2020; Suwon, 2020). 미세먼지 저감에 대한 수요와 공급 평가를 통해 수요-공급이 차이나는 지역을 도출, 우선적으로 정책투입이 필요한 지역을 선정한다면, 도시의 효율적 관리와 함께 구성원이 녹지의 혜택을 안정적으로 제공받을 수 있는 형평성을 제고할 수 있다. 이를 위해선 Burkhard(2012)가 언급한 것처럼 공간분석을 통한 접근이 유효하다.

미세먼지 저감 수요를 산출하는 미세먼지 관측데이터는 지역규모와 비례하는 측면이 있어, 모든 지역을 동일하게 평가하기에 한계가 있다. 세분류 토지피복도의 기타초지 항목을 도시녹지로 규정한 부분도 도시규모에 따라 반영 정도의 편차가 크다. 또한 7-8월 위성영상 취득의 한계로 미세먼지 흡착량 추정이 다소 미흡하였다.

그럼에도 미세먼지 저감에 대한 수요-공급 차이나는 지역의 공간적 분포와 정도를 정량적으로 평가하여 산림 보존, 녹지 조성 및 해제 우선 지역 등을 위한 기초자료를 작성했다는 점에서 의미가 있다. 향후 자료 획득의 정확성을 높이고 평가방법을 고도화한다면 미세먼지 저감을 위한 정책적 의사결정 과정에서 효과적인 활용이 이루어질 것이다.

## References

- Abhijith, K. V., & Kumar, P. (2019). Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Atmospheric environment*, 201, 132-147.
- Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., ... & Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments—A review. *Atmospheric Environment*, 162, 71-86.
- Bae HJ. (2011). Study on air pollution and health effect by climate change.
- Bikkina, S., Andersson, A., Kirillova, E. N., Holmstrand, H., Tiwari, S., Srivastava, A. K., ... & Gustafsson, Ö. (2019). Air quality in megacity Delhi affected by countryside biomass burning. *Nature Sustainability*, 2(3), 200-205.
- Baldauf, R. (2017). Roadside vegetation design characteristics that can improve local, near-road air quality. *Transportation research part D: Transport and environment*, 52, 354-361.
- Baró, F., Palomo, I., Zulian, G., Vizcaino, P., Haase, D., & Gómez-Baggethun, E. (2016). Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: A case study in the Barcelona metropolitan region. *Land use policy*, 57, 405-417.
- Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological economics*, 63(2-3), 616-626.
- Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, & Müller F. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*. 21: 17-29.
- Cavanagh, J. A. E., Zawar-Reza, P., & Wilson, J. G.

- (2009). Spatial attenuation of ambient particulate matter air pollution within an urbanised native forest patch. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(1), 21-30.
- Chen, J., Jiang, B., Bai, Y., Xu, X., & Alatalo, J. M. (2019). Quantifying ecosystem services supply and demand shortfalls and mismatches for management optimisation. *Science of the Total Environment*, 650, 1426-1439.
- Chen, L., Liu, C., Zou, R., Yang, M., & Zhang, Z. (2016). Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment. *Environmental Pollution*, 208, 198-208.
- Choi TY., Kang DI, Cha JG(2019). An Analysis of the Correlation between Seoul's Monthly Particulate Matter Concentrations and Surrounding Land Cover Categories. *J. Environ. Impact Assess.* 28(6): 568~579 [Korean Literature]
- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological complexity*, 7(3), 260-272.
- Fuchs, N.A. (1964). *The Mechanics of Aerosols*. Pergamon Press, New York.
- Han, D., Shen, H., Duan, W., & Chen, L. (2020). A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48, 126565.
- Ho, C. C., Chan, C. C., Cho, C. W., Lin, H. I., Lee, J. H., & Wu, C. F. (2015). Land use regression modeling with vertical distribution measurements for fine particulate matter and elements in an urban area. *Atmospheric Environment*, 104, 256-263.
- Javed, M., Bashir, M., & Zaineb, S. (2021). Analysis of daily and seasonal variation of fine particulate matter (PM 2.5) for five cities of China. *Environment, Development and Sustainability*, 1-29.
- Jeong JC., & Lee SH (2018). Spatial distribution of particulate matters in comparison with land-use and traffic volume in Seoul, Republic of Korea. *Journal of Cadastre & Land InformatiX* 48(1):123-138 [Korean Literature]
- Jo, HK., Cho, YH., Ahn, TW. (2003). Effects of Urban Greenspace on Improving Atmospheric Environment -Focus on Jung-gu in Seoul-. *J Korean Inst Landsc Archit* 31(3), 114-121 [Korean Literature]
- KOSIS(KOrean Statistical Information Service). (2019). Korean city statistics.[internet]
- Kim, IK., Kim, SH., Lee, JH & Kwon, HS (2018). Analysis on Ecosystem Service Hotspots Based on Regional Environmental Stakeholders' Perception – A case study of Ansan – *J. Environ. Impact Assess.* 27(5): 417~430[Korean Literature]
- Kim, WS., & Kim, JA. (2011). A Study of Building Customized Management Strategies Based on Local PM10 Emission Inventory in Seoul. The Seoul Institute.[Korean Literature]
- Larondelle, N., & Lauf, S. (2016). Balancing demand and supply of multiple urban ecosystem services on different spatial scales. *Ecosystem Services*, 22, 18-31.
- Lee, JH., Park, HJ., Kim, IK., Kwon, HS (2018). Issue Difference of Ecosystem Service Demand and Supply through Text Mining Analysis: Case Study of Shiheung using Complaints and Urban Planning Materials. *Journal Of The Korean Society Of Rural Planning* Vol. 24, No. 3, 063-071[Korean Literature]
- Lin, J. (2020). Developing a composite indicator to prioritize tree planting and protection

- locations. *Science of the Total Environment*, 717, 137269.
- Nguyen, T., Yu, X., Zhang, Z., Liu, M., & Liu, X. (2015). Relationship between types of urban forest and PM<sub>2.5</sub> capture at three growth stages of leaves. *Journal of Environmental Sciences*, 27, 33-41.
- NAPES(National Air Pollutants Emission Service) [internet]. (2020). [cited 2020 may 13]. available from: [https://airemiss.nier.go.kr/user/boardList.do?handle=160&siteId=air-emiss&id=airemiss\\_030500000000](https://airemiss.nier.go.kr/user/boardList.do?handle=160&siteId=air-emiss&id=airemiss_030500000000)
- Nguyen, T., Yu, X., Zhang, Z., Liu, M., & Liu, X. (2015). Relationship between types of urban forest and PM<sub>2.5</sub> capture at three growth stages of leaves. *Journal of Environmental Sciences*, 27, 33-41.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4(3-4), 115-123.
- Nowak, D. J., McHale, P. J., Ibarra, M., Crane, D., Stevens, J. C., & Luley, C. J. (1998). Modeling the effects of urban vegetation on air pollution. In *Air pollution modeling and its application XII* (pp. 399-407). Springer, Boston, MA.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental pollution*, 193, 119-129.
- MA(Millennium Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- MOE(Ministry of Environment). (2013). *Guidelines for Construction of Land Cover Map*. [Korean Literature]
- MOE(Ministry of Environment). (2016). *If you know right away. Particulate Matter, what is it?*[Korean Literature]
- MOE(Ministry of Environment).(2020). *The 2nd Particulate Matter Seasonal Management System Implementation plan* [Korean Literature]
- Petroff, A., Mailliat, A., Amielh, M., & Anselmet, F. (2008). Aerosol dry deposition on vegetative canopies. Part I: review of present knowledge. *Atmospheric Environment*, 42(16), 3625-3653.
- Park CR., Park EH., Yoo SY., Lee MJ., Son SH., Roh GP, Myeong GD., Je SM., Gu NI, Oh JH, Kim KH. (2017). *The Lungs of the City, Urban Forests*. National Institute of Forest Science.
- Powe, N. A., & Willis, K. G. (2004). Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>) absorption attributable to woodland in Britain. *Journal of environmental management*, 70(2), 119-128.
- Song II, & Yoon CR(2019). *Establishment and Utilization of Ecosystem Service Assessment in Seoul*. The Seoul Institute Report. 1-169. [Korean Literature]
- Song, P., Kim, G., Mayer, A., He, R., & Tian, G. (2020). Assessing the ecosystem services of various types of urban green spaces based on i-tree eco. *Sustainability*, 12(4), 1630.
- Suwon :Particulate matter [internet]. (2020). [cited 2020 oct 8]. available from: [https://www.suwon.go.kr/web/board/BD\\_board.view.do?bbsCd=1043&seq=20190711174255736&](https://www.suwon.go.kr/web/board/BD_board.view.do?bbsCd=1043&seq=20190711174255736&)
- Ten Brink, P., Mutafoglu, K., Schweitzer, J. P., Kettunen, M., Twigger-Ross, C., Baker, J., ... & Ojala, A. (2016). *The health and social benefits of nature and biodiversity protection. A report for the European Commission (ENV. B. 3/ETU/2014 /0039)*. London/Brussels: Institute for European Environmental Policy.
- Tian, Y., Jiang, Y., Liu, Q., Xu, D., Zhao, S., He, L.,

- ... & Xu, H. (2019). Temporal and spatial trends in air quality in Beijing. *Landscape and Urban Planning*, 185, 35-43.
- Tiwari, A., Kumar, P., Baldauf, R., Zhang, K. M., Pilla, F., Di Sabatino, S., ... & Pulvirenti, B. (2019). Considerations for evaluating green infrastructure impacts in microscale and macroscale air pollution dispersion models. *Science of The Total Environment*, 672, 410-426.
- Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., & Wang, W. (2011). Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2155-2163.
- Villamagna, A. M., Angermeier, P. L., & Bennett, E. M. (2013). Capacity, pressure, demand, and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 15, 114-121.