

도시표면의 물리적 요소가 대기질에 미치는 영향

- 중국 창춘을 사례로 -

진완평* · 김태경**

*강릉원주대학교 대학원 환경조경학과 대학원생 · **강릉원주대학교 환경조경학과 교수

Effects of Physical Factors on Urban Surfaces on Air Quality - Chang Chun, China as an Example -

Jin, Quanping* · Kim, Tae Kyung**

*Graduate Student, Dept. of Environmental Landscape, Graduate School of
Gangneung-Wonju National University

**Professor, Dept. of Environmental Landscape, Gangneung-Wonju National University

ABSTRACT

The purpose of this study is to find out the main factors affecting air quality in urban physical space factors, and provide clues for environmental improvement. Nine monitoring stations in China's industrial city, Changchun, collected AQI concentration data from January 1, 2018 to December 31, 2019. This paper analyzes the types and distribution characteristics of urban physical facilities within a radius of 300m with the detection station as the center. The monitoring station is divided into three groups, and the difference in floating dust concentration among the three groups in different seasons is analyzed. The results show that AQI concentration is the highest in spring and winter, followed by summer, and the lowest in autumn. The place with the highest concentrations of AQI in spring are F (93.00), D (91.10), I (89.20), in summer are D (69.05), A (67.89), B (84.44), in autumn are I (62.80), G (60.84), D (53.27), D (53.27), in winter are I (95.82), H (95.60), f (94.04). Through SPSS analysis, it shows that the air index in a space with a diameter of 600 meters is related to forest land, grassland, bare land, water space, tree height, building area (average value), and building volume (average value). According to the statistical analysis results of spring and winter with the most serious pollution, forest land area (43,637m², 15.44%) and water surface area (18,736m², 6.63%) accounted for the majority, and group 1 (A, B, C) with the least average building area (448m², 0.17%) and average building volume (10,201m³) had the lowest pollution concentration. On the contrary, group 2 (D, E, F) had the highest AQI concentration, with less or no woodland (1,917m², 0.68%) and water surface area (0m², 0%), and the highest average building area (1,056m², 0.37%) and average building volume (17,470m³). It is confirmed that the characteristics of the area with the highest AQI concentration are that the more the site ratio of tree height above 12m, the smaller the site ratio of bare land, and the lower the pollution degree. On the contrary, the larger the area of bare land, the higher the pollution degree. By analyzing the characteristics of nine monitoring stations in Changchun, it can be seen that the air quality brought by the physical characteristics of urban space is closely related to the above factors.

Key Words: Urban Architecture, Urban Green Area, Urban Proportion, AQI, Urban Space.

Corresponding author: Quanping Jin, Graduate Student, Dept. of Environmental Landscape, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea, Tel: +82-33-640-2359, E-mail: quanping9798@naver.com

국문초록

본 연구는 도시의 표면을 구성하는 물리적 공간요소 가운데 대기질에 영향을 미치는 주요 요인을 찾아 환경개선을 위한 단서를 제공하는 것이 목적이다. 중국의 산업도시인 창춘의 9개 측정소에서 2018년 1월 1일부터 2019년 12월 31일까지의 AQI 농도 자료를 수집하였다. 측정소를 중심으로 반경 300m 내의 지역을 구성하는 도시의 물리적 시설에 대한 유형과 분포 특징을 분석하였다. 측정소를 3개 그룹으로 나눠 계절별로 미세먼지 농도 차이를 분석한 결과, 봄과 겨울에 AQI 농도가 가장 높고, 다음으로 여름, 가장 낮은 계절은 가을이었다. 봄의 AQI 농도가 가장 높은 곳은 F(93.00) · D(91.10) · I(89.20), 여름 농도가 가장 높은 곳은 D(69.05) · A(67.89) · B(84.44), 가을 농도가 가장 높은 곳은 I(62.80) · G(60.84) · D(53.27), 겨울은 I(95.82) · H(95.60) · F(94.04)이었다. SPSS를 이용한 계열분석을 통해 직경 600m인 공간내의 대기지수는 임야, 초지, 나지, 수공간, 수고, 건축면적(평균치), 건물 체적(평균치)과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 오염이 심한 봄과 겨울의 수치자료를 통계분석한 결과, 임야면적(43,637m², 15.44%)과 수면적(18,736m², 6.63%)이 큰 비율을 차지하고, 건축평균면적(448m², 0.17%)과 건축평균부피(10,201m³)가 가장 적은 그룹 1(A, B, C)구역의 오염 농도가 가장 낮았다. 반대로 그룹 2(D, E, F)구역은 AQI 농도가 가장 높은 구역으로 임야(1,917m², 0.68%)와 수면적(0m², 0%)이 적거나 없고 건축평균면적(1,056m², 0.37%)과 건축평균부피(17,470m³)가 가장 높았다. AQI 농도가 가장 높은 지역의 특징은 가로수의 수고가 12m 이상인 경우가 다수 확인되었고, 나지면적의 비율이 적을수록 오염도가 낮은 것으로 나타났다. 동일한 방법으로 창춘의 9개 공간의 특징을 분석한 결과, 도시 공간의 물리적 특성에 따른 대기질은 위의 요인들과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

주제어: 도시건축, 도시녹지, 도시비율, AQI, 도시공간

1. 서론

중국의 일부 도시들은 급속한 공업화와 대규모 건설, 석탄 난방과 자동차 배기가스 등이 이미 많은 지역의 환경을 악화시킴으로써 국내·외적으로 큰 관심의 대상이 되었다. 국제환경 보호기구 Greenpeace에 따르면 중국 366개 도시의 2017년 상반기 대기오염 상황이 크게 개선되지 않은 가운데 공기질 미달 도시가 77.9%를 차지했으며, 이 중 49개 도시(PM_{2.5}) 평균이 (GB 30952012) 환경 공기질 표준 2등급 기준치보다 2배 이상 높았다. 최근까지 여러 연구들을 통해 미세먼지가 인체에 미치는 위해성이 부각되면서 그에 대한 관심과 우려가 증가되고 있는 상황이다. 관련된 연구들은 미세먼지가 질병 및 사망률과 밀접한 관련이 있음을 보고하고 있으며, 미세먼지 관리를 위한 정확한 현황 진단과 대책 마련이 시급한 상황임을 지적하고 있다.

관련연구에 따르면 대기오염에 영향을 미치는 요소는 매우 많고 복잡하다. 먼저 식물체진능력비교(Zhang *et al.*, 2013)를 통해 식물에 따라 오염저감 효과의 유의미한 상관성이 있음을 밝힌 연구가 있고, Sun(2003)은 지표면의 특징에 따라 낙진의 상태가 크게 차이가 있음을 발견하였다. 연구의 주요 결과로 녹지 유형 중 잔디는 먼지 발생량이 가장 낮으며, 나지는 먼지 발생량이 가장 높다는 결론을 내리고, 이와 함께 잔디가 먼지 발생을 억제하고 있음을 지적하였다. 식물의 잎 표면을 덮고 있는 미세먼지는 잎의 광합성에 영향을 미치는데(Li *et al.*,

2012), 복잡한 엽면 구조를 통해 공기 중 미세먼지를 걸러낼 수 있음(Wang *et al.*, 2015)을 밝힌 연구도 다수 있다. 또한, 런던 지역을 대상으로 한 Tallis *et al.*(2011)의 연구 결과에 따르면 도시 식생은 공기 중의 PM₁₀ 함량을 0.7~2.6% 정도 감소시킬 수 있다고 한다. 임야의 폭, 높이, 밀도, 투과도, 울폐도 등의 요인도 미세먼지감쇠작용에 모두 영향을 주고(Lin *et al.*, 2011), 군락 구조에 따라 미세먼지감쇠작용이 크게 다르며, 복층 구조의 녹지는 단일 구조의 녹지에 비해 미세먼지감쇠작용이 높다(Su *et al.*, 2002; Sun *et al.*, 2004). 수순화와 빗물도 공기 오염을 비교적 크게 감소시킬 수 있는데, 습도가 높을수록 먼지를 막는 데 유리하다는 것을 다수의 연구(Walter *et al.*, 1997)에서 찾을 수 있다. PM_{2.5} 농도와 공기의 상대습도가 현저한 상관관계를 보였으며, (Bao *et al.*, 2016) 습도의 증가가 식물의 잎을 더욱 축축하게 하여 식물의 미세먼지감쇠작용을 향상시키는데 유리하다는 것을 발견하였다(Wang *et al.*, 2015). 15mm 이상의 비가 오면 식물 잎의 먼지가 씻겨져 다시 먼지를 흡착할 수 있다(Chai *et al.*, 2002)는 연구결과도 있다. 건물의 양과 건축 밀도의 정도가 바람에 영향을 미쳐 도시 공기의 질에 간접적으로 영향을 줄 수 있으며, 건축 공간 구조가 미세먼지의 농도에 영향을 주기도 한다. 도시 내부, 도로 등 공간의 확대는 미세먼지의 증가를 초래할 수 있고, 도시의 복잡한 건축 공간 구조도 미세먼지의 농도에 영향을 주었다. 도로가 공기질에 미치는 영향에 관한 연구도 있는데, 베이징이나 우루무치 등 북방 도시

에서의 토양 및 도로의 먼지 기여율은 30~50%인 반면, 광저우 사면 등 남방 도시는 5~34%에 불과한 것으로 분석됐다(Hu *et al.*, 2011). 중국 베이징은 자동차 보유량이 비교적 높고 노면 부하가 대부분의 선진국에 비해 높으며, 이에 따른 교통 먼지 비율도 높아졌다(Li *et al.*, 2004)고 한다. Weng(2006)은 공기 오염과 건축물, 인구 밀도, 교통량 등의 상관관계를 발견하였다.

위의 연구를 통해 나무, 풀, 수경시설이 있는 곳은 대기질에 좋은 영향을 미치고, 상대적으로 건물이나 도로 등의 요소는 나쁜 영향을 미친다는 점을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 대기측정소 주변의 물리적 요소가 AQI 농도에 미치는 영향을 분석하여, 쾌적한 도시환경 조성을 위한 개선 방안을 제시하는 것을 목표로 한다.

II. 선행연구 및 이론적 고찰

1. 식물 및 식물군에 의한 저감연구

20세기 중반부터 미국과 유럽의 일부 국가들은 미세먼지에 대한 광범위한 연구를 시작하였으며, 중국은 1980년대부터 연구를 시작하였다. 현재까지의 연구는 주로 출처분석, 성분분석, 위해성 평가, 변화법칙 등에 집중되어 있다. 사람들의 보건식이 강해짐에 따라 공기질은 전에 없이 중시되고, 도시산림의 미세먼지 제어 역할에 대한 연구도 활발하게 수행되었다. 도시 녹지는 도시환경에서 가장 크고 유일하게 자체정화기능을 가진 생태시스템이며, 시민들에게 상대적으로 깨끗한 레저 공간을 제공하고, 미세먼지 정화 측면에서도 효과적인 역할을 발휘하고 있다.

도시녹지가 '천연적 공기여과기'라 불리는 것은 주로 공기 중의 각종 오염물질을 정화시킬 수 있기 때문이다. 대기오염문제가 비교적 심각한 도시화 지역에서 도시녹지가 미세먼지를 제어하는 내재적 메커니즘을 이해하는 것은 과학적으로 미세먼지 저감능력이 강한 식물자원을 도입하는 기반이다. 현재 도시녹화 방향의 미세먼지저감 메커니즘 관련 연구는 주로 단체 식물이 대기오염에 미치는 영향과 교목식물군락이 대기오염에 미치는 영향의 두 가지 측면이다. 도시숲이 도심내 기류의 속도와 방향에 영향을 미칠 수 있고(Ren *et al.*, 2006), 대면적의 나지는 공기 오염 시간을 연장시킬 수 있다(Zhang *et al.*, 2011). 식재지역과 비식재지역이 대기질에 영향을 미친다(Beckett *et al.*, 1998)고 보았다. Cavanagh *et al.*(2009)은 도시 녹지가 화학적 방식으로 미세먼지를 제거할 수 있다고 하였으며, 관목식물군락과 교목식물군락간에 미세먼지 제거에 대한 효과가 서로 다르다는 결론을 내리고 있다. Wu *et al.*(2008)은 도시녹지의 효율적인 배치에 대해 연구하였으며, 도시녹지와

잔디 면적이 미세먼지 저감에 영향을 미치고 있다(Ren *et al.*, 2006)는 연구는 시사하는 바가 크다고 하겠다. 미세먼지 저감 현상과 녹지의 관계에 대한 연구로서는 Tallis M와 Freer-Smith P(2011)가 두드리지고, 도시오염물과 녹지 농도간의 비율(Liu and Liu, 2000), 도시의 녹지 면적이 미세먼지 저감에 미치는 영향(Guo, 2010), 다양한 구조의 녹지 및 구조가 단일한 녹지의 미세먼지 저감효과에 대한 차이 연구(Li *et al.*, 2012) 등도 충분한 자료로 활용할 수 있다.

최근의 식물군집의 미세먼지 제어와 관련된 연구는 대부분이 나무잎의 작용에 대한 연구이다. 이는 나무잎의 흡진 효과가 계절의 변화에 따라 달라지며(Fang *et al.*, 2007), 잎의 표면 모양이 미세먼지 저감에 대해 일정한 수준의 역할을 하고(Chai *et al.*, 2002) 있으며, 식물군집이 미세먼지에 대해 영향을 준다고 보고 있다. 식물잎이 미세먼지 저감에 미치는 역할(Liu *et al.*, 2002)과 잎의 양이 미세먼지 저감에 미치는 역할(Zheng *et al.*, 2008), 잎면의 각도가 미세먼지 저감에 미치는 역할(Yu, 2008) 등이 유사한 유형의 연구자라고 하겠다. 또 일부는 잎에 부착된 미세먼지는 불규칙적이고 바람과 적은 비의 영향으로 대기 중에 되돌아갈 수 있다(Sehmel, 1980)고 보는 연구결과도 있다. 잎의 습도가 미세먼지 저감에 미치는 영향(Su *et al.*, 2002), 잎 면적이 미세먼지 저감에 미치는 영향(Liu *et al.*, 2002), 잎 표면의 미세먼지 흡수에 대한 선택성(Dzierzanowski *et al.*, 2011), 잎의 표면 무늬가 미세먼지 저감에 대한 역할(Freer *et al.*, 2005), 잎의 미세먼지 제거를 위한 강수와 풍력의 역할(Wang and Li, 2006), 15mm의 강수량이 잎의 미세먼지 제거 가능성(Wang *et al.*, 2006), 식물의 공기 중 이산화탄소 및 불화수소 등 기체 오염물과 납 및 카드뮴 등의 중금속에 대한 흡수 정화능력과 같은 연구들은 식물의 생리적 기작에 초점을 맞추고 있다. 일부의 연구에서는 나무의 크기도 미세먼지 저감에 대해 매우 큰 영향을 미치고 있으며, 식물의 크기와 수형에 따라 그 효과가 다르다(Yu, 2008)고 보기도 한다. 수형, 가지, 잎의 크기와 특징이 미세먼지 저감에 미치는 영향연구(Popek *et al.*, 2013), 줄기와 잎의 생장방식이 미세먼지 저감에 끼치는 영향연구(Pullman, 2009), 교목과 관목의 흡진능력 차이(Su *et al.*, 2002), 침엽수와 활엽수의 미세먼지 저감에 대한 역할(Tallis *et al.*, 2011), 산림, 관목 및 잔디의 흡진 비교 연구(Fowler *et al.*, 2004) 등이 그들이다.

2. 도로상 식재에 의한 미세먼지 저감연구

도로지역이 공기 중의 미세먼지에 미치는 영향에 대한 연구는 대부분 도로 면적이 공기에 미치는 영향을 탐구한다. 현재, 단지 일부 학자들만이 도로변 녹지의 미세먼지의 주요 구성성분인 중금속에 대한 연구를 통해 최적의 도로변 녹지에 대한

너비를 얻고자 하지만 연구결과에는 아직 논란이 있다. Wang *et al.*(2006)의 실험결과, 통행 차량 6만 대/일인 도로양측의 80m 범위는 중금속 오염이 가장 집중된 지역이며, 통행 차량 5~8만 대/일인 도로의 경우 40~60m 폭의 녹지가 중금속 오염 저감방지 효과가 좋다고 밝혔다(Pan *et al.*, 2004). 일부 학자는 중금속 오염을 방지하기 위한 도로변 녹지가 20m(Yang *et al.*, 2012), 40m 또는 50m(Li *et al.*, 2011) 이상이어야 하며, 녹지 내 중금속 오염을 효과적으로 감소할 수 있다(Fowler *et al.*, 2004)고 보았다. 따라서 도로변 녹지의 미세먼지 공기정화 기능은 여전히 심층적이고 체계적 연구가 필요하다. 도로변 녹지의 미세먼지 공기정화 기능은 녹지의 투과, 높이, 폭, 밀도, 울폐도 등의 복합적인 영향을 받는다(Qi *et al.*, 2009). 가로수의 간격이 좁고 가지가 조밀한 경우, 수관은 도로 상공에서 지붕 역할을 함으로써 오염물을 흡수하는 동시에 풍속을 낮추고 거리 내부 기류의 수직 와류를 줄이며, 녹지 내외 기류의 수직 교환을 약화시켜 오염물이 윗층 대기로의 확산을 저해함에 따라 도로 양측의 오염 농도를 높게 한다(Gromke and Ruck, 2009).

3. 식생연계 수순환에 의한 미세먼지 저감연구

물이 도시 공간에 대해 미치는 영향과 관련된 연구는 많지 않고 대부분 물이 식물에 끼치는 영향과 미세먼지 저감 역할에 집중되어 있다. 일반적으로 대기중의 습도가 높을수록 미세먼지 흡착에 유리하며 수순환과 빗물도 대기오염을 크게 줄일 수 있다(Ruijgrok *et al.*, 1997)고 알려져 있는데, Bao *et al.*(2016)은 PM_{2.5} 농도와 공기의 상대적 습도가 유의한 관계를 이룬다는 것을 발견하였다. Wang *et al.*(2015)은 습도의 증가가 식물의 잎을 더 습윤하게 하고, 식물의 미세먼지 흡착 능력을 높여주는 데 이롭다는 것을 발견하였다. Chai *et al.*(2002)은 강우량이 15mm 이상일 경우 식물잎의 미세먼지를 씻어내고, 다시 먼

지를 흡착시킨다는 것을 발견하였다. Flocchini *et al.*(1994)은 경작지 토양 표면의 함수율이 0.56%에서 2%로 증가하였을 경우 미세먼지 억제 효율이 80% 이상에 달할 수 있음을 발견하였다.

III. 조사내용 및 방법

본 연구는 중국 창춘(長春) 대기오염측정망(총 9개, 반경 300m/개소)을 대상으로 AQI(air quality index) 농도와 관련된 토지 자료를 이용하여 공간특성과 상관성을 분석하였다(Figure 1 참조).

연구는 2018년 1월 1일부터 2019년 12월 31일까지¹⁾ 창춘 AQI 모든 측정소의 농도 변화를 먼저 살펴본 뒤 계절적 차이를 파악했다. 다음으로 대기오염측정소 주변의 공기질수 요소에 대한 자료를 만든 뒤 AQI 농도의 높낮이로 측정소를 그룹화했다. 마지막으로 AQI 농도의 차이를 계절적으로 분석해 그룹 간 차이의 원인을 규명하고, AQI 농도가 낮거나 높을 경우의 구체적인 특징을 분석하였다.

연구 대상은 창춘시가 2015년 운영한 창춘 시내에 있는 9개의 측정소로 A정월담, B원림처, C노동공원, D식품공장, E대산공원, F경개구, G버스공장, H고신구, I체신학원 등이다²⁾(Table 1 참조).

AQI 데이터는 중국환경검측총국(www.cnemc.cn) 및 진기망(www.zq12369.com)에서 작성한 자료를 활용하였다. 임야, 초지, 나지, 수면적의 데이터공급원은 GLOBELAN(www.globallandcover.com)이었고, 가로수, 도로폭, 녹지의 데이터는 현지 조사를 하였으며, 가로수의 수고는 적외선 망원경³⁾을 이용하여 수집하였다. 도로 폭은 적외선 측정기⁴⁾를 사용하였고, 건물 자료와 도로면적 관련 데이터는 OpenStreetMap(www.openstreetmap.org)을 사용하여 수집하였다. 이 중 지도 앱은 BIGEMA

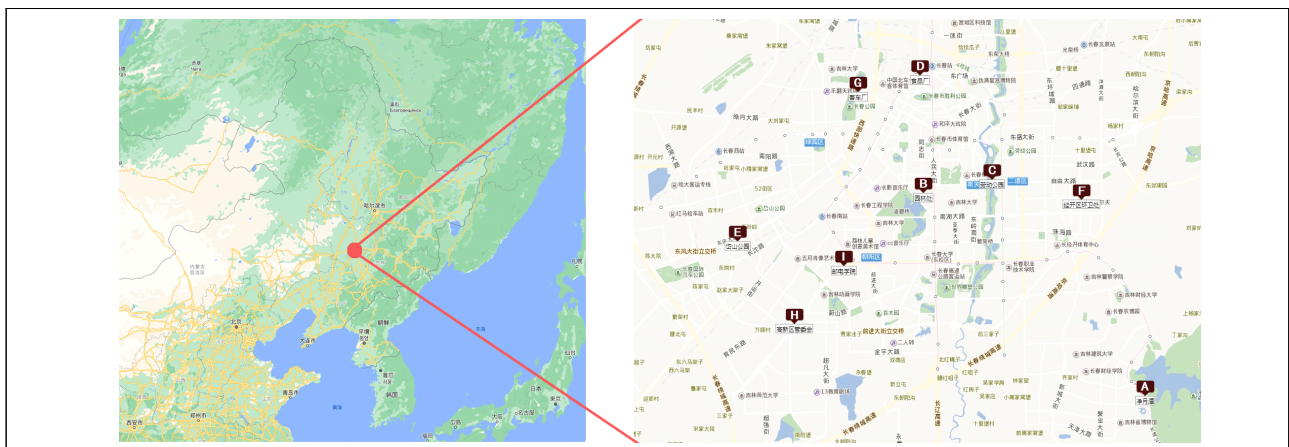


Figure 1. 9 air quality monitoring stations

Table 1. Location of the monitoring stations

Site	Longitude	Latitude
I	125°26'82.3"	43°83'02.7"
H	125°23'79.1"	43°80'62.2"
G	125°27'41.4"	43°89'98.5"
F	125°40'43.8"	43°85'54.4"
E	125°20'98.0"	43°83'30.4"
D	125°31'02.8"	43°90'68.5"
C	125°35'17.2"	43°86'47.1"
B	125°31'18.9"	43°85'96.2"
A	125°44'18.3"	43°77'75.9"

P, 공간자료 분석은 ARC GIS PRO, 통계 관련 분석은 IBM SPSS 26을 사용하였다.

AQI는 대기질 상황을 정량화하여 나타내는 무차원지수이다. 대기질평가 대상이 되는 주요 오염물질로는 PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃, CO 등 6가지가 있다. 대기질지수는 크기에 따라 6개의 등급으로 나눌 수 있으며, 각각 0~50, 51~100, 101~150, 151~200, 201~300 및 300 이상의 6단계이고, 지수가 높을수록 오염이 심각함을 나타내며, 그 등급도 더 높다. 1급은 0~50시로 대기질이 우수하고 오염이 없어 외출하기에 적합하다. 2급인 51~100시는 대기질이 양호하고 오염물이 지극히 적으며 대부분의 사람들이 정상적으로 외출하여 활동할 수 있지만, 비염, 폐렴 등 공기에 민감한 군체는 되도록 외출을 줄여야 한다. 3급인 101~150시는 대기질이 약간 오염되어 있어 외출 활동과 강도 높은 운동을 줄여야 한다. 4급인 151~200시는 대기질이 중급으로 오염되었기에 외출 활동과 강도 높은 운동을 줄여야 한다. 5급인 201~300시는 대기질이 엄중한 오염으로 외출 활동과 강도 높은 운동을 줄이는 것 외에 노인과 어린이에 대한 보호 작업을 중시하고, 폐부 질환과 심장 질환이 있는 노인들은 항상 구급 약물을 대기시켜 공기 오염으로 인한 다른 질병의 발생을 피해야 한다. 6급인 300 이상은 공기가 심각하게 오염된 상태이다. AQI 계산 방법은 아래의 식 (1)과 같다.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (1)$$

식 (1)에서 I_p 는 대상 오염물질의 대기지수점수를 의미하고, C_p 는 대상 오염물질의 대기중 농도를 의미하고, BP_{Hi} 는 대상 오염물질의 오염도 해당 구간에 대한 최고 오염도를 의미하고, BP_{Lo} 는 대상 오염물질의 오염도 해당 구간에 대한 최저 오염도를 의미하고, I_{Hi} 는 BP_{Hi} 에 해당하는 지수값(구간 최고 지수

값)을 의미하며, 마지막으로 I_{Lo} 는 BP_{Lo} 에 해당하는 지수값(구간 최저 지수값)을 의미한다.

AQI 계산방법 중 첫 단계는 각 오염물 등급 농도 한계값(AQI 농도 한계값은 GB3095-2012를 참조한다)과 대조하고, 초미세먼지(PM_{2.5}), 미세먼지(PM₁₀), 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 일산화탄소(CO) 등 각 오염물의 실제 측정 농도값(PM_{2.5} PM₁₀은 24시간 평균 농도)을 각각 계산하여 개별적 대기질지수(individual air quality index, 약칭 IAQI)를 얻는다.

IV. 결과 및 고찰

1. 9개 구역의 AQI

2년 동안 9개 구역의 AQI를 분석한 결과, 평균이 낮은 공간은 A정월담, B원림처, C노동공원, D식품공장 순이었고, 반면 가장 높은 공간은 체신학원이었다. 다음으로 AQI 수치차이의 구체적인 의미를 알아보기 위해 이 공간의 구체적인 오염등급 일수를 분석한 결과, 공기오염이 가장 낮은 A정월담 공간의 1

Table 2. Classification of AQI level from 2018 to 2019

Site	AQI	Level 1(d)	Level 2(d)	Level 3(d)	Level 4(d)	Level 5(d)	Level 6(d)
I	74.40	138(19.77%)	450(64.47%)	88(12.61%)	14(2.01%)	5(0.72%)	3(0.43%)
H	72.31	206(29.51%)	377(54.01%)	82(11.75%)	20(2.87%)	11(1.58%)	2(0.24%)
G	71.84	211(30.23%)	389(52.87%)	89(12.75%)	19(2.72%)	6(0.86%)	4(0.57%)
F	71.53	217(31.09%)	388(52.72%)	84(12.03%)	20(2.87%)	6(0.86%)	3(0.43%)
E	71.00	195(27.94%)	385(52.53%)	82(11.75%)	19(2.72%)	5(0.72%)	0(0.23%)
D	70.35	177(25.36%)	437(62.61%)	71(10.17%)	8(1.15%)	3(0.43%)	2(0.29%)
C	68.72	238(34.10%)	388(52.29%)	79(11.32%)	14(2.01%)	8(1.15%)	1(0.14%)
B	67.90	243(34.81%)	363(52.01%)	71(10.17%)	12(1.72%)	7(1.00%)	2(0.29%)
A	61.46	318(45.56%)	308(44.13%)	55(7.88%)	12(1.72%)	3(0.43%)	2(0.29%)

Table 3. Seasonal average AQI values from 2018 to 2019

Site	Spring	Summer	Autumn	Winter
I	89.20	64.68	62.80	95.82
H	87.84	64.34	52.09	95.60
G	86.56	63.53	60.84	77.15
F	93.00	59.54	52.46	94.04
E	86.47	60.39	51.52	91.01
D	91.10	69.05	53.27	89.63
C	84.60	67.86	51.03	86.32
B	84.44	62.00	52.65	84.76
A	78.71	67.89	40.27	73.21

등급 일수는 318일이었고, 가장 나쁜 체신학원 공간의 1급 일수는 138일이었다(Table 2 참조). 계절별 AQI 평균 농도는 봄과 겨울이 높고, 여름, 가을 순으로 나타났다(Table 3 참조). 마지막으로 대상구역을 3개로 그룹화하여 계절별 AQI 농도가 낮은 공간과 높은 공간의 특징을 분석하였다. 그룹1은 대기오염이 낮은 A정월담, B원림처, C노동공원 구역, 그룹2는 중간단체인 D식품공장, E대산공원, F경개구, 그룹3은 오염도가 높은 G버스공장, H고신구, I체신학원 구역이다(Table 4 참조).

창춘의 AQI는 봄과 겨울이 고농도 시기로 나타났고, 다음은 여름, 가을 순으로 계절에 따라 농도가 달라지는 것을 알 수 있는데, 계절에 따라 극명하게 차이를 보였다.

2. 9개 구역의 물리적 특성

대상지의 대기질에 영향을 미칠 것으로 예상되는 도시 표면의 물리적 요소로는 임야면적, 초지면적, 나지면적, 가로수의

Table 4. Average AQI values of the seasonal group from 2018 to 2019

	Site	Spring	Summer	Autumn	Winter
3	I	87.87	64.18	58.58	89.52
	H				
	G				
2	F	90.19	62.99	52.42	91.56
	E				
	D				
1	C	82.58	66.12	47.98	81.43
	B				
	A				

종류, 가로수의 수량, 가로수의 수고, 수공간 면적, 건물의 수량, 건축 대지면적, 건물의 높이(평균값), 건물의 연면적(평균값), 건물의 부피(평균값)와 도로폭 등이 있다(Table 5 참조).

9개 구역 중에서 임야 면적 비율이 높은 구역은 A구역

Table 5. Factor analysis of 9 sites 1

Site	Land			Roadside trees			Water space	Gross area (m ²)
	Forest land(m ²) ^a	Meadow(m ²) ^b	Bare ground(m ²) ^c	Type	Number	Height(m)	Water area(m ²) ^d	
I	38,692(13.69%)	8,345(2.95%)	59,760(21.15%)	Whitewood	152(100%)	10	888 (0.31%)	282,600
H	14,489(5.13%)	4,459(1.58%)	35,384(12.52%)	Whitewood	251(48.74%)	4	0 (0.00%)	
				Pine	245(47.57%)	6		
				Willow	19(3.69%)	6		
G	62,529(22.13%)	9,102(3.22%)	21,880(7.74%)	Pine	101(23.71%)	6	1,718 (0.61%)	
				Whitewood	78(18.31%)	10		
				Whitewood	189(44.37%)	6		
				Paulownia tree	58(13.62%)	6		
F	5,753(2.04%)	3,966(1.40%)	5,140(1.82%)	Paulownia tree	79(9.04%)	6	0 (0.00%)	
				Pine	124(14.19%)	6		
				Whitewood	74(8.47%)	12(이상)		
				Whitewood	559(63.96%)	6		
				Italian poplar	15(1.72%)	3		
				Willow	23(2.63%)	6		
E	0(0.00%)	8,864(3.14%)	0(0.00%)	Whitewood	120(76.43%)	12	0 (0.00%)	
				Willow	3(1.91%)	6		
				Whitewood	34(21.66%)	6		
D	0(0.00%)	10,512(3.72%)	21,880(7.74%)	Italian poplar	24(26.97%)	3	0 (0.00%)	
				Whitewood	24(26.97%)	4		
				Whitewood	28(31.46%)	12(이상)		
				Benjamin Rubber	13(14.61%)	6		
C	68,901(24.38%)	0(0.00%)	9,303(3.29%)	Willow	278(62.05%)	10	93,682 (33.15%)	
				Willow	106(23.66%)	4		
				Bizul tree	64(14.29%)	6		
B	0(0.00%)	2,828(1.00%)	8,219(2.91%)	Whitewood	31(24.60%)	6	0 (0.00%)	
				Whitewood	95(75.40%)	12(이상)		
A	147,370(52.15%)	16,845(5.96%)	7,174(2.54%)	Whitewood	213(100%)	12(이상)	0(0.00%)	

a: 울폐도 >40%의 천연림과 인공림을 말한다. 소재림, 경제림, 방호림 등으로 숲을 이룬다는 것을 말한다.

b: 초본식물이 주로 자라는 5% 이상의 다양한 초지를 말하며, 목축 위주의 관목초지와 울폐도 10% 이하의 소림초지를 포함한다.

c: 지표면 토질로 덮여 있고, 식생피복도가 5% 이하인 땅을 말한다.

d: 자연적으로 형성되거나 인공적으로 굴착된 하천 및 주요 수위 이하의 토지를 말한다. 인공수로에 제방을 포함한다.

(147,370m², 52.15%), C구역(68,901m², 24.38%), G구역(62,529m², 22.13%)이고, 낮은 구역은 E·D·B구역(0m², 0%)임을 알 수 있다. 초지 면적 비율이 높은 구역은 A구역(16,845, 5.96%), D구역(10,512, 3.72%), G구역(9,102, 3.22%)이고, 낮은 구역은 F구역(3,966m², 1.40%), B구역(2,828m², 1.00%), C구역(0m², 0.00%)이다. 나지 면적 비율이 높은 구역으로는 I구역(59,760m², 21.15%), H구역(35,384m², 12.52%), G구역(21,880m², 7.74%)인 반면, 낮은 구역은 A구역(7,174m², 2.54%), F구역(5,140m², 1.82%), E구역(0m², 0.00%)임을 확인할 수 있었다. 임야, 초지, 나지의 비율을 보았을 때, I구역에서 A구역으로 갈수록 점진적으로 임야와 초지의 비율은 높아지고, 나지의 비율은 낮아지는 것을 알 수 있다(Table 6 참조).

9개 구역 중에서 수종이 많은 네 구역은 F구역(5종)과 G·H·D구역(3종)이었고, A·B·I구역은 단일 수종이 식재되어

있었다. 400주 이상의 수목이 식재된 F구역(874주), H구역(515주), C구역(448주)은 수목량이 많은 구역으로 분류할 수 있는 반면, I구역(152), B구역(126주), D구역(89주)은 수목량이 하위권인 구역이었다. 수고 12m를 기준으로 볼 때 이상의 수목 비율이 높은 구역으로는 A구역(100%), B구역(75.40%), E구역(76.43%)순이었고, 비율이 낮은 구역으로는 F구역(8.47%)과 H·I구역(0%)순으로 나타났다. A구역에서 I구역 순으로 12m이상의 수고 비율이 점차 낮아지는 것으로 분석되었다(Table 7 참조).

9개 구역 중에서 C구역 93,682m²(33.15%), G구역 1,718m²(0.61%), I구역 888m²(0.31%), 그 외의 구역은 수공간이 분포하지 않는 것으로 조사되었다.

건축면적이 가장 큰 구역으로 B구역(170동), F구역(94동), D구역(91동)이었고, 적은 구역으로는 C구역(39동), E구역(70

Table 6. Spatial structure of sites

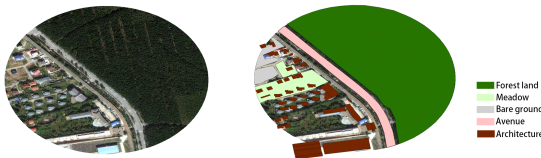
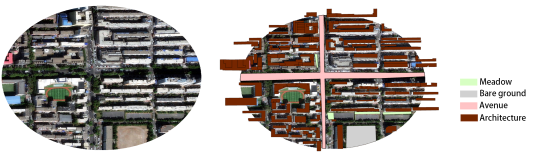
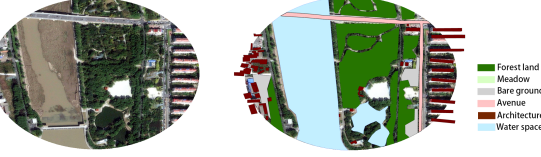
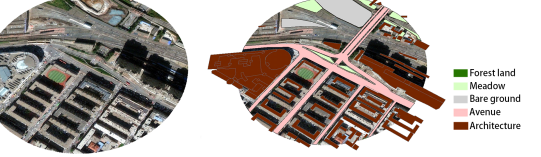
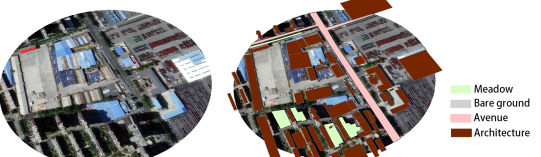
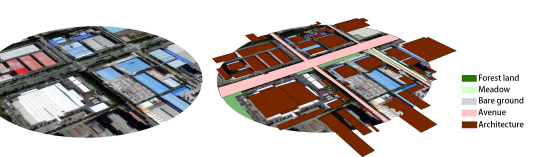
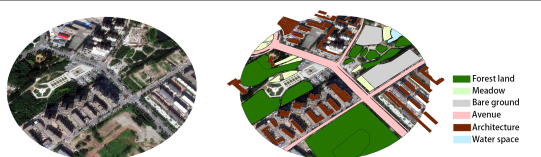
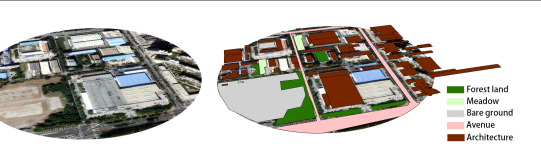
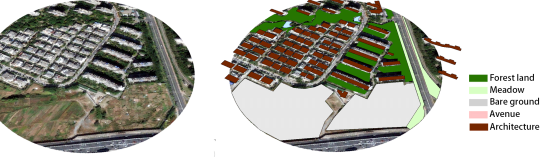
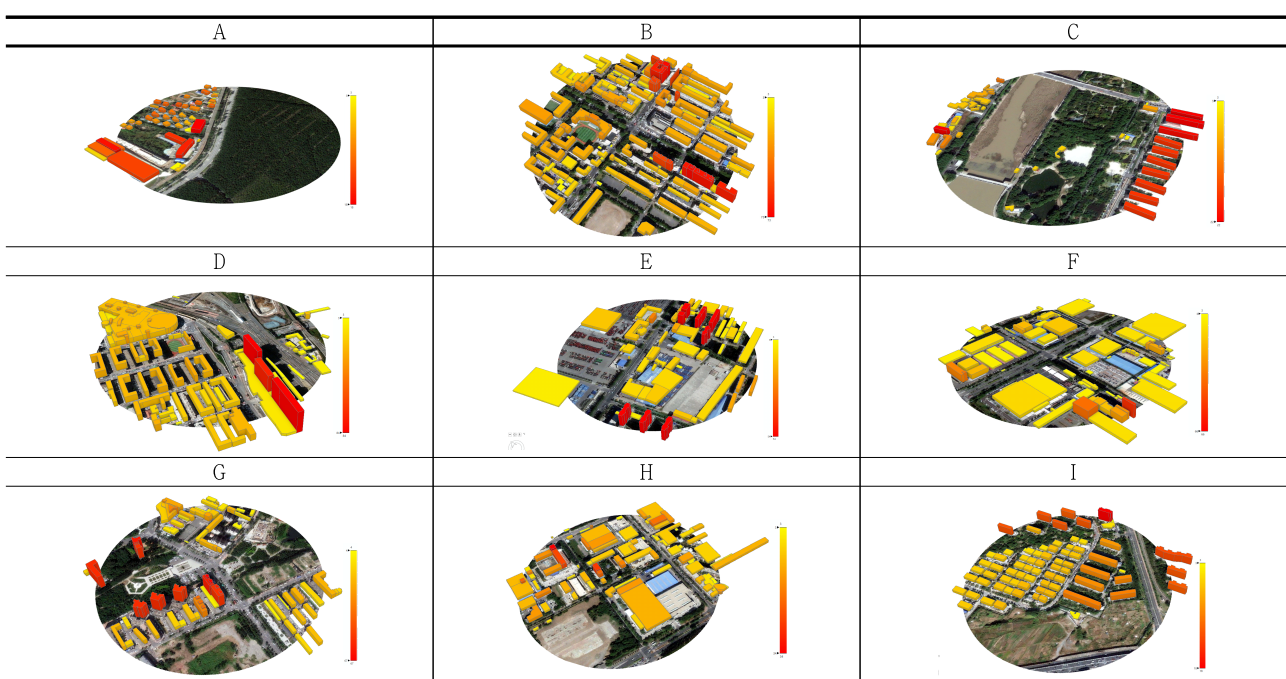
A	B
 <ul style="list-style-type: none"> Forest land Meadow Bare ground Avenue Architecture 	 <ul style="list-style-type: none"> Meadow Bare ground Avenue Architecture
C	D
 <ul style="list-style-type: none"> Forest land Meadow Bare ground Avenue Architecture Water space 	 <ul style="list-style-type: none"> Forest land Meadow Bare ground Avenue Architecture
E	F
 <ul style="list-style-type: none"> Meadow Bare ground Avenue Architecture 	 <ul style="list-style-type: none"> Forest land Meadow Bare ground Avenue Architecture
G	H
 <ul style="list-style-type: none"> Forest land Meadow Bare ground Avenue Architecture Water space 	 <ul style="list-style-type: none"> Forest land Meadow Bare ground Avenue Architecture
I	
 <ul style="list-style-type: none"> Forest land Meadow Bare ground Avenue Architecture 	

Table 7. Street tree density and distribution



Table 8. Building status distribution



동), A구역(56동)으로 조사되었다. 대지면적이 높은 구역으로는 F구역($122,572\text{m}^2$, 43.37%), B구역($88,376\text{m}^2$, 31.27%), E구역($87,743\text{m}^2$, 31.05%)인 반면, 적은 구역은 C구역($17,362\text{m}^2$, 6.14%), A구역($24,918\text{m}^2$, 8.82%), G구역($34,453\text{m}^2$, 12.19%)으로 나타났다. 건물의 평균 높이가 높은 구역은 B구역(24m), G구역(23m), D구역(21m), 낮은 구역은 C·F구역(11m), A구역(9m)이었으며, 건물의 평균 연면적이 넓은 구역은 F구역($1,290\text{m}^2$), E구역($1,236\text{m}^2$), H구역(998m^2), 좁은 구역은 C구역(434m^2), A구역(437m^2), G구역(442m^2)으로 나타났다. 건물의 평균 부피가 큰 구역은 D구역($18,836\text{m}^3$), E구역($16,104\text{m}^3$), F구역($13,826\text{m}^3$), 작은 구역은 A구역($5,246\text{m}^3$), C구역($6,023\text{m}^3$), G구역($9,395\text{m}^3$)으로 조사되었다. I구역에서 A구역으로 갈수록 건물 평균 면적과 건물 평균 체적이 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있다(Table 8 참조).

도로면적은 D구역($37,799\text{m}^2$, 13.38%), B구역($35,137\text{m}^2$, 12.43%), F구역($33,196\text{m}^2$, 11.75%)을 넓은 구역으로 분류할 수 있고, 좁은 구역으로는 E구역($16,836\text{m}^2$, 5.96%), A구역($13,204\text{m}^2$, 4.67%), C구역($9,769\text{m}^2$, 3.46%)이었다. 도로폭이 넓은 구역으로는 A구역(27m), F구역(21m), I구역(22m)이었으며, 좁은 구역은 C구역(12.5m), B구역(15.5m), G구역(16.6m)으로 조사되었다(Table 9 참조).

3. 상관관계분석

분석결과, AQI와 임야나 초지의 면적, 수고, 수공간의 유무는 음의 상관관계를 나타냈으며, 이 중 임야의 면적, 수공간의 분포, 수고는 음의 상관이 높은 편이었다.

나지의 면적과 건축면적, 건축부피는 양의 상관관계를 나타

Table 10. Correlation analysis of AQI and physical factors

Factors	Pearson related
Forest land	-0.884
Meadow	-0.598
Bare ground	0.636
Number of street trees	0.226
Height of street tree	-0.871
Water area	-0.917
Number of buildings	0.061
Building height	0.289
Building area	0.415
Building density	0.5
Road area	0.254
Road width	0.227

냈으며 나지의 면적은 양의 상관이 높은 것으로 나타났다.

그 밖에 가로수량, 건축량, 건축밀도, 건축고도, 도로의 면적과 도로너비의 상관성은 매우 낮거나 없었다(Table 10 참조).

V. 결론

본 연구에서는 중국 창춘의 9개 측정소를 대상으로 도시표면의 물리적 요소가 AQI 농도에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 다음과 같은 연구결과를 확인할 수 있다. 첫째, AQI 농도는 계절에 따라 뚜렷한 차이를 나타내고, 봄과 겨울의 AQI 농도가 가장 높았고, 다음으로는 여름, 가장 낮은 계절은 가을이었다. 둘째, AQI 농도는 계절에 따라 구역별 차이를 보였다.

Table 9. Factor analysis of 9 sites 2

Site	Architecture						Highway			Gross area (m^2)
	Number	Area of land (m^2)	Average height (m)	Average area (m^2)	Average volume (m^3)	Density (%)	Area (m^3)	Width (m)	Average width (m)	
I	74	44,145	17	589	11,104	15.62	18,956(6.71%)	22	22	282,600
H	83	83,826	10	998	11,160	29.66	18,876(6.68%)	45~8	17	
G	77	34,453	23	442	9,395	12.19	28,241(9.99%)	24~10	16.6	
F	94	122,572	11	1,290	13,826	43.37	33,196(11.75%)	42~9	21	
E	70	87,743	17	1,236	16,104	31.05	16,836(5.96%)	25~9	17	
D	91	80,583	21	876	18,836	28.52	37,799(13.38%)	36~9	19.8	
C	39	17,362	11	434	6,023	6.14	9,769(3.46%)	16~9	12.5	
B	170	88,376	24	517	12,066	31.27	35,137(12.43%)	28~16	15.5	
A	56	24,918	9	437	5,246	8.82	13,204(4.67%)	27	27	

봄철 AQI 농도가 가장 높은 곳은 F(93.00), 여름철 농도가 가장 높은 곳은 D(69.05), 가을철은 I(62.80), 겨울에는 I(95.82)로 이는 식물의 활동이 중지되는 겨울철의 상황을 보여주는 것으로 계절에 따라 식물 이외의 수단을 통한 대책을 마련해야 함을 알 수 있다. 셋째, SPSS를 이용한 계열분석을 통해 직경 600mm인 공간내의 대기질지수는 임야, 초지, 나지, 수공간, 수고, 건축면적(평균치), 건축체적(평균치)과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 넷째, 그룹 1~3에서 오염이 가장 심한 봄과 겨울의 통계분석 결과를 보면, AQI 농도가 낮은 구역은 높은 구역보다 임야면적이 14.76% 가량 많았고 수면적이 6.63% 가량 많았으며, 건축평균면적은 608m^2 그리고 건축평균부피는 $7,470\text{m}^3$ 정도 적은 것으로 나타났다. 다섯째, 가로수의 수고를 12m 기준으로 보았을 때 AQI 농도가 높은 곳은 12m 이상의 가로수 비율이 적었던 반면, 그 비율이 높을수록 오염도가 적은 것을 확인할 수 있었다. 이와 함께 나지 면적의 크기 차이에서도 오염도가 다르게 나타남을 알 수 있었다.

본 연구에 따르면 임야, 초지, 나지의 비율과 수공간의 유무, 가로수의 수고와 건축면적 그리고 건축부피가 대기질에 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다. 따라서 도시 건설 특히, 공업지구 조성시 내부는 물론이고, 주변부에 대한 녹지공간 확보와 관리 역량을 높여야 한다. 수경시설을 만들거나 수경시설과의 연계성을 높일 수 있는 기법을 개발하고, 이것을 기반으로 녹지나 초지의 품질을 강화함과 동시에 나지의 활용도를 높여 도시 오픈스페이스로서의 기능을 적극 도입하여야 한다. 대기질 유지를 우선 조건으로 볼 때 건축물의 부피와 건축면적을 줄여야 하는 것이 최상의 대안이기는 하지만, 공업지구의 특성상 현실성이 떨어지므로 이에 상응하는 녹지나 수공간을 확보할 수 있는 제도적 장치가 필요하다. 건축물 면적을 기준으로 하는 미세먼지 저감수단의 확보가 하나의 방법이 될 수도 있겠다.

중국이라는 국가체계의 특수성으로 인하여 측정소의 기기 모델과 측정 범위를 직접 확인할 수는 없었다. 이를 간접적으로나마 확인하기 위하여 인터넷을 통해 CCEP 인증을 받은 실외 AQI 검사기기를 참고하여 측정 지름을 600μm로 추정하였다. 이 정도의 범위가 도시를 판단하는 대표치가 될 수는 없을 것이지만 조사 당시의 기계적 그리고 기술적 한계가 있음을 연구의 한계로 밝히고, 추후의 연구에서는 측정소 반경을 넓히는 것을 포함하여 측정소의 수량도 대폭 늘림으로써 영향요인에 대한 민감도를 높일 수 있을 것으로 판단한다.

이런 유형의 연구는 도시규모 이상의 공간이 대상이 되므로 이에 작용하는 변수는 특정할 수 없을 정도로 다양하다. 녹지나 물로 대표되는 자연요소와 건축물과 도로로 대표되는 인공요소만으로 대기질을 판단하는 것은 다소의 무리가 있을 것이다. 뿐만 아니라 2년이라는 시간이 지역의 환경을 판단할 수 있는 충분한 조건이 될 수 없음도 인정한다. 그렇지만 단기기간에

건설된 공업도시의 급격한 환경변화는 명확한 사실이고, 그것이 도시민들의 건강을 악화시키는 주 요인이 되고 있음을 생각하면 작은 실마리가 될 수 있을 것으로 기대한다.

- 주 1. 2018년 5월 4일 ~ 5월 27일과 7월 13일에 노동공원구역, 7월 27일 ~ 8월 1일에 정월담 구역, 8월 4일 ~ 8월 5일에 7버스공장 구역, 8월 19일 ~ 8월 22일에 정월담구역, 12월 21일에 고신구 구역, 2019년 1월 3일 ~ 1월 4일에 노동공원구역과 7월 7일에 식품공장 구역의 데이터가 없기에 전체 데이터에 추가하지 않았다.
- 주 2. 투영 중앙 경선은 동경 105도이므로 모든 편집요소 공간의 참조시스템을 WGS_1984_UTM_Zone_48N으로 설정했다.
- 주 3. 적외선 망원경 전자자 고도계로 브랜드명은 신전(迅田)이고 모델은 응안(鷹眼)HAWKEYE이고 작업원리는 레이저, 측정범위는 1500m 이내, 제품번호는 Hk800, 측정 허용차는 $\pm 0.3\text{m}$.
- 주 4. S90라이카거리측정계, 브랜드는 라이카이며(Leica) 모델은 P20, 생산지는 헝가리, 사용범위는 설치공사이고 작업원리는 레이저, 거리 측정범위는 300m 이내, 측정 정밀도는 1mm 보호 등급은 IP54.

References

1. Beckett, K. P., P. H. Freer-smith and G. Taylor(1998) Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 99(3): 347-360.
2. Bao, H. G., C. Wang, G. F. Qie, W. G. Du and L. Sun(2016) The effect of forest shelter belt on subduction of $\text{PM}_{2.5}$ in urban parks [J]. *Ecology and Environmental Sciences* 25(6): 987-993.
3. Cavanagh, J. A. E., R. P. Zawar and W. J. Gaines(2009) Spatial attenuation of ambient particulate matter air pollution within an urbanized native forest patch. *Urban Forestry & Urban Greening* 8(1): 21-30.
4. Chai, Y. X., N. Zhu and H. J. Han(2002) Dust removal effect of urban tree species in Harbin. *Northeast Forestry University* 13(9): 1121-1126.
5. Dzierzanowski, K., R. Popek, H. Gawrońska, A. Saeb and S. W. Gawroński(2011) Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation* 13(10): 1037-1046.
6. Fowler, D., U. Skiba, E. Nemitz, F. Choubedar, D. Branford, R. Donovan and P. Rowland(2004) Measuring aerosol and heavy metal deposition on urban woodland and grass using inventories of 210 Pb and metal concentrations in soil. *Water, Air, & Soil Pollution* 4(2/3): 483-499.
7. Flocchini, R., T. A. Cahill and R. Matsumura(1994) Study of Fugitive PM_{10} Emissions from Selected Agricultural Practices on Selected Agricultural Soils. University of California.
8. Fang, Y., J. C. Zhang, and Y. H. Wang(2007) Dustfall adsorbing capacity of major species of greening trees in Nanjing and its law. *Journal of Ecology and Rural Environment* 23(2): 36-40.
9. Freer, S. P. H., K. P. Beckett and G. Taylor(2005) Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides trichocarpa* 'Beaupre', *Pinus nigra* and *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution* 133(1): 157-167.
10. Gromke, C. and B. Ruck(2009) On the impact of trees on dispersion processes of traffic emission in street canyons. *Boundary-layer Meteorology*. 131(1): 19-34.
11. Guo, E. G., C. Wang, G. F. Qie, C. Fang, Z. W. Sun and Z. H. Zhou(2010) Seasonal variations of airborne particulate matter in

- typical recreation forests in the westmountain of Bei-Jing. Journal of Northeast Forestry 38(10): 55-57.
12. Hu, M., Q. Tang, J. F. Peng, E. Y. Wang, S. L. Wang and F. H. Chai, (2011) Study on Characterization and Source Apportionment of Atmospheric Particulate Matter in China, 1673-288X 05-0015-05.
 13. Liu, L. M and M. Liu (2000) Vegetation quantity- a new concept of urban greening assessment, Chinese Landscape Architecture 5:32-34.
 14. Liu, Y., Z. F. Su and Y. F. Wang (2002) Study on dustproof function of suitable afforestation sampling in Shihezi, Arid Environmental Monitoring 16(2): 98-99, 125.
 15. Li, Y. Z and J. H. Ma (2011) Heavy metals pollution in roadsides soils and protective effect of plant barriers along expressway, Journal of Soil and Water Conservation 25(1): 105-109.
 16. Li, G., S. B. Fan, L. H. Zhong, Y. H. Huang and G. Tian (2004) The study of road dust controlling in Beijing city, Urban Management and Technology (04): 151-152, 158.
 17. Pan, C. Z., G. C. Chen, Q. L. Yang, D. Y. Wang, Q. Zhao, X. J. Zhou and Y. Zhang (2004) Study on the concentration distribution of PM₁₀/PM_{2.5} related to traffic-busy road in Chongqing downtown area, Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science 2004, 26(5): 567-579.
 18. Pullman, M. R (2009) Conifer PM_{2.5} Deposition and Re-suspension in Wind and Rain Events [D]. America: Cornell University.
 19. Popek, R., H. Gawrońska, M. Wrochna, S. W. Gawroński and A. Saeb (2013) Particulate matter on foliage of 13 woody species: deposition on surfaces and phytostabilisation in waxes a 3 year study, International Journal of Phytoremediation 15(3): 245-256.
 20. Qi, F. Y., H. F. Guo., Y. Zhao and Y. F. Zhu (2009) The effect of greenbelt in road on atmospheric particles concentration, Henan Science 27(6): 734-736.
 21. Ren, Q. W., C. Wang, G. F. Qie and Y. Yang (2006) Airborne particulates in urban greenland and its relationship with airborne microbes, Urban Environment & Urban Ecology 19(5): 22-25.
 22. Sehmel, G. A (1980) Particle and gas dry deposition: A review, Atmospheric Environment 14(9): 983-1011.
 23. Su, J. X., S. J. Jin, J. G. Yan, Q. D. Zhang, R. R. Gao and Y. M. Lu (2002) Study on the dust catching property of the campus plants in Shanxi Normal University, Journal of Shanxi Normal University: Natural Science Edition 20(2): 86-88.
 24. Su, Z. F., Y. Liu and Q. F. Peng (2002) Study on dust detention functions of the different greenland, Arid Environmental Monitoring 03: 162-163.
 25. Sehmel, G. A (1980) Particle and gas dry deposition: a review, Atmospheric Environment, 14(9): 983-1011.
 26. Tallis, M., G. Taylor, D. Sinnett and S. P. Freer (2011) Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments, Landscape and Urban Planning 103(2): 129-138.
 27. Wang, L., S. Ha, L. Y. Liu and S. Y. Gao (2006) Effects of weather condition in spring on particulates density on conifers leaves in Beijing, Chinese Journal of Ecology 2006 25(8): 998-1002.
 28. Wang, Z. H and Li, J. L. (2006) Capacity of dust uptake by leaf surface of *Euonymus japonicus* Thunb. and the morphology of captured particle in air polluted city, Ecology and Environment 15(2): 327-330.
 29. Wu, Z. P., C. Wang, X. J. Hou and W. W. Yang (2008) Variation of air PM_{2.5} concentration in six urban greenlands, Journal of Anhui Agriculture University 35(4): 494-498.
 30. Yang, Y. R., Y. L. Yin and H. B. Xu (2012) Effects of forest belts with different widths on heavy metal content in rice leaf and brown rice in crop field on both sides of national road, Journal of Plant Resources and Environment 21(2): 84-88.
 31. Yu, X. R (2008) The Characteristic of Foliar Dust of Main Afforestation Tree Species in Nanjing and Association with Leaf's Surface Micro-Structure [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University.
 32. Zhang, J and X. Y. Wu (2011) Detaining dust law of landscape greening plants leaves in urban area of Fuxin, Journal of Liaoning Technical University: Natural Science 30(6): 905-908.
 33. Zhang, J. Y., X. Y. Liu, M. Zou, H. Li and Y. L. Cheng (2013) Comparison of dust retention capacities among thirty-seven species of road landscape trees, School of Life Science and Technology, Xinxiang University, 28(06): 905-912.
 34. www.bigemap.com
 35. www.globallandcover.com
 36. www.zq12369.com
 37. www.cnemc.cn

Received : 10 August, 2021

Revised : 30 August, 2021 (1st)

Accepted : 30 August, 2021

3인익명 심사필