

ORIGINAL ARTICLE

녹지 내부 바람통로가 기상요소와 음이온 발생량 변화에 미치는 영향

오득균 · 윤용한*

건국대학교 녹색환경시스템전공

Formation of Internal Wind Paths of Open Space and Its Effect on Meteorological Factors and the Generation of Negative Air Ions

Deuk-Kyun Oh, Yong-Han Yoon*

Department of Green Environment System, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Abstract

The purpose of this study is to understand the formation of internal wind paths of open space and its effect on meteorological factors and the generation of negative air ions. Various types of internal wind paths of open space were formed. Subsequently, changes in meteorological factors in each type were measured and the generated negative air ions were analyzed. The four key findings of the study are summarized as follows. First, the average wind speed formed inside the open space was analyzed such that the difference in wind speed was dependent on the difference in the composition of the wind path. Second, the negative air ion generation was observed to have the same trend as the average wind speed difference. Third, changes to the meteorological factors were more evident depending on the difference in wind path formation patterns. Solar radiation was expected to be highly affected by the physical structure (direction) of the target site. The relative humidity was found to show large difference depending on the different wind path type; however, this difference was significantly reduced when converting to absolute humidity. Fourth, it was found that the wind path formation type of open space affects meteorological factors through path analysis, and the changed meteorological factors affect the amount of generated negative air ions. Two conclusions can be obtained based on these results. First, the changes in internal wind speed formation of open space directly reduced the amount of generated negative air ions. Second, the changes in wind speed affect meteorological factors as well as the amount of generated negative air ions.

Key words : Wind corridor, Heat island, PM₁₀, PM_{2.5}, Air apocalypse, Particulate matter, Fine dust

1. 서론

2013년 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)

에 의해 '1군 발암물질'로 지정된 미세먼지는 우리나라 대기환경에 큰 영향을 미치고 있으며, 2018년 한해 미세먼지로 인한 경제적 피해는 약 4조원에 이르는 것으로

Received 25 February, 2020; Revised 2 March, 2020;
Accepted 3 March, 2020

*Corresponding author: Yong-Han Yoon, Department of Green Environment System, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
Phone: +82-43-840-3536
E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

보고되고 있다(Hyundai Research Institute, 2019). 우리나라 정부는 이러한 미세먼지에 대한 대응으로 노후경유차 운행제한, 미세먼지 경보 발령, 미세먼지 대처 매뉴얼 배포 등 다양한 대응책(Ministry of Environment, 2017)을 제시하고 있지만 실질적으로 국내외에서 발생하는 미세먼지를 원천적으로 저감하는 대책에 대해선 미흡한 실정이다(National Assembly Budget Office, 2019).

공기 이온은 일찍이 1960년대에서 공기의 이온화와 그 특성 연구가 시작되었으며(Phillips et al., 1964; Happ et al., 1966), 다양한 연구가 수행되었다. 이후 꾸준히 대기의 이온화는 먼지입자나 공기 중 박테리아 등 미생물의 수를 감소시키는 것으로 지속적으로 보고되고 있다(Lee, 2003, 2004; Lee and Yoon, 2003; Zeng et al., 2007; Zhang et al., 2008). 이러한 음이온의 미세저감 효과 원인은 전기적으로 불안정한 공기 중 미세입자나 미생물은 양전하를 띠며 서로를 밀어내는 척력(Repulsive force)으로 공기 중 분포하게 되는데, 공기 중 음이온이 이러한 물질들을 중성화 하고 전기적으로 안정하게 하여 바닥에 침전시키기 때문이다(R.D.A., 2008).

이러한 음이온의 특징은 현재 우리나라가 겪고 있는 가장 큰 환경문제 중 하나인 미세먼지에 대한 대응책으로 적절히 활용될 수 있을 것이다. 대기 중 음이온은 다양한 원인에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있는데, 대표적으로 태양의 자외선, 지전장, 코로나 방전효과, 방사성 물질, 식물의 광합성 등에 의해 발생하는 것으로 보고되었다(Jin, 2005). 2018년 방사능 침대 사태의 경우 음이온을 발생시키기 위해 방사성 물질을 사용한 사례라고 할 수 있다. 공기의 이온화라는 것은 필수적으로 외부에서 에너지가 유입되어 공기구성 분자 또는 원자를 산화환원(Oxidation-Reduction) 해야 하는데, 이 에너지를 인체에 유해한 방사능 물질(Radium)로 사용한 것이 문제의 원인인 것으로 판단된다.

이러한 사건들로 인하여 공기 중 음이온에 대한 부정적인 인식이 형성되었다. 하지만, 공기 중 음이온은 미세먼지 저감에 효과가 있다는 다수의 연구를 바탕으로, 우리가 음이온 발생을 위한 에너지원만 적절하게 활용한다면, 근래의 우리나라 대기환경문제를 개선하고 대응책으로 활용하는 데에 적절한 수단이 될 수 있을 것이다. 특

히, 식물의 광합성으로 발생하는 음이온에 대한 메커니즘에 대한 이해와 분석이 이루어진다면, 미세먼지 저감에 대한 적극적인 대응방안이 될 수 있을 것이다. 더 나아가, 기존 녹지가 가진 효용을 포함하여 활용될 수 있기 때문에 도시 전체의 환경을 개선하는데 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

음이온 발생량 규명을 위한 대부분의 선행연구들은 녹지 내부에서 음이온 발생량과 기상요소가 밀접한 상관관계에 있다고 지속적으로 보고(Kim et al., 2019, Yoon et al., 2019)되었다. 이에 녹지 내부의 기상요소를 조절할 수 있다면 음이온 발생량 또한 조절할 수 있을 것이라 예상되었다. 도시환경을 조절하는 다양한 방법 중 바람길 조성은 주변으로부터 공기가 흘러들어와 대상지의 공기를 밀어내며 기온을 낮추고 대기순환을 촉진하는 역할(Cha et al., 2007)을 수행하며 대기환경을 조절한다. 이에 녹지 내부의 바람길은 기상요소를 조절할 수 있는 요소로 작용할 것으로 예상되었다. 이에 본 연구에서는 녹지 내 바람통로를 조성하여 녹지 내 형성되어 있는 기상요소변화를 관측하고, 더 나아가 음이온 발생량 변화에 미치는 영향을 규명하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험구 조성

본 연구의 시간적 범위로는 여름철인 2016년 7월부터 8월까지 약 1개월 동안 측정을 진행하였으며, 공간적 범위는 충청북도 충주시에 위치한 건국대학교 글로컬캠퍼스 녹색환경시스템전공 실습장에서 실시하여 공간적 차이에 따른 결과의 오류를 최소화하고자 하였다.

녹지조성형태는 녹지 내의 다양한 바람통로 형태를 현실적으로 모두 고려할 수 없기 때문에 대표성을 가진 형태를 우선적으로 검증하고자 하였다. 바람 통로 없이 녹지외곽에 수목이 식재된 형태(Type A), 녹지 내부에 직선형 바람통로 조성형태(Type B), 녹지 내부에 커브(Curve)형 바람통로 조성 형태(Type C) 등 3가지의 형태로 구분하였다. 또한 식물 수종의 차이에 따라 음이온 발생량의 차이가 있다(Lee 2003; Yoon et al., 2012)는 선행연구들을 검토하여 수종의 차이에 따른 음이온 발생량의 차이를 최소화하기 위하여 식재수종으로는 무궁화(Hibiscus syriacus)로 통일하여 식재하였다. 뿐만 아니라

Table 1. Characteristics and shape of experimental space

Characteristic	Height (m)	2.00 ±0.02	Canopy width (m)	0.70 ±0.05	GVZ (m ³ /m)	0.80 ±0.03
Wind path shape						
	Type A		Type B		Type C	

녹지용적계수(녹적량, GVZ)의 차이에 따른 음이온 발생량에 대한 선행연구 결과(AHN et al., 2008; Kim et al., 2015)를 참고하여 동일한 규격으로 전정을 실시하여 녹지용적계수의 차이를 최소화 하였다(Rafer to Table 1).

2.2. 조사 방법

2.2.1. 음이온 측정방법

음이온 측정기(Com3600pro, Nico; Japan)의 설치는 녹지조성형태에 따라 녹지의 중앙부에 설치하였으며, 설치 높이는 지전장(地電場)에 의해서도 음이온이 발생한다는 보고(Jin, 2005)를 참고하여 지전장의 영향을 최소화하기 위하여 지상으로부터 1.5 m 이격시켜 설치를 진행하였다. 또한 측정 시 바람이 음이온 발생량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 주 풍향으로 측정기의 입구를 설치하였다.

음이온 측정 방식은 측정자의 주관을 배제하기 위하여 자동기록방식을 채택하였으며, 실시간 측정 및 기록을 통하여 음이온 발생량의 미세한 변동을 수치화하였다. 실시간 측정에 소요되는 시간은 약 4초로 1분간 약 15회의 음이온 발생량을 기록하였으며, 음이온 발생량은 주간에 더 많이 발생한다는 결과(Shin et al., 2012)를 참고하여 음이온 발생량이 가장 많은 시간일 것으로 예상되는 10시부터 16시까지 6시간 동안 연속측정을 실시하였다.

이후 측정된 음이온은 분석에 측정기기의 안정화에 소요된 시간 30분(10:00~10:29)과 마지막 시간대의 30분(15:30~16:00)의 데이터를 제외하고 1분 간격 평균 음이온 발생량을 계산하였다. 또한 1분 간격으로 계산된

음이온 발생량은 시간대 별로 11:00(10:30~11:29), 12:00(11:30~12:29), 13:00(12:30~13:29), 14:00(13:30~14:29), 15:00(14:30~15:29) 등 총 5개 수준의 시간대로 구분하여 분석에 활용하였다.

2.2.2. 기상요소 측정방법

기상요소 측정에 활용된 측정기는 AWS(Watch Dog, USA)를 활용하였다. 미시적인 기상요소 변화와 음이온 발생량의 상관관계를 파악하기 위해서 1분 간격으로 자동 기록하였으며, 음이온 발생량 측정과 동시에 진행하였다. 측정항목으로는 기온, 상대습도, 풍속, 일사량을 측정하였다. 또한 측정된 데이터는 음이온 발생량과 비교를 실시하기 위하여 시간대 별로 음이온 발생량 구분 시간대와 동일하게 5개 수준으로 구분하여 분석에 활용하였다.

2.3. 분석 방법

2.3.1. 변수설정

기상요소 변화에 따른 음이온 발생량을 분석하기 위하여 종속변수로는 음이온을 설정하였으며, 실측을 통하여 데이터를 구득하고 분석에 활용하였다. 또한 음이온 발생량과 기상요소의 상관관계를 분석하기 위하여 기상요소, 녹지조성형태 특성, 시간대를 독립변수로 설정하였다. 독립변수 중 기상요소의 경우 기온, 상대습도, 풍속, 일사량, 절대습도를 측정항목으로 설정하였으며, 절대습도를 제외한 나머지 기상요소의 경우 AWS를 통한 실측으로 분석에 활용하였다. 한편 절대습도는 측정된 기온과 상대습도를 활용하여 환산하였으며, 녹지조성형태 특성으로 녹지조성형태를 가변수로 설정하였다(Rafer

Table 2. Establishment negative air ion as a dependent variable and meteorological and wind passages as independent variables

Variable division	Variable	Entry variable	Method	Division
Dependent	Negative air ion	Negative air ion		ea/cm ³
		Air temperature		°C
Independent	Meteorological characteristic	Relative humidity	Actually measured	%
		Wind speed		m/s
		Solar radiation quantity		W/m ²
		Absolute humidity	Calculation	g/m ³
		Open space characteristic	Layout type	A;1, B;2, C;3
	Time	Slot	Actually measured	Slot

to Table 2).

2.3.2. 통계분석

통계분석 적용에 앞서 데이터 탐색을 통하여 각 측정 항목별 평균, 표준편차, 왜도와 첨도를 분석하였으며, 이를 통하여 정규성을 확보하였다. 또한, 정규성이 가정되지 않은 항목에 대해서 중심극한정리에 의하여 표본이 30개를 초과하는 경우 정규분포를 가정하고 분석을 실시하였다.

통계분석은 일원배치 분산분석(ANOVA), 반복측정 분산분석(Repeated measures ANOVA) 상관분석, 더미회귀분석을 실시하였으며, 일원배치 분산분석과 반복 측정 분산분석을 통해 통계적으로 유의성이 있는 것으로 분석된 자료는 Duncan's multiple range test를 사후분석으로 적용하였다. 통계분석에 적용한 유의확률은 자연 과학에 일반적으로 인정되는 5%의 수준을 적용하였으며, 최종적으로 바람통로 조성형태가 기상요소변화와 음이온 발생량 변화에 미치는 직접효과와 간접효과를 검정하기 위하여 AMOS 18.을 통한 경로분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 녹지내부 바람통로 조성형태 차이에 따른 풍속 변화

3.1.1. 바람통로 조성 형태별 풍속

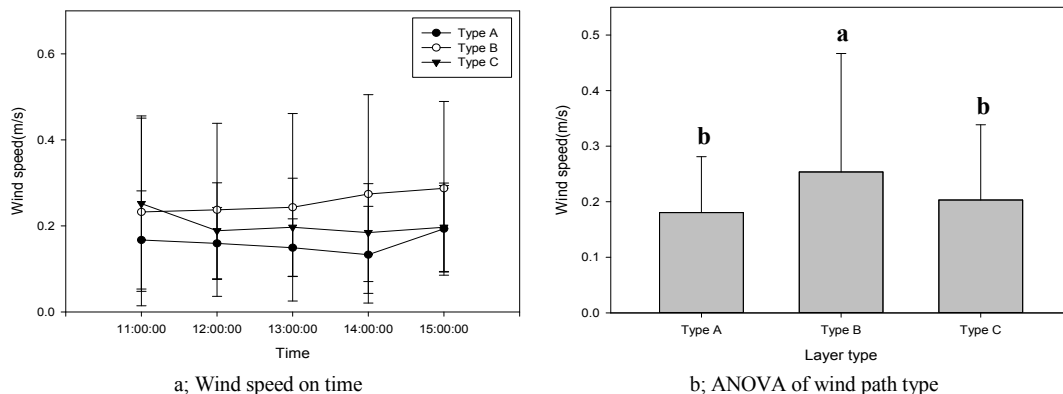
바람통로 조성형태에 따른 풍속의 차이를 검증하기 위하여 Type A를 대조구로 설정하고 Type B와 Type C의 풍속과 비교· 분석을 실시하였다. Type A의 측정시간 평균 풍속은 0.18 m/s인 것으로 분석되었으며, 15:00(0.19 m/s) > 11:00(0.17 m/s) > 12:00(0.16 m/s)

> 13:00(0.15 m/s) > 14:00(0.13 m/s)의 순으로 측정되었다(Refer to Fig 1). 바람이 원활하게 형성될 수 있도록 직선형 바람통로 형태인 Type B의 풍속의 경우 측정시간 평균 풍속은 0.25 m/s인 것으로 분석되었으며, 시간대별 풍속을 비교한 결과 15:00(0.29 m/s) > 14:00(0.27 m/s) > 13:00(0.24 m/s) = 12:00(0.24 m/s) > 11:00(0.23 m/s)의 순으로 측정되었다. 바람이 상대적으로 원활하게 형성될 수 없는 커브형 바람통로인 Type C의 측정시간 평균 풍속은 0.20 m/s인 것으로 분석되었으며, 시간대별 풍속을 비교한 결과 11:00(0.25 m/s) > 15:00(0.20 m/s) = 13:00(0.20 m/s) > 12:00(0.19 m/s) > 14:00(0.18 m/s)의 순으로 측정되었다(Rafer to Fig. 1a).

풍속측정 결과 각 조성형태별 평균 풍속은 Type A 0.18 m/s, Type B 0.25 m/s, Type C 0.20 m/s인 것으로 측정되었다. 풍속은 직선형 바람통로가 조성된 Type B에서 가장 높은 것으로 나타났으며, 이후 Type C, Type A의 순이었다. 각 유형별 풍속의 경우 대부분 1 m/s 미만으로 매우 약한 것으로 측정되었는데, 이는 실험구조성에 있어 녹지 외곽에 식재된 수목에 의한 방풍효과가 지속적으로 나타났기 때문인 것으로 예상되었다. 또한 측정기기 특성상 녹지 내에서 형성되는 모든 순간의 풍속들을 모두 관측하고 기록하는데 한계가 있어 나타난 결과로 판단되었다. 향후 외부환경 풍속 측정 시, 이러한 특성을 고려하여 적산풍속등 모든 변화를 포함할 있는 변수를 추가적으로 도입해야 할 것으로 사료되었다.

3.1.2. 바람통로 조성형태별 풍속 차이 검정

바람통로 조성형태에 따른 풍속 차이의 통계적인 분



Values of each bar followed by the same letter indicate no significant difference according to Duncan's test (Repeated measurements of ANOVA; $F=18.231$, $p<.001$, $n=6,300$).

Fig. 1. Wind speed on time and repeated measurements of ANOVA result by wind path type.

석을 위하여 일원배치 분산분석을 실시하였으며, 분석결과에 따라 수치적인 차이를 통계적으로 확인하기 위하여 사후검정으로 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

녹지조성형태별 풍속의 차이를 검정한 일원배치 분산분석 결과, 통계량 $F=18.231$ ($p<.001$)인 것으로 분석되어 집단 내 변동보다 집단 간 변동이 더 큰 것으로 분석되어 '조성형태의 차이에 따른 풍속의 차이는 없다'라는 귀무가설을 기각하게 되었으며, '조성형태의 차이에 따른 풍속의 차이는 적어도 한 집단에는 있다'라는 대립가설을 채택하게 되었다. 이에 따라 실시된 사후검정 결과를 살펴보면 총 2개의 부집단으로 구분되었으며, 풍속값은 Type B에서 통계적으로 유의하게 가장 높은 것으로 분석되었다. 반면 Type A와 Type C의 경우 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 즉, 바람통로 조성형태의 차이에 따른 풍속은 Type B > Type C = Type A의 순인 것으로 분석되었다(Rafer to Fig. 1b).

이러한 결과는 녹지의 조성형태에 있어 Type A의 경우 녹지 외곽에 수목을 식재하여 수목의 방풍효과가 지속적으로 나타났기 때문인 것으로 판단되었으며, Type B의 경우 녹지 내부에 조성된 바람통로를 따라 바람이 원활한 기류를 형성할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 반면 Type C의 경우 커브 형태의 바람통로로 Type B에 비하여 바람이 원활하게 통과할 수 없었기 때문에 Type A와 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 미루어 보았을 때, 바람통로 조성에 있어 그 형태를 충분히 고려하지 않는다면 바람통로 조성을 통한 풍속증가 효과는 매우 미미할 것으로 보인다.

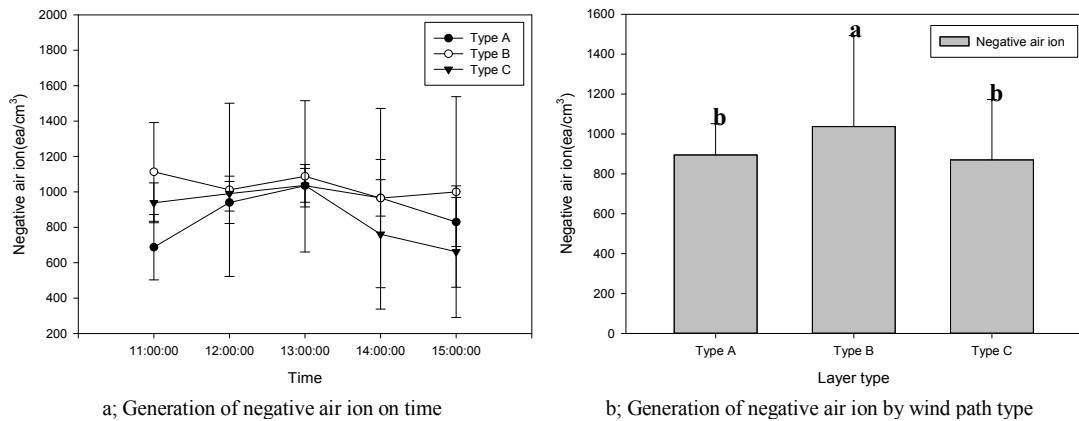
3.2. 바람통로 조성형태 차이에 따른 음이온 발생량 변화

3.2.1. 바람통로 조성형태별 음이온 발생량

시간대별 음이온 발생량을 비교한 결과, 내부에 수목이 식재되지 않은 Type A의 측정시간 평균 음이온 발생량은 895 ea/cm^3 로 분석되었다. 또한 시간 변화에 따른 음이온 발생량의 경우 $13:00(1,035 \text{ ea/cm}^3) > 14:00(966 \text{ ea/cm}^3) > 12:00(940 \text{ ea/cm}^3) > 15:00(846 \text{ ea/cm}^3) > 11:00(687 \text{ ea/cm}^3)$ 의 순으로 측정되었다.

직선형 바람통로인 Type B의 측정시간 평균 음이온 발생량은 1038 ea/cm^3 로 분석되었으며, 시간대별 음이온 발생량은 $11:00(1,113 \text{ ea/cm}^3) > 13:00(1,088 \text{ ea/cm}^3) > 12:00(1,011 \text{ ea/cm}^3) > 15:00(1,000 \text{ ea/cm}^3) > 14:00(965 \text{ ea/cm}^3)$ 의 순으로 측정되었다. Type B의 경우 음이온 발생량의 최대값이 11:00에 나타났으며, 시간 변화에 따른 음이온 발생량의 차이가 거의 없는 것으로 나타나 Type A와 다른 경향을 나타내었다.

커브형 바람통로인 Type C의 측정시간 평균 음이온 발생량은 870 ea/cm^3 인 것으로 분석되었으며, 시간대별 음이온 발생량을 비교한 결과 $13:00(1,037 \text{ ea/cm}^3) > 12:00(990 \text{ ea/cm}^3) > 11:00(938 \text{ ea/cm}^3) > 14:00(761 \text{ ea/cm}^3) > 15:00(662 \text{ ea/cm}^3)$ 의 순인 것으로 나타났다.



Values of each bar followed by the same letter indicate no significant difference according to Duncan's test (Repeated measurements of ANOVA; F=63.926, p<.001, n=6,300).

Fig. 2. Generation of negative air ion on time and repeated measurements of ANOVA result by wind path type.

Type C의 경우 13:00에 음이온 발생량이 가장 큰 것으로 분석되어 Type B와 차이가 있었으며, 전체 시간대별 음이온 발생량의 차이가 상대적으로 큰 것으로 분석되었다(Rafer to Fig. 2a).

3.2.2. 바람통로 조성형태별 음이온 발생량 차이 검정

녹지배치 형태 차이별 음이온 발생량을 일원배치 분산분석으로 조성형태별 차이가 있는지 검정하고 사후검정을 실시한 결과를 살펴보면(Rafer to Fig. 2b), 검정통계량 F=63.926으로 바람통로 조성유무, 형태의 차이에 따라 음이온 발생량의 차이가 유의한 것으로 분석되었다. 이에 따라 음이온 발생량의 차이는 바람통로가 직선형태인 Type B에서 통계적으로 유의하게 가장 높고, 바람통로가 없는 형태인 Type A와 바람통로가 커브형태인 Type C는 통계적으로 차이가 없는 것으로 분석되어 바람통로 조성형태에 따른 음이온 발생량과의 관계 분석결과와 일치하는 경향이였다.

3.3. 바람통로 조성형태별 기상요소와 음이온 발생량의 상관성

3.3.1. 바람통로 조성형태별 기상요소 차이 특성

3.3.1.1. 기온

내부에 수목이 식재되지 않은 Type A의 시간대별 평균 기온은 35.35℃로 13:00(36.49℃) > 12:00(35.92℃) > 12:00(35.49℃) > 15:00(35.08℃) > 11:00 (33.78℃)

의 순으로 측정되었다. Type B는 측정시간 평균기온 33.64℃인 것으로 나타났으며, 시간대별 평균기온의 경우 13:00(36.02℃) > 15:00(34.34℃) > 14:00 (33.82℃) > 12:00(33.23℃) > 11:00(30.92℃)의 순으로 측정되었다. Type B는 일반적으로 기온이 가장 높다고 알려진 13:00시에 그 값이 가장 큰 것으로 분석되었다. Type C는 측정시간 평균기온 31.61℃인 것으로 나타났으며, 시간대별 평균기온의 경우 13:00(32.54℃) > 15:00 (32.14℃) > 14:00(32.07℃) > 12:00(31.58℃) > 11:00 (30.04℃)의 순으로 측정되었다(Rafer to Fig. 3a). 바람통로 조성 형태별 평균 기온은 Type A > Type B > Type C 의 순인 것으로 분석되었는데, 녹지의 바람통로의 향이 남쪽에서 북쪽으로 형성되어 있어 측정지점에 직접 닿게 되는 일사량이 Type C에서 가장 낮았기 때문인 것으로 예상되었다. 이에 시간대별 일사량을 살펴보면 Type C에서 측정 시간 전체에 걸쳐 일사량이 가장 낮은 것으로 나타나 이를 방증하였다.

3.3.1.2. 상대습도

내부에 수목이 식재되지 않은 Type A의 시간대별 상대습도 측정결과 전체평균 46.85%였으며, 15:00(51.31%) > 11:00(49.56%) > 14:00(44.99%) = 12:00 (44.49%) > 13:00(42.57%)의 순으로 측정되었다. 직선형 바람통로인 Type B의 측정시간 평균 상대습도의 경우 52.73%인 것으로 분석되었으며, 시간대별 상대습도의 변화는

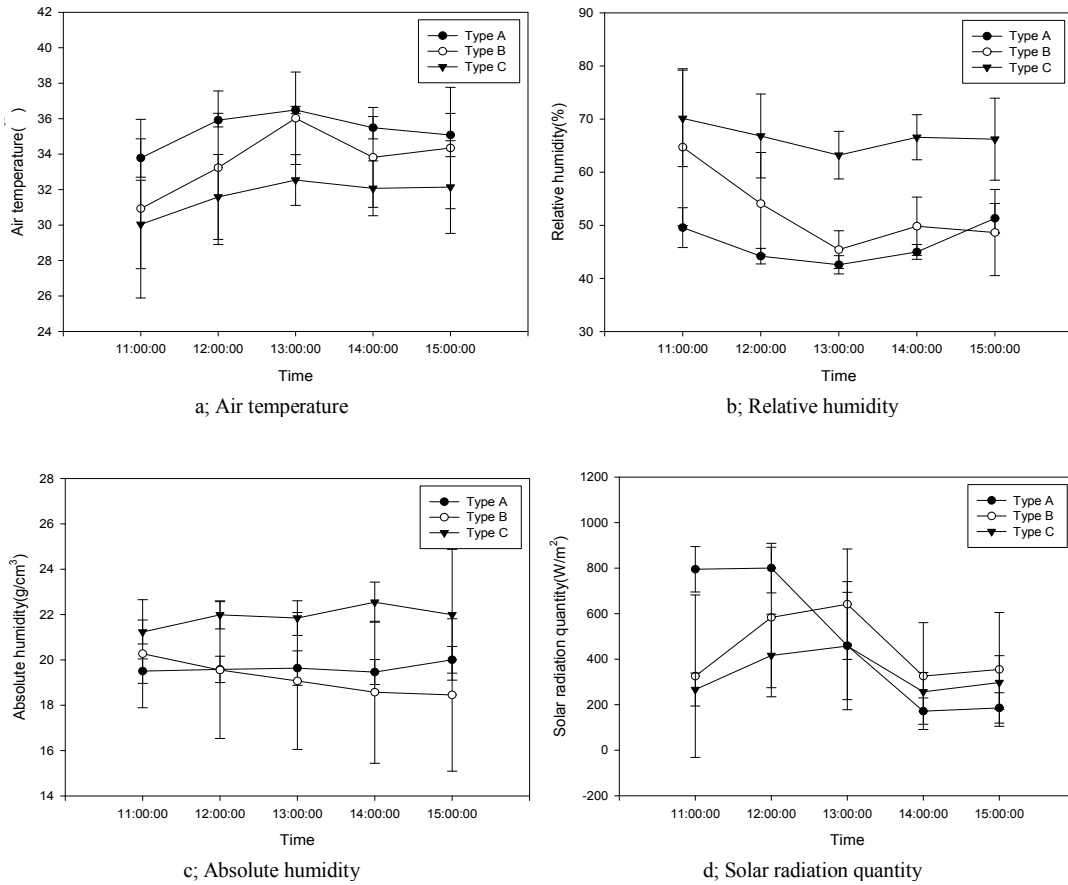


Fig. 3. Change of meteorological factors on time by wind path type(n=6,300).

11:00(64.71%) > 12:00(54.07%) > 14:00(49.83%) > 15:00(48.63%) > 13:00(45.42%)의 순으로 측정되었다. 커브형 바람통로인 Type C의 경우, 측정시간 평균 상대습도는 66.82%인 것으로 분석되었다. 시간대별 상대습도 측정결과 11:00(70.13%) > 12:00(66.81%) > 14:00(66.57%) > 15:00(66.22%) > 13:00(63.20%)의 순인 것으로 나타났다. 또한 기온이 가장 높은 시간인 13:00에 상대습도가 가장 낮은 것으로 분석되었다 (Refer to Fig. 3b).

상대습도의 경우 바람통로 조성형태 차이에 따라 Type C > Type B > Type A의 순으로 그 값이 상이한 것으로 나타났으나, 상대습도는 기온의 변화에 따라 같은 수증기량이라도 다르게 나타나므로 단순 그 수치만 비교하는 것에는 오류를 야기할 수 있을 것으로 판단되

었다. 이에 유형별 절대습도 비교 분석의 필요성이 부각되었다.

3.3.1.3. 절대습도

앞서 기술한 바와 같이, 상대습도의 경우 기온에 종속적인 변수로 같은 수증기량이더라도 기온이 상이하면 그 수치가 각각 다르게 나타난다는 특성이 있다. 기온의 결과를 살펴보았을 때 모든 유형에서 기온이 모두 다른 것으로 나타나 상대습도의 비교 분석만으로는 ‘모든 측정 지점의 공기중 수증기량은 모두 다르다’라는 가설을 충족하는데에 한계가 있다. 이에 모든 상대습도 측정값을 해당 시간별 기온을 반영하여 절대습도로 변환하여 비교 분석을 실시하였다.

그 결과, 내부에 수목이 식재되지 않은 Type A의 측정

Table 3. Correlations between meteorological factors and negative air ion generation in relation to the wind path type

Factor Division	Air Temperature	Relative Humidity	Wind Speed	Solar Radiation Quantity	Absolute Humidity
Negative Air Ion	.523**	-.192**	.372**	.527**	.167**
Air Temperature		-.502**	.291**	.596**	.290**
Relative Humidity			-.238**	-.483**	.668**
Wind Speed				.257**	-.050
Solar Radiation Quantity					-.080

*: $p < .05$, **: $p < .01$, $n = 6,300$

시간 전체에 대한 평균 절대습도는 19.70 g/m^3 인 것으로 분석되었으며, $15:00(20.00 \text{ g/m}^3) > 13:00(19.62 \text{ g/m}^3) > 12:00(19.58 \text{ g/m}^3) > 11:00(19.50 \text{ g/m}^3) > 14:00(19.46 \text{ g/m}^3)$ 의 순으로 측정되었다. 직선형 바람통로인 Type B의 측정시간 평균 절대습도의 경우 19.22 g/m^3 인 것으로 분석되었으며, 시간대별 절대습도의 경우 $11:00(20.27 \text{ g/m}^3) > 12:00(19.55 \text{ g/m}^3) > 13:00(19.07 \text{ g/m}^3) > 14:00(18.57 \text{ g/m}^3) > 15:00(18.45 \text{ g/m}^3)$ 의 순으로 측정되었다. Type C의 측정시간 평균 절대습도는 21.92 g/m^3 인 것으로 분석되었으며, 시간대별 절대습도는 $14:00(22.55 \text{ g/m}^3) > 15:00(21.99 \text{ g/m}^3) = 12:00(21.99 \text{ g/m}^3) > 13:00(21.84 \text{ g/m}^3) > 11:00(21.23 \text{ g/m}^3)$ 의 순으로 측정되었다(Rafer to Fig. 3c).

절대습도를 살펴보았을 때, 바람통로 조성형태 차이에 따라 Type C > Type A > Type B의 순으로 나타나, 상대습도의 결과와 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 그 차이를 살펴보면 상대습도의 경우 최대 약 20%의 차이로 상대적으로 큰 차이를 나타내었던 것에 비하여, 절대습도는 최대 약 2 g/m^3 의 차이를 나타내어 상대적으로 미미한 차이를 나타내었다.

3.3.1.4. 일사량

녹지 내부에 수목이 식재되지 않은 Type A의 시간대별 일사량 측정 결과, 전체 평균 일사량은 488.22 W/m^2 인 것으로 분석되었으며, $12:00(800.13 \text{ W/m}^2) > 11:00(795.02 \text{ W/m}^2) > 13:00(459.25 \text{ W/m}^2) > 15:00(185.79 \text{ W/m}^2) > 14:00(171.82 \text{ W/m}^2)$ 의 순으로 측정되었다. 직선형 바람통로로 조성된 Type B의 측정시간 평균 일사량은 458.87 W/m^2 인 것으로 분석되었으며, 시간대별 일사량의 값은 $13:00(641.41 \text{ W/m}^2) > 12:00(583.21 \text{ W/m}^2) > 15:00(355.11 \text{ W/m}^2) > 14:00(325.77 \text{ W/m}^2)$

> $11:00(325.23 \text{ W/m}^2)$ 의 순으로 측정되었다. 커브형 바람통로인 Type C의 일사량 측정 결과 $13:00(457.77 \text{ W/m}^2) > 12:00(416.32 \text{ W/m}^2) > 15:00(297.20 \text{ W/m}^2) > 11:00(266.65 \text{ W/m}^2) > 14:00(256.53 \text{ W/m}^2)$ 의 순인 것으로 나타났다(Rafer to Fig. 3d).

녹지조성형태별 일사량 변화 특성은 앞서 기술한 바와 같이 실험구의 물리적인 조성형태 차이와 바람통로의 향 차이에 따라 상이한 것으로 판단되었으며, 차후 후속 연구의 진행시 이와 같은 내용이 보완되어야 할 것으로 판단되었다.

3.3.2. 기상요소와 음이온 발생량의 상관성

풍속과 음이온 발생량, 기상요소와의 상관관계를 분석하기 위하여 상관분석을 실시하였다(Rafer to Table 3).

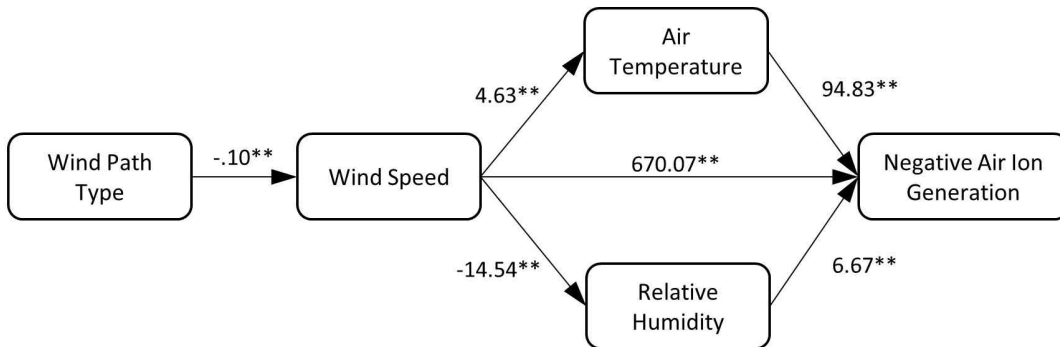
음이온 발생량과 기상요소의 상관관계는 기온, 절대습도의 경우 각 .523, .167($p < .01$)인 것으로 분석되었으며, 상대습도의 경우 -.192($p < .05$), 일사량의 경우 .527($p < .05$)인 것으로 분석되어 외부환경에서 음이온발생량은 기온과 정의상관, 상대습도와 부의 상관이라고 보고된 선행연구(Kim et al., 2019, Yoon et al., 2019)와 일치하는 경향이였다. 풍속의 분석결과를 살펴보면 풍속과 음이온 발생량은 .372($p < .05$)의 정의 상관관계인 것으로 분석되어 결과적으로 풍속과 음이온 발생량은 비례관계인 것으로 나타났으며, 기온, 상대습도, 일사와 상관관계가 나타났다. 이러한 결과는 풍속이 다른 기상요인에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

숲 내 음이온 분포에 관한 연구(Tammet et al., 2006)에서는 녹지 내에서 높은 풍속과 온도의 차이는 공기층의 수직혼합을 일으키고 낮은 풍속과 온도 차이는 수직혼합을 감소시킴에 따라 음이온 발생량의 차이를 나타냄을

Table 4. Direct/InDirect effect of wind path Type and weather factors distribution to the negative air ion generation

Effect Division	Division	Wind path type	Wind speed	Relative humidity	Air temperature
Direct effect	Wind speed	-0.104**z	.000	.000	.000
	Relative humidity	.000	-14.541**	.000	.000
	Air temperature	.000	4.630**	.000	.000
	Negative air ion	.000	670.070**	6.672**	94.831**
Indirect effect	Wind speed	.000	.000	.000	.000
	Relative humidity	1.506**	.000	.000	.000
	Air temperature	-4.80**	.000	.000	.000
	Negative air ion	-104.842**	342.064**	.000	.000

*:p<.05, **:p<.01, n=4,200



*:p<.05, **:p<.01, n=4,200, Chi-square : 501.041(p<0.05), GIF : 0.641, AGIF : -0.347, RMSR : 0.609, RMSEA : .800

Fig. 4. Structural equation model of meteorological factors and negative air ion by wind path type.

보고하였다. 이러한 보고로 미루어보아 본 연구의 결과는 높은 풍속이 나타난 Type B에서 주변으로부터 발생한 음이온의 유입이 활발하고, 녹지내부의 수관부와 수간부의 공기층 간 수직혼합이 원활하여 Type A, C에 비하여 음이온 발생량이 높았던 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 대부분의 풍속은 1 m/s 미만으로 측정되어 일반화에는 한계로 작용하였다. 향후 풍속과 음이온 발생량과의 심도 있는 논의와 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이상의 결과들을 종합하여 바람통로 조성형태의 차이가 풍속의 변화에 미치는 영향과 기상요소 변화 및 음이온 발생량 변화에 미치는 영향을 분석하기 위하여 AMOS 18을 활용하여 구조방정식 모형을 구축하고 그 모형의 적합도를 평가하였다.

3.4. 바람통로 조성형태가 음이온 발생량 변화에 미치는 영향

바람통로 조성형태가 기상요소에서 음이온 발생량에 미치는 영향을 파악하기 위해 AMOS 18을 활용하여 구조방정식을 활용한 경로분석을 실시하였다. 분석에 있어 전체효과에 대한 유의성을 검증하기 위하여 사후검정으로 Bootstrap을 실시하였으며, 200회 무작위 추출을 통하여 유의수준 .05를 적용하여 분석된 모형에 대하여 검증 실시하였다. 분석에 활용한 데이터는 Type A와 Type C의 경우 풍속 및 음이온발생량 분석결과 차이가 없는 것으로 나타나 대조구인 Type A를 제외하고, Type B와 Type C의 데이터를 활용하여 바람통로 조성형태 차이에 따른 기상요소 변화와 음이온 발생량에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 연구모형의 신뢰성 확보를 위해

상관분석 결과를 토대로 일사량 및 절대습도는 분석항목에서 제외하였다.

분석결과, 바람통로의 조성형태는 풍속에 -0.1의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 가변수 입력 특성상 Type B가 수치가 낮아 나타난 결과인 것으로 판단된다. 이에 따라 변화한 풍속은 기온에 4.63의 영향을 미치며, 상대습도에 -14.54의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한 풍속은 음이온 발생량에 670.07의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 풍속의 영향을 받아 변화한 기온과 상대습도는 다시 음이온 발생량에 각각 163.46, 25.71의 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Rafer to Table 4).

이상의 분석결과를 종합하면 바람통로형태는 풍속조절을 통해 음이온 발생량에 대하여 직접영향을 미치며, 녹지 내 풍속의 변화가 기상요소 하위요인(기온, 상대습도)을 변화시키고 음이온 발생량 또한 달라지는 간접영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 효과의 크기로 비교할 경우 바람통로 조성형태로 인한 풍속변화가 음이온 발생량 변화에 미치는 영향에 비하여 기상요소 하위요인을 변화시켜 영향을 미치는 것이 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Rafer to Fig. 4).

4. 결론

본 연구는 녹지의 조성형태 차이가 녹지 내 음이온 발생량 변화에 미치는 영향을 분석하기 위하여 수행하였다. 이에 녹지 내부 바람통로 조성 형태를 외곽에 수목이 식재되어 바람이 형성될 수 없는 녹지(Type A), 중앙에 바람통로가 형성된 녹지(Type B), 바람통로가 있더라도 굽어진(Curve) 형태의 녹지(Type C)로 구분하였다. 이후 각 유형별 기상요소의 변화를 관측하고 음이온 발생량 차이를 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

첫째, 바람통로의 조성형태 차이에 따라 평균 풍속은 Type B > Type A = Type C($p > 0.05$)인 것으로 분석되어 조성형태 차이에 따라 바람의 형성도의 차이가 있는 것으로 분석되었다.

둘째, 음이온 발생량의 경우 Type B > Type A = Type C($p > 0.05$)의 순으로, 평균풍속 차이와 동일한 경향인 것으로 나타났다.

셋째, 조성형태 차이에 따라 기상요소에서 뚜렷하게

나타났다. 기온과 일사량의 경우 대상지의 물리적 구조(형)에 영향을 많이 받은 것으로 예상되었으며, 상대습도의 경우 유형차이에 따라 차이 값이 큰 것으로 나타났으나, 절대습도로 변환하여 비교할 경우 그 차이가 현저하게 줄어들었다. 향후, 외부환경에서 음이온 발생량을 측정 분석할 경우 이와 같은 특성에 대한 충분한 고려가 필요할 것으로 판단되었다.

넷째, Type B와 Type C의 데이터를 기반으로 구조방정식을 통한 경로분석을 통하여 녹지의 바람통로 조성형태가 기상요소에 영향을 미치고(직접효과), 풍속의 변화로 기상요소가 음이온 발생량에 영향을 미치고 있음을 수치적으로 확인하였다(간접효과).

상기결과를 종합하면 녹지내부 바람통로 조성은 풍속조절을 통하여 기상요소를 변화시킬 뿐만 아니라 음이온 발생량에도 직접효과와 간접효과를 모두 미치는 것으로 정리할 수 있다. 이러한 결과는 미세먼지 저감을 위한 도시 내 녹지 조성 및 관리에 대한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 하지만 본 연구에서 관측된 풍속은 대부분 1 m/s 미만으로 낮은 풍속이었으며, 이에 따라 풍속변화가 다른 기상요소를 적극적으로 변화시켰다고 일반화하기에는 한계가 있었다. 또한 바람통로의 조성 방향 등 물리적 요인에 의하여 측정지점에 대한 일사량 차이 등의 변화가 나타나, 이에 대한 보완과 추가적인 바람통로 형태의 도입 및 검증이 필요할 것으로 사료되었다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 건국대학교 KU학술연구비 지원에 의한 논문임

REFERENCES

- Ahn, K., Korenaga, M., Funakoshi, K., Yagi, K., 2008, The urban green volume and its surroundings, *J. Archit. Plann.*, AIJ, 73(627), 1023-1028.
- Cha, J. G., Jung, E. H., Ryu, J. W., Kim, E. W., 2007, Constructing a green network and wind corridor to alleviate the urban heat-island, *J. Kor. Asso. Geo. Info. Studies.*, 10(1), 102-112.
- Happ, J. W., Harstad, J. B., Buchanan, L. M., 1966, Effect of air ions on submicron T1 bacteriophage aerosols,

- Applied Microbiology, 14(6), 888-891.
- Hyundai Research Institute, 2019, Public perception survey on fine dust, Weekly Economic Review 19-10(833), Seoul, Korea.
- Jin, S. U., 2005, Anion and Well-being. Seoul of Korea: Human of Earth.
- Kim, J. H., Lee, S. H., Yoon, Y. H., 2019, evaluation of air ion according to the type of ridge in urban park -focused on Tangeumdae park in Chung, J. Eco. Env., 33(5), 587-595.
- Kim, J. H., Oh, D. K., Yoon, Y. H., 2015, Comparative analysis of negative air ion generation according to vegetation type of green space in summer : targeting to the Yangjae Citizen's Forest in Seocho-gu, Seoul, Urban Design, 16(6), 1598-0650.
- Lee, J. H., 2003, The effect of improving indoor air quality used anion by in door plants, J. Kor. Inst. Interior Landscape Archi., 5(1), 89-98.
- Lee, J. H., 2004, A Study of generation by indoor plants, J. Kor. Inst. Interior Landscape Archi., 6(2), 53-66.
- Lee, J. H., Yoon, P. S., 2003, A Study on efficiency and mechanism of removing indoor pollutants used anion generated by indoor plants, J. People Plants and Environment, 6(4), 81-92.
- Ministry of Environment, 2017, High level fine dust concentration manual for socially vulnerable class. manual, Atmospheric environment policy office, Sejong, Korea.
- National Assembly Budget Office, 2019, Analysis of fine dust response project, Government report (31-9700487 -001733-01), National Assembly Budget Office, Seoul, Korea.
- Phillips, G., Harris, G. J., Jones, M. W., 1964, Effect of air ions on bacterial aerosols, International Journal of Biometeorology, 8(1), 27-37.
- R.D.A., 2008, Technology transfer workshop of air purification method using gardening plant, Horticultural Research Institute, Suwon.
- Shin, W. S., Yeoun, P. S., Kim, K. H., Lee, J. H., 2012, Amount of a negative ions by forest climates, J. Kor. Inst. Forest Recreation Welfare, 16(4), 125-131.
- Tammet, H., Hörrak, U., Laakso, L., Kulmala, M., 2006, Factors of air ion balance in a coniferous forest according to measurements in Hyytiälä, Finland, Atmospheric Chemistry and Physics, 6(11), 3377-3390.
- Yoon, Y. H., Oh, D. K., Kim, J. H., 2012, An Analysis of anions distribution and correlation by biotope types in summer for pleasant urban environment, Urban Design Inst. Kor., 13(1), 51-62.
- Yoon, Y. H., Yoon, J. H., Kim, J. H., 2019, Evaluation of pedestrian space ion index by land use type in heat wave : focused on Chungju, J. Eco. Envi., 33(5), 354-365.
- Zeng, S. C., Su, Z. Y., Chen, B. G., 2007, Air negative ion concentrations and their affecting factors in greenbelts of Guangzhou, J. ecology., 26(7), 1049-1053.
- Zhang, Z., Yu, Y., Zhang, M., Du, Q., Chen, J., Mao, F., 2008, Negative air ion concentration and environmental factors for Mount Tianmu of Zhejiang Province. J. Zhejiang A&F Univ., 25(4), 481-485.

-
- Assistant Professor. Deuk-Kyun Oh
Department of Green Environment System, Konkuk University
nice10214@kku.ac.kr
 - Professor. Yong-Han Yoon
Department of Green Environment System, Konkuk University
yonghan7204@kku.ac.kr