

스마트버스정류장 유형에 따른 미세먼지 농도 저감효과

Types of Smart Bus Stop and Their Impacts on Reducing Fine Dust Concentrations in Seoul

서정기* · 김형규**

Jeongki Seo* · Hyungkyoo Kim**

Abstract

This research aims to provide guidelines with the appropriate type of smart bus stop to reduce the concentration of fine dust. To this end, we divided smart bus stops into two types: closed and open bus stops. The estimated reduction effect was compared and analysed by measuring the estimated PM₁₀ and the estimated PM_{2.5} at five locations inside and outside a smart bus stop located in Gangnam gu, Seoul. The effect of reducing the amount of the fine dust concentration in external space was insignificant for both types of bus stops.

The different effect of reducing the concentration of the amount between in internal space was relatively significant: the fine dust concentration was 26.0 µg/m³ for PM₁₀ and 20.2 µg/m³ for PM_{2.5} at open-type bus stops; whilst was 2.4 µg/m³ for PM₁₀ and 1.8 µg/m³ for PM_{2.5} at closed type bus stops.

Based on the findings, a closed type bus stop is recommended when considering the cost of reducing fine dust. In addition, due to the ineffectiveness of reducing the amount of fine dust from the outside of the bus stop, additional provision of smart bus stops is required particularly in locations where demand exceeds the capacity of the inside. A clear definition of smart bus stop and it's minimum standard should also be considered.

Keywords : Smart Bus Stop, Fine Dust, Fine Dust Concentration, Seoul

1. 서론

스마트버스정류장은 대한민국 스마트도시에 있어 활발히 구축·운영 중인 대표 스마트도시서비스 중 하나이다. 국토교통부에서는 제3차 스마트도시 종합계획에 따라 스마트도시서비스 실증사업인 스마트챌린지사업을 추진 중이며(국토교통부, 2019), 이를 통해 검증된 서비스의 확산을 추진하고 있다(이재용, 2021). 2021년 스마트솔루션확산사업은 이전년도 스마트챌린지사업에서 실증된 9개 서비스를 지자체에 제안하여 사업공모를 추진하였다.

스마트버스정류장은 사업에 선정된 23개 지자체 중 16개 지자체에서 구축되고 있다(스마트도시종합포털, 2021). 이와 함께 일부 지자체에서는 자체적인 스마트도시서비스 수요를 파악하고 지자체 예산을 수립하여 스마트버스쉘터(서울시), 스마트쉘터(김해시), 에어크린버스정류장(부산시) 등의 이름으로 스마트버스정류장 구축사업을 진행하고 있다.

스마트도시서비스별 정의는 2009년 제정되어 2013년에 개정된 유비쿼터스도시건설사업업무처리 지침에서 정의하고 있다. 그러나 스마트버스정류장은 비교적 최근의 사회적 요구에 따른 기술적 대

*홍익대학교 일반대학원 산업융합협동과정 스마트도시 전공 박사과정(주저자: otswim@naver.com)

**홍익대학교 도시공학과 조교수(교신저자: gusailsang@gmail.com)

응이기에 아직 명확한 정의가 존재하지 않는다. 따라서 스마트버스정류장을 정의하기 위해서는 스마트 버스정류장의 등장 배경과 주요 기능에 대해 이해할 필요가 있다. 기존의 일반적인 버스정류장에는 안내 표지판, 벤치, 캐노피와 같은 장치가 설치되어 왔다.

기존의 일반적인 버스정류장에는 안내표지판, 벤치, 캐노피와 같은 장치가 설치되어 왔다. 이후 스마트도시가 대두되면서 도시의 주요 기반시설에 ICT (Information and Communication Technologies) 기술이 접목되기 시작되었고, 버스정류장에도 ITS (Intelligent Transport Systems)와 관련된 BIT (Bus Information Terminal)과 같은 ICT 장비의 설치가 이루어졌다. 이후 미세먼지가 사회적 문제로 부각됨에 따라 버스정류장에 공기청정기 및 에어커튼 장치가 추가되는 움직임이 나타나면서 스마트버스정류장이라는 용어가 대두되기 시작하였다. 이에 스마트 버스정류장은 "ICT 장비를 통해 버스이용객에게 미세먼지 농도 저감을 비롯한 다양한 편의 기능을 제공하는 버스정류장"이라고 정의할 수 있다.

스마트버스정류장 미세먼지 저감효과는 내부공간과 외부공간으로 구분되어 나타난다. 스마트버스정류장은 일반적으로 버스 및 캐노피와 같은 구조물 내부에 공기청정기가 설치된 형태를 가진다. 이에 따라 스마트버스정류장 내부공간에서 미세먼지 농도 저감효과가 발생한다. 외부공간과의 공기흐름이 차단될수록 내부공간의 미세먼지 농도는 저감될 수 있다. 외부공간에서는 스마트버스정류장 내부공간과의 공기의 순환에 따라 미세먼지 농도가 줄어들 수 있다. 서울 마곡지구에 설치된 스마트 모스월¹⁾과 유사한 효과를 기대할 수 있다(Fig. 1).

이러한 스마트버스정류장 확산에도 불구하고, 스마트버스정류장의 미세먼지 농도 저감성능에 대한 연구는 턱없이 부족한 것이 현실이다. 향후 보다 쾌적한 도시공간 구현을 위해 스마트버스정류장이 더



Fig. 1. Smart Moss-wall

욱 확대될 것을 예상할 때, 이에 대한 실증적 분석이 필요하다. 본 연구에서는 스마트버스정류장 유형에 따른 내·외부공간의 미세먼지(PM₁₀) 및 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도 저감효과를 분석하고, 지자체의 스마트버스정류장 설치 기준 마련에 시사점을 제공하고자 한다.

2. 선행연구 검토

스마트버스정류장과 관련된 선행 실증연구는 손에 꼽을 정도로 적은 것이 현실이다. 이영우·견승엽(2020)은 도로상의 미세먼지 관리를 목적으로 스마트버스정류장의 확산을 위해 도로안전시설 설치 및 관리 지침 개정을 제안하였다. 하지만, 미세먼지 농도 수준에 대한 실증적 분석은 제시하지 않았다.

유사성이 존재하는 선행연구로서 버스정류장 내·외부의 미세먼지 농도 수준을 파악한 연구들이 있다. 이상혁 외(2019)는 반밀폐형 버스정류장에서 보다 개방형 버스정류장에서 내부의 PM_{2.5} 농도가 낮게 나타남을 확인하였다. 이상혁 외(2020)는 버스정류장 내부에서의 PM_{2.5} 농도가 외부에서보다 높게 형성됨을 확인하였다. 두 연구를 통해 버스정류장의 유형에 따라 PM_{2.5} 농도가 달라질 수 있음을 알 수 있다.

또한 도로 주변부의 미세먼지 농도 수준을 실증적으로 파악한 연구들이 다수 존재한다. Roorda-Knape et al.(1998)은 고속도로기준 15m~305m

1) 이끼를 이용하여 공기 중 오염물질을 분해하고, 미세먼지를 흡수할 수 있는 가로시설물

거리에 따른 대기질을 조사하여 NO 및 블랙카본과 달리 PM₁₀ 및 PM_{2.5}는 거리에 따른 차이는 나타나지 않음을 밝혔다. 김영성 외(2008)의 연구에서는 국도로부터 10m, 80m, 200m 떨어진 지점에서의 PM₁₀ 및 PM_{2.5} 농도 차이를 측정하여, 200m에서 일부 미세먼지 저감효과가 나타남을 밝혔다. 유솔 외(2015)의 연구에서는 교통오염원 및 200~300m 떨어진 지점과 500~600m 떨어진 지점에 대한 PM_{2.5}의 농도 차이를 측정한 결과 PM_{2.5} 농도 차이는 존재하지 않음을 밝혔다.

이와 같이 기존 연구에서는 일반버스정류장과 도로변을 대상으로 조사가 수행된 바 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 스마트버스정류장 내·외부의 미세먼지 농도 저감효과에 대한 실증적 연구가 꼭 필요하다.

3. 연구방법

3.1 스마트버스정류장 유형 및 대상지 선정

본 연구에서는 박기돈·고영준(2021)의 제안을 바탕으로 스마트버스정류장 유형을 밀폐형 스마트버스정류장과 개방형 스마트버스정류장으로 분류하였다.

밀폐형 스마트버스정류장은 Fig. 2와 같이 출입구에 자동문이 설치되어 시민이 출입하지 않을 시 밀폐되는 유형이다. 개방형 스마트버스정류장은 Fig. 3과 같이 출입구에 문이 설치되지 않아 외기가 버스정류장 내부로 자유롭게 드나들 수 있는 유형에 해당한다.

연구 대상지로는 밀폐형 및 개방형 스마트버스정류장이 인접하여 위치하고 있는 강남구 영동대로 코엑스 동문 앞 버스정류장 밀집지역을 선정하였다. 연구대상지의 각 스마트버스정류장의 위치는 Fig. 4에 나타난 바와 같다.

도로의 서쪽에 위치한 보행로의 남쪽에 밀폐형 스마트버스정류장이, 북쪽에 개방형 스마트버스정류장이 위치하고 있다. 두 스마트버스정류장 간의 거리는 약 240m로서 비교적 가까운 편이다. 이를 통해 위치에 따른 미세먼지 농도 차이를 최소화하고자 한다.

스마트버스정류장 내·외부 미세먼지농도의 비교 값은 대상지와 가장 인접한 측정소인 강남구 측정소(G)2의 대기질 측정값(서울특별시 대기환경정보 홈페이지)을 활용하였다.



Fig. 2. Closed-type Smart Bus Stop



Fig. 3. Open-type Smart Bus Stop

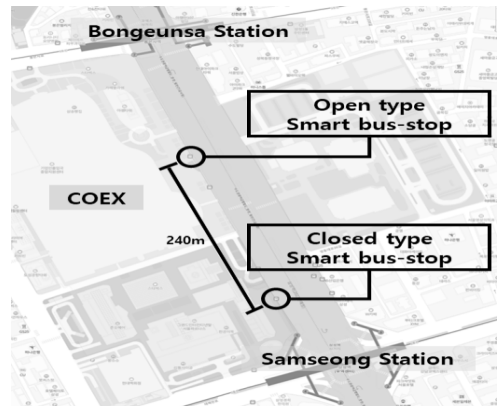


Fig. 4. Location Map of Smart Bus-stop

2) 위치는 강남구 학동로 426(강남구청 별관 1동)에 위치한 측정소로 대상지와는 직선거리로 약 1.3km 이격

3.2 미세먼지 농도 실측

실측지점은 Fig. 5에 표현된 바와 같이 밀폐형 및 개방형 스마트버스정류장의 내·외부를 비롯하여 10m 간격으로 각각 6개 지점에서 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도를 측정하였다. 스마트버스정류장 내부에서는 정중앙에 해당하는 1개 지점에서 측정하였다. 외부에서는 스마트버스정류장이 설치된 인도와 평행한 가상의 직선을 따라 정중앙 지점(0m)과 이로부터 좌우로 각각 10m, 20m 지점을 선정하여 측정하였다. 시민들이 실제 체감하는 미세먼지 농도를 반영하기 위하여 지표면으로부터 1.5m 높이의 측정값을 이용하였다.

PM₁₀과 PM_{2.5} 농도가 다양한 수준에서 나타날 수 있도록 2021년 3월 17일, 18일, 22일, 24일, 26일 등 총 5일에 걸쳐 실측지점별 미세먼지 농도를 40회 실측하였다. 실측 과정에서 외부 영향 최소화를 위해 이용자와 교통량이 적은 오전 07:00~08:00에 측정하였다. 특히 스마트버스정류장 내부 공간 실측시 버스 이용자의 출입이 발생하지 않는 시점에 측정하여 실험공간을 통제하였다. 동안 측정에는 Nova社에서 개발한 광산란 방식의 대기오염 모니터 SDL607 모델을 이용하였다. PM₁₀과 PM_{2.5} 농도를 모두 측정할 수 있는 모델로써, Grzędzicka(2019), Borysov et al.(2020), Chen et al.(2020) 등 최근 발간된 다수의 SCIE 등재 국제학술지에 게재된 논문에서 실측에

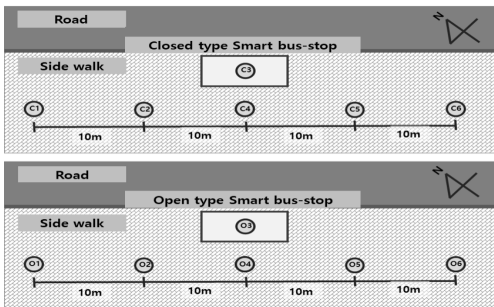


Fig. 5. Smart Bus Stops and Measurement Points

Table 1. Specification of Measurement Device

Item	Specification
Range	0.0~999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Operating temperature	5~45°C
Resolution	0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Relative error	Max of $\pm 20\%$ and $\pm 30\mu\text{g}/\text{m}^3$



사용한 장비이다. 장비의 사양은 Table 1에 정리된 바와 같다.

3.3 분석 방법

스마트버스정류장의 지점별 실측값은 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 통해 유의성을 검증하였다. 유의성이 검증된 실측값은 각 일시 및 지점별 평균값으로 변환하여 비교하였다. 비교방법은 각 일시의 강남구 측정소 미세먼지 농도값과 외부 측정 지점(G, C1, C2, C4, C5, C6, O1, O2, O4, O5, O6) 미세먼지 농도 평균값을 실제 미세먼지 농도의 평균값(C3, O3)과의 차이로 비교하였다. 미세먼지 저감효과는 농도차가 클수록 상대적으로 효과가 높음을 나타낸다.

미세먼지 저감효과는 두 가지 측면에서 비교분석하였다. 첫 번째로 스마트버스정류장 유형에 따른 내부 미세먼지 저감효과를 비교분석하였다. 이를 위해 강남구 측정소(G)의 미세먼지 농도와 스마트버스정류장과 가장 인접한 외부지점(C4, O4)를 대상으로 내부(C3, O3) 미세먼지 농도의 차이값(G-C3, C4-C3, O4-O3) 및 차이값 비율((G-C3)/C3, (C4-C3)/C3, (G-O3)/O3, (O4-O3)/O3)을 비교하였다. 두 번째로 이격거리별 각 스마트버스정류장 외부의 미세먼지 저감효과를 비교분석하였다. 이를 위해 각 스마트버스정류장의 외부(C1, C2, C4, C5, C6, O1, O2, O4, O5, O6)와 내부(C3, C4)의 차이값을 비교하였다. 또한

각 차이값을 내부 미세먼지 농도 기준 비율로 환산하여 외부의 미세먼지 저감효과를 상대적으로 비교하였다.

4. 실측 결과 및 분석

4.1 밀폐형 스마트버스정류장 실측 결과 및 분석

밀폐형 스마트버스정류장 내부와 외부의 PM₁₀ 농도를 측정된 결과는 Table 2와 Fig. 6에 정리된 바와 같다. 3월 17일의 강남구 측정소 농도는 86/μm³이었으며, 내부에서는 18.8μg/m³, 외부에서는 35.8μg/m³~44.6μg/m³의 값이 나타났다. 분산분석 결과 F값은 1126.0(p<0.001)로서, 각 지점 측정값에 유의한 차

이를 확인하였다. 3월 18일 강남구 농도는 69μg/m³으로서, 내부 농도 70.6μg/m³, 외부 농도 122.8/μm³~137.6μg/m³가 측정되었다. 분산분석 결과, 측정치 간 유의한 차이가 나타났다(F=5320.8, p<0.001). 3월 22일은 강남구는 30μg/m³, 내부는 8.8μg/m³, 외부는 15.8μg/m³~21.7μg/m³으로 나타났고, 측정치 간에 유의한 차이(F=298.7, p<0.001)를 확인하였다. 3월 24일의 경우 강남구 농도는 63μg/m³이며, 내부에서 6.7μg/m³, 외부에서 16.5μg/m³~17.9μg/m³의 값이 확인되었고, 측정치 간에 유의한 차이(F=408.5, p<0.001)를 확인하였다. 3월 26일의 경우 강남구는 75μg/m³로, 내부는 35.2μg/m³, 외부는 71.0μg/m³~87.9μg/m³로 나타났으며, 측정치 간 유의한 차이(F=515.1, p<0.001)를 확인하였다.

밀폐형 스마트버스정류장 내·외부의 PM_{2.5} 농도를 측정된 결과는 Table 3 및 Fig. 7과 같다. 3월 17일 강남구 측정소 기준 PM_{2.5} 농도는 16μg/m³이었으며, 내부에서는 13.6μg/m³, 외부에서는 28.5μg/m³~30.6μg/m³의 값이 나타났다. 분산분석 결과 F값은 3161.0(p<0.001)로서, 측정치 간에 유의한 차이가 존재함을 확인하였다. 3월 18일의 경우 강남구 측정소 기준 PM_{2.5} 농도는 24μg/m³로 측정되었다. 스마트버스정류장 내부는 58.0μg/m³, 외부는 100.6μg/m³~105.6μg/m³의 농도가 측정되었고, 측정치 간에 유의한 차이(F=4009.8, p<0.001)가 존재하였다. 3월 22일은 강남구 농도는 15μg/m³이며, 내부에서 6.5μg/m³, 외부에서 13.6μg/m³~16.2μg/m³으로 나타났고, 측정치 간에 유의한 차이(F=957.4, p<0.001)를 확인하였다. 3월 24일은 강남구 측정소 기준 PM_{2.5} 농도는 32μg/m³로 나타났다. 스마트버스정류장 내부에서 4.1μg/m³, 외부에서 12.6μg/m³~14.0μg/m³의 측정값이 확인되었고, 측정치 간에 유의한 차이(F=1103.7, p<0.001)를 나타내었다. 3월 26일 강남구 측정소의 PM_{2.5} 농도는 4432μg/m³로 나타났으며, 스마트버스정류장 내부는 26.5μg/m³, 외부는

Table 2. PM₁₀ Concentration Averages Measured Inside and Outside the Closed-type Smart Bus Stop and their F Statistics (unit: μg/m³)

Point Date	G	C1	C2	C3	C4	C5	C6	F
Mar 17	86	44.6	38.3	18.8	36.5	45.0	35.8	1126.0 ***
Mar 18	69	127.2	128.7	70.6	128.5	122.8	137.6	5320.8 ***
Mar 22	30	15.8	18.9	8.8	17.8	21.7	19.6	298.7 ***
Mar 24	63	16.7	17.2	6.7	16.5	17.1	17.9	408.5 ***
Mar 26	75	77.1	80.2	35.2	71.0	85.9	87.9	515.1 ***

*** p < 0.001

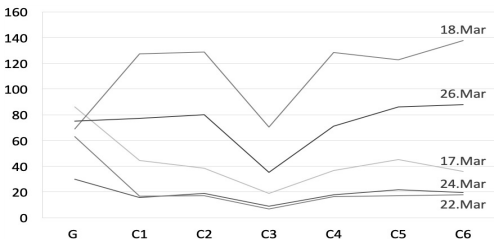


Fig. 6. PM₁₀ Concentration Averages Measured Inside and Outside the Closed-type Smart Bus Stop (unit: μg/m³)

Table 3. PM_{2.5} Concentration Averages Measured Inside and Outside the Closed-type Smart Bus Stop and their F Statistics (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Point Date	G	C1	C2	C3	C4	C5	C6	F
Mar 17	16	30.5	28.5	13.6	29.3	30.6	28.5	3161.0 ***
Mar 18	24	101.6	104.8	58.0	101.3	100.6	105.6	4009.8 ***
Mar 22	15	14.2	13.9	6.5	13.6	14.8	16.2	957.4 ***
Mar 24	32	13.9	14.0	4.1	12.8	12.6	12.9	1103.7 ***
Mar 26	44	58.7	60.4	26.5	52.6	63.0	63.1	536.2 ***

*** p < 0.001

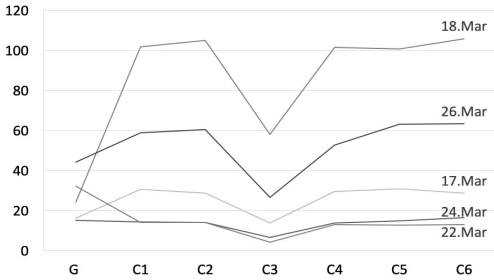


Fig. 7. PM_{2.5} Concentration Averages Measured Inside and Outside the Closed-type Smart Bus Stop and their F Statistics (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

52.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~63.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정치 간에 유의한 차이(F=536.2, p<0.001)가 있음을 확인하였다.

4.2 개방형 스마트버스정류장 실측 결과 및 분석

개방형 스마트버스정류장 내부와 외부의 PM₁₀ 농도를 측정된 결과는 Table 4 및 Fig. 8과 같다.

3월 17일 내부에서는 35.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부에서는 36.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~46.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 값이 나타났다. 분산분석 결과 F값은 129.7(p<0.001)로서, 각 지점의 측정치 간 유의한 차이가 나타났다. 3월 18일 스마트버스정류장 내부에서 123.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부 5개 지점에서 125.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~132.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 측정되었고, 측정치 간에 유

Table 4. PM₁₀ Concentration Averages Measured Inside and Outside the Open-type Smart Bus Stop and their F Statistics (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Point Date	G	O1	O2	O3	O4	O5	O6	F
Mar 17	86	36.5	37.7	35.9	40.8	40.1	46.3	129.7 ***
Mar 18	69	125.1	129.9	123.5	125.1	125.9	132.5	90.3 ***
Mar 22	30	24.2	23.9	16.2	15.0	17.1	15.7	165.0 ***
Mar 24	63	17.3	19.0	14.8	16.4	18.1	15.2	39.5 ***
Mar 26	75	79.1	74.6	73.8	79.2	75.9	73.8	51.3 ***

*** p < 0.001

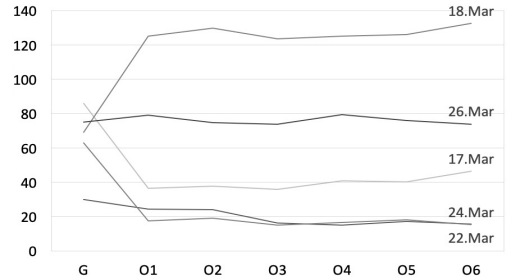


Fig. 8. PM₁₀ Concentration Averages Measured Inside and Outside the Open-type Smart Bus Stop (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

의한 차이(F=90.3, p<0.001)가 존재하였다. 3월 22일 스마트버스정류장 내부에서 16.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부 5개 지점에서 15.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~24.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고, 측정치 간에 유의한 차이(F=165.0, p<0.001)를 확인하였다. 3월 24일 스마트버스정류장 내부에서 14.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부 5개 지점에서 15.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~19.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 값이 확인되었고, 측정치 간에 유의한 차이(F=24.4, p<0.001)가 확인되었다. 3월 26일의 경우 스마트버스정류장 내부는 73.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부 5개 지점은 73.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~79.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 측정치 간 유의한 차이(F=51.3, p<0.001)를 확인하였다.

개방형 스마트버스정류장 내·외부의 PM_{2.5} 농도

를 측정한 결과는 Table 5 및 Fig. 9와 같다. 3월 17일 스마트버스정류장 내부에서는 26.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부에서는 27.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~31.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 값이 나타났다. 분산 분석 결과 F값은 180.3($p < 0.001$)로서, 각 지점 간에 유의한 차이가 확인되었다. 3월 18일의 경우 스마트버스정류장 내부에서 98.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부 5개 지점에서 101.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~109.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 측정되었고, 측정치 간에 유의한 차이($F=257.6, p < 0.001$)가 존재하였다. 3월 22일에는 스마트버스정류장 내부에서 11.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부지점에서 12.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~19.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고, 측정치 간에 유의한 차이($F=594.8, p < 0.001$)

를 확인하였다. 3월 24일 스마트버스정류장 내부에서 11.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부에서 12.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~14.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 값이 확인되었고, 측정치 간에 유의한 차이($F=154.1, p < 0.001$)가 존재함을 확인하였다. 3월 26일의 스마트버스정류장 내부는 55.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 외부는 55.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~58.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 측정치 간에 유의한 차이($F=40.6, p < 0.001$)를 확인하였다.

Table 5. PM_{2.5} Concentration Averages Measured Inside and Outside the Open-type Smart Bus Stop and their F Statistics (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Point Date	G	01	02	03	04	05	06	F
Mar 17	16	27.2	28.3	26.4	27.8	29.6	31.6	180.3 ***
Mar 18	24	102.0	101.6	98.7	101.3	103.0	109.4	257.6 ***
Mar 22	1	19.2	18.3	11.3	12.0	12.7	13.0	594.8 ***
Mar 24	32	13.7	14.7	11.4	13.2	14.5	12.7	154.1 ***
Mar 26	44	55.4	55.6	55.7	58.4	55.9	55.7	40.6 ***

*** $p < 0.001$

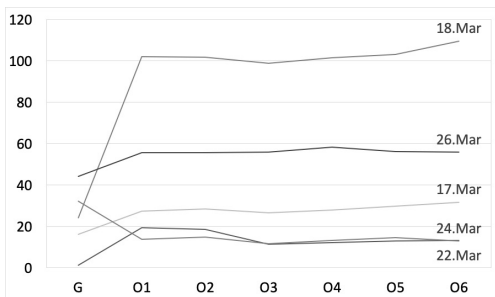


Fig. 9. PM_{2.5} Concentration Averages Measured Inside and Outside the Open-type Smart Bus Stop (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

4.3 스마트버스정류장 유형에 따른 내부 미세먼지 저감효과 분석

스마트버스정류장의 유형에 따른 내부 미세먼지 저감효과는 밀폐형 스마트버스정류장이 상대적으로 우수한 효과가 나타났으며, 그 결과는 Table 6과 같다. 강남구 측정소(G) PM₁₀농도 기준 밀폐형 스마트버스정류장의 내부(C3)의 5일간 평균 차이값은 36.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 개방형 스마트버스정류장 내부와의 차이값인 11.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높은 차이를 나타냈다. 각 인접한 외부(C4, O4)와의 평균 차이값 역시 밀폐형은 26.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 개방형은 2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 확인되었다. 이를 비율로 환산할 경우 강남구 측정소 기준 밀폐형은 130.5%, 개방형은 22.2%의 저감효과를, 인접한 외부 기준 밀폐형은 92.8%, 개방형은 4.6%의 저감효과를 나타냈다.

PM_{2.5} 농도의 경우 강남구 측정소(G) 기준 밀폐형 스마트버스정류장의 내부(C3)의 5일간 평균 차이값은 -0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 개방형 스마트버스정류장 내부와의 차이값인 -14.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높게 나타났다. 각 인접한 외부(C4, O4)와의 평균 차이값 기준으로는 밀폐형은 20.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 개방형은 1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 차이를 나타냈다. 이는 강남구 측정소 기준 밀폐형은 -2.8%, 개방형은 -35.6%의 저감효과를, 인접한 외부 기준 밀폐형은 92.9%, 개방형은 4.5%의 저감효과를 나타냈다. 일별 차이값을 비교할 경우에도 밀폐형 스마트버스정류장이 개방형 버스정류장보다 모든 측정일에 있어 우수한 미세먼지 저감효과를 나타냈다.

Table 6. Differences in PM Concentration Averages between Outside and Inside the Smart Bus Stop

Day	PM ₁₀ Point to point interval (µg/m ³)				PM _{2.5} Point to point interval (µg/m ³)			
	G-C3	C4-C3	G-O3	O4-O3	G-C3	C4-C3	G-O3	O4-O3
Mar17	67.2 (358.3%)	17.8 (94.6%)	50.1 (139.4%)	4.8 (13.5%)	2.4 (17.5%)	15.7 (115.4%)	-10.4 (-39.5%)	1.4 (5.3%)
Mar18	-1.6 (-2.3%)	57.9 (81.9%)	-54.5 (-44.1%)	1.7 (1.4%)	-34.0 (-58.6%)	43.3 (74.8%)	-74.4 (-75.7%)	2.6 (2.6%)
Mar22	21.2 (239.9%)	9.0 (101.8%)	13.8 (85.6%)	-1.2 (-7.4%)	8.5 (131.2%)	7.1 (109.0%)	3.7 (32.4%)	0.6 (5.6%)
Mar24	56.3 (834.0%)	9.8 (144.7%)	48.2 (324.4%)	1.6 (10.5%)	27.9 (677.2%)	8.7 (210.4%)	20.6 (181.2%)	1.9 (16.3%)
Mar26	39.8 (113.0%)	35.8 (101.6%)	1.2 (1.6%)	5.3 (7.2%)	-8.6 (-16.4%)	26.2 (98.9%)	-11.7 (-20.9%)	2.8 (5.0%)
Avg	36.6 (130.5%)	26.0 (92.8%)	11.8 (22.2%)	2.4 (4.6%)	-0.8 (-2.8%)	20.2 (92.9%)	-14.5 (-35.6%)	1.8 (4.5%)

4.4 스마트버스정류장 유형에 따른 외부 미세먼지 저감효과 분석

스마트버스정류장 외부의 PM₁₀ 저감효과에서도 밀폐형 스마트버스정류장이 상대적으로 우수하게 나타났다. 하지만 두 유형의 스마트버스정류장 모두에서 시민이 체감하기에 미비한 수준의 효과가 확인되었다. 그 결과는 Table 7 및 Table 8과 같다.

Table 7. Differences in PM₁₀ Concentration Averages between Outside and Inside the Closed-type Smart Bus Stop

Day	Point to point interval of the closed-type (µg/m ³)				
	C1-C3	C2-C3	C4-C3	C5-C3	C6-C3
Mar 17	25.8 (137.5%)	19.5 (104.1%)	17.8 (94.6%)	26.2 (139.8%)	17.1 (91.0%)
Mar 18	56.6 (80.2%)	58.1 (82.3%)	57.9 (81.9%)	52.2 (73.9%)	67.0 (94.9%)
Mar 22	7.0 (79.1%)	10.1 (114.6%)	9.0 (101.8%)	12.8 (145.5%)	10.7 (121.7%)
Mar 24	9.9 (146.9%)	10.4 (154.3%)	9.8 (144.7%)	10.3 (153.1%)	11.1 (165.2%)
Mar 26	41.9 (119.1%)	45.0 (127.9%)	35.8 (101.6%)	50.7 (144.0%)	52.6 (149.5%)
Avg	28.2 (100.8%)	28.6 (102.2%)	26.0 (92.8%)	30.5 (108.7%)	31.7 (113.2%)

앞선 Table 2와 Table 3에서 나타났듯이 밀폐형 스마트버스정류장의 내부(C3)와 인접한 외부지점(C4)의 5일간 평균 차이값은 26.0µg/m³으로 개방형 스마트버스정류장의 차이값은 2.4µg/m³으로 나타났다. 밀폐형 스마트버스정류장의 내부와 인접한 외부지점(C4)을 제외한 외부지점(C1, C2, C5, C6)의 5일간 평균 차이값은 28.2µg/m³ ~ 31.7µg/m³로 나타

Table 8. Differences in PM₁₀ Concentration Averages between Outside and Inside the Open-type Smart Bus Stop

Day	Point to point interval of the open-type (µg/m ³)				
	O1-O3	O2-O3	O4-O3	O5-O3	O6-O3
Mar 17	0.6 (1.5%)	1.8 (5.1%)	4.8 (13.5%)	4.2 (11.7%)	10.3 (28.8%)
Mar 18	1.6 (1.3%)	6.5 (5.2%)	1.7 (1.4%)	2.5 (2.0%)	9.1 (7.3%)
Mar 22	8.0 (49.7%)	7.8 (48.0%)	-1.2 (-7.4%)	0.9 (5.9%)	-0.4 (-2.7%)
Mar 24	2.4 (16.3%)	4.1 (27.7%)	1.6 (10.5%)	3.3 (22.1%)	0.3 (2.1%)
Mar 26	5.3 (7.2%)	0.8 (1.0%)	5.3 (7.2%)	2.0 (2.8%)	-0.1 (-0.1%)
Avg	3.6 (6.8%)	4.2 (7.9%)	2.4 (4.6%)	2.6 (4.9%)	3.8 (7.3%)

났으며, 개방형 스마트버스정류장은 $2.6\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 4.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 두 유형의 내부와 인접한 외부의 평균 차이값(C4-C3, O4-O3)은 타 외부지점의 차이값(C1-C3, C2-C3, C5-C3, C6-C3 및 O1-O3, O2-O3, O5-O3, O6-O3)보다 큰 차이를 나타냈다. 이는 인접한 외부지점(C4, O4)에서 다른 외부지점(C1, C2, C5, C6, O1, O2, O5, O6)보다 상대적으로 PM_{10} 저감효과가 발생함을 나타낸다. 단 인접한 외부와 내부의 농도차와 그 외 외부와 내부의 농도차 간의 차이가 밀폐형의 경우 $2.2\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 5.7\mu\text{g}/\text{m}^3$, 개방형의 경우 $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 1.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 매우 작음이 확인되었다.

스마트버스정류장 설치에 따른 외부의 이격거리에 따른 PM_{10} 저감효과는 설명되지 않았다. 밀폐형 스마트버스정류장과 20m 이격된 외부지점과 내부의 5일간 평균 차이값(C1-C3)은 $28.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서, 이격거리가 10m인 외부지점의 5일간 평균 차이값(C2-C3)인 $28.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 작게 나타났다. 밀폐형 스마트버스정류장에서도 20m 이격된 외부지점의 5일간 평균 차이값(O1-O3)은 $3.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서, 이격거리가 10m인 외부지점의 5일간 평균 차이값(O2-O3)인 $4.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 작게 나타났다. 이에 따라 스마트버스정류장의 입지에 따라 10m미만 이격거리에서 외부공간의 PM_{10} 저감효과가 제한적으로 발생하나, 10m 이상의 이격거리에서는 이격거리에 반비례하는 PM_{10} 저감효과는 설명되지 않았다.

스마트버스정류장 설치에 따른 외부지점의 $\text{PM}_{2.5}$ 저감효과는 PM_{10} 결과와 유사하게 나타났다. 그 결과는 Table 9 및 Table 10과 같다. 두 유형의 스마트버스정류장의 내부(C3, O3)와 인접한 외부지점(C4, O4)의 5일간 평균 차이값은 각각 $26.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $2.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 차이값을 나타냈다. 두 유형의 내부와 인접한 외부지점을 제외한 외부지점(C1, C2, C5, C6 및 O1, O2, O5, O6)의 5일간 평균 차이값은 각각 $28.2\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 31.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $2.6\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 4.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 두 유형의 내부와 인접한 외부의 평균 차이

Table 9. Differences in $\text{PM}_{2.5}$ Concentration Averages between Outside and Inside the Closed-type Smart Bus Stop

Day	Point to point interval ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	C1-C3	C2-C3	C4-C3	C5-C3	C6-C3
Mar 17	16.9 (123.9%)	14.9 (109.1%)	15.7 (115.4%)	16.9 (124.3%)	14.9 (109.4%)
Mar 18	43.7 (75.3%)	46.8 (80.8%)	43.3 (74.8%)	42.6 (73.5%)	47.6 (82.2%)
Mar 22	7.7 (119.0%)	7.4 (113.4%)	7.1 (109.0%)	8.4 (128.7%)	9.7 (149.8%)
Mar 24	9.8 (237.6%)	9.9 (239.1%)	8.7 (210.4%)	8.5 (205.4%)	8.8 (214.2%)
Mar 26	32.2 (121.6%)	33.9 (128.1%)	26.2 (98.9%)	36.5 (137.9%)	36.7 (138.5%)
Avg	22.0 (101.4%)	22.6 (103.8%)	20.2 (92.9%)	22.6 (103.9%)	23.5 (108.3%)

Table 10. Differences in $\text{PM}_{2.5}$ Concentration Averages between Outside and Inside the Open-type Smart Bus Stop

Day	Point to point interval ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	O1-O3	O2-O3	O4-O3	O5-O3	O6-O3
Mar 17	0.8 (2.9%)	1.8 (6.9%)	1.4 (5.3%)	3.2 (12.2%)	5.1 (19.4%)
Mar 18	3.2 (3.3%)	2.9 (2.9%)	2.6 (2.6%)	4.2 (4.3%)	10.7 (10.8%)
Mar 22	7.9 (69.4%)	7.0 (61.7%)	0.6 (5.6%)	1.4 (12.4%)	1.7 (15.0%)
Mar 24	2.3 (20.0%)	3.3 (29.3%)	1.9 (16.3%)	3.2 (27.6%)	1.3 (11.8%)
Mar 26	-0.2 (-0.4%)	-0.1 (-0.1%)	2.8 (5.0%)	0.2 (0.4%)	0.0 (0.1%)
Avg	2.8 (6.8%)	3.0 (7.4%)	1.8 (4.5%)	2.4 (6.0%)	3.8 (9.3%)

값은 타 외부지점의 차이값보다 큰 차이를 나타냈다. 인접한 외부(C4, O4)는 다른 외부(C1, C2, C5, C6, O1, O2, O5, O6)보다 상대적으로 $\text{PM}_{2.5}$ 저감효과가 높게 확인되었다. 하지만 밀폐형 스마트버스정류장과 20m 이격된 외부지점과 내부의 5일간 평균 차이값(C1-C3)은 $22.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서, 이격거리가 10m인 외

부지점의 5일간 평균 차이값(C2-C3)인 $22.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 작게 나타났다. 밀폐형 스마트버스정류장에서 20m 이격된 외부지점의 5일간 평균 차이값(O1-O3)은 $2.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서, 이격거리가 10m인 외부지점의 5일간 평균 차이값(O2-O3)인 $3.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 작게 나타났다. 따라서 PM₁₀과 동일하게 스마트버스정류장과 가장 인접한 외부지점에서만 미비한 미세먼지 저감효과가 확인되었다.

5. 결론

본 연구의 실측 및 분석 결과, 스마트버스정류장의 내부 공간에 대한 저감효과는 밀폐형 스마트버스정류장이 상대적으로 우수한 것으로 분석되었다. 이는 개방형 스마트버스정류장은 부스형태로 인해 지속적인 외기가 유입됨에 반해 밀폐형 스마트버스정류장은 외기가 상대적으로 차단되기 때문으로 판단된다. 개방형 스마트버스정류장은 이러한 외기 유입 차단을 위해 에어커튼 기술을 적용하고 있으나, 그 효과가 미비한 것으로 판단된다. 이에 반해 스마트버스정류장의 외부 공간에 대한 미세먼지 저감은 매우 미비한 것으로 나타났다. 일부 스마트버스정류장의 출입구가 인접한 외부 공간 일부에서만 미세먼지 저감효과가 확인되었다. 이격거리에 반비례한 미세먼지 저감효과는 확인되지 않았다. 이는 스마트버스정류장 내부에서 외부로 유출되는 정화된 공기량이 외부공간의 공기를 정화시키기에는 턱없이 모자람을 나타낸다.

본 연구는 세 가지 측면에서 연구의 한계를 가지고 있다. 첫째, 설치장소의 지역적 특성이 유형별 스마트버스정류장의 미세먼지 저감효과에 미치는 영향을 설명하는데 한계를 지닌다. 본 연구의 대상지는 강남구 영동대로 코엑스 동문 앞 버스정류장 밀집지역의 단일 대상으로 선정하여 대상지의 특성을 통제하였다. 이에 따라 대기순환이 비교적 양호한 대로

변에 설치된 스마트버스정류장의 미세먼지 저감효과는 설명하였으나, 예를 들어 도로폭이 좁아 상대적으로 대기순환이 미비한 지역에 대한 스마트버스정류장의 효과는 다른 결과가 도출될 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 스마트버스정류장 설치장소의 특성을 유형화하고 이에 대한 스마트버스정류장의 미세먼지 저감효과 차이를 분석할 필요성이 있다. 두 번째 연구의 한계는 미세먼지 측정 간격에 대한 점을 들 수 있다. 본 연구에서 제시한 10m의 외부지점간 간격을 3m, 또는 그 이하의 거리로 설정할 경우 유의미한 미세먼지 저감효과가 도출되어 연구결과가 달라질 수 있다. 따라서 향후 외부공간에 대한 측정 기점 간격을 좁힌 추가 연구가 필요하다. 세 번째로는 시민들의 버스이용행태를 반영하지 못한 한계를 띤다. 스마트버스정류장 외부공간은 주기적으로 버스가 진입·정차하며, 시민들은 버스를 기다리거나 버스에 탑승하기 위해 지속적으로 스마트버스정류장을 출입한다. 또한 시각에 따라 버스 및 시민의 규모가 상이함을 예상할 수 있다. 이로 인해 크게는 통근 시간과 일반시간, 작게는 시민들의 버스승하차 시간과 승하차 대기 시간에 상이한 외기유입량이 발생하고 이에 따른 미세먼지 저감효과가 달라질 수 있다. 향후 스마트버스정류장의 이용 행태에 따른 미세먼지 저감효과에 대한 추가 연구 추진이 필요하다.

본 연구 결과에 따른 중앙정부 및 지자체의 스마트버스정류장 관련 사업 추진 시 고려사항은 다음과 같다. 첫 번째로 스마트버스정류장 도입 검토 시 밀폐형 스마트버스정류장 설치를 권장한다. 현재의 스마트버스정류장 미세먼지 저감기술 한계로 인해 밀폐형 스마트버스정류장의 내부만이 시민이 체감할 수 있는 수준의 미세먼지 저감효과가 발생한다. 두 번째로 버스정류장 이용객 수를 고려하여 스마트버스정류장 크기를 산정해야 한다. 밀폐형 스마트버스정류장의 경우 개방형 스마트버스정류장 보다 상대적으로 기존 버스정류장 부스 재이용이 어렵고 부스

규모 변경이 용이하지 않다. 따라서 처음 설치 시 미래 수요를 고려한 계획이 필요하다. 세 번째로 스마트버스정류장의 내부 이용객인 버스 승차 인원을 대상으로 스마트버스정류장 수요를 검토해야 한다. 버스 하차인원의 경우 스마트버스정류장 내부를 활용하는 경우가 적기 때문이다. 네 번째 외부 요인으로 인해 기존 스마트버스정류장의 이용 수요가 증가할 경우에는 밀폐형 스마트버스정류장의 추가 설치를 권장한다. 스마트버스정류장 설치에 따른 외부공간의 미세먼지 저감효과가 미비하기 때문에 스마트버스정류장 부스의 수용용량 초과할 시 이용객에게 미세먼지 저감 서비스를 제공할 수 없다.

스마트버스정류장의 기술개발에 대한 고려사항은 다음과 같다. 첫 번째로 에어커튼의 성능향상이다. 개방형 스마트버스정류장의 에어커튼 외기유입 차단효과가 밀폐형 스마트버스정류장의 외기유입 차단효과 수준에 달할 경우 두 유형의 스마트버스정류장은 동일한 미세먼지 저감 효과를 지닐 수 있다. 이 경우 출입문 방향이 버스 승하차 방향으로 설치되는 개방형 스마트버스정류장이 시민들의 버스 승하차 편의성 측면에서 장점을 지닐 수 있다. 두 번째로 공기정화장치의 성능향상이다. 외부공간의 미세먼지 수준이 나쁜 경우(3월 18일 및 3월 26일) 상대적으로 미세먼지 저감효과가 우수한 밀폐형 스마트버스정류장 내부에서도 보통 또는 나쁨 수준의 미세먼지 농도가 나타났다. 스마트버스정류장의 시민체감도를 높이기 위해선 미세먼지 농도가 좋음 수준을 유지하는 스마트버스정류장이 필요하다.

스마트버스정류장의 확산·보급 정책에 있어서 다음과 같은 정책 수립이 필요하다. 첫 번째로 스마트버스정류장의 정의 및 요구사항 기준 수립을 들 수 있다. 현재 스마트버스정류장에 대한 가이드라인 및 표준이 없다. 이에 지자체의 스마트버스정류장 기능 및 성능은 제각각인 상황이며 이로 인해 미세먼지 저감 성능이 떨어지는 개방형 스마트버스정류장 설

치가 발생하였다고 판단된다. 이를 위해 스마트버스정류장에 대한 가이드라인 또는 표준 제정이 필요하며, 나아가 스마트도시서비스별 최소 기능 및 성능 요구사항에 대한 연구 및 정책수립이 필요하다. 두 번째로 스마트버스정류장 보급사업 추진을 들 수 있다. 현재 스마트버스정류장은 국토교통부의 스마트솔루션확산사업으로 추진되고 있다. 해당 사업은 시범사업의 성격으로 일부 지역에 한정적으로 추진되고 있다. 본 연구를 통해 밀폐형 스마트버스정류장의 미세먼지 저감효과가 검증됨에 따라 밀폐형 스마트버스정류장 보급과 관련된 다양한 확산사업 추진을 제안한다.

참고문헌

1. 국토교통부(2019), 「제3차 스마트도시종합계획」.
2. 김영성·원수란·최용주·최순호·김아롱·진현철·김용표·강창희(2008), 「도로변의 1,2차 미세먼지 농도 변화」, 「한국대기환경학회 2008 추계학술대회논문집」, 173~174.
3. 박기돈·고영준(2021), 「스마트버스정류장의 사례 조사 및 평가를 통한 유니버설디자인 적용방향 연구」, 「상품문화디자인학연구」, 64: 169~179.
4. 유솔·윤동민·김보경·이선엽·이동재·김성렬(2015), 「교통오염원으로부터 거리별 초미세먼지(PM_{2.5}) 및 블랙카본 농도의 연관성에 관한 평가」, 「한국대기환경학회 학술대회논문집」, 177.
5. 이상혁·백철민·문수영·장대희·박희문(2019), 「도로변 버스정류장 형태별 초미세먼지 특성분석」, 「한국도로학회지」, 21(5): 25~34.
6. 이상혁·이종원·박기수·이수형·박희문(2020), 「기상 조건에 따른 버스 정류장의 초미세먼지 농도 특성에 관한 통계학적 분석」, 「한국도로학회지」, 22(5): 37~45.
7. 이영우·견승엽(2020), 「도로상의 미세먼지 관리 버스정류장 도입을 위한 법제도 개선방안」, 「한국환경생태학회지」, 33(4): 472~480.
8. 이재용(2021), 「민관협력 기반 도시실증, 스마트시티 챌린지 사업」, 「전자공학학회지」, 48(3): 50~57.
9. Borysov, A., A. Tarasenko, N. Krisanova, N. Pozdnyakova, A. Pastukhov, M. Dudarenko, K.

- Paliienko and T. Borisova (2020), "Plastic smoke aerosol: nano-sized particle distribution, absorption/ fluorescent properties, dysregulation of oxidative processes and synaptic transmission in rat brain nerve terminals", *Environmental Pollution*, 263: 114502.
10. Chen, L. W. A., J. O. Olawepo, F. Bonanno, A. Gebreselassie and M. Zhang (2020), "School children's exposure to PM_{2.5}: a student club-based air quality monitoring campaign using low-cost sensors. Air Quality", *Atmosphere & Health*, 13(5): 543~551.
11. Grzędzicka, E. (2019), "Is the existing urban greenery enough to cope with current concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀ and CO₂?", *Atmospheric Pollution Research*, 10(1): 219~233.
12. Roorda-Knape, M., N.A.H. Janssen, J.J.D. Hartog, P. HN. V. Vliet, H. Harssema and B. Brunekreef (1998), "Air pollution from traffic in city districts near major motorways", *Atmospheric Environment*, 32(11): 1921~1930.
13. 스마트도시 종합포털, <https://smartcity.go.kr/2021>
14. 서울특별시 대기환경정보, <https://cleanair.seoul.go.kr/>

요 약

본 연구는 미세먼지 농도 저감을 위해 스마트버스정류장 도입 유형에 대한 가이드라인을 제안하고자 한다. 이를 위해 스마트버스정류장 유형을 밀폐형 및 개방형으로 구분하고, 서울 강남구에 위치한 스마트버스정류장 내부와 외부 5개 지점에서 PM₁₀ 및 PM_{2.5}를 5일간 실측하여 저감효과를 비교·분석하였다. 분석 결과 외부공간에 대한 저감효과는 두 유형에서 모두에서 미비하게 나타났으나, 밀폐형 버스정류장(PM₁₀ 26.0µg/m³, PM_{2.5} 20.2µg/m³ 내·외부 농도차이) 내에서 개방형 버스정류장(PM₁₀ 2.4µg/m³, PM_{2.5} 1.8µg/m³ 내·외부 농도차이) 내에서보다 상대적으로 우수한 농도 저감효과를 나타내었다. 이를 바탕으로 미세먼지 저감을 고려한 스마트버스정류장 도입을 검토할 경우 밀폐형을 권장한다. 또한 스마트버스정류장 외부의 미세먼지 저감효과가 미비하기 때문에 스마트버스정류장 내부 용량을 초과하는 서비스 수요 발생 시 스마트버스정류장 추가 구축이 필요하다.

주제어 : 스마트버스정류장, 미세먼지, 초미세먼지, 서울
