



기본 | 19-32

미세먼지 저감을 위한 국토·환경계획 연계 방안 연구 : 바람길 적용을 중심으로

A Study on Integration of Spatial and Environmental Planning
to Mitigate Particulate Matter: Focusing on Ventilation Corridors

박종순, 박태선, 김은란, 이상은, 안승만, 이정찬,
성선용, 윤은주, 남성우, 주현수, 김재진, 이건원

미세먼지 저감을 위한 국토·환경계획 연계 방안 연구 : 바람길 적용을 중심으로

A Study on Integration of Spatial and Environmental Planning
to Mitigate Particulate Matter: Focusing on Ventilation Corridors

박종순, 박태선, 김은란, 이상은, 안승만, 이정찬,
성선용, 윤은주, 남성우, 주현수, 김재진, 이건원

■ 연구진

박종순 국토연구원 연구위원(연구책임)
박태선 국토연구원 선임연구위원
김은란 국토연구원 연구위원
이상은 국토연구원 수자원·하천연구센터장
안승만 국토연구원 책임연구원
이정찬 국토연구원 책임연구원
성선용 국토연구원 책임연구원
윤은주 국토연구원 책임연구원
남성우 국토연구원 책임연구원

■ 외부연구진

주현수 한국환경정책·평가연구원 선임연구위원
김재진 부경대학교 교수
이건원 호서대학교 교수

■ 연구심의위원

문정호 국토연구원 부원장
이상준 국토연구원 전 부원장
이용우 국토연구원 전 부원장
김선희 국토연구원 전 국토환경·자원연구본부장
이순자 국토연구원 선임연구위원
김동근 국토연구원 연구위원
이병재 국토연구원 책임연구원
최희선 한국환경정책·평가연구원 선임연구위원
엄정희 경북대학교 교수
최 찬 국토교통부 사무관

주요 내용 및 정책제안

FINDINGS & SUGGESTIONS



본 연구보고서의 주요 내용

- 1 미세먼지 대응을 위해 정부는 최근 4년 동안 예산을 약 20% 이상씩 증가시키고 있지만, WHO의 권고기준($20\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 약 2배 이상 높으며, 국민 체감도는 나아지지 않고 있음
- 2 미세먼지 문제 해결을 위해서는 배출원 규제 정책뿐만 아니라 도시공간 상의 농도관리가 필수적이며, 독일, 미국, 홍콩 등 사례를 볼 때 도시 내 바람길을 적용할 경우 도시의 통풍 환경이 개선될 수 있음
- 3 세종시의 모의실험 결과, 도시의 바람환경은 지형 및 지세의 영향을 받으며, 블록 단위 차원에서는 건축물 배치 및 높이, 동간 간격 등과 미세먼지 농도는 상호 연관성을 가짐
- 4 한편 우리나라는 공간계획과 환경계획이 이원화되어 도시계획에 있어서 효과적인 바람길 적용에 한계가 있음

본 연구보고서의 정책제안

- 1 도시 내 바람길을 적용하기 위해서는 국토 및 환경계획 수립 시 유사한 공간을 바람길로 설정하고, 계획의 조사·작성·평가·시행단계에서 상호 계획을 반영해야 함
 - 국토계획) 도시의 대기오염현황, 도시기후를 감안하여 바람길의 공간적 범위를 설정하고, 정량적인 바람길 평가 기법을 개발하고 활용
 - 환경계획) 도시 대기환경에 대한 기초자료 생성 및 바람길의 대안을 제시하고, 개발사업이 대상지 내부뿐만 아니라 도시 전체에 미치는 대기환경 영향 파악
- 2 특히, 바람길을 실질적으로 도입하기 위해서는 건축물의 배치·고도, 도로의 방향, 가로수 배치·수고·수종 선정 등 바람길을 고려 및 반영하는 내용의 지구단위계획수립지침 개정
- 3 바람길 조성의 궁극적인 미래상을 ‘친환경 녹색도시 조성’으로 설정하고, 향후 바람길의 정량적 효과에 대한 심도 있는 연구와 시범도시 구축 추진



1. 서론

□ 연구의 배경 및 목적

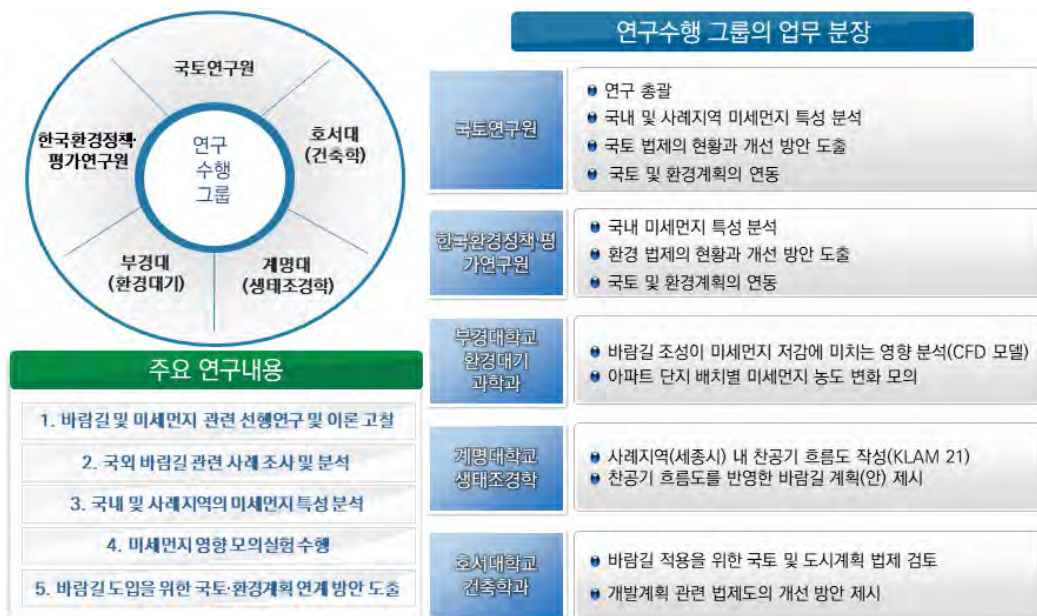
- 전국 및 서울의 미세먼지(PM10) 연평균 농도는 2002년을 기점으로 꾸준히 감소 추세에 있었으나, 2012년을 기점으로 정체되어 있음
 - WHO 권고기준인 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약 2배 이상 높은 수치(주현수, 2018)
- 미세먼지 저감은 배출원 규제 정책이 주를 이루며, 2012년 전후 배출량과 미세먼지 농도와의 상관성이 낮아지고 있어, 도시공간적 측면에서의 대책 마련 필요
 - 현재 노후 경유 차량 교체, 친환경차 보급 확대, 도로청소차 보급, 먼지총량제 등 배출원 관리가 주를 이룸(관계부처 합동, 2017, 2018)
 - 2012년 전후 배출량과 미세먼지 농도와의 상관성이 낮아지고 있으며, 이는 단순히 배출량을 관리하는 정책만으로는 부족함을 의미(주현수, 2018)
 - 독일 슈투트가르트시의 사례 및 국내의 연구에서 바람길이 미세먼지 저감에 효과적이라는 사실을 밝힘(엄정희, 2019; 이건원, 2019)
- 바람길을 고려해 국토계획과 환경계획이 작성되고, 이를 연결고리로 두 계획체계가 연계될 때 바람길이 적용될 수 있을 것임
 - 국토계획 수립 시 도시 미기후 현황 등을 반영하는 것이 요구됨
 - 환경계획에서는 찬공기 보전지역 및 관리지역, 바람길의 공간화가 필요
- 본 연구는 도시 내 미세먼지를 낮추기 위해 바람길의 유용성을 제시하고, 이를 공간계획에 안착시키기 위해 국토 및 환경계획의 연계 방안 모색

□ 연구의 범위

- 연구의 공간적 범위는 국토, 도시 그리고 지구단위 차원으로 구분할 수 있고, 시간적 범위로 국토계획과 환경계획의 시간적 범위 혹은 모의실험의 시간으로 볼 수 있음

- 제5차 국토종합계획은 2040년, 세종시 개발계획은 2030년이 목표 년도이며, 찬공기 흐름도 분석은 8시간임
- 사례 지역: 세종시 중 건설지역(행정중심복합도시)으로 설정
 - 기후: 북풍과 북서풍이 주풍으로 서해안 등에서 미세먼지 유입 가능성이 높음
 - 기상: 4계절 동안 안개와 결합한 스모그 발생 빈도가 높음
 - 지형: 분지에 위치한 전형적인 내륙 도시로 대기가 정체될 가능성이 높음
 - 인구: 인구 50만을 목표로 개발이 진행 중인 도시(미세먼지 대책 마련 필요)
 - 도시개발: 개발 전후의 바람의 흐름을 추적 관찰할 수 있는 여건

그림 1 | 연구 내용과 수행 그룹의 업무 분장



□ 연구의 방법

- 국책연구원(국토연구원, 한국환경정책·평가연구원), 대학(부경대학교 환경대 기과학과, 계명대학교 생태조경학 전공 등)과 협동 및 융·복합 연구 수행

- 국토종합계획, 광역도시계획, 도시·군기본계획, 국가환경종합계획, 지자체 환경보전계획 등에서 다루고 있는 미세먼지 관련 계획 및 정부의 정책 검토
- 전산유체역학모델(CFD, Computational Fluid Dynamics) 등의 모의실험을 수행하여 대기환경과 바람길이 미세먼지 농도에 미치는 영향 분석

□ 선행연구와의 차별성

- 미세먼지의 유동모델링과 바람길에 관련된 학술적 연구를 종합하고, 국토·광역·지구단위에서 국토 및 환경계획 연계를 고려하여 법·제도 개선 방안 제안

2. 선행연구·이론고찰과 해외 사례 검토

□ 도시기후와 미세먼지

- 도시지역 기후의 물리적·화학적 특성을 대표하는 이슈로 도시지역의 미세먼지 농도의 증가 현상을 들 수 있음
- 도시의 미세먼지 문제는 인과관계가 복잡하여 배출의 저감과 같은 하나의 수단만으로는 미세먼지 농도가 감소할 것이라고 기대하기 어려움

□ 바람길의 효과

- 바람길은 ‘녹지와 물, 오픈스페이스의 네트워크’로 이를 통해 산이나 바다로부터의 신선한 공기가 도시로 흐르는 것임(김수봉 외, 2007, p. 130)
 - 협의의 의미: 바람길은 물리적으로 개방된 공간으로, 신선한 공기가 자연지역에서 흐를 수 있는 통로로 볼 수 있음
 - 광의의 의미: 개방된 공간, 대기오염 개선 혹은 대기오염 물질 차단을 위해 식재된 수목, 도시 내부 환기에 유리한 공간구조, 대기오염 개선 시설 등을 포함할 수 있음
 - 미세먼지 저감 관련 연구, 해외 사례 등을 검토해 보았을 때 도시계획 차원에서 바람길이 적용되어야 한다는 당위성이 과학적으로 증명되고 있음

□ 해외 사례 및 시사점

- 독일: 슈투트가르트(Stuttgart)시 도심은 분지 지형으로, 평균 풍속이 약하여 (2m/sec) 대기오염물질이 정체(이노우에 토시히코·스다 아키히사 2002, p. 31-32)
 - 1970년 후반 토지와 건물의 형태를 제한하여 ‘바람길’을 조성하고, F플랜(토지 이용계획), B플랜(지구단위계획)에서 바람길 계획을 포함하여 시간마다 1억 9,000m³의 신선한 공기를 도심부로 유입 성공(이노우에 토시히코·스다 아키히사 2002, p. 31-32)
- 미국: 샌프란시스코시는 1980년대까지 급속한 초고층화를 겪으면서, 도심지 내 저층부의 쾌적성이 크게 저하되는 문제점에 당면함
 - 1985년 새로운 다운타운 계획이 수립되어, 도심지 내 바람의 영향 최소화 및 바람에 의한 쾌적성과 관련된 규정이 담기게 됨(Kim, 2014)
- 홍콩: 2003년 중증 급성 호흡기 증후군 발생으로 심각한 인명피해¹⁾를 경험한 뒤 도시지역의 대기통풍이 중요한 도시환경문제를 인식
 - 홍콩의 현 도시상황을 파악하고 ① 바람길, ② 건축배치, ③ 건축배열, ④ 건축높이, ⑤ 투과성 등의 분야를 선정하여 구체적인 가이드라인을 제시(Edward, 2006, 2009)
- 일본: 오사카시는 도시열섬 현상과 이상 고온 현상이 오사카 시내를 넘어서 교외까지 영향을 미침(오사카시, 2011)
 - 기후분석을 통해서 취약지역을 파악하고, 도시유형을 구분하여 인공열 저감, 고온화 억제, 그리고 바람·녹지·물에 의한 냉각작용을 활용하는 대책을 수립
 - 오사카만으로부터 해풍이 불고 있을 때, 주요 하천과 도로, 쿨스팟이 되는 주요 공원녹지를 네트워크로 연결

□ 국토 및 환경계획의 연계

- 선행연구는 국토 및 도시계획과 관련되는 법제도를 개선하여 바람길을 적용해야 된다는 연구가 주를 이룸

1) 2003년 당시 중증호흡기 증후군에 1,755명 감염되어 299명 사망하는 등 심각한 피해를 경험함.

- 바람길을 효과적으로 도입할 수 있는 대안 중 하나가 ‘국토 및 환경계획의 연동’이 될 수 있음

3. 국내 및 사례 지역의 미세먼지 특성과 대책

□ 국내 미세먼지 특성

- 국내 PM10 농도는 2000년대 초반에 연평균기준($50\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였으나, 점차 대기질이 개선되어 2010년 이후 대기환경기준치($50\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 만족
- 2012년 전후로 배출량과 미세먼지 농도간의 상관관계가 낮아짐

□ 지역별 미세먼지 농도 특성

- 2018년 월평균 초미세먼지는 상대적으로 여름철(7월~9월)보다 겨울철(11~3월)에 농도가 높음
- 지역별로는 수도권과 수도권의 인근지역이 비수도권 지역보다 초미세먼지 농도가 높으며, 국토의 서측이 동측보다 초미세먼지 농도가 높음

□ 정부의 미세먼지 대책

- 배출원 관리: 비상저감조치 발령, 공단지역 불법행위 단속, 차량2부제, 노후화력발전소 조기 폐쇄 등
- 바람길을 통한 미세먼지 저감에 대한 구체적인 목표치가 제시되지 않았으며, 관련 예산도 충분치 않아 상대적으로 소홀이 다루어지고 있음

□ 사례 지역 세종시의 미세먼지 특성과 대책

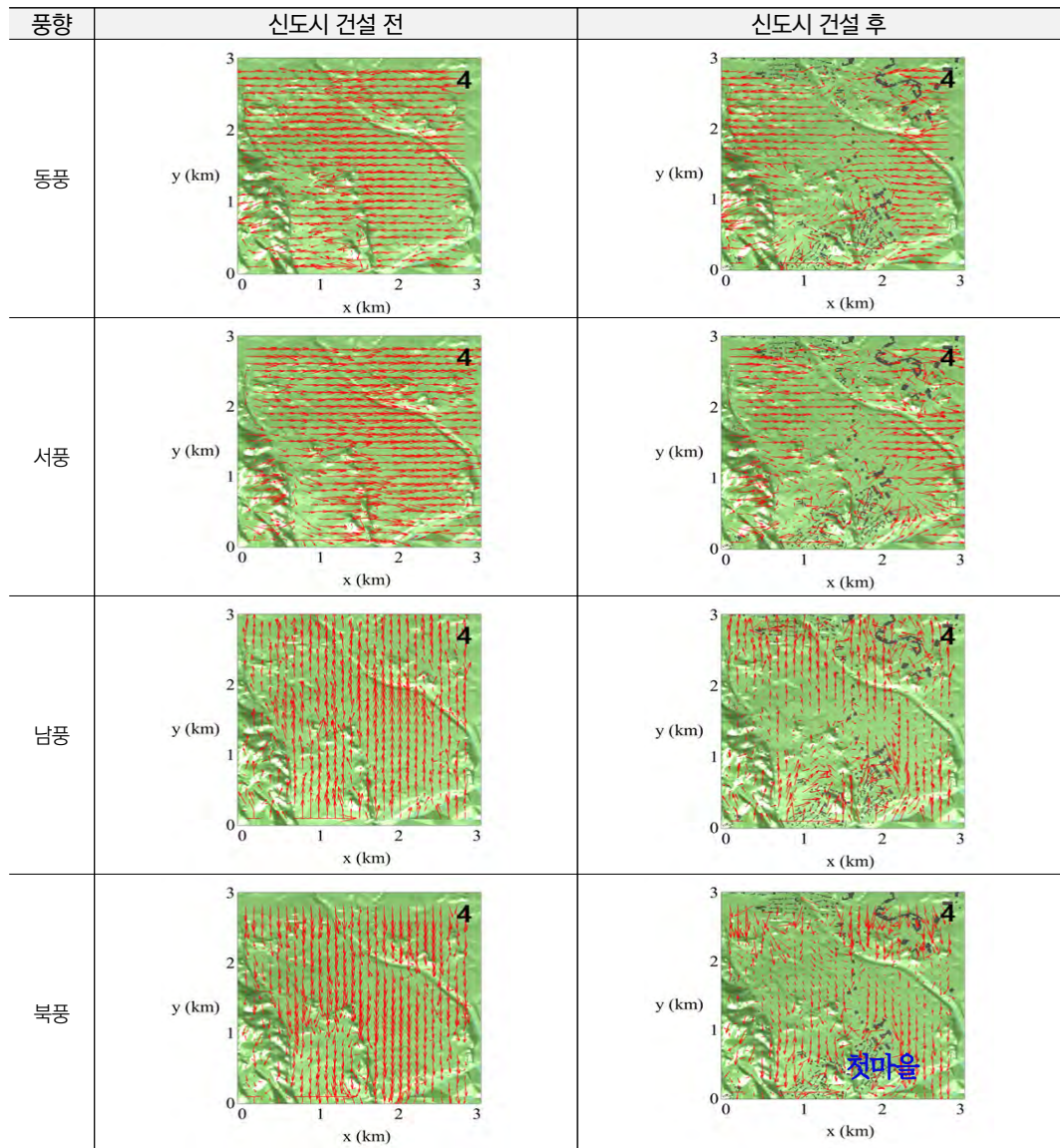
- PM10의 배출원: 비산먼지(76%), 비도로이용(8%), 생물성연소(7%) 등
- 공사장 등 배출원 관리, 지구단위계획 수립 시 바람길 적용 바람직

4. 바람길 적용을 위한 모의실험

□ 본 연구의 모의실험

- 모의실험 목적은 (1)세종시 내 행복도시(건설지역)를 대상으로 주풍의 풍향 및 풍속 파악, (2)도시 건설 전후의 지표 바람 환경 변화 분석, (3)일몰 후 차고 신선한 바람의 생성과 이동 파악, (4)블록 단위에서 건축물·오픈스페이스 배치와 미세먼지 농도의 상관성 분석
- 세종시 행복도시 내 첫마을 조성 前과 後의 비교(<요약 그림 2> 참조)
 - 조성 전에는 바람 벡터가 유입되는 흐름과 유사하였으며, 개발 후에는 복잡한 흐름으로 바뀜
 - 유입류 대비 14%(2-1 생활권), 13%(2-4 생활권), 9%(2-2 생활권) 풍속 감소
- 찬공기 모의실험 결과 행복도시 주변 산지에서 찬공기가 생성되고 금강 등으로 유동(<요약 그림 3> 참조)
 - 급격한 도시개발로 바람 유동은 더욱 악화될 것으로 예상
- 세종시 행복도시 내 6-3 생활권(B1 블록): 건축물·오픈스페이스 배치와 미세먼지 농도의 상관성 분석
 - 중앙녹지(오픈스페이스)의 지상 0.5m, 지상 44.5m에서의 풍속은 증가
 - 지상 0.5m 높이: 중앙녹지의 경우는 타워형이, 모의 지역 전체에서는 바람길과 수평 방향인 판상형이 미세먼지 저감에 유리(<요약 그림 4> 참조)
 - 지상 44.5m 높이: 중앙녹지의 경우는 타워형이, 모의 지역 전체에서도 타워형이 미세먼지 저감에 유리
- 시사점: 오픈스페이스, 지형, 건축물 배치, 동간 간격, 건축물 높이, 풍속, 풍향과 미세먼지 농도는 상호 연관성을 가지며, 적절한 바람길을 적용하기 위해서는 대상지별 수치 모의실험 필요

그림 2 | 행복도시 첫마을(2생활권) 조성 前과 後의 바람 벡터 비교

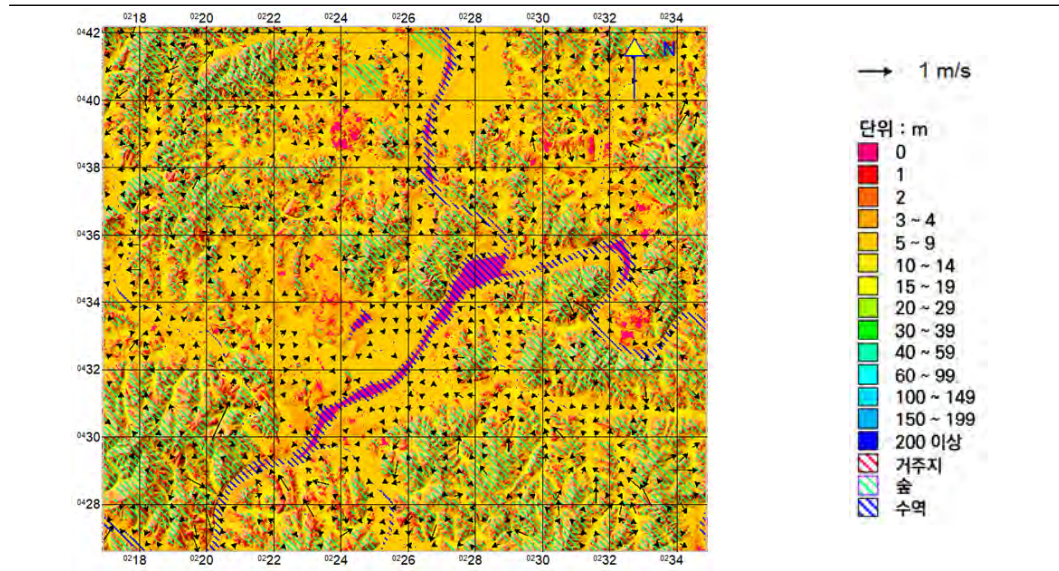


○ 위 그림은 세종시 첫마을 조성 전과 後의 풍향과 풍속을 나타냄

- 좌측 그림(건설 전): 지형이 풍향과 풍속에 영향을 주나, 전반적으로 큰 변화가 없음
- 우측 그림(건설 후): 전반적으로 풍속이 감속하며, 특히 첫마을의 풍향이 복잡하게 변함

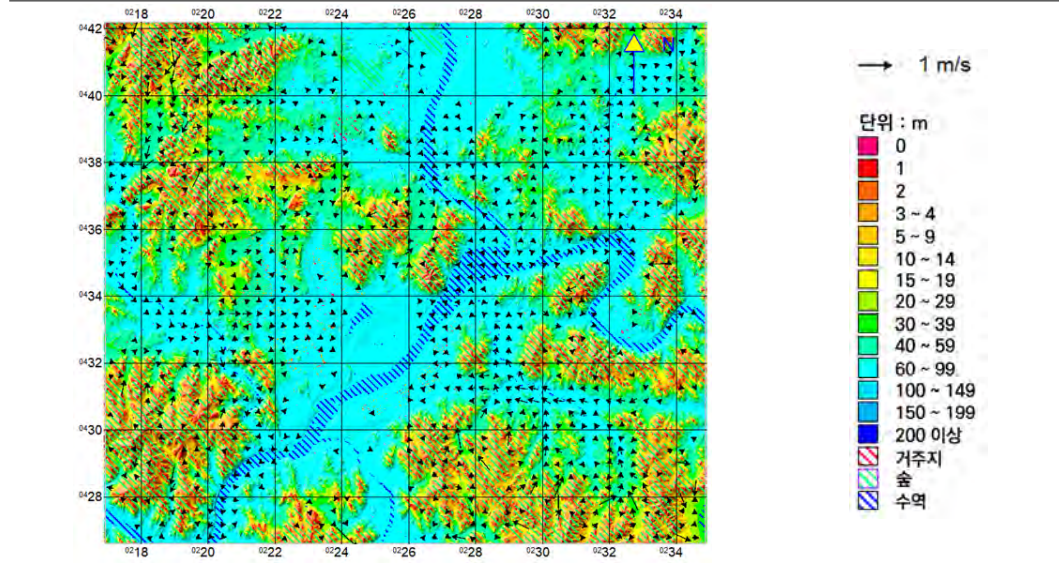
자료: 저자 작성

그림 3 | 행복도시 찬공기 유동 및 높이



〈 일몰 후 15분 이후 〉

- 산지에서 차고 신선한 공기가 형성되는 시기임

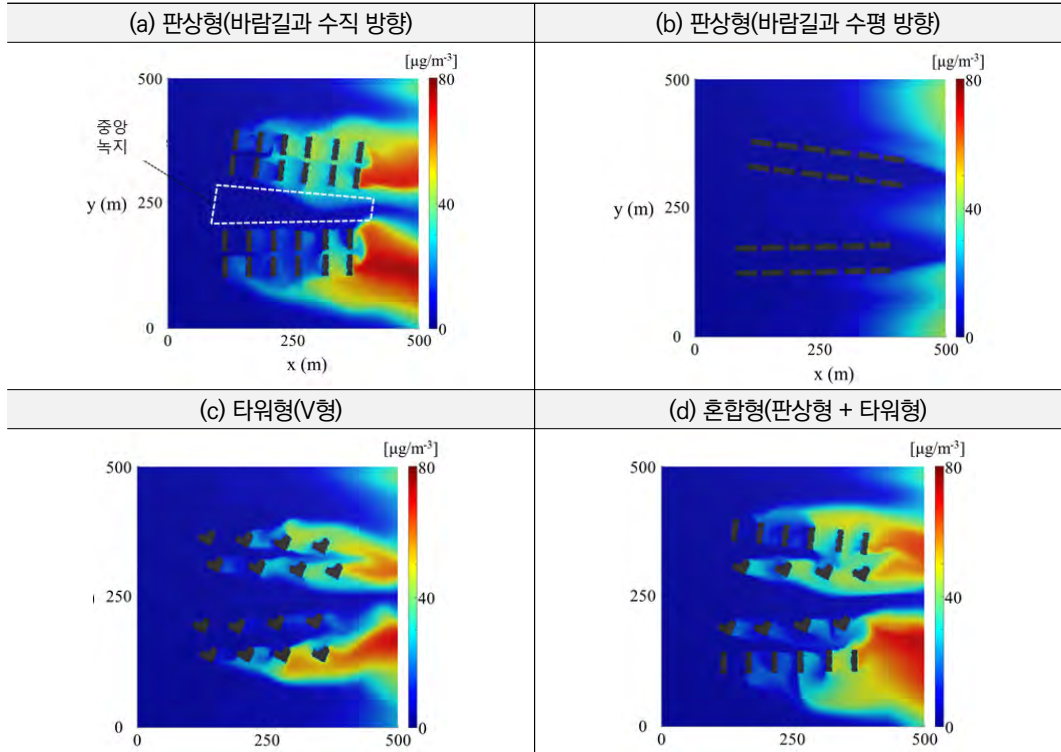


〈 일몰 후 8시간 이후 〉

- 산지에서 형성된 대부분의 차고 신선한 공기가 계곡과 하천에 쌓임

자료: 저자 작성

그림 4 | 행복도시 6-3생활권(B1 블록) 농도장 분석 결과 (z = 0.5m)



- 위 그림은 세종시 6-3생활권의 B1 블록에 건축물이 건설되었을 때, 지상 0.5m의 위치에서 3시간 후의 미세먼지 농도의 변화를 보여줌. 현재의 농도를 초미세먼지가 '매우나쁨' 수준인 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가정하고, 유입되는 대기의 미세먼지 농도는 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보다 청정한 것으로 설정함. 파란색으로 표시된 지역은 미세먼지 농도가 개선되는, 빨간색으로 표시된 지역은 그렇지 않는 지역임
- (a) 판상형(바람길과 수직 방향): 중앙녹지(바람길) 지역은 $9.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 12.2%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있음(빨간색으로 표현)
 - (b) 판상형(바람길과 수평 방향): 중앙녹지(바람길) 지역은 $6.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 8.1%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으며, 대상 지역 전반적으로도 개선됨
 - (c) 타워형(V형): 중앙녹지(바람길) 지역은 $6.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 7.7%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있음(빨간색으로 표현)
 - (d) 혼합형(판상형 + 타워형): 중앙녹지(바람길) 지역은 $8.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 11.2%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있음(빨간색으로 표현)
- 결과적으로 중앙녹지(바람길) 지역의 미세먼지는 개선되고 있으나, 전체적으로 미세먼지 분산에 가장 유리한 건축물 배치는 '바람길과 수평 방향인 판상형(b)'임을 알 수 있음

자료: 저자 작성

5. 바람길 적용을 위한 국토·환경계획 연계 방안

□ 국토 및 도시계획

- 공간 관련 법제도에서는 미세먼지 및 바람길 관련 내용은 한정적이거나, 세부 규정이 미흡하여 실제 계획 상에서 바람길이 반영되는 경우가 드물
 - 광역 및 도시 차원에서 바람길을 적용하기 위해서는 광역도시계획 및 도시·군기본계획에 바람길의 적용 및 세부 규정에 대한 내용을 담을 필요가 있음
 - 도시 내 소규모 지역을 대상으로는 지구단위계획에서 보다 상세한 세부 규정의 내용을 담을 수 있을 것으로 사료됨

□ 환경계획

- 전반적으로 기후현황지도 및 바람길을 반영해 계획을 수립하도록 권고하고 있음
 - 지자체 환경계획에서는 기후현황지도 혹은 대기오염지도, 바람길에 대한 공간적 범위가 제시되지 않은 경우가 대부분임
 - 도시·군기본계획이 환경계획 내 바람길 내용을 필수적으로 반영할 근거 부족

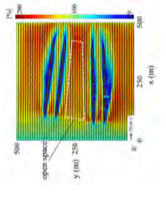
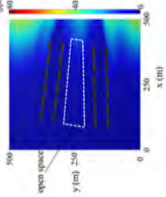
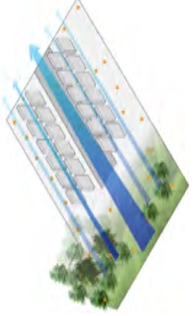
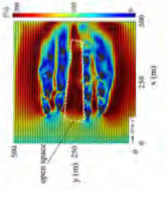
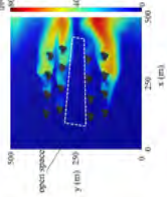
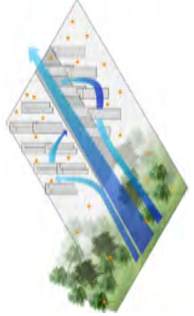
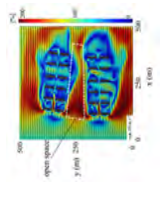
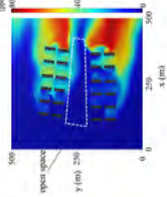
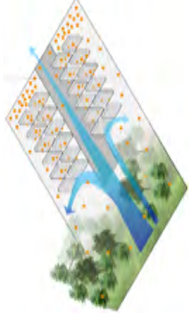
□ 연계를 통한 바람길 적용 방안

- 1안 : 국토계획 내 부문계획으로 바람길 계획 내용 포함
 - 국토종합계획, 도시·군기본계획, 지구단위계획에 바람길을 내재화
- 2안 : 국토계획이 환경계획의 내용 반영
 - 환경계획에서 바람길의 공간적 범위를 설정하고, 이를 도시계획에서 반영
- 3안 : 국토계획과 환경계획을 하나의 계획으로 수립
 - 정합성을 확보할 수 있다는 관점에서 가장 이상적임
 - 제도적 전면적인 개정, 행정조직의 개편이 필요함으로 단기간에 도입하기 힘들

□ 계획단계별 적용 방안 및 법제도 개선

- 조사단계 : 대기환경의 조사
 - 대기오염 측정자료를 활용하여 대기오염 지도를 작성하고, CFD 모델 등을 활용하여 도시 내 주풍의 풍향, 풍속 및 찬공기의 흐름을 파악
 - 환경보전계획 수립 시 대기오염 배출원의 정보, 측정소별 환경기준 초과 횟수, 대기오염 현황지도, 바람길 지도 작성 등을 의무적으로 조사
- 작성단계 : 개발축과 보전축 설정에 바람길 반영
 - 조사단계에서 수집한 도시 기상 및 기후에 관한 자료를 검토하여 바람길의 공간적 범위를 설정하고, 이를 기반으로 하여 개발축과 보전축 계획
 - 지자체 환경보전계획: 바람길의 개략적인 공간적 범위 제시
 - 도시계획: 토지이용계획 및 공원녹지계획에 환경계획에서 제시하고 있는 바람길을 반영
- 평가단계 : 정량적인 바람길 평가 기법 적용
 - 국토계획평가에서는 환경성 검토 항목에 도시기후, 대기오염, 바람길 및 바람길이 고려된 계획이 수립되었는지 관련 검토 항목을 추가하는 것이 적절
 - 환경영향평가에서는 해당 개발사업이 대상지 내외부의 기상, 대기질, 악취 등에 미치는 영향을 평가하고 있으나, 광역 및 도시 차원에 미치는 영향을 평가하고 있지 않음
- 시행단계 : 바람길의 실질적인 적용 단계
 - 지구단위계획 작성 시 건축물의 배치(건축물의 간격 및 향 등) 및 높이, 건축물 및 필지의 피복 상태, 도로의 방향, 공원녹지계획, 가로수 배치(간격, 향 등 고려), 가로수의 수고 및 수종 선정 등에서도 바람길 확보
 - 건축물 형태 및 배치: 바람길을 통해 유입되는 미세먼지 농도가 낮은 신선한 대기를 차단하지 않고 도시 내로 빠르게 유입분산시킬 수 있도록 건축물 형태를 정하고 이를 적절하게 배치(<요약 그림 5> 참조)
 - 환경계획 부분에서는 중장기적으로는 사업단위별 환경계획을 수립하고, 수립된 환경계획을 반영하여 개발계획 혹은 지구단위계획 수립

그림 5 | 지구단위계획수립지침 내 추가 사항

유형	사례 블록 분석 결과		지구단위수립지침 내 추가 사항	
	바람장	농도장	개념도	지침
바람길 확보 (1)				- 신선한 공기 유입 및 미세먼지 분산·배출을 원활히 하고자 바람길과 수평 방향으로 건물 배치 - 오픈스페이스와 건물 주변으로 바람길 확보
바람길 확보 (2)				- 신선한 공기 유입 및 미세먼지 분산·배출을 원활히 하고자 바람길 확보가 가능한 타워형 건물 배치 - 오픈스페이스와 건물 주변으로 바람길 확보
바람길 미화보				- 바람길과 수직 방향으로 판상형 건물 배치시, 건물이 병풍 역할을 하여 미세먼지 분산을 어렵게 함으로 가급적 지양함 - 건물 주변으로 바람길이 확보되지 못해 미세먼지 정체 가능성을 높이므로 가급적 지양함

자료: 본 연구의 자료가 작성하였으나, 대한민국정부(2019, p.116)의 자료로 활용됨

6. 결론

□ 연구의 결과

- 도시의 바람환경은 지형 및 지세의 영향을 받으며, 블록 단위 차원에서는 오픈 스페이스, 건축물 배치, 동간 간격, 건축물 높이 등과 상호 연관성을 가짐
- 바람길이 도시 내 미세먼지 저감에 효과가 있지만, 국토 및 환경계획의 이원화로 실제 개발사업에서 바람길을 적용한 사례는 드물
- 실현 가능성의 측면에서 바람길을 적용하기 위한 방식은 (1)국토계획 내 부문계획으로 바람길 계획을 포함하거나, (2)환경계획과 국토계획의 연계로 구분 가능

□ 연구의 기대효과

- 배출원 관리를 통한 저감뿐만 아니라 미세먼지 문제를 해소하기 위한 도시계획적 측면에서의 저감 방안을 제시함
- 바람길을 효과적으로 적용하기 위해서 구체적인 법제도 개선 방안을 다루어 실제 계획 작성과 도시개발사업 시행 시 바람길의 적용 가능성을 높임

□ 정책제언

- 국토계획과 환경계획의 단계별 연계
- 조사단계: 대기오염 현황지도, 주풍의 풍향 및 풍속, 찬공기 흐름도, 도시기후 현황지도 등의 대기환경 기초정보를 국토 및 환경계획 작성 시 공유
- 계획작성: 유사한 혹은 동일한 공간을 바람길로 설정하고, 토지이용계획 반영
- 평가단계: 국토계획평가 시 바람길을 평가항목으로 추가시키고, 환경영향평가 시에는 사업대상지 내부뿐만 아니라 도시 전체 차원의 대기 흐름 파악
- 시행단계: 건축물의 배치 및 고도, 도로의 방향, 가로수 배치·수고·수종 선정에서도 바람길을 확보하고, 사업단위별 환경계획이 수립되어 이를 지원

□ 향후 과제

- 국토 공간상 미세먼지 농도의 계절별·공간적 분포 특성 및 원인 규명
- 바람길 조성 시 비용 및 편익 산출 등 정량적 효과 분석
- 바람길·그린인프라·스마트기술이 접목되어 미세먼지로부터 안전한 시범도시 구축

차 례

CONTENTS

주요 내용 및 정책제안	iii
요 약	v

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구의 범위 및 방법	5
3. 선행연구와의 차별성	8
4. 연구의 흐름도	13

제2장 선행연구·이론고찰과 해외 사례 검토

1. 도시기후와 미세먼지	17
2. 바람길의 효과와 관련 논의	20
3. 해외 사례 및 시사점	25
4. 국토 및 환경계획 연계	55
5. 시사점과 과제	57

제3장 국내 및 사례 지역의 미세먼지 특성 및 대책

1. 국내 미세먼지 특성 분석	61
2. 지역별 미세먼지 농도 특성	66
3. 정부의 미세먼지 대책	71
4. 사례 지역 미세먼지 농도현황 및 대책	73
5. 분석 결과 종합	78

제4장 미세먼지 저감을 위한 바람길 모의실험 분석

1. 모의실험 모형	83
2. 바람길 수치모의 분석과 결과	89
3. 시사점과 과제	114

제5장 바람길 적용을 위한 국토·환경계획 연계 방안

1. 국토 및 환경계획의 연계 필요성	117
2. 법제도 내의 바람길	119
3. 연계의 대안 검토	138
4. 계획 수립 단계별 연계 방안	142

제6장 결론

1. 연구의 결과 및 기대효과	163
2. 정책제언	166
3. 연구의 한계 및 향후과제	169

참고문헌	171
------------	-----

SUMMARY	180
---------------	-----

표차례

LIST OF TABLES

〈표 1-1〉 선행연구와의 차별성	10
〈표 1-2〉 선행연구 요약	11
〈표 2-1〉 다운타운 계획 내 조닝 규정에 요소별 바람 관련 규정	34
〈표 2-2〉 PlaNYC(2007) 주요 목표 및 전략	36
〈표 2-3〉 분야별 세부 대책 내용	49
〈표 2-4〉 오사카 지역의 한여름날에 해풍이 부는 날의 비율	51
〈표 2-5〉 오사카시 '바람길 비전'의 전략 구성	52
〈표 2-6〉 바람길 관련 국외사례 종합	54
〈표 3-1〉 미세먼지 측정망 설치 목적	62
〈표 3-2〉 설치목적에 따라 분류한 미세먼지 측정망 수 및 운영주체	62
〈표 3-3〉 사례지역 인근 미세먼지 측정망 위치	75
〈표 4-1〉 CFD 모델과 CTL 모델의 비교	88
〈표 4-2〉 행복도시(건설지역) 전역 모델링을 위한 수치실험 설계	94
〈표 4-3〉 행복도시 첫마을 모델링을 위한 수치실험 설계	97
〈표 4-4〉 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 수치실험 설계	107
〈표 5-1〉 '저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시·군계획수립지침' 중 바람길 관련내용	124
〈표 5-2〉 환경 관련 법률 내 바람길 관련 내용	134
〈표 5-3〉 미세먼지 및 바람길 관련 법령	137
〈표 5-4〉 바람길 적용을 위한 국토 및 환경계획의 연계 방안 비교	141
〈표 5-5〉 계획단계별 국토계획과 환경계획의 검토 항목	142
〈표 5-6〉 조사단계의 법규 개선 방안(예시)	146
〈표 5-7〉 작성단계의 법규 개선 방안(예시)	148
〈표 5-8〉 평가단계의 법규 개선 방안(예시)	152
〈표 5-9〉 지구단위계획에서의 바람길 적용 방안	155
〈표 5-10〉 '지구단위계획수립지침' 개선 방안(예시)	156
〈표 5-11〉 시행단계의 환경 법규 개선 방안(예시)	160

그림차례

LIST OF FIGURES

〈그림 1-1〉 연구 내용과 수행 그룹의 업무 분장	7
〈그림 1-2〉 연구의 흐름도	12
〈그림 2-1〉 도시열섬 현상의 개념	18
〈그림 2-2〉 식물의 미세먼지 저감량 측정 결과	22
〈그림 2-3〉 찬공기 흐름을 적용한 도시계획의 수립 방향 제시(청주시 사례)	24
〈그림 2-4〉 운터 그룬트(Unterer Grund) 지구의 바람길을 고려한 지구계획 사례	30
〈그림 2-5〉 쉘메나커(Schelmenacker) 지구의 바람길을 고려한 토지이용계획 사례	31
〈그림 2-6〉 에스판(Espan) 지구와 그루터발트(Greutterwald) 지구의 열화상 조사 및 바람길을 고려한 계획 사례	32
〈그림 2-7〉 바람에 대한 규정이 있는 조닝구역	35
〈그림 2-8〉 미국의 건축 및 도시 관련법, 환경법, 에너지법의 연동 체계 구축	37
〈그림 2-9〉 바람길과 가로 방향	40
〈그림 2-10〉 오픈스페이스 연결 개념도	40
〈그림 2-11〉 해안가 바람길 통로 개념도	41
〈그림 2-12〉 비건축용지 투과 개념도	41
〈그림 2-13〉 건축물 높이 조절 개념도	42
〈그림 2-14〉 계단식 포디엄 설계	43
〈그림 2-15〉 표지판 설치의 예	43
〈그림 2-16〉 풍속비율(VR_w)의 개념	45
〈그림 2-17〉 대상지의 분석영역 설정방법	45
〈그림 2-18〉 홍콩정부의 대기통풍평가(AVA) 관련 연구기획 결과	46
〈그림 2-19〉 오사카시의 기후분석지도(1:25,000)	48
〈그림 2-20〉 오사카시 '바람길 비전'의 목표	51
〈그림 2-21〉 오사카시의 도로상 해풍 흐름 모의실험 결과(동서/남북 방향)	52
〈그림 2-22〉 공원녹지에서의 해풍 흐름 모의실험 결과(위: 공원 주변 바람 흐름, 아래: A-A' 단면도)	53

그림차례

LIST OF FIGURES

〈그림 3-1〉 전국 대기오염 농도 추이	63
〈그림 3-2〉 물질별 배출 특성	65
〈그림 3-3〉 2016~2018년 도시대기 측정망의 광역 시·도별 PM10 연평균 농도	67
〈그림 3-4〉 2016~2018년의 광역 시·도별 PM2.5 연평균 농도	67
〈그림 3-5〉 2017년 도시대기 측정망의 PM10 연평균기준($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) 초과 지점 수 현황 ..	68
〈그림 3-6〉 2017년 도시대기 측정망의 개정 전 PM2.5 연평균기준 초과 지점 수	69
〈그림 3-7〉 2018년 지역별 월평균 초미세먼지(PM2.5) 농도	70
〈그림 3-8〉 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」의 주요 내용	72
〈그림 3-9〉 세종시 인근 측정소 현황	74
〈그림 3-10〉 세종시 주변지역의 연평균 미세먼지(PM10)	76
〈그림 3-11〉 2018년 세종시 월평균 초미세먼지(PM2.5) 농도 추이(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	77
〈그림 4-1〉 건설 전(좌)·후(우)의 지표바람 벡터장	85
〈그림 4-2〉 수목 유무에 따른 보행자 높이에서 바람환경 및 바람 벡터장	85
〈그림 4-3〉 도시지역에서의 시간대에 따른 대기오염물질 농도 변화	86
〈그림 4-4〉 모의 대상지역 공간적 범위	90
〈그림 4-5〉 사례 지역 내 풍향 관측지점 위치	92
〈그림 4-6〉 사례 지역 내 AWS 기반 바람장미도	93
〈그림 4-7〉 행복도시 바람 벡터 및 바람장	95
〈그림 4-8〉 행복도시 전역의 풍향을 고려한 지표 평균 풍속장	96
〈그림 4-9〉 행복도시 첫마을 조성 前과 後의 바람 벡터 비교	98
〈그림 4-10〉 행복도시 첫마을 조성 전후 풍향을 고려한 '평균 풍속' 모의 결과	99
〈그림 4-11〉 행복도시 찬공기 흐름도 작성을 위한 수치실험 설계	99
〈그림 4-12〉 행복도시 찬공기 유동 및 높이(1)	101
〈그림 4-13〉 행복도시 찬공기 유동 및 높이(2)	102
〈그림 4-14〉 행복도시 찬공기 유속 및 방향(1)	103
〈그림 4-15〉 행복도시 찬공기 유속 및 방향(2)	104

그림차례

LIST OF FIGURES

〈그림 4-16〉 행복도시 6-3 생활권 B1 블록 위치	105
〈그림 4-17〉 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 건축물 배치 유형 대안	106
〈그림 4-18〉 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 바람장 분석 결과 ($z = 0.5m$)	108
〈그림 4-19〉 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 바람장 분석 결과 ($z = 44.5m$)	110
〈그림 4-20〉 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 농도장 분석 결과 ($z = 0.5m$)	112
〈그림 4-21〉 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 농도장 분석 결과 ($z = 44.5m$)	113
〈그림 5-1〉 본 연구에서 다루는 국토·환경계획 혹은 관련 법률의 범위	121
〈그림 5-2〉 ‘지자체 환경보전계획 수립지침’ 내 바람길과 주거지 배치 관련 내용	131
〈그림 5-3〉 ‘지구단위계획수립지침’ 내 추가 사항	159

1

CHAPTER

서론

- 1. 연구의 배경 및 목적 | 3
- 2. 연구의 범위 및 방법 | 5
- 3. 선행연구와의 차별성 | 8
- 4. 연구의 흐름도 | 13

서론

미세먼지로 인해 국민의 불안감이 증폭되고 있다. 정부는 상당한 예산을 투입하여 미세먼지를 낮추기 위해 노력하고 있지만, 여전히 세계보건기구(World Health Organization, WHO)의 기준치를 상회하고 있어 현재의 배출원 규제 중심 정책과 병행하는 새로운 정책 대안이 요구되고 있다. 본 연구에서는 도시공간 관리의 관점에서 미세먼지를 저감시키기 위한 바람길 조성과의 효과적 적용을 위한 국토(공간) 및 환경계획의 연계 방안을 모색하고자 한다. 특히, 본 연구는 ‘국토·환경 관련 법·제도·계획’과 ‘미세먼지·대기 모델링’이라는 지금까지는 가깝지 않았던 두 분야를 동시에 다루는 융·복합 연구로 다른 전문기관과의 심층적인 협동 연구를 추진하는데 의의가 크다.

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경

국내에서 발생하거나 주변국에서 유입되는 미세먼지¹⁾로 인해 국민의 불안감이 커지고 있다. 2018년 통계청의 사회조사에 따르면 우리나라 국민은 범죄발생, 국가안보, 환경오염을 3대 불안 요소로 응답하였으며, 환경문제 중 36%의 응답자가 국내의 대기환경이 2년 전보다 나빠졌다고 답하였다(통계청, 2018).

전국 및 서울의 미세먼지(PM10) 연평균 농도는 2002년부터 차츰 낮아지고 있었으나, 2012년을 기점으로 정체되어 있다(국회예산정책처, 2019; 서울시 미세먼지정보

1) “미세먼지”란 「대기환경보전법」 제2조제6호에 따른 먼지 중 다음 각 목의 흡입성먼지를 말한다. 가. 입자의 지름이 10마이크로미터 이하인 먼지(PM10: 미세먼지, Particulate Matter), 나. 입자의 지름이 2.5마이크로미터 이하인 먼지(PM2.5: 초미세먼지)(법제처, 2019)

센터, 2019). 그럼에도 불구하고 여전히 우리나라의 미세먼지 농도는 세계보건기구(World Health Organization, WHO)의 권고기준($20\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 약 2배 이상 높은 수치를 보이고 있다(주현수, 2018).

미세먼지 문제를 해소하기 위해 정부는 배출원을 규제하는 정책을 주로 추진하였다. 노후 경유차량 교체, 친환경차 보급 확대, 도로청소차 보급, 먼지총량제 등 배출원 관리가 이에 해당한다(관계부처 합동, 2017, 2018). 대기환경을 개선하기 위해 최근 4년 동안 예산을 약 20% 증가시키기도 하였다(국회예산정책처, 2019). 그러나 2012년 전후 배출량과 미세먼지 농도와의 상관성이 낮아지고 있다. 이는 미세먼지 문제를 해결하기 위해서는 단순히 배출원의 배출량을 관리하는 정책만으로는 부족하다는 것을 의미한다(주현수, 2018).

따라서 바람길 조성과 같은 공간관리 정책이 병행된다면 미세먼지 정책의 효과는 높아질 것이다. 독일의 슈투트가르트(Stuttgart)시의 사례와 국내의 여러 연구가 조경식물이 미세먼지를 저감시키고, 건축물의 배치와 높이가 미세먼지 농도에 영향을 미친다는 사실을 실증적으로 보여주고 있다(엄정희, 2019; 이건원, 2019).

그럼에도 불구하고, 우리나라에서 실질적으로 도시 내 바람길을 적용한 사례는 찾아보기 힘들다. 여러 원인이 있을 수 있으나, 현행 이원화된 국토 및 환경계획이 그 원인 중의 하나이다. 바람길을 공간계획에 적용하기 위해서는 도시 대기환경에 대한 기본적인 정보가 필요하며, 이러한 정보를 기초로 하여 도시 바람길의 공간적 범위를 설정해 주어야 한다. 즉, 환경계획에서 바람길의 공간적 범위를 설정하고, 이를 도시 및 개발 계획에서 반영하면 자연스럽게 바람길을 적용할 수 있다. 혹은 국토 및 도시계획 내 바람길을 내재화한다면 소기의 목적을 달성할 수 있을 것이다.

2) 연구의 목적

본 연구에서는 도시 내 미세먼지를 낮추기 위해 바람길의 유용성을 확인하고, 이를 공간계획에 정착시키기 위한 방안을 모색한다. 보다 세부적으로 바람길이 미세먼지 저감 및 분산에 미치는 영향을 파악하고, 바람길을 효과적으로 적용하기 위한 대안으로

국토 및 환경계획의 연계 방안을 모색한다.

이를 위해서 계획수립의 과정을 조사, 작성, 평가, 시행단계로 구분한 후 단계별로 이원화된 양 계획의 한계점을 진단한 후, 두 계획의 연계 방안과 법제도 개선 방안을 제시한다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 국토, 도시 그리고 지구단위 차원으로 구분할 수 있고, 시간적 범위로는 국토계획 및 환경계획의 시간적 범위 혹은 모의실험의 시간으로 볼 수 있다.

먼저 국토 차원에서는 우리나라 미세먼지 농도의 전반적인 특성을 논의하고, 광역 및 도시차원으로는 세종시(행정중심복합도시)를 연구 지역으로 선정하였다.

세종시는 북풍과 북서풍이 주풍으로 서해안 등에서 미세먼지 유입 가능성이 높으며, 사계절 동안 안개와 결합한 스모그 발생 빈도가 높은 편이다. 또한 인구 80만 명을 목표로 개발이 진행 중인 도시로(세종특별자치시, 2014), 개발 전후의 바람의 흐름을 추적 관찰할 수 있다. 지구단위 차원에서도 세종시는 현재 개발사업이 진행 중이기에 공동주택, 도로망 등 도시공간구조 설계 시 풍향 및 미세먼지 영향 모의가 필요한 지역이다.

시간적 범위와 관련하여 제5차 국토종합계획의 수립 기간(2020-2040), 세종시 관련 계획 보고서의 수립 및 목표 년도, 미세먼지 및 찬공기 흐름도 분석 기간을 시간적 범위로 정할 수 있다.

2019년 제5차 국토종합계획이 2040년을 목표로 수립되었으며, 세종시 개발계획은 2030년을 목표로 하고 있다. 찬공기 흐름도는 야간에 산지에서 도시로 불어오는 바람을 대상으로 하기에 일몰 후 8시간 정도를 시간적 범위로 볼 수 있다. 따라서 연구의

시간적 범위는 계획의 수립 기간으로 볼 때 20년으로 상당히 긴 시간이며, 모의실험의 경우는 8시간으로 비교적 짧다.

2) 주요 연구방법

연구방법은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 국내외 문헌 및 정책사례 조사, 둘째, CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델을 이용한 미세먼지 유동 모의실험, 셋째, 경제·인문사회연구회 및 외부 전문가와의 협동연구이다.

먼저 ‘국내외 문헌 및 정책사례 조사’ 방식으로 국토종합계획, 광역도시계획, 도시·군 기본계획, 국가환경종합계획, 지자체 환경보전계획 등에서 다루고 있는 미세먼지 저감 및 분산과 관련되는 계획 및 정부의 정책 방향을 검토한다. 또한 외국(독일, 미국, 홍콩, 일본 등)의 미세먼지 저감 대책을 검토한 후 국내 적용을 위한 시사점을 도출한다.

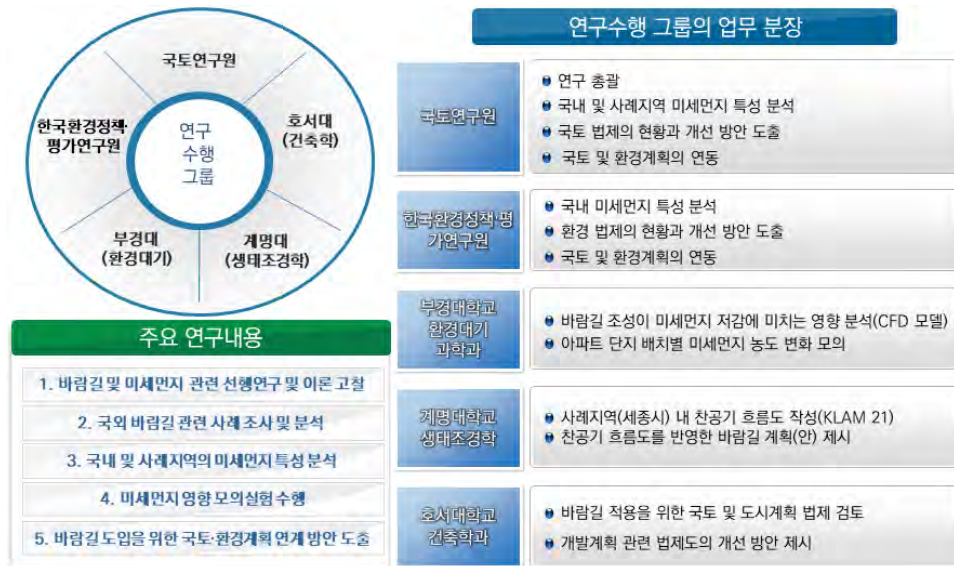
다음으로 ‘CFD 모델을 이용한 미세먼지 유동 모의실험’이다. CFD 모델을 사용하여 도시의 대기환경과 바람길이 미세먼지 농도에 미치는 영향을 분석하고, 야간의 찬 공기 흐름을 분석한다.

본 연구는 경제·인문사회연구회 및 외부 전문가와 융·복합 및 협력하는 연구방법을 채택한다(〈그림 1-1〉 참조). 본 연구의 문제 인식과 정책 대안은 미세먼지 저감을 위해 바람길을 도입해야 하며, 그 방안으로 국토 및 환경계획을 연계하는 것이다. 세부 연구 주제로는 선행연구 및 이론고찰, 국내 및 사례 지역의 미세먼지 특성, 국외 사례, 대기 모의실험, 국토 및 환경계획의 연계를 포함하고 있다. 따라서 연구 주제는 크게 ‘국토·환경 법제 및 계획’과 ‘미세먼지 및 대기 모델링’ 부문으로 구분할 수 있다. 두 가지 주제를 심도 있게 연구하기 위해서는 각기 다른 전문성을 가진 학제간의 연구가 요구되며, 전문기관 간의 협력이 필요하다.

구체적으로 살펴보면, 국토연구원이 연구를 총괄하며, 국내 및 세종시의 미세먼지의 특성을 분석한다. 나아가 바람길과 관련한 국토 및 도시 법제도와 계획을 검토한 후 그 한계점을 도출한다. 한국환경정책·평가연구원은 국토연구원과 더불어 국내 미세먼

지의 특성을 파악하고, 미세먼지 관련 환경 법제와 계획을 검토한다. 정리된 법제도의 한계점을 보완하기 위해 국토연구원과 한국환경정책·평가연구원은 공동으로 국토 및 환경계획의 연계 방안을 마련한다.

그림 1-1 | 연구 내용과 수행 그룹의 업무 분장



부경대학교 환경대기과학과는 CFD 모델을 활용하여 사례 지역의 아파트 단지가 건설된 후 도시 내 풍향과 풍속의 감소 정도를 파악하기 위해 모의실험을 수행한다. 이 결과는 개발사업으로 인해 도시의 대기환경이 변화됨을 실증적으로 보여준다. 또한 국토연구원에서는 사례 지역의 대표적인 아파트 유형과 배치 도면을 제시하고, 부경대에서는 이를 이용하여 미세먼지 영향에 대한 모의실험을 수행한다. 이를 통해 바람길의 효과를 정량적으로 보여준다.

나아가 계명대학교와 협력연구를 수행함으로써 사례 지역을 대상으로 야간의 찬공기 흐름도를 작성하고 산곡풍의 방향을 확인한다. 이러한 정보는 향후 세종시가 바람길 계획을 수립할 때 기초정보로 사용될 수 있을 것이다.

호서대학교 건축학과와의 협동연구를 수행한다. 지구 단위에서 건축물을 배치하고 높이를 결정할 경우 가급적 도시기후에 미치는 영향을 최소화 할 수 있도록 개발계획 혹은 지구단위계획과 관련한 법제도의 개선 방안을 도출한다.

본 연구는 학술 및 법제도 분야에서는 융·복합을, 전문 기관과는 협동 연구를 추진한다. 긴밀한 협동 연구를 통해 연구의 목적을 달성할 수 있을 것이다.

3. 선행연구와의 차별성

선행연구와 본 연구와의 차이점을 살펴본다. 우선, 김운수 외(2001), 최영국 외(2002), 김동영(2009), 이주현 외(2009), 김태원 외(2017)의 선행연구가 미세먼지와 바람길, 그리고 국토 및 환경계획의 연동을 다루고 있다(<표 1-2> 참조).

김운수 외(2001)는 각종 도시개발 과정에서 도시환경에 미치는 영향을 도시계획 차원에서 저감할 수 있는 방안을 모색하였다. 연구방법으로 문헌조사 및 바람길 순환구조를 분석하였으며, 사례지역인 한강 양안, 여의도, 상계동의 바람길 순환구조를 분석하였다. 또한 독일 슈투트가르트(Stuttgart)시의 기상특성을 고려한 도시계획 사례를 제시하고, 기상특성을 고려한 서울시의 도시계획 수립방향을 제시하였다. 기본방향, 도시개발의 사전환경성 검토, 도시계획 정비지침의 개선, 도시관리 종합시스템의 구축과 활용, 지역건축조례에 의한 도시기후 보호, 권역별 바람통로 확보를 위한 도시계획적 운용 등을 연구의 내용으로 담았다.

최영국 외(2002)는 ‘국토계획 및 환경계획체계 연계방안 연구’에서 친환경적인 국토를 조성하기 위하여 국토 및 환경계획을 합리적으로 연동하는 방안을 제시하였다. 이를 실현하기 위해서 독일의 자연침해조정제도와 비슷한 경관관리제도를 도입하고 전국적으로 생태환경현황지도가 의무적으로 작성되어야 함을 제안하였다.

김동영(2009)은 ‘대기질 모형 CMAQ을 이용한 수도권 미세먼지 특성 연구’에서 수도권의 배출원별 미세먼지 기여도, 중장거리 이동에 따른 미세먼지의 영향 등을 분석하고, 수도권 미세먼지의 배경농도 및 미세먼지의 구성 성분 등을 분석하여 미세먼지

(PM2.5)에 대한 환경기준 설정, 상시적인 모델링 체계 구축·운영, 배출시설 관리, 대기질 측정망의 배치 개선의 필요성을 제시하였다. 하지만 도시개발에 따른 미세먼지의 농도변화 분석 및 도시계획적 관점에서의 영향요소 도출과 저감 대책 등은 제시하지 않았다.

이주현 외(2009)는 ‘도시재개발이 도시지역 상세 대기흐름에 미치는 영향’에서 광주광역시로 대상으로 도시재개발에 따른 건축물의 증·개축이 도시 내부의 상세 바람환경에 미치는 영향을 조사했으며, 광주광역시 및 (구)전남도청 일원의 GIS기반 공간자료(건물의 위치, 고도)와 CFD 모델을 이용하여 도시재정비사업 전후의 풍향과 풍속변화를 모의하였다. 그러나 건물 신축에 의한 풍향 변화와 오염원(자동차, 개별 건물 등)의 배출자료를 이용한 정밀한 평가를 실시하지는 못하였다.

김태원 외(2017)는 ‘CFD 시뮬레이션을 통한 단지유형별 바람길 분석’에서 CFD 모의실험을 이용하여 서울 인구밀집지역의 바람길을 분석함으로써 단지유형별 공기순환을 분석했으며, 중저층 주거지역(광진구), 고층 주거지역(송파구), 상업단지(서초구)를 대상으로 지역별 상세관측자료(AWS, Automatic Weather Station)를 토대로 계절별·시간대별 바람길을 분석하였다. 녹지공간 조성, 건축물 주변 식재, 인동간격 고려 등을 통해 바람길 확보가 가능함을 제시하였으나 풍속, 거주자의 형태, 도심의 공기오염도 등을 고려하지 않았다.

미세먼지, 바람길, 국토 및 환경계획의 연계에 대한 선행연구의 고찰을 통해 본 연구가 차별화되는 부분을 검토한다. 특히, 연구의 주제와 공간적 범위 등에 초점을 두고 살펴보았다(〈표 1-1〉 참조).

연구 내용의 측면에서 선행연구는 바람길과 관련하여 개별 사안을 다루거나 학술적인 성격이 짙다. CFD 모델 등을 활용하여 도시열섬 현상을 분석하고 도시 내 미세먼지 저감을 위해서 바람길의 중요성을 강조하고 있다. 더불어 개발사업이 대기환경에 미치는 영향과 관련 환경 법제의 개선 방안을 일부 다루고는 있다. 생태축을 중심으로 한 도시 및 환경계획의 연계에 대한 연구는 진행되었으나, 바람길을 통한 두 계획의 연계에 관한 연구는 부족하다.

이에 비해, 본 연구는 공간 위계별로 실증 분석을 실시하고, 법제도화에 중점을 둔다. 광역 및 도시 차원에서 지역의 특성을 고려한 도시계획이 수립될 수 있도록 풍향풍속 등을 검토하며, 지구단위 차원에서는 신도시 건설 전후 바람 벡터장의 변화를 파악한다. 블록 단위에서는 공동주택 형태 및 배치 유형별로 미세먼지 농도와의 상관성을 분석하여, 적절한 건축물의 배치 방향을 제시한다.

더불어 본 연구는 바람길을 적용하기 위한 법제도적 수단을 보다 면밀히 다룬 점에 서 기존 연구와 차이가 있다. 바람길이라는 일단의 공간을 매개로 국토계획과 환경계획이 수립된다면 두 계획이 자연스럽게 연계될 것이다. 생태축이 아니라, 바람길을 양 계획의 연계 고리로 본 것이 본 연구의 특징이다(<표 1-1, 2> 참조).

표 1-1 | 선행연구와의 차별성

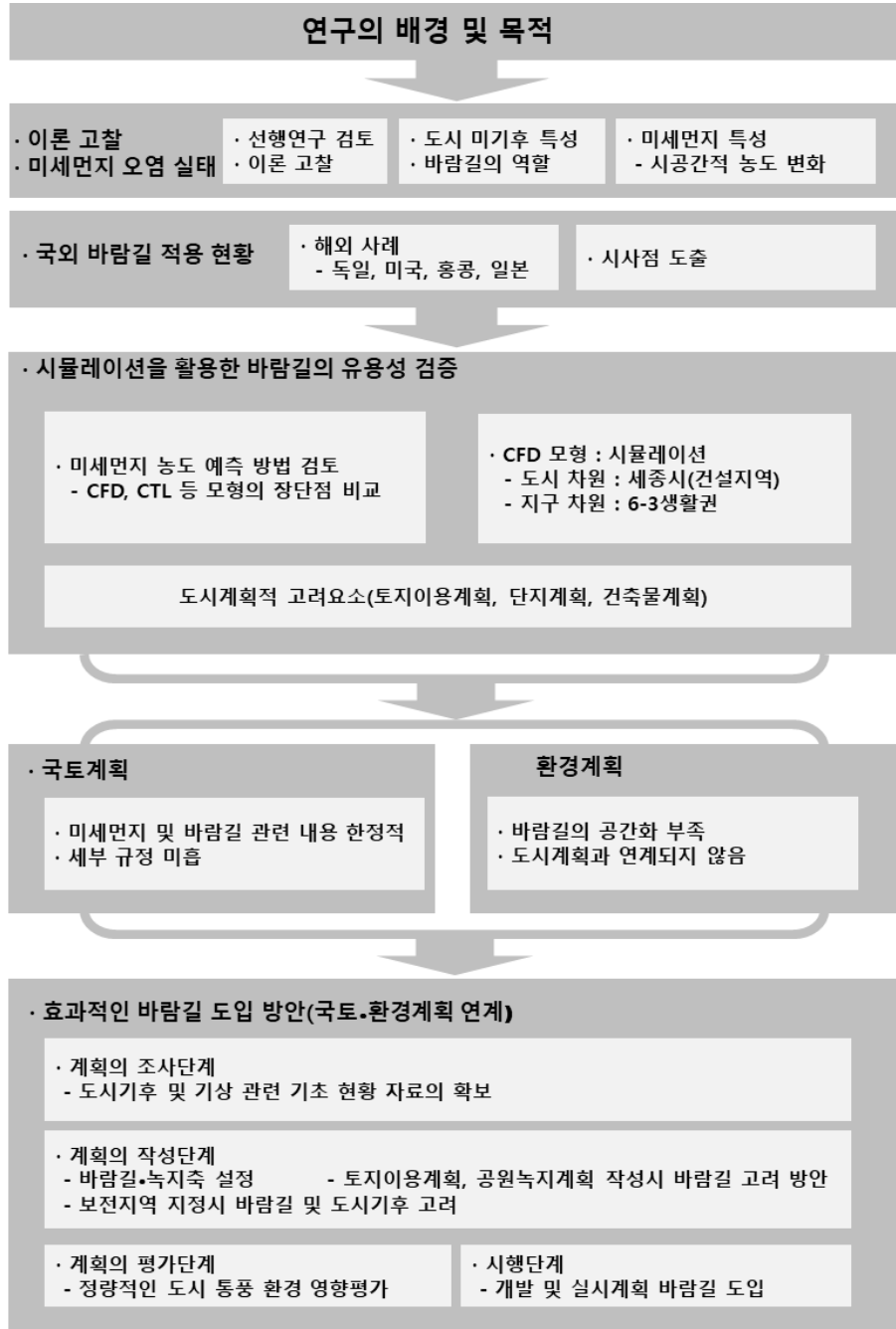
연구 내용		선행연구					본 연구
		김운수 외 (2001)	최영국 외 (2002)	김동영 (2009)	이주현 외 (2009)	김태원 외 (2017)	
학술	바람길	V			V	V	V
	미세먼지 모델링			V			V
법·제도	법제도 적용	V					V
	국토·환경 계획 연계		V				V
공간 범위	국토차원		V				V
	광역차원	V		V			V
	지구단위	V			V	V	V

자료: 저자 작성

표 1-2 | 선행연구 요약

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	• 과제명: 기후특성을 고려한 도시계획제도의 적용과 적용가능성에 관한 연구 • 연구자(년도): 김운수 외(2001) • 연구목적: 각종 도시개발 과정에서 도시 환경에 미치는 영향을 도시계획차원에서 저감할 수 있는 방안을 모색	• 문헌 검토 • 바람길 분석	• 독일 슈투트가르트(Stuttgart)시 사례 검토 • 서울시의 도시계획 수립방향을 제시
	2	• 과제명: 국토계획과 환경계획체계의 연계방안 연구 • 연구자(년도): 최영국 외(2002) • 연구목적: 국토 및 환경계획체계를 연동하고, 그 실천 수단 제시	• 문헌 검토 • 사례 연구 • 설문조사	• 국토·환경계획 및 관련 제도의 내용 및 한계 • 국토·환경계획체계의 연계 방향 설정 • 계획체계의 연계 방식 및 연계 수단
	3	• 과제명: 대기질 모형 CMAQ을 이용한 수도권 미세먼지 특성 연구 • 연구자(년도): 김동영(2009) • 연구목적: 수도권의 미세먼지에 대한 모델링 연구를 통하여 미세먼지 저감정책에 필요한 자료체계 구축 및 관리 방안 마련	• 문헌 검토 • CMAQ 모델 모사	• 미세먼지 모델링 체계의 구축 • CMAQ 모형의 결과
	4	• 과제명: 도시 재개발이 도시 지역 상세 대기 흐름에 미치는 영향 • 연구자(년도): 이주현 외(2009) • 연구목적: 건물의 증축과 개축이 도시 내 상세 바람 환경에 미치는 영향을 조사	• CFD 모델 • GIS 활용	• 도시 재정비 전·후의 수치 모델 구축 • 도시 재정비에 따른 도시 내 대기 흐름에 미치는 영향 조사
	5	• 과제명: CFD 시뮬레이션을 통한 단지 유형별 바람길 분석 • 연구자(년도): 김태원 외(2017) • 연구목적: 서울시를 대상으로 CFD 모의실험을 이용하여 바람길 분석과 그 결과 값으로 단지유형별 공기 순환 분석	• CFD 모델 개요 및 활용 • 사례 지역 분석	• 도심지의 대표적인 단지 유형별로 바람길 조사 • 단지 유형별 CFD 모델의 결과값 제시
본연구		• 과제명: 미세먼지 저감을 위한 국토·환경계획 연계 방안 연구 • 연구목적: 미세먼지 저감을 위한 바람길의 유용성을 확인하고, 이를 효과적으로 적용하기 위해 국토·환경계획의 연계 방안 모색	• 국내외 문헌 및 정책사례 조사 • 관련 법률 등 제도분석 • CFD 모델을 활용한 바람길과 미세먼지 상관성 분석	• 국외 바람길 관련 사례 조사 및 분석 • 국내·사례지역의 미세먼지 특성 분석 • 미세먼지 영향 모의실험 수행 • 국토·환경계획의 연동 방안 도출

그림 1-2 | 연구의 흐름도



자료: 저자작성

4. 연구의 흐름도

본 연구는 <그림 1-2>와 같이 다섯 개의 주제를 담고 있다. 첫째, 미세먼지, CFD 모델, 바람길 및 기후지도와 관련한 선행연구를 검토한다. 나아가, 이론을 고찰하는 부분으로 도시지역 기후의 특성, 바람길의 정의 및 효과, 바람길과 미세먼지 농도와의 상관성, 도시계획에서 바람길 적용 필요성 등을 다룬다.

둘째, 국외 바람길 관련 사례 및 시사점을 도출하기 위해 독일, 홍콩, 미국, 일본 등을 대상으로 미세먼지 저감 대책 및 바람길 사례를 조사한다.

셋째, 국내 및 사례 지역의 미세먼지 특성을 분석한다. 대기오염 자동측정망 자료를 활용하여, 미세먼지의 계절별, 공간별 농도 변화를 분석하고 미세먼지 발생 원인을 검토한다.

넷째, 사례 지역 세종시를 대상으로 개발사업이 미세먼지에 미치는 영향, 야간 찬공기의 흐름, 지구단위 차원에서 풍속이 미세먼지 분산에 미치는 영향을 모의실험한다.

다섯째, 국토 및 환경계획의 수립단계를 조사, 작성, 평가, 시행단계로 구분한 후 이원화된 계획체계의 한계점을 진단한다. 마지막으로, 각 단계별로 연계 방안을 모색한다.



CHAPTER 2

선행연구·이론고찰과 해외 사례 검토

1. 도시기후와 미세먼지 | 17
2. 바람길의 효과와 관련 논의 | 20
3. 해외 사례 및 시사점 | 25
4. 국토 및 환경계획 연계 | 55
5. 시사점과 과제 | 57

선행연구·이론고찰과 해외 사례 검토

도시 내 미세먼지 저감을 위해서는 바람길을 조성하여 정체된 대기를 환기시켜야 한다. 그렇다면 도시만이 갖고 있는 도시기후의 특징을 먼저 살펴보아야 한다. 미세먼지는 왜 발생하며, 도시 내 바람길이 과연 미세먼지 저감에 효과가 있는지 선행연구·이론고찰·해외 사례를 통하여 파악하였다. 만약 바람길이 효과가 있다면, 우리나라의 법제도상 바람길을 효과적으로 도입할 수 있는 대안은 국토 및 환경계획의 연계이다. 따라서 본 장에서는 선행연구의 부족한 부분을 보완하고, 본 연구의 방향성을 정하기 위해 ‘도시기후와 미세먼지’, ‘바람길의 효과와 관련 논의’, ‘해외 사례’, ‘국토 및 환경계획의 연계’로 구분하여 관련 내용을 다루었다.

1. 도시기후와 미세먼지

1) 도시기후의 특징

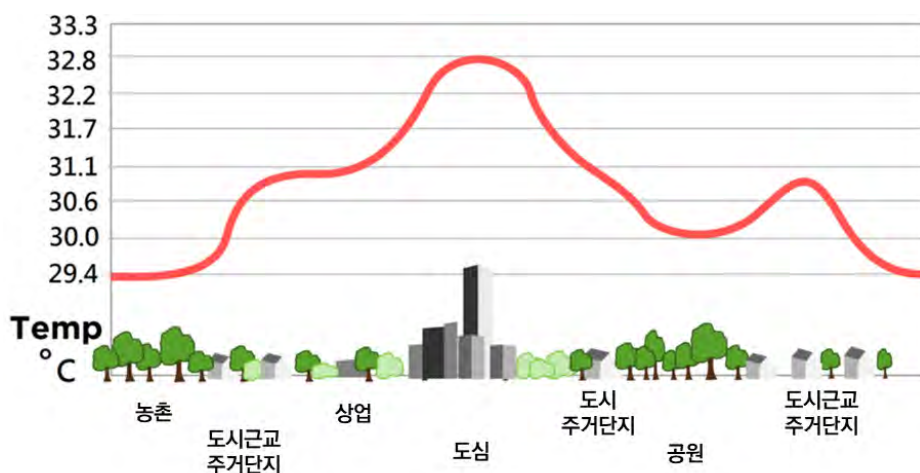
지구환경시스템은 태양계를 중심으로 공전, 자전, 대기의 순환 등을 통해서 생명체가 살기에 적절한 균형을 유지하고 있으며, 산림을 포함하여 생명을 유지하기 위한 모든 활동 및 비생물적 활동은 지구환경시스템의 균형조절과 연결되어 있다. 도시기후 환경시스템은 도시지역의 기후 관련 조절기능의 인과과정을 설명한다.

거시 및 미시적 시간·공간 규모에서 다양한 배출(Emission) 활동은 대기의 순환체계, 대기질 변화, 인체 위험성과 상호 연결되어 있으며, 이러한 도시지역 기후와 관련한 물리적·화학적 인과관계를 도시지역 기후의 특성으로 설명할 수 있다(Godish, 2005).

도시지역 기후의 물리적 특성을 대표하는 이슈로 도시열섬 현상을 들 수 있다. 도시

열섬(Urban Heat Island, UHI) 현상은 도시의 경계층 내에서 지표면 구조와 대기의 여러 상호작용 중 인공적·자연적 요인들로 인해서 도시가 가지는 열적 수용능력이 증가함으로 인해서 나타나는 온열환경 변화와 관련되어 있다. 도시가 형성되는 과정에서 인구와 산업이 집중되고 시가화 건조물이 수직적으로 확대되면서 주변지역 대기의 순환과 달리 도시지역에서만 일관되게 관측되는 대기의 수평·수직적 순환체계가 형성되며, 도시만의 기후특성으로 인정될 만큼 발달하는 대기층을 도시 경계층이라고 한다.

그림 2-1 | 도시열섬 현상의 개념



자료: NOAA(2019)

근대적인 기상관측이 시작된 이후 도시지역이 주변지역보다 상대적으로 평균 기온이 높음이 여러 도시들에서 확인되고 있다. 평균적으로 도시가 주변지역에 비해서 약 2°C 정도 기온이 높으며 도시의 규모가 크거나 시가화 건조지역의 수직적 발달 규모가 클수록 도시와 교외의 기온편차가 더 심하게 나타나고 있다. 도시열섬의 주요한 원인은 도시에 집중적으로 분포하고 있는 건축물들과 도시민들의 온열환경 조절활동과 관련 있다(〈그림 2-1〉 참조).

도시민들의 온열조절 활동은 생태계를 구성하는 모든 생물적 요소들과 비생물적 요

소들 모두에게 영향을 미치고 있으며 결과적으로는 도시에서만 나타나는 새로운 생태계(도시생태계)를 만들고 있다. 즉, 도시에서 일어나는 모든 인위적 활동이 국지적 영향에 그치지 않고 생태계를 변화시키고 있는 것이다.

2) 도시지역 내 미세먼지

도시지역 기후의 물리적·화학적 특성을 대표하는 이슈로 도시지역의 미세먼지 농도의 증가 현상을 들 수 있다. 자동차의 배출가스와 산업활동에 의한 매연은 미세먼지 농도를 증가시킨다. 이로 인한 대기질(Air quality) 악화 및 보건위생 관련 질병의 증가가 상호 밀접하게 관련되어 있음이 증명되었다(Boubel *et al.*, 2003). 또한, 배출량이 많을수록 인체에 위한 미세먼지 농도가 증가하고, 이로 인해 대기질이 악화되는 인과관계가 언론보도를 통해서 대중에게도 널리 알려지게 되었다(Godish, 2005).

도시 내 미세먼지 문제와 관련하여, 자연현상에 의해 외부로부터 신선한 공기가 유입되어 도시의 공기를 희석·이동시키지 못한다면 실외활동을 자제하고 실내 대기질을 개선하는 것 외에 단기적으로 해결할 대안이 없다. 미세먼지 농도를 관리하고 악화되는 대기질을 개선하기 위해서는 도시를 부양하는 산업의 규제를 통해서 내부의 배출을 최소화하고, 도시민들을 계도하여 저탄소·친환경·저배출 생활방식으로 전환하고, 이 외에도 도시의 공간구조를 개선할 수 있다.

미세먼지로 인한 대기질 악화는 공간적이고 구조적인 현상으로서 간주되어야 한다. 이를 시스템으로 이해하고 공간관리를 통해서 개선하지 않는다면 같은 장소에서 동일한 원인으로 도시재난이 반복적으로 발생할 위험이 있다. 예를 들어, 1952년 12월 영국 런던에서 바람이 정체되어 대기오염물질의 농도가 급격히 증가하자 1~2주 사이에 노약자를 중심으로 사상자가 발생하였다(Boubel *et al.*, 2003)¹⁾. 이후 바람을 통해 차고 신선한 공기가 런던에 유입되어 대기질이 개선된 이후에도 사상자 수는 상당기간 유지되어 총

1) 그레이트 스모그(Great Smog)의 영향으로 영국에서는 청정대기법(Clean Air Act)이 제정되어 본격적인 환경 법제가 적용됨.

1.2만여 명이 사망한 것으로 추정되고 있다(한국일보, 2017). 근래에도 도시화 및 화석 연료 중심의 산업화가 동시에 진행되고 있는 개발도상국의 대도시들을 중심으로 악화되는 대기질 개선의 시급성이 논의되고 있다.

중국의 베이징시도 대기질 악화로 인해서 세계적인 관심을 받고 있는 거대도시 중의 하나이다. 2008년 베이징 올림픽 기간에 정부의 강력한 규제조치로 일시적으로 대기 질이 크게 개선되었으나, 이후 미세먼지 농도가 다시 높아져 대중교통을 전기차로 전환하는 등 저탄소 중심의 사회로 구조적인 전환을 추진하고 있다(Wang *et al.*, 2010).

우리나라는 중국의 우측에 이웃하는 국가로서 북반구 편서풍 지대의 특성 상 중국의 산업화로 인한 미세먼지 농도증가의 영향을 직접적으로 받고 있다(Boubel *et al.*, 2003). 국내의 미세먼지 농도 저감을 통한 대기질 개선목표 달성을 위해서는 국제공동조사 등을 통해서 중국 등 국외에서 유입되는 대기오염물질을 줄여야 하며, 더불어 국내의 산업 시설이 배출하는 대기오염물질을 줄이는 두 과제를 동시에 풀어야 한다.

도시의 미세먼지 문제는 인과관계가 복잡하여 배출의 저감과 같은 하나의 수단만으로는 미세먼지 농도가 감소할 것이라고 기대하기 어렵다(Bai *et al.*, 2006). 다양한 수단들을 유기적으로 적용하여야만 구조적 감소를 기대할 수 있다. 도시의 대기질 개선을 위한 물리적인 조건들의 관리뿐만 아니라 산업적·경제적 요인, 도시민들의 대기 환경에 대한 심리적·정서적·사회적 요인도 함께 고려해야 바람직한 미세먼지 저감 정책을 발굴할 수 있다.

2. 바람길의 효과와 관련 논의

1) 바람길의 정의

도시바람통로(Urban ventilation corridor) 혹은 바람길은 Kress(1979)가 처음 사용한 ‘Ventilationbahn’이라는 독일어에서 유래되었다²⁾. 바람길은 ‘녹지와 물, 오픈

스페이스의 네트워크'로 이를 통해 산이나 바다로부터의 신선한 공기가 도시로 흐르는 것이다(김수봉 외, 2007, p. 130). 협의의 의미로서 바람길은 물리적으로 개방된 공간으로 볼 수 있으며, 광의의 의미의 바람길은 개방된 공간을 포함하며, 대기오염을 개선시키기 위해 식재된 수목, 대기오염 개선 시설, 대기 환기에 도움을 주는 공간까지도 여기에 포함될 수 있다. 이 개념을 통해서 도시계획적 관점에서 도시기후 관리를 위해 바람길이 적용될 수 있었고, 바람길 관리를 위한 기후지도로 발전할 수 있었다. 도시의 바람길 지도는 도시기후와 관련한 통계자료부터 다양한 전문가의 경험적 판단에 이르기까지 다양한 요소들이 복합적으로 반영되어 작성된다.

2) 바람길의 효과

(1) 협의의 의미에서의 바람길 효과

좁은 의미에서의 바람길 혹은 바람통로는 도시 환기와 이를 통해 미세먼지를 저감시키는 데 기여한다. 바람길을 따라 야간에 산지 등 자연지역에서 생성된 신선하고 차가운 공기가 도시에 유입되어 도시 내 공기의 질을 개선하게 된다(엄정희, 2010). 구체적으로 손정민(2019)은 청주시를 사례로 산지에서 생성된 찬공기가 청주시 중심 시가지로 이동하며, 이에 따른 풍속의 변화를 실증적으로 제시하였다.

이건원(2019)의 연구에서는 경기도 판교를 대상으로 건축물의 배치 및 높이에 따른 미세먼지 농도의 공간적인 차이를 실증적으로 보여주었다. 아파트 단지 내 대기 순환이 원활하지 않은 지점은 미세먼지 농도가 높아졌고, 고도가 낮을수록 바람의 속도도 낮아지는 경향을 보이며, 이때에는 미세먼지 수치가 높은 패턴을 보였다.

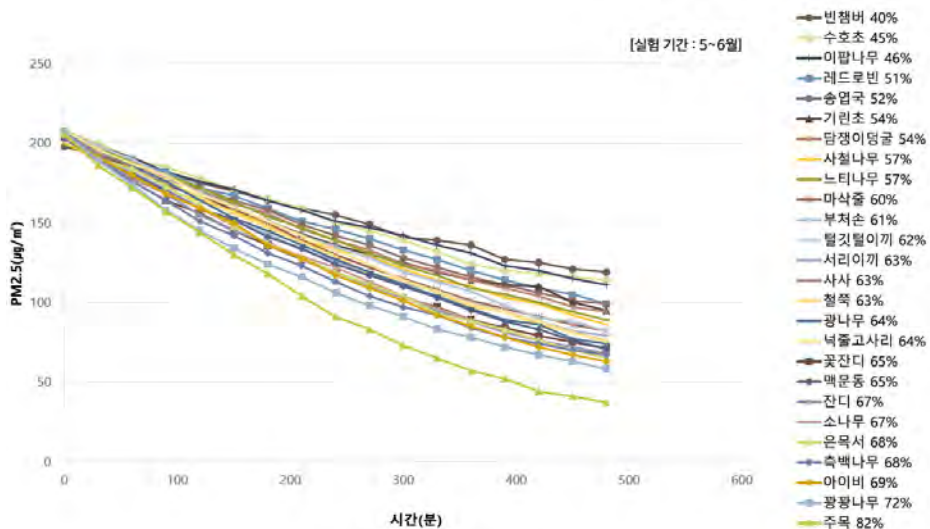
2) Kress(1979)는 중심시가지의 환기(air exchange) 및 통풍 조건을 향상시키기 위해서는, 차고 신선한 공기(cool fresh air)가 도시의 중심으로 보다 쉽게 이동할 수 있게 이 두 지역을 함께 연결하는 도시의 바람통로를 만들기 전에, 기능지역(functioning area)과 완충지역(compensating area)이라는 두 중요한 요소들을 고려할 것을 제안함.

(2) 광의의 의미에서의 바람길 효과

넓은 의미에서의 바람길도 미세먼지 저감에 효과적이다. 바람길 혹은 바람통로에 식재된 수목은 토양 및 엽면 흡착을 통해 미세먼지 저감에 기여할 수 있다. 식물은 광합성을 위해 미세먼지가 될 수 있는 VOCs(휘발성유기화합물) 등을 이용하며, 토양에 흡착된 대기오염 물질은 토양 내 미생물의 영양분으로 사용될 수 있다.

이건원(2019)은 한국의 주요 조경식물이 미세먼지 저감에 어떠한 효과를 가지는지 식물의 미세먼지 흡착효과를 실험적으로 밝혔다. 완전 밀폐된 챔버 내 PM2.5 미세먼지와 실험 식물을 배치 후 8시간 동안 30분 간격으로 미세먼지 농도를 측정하였다. 그의 결과에 따르면, 주목의 경우 82%, 팽팽나무의 경우 72%, 아이비의 경우 69%의 미세먼지 저감량을 보였다. 미세먼지는 중력에 의해 지면으로 떨어지기 때문에 공기 중의 미세먼지 농도가 낮아지는 것은 자연스러운 현상이나, 주목이 기타 조경 식물에 비해 엽면 혹은 뿌리 흡착력이 높다고도 볼 수 있다(<그림 2-2> 참조).

그림 2-2 | 식물의 미세먼지 저감량 측정 결과



자료: 이건원 (2019, p.35)

(3) 바람길의 도시계획에의 적용

최근 대기오염의 개선 등 바람길의 다양한 기능이 인정되어, 점차 도시계획 내 부문 계획으로 바람길 계획이 수립되고 있다.

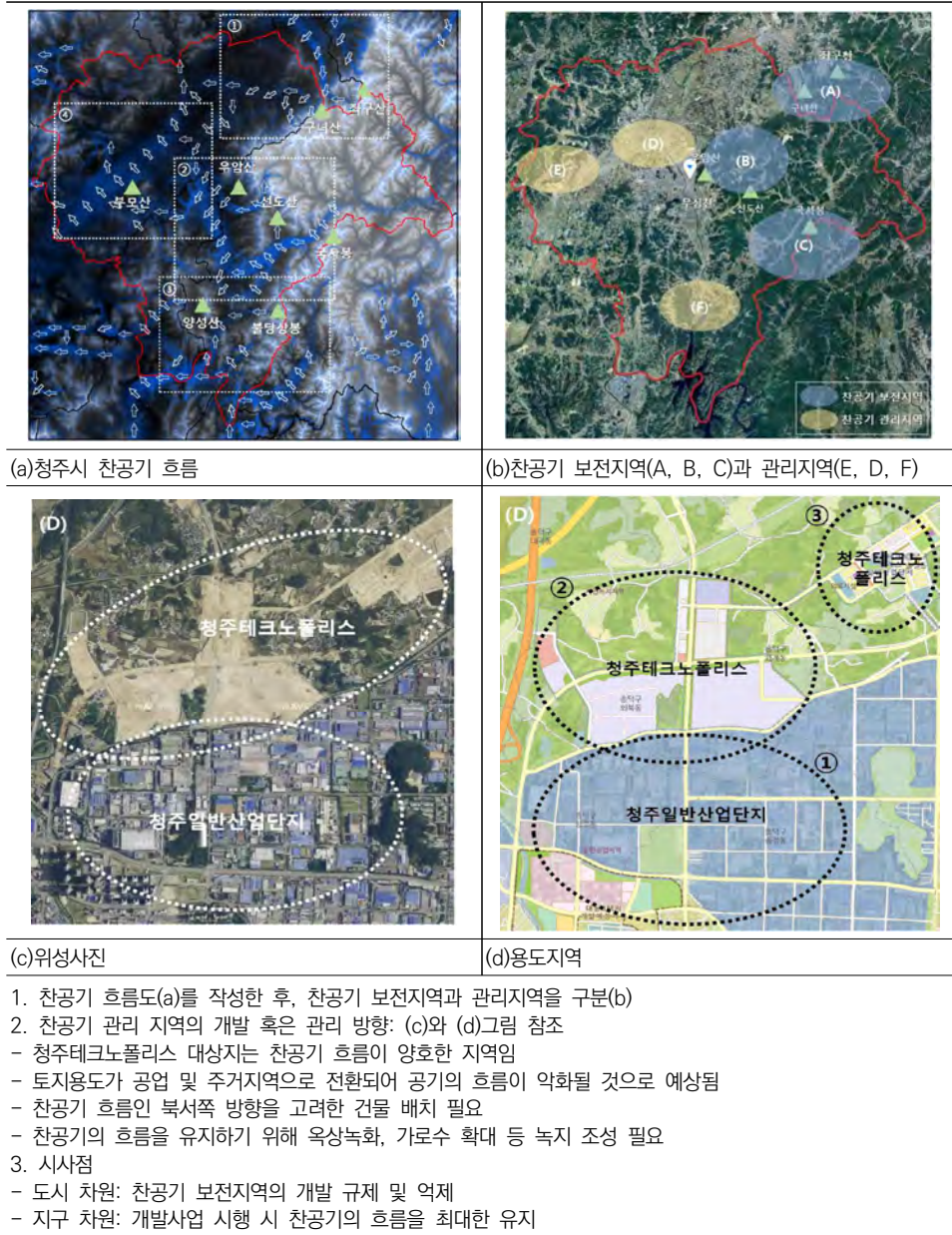
Mayer *et al.* (1994)은 공기의 발생지를 고려하여 도시의 바람길을 (1)보통 바람길, (2)오염된 바람길, (3)차고 신선한 바람길, (4)생명기상과 관련된 바람길 등 4개로 유형화하여 관리하는 방안을 제안하였다. Gál and Sümeghy(2007)은 도시의 건축물을 대기의 순환을 저해하는 주된 요소로 보고, 헝가리(Hungary)의 세게드(Szeged)시(市)를 대상으로 바람의 지면 마찰의 정도에 근거하여 바람길을 도식화하였다.

독일의 슈투트가르트(Stuttgart)시는 바람길을 도입한 대표적인 도시이다. 이 시는 독일 남부의 대표적인 산업도시이며, 지형적으로는 분지에 위치하고 있다. 이로 인해 도시의 평균 풍속이 2m/sec로 약하고, 대기오염 물질이 정제될 가능성이 높았다. 시 당국은 1970년 후반부터 토지와 건물의 형태를 제한하여 ‘바람길’을 조성하고, 신선한 공기를 도심으로 끌어들이기 시작하였다. F플랜(토지이용계획), B플랜(지구단위계획)에서 바람길을 계획하여, 시간당 1억 9,000㎥의 신선한 공기를 도심부로 유입하는데 성공하였다(이노우에 토시히코·스다 아카하시, 2002, p. 31-32).

Ren *et al.* (2018)은 중국 쓰촨성(四川省, Sichuan province)의 청두시(成都市, Chengdu city)를 대상으로 과학적인 방법을 통해 상세한 바람길 계획을 수립하였다. 청두시 도시기본계획(City master plan, 2016-2035)에는 바람길이 제1통로(주요한 바람길)와 제2통로(부수적인 바람길)로 세분되어 표시되어 있다. 바람길 계획을 통해 도시기후가 적절하게 관리된 사례라 할 수 있다.

국내에서도 도시계획 수립 시 바람길이 고려되어야 한다는 연구가 꾸준히 수행되었다. 그 예로, 주현수 외(2006)는 ‘도시지역에서의 바람길과 대기질 영향에 관한 연구’에서 CFD 수치해석을 통해 도시지역에서의 바람길과 대기환경의 영향관계를 정량적으로 제시하였다. 오규식·정희범(2007)은 서울시를 대상으로 도시개발로 인한 교통 및 난방 에너지 소비 증가는 대기오염을 심화시키고, 고용 중심지의 상업·업무활동으로 인해 대기오염이 누적·확산됨을 제시하였다.

그림 2-3 | 찬공기 흐름을 적용한 도시계획의 수립 방향 제시(청주시 사례)



자료: 손정민(2019, p.30, 71, 72)

손정민(2019)은 도시의 원활한 대기순환을 위해 찬공기 보전지역과 관리지역을 지정할 것을 제안하였다. 찬공기 보전지역을 대상으로 한 개발에 대해서는 가급적 회피하며, 불가피한 개발에 대해서는 찬공기의 흐름을 최대한 유지해야 한다고 주장하였다. 이를 위해 벽면 녹화 및 녹지대 조성이 필요함을 제안하였다(<그림 2-3> 참조).

그 외에도, 환경부(2009)는 바람길의 설계방안으로 신선하고 차가운 공기가 생성되는 지역에 대한 관리방안, 이동경로(바람통로), 수혜지역(효과공간), 대기오염원의 입지지역 차단 등을 제시하였다. 최창호·조민관(2012)도 바람길을 수치모의하여 신도시 건설에 따른 단지의 환기특성을 예측했으며, 김태원 외(2017)는 CFD 모의실험을 이용하여 서울 인구밀집지역의 바람길을 분석함으로써 단지유형별 공기순환을 분석하였다.

국내외의 선행연구에서 보듯이, 미세먼지 저감을 위해 도시계획 차원에서 바람길이 적용되어야 한다는 당위성이 점차 인정받고 있다. 우리나라에서도 독일과 같이 바람길을 토지이용계획에 반영해야 한다는 목소리가 커지고 있다.

3. 해외 사례 및 시사점

1) 개요

본 연구는 도시 내 미세먼지 농도를 낮추기 위해 바람길의 적용 방안을 모색하는 연구이다. 국내에서는 바람길에 대한 연구가 꾸준히 수행되었지만, 실제 개발사업 시 바람길을 실질적으로 고려한 사례가 드물어, 해외 지역을 대상으로 보다 구체적으로 바람길의 적용 사례를 조사하였다. 본 절에서는 바람길과 관련된 법제도, 계획, 평가방법 등의 내용을 다룬다. 나아가 바람길이 공간계획 속에 내재화되어있는지 혹은 도시 및 환경계획의 연계를 통해 적용되었는지 검토한다. 바람길을 적용하고 있는 독일, 홍콩, 미국, 일본의 사례를 중심으로 살펴본다.

2) 독일

(1) 배경

바람길의 개념은 독일 남부에 위치한 슈투트가르트(Stuttgart)시에서 대기질과 열환경 개선을 위하여 최초로 도입되었다(국토연구원, 2019b). 슈투트가르트시는 1930년대 산업의 발달 및 지형적 영향으로 인하여 대기오염 물질이 정체되어 대기오염문제가 심각한 사회적 문제로 대두되었다. 그로 인하여 1939년부터 도시기후와 관련된 부서를 만들고 대기오염 현황조사, 미세기후를 연구하고, 1970년대 후반부터 바람길을 친환경 도시계획의 하나의 요소로 고려하였다(이노우에 토시히코·스다 아카하시, 2002). 슈투트가르트시의 사례를 바탕으로 독일은 1976년 및 1979년에 「연방건축법(Bundesbaugesetz)」의 개정을 추진하였고, 이를 통해 도시의 환경개선을 위한 바람길 조성 및 활용에 관한 법적근거를 마련하였다(주현수 외, 2006). 또한, 독일의 프라이부르크(Freiburg)시, 뮌헨(Munich)시, 카셀(Kassel)시 등으로 바람길 계획이 널리 확산되는 계기가 되었다.

(2) 기후 관리를 위한 법제도

□ 연방자연보호법

독일의 「연방자연보호법(Bundesnaturschutzgesetz, BNatSchG)」은 연방차원에서 자연보호를 위한 원칙을 제시하고, 이와 더불어 직접적으로 적용되는 몇 가지 규정을 포함하고 있다(엄정희, 2010). 생태계의 기능을 지속적으로 유지하기 위해서 경관과 자연을 보호하는 것을 목표로, 대기·토양·물·동물·식물과 같은 자연 자원과 함께 ‘기후’를 관리·개발·복원하여야 하는 대상으로 명시하고 있다(최재국, 2019).³⁾

부연하면, 생태계의 기능을 지속적으로 유지하기 위해 기후·대기 보호 내용을 포함하였다. 또한, 신선하고 차가운 공기의 생성지역이나 대기교환통로(바람길)와 같이 유익한

3) 「연방자연보호법」 제7조 제1항 2호를 참고할 수 있음.

대기환경적 작용과 기후적 작용을 가지는 토지에 대해 자연보호와 경관관리 조치를 마련하고 있다.⁴⁾

공간환경계획(Landschaftsplanung)은 독일에서 자연보호와 경관관리의 목표를 설정하고, 이를 달성하기 위해 사용되는 계획적인 수단이다(Bundesamt für Naturschutz, 2008). 지방자치단체가 수립하는 공간환경계획에는 지역의 도시기후를 보호하고 개선하기 위해 구체적인 목표, 이행요구사항 및 조치에 대한 내용이 포함된다.⁵⁾ 공간환경계획에서 기술된 내용들이 지역계획(Raumordnungspläne)과 건설기본계획(Bauleitpläne)에서 활용될 수 있도록 환경부는 공간환경계획에서 제시되는 주요한 내용을 도면에 표시하고 있다.⁶⁾

□ 연방건설법

「연방자연보호법」에서는 자연보호와 경관관리를 위해서 기후보호의 목표, 환경계획 도구, 환경계획과 도시계획과의 연계와 관련한 법적 혹은 제도적 근거가 규정되어 있다. 이와 일관성을 유지하기 위하여 「연방건설법전(Baugesetzbuch, BauGB)」에는 건설기본계획을 통해 기후보호에 관한 내용이 규정되어 있다.

보다 구체적으로 연방건설법전에는 건설기본계획의 수립과 이를 집행하기 위한 토지 수용, 법정선매권, 토지구획정리 등 각종 공권적 수단이 규정되어 있다(김현준, 2000). 1998년 「연방건설법전」은 환경보호 등의 규정을 강화하기 위해 전면 개정되었으며, 2004년에 다시 환경보호를 강화하기 위하여 또다시 전면 개정되었다(송동수, 2008). 기후에 관한 이슈는 2004년에 「연방건설법전」 개정 전까지는 「도시계획법(Städtebaurecht)」에서 지방(Lokal) 혹은 지역적인(Regional) 요소로 고려되었다. 2004년에 일반적인 기후보호라는 개념이 법에서 적용되기 시작하였다.

4) 「연방자연보호법」 제7조 제3항 4호를 참고할 수 있음.

5) 「연방자연보호법」 제9조 제3항 4e호를 참고할 수 있음.

6) 「연방자연보호법」 제9조 제3항 4호를 참고할 수 있음. 두 계획의 연계를 위한 제도적 근거와 더불어 계획의 표현방법과 같은 구체적인 내용들을 법에 명시함으로써 공간계획에서 도시기후를 고려하는 것이 용이해졌음.

「연방건설법전」은 제1조에서 건설기본계획의 업무, 정의, 원칙을 명시하면서 건설기본계획은 ‘일반적인 기후보호에 대한 책임’에 따라 인문환경과 자연생활공간을 보호하고 개발하는데 기여해야함을 강조하였다.⁷⁾ 즉, 기후보호 중심의 도시개발이 지속가능한 도시개발 원칙임을 시사하였다.⁸⁾ 「연방건설법전」 제1조 제5항에서 언급된 일반적인 기후보호가 전 지구적인 상황, 넓은 의미에서는 전 세계적인 기후변화와 관련이 있다면, 제1조 제6항 7호는 지역적인 상황에 해당하는 미기후에 대해 기술하고 있다(Mitschang, 2008).

지방자치단체는 건설기본계획을 수립하는 과정에서 계획 초안에 환경보고서(Umweltbericht)를 첨부해야 한다. 일반적으로 환경보고서에는 지역의 환경보호 이슈에 대해 그 현황을 조사하고 평가한 내용이 제시되어야 한다.⁹⁾

(3) 도시규모 기후적응계획 사례

독일에서 바람길 계획(Ventilation Corridor Plan)은 도시기후지도의 한 부분으로서 베를린(Berlin)시, 슈투트가르트(Stuttgart)시, 하노버(Hannover)시, 뮌헨(Munich)시 등 다양한 도시와 지역에 적용되었다(Barlag and Kuttler, 1990; Matzarakis and Mayer, 1992; Baumüller *et al.*, 1998; Katzschner, 1998).

□ 베를린 도시기후 적응계획¹⁰⁾

1989년 베를린 장벽이 해체되고, 1990년 독일이 통일되었다. 이 때 베를린은 연방주 지위를 얻었고, 1991년 독일의 수도가 되었다. 지리적으로는 독일 북동부 슈프레강과 하펠강 연안에 위치하며, 인구는 약 370만 명에 이르고 있다.

7) 「연방건설법전」 제1조 제5항을 참고할 수 있음.

8) 건설기본계획을 수립하면서 특별히 고려해야할 환경보호 이슈로써, 동·식물, 토양, 물, 대기와 함께 기후에 대한 영향을 명시하고(연방건설법전 제1조 제6항 7호), 공간계획을 수립하는 데 있어 기후를 고려해야하는 근거를 제시하고 있음.

9) 「연방건설법전」 제2a조 제2항을 참고할 수 있음.

10) Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt(2011)를 참고하여 작성함.

베를린시에서는 동식물, 토양, 물 등 기본적인 환경요소와 더불어 기후(Klima)에 대한 현황을 분석하고 이를 지도화(Umweltatlas)하여 도시계획 및 정책결정에 활용하고 있다(Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2011).

1976년 환경생태계획 제도를 적용하여 환경정보를 가장 먼저 계획체계에 적용하였다. 시민들의 환경보호를 위한 공간계획에 참여 과정에서 환경에 대한 지식과 정보의 중요성을 인지하여 1983년 연방환경청과 베를린 도시환경부가 공동으로 도시 전 구간에 대한 환경 정보 구축연구를 수행하였다. 1985년 첫 주제도 12종을 작성한 이후 30년간 발전되면서 베를린 환경정보지도는 354개 이상의 GIS 지도와 500개 이상의 메타데이터로 확장되었다. 베를린 환경지도는 공간적 현황정보 제공과 더불어 잠재성, 위기·갈등요소, 환경영향 분석·평가(침해정도), 계획·정책(제안)을 포함하고 있다. 베를린 도시환경부, 대학 및 부설 연구소, 연구기관, 개인 연구소 등에서 연구하는 다양한 전문가들이 베를린 환경지도 제작에 참여하고 있다(Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2011).

베를린 환경지도는 도시계획단위의 적용부터 지구단위의 적용에 이르기까지 다양한 공간규모 계획에서 물리적·화학적 기후환경 개선을 위해 적용되고 있다. 베를린시는 도시 전역에 대해 열환경 저감과 관련한 정책들을 수립하고 실행하고 있다. 현재 베를린 국제공항(BBI) 건설 이후 폐쇄될 테겔(Tegel) 공항의 사후 활용에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있다. 도시 열환경 관리를 위해 공항 부지¹¹⁾ 내 차고 신선한 공기 생성지역을 보호하는 계획을 수립하였다. 이를 위해, 계획 수립 전과 후, 도시 열환경과 찬공기 흐름에 미치는 영향을 분석하였다.

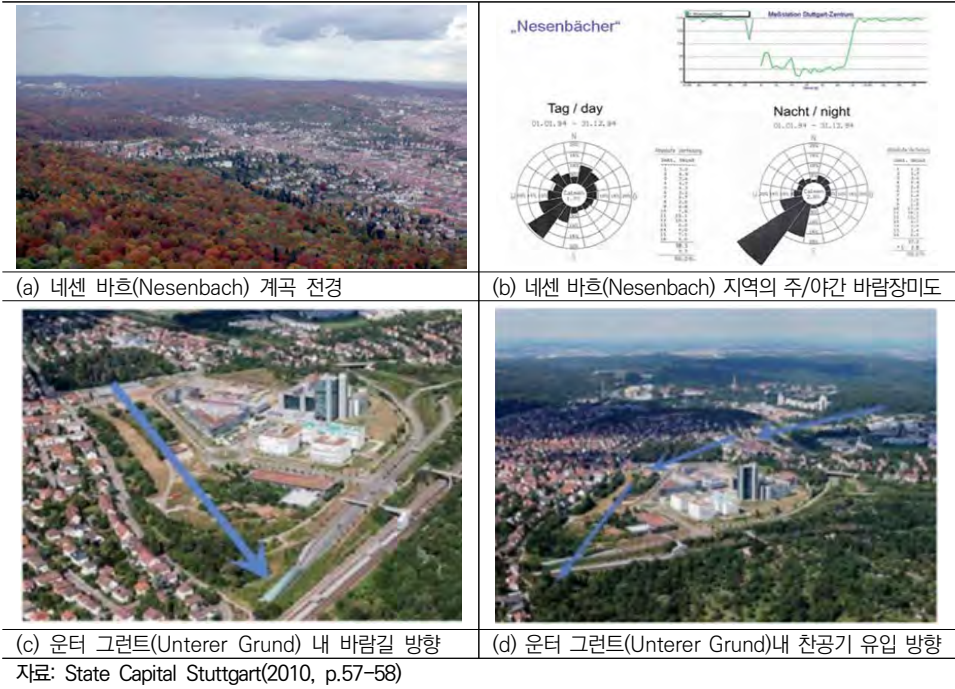
□ 슈투트가르트(Stuttgart)시의 바람길 적용 사례

슈투트가르트(Stuttgart)시의 운터 그룬트(Unterer Grund) 지구는 바람길을 고려한 지구계획 사례이다(State Capital Stuttgart, 2010). 슈투트가르트(Stuttgart)시는 운터 그룬트(Unterer Grund)를 대상으로 권고의 형식으로 산업시설의 입지와 국지적

11) 베를린에는 Tegel, Schönefeld, Tempelhof 등 3개의 공항이 있으며, 이중 최근에 건설된 Schönefeld 공항을 제외하고 오래된 Tempelhof와 Tegel 공항을 공원으로 조성함.

대기순환(바람길) 관리의 적절한 타협안을 도출하였다(State Capital Stuttgart, 2010). 도심 내 주·야간 바람장미를 비교하여, 네센 바흐(Nesenbach) 계곡을 신선한 공기가 흐르는 바람길로 설정하였다. 운터 그룬트 지구가 글로벌 컴퓨터회사의 입지로 선택되었을 때, 도시기후전문가들은 엘센탈(Elsental) 계곡 아래로 흐르는 찬공기 및 네센 바흐(Nesenbach) 계곡의 기능을 고려해 북측과 남측에 오픈스페이스를 보전하고 중심부에 건축물을 건설할 것을 권고하였다. 이는 국지적 찬공기의 발원지와 이동경로에 근거하고 있다(<그림 2-4> 참조).

그림 2-4 | 운터 그룬트(Unterer Grund) 지구의 바람길을 고려한 지구계획 사례



한편, 쉘메나커(Schelmenacker) 지구 도시계획부서에서는 바람길 관련 토론회의 의견을 반영하여 지구계획을 전면 수정하였다(State Capital Stuttgart, 2010). 도시 계획부서에는 쉘메나커(Schelmenacker) 내 기존 주거용도의 건축물 지구를 확장하려

고 하였다. 이 과정에서 약 7m 폭의 산림을 도로변의 녹지로 남기려 하였다. 그러나 도시계획 심의과정에서 기후전문가들이 조밀하게 들어설 푸에르 바흐(Feuerbach)의 타운 센터에 대응하여 도시기후적 기능을 수행하기 위해서는 약 100m 폭의 능선부를 보호해야 한다고 권고하였다. 야간에 찬공기의 하강으로 인한 약한 바람만으로도 도시의 공기 순환이 가능함을 강조한 것이다. 이를 도시계획부서에서 수용하여, 산 중턱을 가로질러 마을 중심으로 이어지는 토지이용계획에서, 능선으로 분리된 두 개의 섬 모양을 가진 토지이용 형태로 개발계획이 수립되었다(<그림 2-5> 참조).

그림 2-5 | 쉘메나커(Schelmenacker) 지구의 바람길을 고려한 토지이용계획 사례

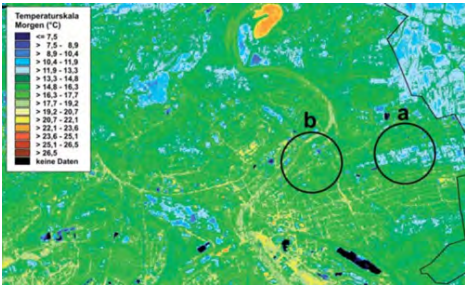
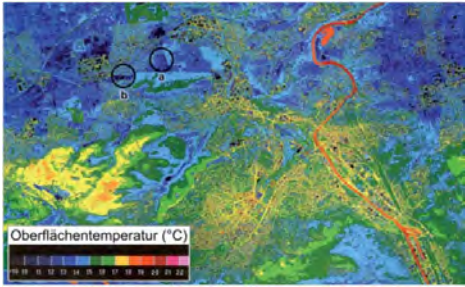


(a) 쉘메나커(Schelmenacker) 지구 내 바람길 방향 (b) 쉘메나커(Schelmenacker) 지구 내 조성된 바람길 공원
자료: State Capital Stuttgart(2010, p.60)

슈투트가르트시의 에스판(Espan) 지구와 그루터발트(Greutterwald) 지구는 적외선 카메라를 활용하여 도시 내 열환경의 측면에서 미개발된 도시 외곽과 고밀도로 개발된 중심지 녹지가 서로 연결되어 있음을 밝혔다(State Capital Stuttgart, 2010).

구체적으로, 에스판(Espan) 지구는 유리한 대중교통 연결성(Sommerrain 도시철도) 때문에 상업적 토지이용이 계획되어 있었다. 그러나 미개발된 도시 외곽과 고밀도로 개발된 배드 칸스타트(Bad Cannstatt) 타운 중심부 녹지가 상호 연결되어 있음이 확인되었고, 이로 인해 중심부와 교외를 연결하는 녹지를 보전하는 방향으로 계획이 수정되었다. 또한, 교외 지역인 그루터발트(Greutterwald) 지구는 과수원 지역으로 찬공기 발생원으로 찬공기 관리지역에 포함되었다(<그림 2-6> 참조).

그림 2-6 | 에스판(Espan) 지구와 그루터발트(Greutterwald) 지구의 열화상 조사 및 바람길을 고려한 계획 사례

에스판(Espan) 지구	그루터발트(Greutterwald) 지구
	
(a) 슈투트가르트시의 열화상지도(2005.8.30.) * 그림에서 a지역은 에스판(Espan) 지구이며 b 지역은 스파 파크 및 스파 센터(Spa park and spa center)임	(b) 슈투트가르트시의 열화상지도(1988.8.19.) * 그림에서 a 지역은 그루터발트(Greutterwald) 지구이며, b 지역은 레이샤흐물 데(Reisachmulde) 지구임
	
(c) 에스판(Espan)지구의 녹지축	(d) 그루터발트(Greutterwald) 보전지역 내 녹지

자료: State Capital Stuttgart(2010, p.62, 64)

3) 미국

(1) 배경

미국에서는 1970년대에 제기된 도시의 무분별한 확장에 대응하기 위하여 도시관리 체계를 구축하기 시작하였으며, 환경법에서 다루고 있던 대기, 수자원, 환경오염 등의 항목들을 통합하여 도시계획체계에 적극적으로 도입하였다(왕광익 외, 2015). 열섬과 관련해서는 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에서 기후·대기질

통합관리를 위한 노력을 1990년대부터 추진해왔으며(주현수, 2006), 도시개발에 따른 바람길의 변화와 이에 따르는 부정적인 영향을 최소화하기 위한 노력들을 1980년대에는 샌프란시스코, 2000년대에는 뉴욕 등의 도시에서 꾸준히 추진하고 있다(Kim, 2014).

(2) 미기후변화 대응을 위한 관련 계획

□ 열섬저감 이니셔티브

미국 환경보호청(EPA)은 1990년대 후반부터 기후·대기질 통합관리의 중요성을 인식하여 열섬저감 이니셔티브(Heat Island Reduction Initiative, HIRI)를 수립하였다(주현수 외, 2006). 휴스턴, 새크라멘토 등 시범도시를 선정하여 열섬저감사업 및 도시열섬효과 시범사업 추진 후 평가하여 미국 전역에 적용하였다. 또한 열섬현상에 대한 개요서(Heat Island Compendium)를 제작·보급하여 열섬현상의 원인과 영향을 시민들에게 알리고 저감하기 위한 전략들을 소개하였다(EPA, 2019).

관련 주요 정책으로는 ① 규제강화: 주차장, 빌딩주변 도로에 나무심기 의무화, 빌딩옥상에 반사율이 높은 건축재 사용 의무화, ② 그린루프 설치, ③ 그린 포장 설치, ④ 녹지면적 확충, ⑤ 도시생태면적모델링 개발, ⑥ 환경친화적 주택용 지붕재질 개발 지원·홍보, ⑦ 대기개선실천계획(SIP)수립·검토와 연계방안 모색을 들 수 있다(주현수 외, 2006). 중앙정부가 시범사업을 총괄하였으며, 지자체는 열섬저감 대책을 추진하고 관련 효과를 평가하였으며, 민간단체는 가로수 설치 등의 사업을 지원하고, 몇몇 민간단체에서는 사업예산의 일부를 기부하였다.

미국의 건축가협회는 상세한 기후자료를 각종 계획에 반영하였다. 주거지역 설계 시 지역적 규모의 기후분석법을 적용하였다. 또한 온도, 태양광, 바람, 강수, 습도를 분석하고, 풍향 및 풍속(시간별), 폭풍패턴, 강풍일수 등을 반영하였다(주현수 외, 2006).

□ 미국 샌프란시스코의 바람길 규정

샌프란시스코는 멕시코 만에 인접한 도시들 중 하나로 미국 도시들 중에서 여름철에 한해 바람의 강도와 변화가 높은 곳으로 알려져 있다. 이곳은 1980년대까지 급속한 초고층화를 겪으며, 이에 대한 반작용으로 반 초고층 운동(Anti-High-Rise Movement)이 일어났다. 1965년부터 1983년까지 급속한 도시화 과정에서 초고층 오피스가 두 배 이상 증가하게 되는 맨해튼화(Mahattanization) 현상이 발생하였다. 이에 따른 도시 내 대중교통 문제, 주거문제, 역사적 건축물 보전 문제 등에 대한 우려로 1980년대 반 초고층 운동에 직면하게 된 것이다(Kim, 2014).

1980년대 초고층화를 통해서 도심지 내 저층부의 바람 속도 증가와 음영지의 증가로 공공 공간과 오픈스페이스의 질이 크게 저하되어 당시 계획수립시 도심내 저층부의 쾌적성을 확보하고자 하는 사회적 분위기가 형성되었다. 이에 1985년 새로운 다운타운 계획에 도심지 내 바람의 영향을 최소화할 수 있는 쾌적한 보행환경 조성 및 유지 방안과 오픈스페이스의 확보 관련 규정이 담기게 되었다(Kim, 2014, p. 24)(〈표 2-1〉 참조).

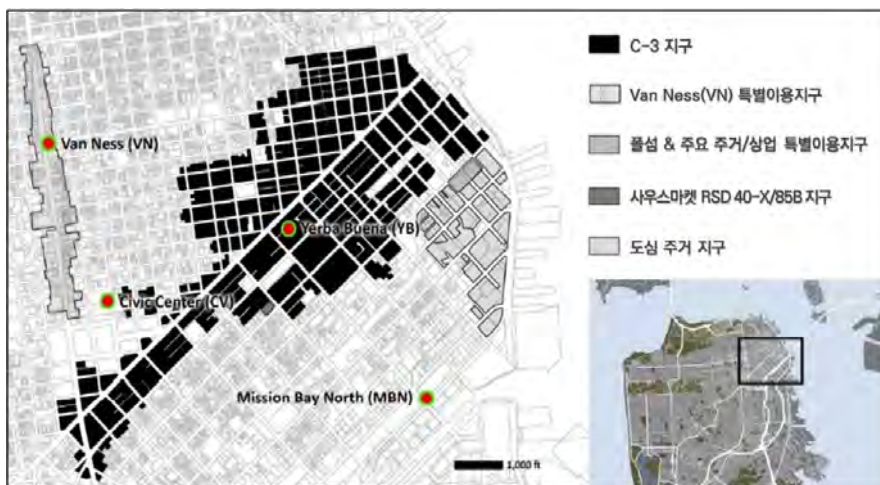
표 2-1 | 다운타운 계획 내 조닝 규정에 요소별 바람 관련 규정

요소	목적	내용
오픈스페이스	접근성 및 사용성 확보	바람의 영향 최소화 및 일조량의 최대화를 통한 쾌적성 확보
도시형태	쾌적한 보행환경 조성 및 유지	- 그라운드 레벨에서의 바람환경 변화는 다양한 요인들과 관련이 있음 - 주풍향으로 노출된 건축물일수록 바람의 간섭을 일으키는 볼륨 및 모멘텀이 커지며, 가로 레벨에서 바람의 세기가 커짐 - 새로운 건축물의 조형 및 상세 디자인시 바람환경 변화가 검토되어야 함 - 바람의 영향을 감소하기 위해서 건축물의 입면(파사드)은 후퇴하여 배치되어야 하며, 형태 및 디자인 특성 역시 이를 반영하여 결정되어야 함 - 문제를 야기할 소지가 높은 건축물의 경우, 풍동실험을 통한 건축물 매스 디자인에 대한 대안 검토가 필요하며, 이 결과에 따라 건축물의 형태가 채택되어야 함 - 일반적인 규칙으로서, 보행공간에서는 시속 11마일 이상, 앉아있는 공간에서는 시속 7마일 이상의 바람속도를 일으키는 건축물 형태는 채택될 수 없음

자료: Kim(2014, p.24)의 내용을 바탕으로 저자 수정·보완

샌프란시스코 계획 코드(Sanfrancisco Planning Code) 내 도심부 상업지와 관련된 C-3 조닝 구역에 대해서 바람과 관련된 규정을 포함하고 있다. 도심부 상업지구에 해당하는 조닝 구역은 업무지구(C-3-O), 소매업 지구(C-3-R), 일반상업지구(C-3-G), 지원시설 지구(C-3-S), 특별업무개발지구(C-3-O(SD))와 그 외에 차이나타운, 씨빅 센터(Civic Center), 사우스 마켓(South of Market(SOMA)) 근린지구를 포함한 도심 상업 지구 등이 포함된다. 계획 코드는 각 절에서 각 조닝 구역의 특성에 따라 쾌적한 바람 속도, 재난 시 바람속도, 부가적인 내용 및 예외사항 등을 규정하고 있다(American Legal Publishing Corporation, 2019)(〈그림 2-7〉 참조).

그림 2-7 | 바람에 대한 규정이 있는 조닝구역



자료: Kim and Macdonald(2016, p.2)

□ 미국의 기후변화 적응형 인프라 계획

뉴욕시는 도시기본계획(PlaNYC)을 통해 녹색도시환경의 조성을 강조하였다(김지엽, 2015b). 뉴욕 공해를 30% 수준으로 저감하기 위해 2030년까지 10만 그루, 연간 2.3만 그루의 나무를 심는 것을 목표로 설정했으며, 오픈스페이스, 수질, 대기질, 기후변화 부문 전반에 공원, 녹지 등의 그린인프라 전략을 포함시켰다(〈표 2-2〉 참조).

표 2-2 | PlaNYC(2007) 주요 목표 및 전략

구분		목표 및 주요 전략
서문		1. PlaNYC(계획의 배경) 2. Our Challenges(도전과제) - OpenNYC(열린 뉴욕), MainNYC(유지 가능한 뉴욕), GreenNYC(녹색뉴욕) 3. Climate Change(기후변화) 4. Our Plan PlaNYC(미래상) 5. PlaNYC: Our Plan for Greener, Greater New York (계획목표)
토지	주택	목표 1. 100만명 이상의 시민을 위해 지불·유지할 수 있는 주택 건설 • 뉴욕시 주도의 지속적인 용도지역 재설정 • 정부소유 공공부지에 새로운 주택 마련 • 주거지로서의 잠재력과 가능성 있는 부지 조사 • 주택지불능력 프로그램에 대한 대상 계층 확대
	오픈 스페이스	목표 2. 모든 시민들이 도보 10분 이내 공원에 접근할 수 있도록 보장 • 많은 뉴욕시민들이 이용할 수 있는 공간 창출 • 현존하는 공원시설들에 대한 개방시간 연장 • 공공영역의 재구성
	오염지대	목표 3. 뉴욕시내 모든 브라운필드의 정화 • 보다 빠르고 능률적인 브라운필드 정화 프로그램 • 능률적인 정화 프로그램에 참여하도록 장려 • 브라운필드 재개발에 보다 많은 커뮤니티가 참여하도록 장려 • 정화가 요구되는 부지 선정
수자원	수질	목표 4. 수질오염을 감소하고 자연보호구역을 보존하며 여가를 위해 수로의 90%를 개방 • 지속적인 상하수도 기반시설의 업그레이드 시행 • 우수를 보존하기 위해 검증된 해결책 실행 • 광범위한 지역에 걸쳐 새로운 우수 최적관리기술(BMPs)을 확대 적용 및 분석
	수자원 네트워크	목표 5. 장기적으로 안정적인 물 공급 확보를 위해 노후화된 수자원 네트워크의 보완체계 개발 • 마실 수 있는 물의 질 확보 • 뉴욕시의 이중수로 마련 • 도시 내 상수 공급시설의 현대화
교통	교통 혼잡	목표 6. 100만명 이상의 거주민, 관광객, 근로자들을 위해 교통 수용 용량을 증대해 교통시간 단축 • 대중교통 시설의 개선 및 확충 • 기존 교통시설에 대중교통 서비스를 개선 • 새로운 지속가능한 교통수단 마련 • 교통 혼잡을 줄임으로써 교통 흐름 개선
	시설정비	목표 7. 역사상 최초로 완벽한 도로, 지하철, 철도의 정비 실시 • 도로 및 대중교통 체제의 정비 • 새로운 자금원 모색
에너지		목표 8. 에너지 기반시설을 업그레이드함으로써 모든 뉴욕시민들에게 보다 깨끗하고 안전한 에너지 공급 • 에너지 계획의 개선 • 뉴욕시의 에너지 소비를 감소시키는 계획 추진 • 도시의 청정한 전원 공급장치 확대 • 전력 공급을 위한 하부시설의 현대화
대기질		목표 9. 미국의 타 대도시보다 더욱 깨끗한 대기질 확보 • 승용차 배기가스 방출 감소 • 승용차 이외에 다른 교통수단으로부터 배출되는 오염물 감소 • 빌딩으로부터 배출되는 오염물 감소 • 대기질 개선을 위한 자연 친화적인 해결책 강구 • 대기질 개선을 위한 문제의 범위 이해
기후변화		목표 10. 지구 온실가스 배출량을 30%이상 감소 • 기후변화에 적응

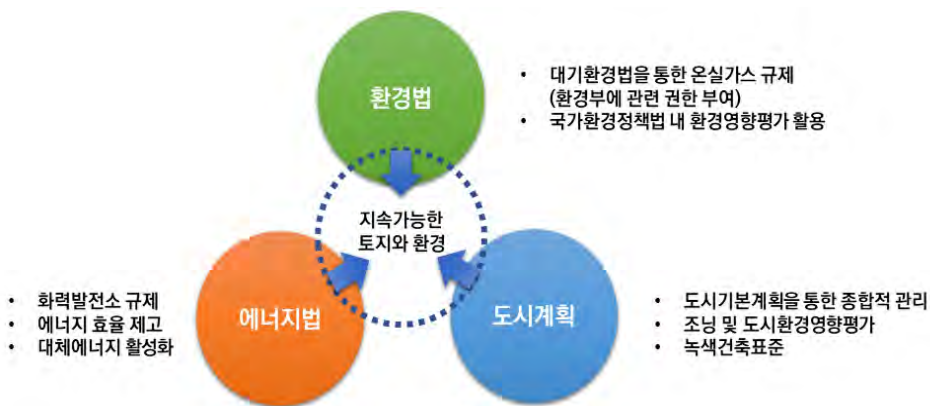
자료: 김지엽(2015b), 왕광익 외(2015, p.50, 51)의 내용을 재인용

뉴욕시 도시기본계획(PlaNYC)은 기후변화에 대응하기 위한 토지이용, 에너지, 환경 등을 아우르는 통합적 계획이다(김지엽, 2015b). 도시계획 내 토지이용 및 교통관련 항목과 환경법 내 수질, 대기질, 오염지대 등의 항목들과 에너지법에서 다루고 있는 에너지 정책을 종합적으로 다루고 있다.

(3) 국토-환경계획 연동 현황

미국에서는 도시계획체계에 환경법 규제항목(대기질, 수질, 환경오염 등)이 통합되고 있으며, 에너지법과는 연계되고 있는 추세이다(왕광익 외, 2015). 대기오염물질에 대해서는 환경법 내에서 배출원에 대한 직접적인 규제를 실시하고, 이를 에너지 정책과 연동하여 오염물질 발생을 줄이고 있다. (김지엽, 2015a). 또한 건축 및 도시관련 법률에서는 CEQR(City Environmental Quality Review)를 도입하여, 도시계획의 조닝(Zoning) 체계와 연동하여 도시계획법을 통한 종합적인 관리를 추진하고 있다(<그림 2-8> 참조).

그림 2-8 | 미국의 건축 및 도시 관련법, 환경법, 에너지법의 연동 체계 구축



자료: 김지엽(2015a, p.10)

공공프로젝트 시행 시 환경영향평가(EIS: Environment Impact Statement)를 의무적으로 시행하며(왕광익 외, 2015), 또한 뉴욕시는 토지이용심의절차(ULURP: Uniform Land Use Review Process)를 이용하여 도시내 환경과 토지이용을 통합적으로 관리할 수 있는 체계를 구축하고 있다.

4) 홍콩

(1) 배경

홍콩은 세계에서 가장 인구밀도가 높은 도시 중의 하나로서 도시계획과 건축설계의 중요성 또한 매우 높다. 높은 인구밀도는 토지이용, 물류, 인프라 등의 효율성 측면에서 장점이 있지만 시민들이 대기통풍(Air ventilation) 등 자연환경의 혜택을 누리는 데에는 불리하다. 특히, 2003년 중증급성호흡기증후군(Severe Acute Respiratory Syndrom, SARS)의 발생으로 도시지역의 대기통풍이 중요한 도시환경문제임을 인식하게 되며, 2003년 당시 1,755명이 감염되어 299명이 사망하는 등 심각한 피해를 경험하였다(Edward, 2009; Kwok *et al.*, 2012).

중증급성호흡기증후군 발생 직후 정부, 민간 전문가 등은 대기통풍을 개선하기 위해 도시설계방법과 평가수단이 필요하다고 판단하였으며, 홍콩정부는 ‘팀 클린’으로 명명되는 위원회(Governmental Team Clean Committee)를 조직하여 도시계획 수단을 조사하였다(Edward, 2009). 이 결과를 토대로 ‘홍콩의 환경보건 개선 방안에 관한 보고서(Report on Measures to Improve Environmental Hygiene in Hong Kong)’를 발표하였고, 이 보고서 내용에서 도시 내 대기통풍을 설계·평가하는 것을 크게 강조하였다. 홍콩 특구 도시계획부(Planning Department)는 대기통풍의 평가 규정을 검토한 뒤 모든 대규모 개발계획에서 도시의 빌딩 블록 배치를 개선하도록 관련 업무를 지정하였다.

홍콩특구 도시계획부는 도시 대기통풍 평가 시스템 개발을 위한 타당성 조사(Feasibility Study for Establishment of Air Ventilation Assessment (AVA) System) 연구를 2005년까지 수행했으며¹²⁾, 더 나은 자연통풍을 위해 어떻게 도시구

조를 설계하고 이를 평가할지에 초점을 두었다(Lau, 2011).

(2) 대기통풍 개선을 위한 도시설계 가이드라인

특정 지역에서 자연풍을 이용할 수 있게 되면, 보행자의 열쾌적성을 높일 수 있다. 도시설계자는 전통적으로 바람속도를 극대화하고 태양복사를 최소화하도록 외부환경을 설계함으로써 여름철 열쾌적성을 높이는데 기여한다. 홍콩의 내부적인 도시밀도나 외부적인 자연풍의 이용가능성을 고려할 때 가급적이면 투과성과 다공성을 높이도록 도시구조를 조성해야 한다(김민경, 2014).

홍콩정부는 학술연구, 정책문건 등을 포함하여 전 세계적으로 방대한 사례를 조사하였다. 많은 국가들이 바람의 문제를 해결하기 위해 규정과 설계 가이드라인을 갖추고 있지만, 도시차원에서 대기정체나 통풍문제를 고려하는 경우는 당시에는 거의 없었다. 하지만 독일의 경우에는 예외라고 할 수 있는데, 개발이 지역의 기후조건을 악화시켜서는 안 된다는 요구사항이 있으므로, 계획이나 개발과 관련된 결정에 있어서 도시기후지도가 활용되었다(Edward, 2009; 국토연구원, 2019b).

독일 등의 사례를 참고하여, 홍콩정부는 ① 바람길, ② 건축배치, ③ 건축배열, ④ 건축높이, ⑤ 투과성 등의 분야를 선정한 뒤 다양한 설계기법에 대한 전문가 자문을 실시하였다(Planning Department, 2011).

□ 바람길

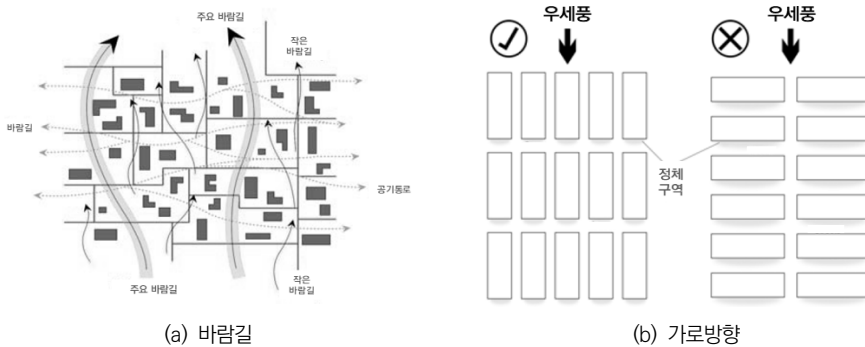
밀도가 높고 습기가 많은 도시는 도시의 통풍을 개선하여 더 많은 바람이 도시지역을 투과하도록 하는 것이 중요하다. 도로, 오픈스페이스, 그리고 고층건물이 주로 차지하는 도시화된 지역의 내부에 저층건물 통로를 거쳐 바람이 지나갈 수 있도록 바람길의 장애를 최소화해야 한다(Planning Department, 2011)(〈그림 2-9〉 참조).

12) 홍콩대학 건축과 Edward N. 교수팀에서 연구를 수행함.

□ 가로(Street) 방향

가로(Street), 넓은 보행로, 바람길은 바람이 해당 지구를 최대한 통과할 수 있도록 항풍(prevaling wind)과 평행하거나 최대 30도 이내로 배치되어야 한다(Planning Department, 2011)(〈그림 2-9〉 참조).

그림 2-9 | 바람길과 가로 방향

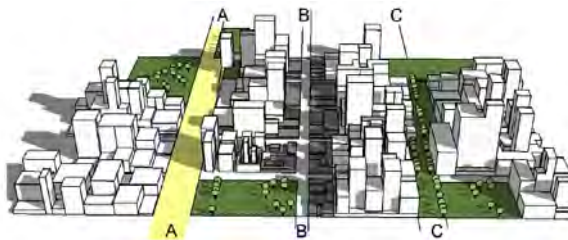


자료: Edward(2009, p.1484)

□ 오픈스페이스의 연결

오픈스페이스를 확보하기 위해 바람길이나 환기통로를 연결·배치하고 주변의 구조물은 가급적 저층으로 설치해야 한다(Edward, 2009)(〈그림 2-10〉 참조).

그림 2-10 | 오픈스페이스 연결 개념도

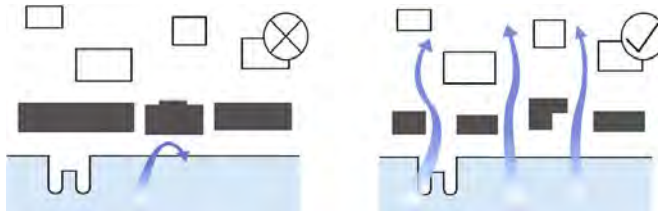


자료: Edward(2009, p.1485)

□ 해안가

해수와 육지 간 비열의 차이로 인해 바람이 발생하므로, 해안가에 인접해 있는 건물은 바람흐름에 최대한 지장을 주지 않아야 한다(Edward, 2009)(<그림 2-11> 참조).

그림 2-11 | 해안가 바람길 통로 개념도

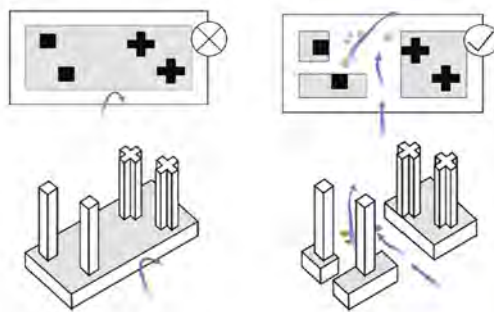


자료: Edward(2009, p.1485)

□ 비건축 용지

일반적인 개발사업은 건물의 밀도를 높이고 건물 사이의 공간을 최소화하려는 경향이 있다. 압축적으로 개발한 대규모 용지는 대기 이동을 방해한다. 개발부지에 바람이 원활하게 투과할 수 있도록 부지의 긴 단면을 바람의 방향과 평행하게 배치하고 비건축 용지와 완충지를 설정해야 한다(Edward, 2009; 김민경, 2014)(<그림 2-12> 참조).

그림 2-12 | 비건축용지 투과 개념도

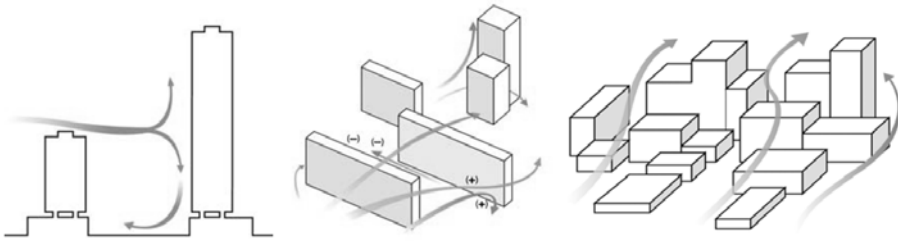


자료: Edward(2009, p.1486); 김민경(2014, p.90)

□ 건축물 높이

도시개발의 밀도가 높은 지역에서는 건축물 높이를 다변화시켜 바람을 저층까지 전달시키는 것이 대기의 통풍에 유리하다. 바람이 들어오는 곳에는 건축물 높이를 낮추는 것이 적절하다. 계단식 높이 변화의 개념은 개발 자체의 잠재력을 유지하면서 바람을 최적화시키는 데에 도움이 된다(Edward, 2009)(〈그림 2-13〉 참조).

그림 2-13 | 건축물 높이 조절 개념도



자료: Edward(2009, p.1486)

□ 포디엄(Podium)¹³⁾ 규모

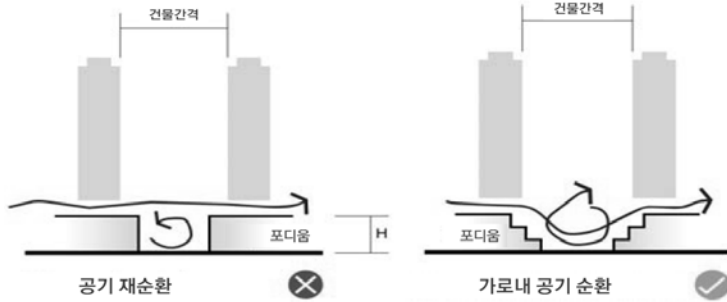
기존 도시지역을 대규모로 개발하거나 재개발할 경우, 환기통로나 완충지를 향풍의 방향과 평행하게 배치하여 저층에서 공기의 흐름을 원활하게 할 수 있다. 가능하다면, 포디엄을 계단식으로 설계하여 공기를 아랫방향으로 이동시켜, 보행자 수준에서의 공기가 흐를 수 있도록 하여 차량에서 배출되는 오염물질을 분산시켜야 한다(Edward, 2009; 김민경, 2014)(〈그림 2-14〉 참조).

□ 건물배치

보행자 수준의 바람환경에 있어서 건축물의 높이보다 건축물의 배치가 더욱 큰 영향

13) 포디엄은 '건축에 사용하는 돌출된 토대나 주춧대'를 의미함(우리말샘, 2019).

그림 2-14 | 계단식 포디엄 설계



자료: Edward(2009, p.1487); 김민경(2014, p.90)

그림 2-15 | 표지판 설치의 예



자료: Edward(2009, p.1487)

을 주기 때문에 공기 투과성을 극대화하기 위해 건물 블록 사이에 충분한 간격을 확보해야 한다. 하향식 바람이 보행자 수준에서 활용될 수 있도록, 고층빌딩의 포디엄 가장자리는 스트리트의 경계와 접하도록 배치한다(Edward, 2009).

□ 장애물

규모가 큰 장애물은 보행자 수준의 바람환경에 악영향을 미칠 수 있다. 바람의 장애

를 최소화하기 위해 세로 방향의 표지판을 설치하는 것이 도움이 될 수 있다(Edward, 2009)(〈그림 2-15〉 참조).

(3) 대기통풍평가(Air Ventilation Assessment, AVA)

대기통풍평가는 도시구조의 투과성을 장려하는 목적에 따라 설계대안을 평가하기 위한 객관적인 프로토콜과 방법론으로서 개발되었다. 바람직한 보행자 환경과 도시형태의 관련성을 반영할 수 있는 단순한 설계지표를 개발한 뒤, 설계자와 계획가가 자신의 설계안을 평가하고 최적화하는 근거로 활용된다(Edward, 2009; Weerasuriya *et al.*, 2018).

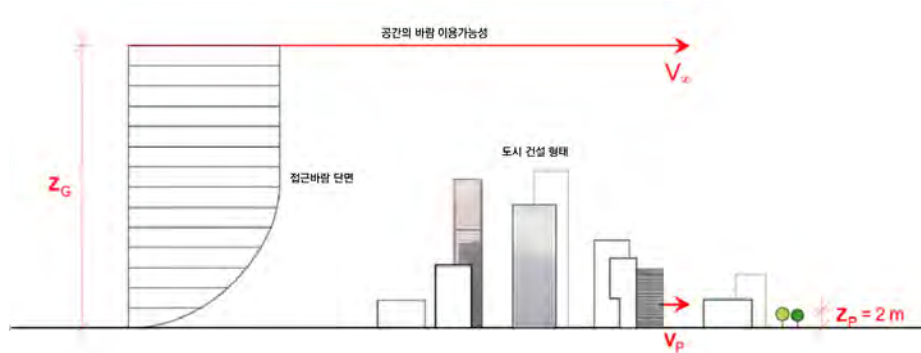
계획가는 대상지 범위, 건축물 규모, 건축물 배치 등에 수많은 설계변수를 검토하는데, 원칙적으로는 건축물이 바람을 차단하지 않아야 한다. 이를 위해 풍속비율(Wind Velocity Ratio, VR_W)을 지표로 선정하였다(Edward, 2009).

VR_W 는 V_p/V_∞ 로서 특징지점에서 주변 건축물 간섭을 고려하여 보행자들이 바람을 이용하는 정도이다. 여기서 V_∞ 는 건축물 등의 영향을 받지 않는 상층부의 풍속이고, V_p 는 건축물 영향을 고려한 보행자 수준(지상 2m)의 풍속이다. 풍속비율은 해당 위치의 건축물에 의해 주로 영향을 받기 때문에 계획안의 효과를 측정하기 위해 사용할 수 있는 효과적인 지표로 간주된다. VR_W 의 값이 크다면 건축물의 영향이 작음을 의미한다(〈그림 2-16〉 참조).

풍속비율의 해석방법으로 수치모형인 CFD가 사용될 수 있지만, 해당 연구에서는 보다 신뢰성이 높은 풍동장치를 사용키로 하였다. 풍동장치 내 테스트 지점의 풍속비율이 측정되면 설계에 반영하기 위해 2가지 비율을 산정해야 한다. 대상지의 경계를 따라 현장 조건상의 10~50m 단위로 수많은 외곽 테스트 지점을 설치한다. 그 간격은 테스트 지점을 둘러싼 대상지 조건에 따라 달라질 수 있으나 고르게 분포시켜야 한다. 또한, 테스트 지점은 모든 도로 교차로, 건축물 코너, 진입로를 포함하고, 보행자들의 이동경로를 고려하여 200~300㎡당 1개 지점 수준으로 고르게 지정해야 한다

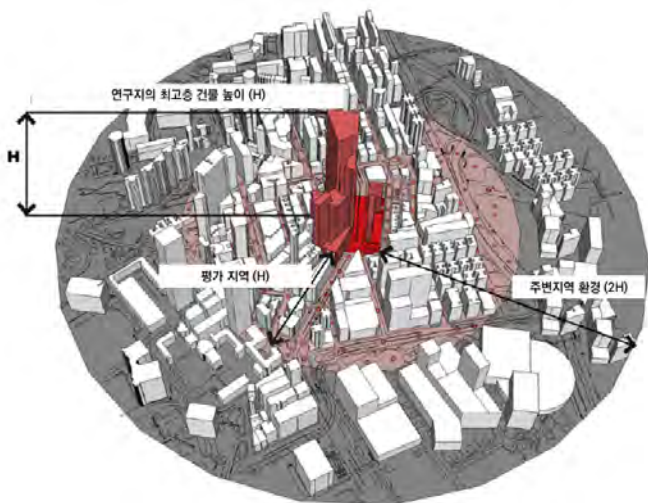
(Edward, 2009)(<그림 2-17> 참조). 테스트 지점의 자료를 바탕으로 대상지의 공간 평균 풍속비율을 산정하고, 개발로 인해 주변지역 바람환경에 미치는 영향을 판단하는 근거로 활용하였다.

그림 2-16 | 풍속비율(VR_W)의 개념



자료: Edward(2009, p.1482)

그림 2-17 | 대상지의 분석영역 설정방법



자료: Edward(2009, p.1483)

(4) 도시계획에서 실무·정책적 활용

홍콩특구의 지원 하에 다양한 연구가 수행되었는데, 최종적으로 도시설계가이드라인과 AVA(Air Ventilation Assessment), 즉, 도시 대기통풍평가라는 방법론을 개발하였다. 연구 결과를 토대로 홍콩 개발사업의 대기통풍평가를 위한 기술 안내서를 발간하였고, 2006년 12월에는 기술 안내서를 토대로 기술 회람집을 작성하였다. 여기에는 AVA를 중요한 국책사업에 적용하기 위한 가이드라인을 제시하였고, VR_w 가 설계대안에 대한 도시 대기통풍평가의 지표로 채택되었다(Edward, 2006)(〈그림 2-18〉참조).

그림 2-18 | 홍콩정부의 대기통풍평가(AVA) 관련 연구기획 결과

단계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
1단계 - 성과기반 평가 (평가 표준을 제외한 기술요약서 포함) AVA의 목표 달성을 위해 일반적인 틀과 방법론 설정		즉시		
2단계 - 도시기후 지도화 기후적으로 민감하거나 문제가 발생할 수 있어, 디자인 혹은 계획적으로 개입이 필요한 지역을 판별		1-2년		
3단계 - 성과기반 평가 (상세 기술 지침 및 평가 표준 포함) AVA를 위한 객관적인 평가표준과 항목 결정		2-3년		
4단계 - 정량적인 가이드라인 환기가 잘되는 도시환경을 위해 기본적으로 중요한 디자인 필수요소를 계획 초기단계에서 획득		2-4년		

자료: Edward(2006, p.6)를 저자 번역

2006년 9월, 홍콩정부는 연구를 통해 얻은 설계방법과 평가방법을 홍콩 도시표준지침(HKPSG)에 반영하였다. 지구단위(District level)와 건축물 단위(Site level)로 구분하여 설계방법을 반영하였다. AVA에 대해서도 별도의 절을 할애하여 설계대안을 평가하는 요령을 제시하였고, 모든 중요한 개발사업에 대해 평가를 실시할 예정이다. 또

한, 홍콩정부는 AVA를 본격적으로 400ha 면적의 카이탁 공항 부지 계획에 적용키로 하였고, 정부 신청사 또한 AVA 방법을 통해 계획키로 하였다(Edward, 2006).

홍콩정부는 AVA 방법의 고도화와 적용확대를 위한 수많은 연구를 기획했으며, 전략적으로 설계대안을 유도하기 위한 목적으로 독일 카젤 대학의 Lutz Katzschner 교수 팀과의 협업을 통해 도시기후지도를 제작해왔다(Edward, 2006).

5) 일본

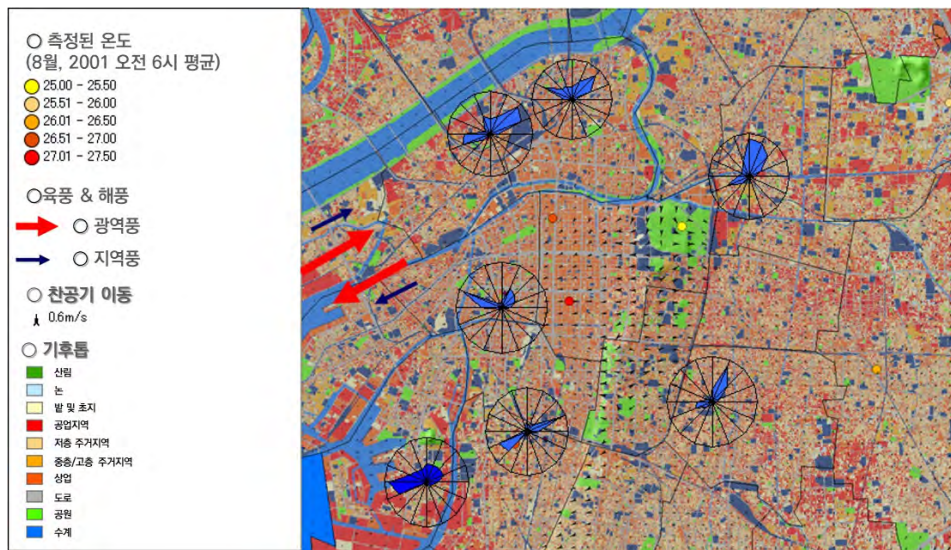
(1) 배경

일본 오사카 지역에서는 지구 온난화에 의한 영향과 지역의 특색인 도시열섬 현상이 맞물려 이상고온현상이 오사카 시내를 넘어서 교외 주택지역으로 확산되고 있었다. 이러한 이상고온 현상에 의해서 생태계의 교란이 일어나는 등 동·식물에 대한 영향 외에도 이 지역에 거주하고 있는 도시민들의 인체에 대한 직접적인 영향으로 열사병과 불면 스트레스 증가 등의 문제가 야기되었다. 더욱이 도시열섬 현상은 오사카 시의 환경의 질과 삶의 질을 떨어뜨려 오사카라는 도시의 이미지 및 브랜드 가치의 저하와 이에 따른 경제적 손실도 야기할 수 있을 것으로 우려되는 상황에 처하게 되었다(오사카시, 2011).

도시열섬 현상은 지난 오랜 기간의 도시화에 의한 결과로 야기된 환경문제인 만큼 그 해결을 위해 도시공간구조의 재고를 포함한 종합적인 대책이 필요하게 되었다. 도시열섬 현상에 적극적 대응을 위해서 오사카 부(府)에서는 과거 2002년 3월에 수립된 ‘오사카 21세기 환경종합계획(大阪21世紀の環境総合計画)’에서 열섬 대책을 위해 수립한 기본방침을 기준으로 삼았다(오사카시, 2011). 또한 지역 실태 조사, 주민의 의식 조사 등의 기초조사를 실시하는 한편, 2002년 12월 ‘오사카 부 열섬 대책 추진회의(大阪府ヒートアイランド対策推進審議会)’를 설치, 지방정부 차원의 총체적인 대책을 시작하였다(오사카시, 2011). 2003년 6월에 ‘오사카 부 열섬 대책 검토 위원회(大阪府ヒートアイランド対策審議会)’를 설치하고, 전문가에게 의견을 물으면서 중

장기적인 시점에서 대책의 기본적인 방향과 당면 대책에 대해 검토를 하였으며, 2004년 6월에는 이러한 결과를 바탕으로 ‘오사카 부 열섬 대책 추진 계획(大阪府ヒートアイランド対策推進計画)’을 수립하였다(Tanaka and Moriyama, 2004)(<그림 2-19> 참조).

그림 2-19 | 오사카시의 기후분석지도(1:25,000)



자료: Tanaka and Moriyama(2004, p.2)

(2) 열섬 대책 추진 계획 수립

‘오사카 부 열섬 대책 추진 계획’에서는 ‘열섬을 고려한 도시 만들기(ヒートアイランドに配慮したまちづくり)’라는 대명제 하에 기분 좋게 살고, 걸을 수 있는 도시를 조성하기 위해 다음과 같은 하위 개념들을 설정하였다. 첫 번째는 녹지와 물이 있어 촉촉함이 넘치고, 자연 바람이 부는 도시, 두 번째는 시원함과 청량감을 느낄 수 있는 도시, 세 번째는 냉방기에 의존하지 않아도 편히 잘 수 있는 도시, 네 번째는 에너지를 낭비하지 않는 도시, 마지막은 건물과 도로에 열이 축적되지 않는 도시이다(오사카시, 2011).

표 2-3 | 분야별 세부 대책 내용

대책의 방향	대책 분야	내용	공간 범위		
			건물	시가지	도시
인공 배열의 저감	에너지 절감 설비의 적용	고효율·에너지 절감형 기기의 적용	○		○
		기기의 고효율 운전	○		○
		생산 설비의 에너지 절감화	○		○
	에너지 절감 건물의 보급	건물의 단열성·차단성의 향상	○		○
		자연 통풍·환기·일사차폐	○		○
	배열 방식의 선택	냉수에 의한 배열, 현열의 잠열화	○		○
	에너지 공급 시스템의 선택	도시 배열 처리 시스템의 구축	○	○	
		열섬 펌프식 급탕기의 보급 촉진	○		○
		지역 냉난방 시스템의 적용		○	
		미사용 에너지의 활용	○	○	
		태양광 발전의 적용, 태양열 이용	○		○
	자동차·교통 흐름 대책	저연비차의 보급		○	○
		교통 흐름 대책·물류의 효율화		○	○
		공공 교통 기관의 이용 촉진		○	○
		가정에서의 에너지 절감 라이프 추진	○		○
		업무시설에서의 환경 매니지먼트	○		○
		자동차 이용의 억제		○	○
		에코 드라이브 추진		○	○
건물·지표면의 고온화 억제	건물녹화	옥상녹화	○		○
		벽면녹화	○		○
		부지 내 녹화(학교 및 주차장 포함)	○	○	
	지붕면·벽면의 고온화 억제	고반사성 마감, 광촉매의 활용	○		○
	지표면의 고온화 억제	보수성·투수성 포장 반사율의 향상		○	○
냉각 작용의 이용 및 활용	바람의 활용	건물 배치의 개선		○	
	물의 활용	하수 처리의 이용		○	
		빗물의 이용	○	○	
		살수	○	○	
		저수지·농업용수로의 보전		○	○
		수면의 확대		○	○
	녹지의 활용	가로 공간의 녹화		○	
		공원·녹지의 정비		○	○
		농지의 보전		○	○
		도시 하천·호안의 녹화		○	○
		녹지의 거점 만들기·네트워크화		○	

자료: 오사카시(2011)를 저자정리

이 계획에서 설정한 목표는 다음과 같다. 주택 지역의 여름밤 기온을 내리고, 2025년까지 여름의 열대야 수를 현재보다 30% 감소시키고, 옥외 공간에 쿨 스팟을 창출하며, 여름 낮의 열환경 개선을 도모하여 체감 온도를 내리는 것이다(오사카시, 2011)(〈표 2-3〉 참조).

이 계획에서 수립한 대책은 다음과 같다. 에너지 절감 기기 적용, 라이프 스타일의 개선 등을 통해 인공열을 저감시키고, 토지와 건축물의 표면피복 개선에 의한 표면 온도의 고온화를 억제시키며, 바람과 녹지, 물에 의한 냉각작용의 이용 및 활용하는 것이다(오사카시, 2011).

기개발 지구, 개발·재개발 예정 지구, 미개발지구로 도시의 유형을 구분하고, 유형에 따라서 상이한 대책을 수립하였다. 이를 구체화하면 다음과 같다. 기개발 지구는 인공 배열의 저감, 토지와 건축물의 표면피복 개선, 녹화 추진 등의 대책을 마련하였다. 나아가 개발·재개발 예정 지구는 기개발 지구와 동일한 대책과 함께, 녹지, 물의 냉각작용을 활용한 대책, 에너지 공급·배열처리 방법의 활용 방안을 모색하였다. 미개발 지구는 녹지와 농지, 수역의 보전 대책을 제안하였다(오사카시, 2011).

(3) 바람길 비전(기본방침) 수립

오사카시에서는 2011년에 ‘바람길 비전’을 기본방침으로 수립하여, 오사카만으로부터 불어오는 서늘한 해풍을 열섬현상 해결의 중요한 수단으로 활용하는 정책을 추진해 오고 있다. 6~8월 낮에는 오사카만으로부터 불어오는 남서~서풍이 강하며, 기온이 상승하는 한여름철인 6~9월에는 일수의 80% 가까이 해풍이 불고 있어, 여름철 낮에 오사카만으로부터 부는 시원한 해풍을 열섬현상 대책으로서 활용하였다(오사카시, 2011)(〈표 2-4〉 참조).

바람길 비전은 ‘물과 녹색으로 둘러싸여, 기분 좋은 바람이 흐르는, 환경선진도시 오사카’로 장래목표를 설정하고, 이의 실현을 위해 ‘통풍이 좋은 도시 만들기’, ‘시원한 바람 지키기’, ‘협동과 연계를 강화하기’라는 3개 전략에 근거하여 시책을 추진하

고 있다(오사카시, 2011)(〈그림 2-20〉, 〈표 2-5〉 참조).

표 2-4 | 오사카 지역의 한여름날에 해풍이 부는 날의 비율

(2001년~2010년, 12시~18시)

월	한여름날(일수)	해풍이 부는 일수	해풍이 불지 않는 일수	해풍이 부는 날의 비율(%)
6	10.3	9.0	1.3	87.4
7	22.3	19.9	2.4	89.2
8	28.1	21.7	6.4	77.2
9	16.9	10.7	6.2	63.3
계	77.6	61.3	16.3	79.0

자료: 오사카시 (2011, p.10)

그림 2-20 | 오사카시 ‘바람길 비전’의 목표



자료: 오사카시(2011, p.20)

표 2-5 | 오사카시 '바람길 비전'의 전략 구성

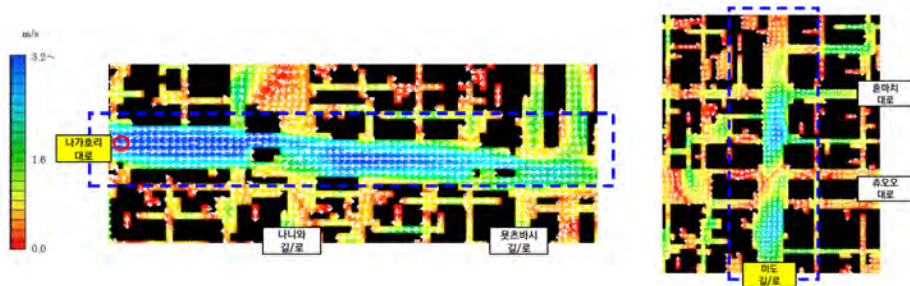
3대 전략	세부 전략
통풍이 좋은 도시를 만든다 해풍이 지나가는 오픈스페이스를 확보한다	○ 지구 단위에서 해풍을 이끌기 ○ 부지 단위에서 통풍을 확보
시원한 바람을 지킨다 자연과 환경기술을 살려서, 서늘한 해풍이 따뜻해지는 일 없이 도시를 형성한다	○ 녹화 추진 ○ 도로와 건물 등으로부터의 방열을 억제 ○ 물의 활용 ○ 인공배수의 저감
협동과 연계를 강화한다 시민과 기업, 인접 지자체와 함께, 민관 일체가 되어 시책을 추진해 나간다	○ 시민, 기업과의 협동을 중점화 ○ 민간의 새로운 기술개발 지원 ○ 오사카부와 인접 지자체와의 연계

자료: 오사카시(2011)의 내용을 저자 재작성

(4) 바람길 네트워크 구축

오사카시는 향후 도시계획 및 재생 등에 활용하기 위한 바람길 네트워크를 구축하기 위해 도로·건축물, 하천, 공원녹지를 대상으로 바람길 모의실험을 수행하였다. 오사카시 내에서 해풍이 강할 때, 지표 레벨(지상 2m)의 바람 흐름(풍속 및 풍향)이 건물 등에 얼마나 영향을 받는지 모의실험을 수행하였다. 그 결과 비교적 폭 넓은 동서방향의 도로의 경우 풍속이 높은 장소에서는 서쪽에서 동쪽으로 일정하게 바람이 불었다.

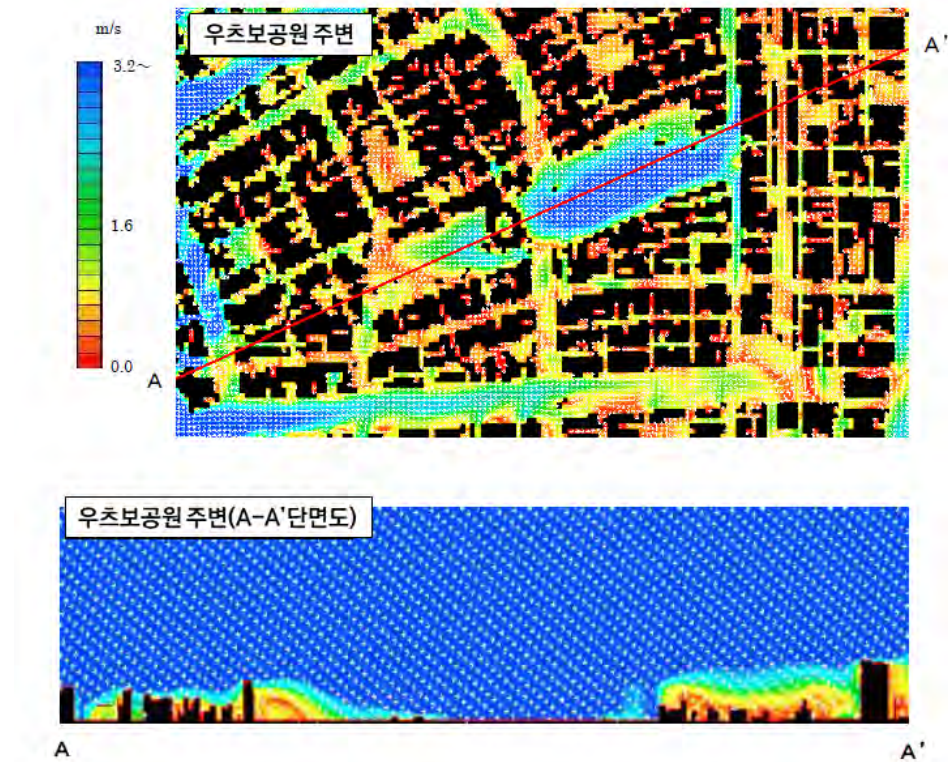
그림 2-21 | 오사카시의 도로상 해풍 흐름 모의실험 결과(동서/남북 방향)



자료: 오사카시(2011, p.12-13)

그러나 남북방향의 도로상에서는 풍향이 남북으로 변화하거나 동풍으로 역전되는 등 건물의 영향을 받고 있는 것으로 나타났다(오사카시, 2011)(〈그림 2-21〉 참조).

그림 2-22 | 공원녹지에서의 해풍 흐름 모의실험 결과 (위: 공원 주변 바람 흐름, 아래: A-A' 단면도)



자료: 오사카시(2011, p.14)

나아가, 도로나 하천이 연속되지 않아도 공원녹지와 같은 오픈스페이스가 형성될 경우 도로·하천 수준의 바람길이 형성되며 이는 주변의 바람길 형성에 영향을 미치는 것으로 확인되었다(〈그림 2-22〉 참조). 우츠보(靑公園)공원을 대상으로 분석한 결과 도로나 하천과 연속해 있지 않았음에도 불구하고 상층부 해풍의 영향을 받아 지표부의 바람이 강해지며 또한 그 영향으로 동쪽에 인접한 남북도로의 풍속도 커졌다. 단면도

를 보면, 공원의 서측에서는 건물이 해풍을 방해하여 지표레벨의 풍속은 작게 되지만, 공원 상에서는 상공에서 지상까지 동일하게 해풍이 불고 있는 모습을 볼 수 있다(오사카시, 2011).

상기 분석결과를 통해 오사카만으로부터 해풍이 불고 있을 때 지표면 가까이에서도 바람이 불 것이라고 예측되는 주요 하천과 도로, 쿨스팟이 되는 주요 공원녹지를 표시하여 이들의 네트워크를 환경축으로 설정할 수 있다. 이는 도시계획 및 재생에 있어서 바람을 고려한 도시만들기 추진에 활용될 수 있다(오사카시, 2011).

5) 시사점

지금까지 독일, 미국, 홍콩, 일본 등을 대상으로 바람길과 관련한 해외 사례를 검토하였다. 바람길은 도시계획 내에 포함된 경우도 있으며, 도시 및 환경계획이 연계되어 적용된 경우도 있다(〈표 2-6〉 참조).

표 2-6 | 바람길 관련 국외사례 종합

국가 및 도시 항목		독일		미국		중국	일본
		슈투트가르트	베를린	샌프란시스코	뉴욕	홍콩시	오사카시
바람길 반영 여부	도시규모	○	○	-	-	○	○
	블럭규모	○	○	○	○	○	○
바람길 포함 계획	국토·도시	○	○	○	○	○	○
	환경	○	○	-	○	-	-
바람길 반영 방법		계획간 연계	계획간 연계	가이드라인	계획간 연계 가이드라인	가이드라인	가이드라인
정량적 평가 유무		-	-	-	○ ¹⁾	○ ²⁾	-

1) 미세먼지 농도를 기준으로 대기질과 관련된 지침을 제시하고 있음

2) 지상 및 상공에서의 바람속도 변화를 기준으로 제시하고 있음

자료: 저자 작성

홍콩과 미국의 경우는 도시계획 수립 시 바람길을 반영하고 있다. 특히, 홍콩에서는

대기통풍평가 시스템을 개발하여 도시구조 설계에 반영하였다. ① 바람길, ② 건축배치, ③ 건축배열, ④ 건축높이 ⑤ 투과성 등의 분야를 선정한 뒤 다양한 설계기법을 연구하고 이를 도시설계가이드라인에 반영하여 지구단위 및 건축물 단위 계획에 활용하였다.

미국은 환경 법제(The Clean Air Act) 내에서 오염 배출원에 대한 직접적인 규제 내용을 담고 있으며, 시정부는 환경의 질 검토체제를 적용하여 도시계획, 토지이용계획 체제와 연계하고 있다.

독일은 바람길을 매개로 국토 및 환경계획이 연계되어 있다. 공간환경계획(Landschaftsplanung)에서 도시기후 보호 및 개선을 위해 계획 목표를 제시했으며, 도시계획 중 지역계획(Raumordnungspläne) 및 건설기본계획(Bauleitpläne) 등에서 공간환경계획을 반영하여 바람길을 적용하고 있다.

일본의 경우는 바람길의 적용을 통하여 열섬현상 개선 및 대기오염 개선을 위한 노력을 복합적으로 추진하였다. 도시환경에 대한 현황을 국토·도시계획 수립에 반영하는 체계를 마련하여 국토·도시공간구조 보완에 활용하고 있다(鍵屋浩司·足永靖信, 2013; 竹林英樹, 2010).

4. 국토 및 환경계획 연계

우리나라에서 국토 및 환경계획¹⁴⁾의 연계는 2000년이 들어서야 본격적으로 논의되기 시작하였다. 친환경적인 국토를 조성하기 위해서 환경계획을 공간화시키고, 공간화된 환경정보를 토지이용계획에 반영하려는 시도가 있었다(최영국 외, 2002). 환경요소 중 연계가 가능한 분야는 생태환경이었으며, 생태축 혹은 생태네트워크를 양 계획에서 공동으로 설정하고, 보전지역 지정과 토지이용계획 시 반영하려고 하였다.

14) 본 연구에서 국토 혹은 도시계획은 국토종합계획, 광역도시계획, 도시·군기본계획, 도시·군관리계획, 지구단위계획 등을, 환경계획은 국가환경종합계획, 시도 환경보전계획, 시군구 환경보전계획 등 바람길과 관련 있는 공간계획을 의미함.

우리나라에서 바람길을 다루는 공간계획은 국토(도시) 및 환경계획으로 구분할 수 있다. 지금까지 바람길을 적용하기 위해 양 계획을 연계시키는 방식보다는 국토 법제를 개선시킬 수 있는 방안을 마련하는 연구가 주로 수행되었다. 관련하여 김수봉 외(2004), 김수봉 외(2007), 최영국 외(2002), 박종순 외(2013, 2017)의 연구를 살펴본다.

김수봉 외(2004)는 원격탐사(Remote sensing)를 이용하여 도시 내 토지이용, 녹지, 자연요소 등의 변화와 도시의 온도 및 대기질과의 관계를 분석하여 도시열섬 현상을 완화시킬 수 있는 바람길 적용 및 조성방안을 제시하였다. 도시지역의 바람형태는 도시내부의 온도차에 따른 미세한 공기흐름에 의해 유발되며, 현행 도시개발 관련 법규에 기후조건을 고려한 도시개발방식 개선을 제시하였다. 나아가, 김수봉 외(2007)는 대구시의 바람길 조성을 위한 관련 법제도를 검토하고 적용방안을 제시하였다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」, 광역도시계획, 도시기본계획, 지구단위계획, 경관지구, 고도지구 등을 검토하였다. 독일의 「자연보호법」에서는 자연보호 및 경관관리 수단을 환경친화적 도시계획의 기본요소로 규정하고 있으나 우리나라에서는 환경친화적인 도시계획 수단들이 연계·반영되지 못하고 있음을 제시하였다.

국토 및 환경계획의 연동에 대한 내용은 2000년대 초반부터 본격적으로 연구되었다. 1장의 선행연구에서 살펴보았듯이, 최영국 외(2002)는 생태축과 비오톱 지도 등을 매개로 하여 국토 및 환경계획의 연계 방안을 제안하였다. 그에 대한 실천 수단으로 독일의 자연침해조정 제도와 유사한 경관관리제도를 도입하고 비오톱지도가 의무적으로 작성되어야 함을 강조하였다. 박종순 외(2013)의 연구에서도 국토계획과 환경계획의 연계를 위한 광역생태축의 역할을 살펴보았고, 이를 개발과 보전의 공간 범위를 정하는데 활용되어야 함을 주장하였다. 광역생태축을 매개로 한 국토·환경계획의 연계를 모색하였지만, 바람길을 감안한 연계를 다루지 못한 한계가 있다. 박종순 외(2017)의 또 다른 연구에서는 국토와 연안계획의 연계를 위해 국토 법제와 연안 법제에 의해 실시되는 기초조사 항목을 통합관리 할 수 있는 시스템과 정보공유시스템을 구축하는 것을 제안하였다. 계획 작성 단계에서는 두 계획이 수립될 경우 상대 계획에 참여할 수 있는

방안을 마련하고, 양 계획이 상호 보완적인 관계가 형성되는 것을 제안하였다. 이 연구에서는 두 계획의 연계 방식에 대한 시사점을 얻을 수 있지만, 바람길을 다루지 않았다는 한계가 있다.

이와 같이, 선행연구는 국토 및 도시계획과 관련되는 법제도를 개선하여 바람길을 적용해야 된다는 연구가 주를 이루었다. 또한 국토 및 환경계획 연동의 관심사는 개발과 보전의 공간적 범위를 정하기 위해 생태축을 도입하자는 것이 주된 내용이다.

5. 시사점과 과제

이전 연구의 부족한 부분을 메우고 본 연구의 방향성을 설정하기 위해서, 지금까지 도시기후와 미세먼지, 바람길의 효과, 국토 및 환경계획의 연계와 관련한 선행연구와 해외 사례를 검토하였다. 이를 통해 다음의 시사점을 얻을 수 있다.

도시 내 미세먼지를 저감시키기 위해서는 정체된 대기를 원활하게 순환시켜야 하며, 그 수단으로 바람길이 될 수 있다. 해외에서는 바람길이 미세먼지 저감 등 대기환경 개선, 도시 열섬현상 완화, 도시 통풍 시스템 개선의 목적으로 활용되고 있다. 바람길 계획은 홍콩과 같이 도시계획 내에 내재해 있는 경우도 있으며, 독일과 같이 환경계획과 연계되어 있기도 하다. 여러 가지 방식에도 불구하고, 청정한 대기질을 확보하기 위해 도시 및 환경계획에서는 도시미기후 관리를 중요한 계획 요소로 보고 있다.

국내에서도 바람길이 미세먼지 저감과 분산에 효과가 있다는 것이 연구되고 있다. 야간에 산지에서 생성된 차고 신선한 공기가 도심으로 유입되어 대기질을 개선시킬 수 있다는 연구와 조경식물이 미세먼지를 흡수·흡착할 수 있다는 연구가 진행되었다. 나아가 도시계획과 관련된 법제도를 개선하여 바람길을 적용하려는 시도가 있었다. 그러나 바람길을 도입하는 방안으로 ‘국토 및 환경계획의 연계’를 다루지 못한 한계점이 있다.

이러한 선행연구와 이론, 그리고 해외 사례를 바탕으로 이어지는 3장에서는 국내 미세먼지 특성과 정부의 대책 방안을 구체적으로 살펴보도록 한다.



CHAPTER 3

국내 및 사례 지역의 미세먼지 특성 및 대책

- 1. 국내 미세먼지 특성 분석 | 61
- 2. 지역별 미세먼지 농도 특성 | 66
- 3. 정부의 미세먼지 대책 | 71
- 4. 사례 지역 미세먼지 농도현황 및 대책 | 73
- 5. 분석 결과 종합 | 78

국내 및 사례 지역의 미세먼지 특성 및 대책

우리나라에서 미세먼지가 새로운 환경문제로 대두되고 있다. PM10 농도는 2000년 대 이후 차츰 개선되고는 있으나, 겨울철과 봄철의 초미세먼지는 여전히 국민의 불안감을 높이고 있다. 또한, 2012년 이후부터는 배출량과 미세먼지 농도와의 상관성이 점차 낮아지고 있다. 그렇다면 정부의 정책도 변화가 필요하다. 배출원 규제 정책에 더해 도시 내·외부로 바람길을 열어, 도심에서 정체되고 있는 미세먼지를 교외 지역으로 분산시키는 대안도 검토해 보아야 한다. 이러한 시선에서 본 장에서는 국내 및 사례 지역을 대상으로 미세먼지 농도 추이에 대해 조사하고, 정부의 미세먼지 대책과 그 한계점을 살펴보고, 공간적인 측면에서도 저감 대책이 마련되어야 함을 제안하였다.

1. 국내 미세먼지 특성 분석¹⁾

1) 국내 농도 현황

우리나라는 국내 대기환경기준 달성 여부, 대기오염 실태와 변화 추이 등에 대해 파악하기 위해, 도시대기, 도로변대기, 교외대기, 국가배경농도 측정망 등으로 설치목적에 따라 측정소를 분류하여 관리하고 있다. 2019년 4월 말 기준으로 도시대기, 도로변대기, 교외대기, 국가배경농도 측정망은 각각 370개소, 40개소, 22개소, 3개소로, 총 435개소가 환경부 및 지방자치단체에 의해 운영 중에 있다(<표 3-1, 2> 참조).

1) 본 연구의 협동 연구기관인 한국환경정책·평가연구원(2019)의 연구 결과물과 협동 연구기관의 연구책임자인 주현수(2018)의 자료를 바탕으로 작성된 것임을 밝힘.

표 3-1 | 미세먼지 측정망 설치 목적

구분	목적
도시대기 측정망	도심(거주) 지역의 평균 대기질 농도 측정
도로변대기 측정망	자동차 통행량 및 유동 인구가 많은 도로변대기 농도 측정
교외대기 측정망	도시를 둘러싼 교외 지역의 배경 농도 측정
국가배경농도 측정망	국가의 배경농도 및 외국으로의 오염 물질 유입·유출 상태 등을 파악

자료: 환경부(2018)의 자료를 활용하여 저자 작성

표 3-2 | 설치목적에 따라 분류한 미세먼지 측정망 수 및 운영주체

(단위: 개소 / () 안은 %)

구분	지점 수	운영주체
도시대기 측정망 (113개 시·군)	370(85)	지방자치단체
도로변대기 측정망 (17개 시)	40(9)	지방자치단체
교외대기 측정망 (22개 시·군)	22(5)	환경부
국가배경농도 측정망 (3개 시·군)	3(1)	환경부
총계	435개	-

자료: 국립환경과학원(2019b)의 자료를 활용하여 저자 작성

전체 측정소 중 35% 이상(156개소)이 수도권(서울·인천·경기)에 밀집되어 있다. 도시대기 측정소는 경기(22%, 83개소)에, 도로변대기 측정소는 서울(38%, 15개소)에 가장 많이 설치되어 있다. 교외대기 측정소는 비교적으로 각 지역에 고르게 분포되어 있으며, 국가배경농도 측정소는 인천(백령도), 경북(울릉도), 제주에 각각 1개소씩 설치되어 있다(국립환경과학원, 2019b).

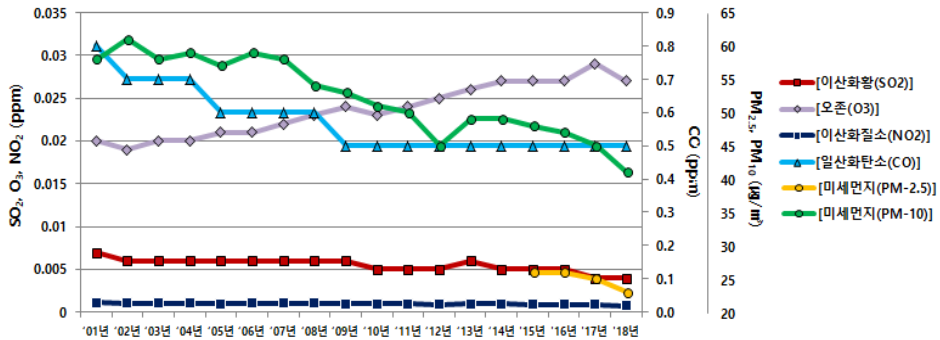
국내 PM10 농도는 2000년대 초반에 연평균기준($50\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였으나 점차 대기질이 개선되어 2010년 이후 대기환경기준치를 만족하고 있다. 그러나 WHO의 PM10 권고기준인 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 약 2배 이상 높은 수치이다(<그림 3-1> 참조).

PM2.5 농도는 2015년부터 국가측정망에서 측정을 시작하였으며, 대기환경 기준을 초과하고 있다²⁾. 2015년 및 2016년 농도는 각각 $27\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최근 변경된

2) 「환경정책기본법」에 따른 미세먼지 환경기준은 다음과 같음. PM10의 경우 연평균 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 일평균 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이며, PM2.5의 경우 연평균 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 일평균 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하임(「환경정책기본법」 제12조제1항 및 「환

연평균 기준치($15\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 초과하고 있으며, 변경 전의 연평균 기준치($25\mu\text{g}/\text{m}^3$)와는 근접 또는 만족하는 수치이다(<그림 3-1> 참조).

그림 3-1 | 전국 대기오염 농도 추이



자료: 주현수(2018) 자료를 국립환경과학원(2019a)의 자료를 활용하여 저자 보완

2) 원인물질과 오염물질별 기여도

(1) PM10 및 PM2.5의 배출원별 기여도

PM10 배출원별 비율 중 제조업 연소로부터 배출량이 크게 상승하였으며, 2016년 기준으로 해당 배출원이 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 제조업 연소가 크게 상승한 원인은 누락되었던 수입 무연탄 통계자료가 2007년 이후에 확보되어 배출량이 크게 증가한 것에 기인한다(<그림 3-2> 참조). 배출원별 배출량 순위는 2016년 기준 제조업 연소 다음으로 비도로오염원, 도로이동오염원 순으로 나타나고 있다. 도로이동오염원의 경우 정책시행(수도권 저감장치 부착, 자동차 주행거리 등)에 따라 2004년부터

경정책기본법 시행령」 제2조 및 별표 제1호).

〈 미세먼지 일평균 예보기준(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 〉

구 분	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨
PM2.5	0~15	16~35	36~75	76 이상
PM10	0~30	31~80	81~150	151 이상

꾸준히 감소 추세를 보이고 있다. 배출원별 PM_{2.5} 배출량 순위는 2016년 기준 제조업 연소 다음으로 비도로이동오염원, 도로이동오염원 순이다.

(2) NO_x의 배출원별 기여도

NO_x는 도로이동오염원의 배출비율이 꾸준히 높게 나타나고 있다. 배출원별 NO_x 배출량 순위는 2016년 기준 도로이동오염원 다음으로 비도로이동오염원, 에너지산업 연소이다. 에너지 산업의 경우 CleanSYS(굴뚝원격감시체계) 배출량 적용으로 인하여 2007년 이후 큰 폭으로 감소하고 있다. 비도로이동오염원은 2008년에 덤프트럭 및 콘크리트믹스트럭을 도로이동오염원으로 분류함으로써 감소하였던 배출량이 2009년 건설장비 2종을 추가함으로써 다시 증가하고 있다.

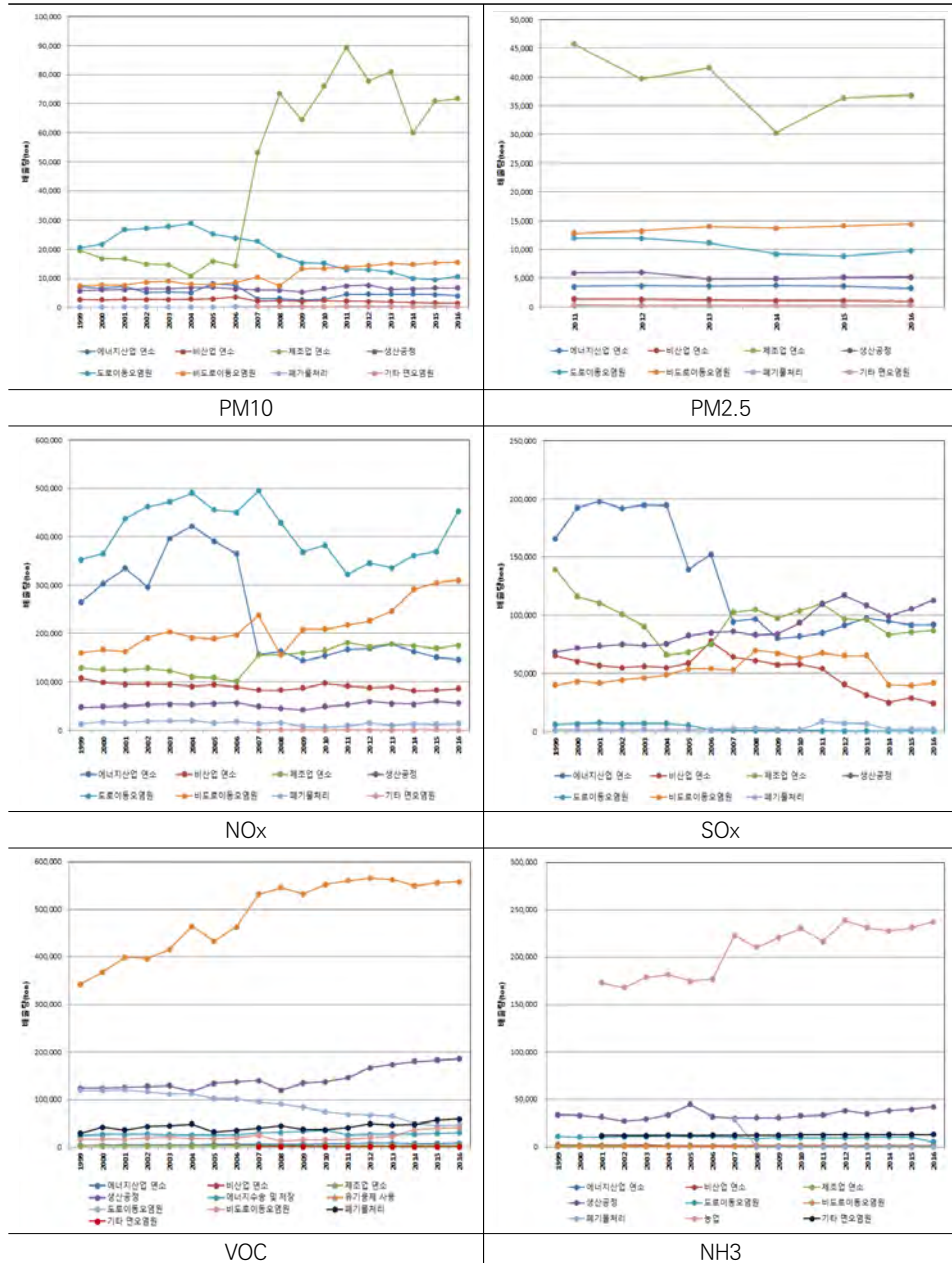
(3) SO_x의 배출원별 기여도

배출원별 SO_x 배출 순위는 2016년 기준 생산공정, 에너지 산업연소, 제조업 순이다. 에너지산업 연소에 의한 배출은 정부의 정책 시행(청정연료 사용확대 및 저황유 공급정책)에 따라 큰 폭으로 감소하였다. SO_x 배출량이 가장 많았던 생산공정은 2011년 유황 회수량이 증가하면서 석유 제품산업 배출량이 증가하였으며 2013년부터 감소 추세를 보이고 있다.

(4) VOC의 배출원별 기여도

VOC는 유기용제 사용으로 인한 배출량이 가장 크며, 생산공정 배출량은 2009년부터 꾸준히 증가 추세를 보이고 있다. 배출원별 VOC 배출 순위는 2016년 기준 유기용제 사용, 생산공정 순이며, 나머지 배출원보다 훨씬 높은 수치를 보인다.

그림 3-2 | 물질별 배출 특성



자료: 국립환경과학원(2019c), 배출량 통계, 검색일: 2019.10.15.

(5) NH₃의 배출원별 기여도

배출원별 NH₃ 배출 순위는 2016년 기준 농업, 생산공정, 기타 면오염원 순이며, 특히 농업에서 나머지 배출원보다 훨씬 높은 수치를 보인다. NH₃ 배출량의 경우 2003년 이후 증가 후 2006년 소폭 감소하고 있다. NH₃의 주요 배출원은 농업부문(농경지의 비료사용 및 가축의 분뇨)이다. 농업부문의 증가는 가축사육두수 증가에 따른 것으로 보인다.

3) 시사점

전국의 PM₁₀ 연평균 농도는 2002년부터 꾸준히 감소 추세에 있었으나, 2012년 전후로는 정체 상태를 보인다.³⁾ 그러나 2012년 전후로 배출량과 미세먼지 농도간의 상관관계가 낮아지는 경향을 보였으며, 이는 미세먼지 문제를 해결하기 위해서는 단순히 배출원의 배출량을 관리하는 정책만으로는 부족하다는 것을 시사한다(주현수, 2018)(〈그림 3-1, 2〉 참조).

2. 지역별 미세먼지 농도 특성

1) 광역시·도별 미세먼지 농도 특성

대기환경연보의 도시대기 측정망 PM₁₀ 연평균 농도(2001~2018년) 자료를 이용하여, 광역시·도별 PM₁₀ 농도 특성을 살펴보았다. 2017년 PM₁₀ 농도는 2016년과 비교하면, 광역 지자체 중 유일하게 대전에서 농도가 증가하였고, 경기지역은 전년도와 마찬가지로 연평균기준($50\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였다. 또한 2018년 PM₁₀ 오염도는 17개 시·도 중 대전에서 가장 높게 나타났고 제주는 전년과 마찬가지로 가장 낮게 나타났다

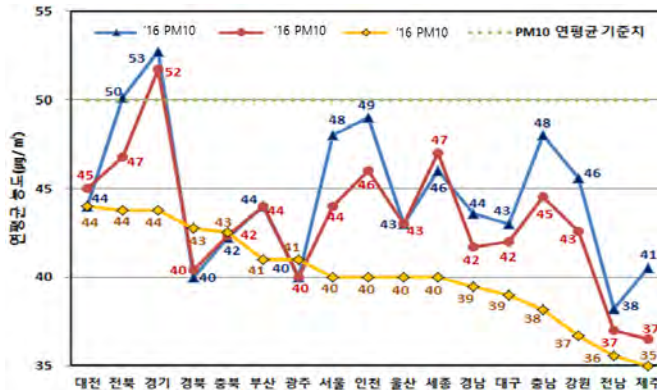
3) 서울 미세먼지 배출량의 경우도 2003년을 정점으로 꾸준히 감소하는 추세이며, 이와 유사하게 미세먼지 농도도 감소하고 있음(서울시 미세먼지정보센터, 2019).

(〈그림 3-3〉 참조).

최근 18년간(2001~2018년) PM10 연평균 농도는 전국적으로 감소 추세에 있으며, 16개 시·도 중 서울, 대구, 경기, 부산 순으로 연평균 농도 감소율이 크다.

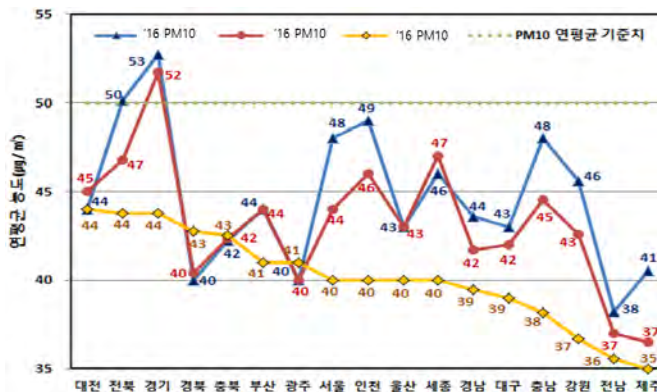
2017년 PM2.5 농도는 전체 17개(세종 추가) 시·도 중 29%(5개)가 연평균 기준치($25\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 초과하였으나, 2018년 3월 개정된 PM2.5 연평균 기준치($15\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 적용할 경우 모든 시·도에서 기준을 초과하게 된다. 2018년 PM2.5 오염도는 충북이 가장 높고 제주가 가장 낮게 나타났다(〈그림 3-4〉 참조).

그림 3-3 | 2016~2018년 도시대기 측정망의 광역 시·도별 PM10 연평균 농도



자료: 주현수(2018, p.9) 자료를 국립환경과학원(2019a, p.153)의 자료를 활용하여 저자 보완

그림 3-4 | 2016~2018년의 광역 시·도별 PM2.5 연평균 농도

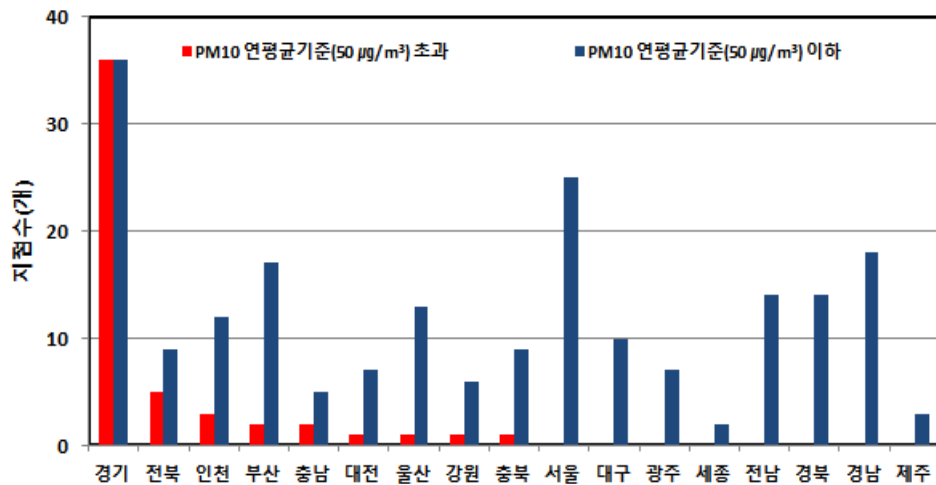


자료: 주현수(2018, p.13) 자료를 국립환경과학원(2019a, p.153)의 자료를 활용하여 저자 보완

2) 시·군·구별 미세먼지 농도 특성

2017년 PM10 농도가 연평균 기준치($50\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 초과한 상위 20개 지역 중 14개 지역이 경기도에 분포한 반면, 하위 20개 지역 중 경기지역은 한 곳도 없었다(<그림 3-5> 참조).⁴⁾ 경기도의 경우 PM10 연평균기준 초과 지역이 36개로 기준 이하 지역(36개)과 동일하며, 경기를 제외한 대부분 시·군·구에서 PM10 연평균기준($50\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과한 지점보다 이하인 지점이 더 많은 것으로 조사되었다. 2017년 PM10 오염도는 경기 구리(동구동)가 최근 7년간(2011~2017년) 농도 증가율이 매우 높게 나타났으며, 경북 포항(장항동)이 2014년부터 농도가 감소 추세이며 가장 낮은 농도 증가율이 나타났다.

그림 3-5 | 2017년 도시대기 측정망의 PM10 연평균기준($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) 초과 지점 수 현황



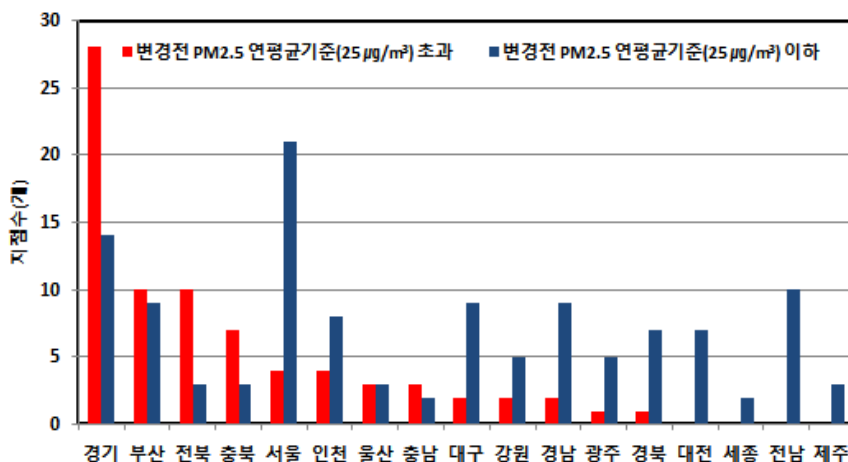
주) *유효측정 처리비율이 75% 및 50%미만인 농도값을 가지는 지역은 제외함

자료: 주현수(2018, p.15) 자료를 국립환경과학원(2018, p.250~255)의 자료를 활용하여 저자 보완

4) 경기도는 전국에서 도시대기 측정망을 가장 많이 운영하는 지자체임.

PM2.5의 연평균 농도 추이에 있어, 경기, 전북, 충북의 경우 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ (개정 전 PM2.5 연평균 기준치)을 초과하는 측정소가 기준치 이하인 경우보다 약 2배 이상 많았다. 특히 경기지역의 경우, 개정 후 연평균 기준치인 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 지점은 42개로 가장 많았다.⁵⁾ 대전, 세종, 전남, 제주의 경우 모든 측정소에서 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ (개정 전 PM2.5 연평균 기준치)을 충족하였으나, 신규 연평균기준인 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 는 초과하였다(<그림 3-6> 참조).

그림 3-6 | 2017년 도시대기 측정망의 개정 전 PM2.5 연평균기준 초과 지점 수

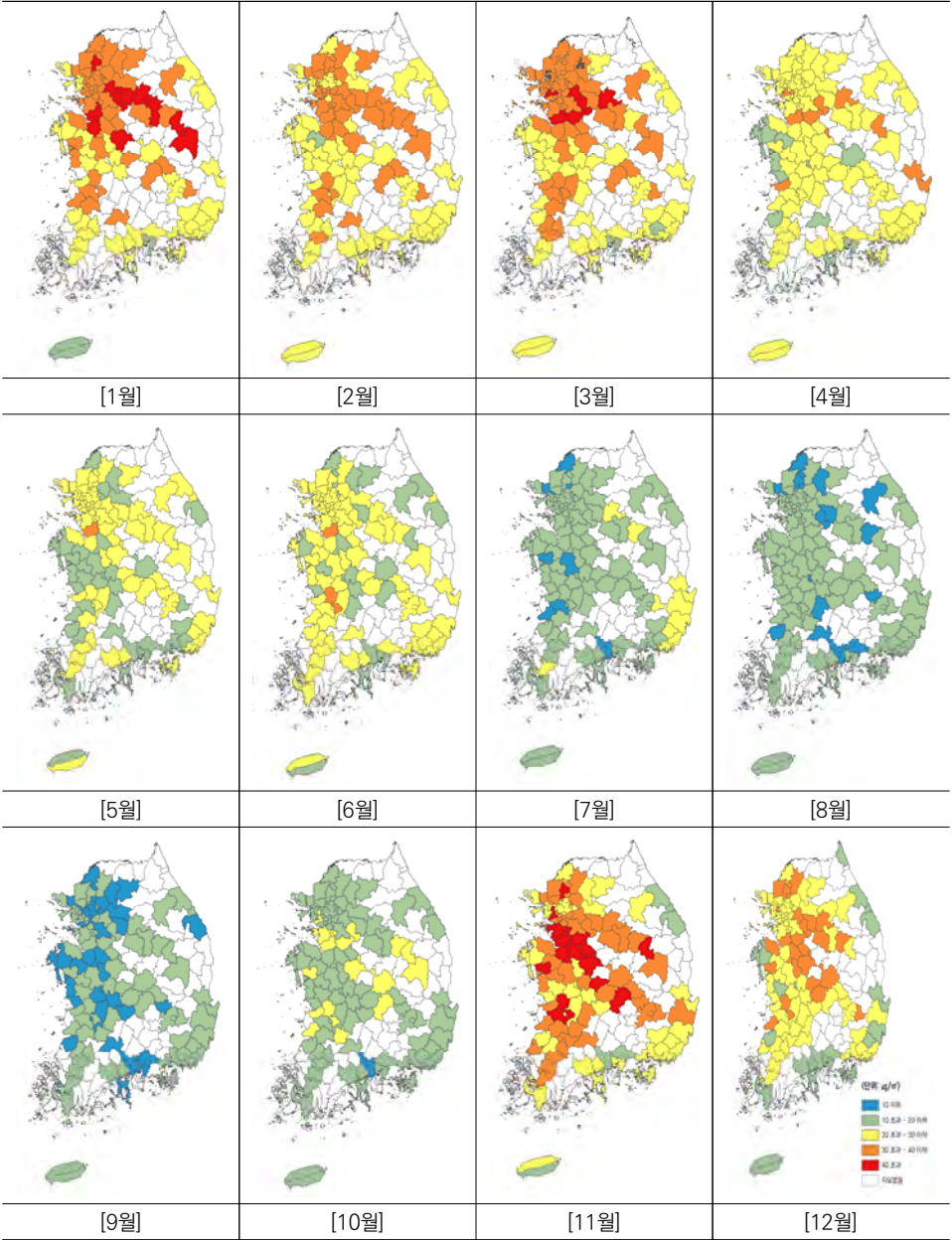


자료: 주현수(2018, p.16) 자료를 국립환경과학원(2018, p.257-262)의 자료를 활용하여 저자 보완

PM2.5의 시·공간적 분포 특징은 다음과 같다. 2018년 월평균 초미세먼지 농도는 상대적으로 여름철(7~9월)보다 겨울철(11~3월)이 높으며, 지역별로는 수도권과 수도권의 인근지역이 비수도권 지역보다 높았다(<그림 3-7> 참조). 이는 수도권에 에너지 산업 연소, 제조업 연소, 경제 활동, 인구 밀도, 교통량, 토지이용의 측면에서 대기오염물질 배출량이 많기 때문인 것으로 추정된다.

5) 2015년부터 PM2.5 측정이 시작되었으나, 당해 년도 매월 측정된 측정소 수가 적고 이후 신규 추가된 측정소 수가 많음. 따라서 비교적 자료가 안정적으로 관리되기 시작한 2016년의 도시대기 측정망 기초지자체별 PM2.5 연평균 농도 자료를 사용하였고, 유효측정비율(75%) 미만인 값은 분석에서 제외함.

그림 3-7 | 2018년 지역별 월평균 초미세먼지(PM2.5) 농도



* 참고: 지도의 범례는 2018년 12월 지도와 동일

자료: 본 연구의 저자가 작성하였으나, '지도로 보는 국토'(국토연구원, 2019b)의 자료로 활용됨.

나아가 국토의 서측이 동측보다 초미세먼지 농도가 높음을 알 수 있다. 그 원인으로 산업·경제적 측면, 계절풍 및 지형적인 요인을 들 수 있다. 우리나라에서는 서해 연안 인근에 미세먼지 배출원이 될 수 있는 다수의 화력발전소 및 산업단지가 입지하고 있으며, 북풍, 북서풍, 편서풍이 탁월한 겨울철·봄철에 중국 등 주변국에서 미세먼지가 유입될 수 있다. 지형적으로는 태백산맥에 의한 미세먼지 분산이 지연될 수도 있다.

따라서 2002년 이후 국내 미세먼지의 배출량이 감소함에도 불구하고, 겨울철, 봄철에 미세먼지 농도가 증가하고 있어, 계절별로 각기 다른 정책을 추진해야 한다. 나아가 국토 공간상에서 미세먼지 농도의 분포가 서고동저인 현상과 수도권과 비수도권 중 수도권이 미세먼지 농도가 높은 원인을 밝히는 보다 심도 있는 연구가 요구된다.

3. 정부의 미세먼지 대책

정부는 미세먼지에 대응하여, 2017년 ‘미세먼지 관리 종합대책’과 2018년 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’을 제정하였으며, 2018년 ‘비상·상시 미세먼지 관리 강화대책’을 마련하였다.

‘미세먼지 관리 종합대책’은 종전의 수도권 및 대도시 중심의 관리 지역을 전국으로 확대하고, 개별적인 오염관리에서 통합적인 관리체계로 전환을 추진하였다(관계부처 합동, 2017, p. 3). 미세먼지 문제가 대도시 및 산업도시 문제가 아니라 전국적인 문제로 인식되기 시작하였다. 이에 국가 차원에서 2022년까지 국내 배출량을 30% 감축한다는 목표를 설정하고, 발전, 산업, 수송, 생활 부문에서의 배출량 감축을 계획하였다. 또한, 중국 등 주변국과의 협력, 민감계층 보호 및 과학적인 관리 기반 마련과 같은 추진과제를 제시하였다.

「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」은 미세먼지 배출을 저감하고, 대기오염 물질로부터 국민의 건강을 지키며, 대기환경 개선을 위해 2018년에 제정되었다(법제처, 2019)(〈그림 3-8〉참고). 정부는 5년마다 미세먼지 관리 종합계획을 수립하고, 시·도

지사는 시행계획을 수립토록 하여 중장기적 관점에서 미세먼지 대책 방안을 제시하도록 하며, 그 외에도 미세먼지특별대책위원회를 설치하고, 미세먼지 관련 정보를 관리하기 위해 국가미세먼지정보센터를 설치·운영토록 하고 있다. 공간적인 관점에서는 미세먼지 집중관리구역을 지정하고, 수목 식재 및 공원 조성사업을 실시할 수 있도록 하여, 배출원 관리뿐만 아니라 쾌적한 도시 공간 조성에 관한 내용도 담고 있다.

그림 3-8 | 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」의 주요 내용

비상저감조치	고농도 미세먼지가 예상될 경우, 시도지사는 자동차운행 제한 배출시설 가동시간 변경, 휴업 권고 등 시행(민간에도 적용)
미세먼지 간이 측정기 인증	성능인증제 시행으로 등급 부여, 미인증제품 제작 및 수입 금지
미세먼지관리 종합계획	정부는 5년마다 종합계획 수립, 시도지사는 구체적 시행계획 수립
미세먼지 특별대책위원회	국무총리 및 민간인 2명을 공동위원장으로 하는 총리직속 위원회 설치, 종합계획 및 시행계획 심의
국가미세먼지 정보센터	미세먼지 배출량 정보 수집 및 분석, 정책효과 분석
과태료 기준	비상저감조치, (배출시설 및 공사장) 미이행 및 간이측정기 성능인증 자료 제출 위반시 200만원, 비상저감조치 운행제한 미이행시 10만원 이하 부과

자료: 박종순 외(2019, p.7)

2018년 11월 정부는 ‘비상·상시 미세먼지 관리 강화대책’을 발표하고, ‘고농도 미세먼지 비상저감조치’ 및 ‘상시 미세먼지 추가 저감 방안’을 발표하였다(관계부처 합동, 2018, p.3). 고농도 미세먼지에 대응하기 위하여, 도로청소, 차량 2부제 등 예비저감 조치를 실시하고, 경유차 감축, 대중교통망 확충 등 상시적인 미세먼지 저감 방안을 제시했으며, 도심 열섬효과를 완화하기 위해 옥상 녹화를 실시하고, 훼손된 자연지역을 복원하여 미세먼지 저감을 꾀하고 있다.

이러한 미세먼지 대응 정책을 추진하기 위해서 정부는 상당한 재정을 투입하고 있다(국회예산정책처, 2019; 국토연구원, 2019a). 2016년 약 0.9조원, 2017년 약 1.1조원, 2018년 약 1.6조원, 2019년 약 2.0조원의 예산을 편성하였다(국회예산정책처, 2019, p.27). 이는 매해 약 20% 이상 증가한 수치이며, 2019년에는 약 3.4조원을

추가로 편성하였다(국회예산정책처, 2019, p. 27).

2019년 추경 기준으로 부처별 예산을 살펴보면, 약 3.4조원 중 환경부가 예산의 62.3%, 산업통상자원부가 18.6%, 국토교통부가 3.8%, 산림청이 3.7%, 과학기술정보통신부가 3.3%의 비중으로 사업을 수행하고 있다(국회예산정책처, 2019, p. 28). 분야별로는 국내 배출량 감축이 91.3%(약 3.11조)로 가장 높은 비중을 보이고, 민간계층보호가 5.5%(약 0.18조), 정책기반 마련이 2.5%(약 0.08조)의 비중을 보이고 있다(국회예산정책처, 2019, p. 28). 따라서 미세먼지 대응을 위해 다양한 사업을 다수의 부처에서 수행하고 있지만, 사업이 주로 국내 배출량 감축에 집중되고 있음을 알 수 있다.

정리하면, 배출원 관리와 주변국과의 협력에 대한 정부의 정책적인 의지는 충분히 반영되고 있으나, 광역 및 도시차원에서 바람길 조성과 같은 미세먼지 대응 정책은 부족해 보인다. 공간관리 측면에서의 미세먼지 감축 목표량이 불분명하고, 예산 배정도 충분하지 않음을 알 수 있다.

4. 사례 지역 미세먼지 농도현황 및 대책

본 연구의 대상지역은 세종시로 정하였다. 세종시의 기후는 겨울철엔 북서계절풍이 우세하고 여름철엔 남서풍이 우세하다. 지형적으로는 분지에 위치하고 있어 대기오염 물질이 정체될 수 있는 가능성이 높다. 평균풍속은 2015년도 기준, 1.5m/s로 대기 중 오염물질의 확산 속도가 낮다(이윤희, 2017).

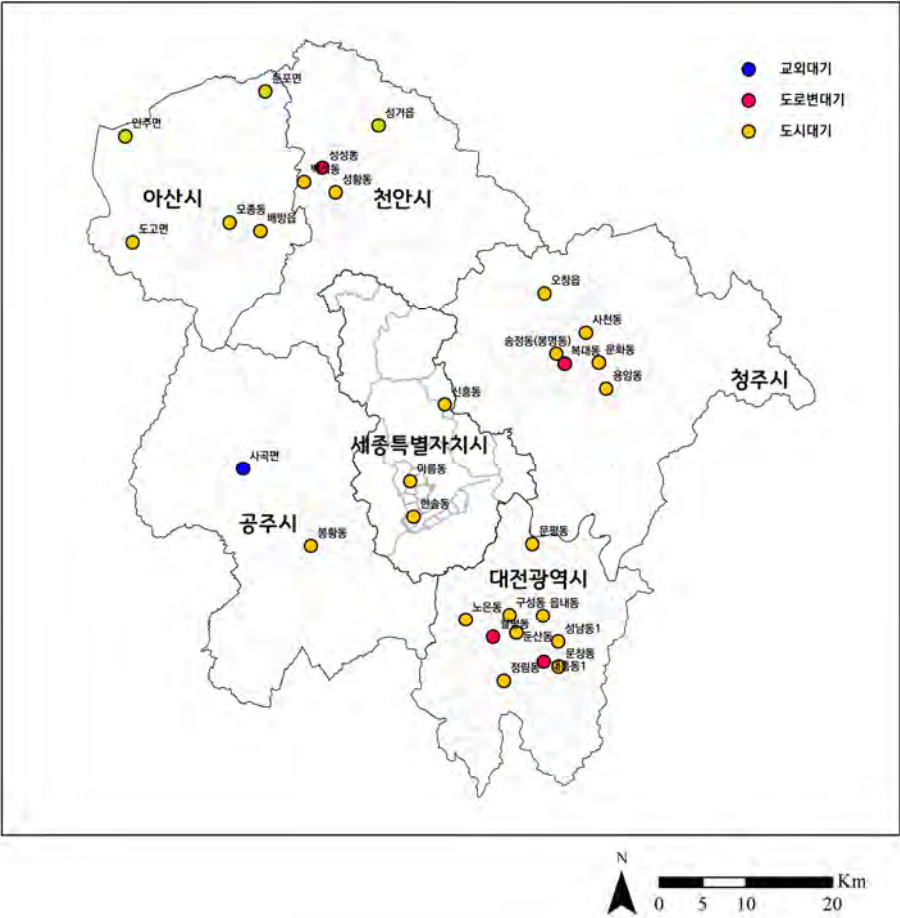
1997년부터 2006년까지 최근 10년간 세종 지역의 안개 발생 일수를 보면 연평균 44.8일로 인근 대전(19.6일)과 청주(26.4일)와 비해 2배가량 높다⁶⁾(국민일보, 2016). 세종시 인구는 출범대비 15만 명이 증가하여 2019년 8월 기준 약 34만 명이 거주하고 있다. 2030년까지 인구 80만 명을 목표로 하고 있어 미세먼지에 대한 대책이 필요하다(세종특별자치시, 2014). 개발이 예정되어 있는 나대지에서 비산하는 미세먼

6) 전국 평균인 37일보다 7일 가량, 충청권 평균 39일 보다는 5일 가량 안개가 많이 발생함

지가 높은 비중을 차지하며, 자동차 등록대수도 증가하고 있어 이에 대한 대책 마련도 필요하다.

사례 지역인 세종시 및 인근 지역에는 총 31개의 측정소가 위치하고 있다(〈그림 3-9〉, 〈표 3-3〉 참조). 세종시에는 3개의 측정소, 청주시에는 6개소, 천안시에는 4개소, 아산시에는 5개소, 공주시는 2개소, 대전광역시에는 10개소가 위치하고 있다.

그림 3-9 | 세종시 인근 측정소 현황



자료: 저자 작성

표 3-3 | 사례지역 인근 미세먼지 측정망 위치

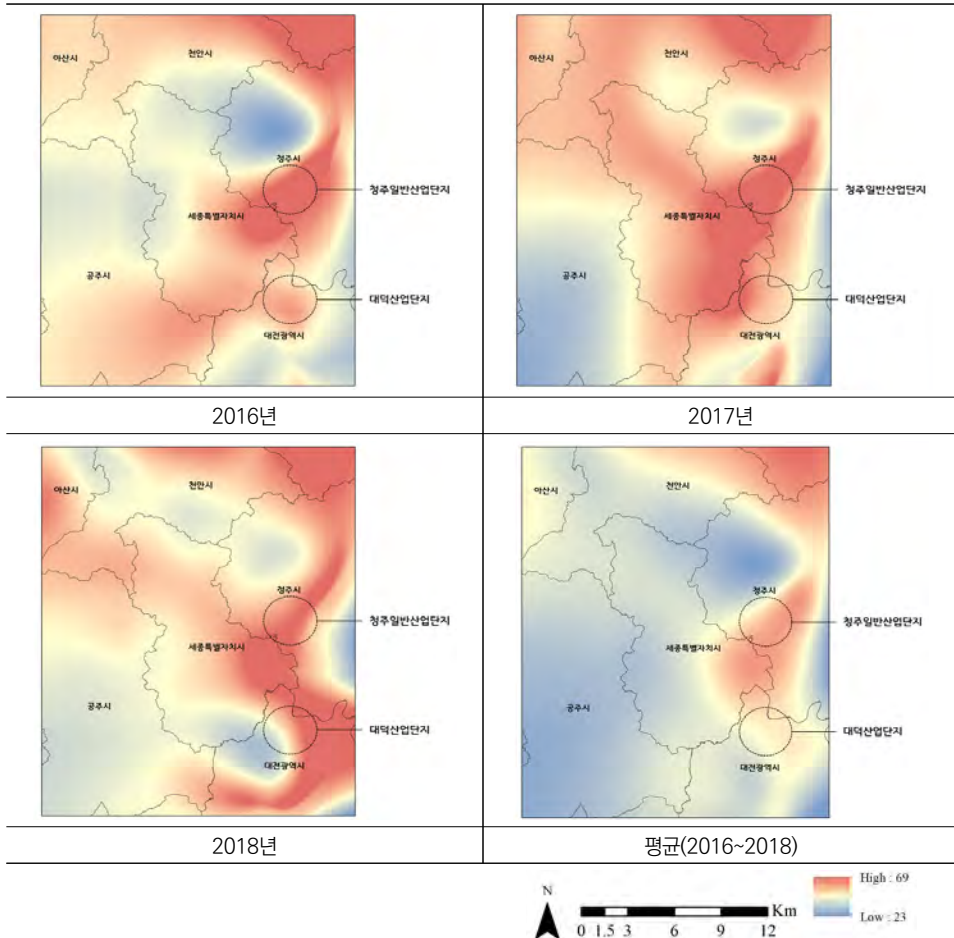
지역	측정소 위치
세종시	신흥동, 아름동, 한솔동
청주시	송정동, 복대동, 사천동(내덕동), 문화동, 용암동, 오창읍
천안시	성성동, 성황동, 백석동, 성거읍
아산시	모종동, 배방읍, 도고면, 둔포면, 인주면
공주시	봉황동, 사곡면
대전시	읍내동, 월평동, 문평동, 문창동, 대흥동, 구성동, 노은동, 성남동, 정림동, 둔산동

자료: 저자 작성

미세먼지 PM_{2.5}의 공간적 분포를 파악하기 위하여 공간자료의 보간(Interpolation)을 실시하였다. 미세먼지 관측망 지점자료를 활용하여 공간분포로 변환하기 위하여 스플라인(Spline) 알고리즘을 활용하였다. 다양한 보간법 중 특정지점의 영향을 최소화하고 대기의 흐름에 따른 연속적인 미세먼지 농도의 공간적 분포도를 작성하기 위하여 스플라인 알고리즘을 선정하였다. 소프트웨어로는 ArcMap 10.6.1을 활용하였으며, 가중 인자(Weight Factor)는 0.01, 영향권 고려 지점수(Number of Point)는 12를 주어 미세먼지 분포 지도를 작성하였다.

최근 3년간 연평균 미세먼지 농도의 공간분포를 분석한 결과(〈그림 3-10〉 참조), 2016년의 연평균 미세먼지 농도가 가장 높은 것으로 나타났다. 연평균 미세먼지 농도는 청주 및 대전지역의 산업단지에서 높게 나타났다. 그러나 녹지 및 하천 등 자연지역에서의 미세먼지 농도는 시가지지역보다 낮게 나타나 이들 지역에서 차고 신선한 공기를 유입할 수 있는 방안을 마련하는 것이 필요하다.

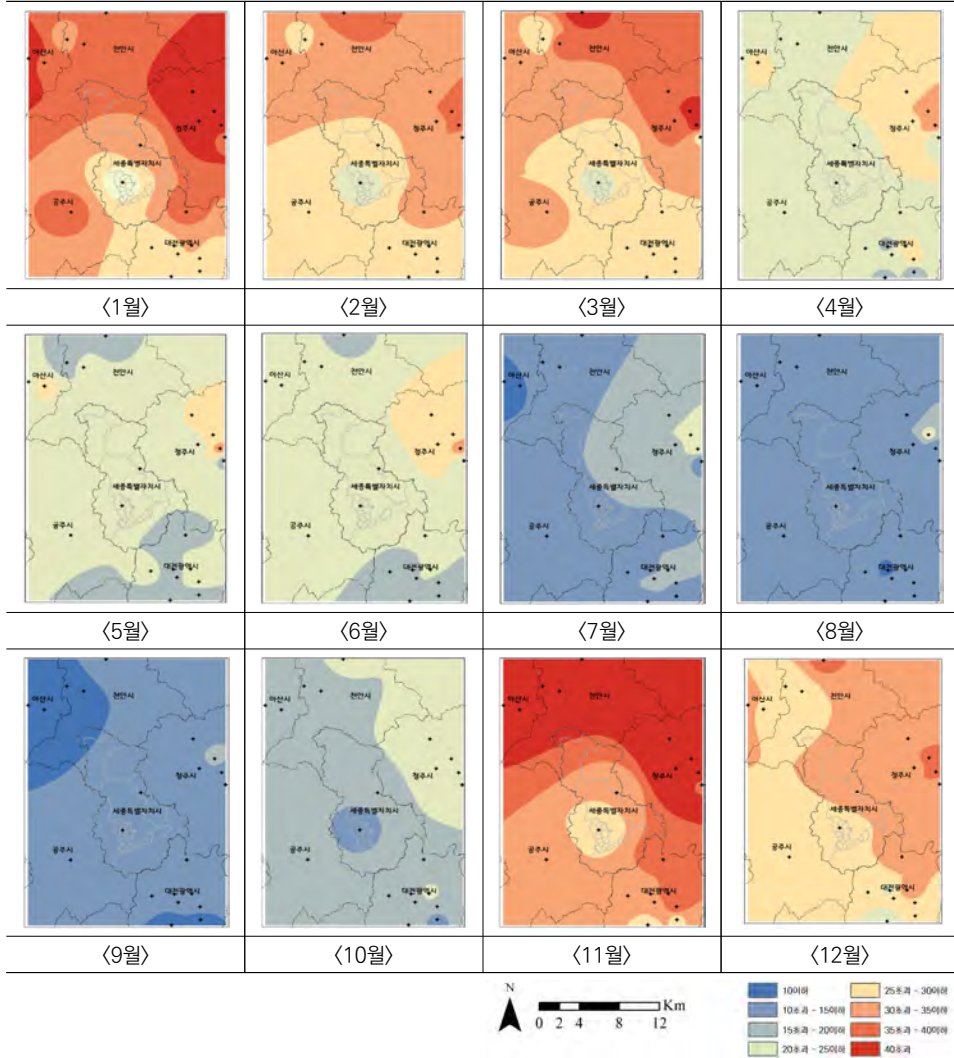
그림 3-10 | 세종시 주변지역의 연평균 미세먼지(PM10)



자료: 국립환경과학원(2017, 2018, 2019a)의 자료를 활용하여 저자 작성

세종시의 2018년 월평균 초미세먼지 농도는 여름철(7~10월)보다 겨울철(1~3월, 11~12월)이 높다. 지역별로는 건설지역인 행복도시의 미세먼지 농도가 주변 지역보다 낮은 것을 알 수 있다(<그림 3-11> 참조).

그림 3-11 | 2018년 세종시 월평균 초미세먼지(PM2.5) 농도 추이(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



자료: 국립환경과학원(2019a)의 자료를 활용하여 저자 작성

세종시는 신도시가 조성 중에 있어 건설 현장의 비산먼지가 미세먼지 발생에 주요 원인으로 작용하고 있다(이윤희 외, 2017). 미세먼지(PM10) 배출의 가장 큰 비중을 차지하는 것은 비산먼지(76%)이며, 비도로이용(8%)⁷⁾, 생물성연소(7%), 도로이동

(6%)의 순으로 나타났으며, PM2.5의 경우는 비산먼지(36%)이며, 비도로이용(23%), 생물성연소(16%), 도로이동(15%)의 순이다(국립환경과학원, 2019c).

세종시 및 행정중심복합도시건설청은 미세먼지 저감을 위해 대기오염 모니터링을 강화하고, 공사장 등에서 발생하는 비산먼지를 저감시키고 있다. 현재 세종시 내 고정 측정망은 3개소에 불과하여 대기측정망을 확충해야 하며, 공한지를 최소화하고 수목 식재를 통해 비산먼지를 낮추어야 한다.

2019년 현재 행복도시 6-3 생활권의 지구단위계획이 수립되고 있으며, 지구단위계획 수립 시 바람길이 적용된다면 친환경적인 신도시를 건설할 수 있을 것이다. 또한, 바람길에 순응하는 가로망 체계를 구축하고, 산능선과 하천을 연결하는 바람길을 고려하여 공원녹지축이 설정되는 것이 바람직할 것이다. 건축물 단위에서는 패시브 및 저에너지 소비 건축을 통해 실내 공기질을 개선할 수 있다.

5. 분석 결과 종합

지금까지 국내 및 사례 지역을 대상으로 미세먼지 현황과 정부의 정책 방향을 살펴 보았다.

국내에서 미세먼지(PM10)와 관련하여 2000년대 초반에는 연평균기준을 초과하였으나 점차 개선되어 현재는 정체 단계에 있다. 2012년 전후로 배출량과 미세먼지 농도 간의 상관관계가 낮아지는 경향이 있으며, 이는 미세먼지 문제를 해결하기 위해서는 단순히 배출원의 배출량을 관리하는 정책만으로는 부족하다는 것을 의미한다.

PM2.5 농도는 2015년부터 측정하기 시작하였으며, 소폭 증가 추세에 있다. 2018년 월평균 초미세먼지 농도는 여름철보다 겨울철이 높고, 수도권이 비수도권 지역보다 높으며, 국토의 서측이 동측보다 높았다.

이러한 미세먼지를 저감시키기 위해 정부는 배출원 관리, 주변국과의 협력 등 다양

7) 건설 장비 등이 여기에 해당됨.

한 정책을 추진 중에 있다. 그러나 바람길과 같은 도시 공간 구조의 개선에 대한 내용은 간략한 서술에 그치고 있다. 바람길을 통한 미세먼지 저감에 대한 구체적인 목표치가 제시되지 않았으며, 관련 예산도 충분치 않아 상대적으로 소홀이 다루어지고 있다.

사례 지역인 세종시의 미세먼지는 여름철 보다 겨울철에 농도가 높으며, 미세먼지(PM10)의 배출원은 비산먼지, 비도로이용, 생물성연소, 도로이동의 순이다. 따라서 미세먼지를 저감시키기 위해서는 공사장 등에서 발생하는 비산먼지를 억제하고, 신도시의 경우에는 바람길을 조성하여 도시 내부의 미세먼지를 분산시킬 필요가 있다.

지금까지 국내 및 사례 지역의 미세먼지 특성을 살펴보고, 배출원 규제 중심의 정책의 한계를 살펴보았다. 공간적인 측면에서도 미세먼지를 저감시킬 수 있는 정책이 마련되어야 하며, 이어지는 4장에서는 이에 대한 과학적인 근거를 제시하기 위해 모의실험을 통해 바람길의 유용성을 살펴본다.



CHAPTER 4

미세먼지 저감을 위한 바람길 모의실험 분석

- 1. 모의실험 모형 | 83
- 2. 바람길 수치모의 분석과 결과 | 89
- 3. 시사점과 과제 | 114

미세먼지 저감을 위한 바람길 모의실험 분석

도시공간 상에서 미세먼지를 관리하기 위해서는 바람길이 조성되어야 한다. 본 장에서는 모의실험을 통해 도시의 바람환경을 분석하고, 이를 통해 바람길의 유용성을 분석하였다. 바람길과 대기질 모의실험에 사용되는 모델을 비교한 후, CFD(Computational Fluid Dynamics) 모의실험을 통해 세종시를 대상으로 탁월풍의 현황, 도시 건설 전후의 탁월풍의 변화, 일몰 후 차고 신선한 바람의 생성과 이동, 지구단위 차원에서 바람과 미세먼지 농도와의 상관성을 밝혔다. 도시계획 수립 시 미세먼지 농도 저감을 위해 바람의 흐름을 고려해야 한다는 시사점을 도출하였고, 관련하여 도시계획 수립 시 고려해야 할 사항을 파악하였다.

1. 모의실험 모형

1) CFD 모델

(1) 개요

전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 모델은 아르곤 국립 연구소에 서 미국 에너지부로부터 연구 지원을 받아 1995년에 개발되었다. 3차원 모델로 지리정보시스템으로부터 건물과 지형 정보를 제공받아 전산유체역학 모델의 지표 입력 자료로 사용함으로써, 실제 지형과 건물 정보를 반영한다(김재진·백종진, 2005; 권아름·김재진, 2015). 실내 대기 흐름과 대기질 평가, 건물 규모(도시 협곡, 단일 장애물 등)의 흐름장과 오염물질 확산평가, 도시규모의 흐름장과 오염물질 분산을 평가한다.

3차원 비정수, 비회전, 비압축 대기 흐름계를 고려하고 지구 자전에 의한 전향력의 효과를 배제시킨다. CFD의 대표적인 모델로는 KLAM_21, ENVI-met, CFD-Fluent, PALM, CFD-PKNU, CFD_SNU_NIMR 등이 있다(<표 4-1> 참조).

(2) 장단점

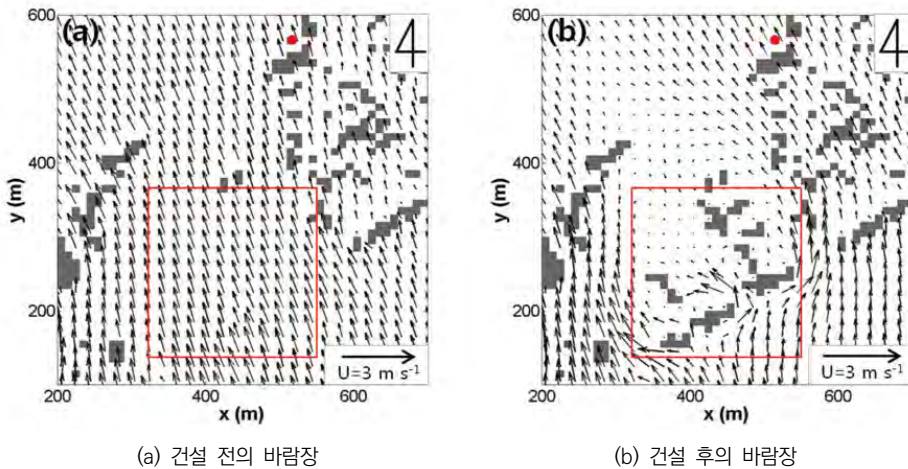
모형의 수평해상도가 수 m ~ 수 십 m 내외여서, 도시 내 건물과 지형 특성을 상세하게 고려 가능하고, 지리정보시스템(Geographic Information Systems, GIS)은 지형과 건물 정보를 추출하여 CFD 모델에 맞게 적용이 가능하다. 중규모 기상 모델(WRF, LDAPS)의 결과 자료를 이용한 기상 초기·경계 조건 생성이 가능하고, 대수연직 분포, 먹지수 연직 분포 형태 등 다양하게 설정 가능하다(권아름·김재진, 2015). 그러나 수 m 단위의 건물/지형을 고려하는 CFD 모델은 수치 모의 시간이 다소 오래 걸리며, 수치 도메인 영역이 5km 미만으로 중규모 모델에 비해 좁다.

(3) 국내외 적용사례

CFD 모델은 건축물 건설이 바람환경을 어떻게 변화시켰는지 파악하는데 사용할 수 있다. <그림 4-1>는 GIS 자료를 활용한 아파트 단지 건설 전·후의 지상 바람 분석이다. 아파트 건설 후 풍향이 복잡하게 변화하고 풍속이 감소한 것을 보여준다.

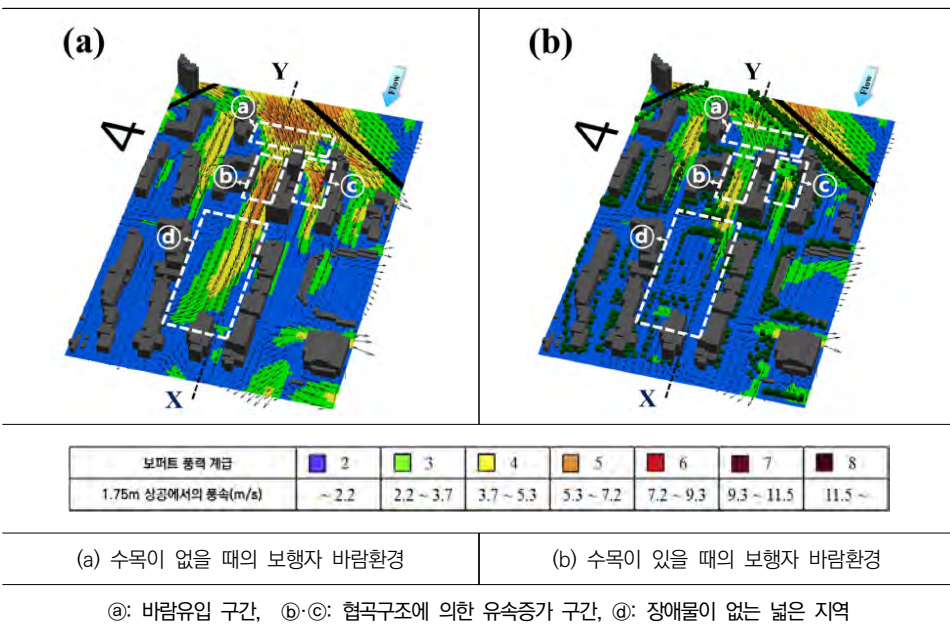
<그림 4-2>는 CFD-Tree 모델을 이용하여 도시지역 수목이 보행자 높이 바람환경에 미치는 영향을 분석한 것이다. 수목의 식재로 인해 풍향과 풍속이 감소되는 지역이 발생한 것을 보여준다(Kang *et al.*, 2017).

그림 4-1 | 건설 전(좌) · 후(우)의 지표바람 벡터장



자료: 권아름·김재진(2015, p.71)

그림 4-2 | 수목 유무에 따른 보행자 높이에서 바람환경 및 바람 벡터장



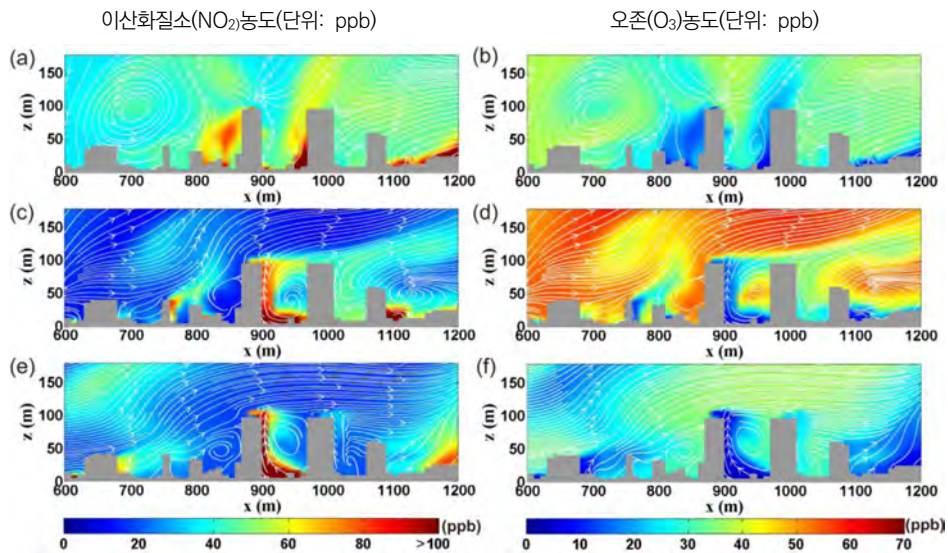
자료: Kang *et al.*,(2017, p.216)

2) CTL 모형

(1) 개요

CTL(ConTroL experiment) 모형은 확산이론에 의거하여, 현재 대기환경영향평가 및 대기질 정책 수립에 사용되며, 기상조건에 대한 시간별 평균적인 대기오염물질의 수송을 계산한다. 일반적으로 대기질 예측에 사용하는 CTL 모형은 종류와 특징이 다양하기 때문에, 대상 지역과 조건에 따라 적절한 모형을 선택해야 한다. 대표적인 모델로는 가우시안 확산 모델, CALPUFF, ENVI-MET, AERMOD, AERMET, CFD-Fluent, CFD-PKNU 등이 있다.

그림 4-3 | 도시지역에서의 시간대에 따른 대기오염물질 농도 변화



(2) 장단점

수 m 규모의 지형과 건물 정보를 고려한 대기오염 물질의 확산 계산이 가능하며, 공간적으로 매우 상세한 대기질 정보를 제공할 수 있다. 도시 규모 내에서 나타나는 복잡한 흐름에 의한 오염물질의 확산을 평가할 수 있으며, 기상장 계산에 비해 짧은 시간이 소요된다. CMAQ(Community multiscale air quality) 등 중규모 대기질 모형과의 접합을 통해 대기질 예측결과를 초기·경계 입력자료로 사용하여, 보다 현실적인 대기질 예측이 가능하다. 그러나, 대기 중에서 발생하는 광화학 반응 및 강수 시 나타나는 습식 침적효과를 고려하지 못한다.

(3) 국내외 적용사례

도시 지역의 건물에 의한 대기질 농도 분포를 분석하거나(<그림 4-3> 참조), 건설 현장에서 방풍벽의 설치가 비산먼지 확산에 미치는 영향을 정량적으로 분석한 사례가 있다.

3) 검토 결과

도시지역은 건물과 인공구조물에 의해 매우 복잡하고 비선형적인 대기 흐름이 발생하는 공간이다. 또한 다양한 오염원이 복잡하게 혼재되어 분포하고 있기 때문에 좁은 지역에서 대기오염물질은 매우 비균질적으로 분포한다. 도시 규모에서 국지적 기상장과 농도장을 예측하기 위해서는 건물 규모를 분해할 수 있는 고해상도 모델이 필요하다.

비균질적인 대기질 모의를 위해 높은 공간 해상도를 가지는 확산 모형이 필요하다. 만약 분석 물질에 대한 정보를 반영한다면, 장기·단기적 평균 농도 계산이 가능하다. 또한 건물과 지형 정보를 반영한다면, 대기오염에 의해 영향을 받는 공간적 범위를 파악할 수 있다.

CFD 모델은 CTL 모델과 비교하여, 복잡한 건물에 의한 영향을 직접적으로 고려하여 흐름과 확산을 계산할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 도시지역에서 탁월풍의 분석,

오염원의 분산을 분석하고, 도시지역 내 건물과 지형을 고려할 수 있는 CFD 모델을 사용하였다(〈표 4-1〉 참조). 야간 시간대의 찬공기의 생성과 유동을 분석하는 데는 CFD 모델의 일종인 KLAM_21을 사용하였다.¹⁾

표 4-1 | CFD 모델과 CTL 모델의 비교

구분	CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델	CTL(ConTroL experiment) 모델
개요	◦ 복잡한 지형과 건물 정보를 고려한 상세 흐름의 모의가 가능한 모형 ◦ 도시규모의 흐름과 환경영향평가에 사용	◦ 확산이론에 의거하여, 현재 대기환경영향평가 및 대기질 정책 수립에 사용 ◦ 기상조건에 대한 시간별 평균적인 대기오염물질의 수송을 계산
장점	◦ 수 m ~ 수 십 m의 해상도를 가지므로 도시지역 내의 건물과 복잡한 지형을 직접적으로 고려 가능 ◦ 중규모 기상모델과의 접합을 통해 보다 현실적인 경계조건 사용 가능	◦ 공간적으로 매우 상세한 대기질 정보를 제공할 수 있음 ◦ 기상장 계산에 비해 짧은 시간이 소요
단점	◦ 계산 시간이 오래 걸림 ◦ 수치 도메인의 크기가 5km 미만으로 제한적임	◦ 광화학 반응 및 강수 시 나타나는 습식 침적효과를 고려하지 못함
국내외 적용 사례	◦ GIS 자료를 활용한 아파트 단지 건설 전·후의 지상 바람 분석 ◦ CFD 모델을 이용한 장보고 과학기지 주변 방풍 펜스 유무에 따른 바람환경 변화 분석 ◦ CFD-Tree 모델을 이용한 도시지역 수목이 보행자 높이 바람환경에 미치는 영향 분석	◦ 건설 현장에서 방풍벽의 설치가 비산 먼지 확산에 미치는 영향을 정량적으로 분석 ◦ 교량건설이 도시지역의 대기환경에 미치는 영향을 평가 ◦ 수목의 식재가 도시지역 내에서 대기오염물질 확산에 미치는 영향 분석
대표적 모형	◦ ENVI-MET, PALM 모형, CFD 모형	◦ CALPUFF, AERMOD, 가우시안 확산모델
시사점	◦ 도시지역은 건물과 인공구조물에 의해 매우 복잡하고 비선형적인 대기 흐름이 발생. 또한 다양한 오염원이 복잡하게 혼재되어 분포하고 있기 때문에 좁은 지역에서 대기질 오염물질은 매우 비균질적으로 분포 ◦ 도시 규모에서 국지적 기상장과 농도장을 예측하기 위해서는 건물 규모를 분해할 수 있는 고해상도 모델이 필요	◦ 도시지역에서 나타나는 비균질적인 대기질 모의를 위해 높은 공간 해상도를 가지는 확산 모형이 필요 ◦ 건물과 지형 정보를 반영하여, 대기오염에 의한 영향 범위 제공 가능

출처: 이종범(2004), 김재진 외(2005), 권아름 외(2015), Kwak *et al.*,(2015), Wang *et al.*,(2017)를 바탕으로 저자 작성

1) KLAM_21은 독일의 기상청에서 개발한 도시 혹은 지역 규모에서 차고 신선한 공기의 흐름을 분석하는 모델임(류지원 외, 2008).
 - 일몰 후 야간 시간대에 지표면의 복사 및 냉각의 과정에서 찬공기의 생성과 유동을 분석할 수 있음.
 - 모델을 구동하기 위해 필요한 자료는 토지피복도, 지형, 건축물의 정보 등임.

2. 바람길 수치모의 분석과 결과

1) 개요

(1) 모의 목적

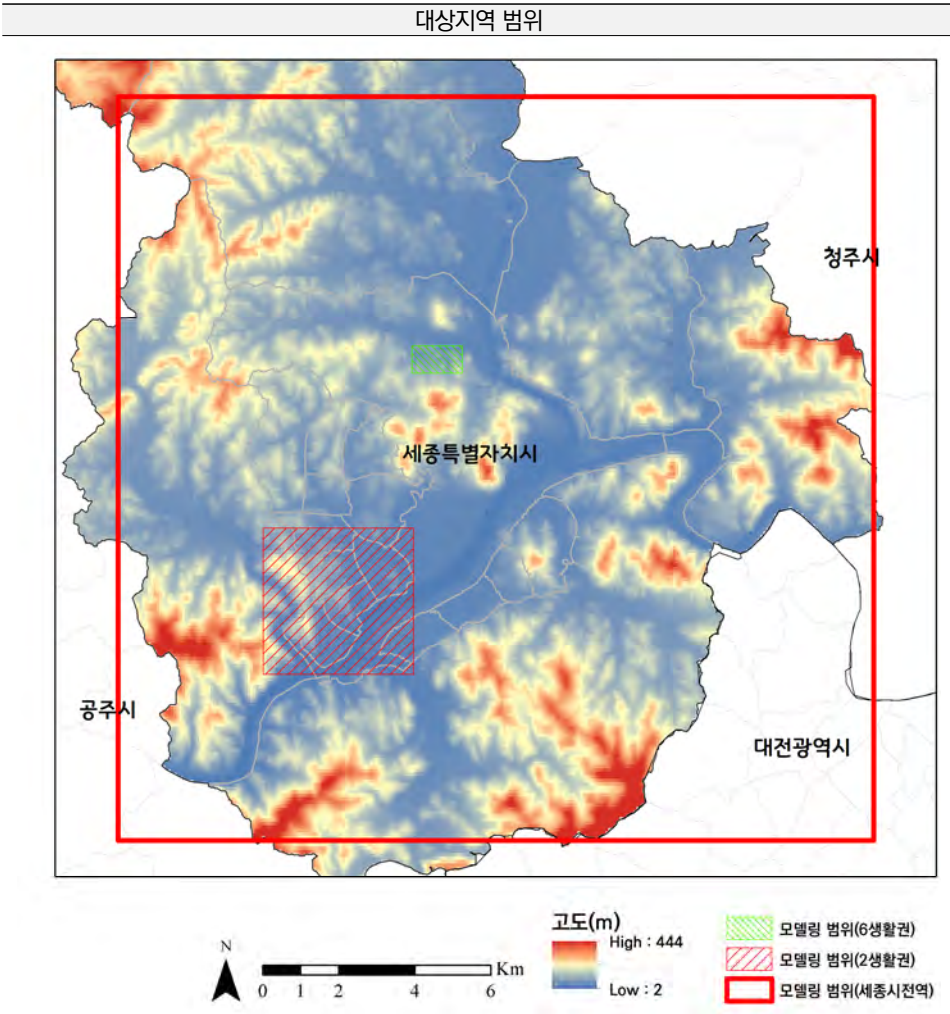
본 연구에서 모의 목적은 (1) 사례 지역인 세종시 내 행복도시(건설지역)를 대상으로 탁월풍의 흐름 파악, (2) 신도시인 세종시 첫마을 조성 전후의 지표 바람환경 변화 분석, (3) 일몰 후 야간 시간대의 찬공기의 생성 및 유동 특성 분석, 그리고 (4) 블록 단위에서 건축물 및 오픈스페이스 배치와 미세먼지 농도의 상관성 분석이다.

(2) 모의 개요 1 : CFD를 활용한 탁월풍 변화 및 미세먼지 농도 분석

CFD를 활용하여 탁월풍의 흐름, 신도시 전과 후의 바람 환경의 변화, 블록 단위에서 건축물의 배치와 미세먼지 농도와의 상관성을 분석한다(<그림 4-4> 참조). 탁월풍의 흐름은 행복도시(건설지역)와 그 인근 지역을 대상으로 하며, 세종시 첫마을(2생활권)을 대상으로 신도시 건설 전과 후의 바람 환경의 변화를 파악한다. 마지막으로 6생활권 내 B1 블록을 대상으로 건축물·오픈스페이스와 미세먼지 농도와의 상관성을 분석한다.

각 대상 공간의 범위 및 크기는 다음과 같다. 행복도시 전역에 대해서는 $18\text{km} \times 18\text{km}$ 의 공간을 $60\text{m} \times 60\text{m} \times 15\text{m}$ (X, Y, Z) 해상도로 모의를 수행한다. 2생활권은 $3\text{km} \times 3\text{km}$ 의 범위를 $10\text{m} \times 10\text{m} \times 5\text{m}$ (X, Y, Z) 해상도로 모의를 실시하며, 6-3생활권 내 B1 블록은 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 의 범위를 $2\text{m} \times 2\text{m} \times 1\text{m}$ (X, Y, Z) 해상도로 모의를 수행한다(<그림 4-4> 참조).

그림 4-4 | 모의 대상지역 공간적 범위



- 위 지도는 모의 대상 지역의 공간적 범위를 보여줌
- '세종시전역'으로 표현한 구역은 세종시 내에 위치한 행복도시(건설지역)와 그 인근 지역을 포함하며, 모의 목적은 도시 내 전반적인 탁월풍의 흐름을 파악하기 위한 것임
 - '2생활권'은 세종시 첫마을이 위치한 곳으로, 신도시 조성 전과 후의 바람 환경의 변화를 분석함
 - '6생활권'은 블록 단위에서 건축물 및 오픈스페이스의 배치와 미세먼지 농도의 상관성을 분석한 공간적 범위임

자료: 저자 작성

(3) 모의 개요 2 : KLAM_21을 활용한 찬공기 흐름 분석²⁾

CFD 모델의 일종인 KLAM_21을 활용하여 야간 시간대의 찬공기 흐름을 파악한다. 공간적 범위는 <그림 4-4>의 ‘세종시전역’과 유사하며, 행복도시(건설지역)의 찬공기 흐름에 영향을 줄 수 있는 도심과 그 주변지역을 포함한다. 18.0km×15.6km의 공간을 12m×12m(X, Y) 해상도로 모의를 수행한다.

2) 세종시 바람환경 및 수치모의 결과

(1) 세종시 풍향 빈도 분석

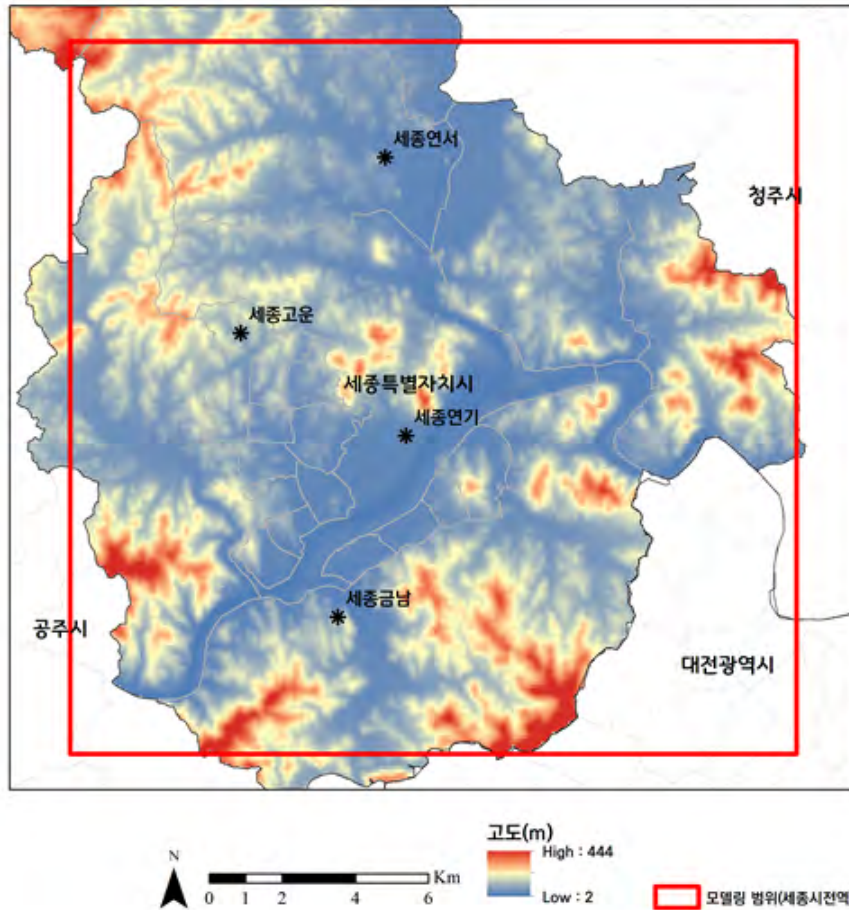
세종시 주풍의 방향을 파악하기 위해 무인자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS)로 수집된 정보를 분석하였다. 세종시 주변에는 ‘세종금남’, ‘세종연서’, ‘세종연기’, ‘세종고운’ 등 총 4개의 무인자동기상관측장비 지점이 위치하고 있다(<그림 4-5> 참조).

2017년 관측을 시작한 ‘세종고운’을 제외하고, 2012년 관측을 시작한 ‘세종연기’는 최근 7년간, ‘세종금남’과 ‘세종연서’의 경우는 최근 10년간 관측지점의 풍향을 분석하였다. 그 결과, ‘세종금남’은 서남서풍(10.71%³⁾), 남풍(9.74%), 서풍(8.83%) 순으로, ‘세종연서’는 북북서풍(14.35%), 북풍(10.40%), 서북서풍(10.13%) 순으로 흐름이 우세하였다. ‘세종연기’는 북풍(11.59%), 북북서풍(10.78%), 북북동풍(9.41%) 순으로 우세하였다. 전체 평균으로는, 북북서풍(10.03%), 북풍(9.86%), 서남서풍(8.71%)이 탁월하게 나타났다(<그림 4-6> 참조).

2) KLAM_21 모의는 계명대학교 정응호 교수 및 권순범(생태조경학 석사)의 도움을 받아 수행함.

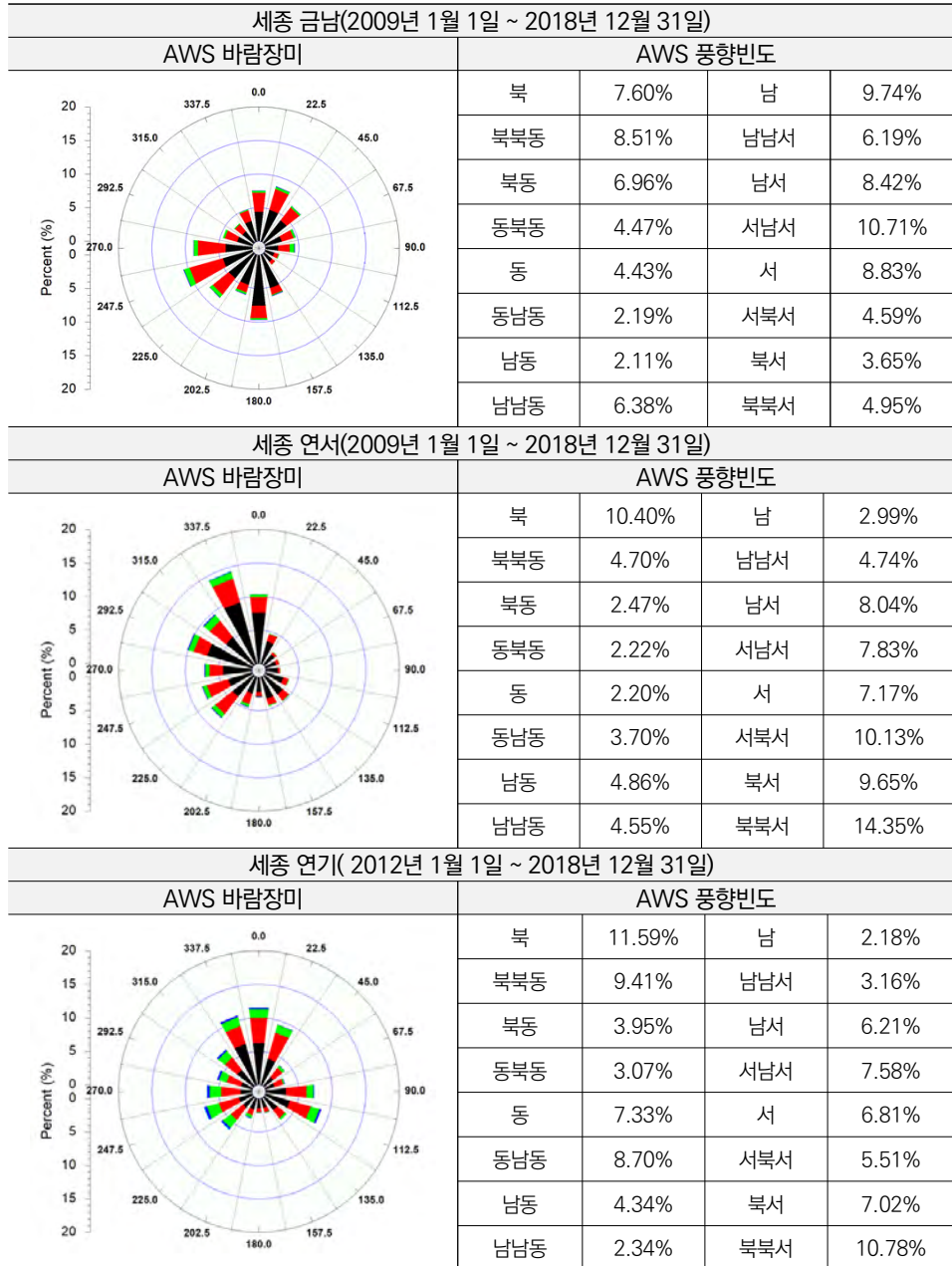
3) 모든 풍향의 빈도를 100%로 보았을 때, 서남서풍이 10.71%를 차지하고 있다는 의미임.

그림 4-5 | 사례 지역 내 풍향 관측지점 위치



자료: 저자 작성

그림 4-6 | 사례 지역 내 AWS 기반 바람장미도



자료: 저자 작성

(2) 행복도시(건설지역) 탁월풍의 흐름

행복도시(건설지역) 탁월풍의 흐름을 파악하기 위해 다음과 같은 수치실험을 설계하였다(〈표 4-2〉 참조). 먼저, ‘세종금남’ AWS에서의 10년(2009~2018년)간 관측한 풍속에 대하여 산술평균한 수치를 ‘평균 풍속’으로 설정하였다. 이 ‘평균 풍속’을 풍속에 대한 초기·유입조건에 대한 연직분포에서 중립 대기 상태를 가정하고 ‘참고 풍속’으로 사용하였다. 이후 90° 간격으로 4방위의 풍향에 대해 수치 모의를 수행하였다.

탁월풍의 모의 결과, 유입되는 바람의 흐름은 주로 금강을 따라서 비교적 강한 흐름이 나타났다. 또한, 해발고도가 높은 지역에 비해 상대적으로 지형이 평탄한 2생활권 인근과 문주리 등에서 풍속이 강하게 나타났다(〈그림 4-7〉 참조).

16방위 풍향을 고려한 평균 풍속도 비교적 평탄한 지형이 위치하고 있는 문주리 및 금강을 따라 강하게 나타났다. 유입류 대비 2생활권에서 6%⁴⁾, 5생활권에서 4%(영역 평균)로 풍속의 감소율을 보여주고 있다(〈그림 4-8〉 참조). 다만, 수평해상도가 60m 이므로 본 모의에서는 건물의 효과가 반영되지 못한 한계가 있다.

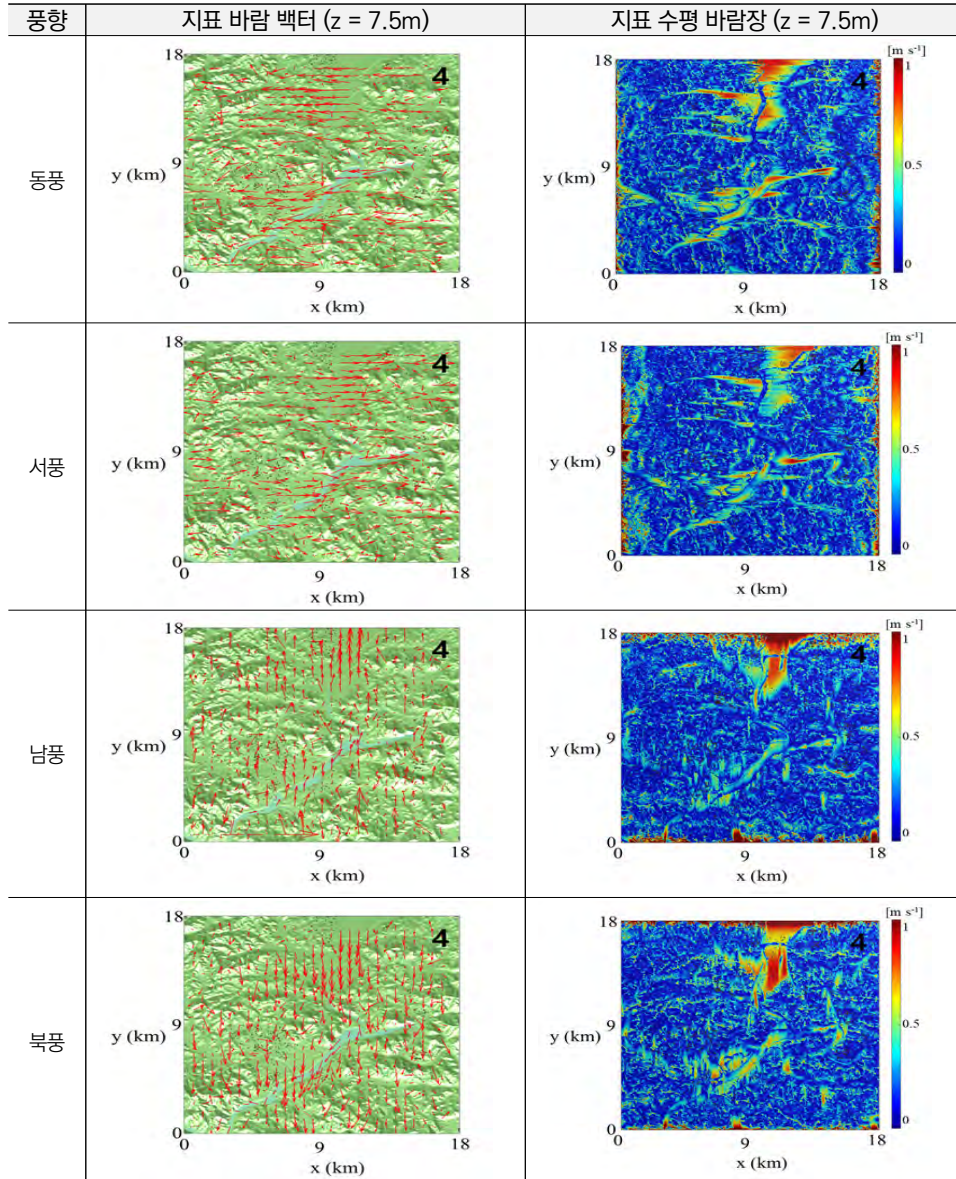
표 4-2 | 행복도시(건설지역) 전역 모델링을 위한 수치실험 설계

모형 개요	
수치도면 크기	18 km x 18 km x 2.25 km
격자 수	300 x 300 x 150
격자 간격 (x, y, z)	60m x 60m x 15m
모의시간	7200s
시간간격	1.0s
Ubd	2.25m s ⁻¹ (경계층 높이=1000 m)
유입 풍향	4방위

자료: 저자 작성

4) 만약, 1m s⁻¹의 바람이 외부에서 유입되었다면, 0.94m s⁻¹로 풍속이 감소된다는 것을 의미함.

그림 4-7 | 행복도시 바람 벡터 및 바람장

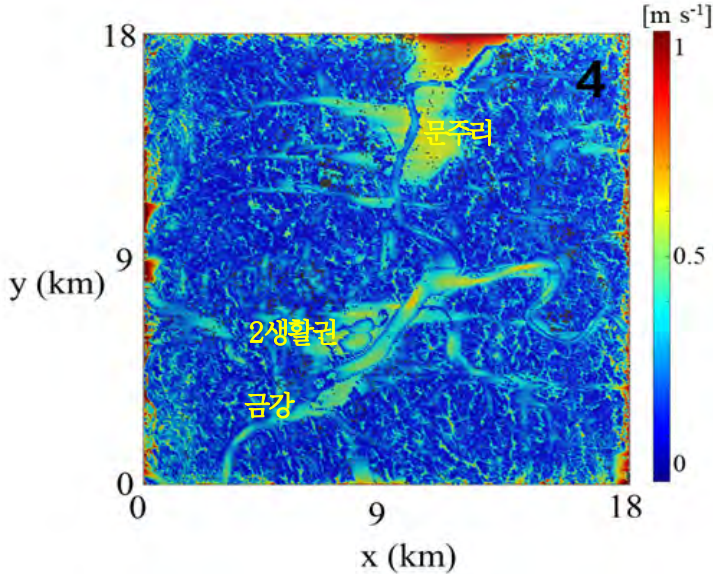


○ 위 그림은 행복도시(건설지역) 전반의 바람의 방향 및 풍속을 나타냄

- 좌측 그림: 지형의 영향에 의해 벡터의 방향(풍향)과 길이(풍속)가 변화함을 알 수 있음
- 우측 그림: 지표면이 비교적 평탄한 금강, 문주리 등에서 평균 풍속이 강함을 알 수 있음

자료: 저자 작성

그림 4-8 | 행복도시 전역의 풍향을 고려한 지표 평균 풍속장



○ 위 그림에서 비교적 평탄한 금강, 문주리 등에서 풍속이 강함을 알 수 있음
자료: 저자 작성

(3) 행복도시 첫마을 조성 前과 後의 비교

행복도시 첫마을 조성 전과 후 풍향과 풍속의 변화를 파악하기 위해 다음과 같은 수치실험을 설계하였다. 세종금남 AWS(496)의 10년(2009~2018년)간의 ‘평균 풍속’을 ‘참고 풍속’으로 가정하고, 유입 풍속의 연직 분포를 모의하였다. 이후 4방위 풍향(90° 간격)에 대해 수치 모의를 수행하였다(〈표 4-3〉 참조). 첫마을 조성 전의 경우는 건축물이 없는 상태로, 첫마을 조성 후는 2015년 기준의 건축물 자료를 활용하였다.

수치실험 결과, 행복도시 첫마을 개발 전에는 풍향은 유입되는 흐름과 유사한 방향의 흐름이 나타났다. 대상 지역의 남서쪽에 위치한 장군산 부근에서 지형의 영향으로 다소 흐름이 왜곡되었으나, 수치 도면의 중앙에서는 흐름이 강하게 나타났다(〈그림 4-9〉 참조).

첫마을 개발 후에는 건축물의 영향으로 1단지 퍼스트 프라임아파트 부근에서 유입

흐름에 비해 풍향변화가 크게 나타났다. 2-1, 2-2, 2-4 생활권에서는 유입되는 바람의 방향과 거의 동일한 흐름이 모의되었으며, 수치 도면 중앙에서의 풍속은 가장자리에 비해 낮게 나타났다(<그림 4-10> 참조).

표 4-3 | 행복도시 첫마을 모델링을 위한 수치실험 설계

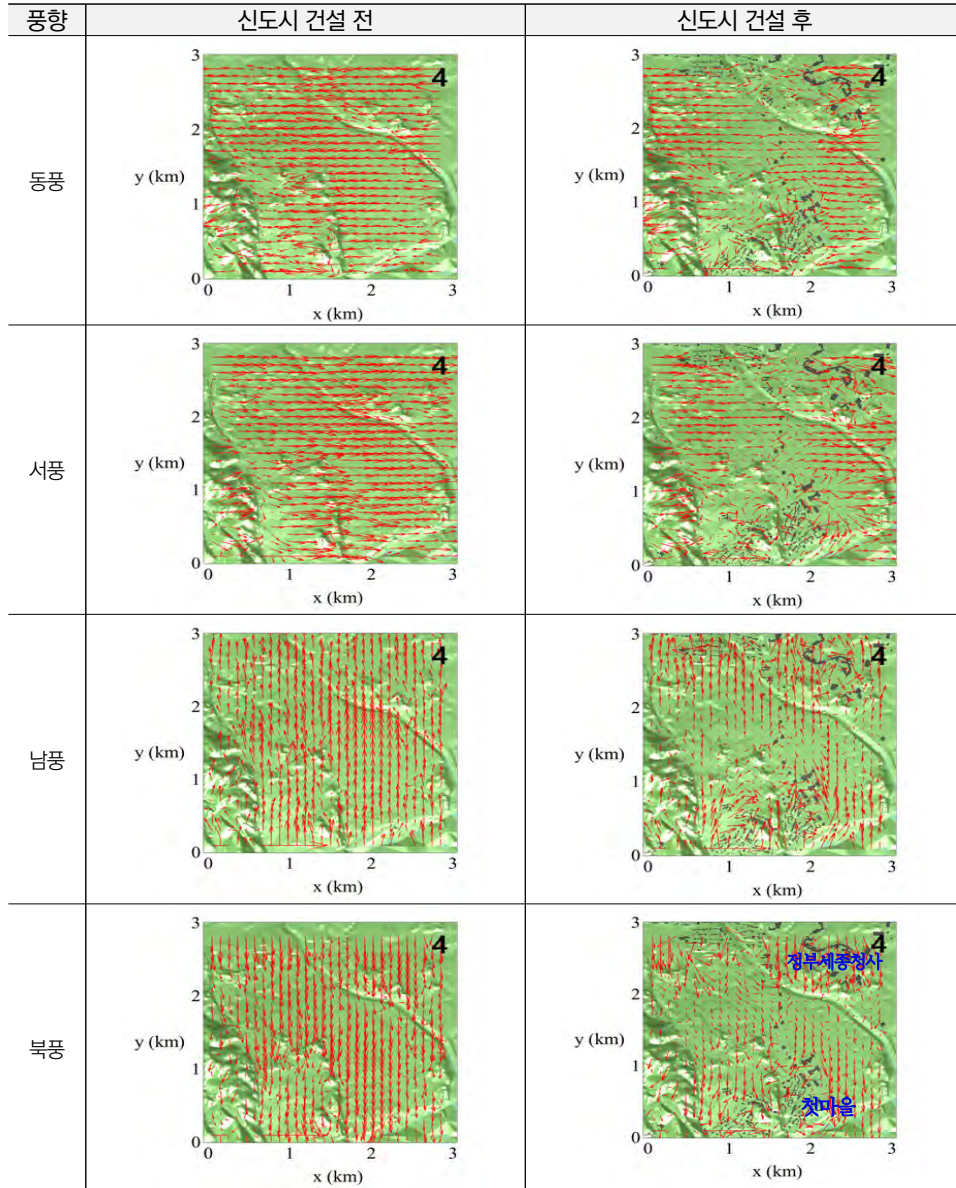
모형 개요	
도메인 크기	3km x 3km x 0.75km
격자 수	300 x 300 x 150
격자 간격 (x, y, z)	10 m x 10 m x 5 m
모의시간	3600 s
시간간격	0.5 s
Ubd	2.25 m s ⁻¹ (경계층 높이=1000m)
유입 풍향	4방위
건물 조건	신도시(첫마을) 건설 전 & 후

자료: 저자 작성

풍향을 고려한 ‘평균 풍속’에 있어서도, 첫마을 개발 전에는 수치도면의 북쪽(정부세종청사)과 중앙(2-4 생활권)에서 흐름이 강하게 모의되었고, 풍향을 고려한 평균 풍속은 유입류 대비 2-1 생활권에서 15%, 2-2 생활권에서 17%, 2-4 생활권에서 16%로 나타났다(<그림 4-10> 참조).

첫마을 개발 후에는 2-4 생활권에서 상대적으로 흐름이 강하게 나타났고, 비교적 높은 건물이 많이 위치하는 첫마을 인근, 2-2 생활권, 정부세종청사 주변지역에서는 흐름이 약하게 나타났다. 풍향을 고려한 평균 풍속은 유입류 대비 2-1 생활권에서 14%, 2-2 생활권에서 9%, 2-4 생활권에서 13%로 나타나, 2-2 생활권에서 풍속 감소가 두드러졌다(<그림 4-10> 참조). 즉, 신도시 개발로 바람의 세기가 약해진 것을 알 수 있다.

그림 4-9 | 행복도시 첫마을 조성 前과 後의 바람 벡터 비교



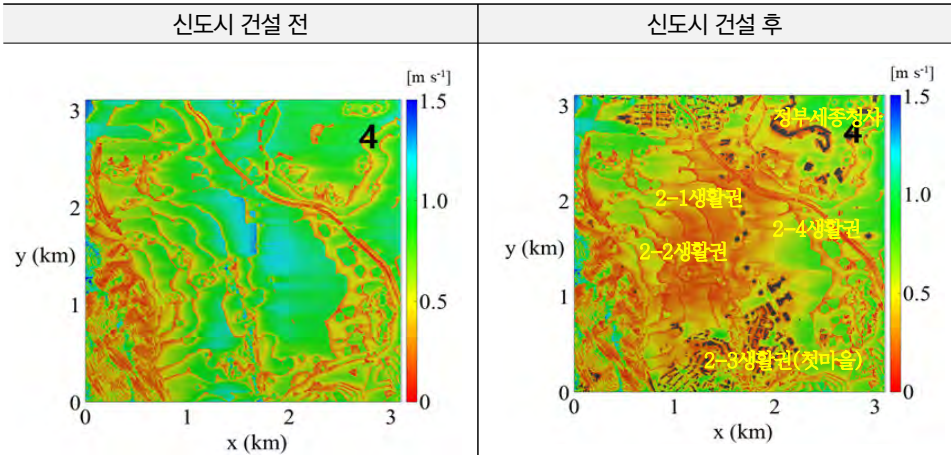
○ 위 그림은 첫마을 조성 전과 後의 풍향과 풍속을 나타냄

- 좌측 그림(건설 전): 지형이 풍향과 풍속에 영향을 주나, 전반적으로 큰 변화가 없음

- 우측 그림(건설 후): 전반적으로 풍속이 감소하며, 특히 첫마을의 풍향이 복잡하게 변함

자료: 저자 작성

그림 4-10 | 행복도시 첫마을 조성 전후 풍향을 고려한 ‘평균 풍속’ 모의 결과



○ 위 그림은 세종시 첫마을 건설 전과 후의 ‘평균 풍속’을 모의한 결과임

- 좌측 그림: 세종시 첫마을 조성 전으로 2생활권의 평균 풍속이 주변 산지보다 강함을 알 수 있음
- 우측 그림: 세종시 첫마을 조성 후에서는 건축물이 건립된 2생활권과 정부세종청사 주변 지역의 풍속이 상대적으로 약해진 것을 알 수 있음

자료: 저자 작성

그림 4-11 | 행복도시 찬공기 흐름도 작성을 위한 수치실험 설계

찬공기 흐름 모의 개요		대상지 위치
격자 크기	12m × 12m	
대상지 가로 길이	18km(1500cell)	
대상지 세로 길이	15.6km(1300cell)	
대상지 면적	280.8km ²	
찬공기 기준 높이	10m	
토지피복 분류	- 2015년에 작성된 환경부 토지피복 세분류 41개를 재분류하여 사용(환경부, 2015) - 2019년 현 시점에서의 건축물 코드를 추가(행정안전부, 2019a) - 최종적으로 총 20개 코드 활용	<출처: 네이버 지도>(https://map.naver.com/) 2019년 9월 10일 접근 가능
모의실험 시간	8시간(초기 15분 이후, 30분 단위)	

자료: 저자 작성

(4) 행복도시(건설지역) 찬공기의 흐름

세종시 내 행복도시(건설지역)를 대상으로 일몰 후 찬공기 흐름도를 파악하기 위해 모의실험을 수행하였다. 모의에 필요한 토지피복도는 2015년 환경부의 자료를 활용하였다(환경부, 2015).

보다 구체적으로, 환경부의 토지피복 세분류는 41개로 구성되어 있으며, 여기에 건축물 코드를 추가하여 최종적으로 20개 코드로 재분류하였다. 모의실험은 8시간 동안 진행하였으며, 초기에는 15분 간격으로, 이후에는 30분 단위로 모의를 수행하였다(<그림 4-11> 참조).

<그림 4-12>는 일몰 후 15분과 1시간이 지난 시점으로, 산지에서 차고 신선한 공기가 형성되고, 이러한 청정한 공기가 계곡과 하천을 따라 내려와 그 층이 두꺼워지고 있다.

일몰 후 5시간과 8시간이 지난 찬공기의 유동 및 높이는 <그림 4-13>에서 볼 수 있다. 산지의 찬공기의 층이 낮아지고 있는 반면, 저지대인 하천과 계곡의 찬공기 층은 두꺼워지고 있다.

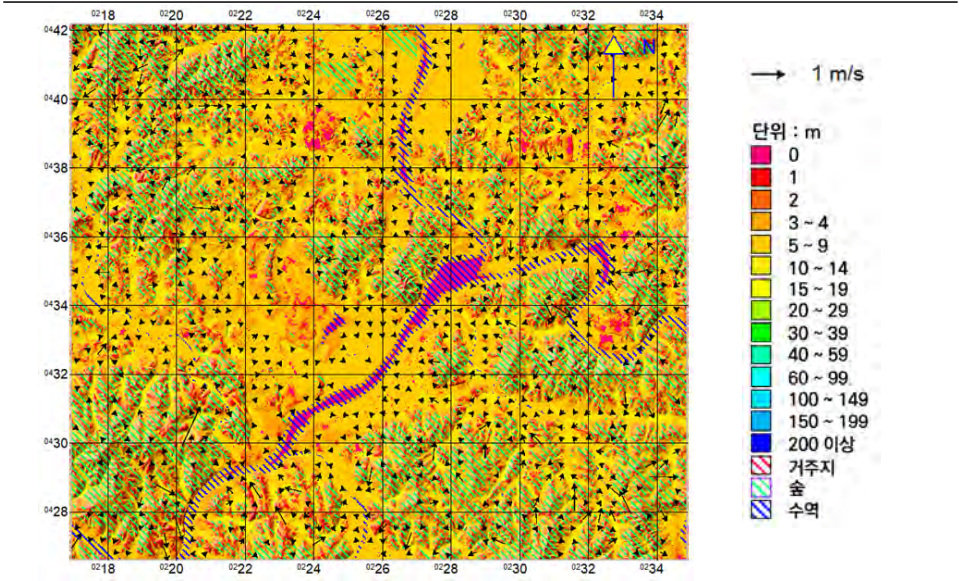
<그림 4-14>는 일몰 후 15분과 1시간이 지난 시점의 찬공기 유속 및 방향을 보여주고 있다. 15분의 경과 시간에서는 산지에서 차고 신선한 공기가 생성되며, 아직까지 풍속이 미약한 단계이나, 1시간이 경과되면 산지의 찬공기가 중력방향으로 급하게 이동하고 있다.

일몰 후 5시간이 지나면 일부 높은 산지를 제외하고는 전반적으로 풍속이 저하되며, 8시간이 지나면 바람의 흐름이 거의 발생하지 않는 단계로 진입한다(<그림 4-15> 참조).

이를 종합적으로 검토하면, 세종시 남측에 위치한 서대산과 장군면 일대에서 상당한 양의 찬공기가 만들어지고, 여기서 만들어진 청정한 공기가 금강 등 저지대로 이동하는 것으로 나타났다.

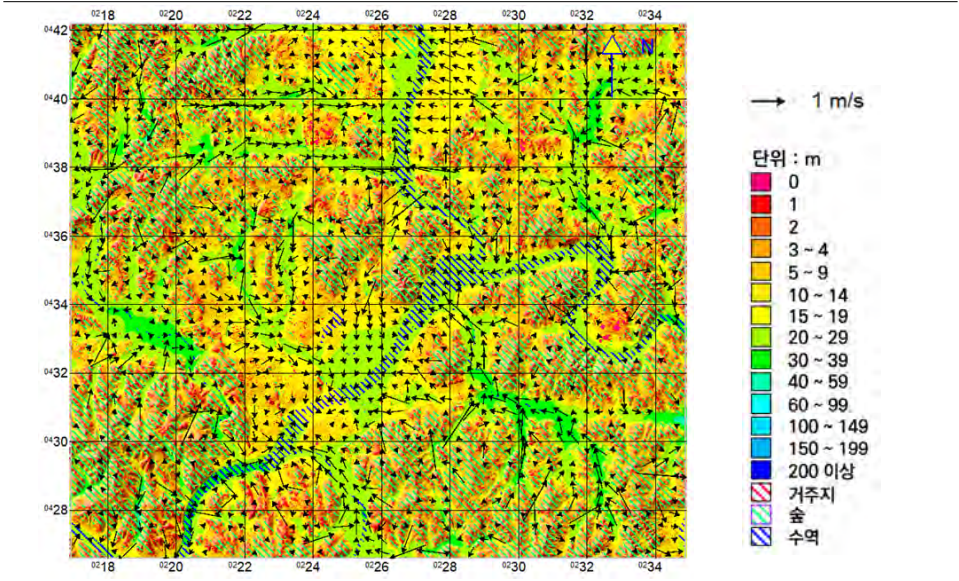
세종시의 경우 도시개발이 급격하게 진행되고 있어, 시간이 지남에 따라 바람유동은 더욱 악화될 것으로 예상되며, 세종시 바람권역 설정이나 바람길 계획 등을 통하여 적절한 바람유동 관리가 필요할 것으로 판단된다.

그림 4-12 | 행복도시 찬공기 유동 및 높이(1)



〈 일몰 후 15분 이후 〉

- 산지에서 차고 신선한 공기가 형성되는 시기임

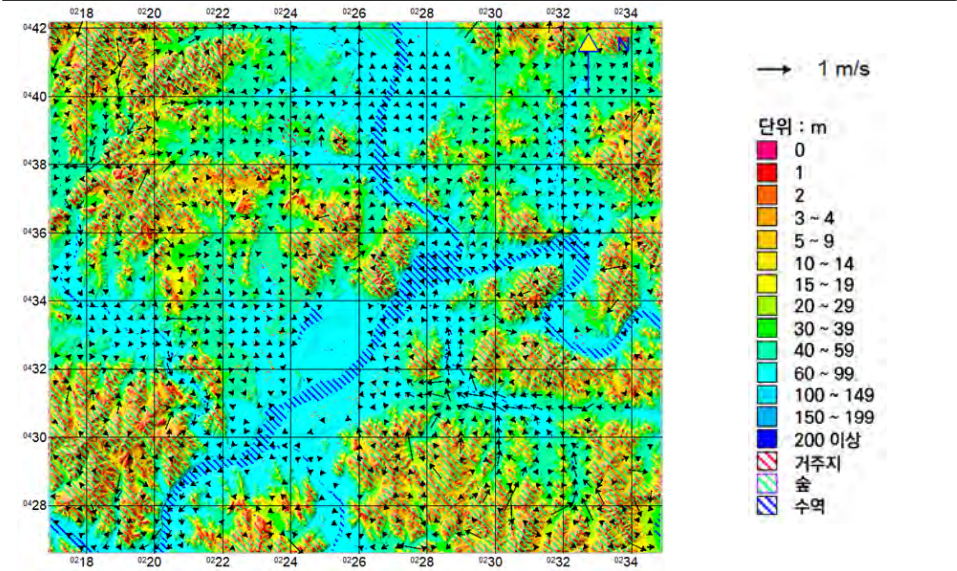


〈 일몰 후 1시간 이후 〉

- 산지에서 형성된 차고 신선한 공기가 계곡과 하천을 따라 내려오며 두꺼워짐

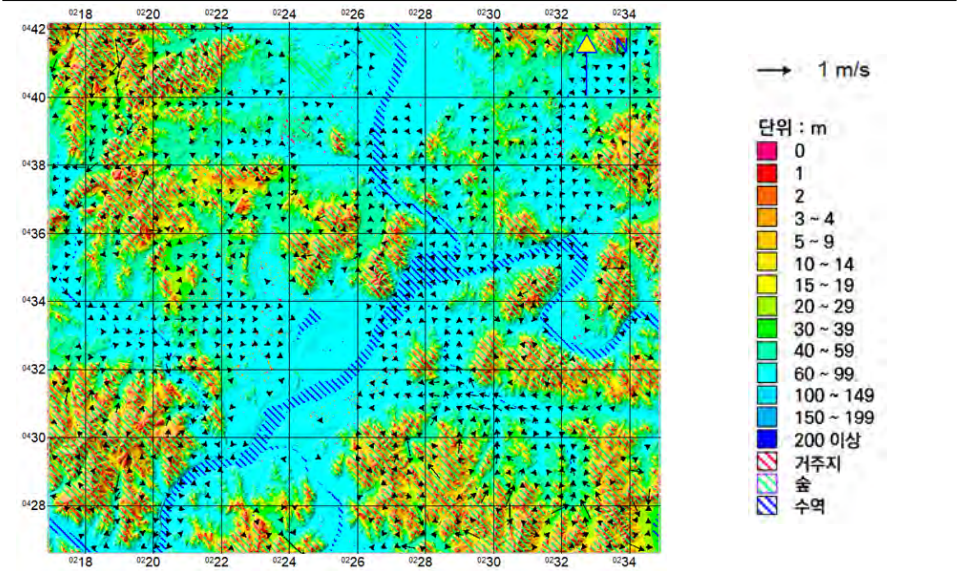
자료: 저자 작성

그림 4-13 | 행복도시 찬 공기 유동 및 높이(2)



〈 일몰 후 5시간 이후 〉

- 산지의 찬공기는 층이 높아지는 반면 저지대인 하천과 계곡의 찬공기 층은 두꺼워지고 있음

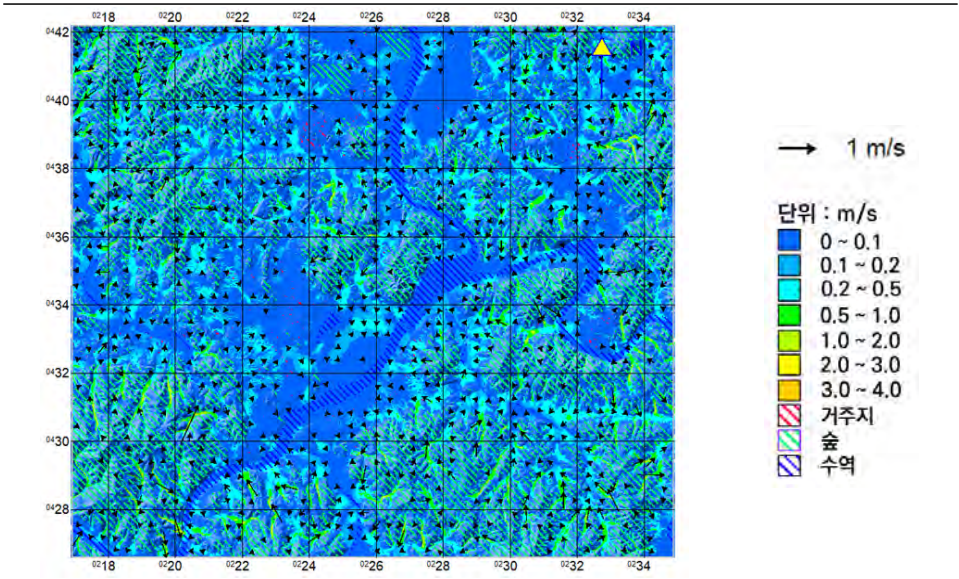


〈 일몰 후 8시간 이후 〉

- 산지에서 형성된 대부분의 차고 신선한 공기가 계곡과 하천에 쌓임

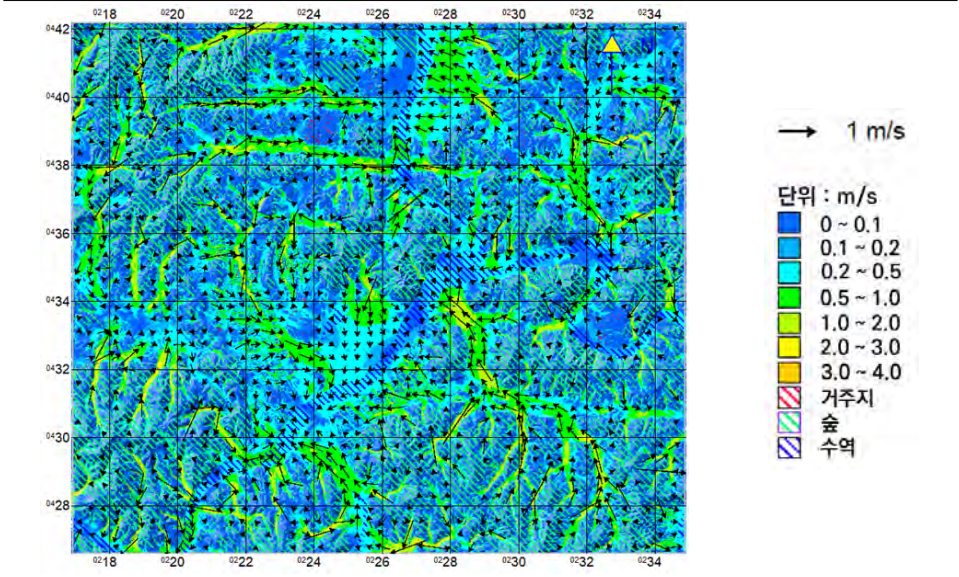
자료: 저자 작성

그림 4-14 | 행복도시 찬공기 유속 및 방향(1)



〈 일몰 후 15분 이후 〉

- 산지에서 차고 신선한 공기가 생성되는 시점으로 아직까지 풍속이 미약한 단계임

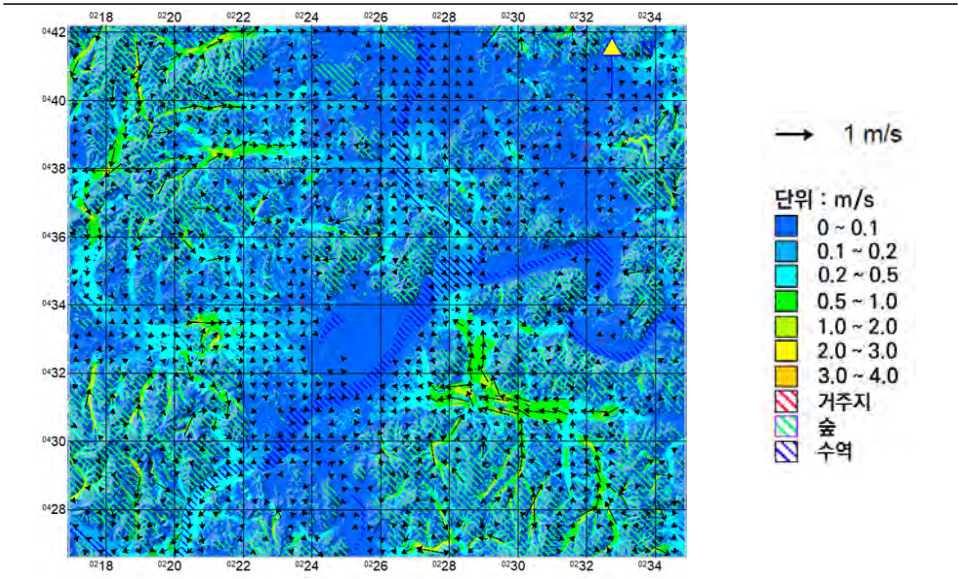


〈 일몰 후 1시간 이후 〉

- 산지의 찬공기가 중력방향으로, 즉 계곡과 하천을 따라 급하게 이동하고 있음

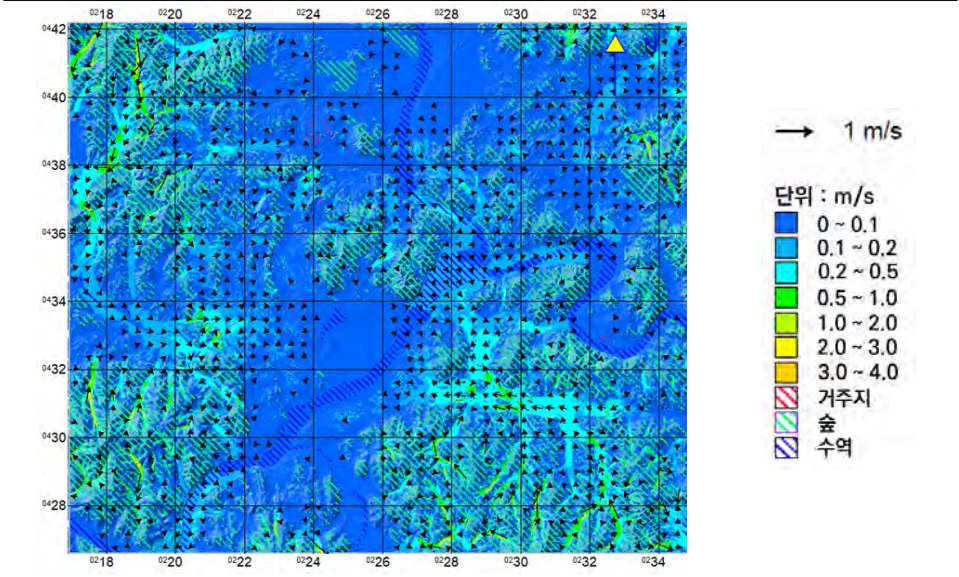
자료: 저자 작성

그림 4-15 | 행복도시 찬공기 유속 및 방향(2)



〈 일몰 후 5시간 이후 〉

- 일부 높은 고도의 산지를 제외하고는 전반적으로 풍속이 저감됨



〈 일몰 후 8시간 이후 〉

- 대상지역 전반적으로 풍속이 안정화 단계에 도달함

자료: 저자 작성

(5) 건축물 배치에 따른 미세먼지 농도 변화

세종시 6-3 생활권 내 B1 블록⁵⁾을 대상으로 건축물 및 오픈스페이스의 배치와 미세먼지 농도와의 상관성을 밝히기 위해 모의실험을 실행하였다(〈그림 4-16〉 참조).

그림 4-16 | 행복도시 6-3 생활권 B1 블록 위치



자료: 행정중심복합도시건설청(2019b, p.5)

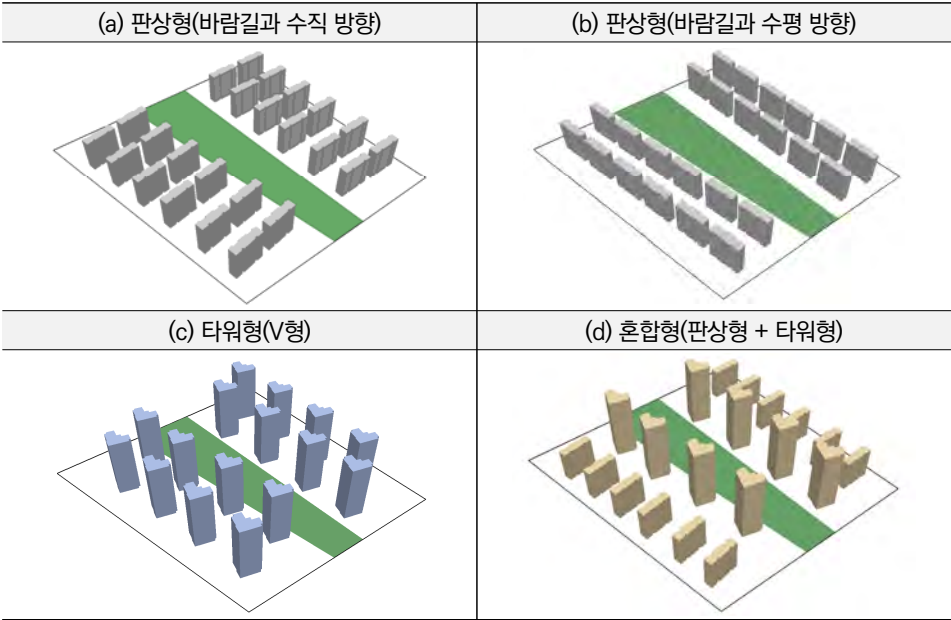
건축 배치 타입은 현행 공동주택 형태와 일조환경 평가 등 관련 연구들을 참조하여 3가지로 유형화하였다. 판상형은 주동을 15층(약 45m) 높이로 설정하여 바람길과 수직 방향, 바람길과 수평 방향으로 배치했다. 타워형은 주동을 30층(약 90m) 높이로 설정하며, 혼합형은 판상형과 타워형을 혼합하여 배치하였다. 주동 배치는 「세종시 건축조례」 제40조(일조 등의 확보를 위한 건축물의 높이 제한) 제3항의 인동거리 규제(1:1)를 준용하였다(법제처, 2019).

녹지축, 바람길, 밀도 등은 주변지역의 토지이용, 세종시 건축 조례 등을 검토한 후

5) 2019년 6월 현재 6-3생활권의 지구단위계획이 수립 중에 있음. 본 연구에서는 바람길을 고려할 경우 적절한 건축물 타입과 배치를 모의실험하는 것으로, 연구의 결과물을 지구단위계획에 반영하기 위한 것이 아님을 밝힘.

다음과 같이 가정하였다. 녹지축은 공원·녹지 등 공공부지와 민간부지 내 공개공지·보행통로 등 바람길 확보에 기여가 가능한 부지를 고려하여 배치하였다. 바람길은 북서측(연서면)에 입지한 녹지지역과 골프장에서 도시지역과 비교하여 미세먼지 농도가 낮은 신선한 바람이 생성 및 유입됨을 가정하였다. 또한, 건축배치는 모의실험을 실시하는 해당 대지의 현재 세대수 기준을 준용하여 동일한 밀도로 설정하였다(약 1,500 세대/약 200%)(<그림 4-17> 참조).

그림 4-17 | 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 건축물 배치 유형 대안



자료: 저자 작성

수치실험 설계에 있어, 배경 농도는 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 유입 농도는 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하여, 현재의 초미세먼지가 ‘매우나쁨’ 수준이며, 바람길과 수평 방향인 서쪽에서 상대적으로 청정한 공기가 3시간 유입되었을 경우 초미세먼지 농도의 공간적 분포를 살펴보았다(<표 4-4> 참조).

표 4-4 | 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 수치실험 설계

대상지역 범위 모형 개요	
도면 크기	500m x 500m x 200m
격자 수	250 x 250 x 200
격자 간격 (x, y, z)	2m x 2m x 1m
바람모의 시간	3600s
바람모의 시간 간격	0.5s
확산모의 시간	10800s
확산모의 시간 간격	1.0s
Ubd	10m s ⁻¹ (경계층 높이=1000m)
유입 풍향	서북서풍(275°)
배경 농도	80μg/m ³
유입 농도	5μg/m ³

자료: 저자 작성

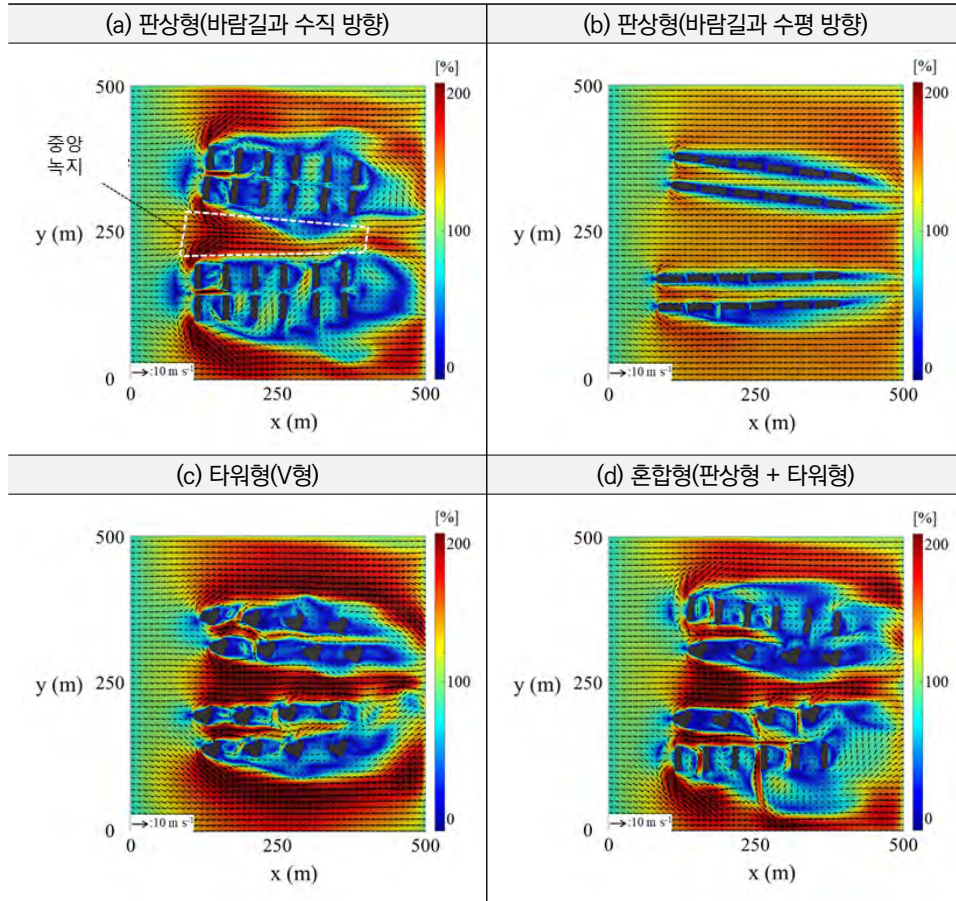
〈그림 4-18〉은 B1 블록에 건축물이 건설되었을 때 지상 0.5m의 위치에서 풍속의 변화를 보여준다. 〈그림 4-18〉의 (a)는 판상형(바람길과 수직 방향)의 바람장의 모습으로, 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 130% 정도 풍속이 증가하고 있다. 그러나 건축물 단지 내부의 풍속은 감소하고 있어, 미세먼지가 분산하는데 불리한 조건임을 추정할 수 있다.

같은 그림의 (b)는 바람길과 수평 방향인 판상형에 대한 모의 결과이다. 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 143% 정도 풍속이 증가하고 있으며, 대기가 정체되어 있는 면적은 상당히 작아, 대기오염물질 분산에 유리할 것으로 예상된다.

같은 그림의 타워형(V형)인 경우 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 170% 정도 풍속이 증가하고 있으나, 여전히 건축물 단지 내부의 풍속은 약해짐을 알 수 있다. 같은 그림 (d)의 혼합형인 경우 중앙녹지(바람길) 지역은 풍속이 유입류 대비 156% 증가하고 있으나, 건축물 단지 내부의 풍속은 상당히 약한 것을 알 수 있다.

결과적으로 풍속의 변화에 따라 미세먼지 분산에 가장 유리한 건축물 배치는 바람길과 수평 방향인 판상형임을 추정할 수 있다.

그림 4-18 | 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 바람장 분석 결과 ($z = 0.5\text{m}$)



- 위 그림은 B1 블록에 건축물이 건설되었을 때 지상 0.5m의 위치에서 풍속의 변화 정도를 보여줌. 파란색으로 표시된 지역은 풍속이 감소되는, 빨간색으로 표시된 지역은 풍속이 강해지는 지역임
- (a) 판상형(바람길과 수직 방향) : 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 130% 정도 풍속이 증가하고 있으나, 건축물 단지 내부의 풍속은 약해져(파란색으로 표현), 대기오염 물질 분산이 어려워질 것을 추정할 수 있음
 - (b) 판상형(바람길과 수평 방향) : 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 143% 정도 풍속이 증가하고 있으며, 대기가 정체되어 있는 면적은 상당히 작아, 대기오염 물질 분산에 유리할 것임
 - (c) 타워형(V형) : 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 170% 정도 풍속이 증가하고 있으나, 여전히 건축물 단지 내부의 풍속은 약해짐을 알 수 있음
 - (d) 혼합형(판상형 + 타워형) : 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 156% 풍속이 증가하고 있으나, 건축물 단지 내부의 풍속은 상당히 약해져 대기오염 물질이 정체할 가능성이 높음
- 결과적으로 미세먼지 분산에 가장 유리한 건축물 배치는 '바람길과 수평 방향인 판상형(b)'임을 알 수 있음

자료: 저자 작성

<그림 4-19>는 B1 블록에 건축물이 신축되었을 때 아파트 15층에 해당하는 지상 44.5m 높이에서 풍속의 변화 정도를 보여준다.

바람길의 역할을 할 수 있는 중앙녹지의 경우, 건축물 유형별로 바람의 속도가 다른 것을 알 수 있다. 유입류 대비 바람길과 수직 방향인 판상형은 112%, 바람길과 수평 방향인 판상형은 101%, 타워형은 113%, 혼합형은 112% 증가하는 것으로 모의되었다. 여기서 유입류 대비 112% 증가하였다는 것은 만약 외부에서 1m s^{-1} 의 속도의 바람이 유입되었다면, 중앙녹지에서의 풍속은 1.12m s^{-1} 로 속도가 증가하였다는 것을 의미한다.

바람길과 수직 방향의 판상형의 경우 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 풍속이 112% 증가하고 있으나, 건축물 단지 내부의 풍속은 상당히 약해져, 미세먼지를 포함한 대기오염 물질의 분산이 더딜 것으로 예상할 수 있다(<그림 4-19>의 (a)그림 참조).

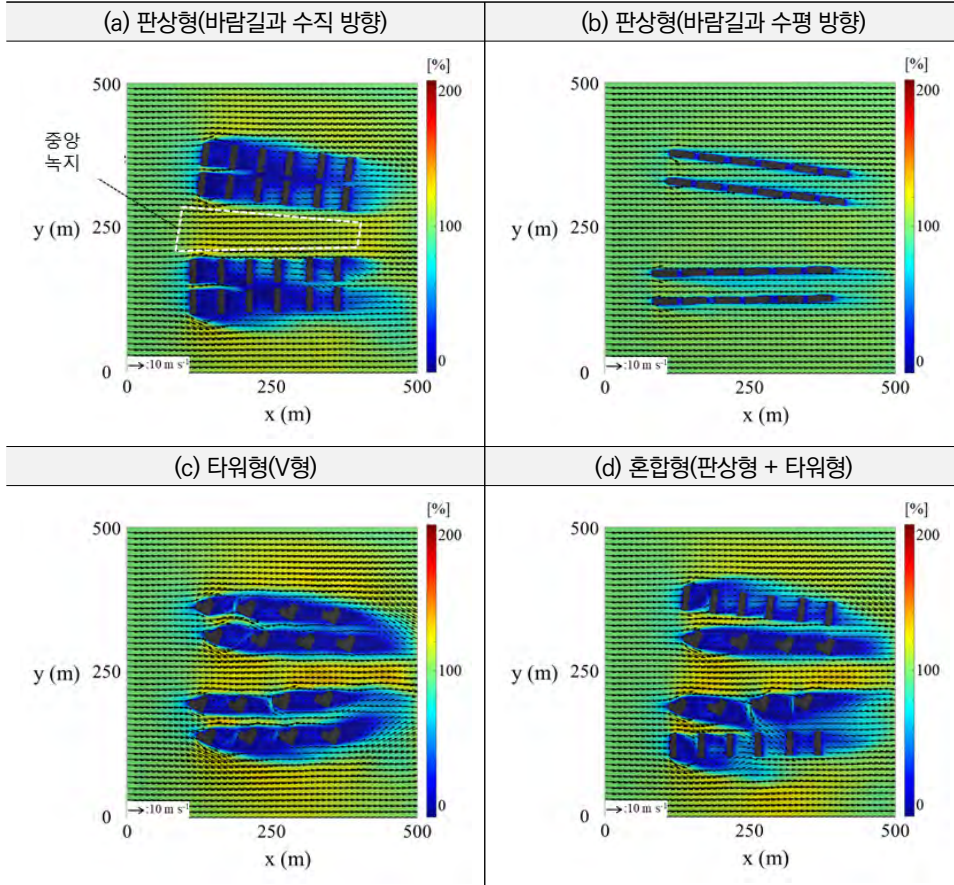
바람길과 수평 방향인 판상형의 경우(<그림 4-19>의 (b)그림 참조), 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 101% 정도로 풍속이 미약하게 증가하고 있으나, 대상 지역 전체적으로는 미세먼지가 정체되어 있는 면적이 상대적으로 작아, 대기오염 물질의 분산에는 유리한 건축물 배치인 것으로 판단된다.

같은 그림의 (c)는 타워형(V형)의 경우로, 바람길의 역할을 할 수 있는 중앙녹지 지역의 풍속은 증가하고 있으나, 이에 반해 건축물 단지 내부의 풍속은 상당히 약해져 미세먼지 분산에 불리할 것으로 판단된다.

판상형과 타워형이 혼합된 <그림 4-19>의 (d)의 경우를 살펴본다. 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 풍속이 112% 증가하고 있지만, 건축물 단지 내부의 풍속은 상당히 약해져 미세먼지를 포함한 대기오염물질이 정체될 가능성이 높을 것으로 예상된다.

따라서 아파트 15층 정도의 높이에서 바람길의 역할을 할 수 있는 중앙녹지 지역의 풍속은 타워형인 경우 가장 강하다. 그러나 단지 내부의 풍속은 판상형의 건축물 배치가 대기오염물질의 분산에 유리할 것으로 모의되었다.

그림 4-19 | 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 바람장 분석 결과 (z = 44.5m)



- 위 그림은 B1 블록에 건축물이 건설되었을 때 지상 44.5m(아파트 15층 높이에 해당)의 위치에서 풍속의 변화 정도를 보여줌. 파란색으로 표시된 지역은 풍속이 감소되는, 빨간색으로 표시된 지역은 풍속이 강해지는 지역임
- (a) 판상형(바람길과 수직 방향): 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 112% 정도 풍속이 증가하고 있으나, 건축물 단지 내부의 풍속은 상당히 약해져(파란색으로 표현), 대기오염 물질 분산이 어려워질 것을 추정할 수 있음
- (b) 판상형(바람길과 수평 방향): 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 101% 정도로 풍속이 미약하게 증가하고 있음. 대상 지역 전체적으로는 정체되어 있는 면적이 상당히 작아, 대기오염 물질 분산에 유리할 것임
- (c) 타워형(V형): 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 113% 정도 풍속이 증가하고 있으나, 이에 반해 건축물 단지 내부의 풍속은 상당히 약해짐을 알 수 있음
- (d) 혼합형(판상형 + 타워형): 중앙녹지(바람길) 지역은 유입류 대비 112% 풍속이 증가하고 있으나, 건축물 단지 내부의 풍속은 상당히 약해져 대기오염 물질이 정체할 가능성이 높음
- 결과적으로 지상 44.5m에서 미세먼지 분산에 가장 유리한 건축물 배치는 '바람길과 수평 방향인 판상형(b)'임을 알 수 있음

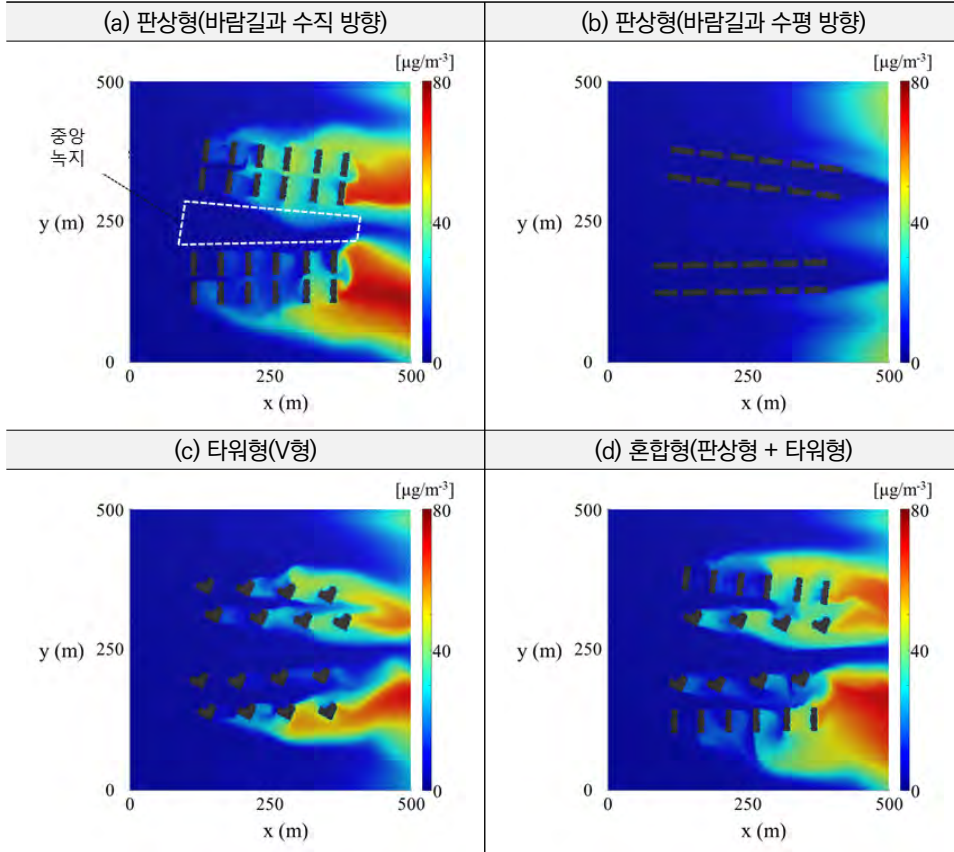
자료: 저자 작성

<그림 4-20>은 B1 블록에 건축물이 건설되었을 때, 지상 0.5m의 위치에서 3시간 후의 미세먼지 농도의 변화를 보여준다. 현재의 농도를 초미세먼지가 ‘매우나쁨’ 수준인 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가정하고, 유입되는 대기의 미세먼지 농도는 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 상대적으로 청정한 대기로 설정한다. 이 때 판상형(바람길과 수직 방향)의 경우 중앙녹지(바람길) 지역은 $9.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 12.2%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있다. 바람길과 수평 방향인 판상형의 경우, 중앙녹지(바람길) 지역은 $6.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 8.1%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으며, 대상 지역 전반적으로도 개선된 것을 볼 수 있다.

타워형(V형)의 경우 중앙녹지(바람길) 지역은 $6.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 7.7%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있다. 혼합형의 경우는 중앙녹지(바람길) 지역은 $8.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 11.2%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있는 것을 알 수 있다. 결과적으로 지상 0.5m 높이에서는 중앙녹지의 경우는 타워형이, 모의 지역 전체에서는 ‘바람길과 수평 방향’의 판상형이 미세먼지 저감에 유리하였다(<그림 4-20> 참조).

<그림 4-21>은 동일한 조건에서 지상 44.5m 높이에서 3시간 후의 미세먼지 농도의 변화를 보여준다. 바람길과 수직 방향인 판상형의 경우 중앙녹지(바람길) 지역은 $12.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 15.3%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측에서의 미세먼지는 여전히 정체되어 있다. 바람길과 수평 방향인 판상형은 중앙녹지(바람길) 지역은 $25.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 31.3%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으며, 타워형(V형)의 경우 중앙녹지(바람길) 지역은 $9.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 11.3%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있다. 혼합형의 경우 중앙녹지(바람길) 지역은 $9.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 12.0%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있다. 이처럼, 지상 44.5m 높이에서는 중앙녹지의 경우는 타워형이, 모의 지역 전체에서도 타워형이 미세먼지 저감에 유리하였다.

그림 4-20 | 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 농도장 분석 결과 (z = 0.5m)



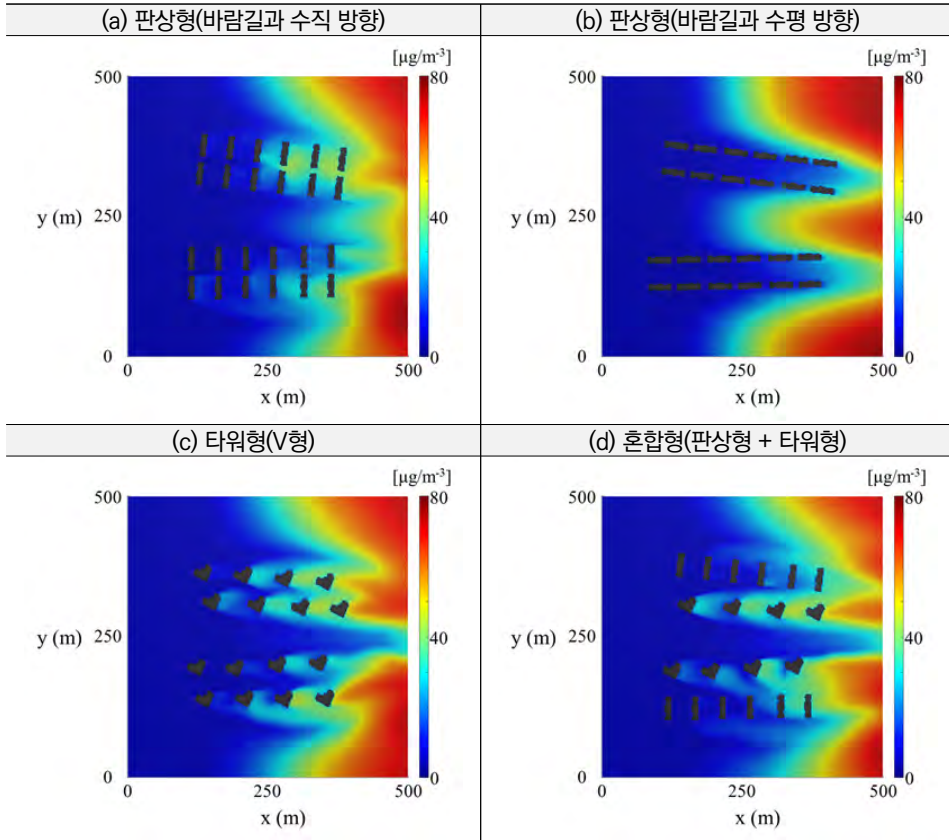
○ 위 그림은 B1 블록에 건축물이 건설되었을 때 지상 0.5m의 위치에서 3시간 후의 미세먼지 농도의 변화를 보여줌. 현재의 농도를 초미세먼지가 '매우나쁨' 수준인 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가정하고, 유입되는 대기의 미세먼지 농도는 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보다 청정한 것으로 설정함. 파란색으로 표시된 지역은 미세먼지 농도가 개선되는, 빨간색으로 표시된 지역은 그렇지 않는 지역임

- (a) 판상형(바람길과 수직 방향): 중앙녹지(바람길) 지역은 $9.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 12.2%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있음(빨간색으로 표현)
- (b) 판상형(바람길과 수평 방향): 중앙녹지(바람길) 지역은 $6.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 8.1%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으며, 대상 지역 전반적으로도 개선됨
- (c) 타워형(V형): 중앙녹지(바람길) 지역은 $6.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 7.7%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있음(빨간색으로 표현)
- (d) 혼합형(판상형 + 타워형): 중앙녹지(바람길) 지역은 $8.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 11.2%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있음(빨간색으로 표현)

○ 결과적으로 중앙녹지(바람길) 지역의 미세먼지는 개선되고 있으나, 전체적으로 미세먼지 분산에 가장 유리한 건축물 배치는 '바람길과 수평 방향인 판상형(b)'임을 알 수 있음

자료: 저자 작성

그림 4-21 | 행복도시 6-3 생활권(B1 블록) 농도장 분석 결과 (z = 44.5m)



- 위 그림은 B1 블록에 건축물이 건설되었을 때 지상 44.5m(아파트 15층 높이에 해당)의 위치에서 3시간 후의 미세먼지 농도의 변화를 보여줌. 현재의 농도를 초미세먼지가 '매우나쁨' 수준인 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가정하고, 유입되는 대기의 미세먼지 농도는 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보다 청정한 것으로 설정함. 파란색으로 표시된 지역은 미세먼지 농도가 개선되는, 빨간색으로 표시된 지역은 그렇지 않는 지역임
- (a) 판상형(바람길과 수직 방향): 중앙녹지(바람길) 지역은 $12.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 15.3%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있음(빨간색으로 표현)
 - (b) 판상형(바람길과 수평 방향): 중앙녹지(바람길) 지역은 $25.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 31.3%)로 미세먼지가 상당히 분산됨
 - (c) 타워형(V형): 중앙녹지(바람길) 지역은 $9.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 11.3%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있음(빨간색으로 표현)
 - (d) 혼합형(판상형 + 타워형): 중앙녹지(바람길) 지역은 $9.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ (배경 농도 대비 12.0%)로 미세먼지가 상당히 분산되었으나, 대상지역 우측의 미세먼지는 여전히 정체되어 있음(빨간색으로 표현)
- 결과적으로 중앙녹지(바람길) 지역의 미세먼지는 개선되고 있으며, 건축물 단지 내부의 경우 '바람길과 수평 방향인 판상형(b)'이 미세먼지 분산에 유리함을 알 수 있음

자료: 저자 작성

3. 시사점과 과제

본 장에서는 세종시를 대상으로 모의실험을 통해 대기환경의 변화 양상, 일몰 후 찬 공기의 흐름, 지구단위 차원에서 건축물 배치와 미세먼지 농도와의 상관성에 대해 살펴 보았다. 세종시의 경우 지형이 비교적 평탄한 지역과 하천은 풍속이 강하며, 그렇지 않은 지역은 풍속이 상대적으로 약하다. 신도시 건설로 대상 지역의 지표 바람 벡터장이 복잡한 혹은 왜곡된 형태로 변하며, 일반적으로 풍속이 감소하는 경향이 있었다.

대규모 공동주택 건설은 주풍의 방향, 풍속의 변화를 가져오고, 이는 도시 대기오염 물질의 분산과 연관되므로 건설 이전에 기상 영향평가가 요구된다. 일몰 후 주변 산지에서 생산된 차고 신선한 바람이 하천, 계곡, 도로 등을 따라 이동했으며, 4생활권, 5생활권, 6생활권 등 신도시가 건설될 경우 바람길 계획을 통해 적절한 바람유동 관리가 필요하다. 블록단위에서는 건축물의 고도 및 배치에 따라 바람장이 변하며, 미세먼지 농도와 상관성이 높았다. 주어진 조건에서 바람길과 수평방향인 판상형의 건축물 배치가 미세먼지에 대한 저감 효과가 높았다.

본 연구는 가급적 현실과 유사한 조건에서 모의실험을 수행하였으나 공간 위계별 상이한 격자의 사용, 공동주택만을 대상으로 모의실험을 수행한 한계점이 있다. 그럼에도 불구하고, 모의실험을 통해 사례 지역의 주풍의 흐름을 파악하고, 신도시 건설 전과 후의 바람 환경의 변화를 분석한 것은 향후 도시계획 수립 시 고려해야 할 계획요소를 결정할 때 다양한 시사점을 제공할 수 있다.

정리하면, 도시 건설 이전에 도시 바람환경의 변화 양상을 파악하고, 미세먼지 저감에 유리한 방향으로 건축물을 배치해야 한다. 이를 위해서는 광역 차원의 탁월풍과 도시 차원의 찬 공기 흐름을 고려할 수 있도록 법제도 장치가 구비되어 있어야 한다. 이어지는 5장에서는 바람길과 관련 있는 국토 및 환경 법제의 현황 및 한계점을 짚어보고, 그 개선 방안을 제시한다.



CHAPTER 5

바람길 적용을 위한 국토·환경계획 연계 방안

1. 국토 및 환경계획의 연계 필요성 | 117
2. 법제도 내의 바람길 | 119
3. 연계의 대안 검토 | 138
4. 계획 수립 단계별 연계 방안 | 142

바람길 적용을 위한 국토·환경계획 연계 방안

바람길을 공간계획 체계 내에 적용하기 위해서는 국토계획 내 바람길의 내용을 강화하는 방안을 생각해 볼 수 있고, 이와 동일하게 환경계획 내에서도 바람길의 내용을 포함시킬 수 있다. 양 계획 체계 내에서 바람길의 내용을 담고 있을 지라도, 대상의 공간적 범위가 일치하지 않는다면 바람길 계획의 실효성이 낮을 수밖에 없다. 따라서 유사한 공간을 대상으로 바람길이 설정되어야 하며, 이를 매개로 국토 및 환경계획이 연계된다면 효과적으로 바람길을 적용할 수 있다. 본 장에서는 바람길 적용을 위한 국토 및 환경계획 연계의 필요성을 제시하고, 현행 법제도 내 바람길 관련 내용을 검토하였다. 나아가 공간계획 수립과정을 조사, 작성, 평가, 시행단계로 구분한 후 각 단계별 국토 및 환경계획의 연계 방안을 제안하였다.

1. 국토 및 환경계획의 연계 필요성

1) 연계의 정의 및 현황

연계의 사전적 정의는 ‘어떤 일이나 사람과 관련하여 관계를 맺는 것’을 의미하며 (국립국어원, 2019), 본 연구에서 계획의 연계는 ‘국토 및 환경계획이 상호 밀접하게 연관되어 서로 보완적인 역할을 수행하는 것’으로 정의하였다.

우리나라에서 실질적으로 국토 및 환경계획은 개별 계획으로 작성되지만, 양 계획의 궁극적인 목적은 국토의 환경보전과 지속가능한 발전에 있다. 국토 및 도시계획은 자원의 효율적인 활용, 지속가능한 국토·도시환경 조성, 삶의 질 향상을 주요 목적으로 하고 있으며, 환경계획은 국토환경을 보전·관리하고, 환경오염 및 훼손을 사전에 예방

하기 위해 수립된다. 따라서 양 계획은 지속가능한 국토환경을 조성하고 국민의 삶의 질을 향상시키기 위해 작성된다고 볼 수 있다.

국토 및 환경계획의 연계에 대해서는 ‘국토계획 및 환경보전계획의 통합관리에 관한 공동훈령’이 제정되어 법제도적 근거는 마련되었다. 여기서 ‘통합관리’는 국토계획 및 환경보전계획을 수립할 때 ‘지속가능한 발전’이라는 공동의 목표를 달성하기 위하여 계획의 수립 절차, 내용 등에 대하여 상호 연계·보완하고 협력하는 정책과정을 의미한다고 정의하고 있다(국토계획 및 환경보전계획의 통합관리에 관한 공동훈령, 제3조)(법제처, 2019). 이를 위해서 국토 및 환경계획 수립 시 계획 수립의 시기를 일치시키고, 계획 수립에 필요한 기초자료를 공유하도록 규정하고 있다. 또한 연계의 부문을 세분하여 대기질, 국토공간 관리, 자연생태계 등의 분야별 통합관리를 제시하고 있다. 그러나 아직까지 지자체 차원에서는 구체적인 실천 수단이 제시되지 않아, 실효적인 성과를 거두지는 못하고 있다.

2) 계획 연계의 필요성

도시 내 미세먼지 농도를 낮추기 위해서는 바람길을 확보해야 하나 국내에서 이를 체계적으로 적용한 사례는 드물다. 과거 경제적 효율성에 근거한 공간계획 수립, 도시 환경에 대한 시민 인식의 부족, 바람길의 유용성에 대한 과학적 근거의 부족 등이 원인일 수 있다. 나아가 우리나라는 바람길 조성에 관여하는 공간계획이 국토 및 환경계획으로 이원화되어 있어, 계획 과정에서 바람길을 적용하는 데 어려움이 있다. 대기질과 관련된 분석·계획은 주로 환경계획이 담당하고, 도시 및 개발계획은 국토계획에서 담당하고 있어 다음의 한계를 노정하게 된다.

우선 도시계획가는 바람길 계획 수립에 필요한 대기환경에 대한 기초정보를 확보하기가 어렵다. 환경계획에서 찬공기 흐름도와 잠재적인 바람길을 제시해 주어야 하나, 이를 도면화하여 제시한 경우는 드물다. 이로 인해 도시 대기의 흐름을 반영하여 도시 계획을 수립하고자 하여도 관련 정보를 획득하는 데 어려움이 있다. 따라서 도시 및

환경계획가가 공동으로 바람환경을 조사하고, 이를 공유해야 한다. 물론 계획의 연계를 통하여 가능한 일이다.

다음으로 이원화된 공간계획은 바람길을 고려한 보전축과 개발축 설정을 어렵게 한다. 보전축과 개발축은 토지이용과 연결된다. 찬공기가 지나는 통로나 길목은 가급적 보전축으로 설정하여 향후 이에 합당한 용도의 토지로 구획하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 현행 공간계획은 양 계획에서 일방적으로 보전축과 개발축을 설정하여도, 이를 중재시킬 수 있는 제도적 장치가 부족하다. 따라서 바람길을 공간계획에 적용하기 위해서는 도시기후, 대기환경, 찬공기 흐름도 등 환경요소를 고려한 보전축과 개발축을 설정해야 하며, 이를 위해서 계획 간 연계가 필요하다.

도시기후 및 기상환경을 배려한 개발사업을 시행하기 위해서도 계획간 연계가 필요하다. 기반시설이나 건축물 설치의 필연적으로 사업대상지 내부 혹은 도시 전체의 바람환경에 영향을 주게 된다. 만약 개발사업이 상당한 영향을 미치게 되면 개발사업을 수정 및 변경해야 한다. 현재는 일정 규모 이상이거나 특정 목적의 개발사업의 경우 대기환경 영향평가가 실시된다. 그러나 사업 대상지 내부에 국한되거나, 도시 전체 차원의 바람길에 부정적인 영향을 주는지는 심도 있게 다루지 않는다. 따라서 개발계획과 더불어 사업단위에서 환경계획이 작성되고, 대기환경 영향평가체계가 함께 움직일 때 바람길 적용이 가능할 것이다.

이원화되어 있는 공간계획체계가 도시 내 바람길을 적용하는 데 걸림돌로 작용하고 있다. 계획의 연계가 대기환경 기초자료의 부족, 개발축과 보전축 설정의 어려움 등 제반 문제를 모두 해결할 수는 없어도 그 실마리를 찾는 데 도움을 줄 수 있다.

2. 법제도 내의 바람길

1) 검토 대상 계획 및 법률

국토 및 도시 공간에서 미세먼지 및 바람길을 다루는 법제는 크게 국토 법제와 환경

법제로 구분할 수 있다(<그림 5-1> 참조). 먼저 국토 및 도시계획에는 국토종합계획, 도종합계획, 광역도시계획, 도시·군기본계획 및 도시·군관리계획, 도시재개발 사업인 경우 정비 계획 및 사업시행계획이 있다. 신도시 개발인 경우 개발계획과 실시계획이 작성된다. 본 연구에서는 이러한 국토 및 도시계획의 근거 법률인 「국토기본법」, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」, 「도시·군기본계획 수립지침」, 「지구단위계획수립지침」 등을 검토한다.

환경 분야 계획에는 국가환경종합계획, 지자체 환경보전계획이 있으며, 국토 및 도시계획 및 사업이 환경에 미치는 영향을 평가하는 환경영향평가제도가 있다. 본 연구에서는 「환경정책기본법」, 「자연환경보전법」, 「대기환경보전법」, 「환경영향평가법」, 「서울특별시 환경영향평가 조례」, 「환경영향평가서 작성 등에 관한 규정」을 조사한다.

2) 국토 관련 계획 및 법률

(1) 국토 및 도시계획

□ 국토종합계획

2011년 제4차 국토종합계획 재수정계획(2011~2020)이, 2019년에는 제5차 국토종합계획이 수립되었다. 제4차 계획에는 전지구적인 온난화 진행에 대한 대응이 미흡함을 지적하며, 대기관리 및 에너지 부문의 개선이 필요함을 제시하고 있다(대한민국정부, 2011, p. 57). 또한 미래형 첨단 물류체계를 구축하여, 공해물질 저감을 위한 대체 운송수단 활용을 제고할 것을 제안했다(대한민국정부, 2011, p. 113). 기후변화, 사막화, 황사 등 지구적 환경문제에 주변 국가와 공동으로 대응하는 시스템을 마련하는 내용을 포함하고 있으나(대한민국정부, 2011, p. 68), 미세먼지 저감에 대해서는 명시하고 있지 않다. 교외 지역의 난개발을 방지하기 위하여 관련 규제를 강화할 것을 제시하고 있으나, 구체적으로 도시 내 미세먼지 저감을 위한 바람길 조성에 관한 내용을 담고 있지는 않다(대한민국정부, 2011, p. 91). 이는 계획이 수립될 당시에는 미세먼지가 사회적 이슈로 부각되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

그림 5-1 | 본 연구에서 다루는 국토·환경계획 혹은 관련 법률의 범위

공간 단위	국토계획	환경계획
국가	국토종합계획 (국토기본법)	국가환경종합계획 (환경정책기본법)
시도	광역도시계획 (국토의 계획 및 이용에 관한 법률) 도종합계획 (국토기본법)	시도 환경보전계획 (환경정책기본법)
시군구	도시·군기본계획 (국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 도시·군기본계획 수립지침)	시군구 환경보전계획 (환경정책기본법)
구역	도시·군 관리계획(지구단위계획) (국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 도시·군관리계획 수립지침, 지구단위계획수립지침)	
	도시·주거 환경정비 기본계획 (도시 및 주거환경 정비법)	(환경영향평가법)
	정비계획 (도시 및 주거환경 정비법)	
	사업시행계획 (도시 및 주거환경 정비법)	-
	개발계획 (도시개발법, 택지개발 촉진법)	
	실시계획 (도시개발법, 택지개발 촉진법)	

자료: 박종순 외(2017, p.99) 수정 보완

최근 수립된 제5차 국토종합계획에는 미세먼지를 저감하고 도시 열섬을 완화하기 위해 바람길 적용을 제안하고 있다(대한민국정부, 2019). 보다 구체적으로 ‘미세먼지 저감을 위한 도시 공간 조성’을 정책 과제로 제시하고 있으며, ‘미세먼지 원인 규명과 배출원 관리 강화’, ‘미세먼지 저감 및 분산에 유리한 도시공간구조 형성’, ‘중국 등 인접국과의 미세먼지 관리를 위한 공조체계 구축’을 세부 과제로 제시하고 있다. ‘미세먼지 저감 및 분산에 유리한 도시공간구조 형성’은 도시계획에 바람길 적용을 권고하는 내용으로, 제5차 국토종합계획은 제4차 국토종합계획에 비해 미세먼지 문제를 비중 있게 다루고 있다(대한민국정부, 2019, p. 115-116).

□ 광역도시계획

광역도시계획은 인접한 두 개 이상의 특별시·광역시·시 또는 군의 행정구역에 대하여 장기적인 발전방향을 제시하거나 시·군간 기능을 상호 연계함으로써 적정한 성장관리를 도모하기 위해 수립되었다(광역도시계획수립지침, 제2절)(법제처, 2019). 자연환경·경관·생태계·녹지공간 등의 보전 및 확충에 주력하여 계획이 수립되어야 함을 기본원칙으로 제시하고 있다(법제처, 2019).

녹지축은 광역계획권의 내부와 외부의 녹지체계를 고려하여 개발축과 개발축 사이, 도시와 도시 사이에 배치하는 것을 원칙으로 하고, 환상형(벨트모양), 선형, 뿔기형 등 다양한 형태로 설정하고 가급적 단절되지 않도록 네트워크화해야 한다고 규정하고 있다(제3절 공간구조구상)(법제처, 2019).

여기서 도시 외곽지역의 녹지는 차고 신선한 공기를 생성하는 지역으로 바람길의 시작점이 될 수 있다. 대기질 개선과 관련하여 대기질·소음·진동·악취 등의 환경현황과 환경악화요인 및 토지이용계획 등을 조사·분석하여 장래를 전망하고, 개선을 위한 대책을 제시하도록 명시되어 있다(제4절 부문별 계획)(법제처, 2019).

대기질 개선은 선언적으로 명시되어 있음에도 불구하고, 미세먼지 저감 및 바람길의 역할에 대하여 보다 구체적인 실천 수단이 제시되지 않은 한계점이 있다.

□ 도시·군기본계획

도시·군기본계획은 국토의 한정된 자원을 효율적이고 합리적으로 활용하여 주민의 삶의 질을 향상시키고, 특별시·광역시·시·군을 환경적으로 건전하고 지속가능하게 발전시킬 수 있는 정책방향을 제시함과 동시에 장기적으로 시·군이 공간적으로 발전하여야 할 구조적 틀을 제시하는 종합계획이다(도시·군기본계획수립지침, 제2절 도시·군기본계획의 의의)(법제처, 2019). 환경적 측면에서 지속가능한 국토관리를 추구하기 위해 도시·군기본계획은 도시의 급속한 성장과 외연적 확산에 따른 자연환경의 훼손과 대기·수질·토양 등의 오염발생을 사전적으로 방지하는 역할을 담당한다(법제처, 2019). 기후변화와 지구온난화에도 적극 대응하여 에너지와 자원을 절약하는 공간구조를 형성하고 신재생에너지의 사용을 촉진하여 탄소배출량을 저감하는데(법제처, 2019) 주력해야 함을 강조하고 있다.

도시·군기본계획의 내용 중 공간구조의 설정, 토지이용, 환경의 보전과 관리, 경관 및 미관, 공원·녹지에 관한 내용이 바람길과 관련되는 내용이다(법제처, 2019). 교통계획에서는 차량과 교통시설에 의한 대기오염의 문제가 없도록 계획하며, 환경대책은 사전오염방지를 원칙으로 설정하고 있다(법제처, 2019). 또한, 친환경적 계획을 수립하기 위해 바람길 분석 및 조성 등 도심 열섬현상을 완화할 수 있도록 계획해야 한다고 규정하고 있다(법제처, 2019).

‘도시·군기본계획수립지침’에는 도시열섬 현상의 완화를 위해 바람길의 적용이 필요하다는 것을 제시하고 있으나, 구체적으로 어떻게 적용해야 하는지 구체성이 미약하다. 가령, 토지이용, 공원녹지, 녹지축과 연계하여 바람길을 조성하고 미세먼지를 분산시키는 계획을 수립하여야 한다는 조항이 포함되는 것이 적절할 수 있다.

‘도시·군기본계획수립지침’과 관련한 권고적 지침으로써 ‘저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시·군계획수립지침’ 내 바람길에 대한 사항이 담겨 있다. 실제 적용 지자체는 많지 않으나 서울, 부산, 인천, 춘천 등이 지침을 적용하여 계획을 수립하였다. 그럼에도 불구하고, 바람길의 역할을 도시열섬현상 완화에 한정하고 있어, 미세먼지 저감을 위한 바람길 적용이 필요하다는 내용을 추가하는 것이 요구된다(<표 5-1> 참조).

표 5-1 | '저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시·군계획수립지침' 중 바람길 관련내용

3-4-2 저탄소 도시공간구조 설정
(4) 도시 공간구조는 도심 바람통로의 확보와 수공간 및 녹지의 확충 등을 통해 쾌적한 도심 미기후를 조성하고 도심 열섬효과를 줄일 수 있도록 제시되어야 한다.
3-4-3 토지이용계획
(5) 수립권자는 바람길 통로 조성 등 도심 열섬현상 완화를 위한 토지이용계획이 도시관리계획 등 하위계획의 지침이 될 수 있도록 한다.
3-4-12 공원녹지
(3) 수립권자는 열섬현상을 완화할 수 있도록 도심 바람통로계획과 연계하여 공원·녹지체계와 수변공간계획 등을 수립한다.
4-3-10 도심밀집지역 등 도심열섬현상 관리가 집중적으로 필요한 지역에는 바람통로 및 열섬저감 대책이 수립되어야 한다.
(1) 도심 열섬현상 관리가 집중적으로 필요한 지역에서는 정밀 바람장 및 열환경 시뮬레이션을 실시하여 열섬 및 바람의 정체현상을 완화하는 등 미기후관리계획이 수립되어야 한다.
(2) 열섬현상 저감을 위하여 건축물녹화, 주차장녹화, 투수포장, 유수공간, 실개천조성 및 밀집식재 등 다양한 열섬저감 계획이 수립되어야 한다.
(3) 수립권자는 계획구역에 인접한 산림, 하천, 호소 및 연안 등의 차고 신선한 공기가 유입되도록 정밀 바람장 시뮬레이션을 시행하여 대기정체지역이 발생하지 않도록 기준을 제시하여야 한다.
(4) 바람통로 계획을 수립하는 경우에는 향후 지역별로 도시내 풍력에너지 적용가능성도 병행하여 검토되어야 한다.

자료: 법제처(2019)

□ 지구단위계획

지구단위계획은 당해 지구단위계획구역의 토지이용을 합리화하고 그 기능을 증진시키며 경관·미관을 개선하고 양호한 환경을 확보하며, 당해 구역을 체계적·계획적으로 개발·관리하기 위하여 건축물 그 밖의 시설의 용도·종류 및 규모 등에 대한 제한을 완화하거나 건폐율 또는 용적률을 완화하여 수립하는 계획이다(지구단위계획수립지침 제1절)(법제처, 2019). '지구단위계획은 도로, 상하수도 등 대통령령으로 정하는 도시·군계획시설의 처리·공급 및 수용능력이 지구단위계획구역에 있는 건축물의 연면적, 수용인구 등 개발밀도와 적절한 조화를 이룰 수 있도록 하여야 한다'고 규정하고 있다(국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 제52조 2항)(법제처, 2019).

지구단위계획에서는 선언적이긴 하나 녹지 및 공원 확보, 기후조절, 건축물의 배치에 관한 사항을 포함하고 있다. '공동주택단지는 건축물의 배치에 있어서는 주민공동생활에 활용되는 장소를 충분히 확보하여 공동체 의식을 향상시키도록 하고, 건축물의 배치는 바람길 등의 기상조건을 고려한 환경친화적인 단지가 될 수 있도록 계획해야

함'을 규정하고 있다(지구단위계획수립지침, 제10절)(법제처, 2019). '지구단위구역 내 이산화탄소 및 각종 대기오염원의 총 발생량을 추정하고 폐기물처리방안을 강구하여 이에 대한 처리계획을 제출한다'는 조항이 포함되어 있다(지구단위계획수립지침, 제5절)(법제처, 2019). 이처럼 지구단위계획을 통하여 보다 상세한 바람길 적용이 가능하지만, 계획의 공간적 범위가 구역 내부에 한정된다는 한계가 있다.

□ 정비계획 및 사업시행계획

도시 기능을 회복하고, 불량한 주거환경을 개선하기 위해 사업시행자는 정비사업을 실시하며, 이 때 도시·주거환경정비기본계획, 정비계획, 사업시행계획이 수립된다(도시 및 주거환경정비법, 제1조)(법제처, 2019). 도시·주거환경정비기본계획에는 인구, 건축물의 밀도, 토지이용계획 및 녹지·조경 등 환경계획이 포함된다(법제처, 2019). 정비계획에는 정비구역 및 면적, 도시·군계획시설의 설치, 건축물의 주용도·건폐율·용적률·높이에 관한 계획, 환경보전 및 재난방지에 관한 계획을 다루고 있다(법제처, 2019). 정비사업을 실제 실행하기 위해 사업시행계획이 작성되며, 여기에는 구체적인 토지이용계획, 건축물배치계획이 포함된다(법제처, 2019).

정비사업은 도시기능 회복과 노후하고 불량한 주거환경 개선에 중점을 두고 있어(법제처, 2019), 직접적으로 미세먼지를 포함한 대기환경 개선이나 바람길 조성에 관한 조항은 부재하다.

□ 신도시의 개발계획 및 실시계획

주거, 상업, 산업, 유통, 정보통신, 생태, 문화, 보건 및 복지 등의 기능이 있는 단지 또는 시가지를 조성하기 위해서 도시개발사업이 시행된다(도시개발법 제2조)(법제처, 2019). 도시개발사업이 추진되기 위해서는 도시개발구역의 지정, 개발계획 및 실시계획 작성 등의 일련의 절차를 거쳐야한다(법제처, 2019). 개발계획에는 도시개발구역, 인구수용계획, 토지이용계획, 교통처리계획, 환경보전계획, 도로, 상하수도 등 주요 기반시설에 관한 계획을 포함해야 한다(법제처, 2019).

실시계획은 사업을 실제 실행하기 직전에 수립하는 계획으로, 여기에는 지구단위계획, 설계 도서, 자금계획 등이 포함되어야 한다(도시개발법, 제17조)(법제처, 2019). 또한, 실시계획의 인가신청서에는 지구단위계획이 포함되어야 하므로, 대기환경 개선이나 바람길 적용에 대한 제도적 기반은 갖추고 있다고 볼 수 있다(법제처, 2019).

이와 유사하게 신도시 개발을 위해서도 개발 및 실시계획이 수립된다. 이 계획은 직접적으로 미세먼지 및 바람길을 다루지는 않으며, 다만 지구단위계획이 실시계획에 포함되어야 함으로 지구단위계획에서 바람길 계획이 수립된다면, 신도시 개발 시 바람길을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

□ 신규 택지의 개발계획 및 실시계획

도시지역의 시급한 주택난(住宅難)을 해소하기 위하여 주택건설에 필요한 택지의 취득·개발·공급 및 관리 등에 관하여 특례를 규정하고 있다(택지개발 촉진법, 제1조)(법제처, 2019). 택지를 공급하기 위해서도 택지개발지구의 지정, 택지개발계획 수립, 택지개발사업 실시계획이 작성되고 승인되어야 한다(법제처, 2019). 개발계획에는 개발기간, 토지이용계획, 주요 기반시설계획이 포함되며, 실시계획에는 택지의 공급에 관한 계획, 지구단위계획이 포함되어야 한다(택지개발 촉진법, 제9조)(법제처, 2019). 따라서 신도시 개발사업과 택지개발 사업을 추진하기 위해 서로 비슷한 계획이 작성되고 유사한 절차를 거쳐야한다. 실시계획에 지구단위계획이 포함되어야 하므로, 미세먼지를 포함한 대기환경 및 바람길 관련 내용은 지구단위계획에서 규정하고 있다고 볼 수 있다.

(2) 국토 및 도시 관련 법률

□ 국토기본법

국토에 관한 계획 및 정책의 수립·시행에 관한 기본적인 사항을 정하는 「국토기본법」은 국토의 건전한 발전과 국민의 복리향상에 이바지함을 목적으로 한다(제1조)(법

제처, 2019). 국토에 관한 계획 및 정책은 개발과 환경의 조화를 바탕으로 국토를 균형 있게 발전시키고 국가의 경쟁력을 높이며 국민의 삶의 질을 개선함으로써 국토의 지속가능한 발전을 도모할 수 있도록 수립·집행하는 것을 기본 이념으로 하고 있다(법제처, 2019).

환경친화적 국토관리와 관련하여 「환경정책기본법」에 따른 환경보전계획의 내용을 고려하여 자연환경과 생활환경에 미치는 영향을 사전에 검토함으로써 환경에 미치는 부정적인 영향이 최소화될 수 있도록 하여야 한다고 규정하고 있다(제5조)(법제처, 2019). 국가와 지방자치단체는 산, 하천, 호수, 늪, 연안, 해양으로 이어지는 자연생태계를 통합적으로 관리·보전하고 훼손된 자연생태계를 복원하기 위한 종합적인 시책을 추진함으로써 인간이 자연과 더불어 살 수 있는 쾌적한 국토 환경을 조성해야 함을 규정하고 있다(법제처, 2019). 또한, 국토 및 환경계획이 연계되어야 함을 규정하고 있으며, 적용 범위와 연계 방법, 절차에 대해서는 국토부장관과 환경부장관이 공동으로 정할 수 있도록 하고 있다(법제처, 2019).

「국토기본법」에서는 국토계획평가, 국토조사, 국토계획과 환경계획의 연계 등 친환경적인 국토관리 내용을 담고 있으나(법제처, 2019), 미세먼지를 저감하기 위해 도시 내 바람길 적용이 필요하다는 사항을 직접적으로 다루지는 않는다.

□ 국토의 계획 및 이용에 관한 법률

「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」은 국토의 이용·개발과 보전을 위한 계획의 수립 및 집행 등에 필요한 사항을 정하여 공공복리를 증진시키고 국민의 삶의 질을 향상시키는 것을 목적으로 하고 있다(제 1조)(법제처, 2019).

국토는 자연환경의 보전과 자원의 효율적 활용을 통하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 이루는 것을 기본 원칙으로 정하고 있다(제3조)(법제처, 2019). 2항의 자연환경 및 경관의 보전과 훼손된 자연환경 및 경관의 개선 및 복원, 4항의 주거 등 생활환경 개선을 통한 국민의 삶의 질 향상은 바람길과 직접적인 관련성은 낮으나 친환경적인 국토 이용 및 관리를 선언하고 있다(법제처, 2019).

도시의 지속가능성 평가, 용도지역, 개발제한구역, 지구단위계획, 개발행위의 허가, 기반시설부담구역, 용도지역·용도지구 및 용도구역에서의 행위 제한, 용도지역의 건폐율·용적률 등의 구체적인 실천수단이 제시되어 있다(법제처, 2019).

「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에서는 친환경적 국토 이용 및 관리를 이념으로 하고 있으며, 관련하여 실천 수단도 마련하고 있다(법제처, 2019). 다만, 자연환경 및 생활환경을 보전하고 개선해야함을 제시하고 있으나, 구체적으로 도시 미기후와 바람길을 다루지는 않는다.

□ 국토계획평가에 관한 업무처리지침

국토계획평가는 국토계획을 대상으로 국토균형 발전, 경쟁력 있는 국토여건의 조성 및 환경친화적인 국토관리 측면에서 국토의 지속가능한 발전에 기여하는지 여부와 국토 관련 최상위계획인 국토종합계획 및 상위 유관계획과 부합하는지 여부를 평가하는 것이다(제2조)(법제처, 2019).

환경성 검토 항목에는 생태·녹지축, 주요 보호대상 동식물, 환경 관련 시설물을 포함하고 있으며, 환경보전계획 및 정책과의 부합성을 검토하고 있다(법제처, 2019). 하지만 미세먼지를 포함한 대기환경, 대기오염 배출원, 바람길 등에 관한 사항이 검토 항목에 포함되어 있지 않은 한계점이 있다.

□ 지방자치단체 제도 사례

‘서울시 도시계획 환경성 검토 업무지침(2001)’은 도시계획이 도시환경에 미치는 영향을 고려하여 당해 도시계획의 결정·시행으로 인한 환경영향을 사전에 예측하고 분석하여 환경영향을 줄일 수 있는 방안을 강구하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 도시조성을 위해 작성되어 활용 중에 있다(행정안전부, 2019b).

‘대구광역시 지구단위계획수립지침’ 내 제4절 경관관리에 관한 사항(2013 신설)에서는 산지형공원 등 대상지와 연접한 지역의 경우에는 건축물의 높이, 형태, 배치계획 시 조망 및 개방감 확보와 바람길 형성 등을 위한 통경축, 입면차폐도 등을 종합적으로

제시하고 있다(행정안전부, 2019b). 통경축 확보 대상은 대상지와 연접한 방향의 장변 길이가 200m 이상인 단지, 간선가로의 교차점에서 경관관리 대상의 조망을 확보할 필요가 있는 지역이다(행정안전부, 2019b). 이때 통경축 확보 기준은 (1)건축물의 단면이 통경축과 평행하도록 유도하고, (2)통경축에 면한 건축물은 평균층수보다 낮게 건축하도록 유도하며, (3)조성된 통경축이 시각회랑, 바람길 등의 역할을 수행할 수 있도록 관리하는 것이다(행정안전부, 2019b).

‘원주시 지구단위계획수립지침’ 내 제5장 건축물의 용도 및 규모 중 제14조 건축물의 형태에 관한 규정에서 바람길과 관련한 내용이 담겨있다. 구체적으로 건축물의 높이는 주위 및 배후의 경관과 스카이라인을 고려하여 정하고, 주변에 위화감이 없도록 하여야 하며 건축물의 높이를 층수와 병행하여 지정할 수 있으며, 계획구역 내 자연적인 바람길과 경관상 개방감 확보를 위하여 건축물 1층부 필로티 설치를 권장하고 있다(행정안전부, 2019b).

‘안동시 지구단위계획수립지침’은 대구시의 지구단위계획수립지침과 유사한 맥락으로 바람길에 관한 내용을 제시하고 있다. 이 지침의 제12장 제48조 경관관리에 관한 사항 중 구릉성 지형의 공원 및 산지 등과 인접한 지역의 경우에는 건축물의 높이, 형태, 배치계획 시 조망 및 개방감 확보와 바람길 형성 등을 위한 통경축, 조망차폐율 등을 종합적으로 제시하도록 했다(행정안전부, 2019b). 통경축 확보 대상은 대상지와 연접한 방향의 장변 길이가 200m 이상인 단지, 도심수경관축(낙동강, 반변천) 하천변으로부터 500m 이내에 있는 경우 및 간선도로 교차로에서 가시되는 지역이다(행정안전부, 2019b). 이때 통경축 확보기준은 첫째, 내부 통경축은 단지길이의 10% 이상으로 함, 둘째, 주요 통경축의 너비는 3m 이상으로 함, 셋째는 건축물 관리에 관한 사항으로 건축물의 단면이 통경축과 평행하도록 유도하고, 통경축에 면한 건축물은 평균층수보다 낮게 건축하도록 유도하며, 조성된 통경축은 시각회랑, 바람길 등의 역할을 수행할 수 있도록 관리해야 함을 강조하고 있다(행정안전부, 2019b).

‘전라남도 에너지 절약을 위한 공공청사 녹색건축 설계 지침’ 내 제2장 건축부문에

서 건축물 배치계획을 수립할 때 열섬현상을 완화할 수 있도록 부지 내 지형, 하천, 주풍향 등 ‘바람길’을 고려하여 주동배치를 하도록 했다(행정안전부, 2019b).

‘강원도 경관형성 심의·운영 지침’ 내 제11장 경관보전 대상지역 중 하천 및 호수와 인접한 녹지경관과 수변경관의 연결망을 통해 바람길을 형성하여 경관과 환경이 복합적으로 기능을 발휘할 수 있도록 유도하고 있다(행정안전부, 2019b).

이상과 같이 지방자치단체에서는 도시계획 환경성 검토 업무지침, 지자체 지구단위 계획수립지침 등을 활용하여 바람길을 적용하고 있다.

3) 환경계획 및 관련 법률

(1) 환경계획

□ 국가환경종합계획

제4차 국가환경종합계획(2016~2035)은 20년 동안의 국가 환경 정책의 방향성을 제시하는 계획이다(관계부처 합동, 2015). 핵심전략별 추진 계획에는 자연자원 관리, 환경서비스, 건강위해 환경요인, 환경위험, 저탄소 순환경제, 지구환경 보전, 환경권 실현과 관련된 내용을 담고 있다(관계부처 합동, 2015). 초미세먼지가 건강에 미치는 영향을 최소화하기 위해 대기위해물질을 강화하는 전략을 다루고 있다(관계부처 합동, 2015, p. 91). 이와 관련하여 배출량 인벤토리 구축, 친환경자동차 보급 확대, 실내 공기질 개선과 같은 정책 과제를 제시하고 있다(관계부처 합동, 2015, p. 91-92).

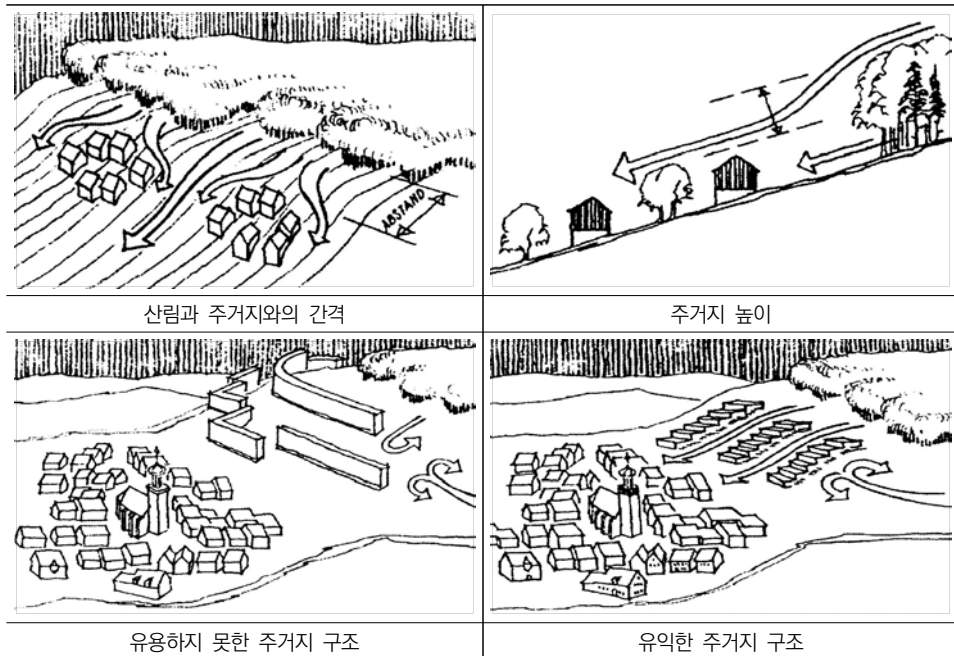
이 계획은 대기환경 개선과 실내 공기질의 개선을 다루고 있지만, 도시 내 바람길 등 공간적인 측면에서 미세먼지 저감 및 분산에 대해서는 큰 비중을 두지는 않고 있다.

□ 시도 및 시군구 환경보전계획

「환경보전계획」은 해당 지자체의 환경정책의 방향성을 제시하는 계획으로 자연생태, 경관, 토양, 지하수, 연안환경, 대기환경, 수질환경, 상하수도, 소음 등 전 분야의

환경요소 및 공간환경계획에 관한 내용이 다루어진다(환경부, 2007). 또한, 대기오염 지도를 작성하여 대기오염이 높은 지역을 파악하고 배출원 관리 대책을 마련하며, 기후환경지도를 작성하여 계획의 지침으로 활용할 것을 권장하고 있다(환경부, 2007).

그림 5-2 | ‘지자체 환경보전계획 수립지침’ 내 바람길과 주거지 배치 관련 내용



자료: 환경부(2007, p.28)

‘지자체 환경보전계획 수립지침’에서는 대기오염물질의 배출원 관리, 도시 내 환풍, 기후환경지도의 작성 등을 권고하고 있지만(그림 5-2 참조), 실제 이를 이행한 환경보전계획서는 찾기 힘들다. 예를 들어, 대부분 지자체의 환경보전계획에는 배출원 정보, 측정소별 환경기준 초과횟수 등을 표로 제시하고 있으나, 대기오염 현황을 지도로 표현하거나, 기후환경지도를 주거지 배치에 활용하고 있는 사례는 거의 없는 것으로 보인다. 또한, 대기환경 현황지도와 토지이용계획과의 연계에 관한 세부 규정이 없어

환경계획과 도시계획은 선언적으로 연계가 되어 있을 뿐 실질적인 연계는 되어있지 않다.

(2) 환경 관련 법률

□ 환경정책기본법

「환경정책기본법」은 환경보전에 관한 국민의 권리·의무와 국가의 책무를 명확히 하고 환경정책의 기본 사항을 정하여 환경오염과 환경훼손을 예방하고 환경을 적정하고 지속가능하게 관리·보전함으로써 모든 국민이 건강하고 쾌적한 삶을 누릴 수 있도록 함을 목적으로 한다(제1조)(법제처, 2019).

환경의 양호한 상태 유지·조성, 환경보전의 고려, 기후변화 등 지구환경상의 위해(危害) 예방 등을 기본 이념으로 하고(제2조), 오염원인자 책임원칙, 환경오염 등의 사전예방, 환경과 경제의 통합적 고려 등의 환경정책의 기본 원칙을 제시하고 있다(법제처, 2019). 또한, 국가환경종합계획의 수립에 관한 내용을 언급하고 있다.

여기에는 대기환경의 보전에 관한 사항을 포함하고 있으나, 구체적으로 미세먼지와 바람길을 다루지는 않고 있다.

□ 자연환경보전법

「자연환경보전법」은 자연환경을 인위적 훼손으로부터 보호하고, 생태계와 자연경관을 보전하는 등 자연환경을 체계적으로 보전·관리함으로써 자연환경의 지속가능한 이용을 도모하고, 국민이 쾌적한 자연환경에서 여유있고 건강한 생활을 할 수 있도록 함을 목적으로 한다(제1조)(〈표 5-2〉 참조)(법제처, 2019).

환경부장관은 도시의 자연환경보전 및 생태적 건전성 향상 등을 위하여 관계중앙행정기관의 장과 협의하여 생태축의 설정, 생물다양성의 보전, 자연경관의 보전, 바람길의 확보, 생태복원 등 자연환경보전 및 생태적 건전성에 관한 지침과 평가지표를 작성하여 관계행정기관의 장 및 지방자치단체의 장에게 권고할 수 있음을 언급하고 있다(자연환경보전법 43조)(법제처, 2019).

바람길 확보를 권고 또는 고려하도록 하고 있으나, 이에 대한 구체적인 세부 규정이 없어 개발계획에서 실질적으로 바람길 적용사례는 거의 없는 것으로 파악된다.

□ 대기환경보전법

「대기환경보전법」은 대기오염으로 인한 국민건강이나 환경에 관한 위해(危害)를 예방하고 대기환경을 적정하고 지속가능하게 관리·보전하여 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 하는 것을 목적으로 한다(제1조)(법제처, 2019).

동법 제17조에는 대기오염물질의 배출원 및 배출량 조사 내용을 담고 있으며, 대기질 개선이 필요하다고 인정되는 지역을 대기환경규제지역으로 지정 및 고시할 수 있도록 하고 있다(제18조)(법제처, 2019). 제10조에는 ‘관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장 및 사업자는 각종 개발계획을 수립·이행할 때에는 계획지역 및 주변 지역의 지형, 풍향·풍속, 건축물의 배치·간격 및 바람의 통로 등을 고려하여 대기오염물질의 순환에 장애가 발생하지 아니하도록 하여야 한다’라고 언급하고 있다(<표 5-2> 참조)(법제처, 2019).

개발사업 시 바람길을 고려해야 한다고 규정하고 있지만, 여전히 세부 규정이 미흡하여 실제 개발사업에서 바람길이 적용된 사례는 드문 것으로 파악된다.

□ 환경영향평가법

「환경영향평가법」은 환경에 영향을 미치는 계획 또는 사업을 수립·시행할 때에 해당 계획과 사업이 환경에 미치는 영향을 미리 예측·평가하고 환경보전방안 등을 마련하도록 하여 친환경적이고 지속가능한 발전과 건강하고 쾌적한 국민생활을 도모함을 목적으로 한다(제1조)(법제처, 2019).

표 5-2 | 환경 관련 법률 내 바람길 관련 내용

구분	항목	내용	비고
자연환경보전법	제4조 (국가·지방자치단체 및 사업자의 책무)	제1 항 제3호: 소생태계의 조성, 생태통로의 설치 등 생태계의 연속성을 유지하기 위한 생태축의 구축 및 관리대책의 수립·시행	
	제9조 (자연환경보전기본계획의 내용)	제6호: 생태축의 구축·추진에 관한 사항	
	제34조 (생태·자연도의 작성·활용)	제1 항 제1 호 가: 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 제2조제2호에 따른 멸종위기 야생생물(이하 "멸종위기야생생물"이라 한다)의 주된 서식지·도래지 및 주요 생태축 또는 주요 생태통로가 되는 지역	
	제43조 (도시의 생태적 건전성 향상 등)	제2항: 환경부장관은 도시의 자연환경보전 및 생태적 건전성 향상 등을 위하여 관계중앙행정기관의 장과 협의하여 생태축의 설정, 생물다양성의 보전, 자연경관의 보전, 바람통로의 확보, 생태복원 등 자연환경보전 및 생태적 건전성에 관한 지침과 평가지표를 작성하여 관계행정기관의 장 및 지방자치단체의 장에게 권고할 수 있다.	
	제43조의2 (도시생태 복원사업)	제1 항 제1 호: 도시생태축이 단절·훼손되어 연결·복원이 필요한 지역	
대기환경보전법	제10조 (대기순환 장애의 방지)	관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장 및 사업자는 각종 개발계획을 수립·이행할 때에는 계획지역 및 주변 지역의 지형, 풍향·풍속, 건축물의 배치·간격 및 바람의 통로 등을 고려하여 대기오염물질의 순환에 장애가 발생하지 아니하도록 하여야 한다.	대기순환 장애를 방지하기 위한 조항이 있으나 구체적인 계획수법에 대한 규정이 없으며, 계획 과정별로 제도적 적용방안이 명시되어 있지 않음
서울특별시 환경영향평가 조례	제6조 (환경보전목표의 설정 등)	제1 항: 환경영향평가는 대상사업의 시행으로 영향을 받게 되는 대기환경, 수환경, 토지환경, 자연생태환경, 생활환경 및 사회·경제환경분야에 대하여 실시하여야 하며, 분야별 평가 항목은 별표 2와 같다.	별표2 중 1. 대기환경분야: 가. 기상(미기상 포함) 나. 대기질 다. 악취 라. 온실가스 ※기상 중 바람(풍향·풍속) 포함

이하는 환경영향평가와 관련된 법규/조항에 대한 내용임			
환경정책기본법 환경영향평가법	제41조 (환경영향평가)	제2항: 제1항에 따른 전략환경영향평가, 환경영향평가 및 소규모 환경영향평가의 대상, 절차 및 방법 등에 관한 사항은 따로 법률로 정한다. 제1항 제1호: 도시의 개발에 관한 계획 제1항 제1호: 도시의 개발에 관한 계획 제1항 제1호: 보전이 필요한 지역과 난개발이 우려되어 환경보전을 고려한 계획적 개발이 필요한 지역으로서 대통령령으로 정하는 지역(이하 "보전용도지역"이라 한다)에서 시행되는 개발사업	※"환경영향평가서등 작성 등에 관한 규정"과 관련된 법규
	제2장(전략환경영향평가) -제9조(전략환경영향평가의 대상) 제3장(환경영향평가) -제22조(환경영향평가의 대상) 제4장(소규모 환경영향평가) -제43조(소규모 환경영향평가의 대상)	제1항 제9호 다: 계획의 작성적·지속성 1) 공간 계획의 작성성, 2) 수요·공급 규모의 적정성 3) 환경 용량의 지속성 제2항 제11호 가: 자연환경의 보전 1) 생물다양성·서식지 보전, 2) 지형 및 생태축의 보전 3) 주변 자연경관에 미치는 영향 제2항 제11호 다: 사회·경제 환경과의 조화성: 환경친화적 토지이용	
	제23조 (전략환경영향평가서의 구성)	제1항 제7호: 평가 항목별 환경 현황 조사, 환경 영향 예측 및 평가의 결과 - 분야별로 1) 현황조사, 2) 예측영향 및 평가, 3) 저감방안, 4) 사후환경영향조사 등 수행	
환경영향평가서등 작성 등에 관한 규정	제33조 (환경영향평가서의 구성)	제1항 제4호: 환경 현황(자연생태환경, 생활환경 및 사회·경제환경) 제1항 제5호: 입지의 타당성 제1항 제6호: 환경에 미치는 영향의 조사·예측·평가 및 환경 보전 방안 가. 자연생태환경(동·식물상 등), 나. 대기질, 악취, 다. 수질(지표, 지하), 해양환경, 라. 토지이용, 토양, 지형·지질, 마. 친환경적 자원순환, 소음·진동, 바. 경관	
	제37조 (소규모환경영향평가서의 구성)		

자료: 법제처(2019), 행정안전부, (2019b)

환경영향평가는 평가 대상 사업의 성격 및 공간 규모에 따라 전략환경영향평가, 환경영향평가, 소규모 환경영향평가로 구분되며, 이의 항목 중 대기환경 분야에서는 기상, 대기질, 악취, 온실가스를 포함하고 있으며, 소규모 환경영향평가에서는 대기질 악취 등이 있다(환경영향평가법 시행령, 별표 1)(〈표 5-2〉 참조)(법제처, 2019).

국내에서 추진한 대규모 택지개발사업에서 바람길은 대부분 환경계획적 측면에서 적용되고 있으며, 대표적인 바람길 적용 사례는 행정중심복합도시(세종), 판교 신도시 지역 등이 있다. 서울시정개발연구원에서는 서울시를 대상으로 도시기후를 해석하기 위한 연구가 진행되었고, 청계천 개발사업에 따른 열환경 변화, 도시기후 해석 및 바람길 평가 방법론 정립을 위한 연구가 진행 중이다(한국환경정책·평가연구원, 2019).

환경영향평가사업 중 택지개발사업을 검토할 때 바람길을 해석하고 도시 및 단지계획수립, 건물을 건축함에 따라서 발생하는 바람길의 변화를 평가하고 있고, 한국환경정책·평가연구원에 접수된 도시개발사업 관련 평가 54건 중 바람길에 대한 해석이 요구된 사례는 총 46건이다(한국환경정책·평가연구원, 2019).

4) 국토 및 환경계획의 통합관리

‘국토계획 및 환경보전계획의 통합관리에 관한 공동훈령’이 2018년 3월 제정되어 현재 시행 중이며, 훈령은 국토계획과 환경보전계획의 통합관리를 위하여 그 적용범위, 연계방법 및 절차 등에 관하여 필요한 사항을 정하는 것을 목적으로 하고 있다(제1조)(법제처, 2019).

통합관리에 관한 사항은 자연생태계, 국토공간 관리, 에너지 절약형 공간구조, 수자원, 대기질, 기후변화, 폐기물 등의 부문을 포함하고 있다(제8조)(법제처, 2019). 2019년 제5차 국토종합계획(2020~2040)과 국가환경종합계획 수정계획(2020~2040)이 상호 연계를 위해 동일한 계획 기간을 갖고 동시에 작성되었다(법제처, 2019). 국가계획 수립과 동시에 국가계획수립협의회가 구성되어 기후변화와 미세먼지 문제 해소방안이 논의되었다.

나아가 이 훈령에는 체계적인 국토공간 관리 및 생태적 연결, 대기질 개선을 위한 대기오염물질 감축에 관한 내용이 명시되어 있다. 다만 국가 차원의 가이드라인을 제시하고 있으나, 지자체 차원에서의 세부적인 통합관리 방안이 마련되지는 않았다. 향후 보다 미시적으로 도시 내 미세먼지 저감을 위한 바람길 적용 방안을 다룰 필요가 있다.

표 5-3 | 미세먼지 및 바람길 관련 법령

법률		국토 및 환경정책	관련 내용			비고
			대기환경	미세먼지	바람통로	
국토 법제	국토기본법	국토종합계획	0	-	-	바람길 관련 내용 부재
		국토계획평가	-	-	-	
	국토계획법	광역도시계획	0	-	0	대기질 개선에 대한 선언적인 내용 포함 구체적인 방법론 부재
		도시·군기본계획	0	-	0	
		지구단위계획	0	-	0	가장 세부적인 내용 포함 세부 규정 미흡
	도시 및 주거 환경 정비법	정비계획 및 사업시행계획	0	-	0	지구단위계획이 수립될 경우 대기환경과 바람길을 고려하고 있다고 볼 수 있음
	도시개발법 택지개발촉진법	개발계획 및 실시계획	0	-	0	
환경 법제	환경정책기본법	국가환경종합계획	0	0	0	바람길 확보를 권고 또는 고려 세부 규정 부재
		지자체 환경보전계획	0	0	0	
	대기환경보전법	대기환경개선 종합계획	0	0	0	
	환경영향평가법	-	0	0	0	사업대상지 외부의 광역 차원에서 바람길 확보 여부를 평가하지 않음

자료: 본 연구의 저자가 작성하였으나, 국토연구원(2019b, p.10)에 활용됨

4) 한계점 종합

「국토기본법」, 「국토계획법」 등 도시 및 공간 관련 법제도에서는 친환경적 국토 이용 및 관리에 관한 선언적인 내용을 담고 있으나, 미세먼지 및 바람길 관련 내용은 한정적이거나, 세부 규정이 미흡하여 실제 계획상에서 반영되는 경우가 드문 것으로 판단된다(〈표 5-3〉 참조).

광역 및 도시 차원에서 바람길을 적용하기 위해서는 광역도시계획 및 ‘도시·군기본

계획 수립지침'에 바람길의 적용 및 세부 규정을 담을 필요가 있으며, 도시 내 소규모 지역을 대상으로는 지구단위계획에서 보다 상세한 세부 규정 마련이 필요할 것으로 판단된다.

「환경정책기본법」, 「대기환경보전법」에서는 바람길 확보를 권고 및 고려하여 계획을 수립토록 하고 있다. 특히, '지자체 환경보전계획 수립지침'에서는 기후현황지도 및 바람길을 반영해 수립토록 권고하고 있다. 하지만 실제 지자체 환경보전계획에서는 기후현황지도 혹은 대기오염지도, 바람길에 대한 공간적 범위가 제시되지 않은 경우가 많다. 제시된다고 하더라도 바람길이 도시·군기본계획과 연계되지 않아, 환경보전계획의 기후 요소가 토지이용에 반영되지 않는 것으로 판단된다.

따라서 바람길 적용은 국토계획 내에 바람길을 내재화하거나 국토 및 환경계획의 연계를 통해서 실현시킬 수 있을 것이다.

3. 연계의 대안 검토

1) 개요

이전 절에서 국토 및 환경 법제 내에서 바람길과 관련한 한계점을 살펴보았다면, 본 절에서는 한계점을 극복할 수 있는 대안을 다룬다. 바람길을 계획 체계 내에 적용하기 위해서는 국토계획과 환경계획 내 바람길과 관련되는 사항을 보강하고, 그 내용을 상호 연계시켜야 한다. 각기 계획 체계 내에서 바람길을 감안하여 작성된다고 하더라도, 바람길 계획의 기본방향과 공간적 범위가 일치하지 않는다면 바람길 계획의 실효성이 낮을 수밖에 없기 때문이다.

즉, 동일 혹은 유사한 공간을 대상으로 바람길이 설정되어야 하며, 이를 매개로 국토 및 환경계획이 연계된다면 바람길 적용이 가능할 것이다. 이러한 맥락에서 본 절에서는 계획 수립 과정을 조사, 작성, 평가, 시행단계로 구분하여 계획 간 연계성을 진단한 후 각 단계별로 계획의 연계 방안을 제시한다.

2) 연계의 방향

(1) 연계의 요소

국내외 사례, 모의실험의 결과 등을 종합적으로 검토해 보았을 때 (1)바람길의 조성, (2)거주지역과 미세먼지 발생원과의 이격, (3)건축물의 높이 및 배치 등의 분야에서 국토 및 환경계획을 연계하였을 경우 미세먼지 저감의 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

먼저, 광역 및 도시 공간 차원에서 바람길 조성이 필요하며 바람직한 바람길의 공간적 범위를 국토 및 환경계획에서 동시에 반영한다면 자연스럽게 두 계획을 연계시킬 수 있다. 도시의 광역적인 차원에서는 신선한 바람의 생성, 축적, 유입하는 지역이 공간적으로 연결되도록 해야 도심의 미세먼지가 교외 지역으로 분산될 수 있을 것이다. 이를 실현하기 위해, 찬공기 보호지역, 찬공기 관리지역 등을 토지이용계획에 반영토록 한다.

환경계획에서는 주어진 도시의 탁월풍, 지역풍 등의 기초자료가 포함되고, 이를 근거로 찬공기 보호지역 및 찬공기 관리지역 등이 제시되어야 한다. 도시계획 내 토지이용계획 수립 시 이를 감안하는 것이 적절하다.

둘째, 도시 차원에서는 미세먼지 차단 혹은 방지숲에 대한 내용을 양 계획에 포함한다면 두 계획을 연계시킬 수 있을 것이다. 도시 내 녹지는 대기오염, 소음, 진동 등의 공해를 방지하는 기능이 있으며, 「국토계획법」에서는 완충녹지로 적용되었으며, 환경계획에서는 생태축의 개념으로 적용되었다. 완충녹지 및 도시 내 생태축의 공간적 범위를 동일 혹은 근접하게 계획한다면, 도시 외부에서 발생된 미세먼지가 인구 밀도가 높은 도심으로 유입되는 것을 어느 정도 방지할 수 있을 것이다.

셋째, 지구단위 및 블록 단위 차원에서는 원활한 대기순환이 가능하도록 건축물의 층고 및 동간 배치계획이 수립되어야 한다. 예를 들어, 계획가는 개발계획 혹은 토지이용계획의 몇 가지 대안을 검토하고, 미세먼지 저감에 유리한 공간구조를 최종안으로 선택할 수 있다. 이 경우 환경계획이 별도로 수립되어 개발계획을 지원해 줄 수도 있으며, 개발계획 내에 환경계획의 내용을 포함시킬 수도 있을 것이다.

(2) 연계 대상 계획 및 법률

연계 대상 계획 및 법률은 ‘국토계획 및 환경보전계획의 통합관리에 관한 공동훈령 (제4조)’에 제시된 국토계획과 환경계획을 중심으로 선정하였다. 국토계획에는 국토종합계획, 도종합계획, 도시·군기본계획 및 도시·군관리계획 등이 포함되며, 이와 관련되는 법률로는 「국토기본법」, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」, 「도시·군기본계획 수립지침」 등이 있다. 환경계획에는 국가환경종합계획, 시·도 환경보전계획, 시·군 환경보전계획이 여기에 해당되며, 이와 관련되는 법률에는 「환경정책기본법」, 「자연환경보전법」, 「대기환경보전법」, 「환경영향평가법」 등이 있다.

(3) 연계 방식의 대안

찬공기 보호·관리지역을 포함한 바람길 조성, 미세먼지 차단 기능의 숲 조성, 적절한 건축물의 공간 배치 및 층고 설계를 통해 도시 내 미세먼지를 저감·분산시킬 수 있을 것이다. 이러한 기본방향 아래 구체적으로 두 계획을 연계시키기 위해서는 세 가지 대안을 고려할 수 있다.¹⁾

첫 번째 대안은 국토계획 자체적으로 바람길의 개념과 내용을 담고, 이를 국토종합계획, 도종합계획, 도시·군기본계획, 도시·군관리계획, 지구단위계획까지 공간위계별로 연결시키는 방안이다.

두 번째 대안은 환경계획에서 바람길의 공간적 범위를 제시하고, 이를 국토 및 도시계획에 반영하는 방안이다. 대안 2는 환경계획에서 바람길의 공간적 범위를 설정하고, 협의와 조정을 통하여 국토계획에 반영한다면, 바람길을 매개로 두 계획은 자연스럽게 연계될 수 있다.

1) 최영국 외(2002)는 바람길 적용을 특정하지는 않았지만, 전반적으로 국토 및 환경계획의 연계를 위해 본 연구와 유사한 세 가지 방안을 제시하였다.

표 5-4 | 바람길 적용을 위한 국토 및 환경계획의 연계 방안 비교

대안	장점	단점
1안 (국토계획 내 내재화)	- 계획 수립 주체가 개발사업을 추진하여 실현 가능성이 높음	- 바람길을 포함한 환경계획이 토지이용계획, 교통계획 등에 비해 후순위로 밀려날 수 있음
2안 (국토계획이 환경계획의 내용 반영)	- 환경계획의 내용을 반영한다면 보다 친환경적인 도시계획 작성 가능	- 환경계획에서 일방적인 바람길 계획이 작성될 수 있어 이를 온전히 수용하는 데 어려움이 있음
3안 (국토계획과 환경계획을 하나의 계획으로 수립)	- 하나의 계획 내에 바람길이 적용되어 계획의 정합성이 높음 - 가장 이상적인 형태의 바람길 적용 가능	- 법제도의 개정, 행정 조직의 개편이 필요함으로 단기간에 적용하기는 힘들
본 연구의 방향	- 방향성: 국토 및 환경계획의 수립 절차와 내용 등을 연계하여 상호 보완적인 역할 수행 - 광역 및 도시 차원: 환경계획에서 제시된 바람길을 국토 및 도시계획에 반영(2안) - 지구 및 구역 차원: 지구단위계획, 개발계획 등에서 바람길을 내재화(1안)	

자료: 박종순 외(2017, p.96)의 내용을 국토 및 환경계획의 연계에 부합되게 수정 보완

세 번째 대안은 국토계획과 환경계획을 하나의 계획으로 수립하는 안으로 하나의 계획 내에 바람길이 적용되어 계획의 정합성을 확보할 수 있다는 관점에서는 가장 이상적이다. 그러나 현재 국토계획과 환경계획은 담당 부처 및 부서가 다르기 때문에 법제도의 개정과 행정 조직의 개편이 필요하다. 이로 인해, 대안 3은 단기간에 도입하기 힘든 측면이 있다.

이러한 이유로 본 연구에서는 1과 2안이 혼용되어 바람길이 적용되는 것을 제안한다. 환경계획에서는 광역 및 도시 차원의 풍향, 풍속을 고려해 바람길에 대한 전반적인 가이드라인을 제시하고, 국토 및 도시계획에서는 사회·경제적인 여건을 감안하여 수용 가능한 범위 내에서 바람길을 적용할 수 있다(2안)(〈표 5-4〉 참조).

4. 계획 수립 단계별 연계 방안

1) 계획 수립 단계의 구분

본 연구에서는 바람길을 적용하기 위해 새로운 계획 체계를 적용하기 보다는 이전의 계획 체계에서 바람길과 관련되는 법제도적 사항을 수정·보완하는 방식을 택하였다.

계획 체계는 국토, 광역, 도시, 지구(地區) 차원처럼 공간 위계에 따라 구분할 수도 있으며, 계획수립 단계별로 조사, 작성, 평가, 시행단계로 구분할 수도 있다. 이전 절에서는 바람길과 관련한 공간위계요소별 법제도에 대한 전반적인 사항에 대해 다루었다면, 이번 절에서는 계획 수립의 단계별로 연계 방안을 모색코자 한다. 계획의 수립단계를 구분함으로써, 계획 수립과 개발사업의 과정을 종합적으로 검토할 수 있으며, 국토 및 환경 계획 간 비교 분석을 통해 상호 부족한 부분을 쉽게 확인 가능할 것으로 판단된다(표 5-5 참조).

표 5-5 | 계획단계별 국토계획과 환경계획의 검토 항목

계획단계	국토계획	검토 및 진단 내용	환경계획
조사단계	국토조사	- 미세먼지 오염도 조사 항목 - 바람길·녹지축 관련 조사 항목 - 도시 미기후 항목 조사 여부(풍랑, 풍속, 풍향, 오염도 등)	대기오염 측정자료 대기오염지도 국토환경성평가지도 생태자연도 등
작성단계	국토종합계획 도종합계획 광역도시계획 도시·군기본계획 도시·군관리계획	- 개발축 설정과 녹지축 설정의 방향 - 토지이용계획 작성시 미세먼지 저감 고려 정도 - 공원·녹지계획의 미세먼지 저감 고려 정도 - 보전지역 지정시 바람길 고려 여부	국가환경종합계획 환경보전중기종합계획 시·도환경보전계획 시·군·구환경보전계획
평가단계	국토계획평가	- 입지 선정 단계에서부터 바람길에 대한 사항을 포함하고 있는 지 여부 - 미세먼지 저감에 대한 구체적인 평가 방법이 있는 지 여부	전략환경영향평가 소규모환경영향평가 환경영향평가
시행단계	개발계획 (지구단위계획) 실시계획	지구단위계획을 통하여 바람길 적용 가능성 검토 및 진단	-

자료: 박종순 외(2017, p.98)의 내용을 국토 및 환경계획의 연계에 부합되게 수정 보완

조사단계는 계획 수립 초기에 대상지의 인문 및 자연환경을 조사하는 단계이며, 바람길과 관련하여 국토계획에서는 국토조사, 도시·군기본계획, 지구단위계획 수립 시 실시하는 기초조사가 있다. 환경계획에서는 대기오염 측정자료, 대기오염지도, 국토환경성평가지도 등이 있다. 국토조사의 지표, 대기오염 측정자료, 대기오염지도 등 환경 정보가 바람길 및 도시 미기후를 대표하는 자료로 충분한지 검토해야 한다.

계획의 수립 혹은 작성단계는 조사된 내용을 토대로 실제 계획을 수립하는 단계이다. 국토계획에는 국토종합계획, 도종합계획, 광역도시계획, 도시·군기본계획, 도시·군관리계획이 작성되며, 환경계획에서는 국가환경종합계획, 환경보전중기종합계획, 시도 및 시군구 환경보전계획이 작성된다. 이 단계에서도 국토계획과 환경계획에서 다루고 있는 바람길·녹지축 및 도시기후와 관련한 내용을 검토하고 그 한계점을 진단한다. 나아가, 개발축과 보전축의 설정, 토지이용계획 및 공원녹지계획 내에서 바람길 관련 내용을 어떻게 다루는 지 검토하고 한계점을 진단한다.

평가단계는 수립된 계획이 계획 간 정합성을 지니고 있는지, 수립된 계획이 환경, 사회, 경제 부문에 미치는 영향을 평가하는 단계이다. 국토계획 측면에서는 국토계획평가제도가 있으며, 환경계획 측면에서는 전략환경영향평가, 소규모 환경영향평가, 환경영향평가 제도가 있다. 국토계획평가 및 환경영향평가제도에서 다루고 있는 바람길·녹지축과 도시기후 관련 내용 검토 및 한계점을 진단하며, 개발사업의 입지 선정단계에서 도시 미기후가 고려되는지 여부를 검토한다. 또한, 정성적인 방법뿐만 아니라 정량적인 평가 기법이 활용되고 있는지를 파악한다.

시행단계는 새로운 시가지 혹은 주택단지를 조성하기 위해 도시개발사업, 불량한 노후주거지를 개선하기 위한 정비사업 등이 실시되는 단계이다. 이 단계에서는 사업단위의 개발계획과 실시계획이 작성되나, 바람길 적용을 위해 필요한 실천 수단이나 지침이 거의 부재하다. 개발계획 구역 내 특정 부지에 대해서는 지구단위계획이 수립될 경우 바람길 적용이 가능하므로 이를 중심으로 개선 방안을 제시한다. 사업단위에서의 환경계획은 대부분의 경우 수립되지 않고 있다. 다만, 일정 규모 이상의 개발이 도시 대기환경에 미치는 영향이 지대할 경우 사업단위별 환경계획을 수립할 수 있다. 이에

따라, 시행단계에서는 지구단위계획을 중심으로 살펴본다.

2) 단계별 연계 방안

(1) 조사단계 : 대기환경의 조사

□ 연계 방안

조사단계에서는 미세먼지, 도시미기후, 바람길과 관련된 조사 항목을 공동으로 설정하고, 이를 상호 공유할 수 있는 시스템을 마련해야 한다. 현재 도시계획 수립 시 일반적인 기초조사, 지구단위계획인 경우 환경성검토, 토지적성평가 및 재해취약성 분석 등이 실시된다. 그러나 미세먼지, 도시미기후, 바람길 등의 항목이 비중 있게 조사되지 않고, 지자체 환경보전계획에서도 바람길에 대해서는 명확한 공간적 범위를 제시하지는 않고 있다.

따라서 환경계획의 조사단계에서는 대기오염 측정자료를 활용하여, 대기오염 지도를 작성하고, CFD 모델 등을 활용하여 도시 내 주풍의 풍향, 풍속 및 찬공기의 흐름을 파악하는 것이 필요하다. 도시기후현황지도를 작성하여 주풍향의 방향과 그린·블루 네트워크, 야간의 냉기류의 흐름도 등을 도면화해야 한다.

보다 구체적으로 환경계획에서는 다음과 같은 항목을 담을 필요가 있다. 토지 피복 상황은 세분류 토지피복도를 준용하되 가급적 최근 시점의 피복지도를 작성하고, 기류 상황은 해륙풍, 산곡풍, 기류 흐름의 차단·난류 등의 정보를 지형도 위에 표현해야 한다.

또한 다양한 대기오염 배출원 및 오염범위, 표피온도분포, 기온분포도 등이 작성되어야 한다. 나아가 도시기후현황지도를 지적도, 임상도, 용도지역·지구·구역도와 중첩한다면 개발과 보전의 공간 대상을 용이하게 파악할 수 있다.

도시계획에서는 토지이용, 공원녹지, 녹지축과 연계하여 도시 내 바람길과 관련되는 기초자료를 수집하고, 이를 계획 작성 시 활용하도록 한다. 지구단위 차원에서는 도시미기후, 대기오염 배출원, 소지역 단위의 대기오염 현황지도 등을 포함하는 도시미기후 현황지도를 작성하고, 계획 작성 시 활용해야 한다.

환경보전계획 수립 시에는 대기오염 배출원의 정보, 측정소별 환경기준 초과횟수, 대기오염 현황지도, 바람길 지도 작성 등을 권고의 수준이 아니라 의무적으로 조사할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

□ 법제도 개선(안)

계획의 조사 단계에서는 도시기후 및 기상 현황을 기초조사 항목에 포함시켜야 한다. 이를 위해서는 「국토기본법」의 국토조사, 「국토계획법」이 규정하고 있는 광역도시계획, 도시·군기본계획, 도시·군관리계획의 기초조사 항목에 도시기후 및 기상 항목이 추가되어야 한다.

인구밀집도가 높은 인근 지역에서 충분한 양의 청정공기를 공급할 수 있는 지역, 즉 잠재적으로 청정한 공기를 공급 가능한 지역의 현황을 조사할 수 있도록 해야 한다. 이를 위해 「환경정책기본법 시행령」 제11조의2의 ‘환경성 평가지도의 작성’ 내용 중 관련 규정 사항을 추가할 수 있다.

또한 대기오염 측정망을 보다 촘촘히 설치하여, 도시 내 미세먼지 정밀지도가 작성될 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서는 「대기환경보전법」에 근거한 ‘대기오염측정망 설치·운영지침’의 내용을 개정하여야 한다. <표 5-6>은 관련 법률을 개정하여 조사단계에서 도시 차원의 기후, 기상 현황이 조사 항목에 포함되고, 도시대기측정소가 신설될 수 있는 방안을 예시적으로 보여주고 있다.

(2) 작성단계 : 개발축과 보전축 설정에 바람길 반영

□ 연계 방안

계획의 작성단계에서는 조사단계의 도시 기상 및 기후에 관한 사항을 검토하여 바람길의 공간적 범위를 정하고, 이를 기반으로 하여 개발축과 보전축을 계획해야 한다. 광역 및 도시 차원에서는 바람길의 공간적 범위를 보다 분명히 하고, 개발축과 보전축 설정 시 찬공기의 흐름을 고려해야 하며, 찬공기가 생성되고 흐르는 지역은 공원녹지

등 가급적 보전용도의 토지로 지정해야 한다.

표 5-6 | 조사단계의 법규 개선 방안(예시)

법명	현행	개선(안)
국토	국토기본법 시행령 제10조(국토조사의 실시) ①법 제25조제1항에서 "대통령령으로 정하는 사항"이란 다음 각 호의 사항을 말한다. 1. 지형·지물 등 지리정보에 관한 사항 2. 농림·해양·수산에 관한 사항 3. 방재 및 안전에 관한 사항	제10조(국토조사의 실시) ①법 제25조제1항에서 "대통령령으로 정하는 사항"이란 다음 각 호의 사항을 말한다. 1. 지형·지물 등 지리정보에 관한 사항 2. 농림·해양·수산에 관한 사항 3. 방재·안전·환경에 관한 사항
	제11조(광역도시계획의 수립을 위한 기초조사) ①법 제13조제1항에서 "대통령령으로 정하는 사항"이란 다음 각 호의 사항을 말한다. 1. 기후·지형·자원·생태 등 자연적 여건	제11조(광역도시계획의 수립을 위한 기초조사) ①법 제13조제1항에서 "대통령령으로 정하는 사항"이란 다음 각 호의 사항을 말한다. 1. 기후·기상·지형·자원·생태 등 자연적 여건
	도시·군관리계획 수립지침 제3장 환경성검토의 내용 및 방법 제2절 자연환경 평가기준 및 방법 ④ 바람통로의 설정 등 겨울철 찬공기 정체 및 여름철 열섬현상을 완화시키기 위한 방안	제3장 환경성검토의 내용 및 방법 제2절 자연환경 평가기준 및 방법 ④ 바람통로의 설정 등을 통해 미세먼지 저감 및 열섬현상을 완화시키기 위한 방안
환경	환경정책기본법 시행령 제11조의2(환경성 평가지도의 작성) ① 법 제23조제2항에 따른 환경성 평가지도에는 다음 각 호의 환경정보가 포함되어야 한다. 3. 그 밖에 수질·대기 등 행정계획 및 개발사업을 수립·시행할 때 고려하여야 하는 환경정보	시행령 제11조의2(환경성 평가지도의 작성) ① 법 제23조제2항에 따른 환경성 평가지도에는 다음 각 호의 환경정보가 포함되어야 한다. 3. 그 밖에 수질·대기·도시미기후 등 행정계획 및 개발사업을 수립·시행할 때 고려하여야 하는 환경정보
	대기환경보전법 (대기오염측정망 설치·운영지침) - 도시대기측정소는 인구 10만 이상의 도시에 설치하는 것을 원칙으로 하되, 인구 10만 미만인 도시라도 공업시설 등으로 인해 대기질 악화가 우려되는 경우 설치 가능하다(제2장 대기오염측정망의 설치 및 운영)(환경부, 2018, p.5)	- 도시대기측정소는 인구 5만* 이상의 도시에 설치하는 것을 원칙으로 하되, 인구 5만 미만인 도시라도 공업시설 등으로 인해 대기질 악화가 우려되는 경우 설치 가능하다.

* 인구 5만의 기준: 2019년 12월 기준 전국에는 226개의 시군구 지자체가 있으며, 인구 10만 이상의 지자체는 60.0%인 135개이며, 인구 5만 이상은 175개로 77.4%를 차지함(행정안전부, 2019c). 미세먼지 문제가 국지적인 문제가 아니라 전국적인 현상임을 감안할 때, 70~80% 정도의 지자체에서 도시대기측정소가 필요하다는 판단 하에 인구 5만을 제시함.

자료: 저자 작성

광역 및 도시 차원에서 수립되는 지자체 환경보전계획에서 바람길의 개략적인 공간적 범위를 제시해야 한다. 지자체 환경보전계획에서 찬공기 생성지역과 관리지역을 제시하고, 이를 가급적 생태축과 연계하여 보전축으로 설정해야 한다.

도시계획의 일환으로 토지이용계획 및 공원녹지계획이 수립될 때 환경계획에서 제시한 바람길을 반영토록 하며, 나아가 공업단지 등 미세먼지 배출원과 주거지 사이에 완충녹지를 조성해 미세먼지가 주거지역으로 유입되는 것을 최소화 시킨다.

‘지자체 환경보전계획 수립지침’에서는 대기오염물질의 배출원 관리, 도시 내 환풍, 기후환경지도의 작성 등을 권고하고 있다. 인구밀집 지역의 대기오염도 및 인근 청정공기 공급원 지역의 대기질 개선기여도 등을 종합적으로 분석하여, 청정공기 공급지역의 활용(연계) 가치를 평가하고 보전할 수 있도록 관련 규정을 보완해야 한다.

이러한 내용을 법제도에 반영하기 위해서는 광역 차원과 도시 차원에서 도시기후 정보를 공간화된 형태로 제공되도록 관련 규정을 마련할 수 있다. 또한, 토지이용, 공원녹지, 녹지축과 연계하여 바람길 조성계획을 수립하여야 한다는 규정을 담을 수 있다.

□ 법제도 개선(안)

계획의 작성단계에서 바람길을 적용할 수 있는 방안은 다음과 같다. 도시의 공간구조를 설정할 때 바람길을 고려하고 적용할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 찬공기가 생성되고 흐르는 지역은 녹지축 및 생태네트워크로 설정하여, 바람길의 역할을 수행할 수 있도록 계획한다.

‘도시·군관리계획수립지침’ 상에 바람길 적용을 위해서 환경성 검토 부문의 보완이 필요하며, 기후지침도 형태로 작성하여 이를 계획수립 시 반영토록 한다. 정성적 조사항목은 되도록 지양하고, 정량적 조사항목을 중심으로 조사항목을 구성한다. 정량적 조사항목으로는 기온, 풍향·풍속, 강수, 습도의 자료 외에 기후지수(불쾌지수, 냉방도일, 난방도일, 열대야, 열지수, 기후지수에 호우일수, 강수강도, 강풍일수, 서리일수, 결빙일수, 혹한일수, 열대야일수, 지표면 온도(밤), 지표면 온도(낮), 연평균 풍속, 바람 특성, 바람장, 찬공기 두께, 찬공기 체적, 찬공기 특성), 온도 평가도, 기후기능 분석도를 작성하도록 한다.

대기오염 관련 항목으로 잠재 대기오염, NO_x 연배출량, 인구 취약평가를 실시하도록 한다. 에너지 항목으로 단위 건물당 연간에너지 소비량, 필지·동·자치구 단위로 지역난방, 도시가스, 상수도, 전력, 석유 사용량을 바탕으로 에너지 다소비업체, 에너지다소비 필지 등을 중심으로 최대한 객관적인 기준을 정하여 평가하도록 한다. <표 5-7>은 작성단계에서 법제도적 개선사항을 예시적으로 보여주고 있다.

표 5-7 | 작성단계의 법규 개선 방안(예시)

법명	현행	개선(안)
국토	광역도시계획 수립지침	
	제3절 공간구조구상 3-3-3. 공간구조의 골격구상 (3) 공간구조상 축은 다음과 같이 설정한다. ③ 녹지축은 광역계획권의 내부와 외부의 녹지체계를 고려하여 개발축과 개발축 사이, 도시와 도시 사이에 배치하는 것을 원칙으로 하고, 환상형(벨트모양), 선형, 뿔기형 등 다양한 형태로 설정하고 가급적 단절되지 않도록 네트워크화한다.	제3절 공간구조구상 3-3-3. 공간구조의 골격구상 (3) 공간구조상 축은 다음과 같이 설정한다. ③ 녹지축은 광역계획권의 내부와 외부의 녹지체계 및 바람길을 고려하여 개발축과 개발축 사이, 도시와 도시 사이에 배치하는 것을 원칙으로 하고, 환상형(벨트모양), 선형, 뿔기형 등 다양한 형태로 설정하고 가급적 단절되지 않도록 네트워크화한다.
	제4절 부문별 계획 3-4-3. 녹지관리계획 (1) 녹지체계는 광역계획권의 개발축, 교통축, 기존 공원녹지, 주요하천, 개발제한구역, 역사문화공간, 여가공간계획 등을 고려하여 광역계획권 녹지체계와 생활권 녹지체계를 구분하고, 상호 연계되도록 계획한다. (2) 광역계획권 녹지체계는 다음과 같이 계획한다. ② 광역계획권 외곽은 자연공원도시공원과 개발제한구역내의 녹지를 활용하여 환상(環狀)의 녹지체계(green network)를 구상하며, 기존시가지는 해안하천지천을 이용하여 수변녹지축을 조성하고 자연공원도시공원과 상호 연계되도록 구상한다. 3-4-4. 환경보전계획 (3) 대기질개선계획은 다음과 같이 수립한다. ② 광역계획권의 대기질 개선을 위한 대책을 제시한다.	제4절 부문별 계획 3-4-3. 녹지관리계획 (1) 녹지체계는 광역계획권의 개발축, 교통축, 기존 공원녹지, 주요하천, 바람길, 개발제한구역, 역사문화공간, 여가공간계획 등을 고려하여 광역계획권 녹지체계와 생활권 녹지체계를 구분하고, 상호 연계되도록 계획한다. (2) 광역계획권 녹지체계는 다음과 같이 계획한다. ② 광역계획권 외곽은 자연공원도시공원과 개발제한구역내의 녹지를 활용하여 환상(環狀)의 녹지체계(green network)를 구상하며, 기존시가지는 해안하천지천을 이용하여 수변녹지축을 조성하고 자연공원도시공원과 상호 연계하여 바람길이 조성되도록 구상한다. 3-4-4. 환경보전계획 (3) 대기질개선계획은 다음과 같이 수립한다. ② 광역계획권의 대기질 개선을 위한 바람길 조성 대책을 제시한다.

법명	현행	개선(안)
도시·군 기본계획 수립지침	제2절 계획수립의 기본원칙 3-2-2. 관련계획간의 연계와 조화 (3) 다른 법령에 의한 계획이 있는 경우에는 이를 반영할 수 있다.	제2절 계획수립의 기본원칙 3-2-2. 관련계획간의 연계와 조화 (3) 도시의 기후변화 대응력 제고를 위해 <u>저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시·군계획수립 지침의 내용을 반영하도록 한다.</u>
	제3절 공간구조의 설정 4-3-1. 공간구조의 설정 (2) 공간구조개편방향 ③보전축은 지역내 충분한 녹지공간 확보와 생태적 건전성 제고를 위하여 녹지축, 수변축, 농업생산축, 생태축 등 다양한 형태로 배치하고 이들을 연결하여 네트워크화한다.	제3절 공간구조의 설정 4-3-1. 공간구조의 설정 (2) 공간구조개편방향 ③보전축은 지역내 충분한 녹지공간 확보와 생태적 건전성 제고를 위하여 녹지축, 수변축, 농업생산축, 생태축 등 다양한 형태로 배치하고 이들을 연결하여 <u>네트워크화함에 있어서 바람길을 조성할 수 있도록 배려한다.</u>
	4-7-3. 환경친화적 개발의 유도 (2) 개발이 예상되는 곳에 하천·공원·수림대 등이 있는 경우에는 이의 보전은 물론 개발대상지까지도 이와 연계하여 비오톱(biotop) 조성 및 미기후환경 보전 방안을 마련한다.	4-7-3. 환경친화적 개발의 유도 (2) 개발이 예상되는 곳에 하천·공원·수림대 등이 있는 경우에는 이의 보전은 물론 개발대상지까지도 이와 연계하여 비오톱(biotop) 조성 및 미기후환경 보전 방안을 마련하되, <u>바람길 조성을 적극 고려한다.</u>
	4-7-4. 대기환경 및 수환경의 보전 (1)청정연료 및 저유황유 보급 확대, 저공해 자동차 보급, 집단에너지공급시설 설치 등 오염물질의 배출을 저감하기 위한 전략을 강구한다.	4-7-4. 대기환경 및 수환경의 보전 (1)청정연료 및 저유황유 보급 확대, 저공해 자동차 보급, 집단에너지공급시설 설치 등 오염물질의 배출을 저감하기 위한 <u>도시 바람길 조성 전략을 강구한다.</u>
	제9절 공원·녹지 4-9-3. 공원·녹지체계 형성 ② 해안·하천·지천은 수변 녹지축으로 조성하고, 도시자연공원구역·근린공원과 상호 연계되도록 녹지체계를 구성한다.	제9절 공원·녹지 4-9-3. 공원·녹지체계 형성 ② 해안·하천·지천은 수변 녹지축으로 조성하고, 도시자연공원구역·근린공원과 상호 연계되며 <u>도시 전체의 바람길이 조성되도록 녹지체계를 구성한다.</u>
도시·군 관리계획 수립지침	제2절 자연환경 평가기준 및 방법 7-3-2-1. 기상·기후 및 에너지 (2) 에너지 소비량, 에너지공급체계의 자족성, 기상 변화로 인한 재해의 가능성, 바람이동의 장애, 공기의 정체 가능성을 중심으로 그 영향 요인과 정도를 정성적으로 평가한다. (3) 정량적 지표로는 단위 건물당 연간에너지 소비량이나 단위건물당 연간 Co2 발생량이 대표적이거나, 객관적인 평가기준이 설정되어 있지 않은 경우 정성적 지표를 위주로 평가한다. (4) 정성적 평가를 위한 주요 검토지표는 다음과 같다. ① 입지 선정에서 일조, 바람 등 자연자원의	제2절 자연환경 평가기준 및 방법 7-3-2-1. 기상·기후 및 에너지 (2) 에너지 소비량, 에너지공급체계의 자족성, 기상 변화로 인한 재해의 가능성, 바람이동의 장애, 공기의 정체 가능성을 중심으로 그 영향 요인과 정도를 <u>정량적으로 평가할 수 있도록 도면화한다.</u> (3) 정량적 지표로는 <u>기온, 풍향·풍속, 강수, 습도의 자료 외에 기후지수(불쾌지수, 냉방도일, 난방도일, 열대야, 열지수, 기후지수에 호우일수, 강수강도, 강풍일수, 서리일수, 결빙일수, 흑한일수, 열대야일수, 지표면 온도(밤), 지표면 온도(낮), 연평균</u>

법명	현행	개선(안)
	활용 정도 ② 도시·군관리계획이 에너지 수요에 미치는 영향 정도 ③ 에너지공급의 자족성 정도 ④ 바람통로의 설정 등 겨울철 찬 공기 정체 및 여름철 열섬현상을 완화시키기 위한 방안 ⑤ 게릴라성 호우 등 기상 변화로 인한 재해에 대한 대비 ⑥ 교통량이 에너지소비에 미치는 영향(주간선도로 이상)	풍속, 바람 특성, 바람장, 찬 공기 두께, 찬 공기 체적, 찬 공기 특성), 온도 평가도, 기후기능 분석도, 잠재 대기오염, NOX 연배출량, 인구 취약평가, 단위 건물당 연간에너지 소비량이나 단위건물당 연간 Co2 발생량, 필지·동·자치구 단위로 지역난방, 도시가스, 상수도, 전력, 석유 사용량을 바탕으로 에너지 다소비업체, 에너지다소비 필지 등을 중심으로 최대한 객관적인 평가기준을 설정하여 평가한다. (4) 정성적 평가를 위한 주요 검토지표는 다음과 같다. ㉠ 입지 선정에서 일조, 바람 등 자연자원의 활용 정도 ㉡ 도시·군관리계획이 에너지 수요에 미치는 영향 정도 ㉢ 에너지공급의 자족성 정도 ㉣ 바람통로의 설정 등 겨울철 찬 공기 정체 및 여름철 열섬현상을 완화시키기 위한 방안 ㉤ 게릴라성 호우 등 기상 변화로 인한 재해에 대한 대비 ㉥ 교통량이 에너지소비에 미치는 영향(주간선도로 이상)
	제3절 도시·군관리계획조서 및 도면 용도지역의 조정 - 기후지침지도 작성(주풍향, 그린/블루 네트워크, 냉기류에 기초한 용도지역 조정) 미세먼지 차단 숲, 완충녹지 조성 관련 현행 법률과 개선 방안	제3절 도시·군관리계획조서 및 도면 1-6-3-3. 환경성검토서 결과는 도면화하여 기후지침지도를 작성하도록 하며, 계획 수립시 이를 적극 반영하도록 한다.
환경	지자체 환경 보전계획 수립지침 3. 계획 작성 시 유의사항 1-2-3-3. 공간환경계획 (1) 환경·생태권역 설정 시 권역설정의 기준을 명확히 제시하고, 권역의 특성에 부합하는 계획을 수립한다.	3. 계획 작성 시 유의사항 1-2-3-3. 공간환경계획 (1) 환경·생태·도시기후 관리권역 등을 설정 시 권역설정의 기준을 명확히 제시하고, 권역의 특성에 부합하는 계획을 수립한다.

자료: 저자 작성

(3) 평가단계 : 정량적인 바람길 평가 기법 적용

□ 연계 방안

계획의 평가단계에서는 전 단계에서 수립된 계획이 도시기후, 미세먼지 그리고 바람길을 고려하여 작성되었는지 평가할 수 있을 것이다. 현재 국토계획평가에서는 「국토기본법 시행령」 내 국토계획평가에 관한 업무지침 <별표 2>에서 환경성 검토 세부 평가기준의 평가 범위를 ‘환경 관련 기초조사 및 현황 검토’, ‘환경보전계획 및 정책과의 부합성’, ‘환경 보전을 위한 계획의 적정성’으로 나누어 평가하고 있다(법제처, 2019).

‘환경 관련 기초조사 및 현황 검토’ 부문에서는 찬공기 생성지역, 도시 미기후 변화를 고려하지 않고 있으므로 해당 내용을 추가하는 것이 바람직하다. 환경보전 및 정책과의 부합성을 검토할 경우에는 개발구상이 바람길을 고려하여 작성되었는지 평가할 수 있을 것이다. 나아가, 환경보전 부문을 검토할 때에는 찬공기 보전지역과 관리지역 등이 적절하게 계획되었는지 평가할 수 있을 것이다.

현재 환경영향평가에서는 대기오염 예측을 위해서 개발사업 유형별로 대기질 조사항목을 규정하고 있다. 개발의 유형에 따라서 바람길 확보여부를 평가하고 있으나 정량적인 기준은 부재하다. 대기질 영향을 평가하기 위해서는 우리나라에서 대기오염이 심각한 봄철과 겨울철에는 미세먼지와 초미세먼지에 대한 조사를, 여름철에는 오존에 대한 조사를 포함하는 것이 적절할 것이다. 개발사업이 대상지 내부와 주변지역의 대기환경에 미치는 영향을 예측하고, 대기정체의 정도를 정량화할 필요성이 있다.

정리하면, 국토계획평가 지침에서는 환경성 검토 항목에 바람길 평가 항목을 추가해야 한다. 환경영향평가법에서는 대상 개발사업이 바람길의 확보 여부를 평가토록 할 수 있다. 특히, 환경영향평가 시 사업부지의 내부뿐만 아니라 인접 필지를 포함하여 바람길 확보 여부를 평가해야 하며, 동시에 광역 및 도시 차원에서 개발사업으로 인해 바람길이 차단되지는 않았는지를 평가해야 한다.

□ 법제도 개선(안)

계획의 평가단계에서 「국토기본법 시행령」, 「환경영향평가법 시행령」, 「환경영향평가법 지침」 등에서 <표 5-8>과 같이 개선 방안을 제시한다. 「국토기본법 시행령」에 근거한 ‘국토계획평가에 관한 업무지침’ 내에서는 ‘찬공기 생성지역, 도시 미기후 변화 고려 여부’와 ‘도시 내 바람길 보전을 위한 계획의 적정성’을 평가하도록 한다.

「환경영향평가법 시행령」에서는 세부 평가 항목에 미기상, 바람길을 추가하도록 하고, 겨울철과 봄철에 고농도 미세먼지 발생 빈도가 높은 점을 감안해 시간적 범위를 설정토록 한다.

표 5-8 | 평가단계의 법규 개선 방안(예시)

법명	현행	개선(안)
국토	국토기본법 시행령	- 국토계획평가에 관한 업무지침 내 <별표 2> · 환경관련 기초조사 및 현황검토 <항목 없음> · 환경 보전을 위한 계획의 적정성 <항목 없음>
환경	환경영향 평가법 시행령	- 제2조(환경영향평가등의 분야별 세부 평가 항목 등) <별표 1> 2. 환경영향평가 가. 자연생태환경분야 나. 대기환경분야 1) 기상 2) 대기질 3) 악취 <중략>
		- 제2조(환경영향평가등의 분야별 세부 평가항목 등) <별표 1> 2. 환경영향평가 가. 자연생태환경분야 나. 대기환경분야 1) 기상(미기상·바람길 등) 2) 대기질 3) 악취 <중략>
	환경영향 평가법 지침	- 제33조 환경영향평가서 작성방법 <별표 6> 2. 대기환경분야 나. 대기질 (1) 현황 (나) 조사범위
		- 제33조 환경영향평가서 작성방법 <별표 6> 2. 대기환경분야 나. 대기질 (1) 현황 (나) 조사범위

법명	현행	개선(안)
	- 공간적 범위는 대상사업의 시행으로 인해 대기질 농도가 변화될 것으로 예상되는 범위를 포함하는 지역으로서 기상, 지형, 기존 발생원, 주택 밀집도, 토지이용 실태 등을 고려하여 설정한다. - 시간적 범위는 대기질의 계절적 특성 변화를 파악할 수 있도록 설정한다.	- 공간적 범위는 대상사업의 시행으로 인해 대기질 농도가 변화될 것으로 예상되는 범위(인근 시군구)를 포함하는 지역으로서 기상, 지형, 기존 발생원, 주택 밀집도, 토지이용 실태 등을 고려하여 설정한다. - 시간적 범위는 대기질의 계절적 특성 변화를 파악할 수 있도록 설정한다. 겨울철과 봄철에는 미세먼지를, 여름철에는 오존 등을 고려하여 시간적 범위를 설정할 수 있다.
	(다) 조사방법 - 최소 2계절 이상, 계절별 3일 이상 조사를 원칙으로 하되, 신뢰할 수 있는 활용 가능한 기존 자료가 있는 경우에는 현지조사를 생략할 수 있다. 〈이하 생략〉	(다) 조사방법 - 최소 2계절 이상(봄/겨울 중 1계절은 반드시 포함), 계절별 3일 이상 조사를 원칙으로 하되, 신뢰할 수 있는 활용 가능한 기존 자료가 있는 경우에는 현지조사를 생략할 수 있다. 〈이하 생략〉

자료: 저자 작성

(4) 시행단계 : 바람길의 실질적인 조성 단계

□ 연계 방안

시행단계에서 바람길을 적용할 수 있는 방안은 정책 추진의 가능성 혹은 현실성의 측면에서 보면 두 가지 방안이 있을 수 있다. 먼저, 도시계획 내 내재화하는 방안으로, 현행 신규 택지 개발 혹은 산업단지 개발 시 개발계획과 실시계획이 작성되며, 여기에 토지이용계획과 바람길 계획이 연계되도록 하는 방안이 있다. 이는 현행 법제도의 틀을 유지한 채, 지자체 환경보전계획의 내용을 반영하여 개발 및 실시계획 작성 주체가 바람길 계획을 자체적으로 수립하는 경우이다. 다음으로는 도시계획과 환경계획을 연동시키는 방안이다. 현행 사업단위별 환경계획이 수립되지는 않으나, 중장기적으로는 이를 별도로 수립하고, 이 계획 내 바람길 관련 내용을 개발 및 실시계획에 반영할 수 있다.

□ 대안 I: 도시계획 내 내재화 방안(‘지구단위계획수립지침’의 개선)

일반적으로 개발계획이 수립될 때 지구단위계획이 함께 작성되며, 건축물의 배치(건

축물 간의 간격, 건축물의 향 등을 고려 필요) 및 고도, 건축물 및 필지의 피복 상태, 도로의 방향, 공원녹지계획, 가로수 배치(간격, 향 등 고려), 가로수의 수고 및 수종 선정 등에서도 바람길을 확보할 수 있도록 해야 한다.

바람길과 관련이 높은 지역에 대해서는 가급적 지구단위계획 수립 시 3D형상을 구체화할 수 있도록 지침을 마련해야 한다. 지침 마련 이전에는 3차원 모의실험을 이용하여 바람길을 평가하는 것이 바람직할 것이다. 필요시에는 지구단위계획을 보완하여 도시의 입체형상을 관리할 수 있는 제도적 방안을 마련해야 한다.

바람길 형성은 산, 숲, 골짜기에서 내려오는 맑은 공기가 도시 내로 원활히 유입되고 분산되어 미세먼지 농도를 낮출 수 있도록 수립구역 내 바람길을 조성하도록 한다.

미세먼지 차단숲은 미세먼지 배출원으로부터 인접한 수립구역의 경우, 완충지대로서 미세먼지를 차단할 수 있는 숲을 조성하도록 한다. 설치 세부기준은 구체화하여 ‘지구단위계획수립지침’에 반영하고, 미세먼지 흡착효과가 높은 식물로 공해차단 기준 녹화면적률 비율을 제시한다.

건축물 형태 및 배치는 바람길을 통해 유입되는 미세먼지 농도가 낮은 신선한 대기를 차단하지 않고 도시 내로 빠르게 유입분산시킬 수 있도록 건축물 형태를 정하고 이를 적절하게 배치한다. 예를 들어, 건물 형태는 판상형으로 하여 바람방향으로 수평하게 배치할 경우, 바람길이 확보되어 미세먼지 농도가 전반적으로 낮아진다.

그린인프라 설치는 바람속도가 빠르고, 미세먼지 농도장이 낮은 지역에 공원, 놀이터 등 이용자가 많은 시설을 우선 설치하도록 하여 미세먼지로부터 안전한 옥외활동을 증진시킬 수 있다.

□ 지구단위계획수립지침 개선(안)

국토교통부 ‘지구단위계획수립지침’에서의 미세먼지 저감을 고려한 지구단위계획을 적용하기 위해 관련 항목을 <표 5-9>와 같이 제시한다. 현행 ‘지구단위계획수립지침’은 제1장 총칙, 제2장 지구단위계획구역의 지정 및 지구단위계획의 수립, 제3장 지구단위계획 수립기준(공통), 제4장 주거형 지구단위계획 수립기준, 제5장 산업유통형

지구단위계획 수립기준, 제6장 관광휴양형 지구단위계획 수립기준, 제7장 복합용도개발형 지구단위계획 수립기준, 제8장 기타 수립기준으로 구성되어 있다(법제처, 2019). 이 중에서 바람길 적용을 위해 제2장에서는 계획 수립 시 ‘미세먼지 특화 단위 계획’임을 명시하거나, 기초조사 부분에 대기환경 관련 항목을 추가할 수 있다. 제3장에서는 용도지역·용도지구, 기반시설, 건축물의 배치와 건축선, 건축물의 형태와 색채, 공개공지 등 대지내 공지, 공원 및 녹지, 특별계획구역의 관련 항목을 바람길이 적용 가능하도록 개정할 수 있다.

표 5-9 | 지구단위계획에서의 바람길 적용 방안

수립 기준	관련 항목	미세먼지 저감을 위한 바람길 적용 방안
제2장 지구단위계획구역의 지정 및 지구단위계획의 수립	지구단위계획 수립의 일반원칙	미세먼지 특화 지구단위계획 명시
	기초조사	기초조사 항목 추가, 관련 계획 연계·활용
제3장 지구단위계획 수립기준 (공통)	용도지역·용도지구	주거지역 인근으로 완충기능의 용도지역 지정
	기반시설	미세먼지 차단을 위한 녹지 설치기준 특화
	건축물의 배치와 건축선	바람길을 고려한 건축물 배치
	건축물의 형태와 색채	바람길을 고려한 건축물 형태
	공개공지 등 대지내 공지	바람길 확보를 위한 공지 배치
	공원 및 녹지	바람길 확보를 위한 공원·녹지 배치
	특별계획구역	미세먼지 특화설계를 위한 특별계획구역 유형 추가

자료: 저자 작성

‘지구단위계획수립지침’의 개선안에 대한 세부적인 규정 및 개념도는 <표 5-10>과 <그림 5-3>에 제시하였다. 먼저, <표 5-10>에서는 바람길 적용을 위해 계획단계에서 모의실험(시뮬레이션)을 수행할 것으로 제안하고 있다. 나아가 지자체 환경보전계획의 내용을 반영하여 바람길의 공간적 범위를 설정해야 한다는 규정을 제시하고 있다. 또한 광역 차원의 바람길이 도시 내부의 완충녹지, 오픈스페이스, 가로수와 연결되는 규정과 더불어 건축물의 배치와 건축선, 형태, 바람통로, 공원 및 녹지가 조성될 경우 바람길을 고려하도록 하는 내용을 담았다.

표 5-10 | ‘지구단위계획수립지침’ 개선 방안(예시)

현행	개선(안)
제2장 지구단위계획구역의 지정 및 지구단위계획의 수립 제1절 지구단위계획구역 지정의 일반원칙 2-1-3. 지구단위계획구역은 환경친화적으로 지정하여야 하며, 이를 위하여 도시·군관리계획수립지침의 환경성검토 방법중 지구단위계획구역의 지정목적에 적합한 사항을 선정하여 환경성검토를 실시한다. 다만, 「환경영향평가법」 제9조에 따른 전략환경영향평가 대상인 도시·군관리계획을 입안하는 경우에는 이를 생략할 수 있다.	제2장 지구단위계획구역의 지정 및 지구단위계획의 수립 제1절 지구단위계획구역 지정의 일반원칙 2-1-3. 지구단위계획구역은 환경친화적으로 지정하여야 하며, 이를 위하여 도시·군관리계획수립지침의 환경성검토 방법 중 지구단위계획구역의 지정목적에 적합한 사항을 선정하여 환경성검토를 실시한다. 이 경우, 지구단위계획의 실현결과를 예측할 수 있도록 형태기본계획을 수립하고, <u>계획안에 대해서 계획단계에서 시뮬레이션 수행을 통해 환경성을 평가하도록 한다.</u> 다만, 「환경영향평가법」 제9조에 따른 전략환경영향평가 대상인 도시·군관리계획을 입안하는 경우에는 이를 생략할 수 있다.
제3절 지구단위계획 수립의 일반원칙	제3절 지구단위계획 수립의 일반원칙 2-3-0. 국민의 건강 증진을 위해 도시 공간에서 미세 먼지에 대응하여 <u>저감분산을 고려한 지구단위계획을 수립하여야 하며, 이를 위하여 용도지역·용도지구, 기반시설, 건축물의 배치 및 형태, 대지내 공지, 공원·녹지 등의 세부 지침을 특화하여 정할 수 있다.</u> < 신규 >
제5절 기초조사 2-5-2. 지구단위계획구역 지정 및 지구단위계획 수립을 위한 기초조사는 일반기초조사·환경성검토·토지적성평가 및 재해취약성분석으로 구성되며, 다음의 기준에 따라 조사를 시행한다. (2) 환경성검토는 「도시·군관리계획수립지침」의 환경성검토 방법중 적합한 사항에 대하여 시행한다.	제5절 기초조사 2-5-2. 지구단위계획구역 지정 및 지구단위계획 수립을 위한 기초조사는 일반기초조사·환경성검토·토지적성평가 및 재해취약성분석으로 구성되며, 다음의 기준에 따라 조사를 시행한다. (2) 환경성검토는 「도시·군관리계획수립지침」의 환경성검토 방법중 적합한 사항에 대하여 시행하되, <u>도면화하여 지구단위계획 수립시 참고가 되도록 한다.</u> 2-5-4. 미세먼지에 특화된 계획을 수립하기 위해 필요한 경우, 대상구역에 대한 <u>광역적·지역적 대기의 흐름, 미세먼지 배출원 및 농도 등 관련 기초조사를 수행할 수 있으며, 「지자체 환경보전계획」에서 수행된 조사자료가 있는 경우 이를 연계 활용할 수 있다.</u> <신규>
제3장 지구단위계획 수립기준(공통) 제3절 용도지역·용도지구	제3장 지구단위계획 수립기준(공통) 제3절 용도지역·용도지구 3-3-0. 미세먼지 배출원으로부터 주거지역의 보호를 위해 미세먼지 특화된 용도지역 기준으로서 <u>공업</u>

현행	개선(안)
	지역과 주거지역 사이에 관리지역이나 녹지지역 등 완충역할을 하는 용도지역을 지정하는 것을 권장한다. <신규>
제4절 환경관리 3-4-1. 환경관리계획은 도시·군관리계획수립지침에 따른 환경성검토 결과에 기초하여 수립하고, 자연환경을 보전하기 위하여 다음 사항을 고려하여 계획을 수립한다.	제4절 환경관리 3-4-1. 환경관리계획은 도시·군관리계획수립지침에 따른 환경성검토 결과에 기초하여 수립하고, 자연환경을 보전하기 위해 다음 사항을 고려하여 계획을 수립한다. (0) <u>환경성검토 및 바람길 평가 내용을 바탕으로, 완충녹지, 오픈스페이스, 가로수, 공원녹지, 토지 피복, 차폐울을 고려하여 광역 및 도시 차원의 바람길이 지구단위계획구역안의 바람길과 상호 연계되도록 계획한다.</u> <신규>
제5절 기반시설	제5절 기반시설 3-5-10. 기반시설 중 미세먼지의 차단을 위한 녹지의 경우 그 규모와 시설설치 기준을 미세먼지 차단 효과를 높일 수 있도록 차별화한다. <신규>
제10절 건축물의 배치와 건축선	제10절 건축물의 배치와 건축선 3-10-9. 미세먼지의 빠른 분산과 농도가 낮은 신선한 대기의 원활한 유입을 위해 바람길을 고려하여 건축물을 배치한다. 건축물은 바람길을 차단하지 않기 위해 바람길과 수평으로 배치하도록 한다. <신규>
제11절 건축물의 형태와 색채	제11절 건축물의 형태와 색채 3-11-8. 미세먼지 저감 및 분산을 위해 건축물의 배치와 연계하여 필요한 경우, 건축물의 형태를 바람길의 원활한 흐름을 유도하기 위해 판상형으로 배치하는 것을 권장한다. <신규>
제13절 공개공지 등 대지내 공지 3-13-1. 다음의 경우에는 건축선 지정 등을 통하여 대지내 공지를 확보하는 방안을 검토한다.	제13절 공개공지 등 대지내 공지 3-13-1. 다음의 경우에는 건축선 지정 등을 통하여 대지내 공지를 확보하는 방안을 검토한다. (6) <u>미세먼지 저감 및 분산을 위해 바람길을 확보할 필요가 있는 경우</u> <신규>
3-13-2. 대지내 공지를 확보하고자 하는 경우에는 다음 사항을 고려한다.	3-13-2. 대지내 공지를 확보하고자 하는 경우에는 다음 사항을 고려한다. (6) <u>바람길을 확보해야 할 공간에 공개공지 등 대지내 공지를 배치하여 바람통로가 최대한 확보되도록 한다.</u> <신규>

현행	개선(안)
제14절 공원 및 녹지 3-14-1. 공원 및 녹지를 계획하는 경우에는 다음 사항을 고려한다.	제14절 공원 및 녹지 3-14-1. 공원 및 녹지를 계획하는 경우에는 다음 사항을 고려한다. (6) 공원 또는 녹지는 지구단위계획구역 내 바람길을 고려하여 계획하여야 한다. <신규>
제15절 특별계획구역 3-15-2. 특별계획구역 지정대상은 다음과 같다.	제15절 특별계획구역 3-15-2. 특별계획구역 지정대상은 다음과 같다. (7) 미세먼지 대응을 위해 창의적이고 특화된 설계기법이 요구되는 경우 <신규>

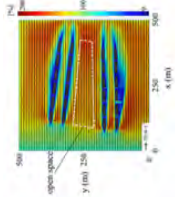
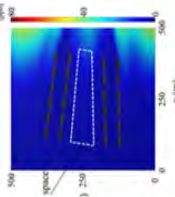
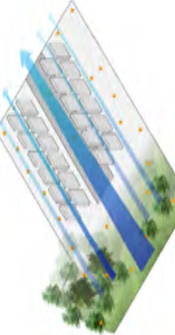
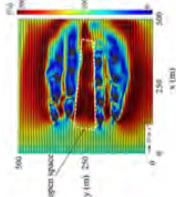
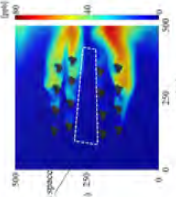
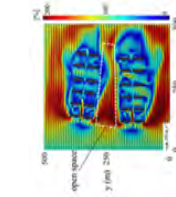
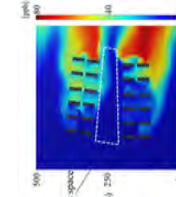
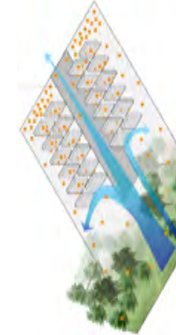
자료: 저자 작성

다음으로 <그림 5-3>은 바람길 확보 방안을 보다 이해하기 쉽게 도식화한 것이다. 풍속과 농도의 상관관계를 이해할 수 있도록 본 연구의 모의결과물을 삽화로 첨부하였으며, 관련 개념도를 제시하여 계획가가 이해하기 쉽도록 하였다. 건축물 배치 유형을 바람길 확보와 미확보로 구분하여, 가급적이면 바람길과 수평 방향으로 건축물을 배치할 것을 권고하였다. 또한 바람길과 수직으로 건축물을 배치하였을 경우 대기오염 물질이 정체될 수 있음을 도식화 하였다. 관련 그림과 내용은 ‘지구단위계획수립지침’의 본문에 삽입할 수 있을 것이다.²⁾

본 연구는 국토교통부 소관 ‘지구단위계획수립지침’의 개선 방안을 다루었으나, 그 결과물은 지자체 단위에서도 적용될 수 있다. 그 예로 행정중심복합도시건설청은 2019년 4월 ‘미세먼지 저감형 행복도시 추진단’을 구성하고, 행복도시(건설지역) 내 미세먼지를 해소하기 위해 배출원 관리, 미세먼지 저감 사업, 정보 전달 체계 개선 등 다양한 대책을 마련 중에 있다(행정중심복합도시건설청, 2019a). 이 중 6생활권 내 신도시 개발 시 바람길을 감안하여 건축물을 배치할 예정이다(세종의 소리, 2019). 이를 위해 건축물의 높이와 배치를 규제하는 ‘행정중심복합도시 지구단위계획 수립지침’을 개정하여 바람길을 체계적으로 도입할 예정이다(행정중심복합도시건설청, 2019a, p. 9).

2) ‘지구단위계획수립지침’ 상(1-3-3), “지구단위계획은 법에 의하여 수립하거나 도시개발법·택지개발촉진법 등 개별사업법으로 지정된 사업구역에 대한 개발계획 또는 실시계획과 함께 수립하여 당해 사업구역의 계획적 관리를 도모할 수 있다”라는 조항이 있으므로 ‘지구단위계획수립지침’을 보완한다면 별도로 개발계획 관련 법률을 수정할 필요는 없을 것으로 사료됨.

그림 5-3 | '지구단위계획수립지침' 내 추가 사항

유형	사례 블록 분석 결과		'지구단위계획수립지침' 내 추가 사항	
	바람장	농도장	개념도	지침
바람길 확보 (1)				- 신선한 공기 유입 및 미세먼지 분산·배출을 원활히 하고자 바람길과 수평 방향으로 건물 배치 - 오픈스페이스와 건물 주변으로 바람길 확보
바람길 확보 (2)				- 신선한 공기 유입 및 미세먼지 분산·배출을 원활히 하고자 바람길 확보가 가능한 타워형 건물 배치 - 오픈스페이스와 건물 주변으로 바람길 확보
바람길 미확보				- 바람길과 수직 방향으로 판상형 건물 배치시, 건물이 병풍 역할을 하여 미세먼지 분산을 어렵게 함으로 기압적 지양함 - 건물 주변으로 바람길이 확보되지 못해 미세먼지 정제 가능성을 높임으로 기압적 지양

자료: 본 연구의 저자가 작성하였으나, 대한민국정부(2019, p.116)의 자료로 활용됨

행복도시의 사례와 같이, 본 연구의 결과물을 지자체에서도 활용한다면 바람길 조성을 통해 미세먼지에 보다 안전한 도시를 만들어 갈 수 있을 것이다.

□ 대안 II: 도시계획과 환경계획의 연계(사업단위별 환경계획의 수립)

환경계획 부분에서는 사업단위별 환경계획을 수립하고, 수립된 환경계획을 반영하여 개발계획 혹은 지구단위계획이 수립된다면 자연스럽게 바람길을 적용할 수 있다. 예를 들어, 일정 면적 이상 혹은 도시 대기환경에 미치는 영향이 상당할 경우 의무적으로 ‘사업단위별 환경계획’을 새롭게 수립토록 한다.

표 5-11 | 시행단계의 환경 법규 개선 방안(예시)

법명		현행	개선(안)
환경	환경정책기본법	제4조(국가 및 지방자치단체의 책무) ① 국가는 환경오염 및 환경훼손과 그 위해를 예방하고 환경을 적정하게 관리·보전하기 위하여 환경보전계획을 수립하여 시행할 책무를 진다.	제4조(국가 및 지방자치단체의 책무) ① 국가는 환경오염 및 환경훼손과 그 위해를 예방하고 환경을 적정하게 관리·보전하기 위하여 환경보전계획과 필요한 경우 사업단위별로 환경계획을 수립하여 시행할 책무를 진다.

자료: 저자 작성

사업단위별 환경계획에서는 다음과 같은 내용을 담을 수 있다. 계획의 개요 부분에서는 지구단위계획과 상응하는 사업단위별 환경계획의 성격을 제시한다. 다음으로 대상지 현황조사 및 분석 부분에서는 미기상 및 기후, 찬바람 이동 경로 등을 포함한 도시 미기상 및 기후 조건을 기술한다. 공간구조 설정은 생태축 설정, 바람길 설정, 찬바람 보호지역 및 관리지역을 설정할 수 있으며, 사업의 영향저감계획 부분에서는 대기순환 및 바람길 계획을 담을 수 있다. 마지막으로 평가단계에서 준비된 바람길 관련 환경영향평가 보고서의 권고 사항이 사업의 시행단계에서 적절하게 반영되고 있는지를 모니터링할 수도 있다.

사업단위별 환경계획을 적용하기 위해서 「환경정책기본법」 제4조의 1의 지자체 환경보전계획 수립 외에 필요한 경우 사업단위별로 환경계획을 수립할 수 있다는 규정을 추가할 수 있다(<표 5-11> 참조).



CHAPTER 6

결론

- 1. 연구의 결과 및 기대효과 | 163
- 2. 정책제언 | 166
- 3. 연구의 한계 및 향후과제 | 169

결론

본 연구는 도시 내 미세먼지 저감을 위해 바람길의 효과를 검증하고, 이를 효과적으로 적용하기 위해 국토 및 환경 법제를 연계시킬 수 있는 방안을 모색하였다. 이를 위하여 미세먼지와 바람길 관련 선행연구 및 국내외 사례를 살펴보았다. 나아가 사례지역인 세종시를 대상으로 바람길을 모의 실험하고, 국토 및 환경법제의 개선을 통해 이를 적용할 수 있는 방안을 제시하였다. 이번 장은 결론에 해당하는 부분으로 지금까지의 연구 내용을 정리하고자, '연구 결과 및 의의', '정책제언', 그리고 '연구의 한계 및 향후 과제'를 기술한다.

1. 연구의 결과 및 기대효과

1) 연구의 결과

국내 미세먼지(PM10) 농도는 2000년대 초반에는 연평균 기준을 초과하였으나 점차 개선되어 현재는 정제 단계에 있다. 미세먼지 저감을 위해 정부는 배출원 관리, 주변국과의 협력 등 다양한 정책을 추진 중에 있다. 2012년 전후로 배출량과 미세먼지 농도 간의 상관관계가 낮아지고 있으며, 이는 미세먼지 문제를 해결하기 위해서는 단순히 배출원의 배출량을 관리하는 정책만으로는 부족하다는 것을 의미한다.

정부의 미세먼지 대응 정책을 보면, 바람길과 같은 도시 공간 구조의 개선에 대한 내용은 상대적으로 소홀히 다루고 있다. 바람길을 통한 미세먼지 저감에 대한 구체적인 목표치가 제시되지 않았으며, 관련 예산도 충분하지 않다.

도시의 바람환경은 지형 및 지세의 영향을 받으며, 블록 단위 차원에서는 오픈스페

이스, 건축물 배치, 동간 간격, 건축물 높이, 풍속, 풍향과 미세먼지 농도는 상호 연관성을 가진다.

바람길이 도시 내 미세먼지 저감에 효과가 있지만, 국내에서는 바람길 적용이 국토 및 환경계획으로 이원화되어 실제 개발사업에서 바람길을 적용한 사례는 드물었다. 이원화로 인해 계획 수립 시 대기환경 기초정보가 부족하고, 이는 개발축과 보전축을 설정하는 데 어려움을 발생 시킨다. 또한 개발사업이 대기환경에 미치는 영향을 파악하는 것도 쉽지 않다.

바람길을 적용하는 방법으로 국토계획 내 부문계획으로 바람길 계획을 포함하거나(1안), 환경계획과 국토계획을 연계하거나(2안), 국토계획과 환경계획의 통합하는 경우(3안)를 생각할 수 있다. 하나의 계획을 수립하는 것이 가장 이상적이긴 하나, 법제도의 개정과 행정 조직의 개편이 필요하여 단기간에 적용하기는 어려울 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 1안과 2안의 경우를 상정하고 계획 수립 단계별로 연계 방안과 세부 규정의 개선 사항을 제시하였다.

2) 연구의 의의 및 기대효과

본 연구의 의의는 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 현재 국토환경 분야에서 가장 이슈화 되고 있는 미세먼지 문제를 해소하기 위해 배출원 관리를 통한 저감뿐만 아니라 도시계획적 측면에서의 저감 방안을 제시한 것이고, 둘째는 사례지역에 대한 모의실험을 통해 도시의 바람환경을 심도 있게 분석하고, 미세먼지 저감에 바람길이 효과적임을 밝힌 점이다. 마지막으로, 바람길을 효과적으로 적용하기 위해서 ‘국토 및 환경계획의 연동’을 구체적으로 다루었다는 점이다.

우선, 미세먼지는 국민의 건강과 직결되는 문제로 우리나라에서는 주로 배출원 관리를 통해 미세먼지 발생을 억제하는 정책을 추진해왔다. 2002년을 기점으로 미세먼지 농도는 감소하는 경향을 보이고 있으나, 최근 들어 연평균 농도가 정체 수준에 있다. 이는 배출원 관리를 통한 미세먼지 저감 정책이 그 한계가 있다는 것을 의미하므로, 배출원 관리뿐만 아니라 새로운 저감 정책이 요구되는 상황이다. 따라서 도시계획적

측면 혹은 공간관리적 측면에서의 미세먼지 저감 정책 추진이 필요하며, 본 연구는 신도시 조성 시 바람길을 열면 미세먼지 감소 효과가 있다는 것을 정량적으로 보여주었다. 바람길은 미세먼지뿐만 아니라 도시 내 오존과 같은 대기오염물질을 저감시키고, 도시열섬 현상을 완화시킨다는 점에서 부가적인 편익도 고려할 수 있다. 이러한 측면에서 도시 내 바람길을 조성하는 것은 친환경 녹색도시를 조성하는 출발점으로서 중요한 의미를 지닌다.

다음으로, 사례 도시를 대상으로 탁월풍(주풍), 지역풍(산곡풍), 블록단위의 대기순환에 대한 모의실험을 수행하고, 이를 계획에 접목한 것이다. 사례 지역인 세종시는 2030년까지 80만 인구를 목표로 신도시가 조성 중에 있으며, 내륙 분지에 위치하여 대기가 정체될 확률이 높은 지역이다. 이러한 지역을 대상으로 도시 조성 전과 후의 탁월풍의 풍속 및 풍향의 변화 과정을 살펴보고, 일몰 후 생성된 청정한 찬공기가 저지대를 따라 유동하는 특성을 살펴, 도시계획 수립 시 실질적으로 활용될 수 있는 환경 정보를 확보하였다. 나아가 블록단위에서 바람길과 순응하는 건축물을 배치하였을 경우 시간의 경과에 따른 미세먼지 저감 효과를 정량적으로 제시하였다.

끝으로, 바람길을 효율적으로 적용하기 위한 방안으로 국토 및 환경계획의 연계를 제시한 점이다. 1970년대 네덜란드에서 시작된 국토 및 환경계획의 연계는 우리나라에서는 2000년이 들어서야 논의되기 시작하였으며, 연계를 위해서 환경계획을 공간화시키고, 공간화된 환경정보를 토지이용계획에 반영하려는 시도가 있었다. 환경요소 중 연계가 가능한 분야는 생태환경이었으며, 생태축 혹은 생태네트워크를 양 계획에서 공동으로 설정하고, 보전지역 지정과 토지이용계획 시 반영하려고 하였다. 여러 노력에도 불구하고, 생태축의 공간적인 범위를 구체화하는 것은 생물의 다양성 제고라는 추상적인 비전 설정, 목표종 설정의 어려움, 양 계획에서 보통의 자연지역 혹은 비도시지역에 대한 관리 방향이 상이하여 백두대간보호지역을 제외하고는 합의된 생태축의 공간적 범위는 아직까지 부재하다. 본 연구의 바람길은 생태축보다 명확한 공간적 범위로 표현 가능하며, 미세먼지 저감이라는 당면 과제를 해결하는 데 기여할 수 있어, 양 계획을 연동시키기가 용이하다는 특성이 있다.

2. 정책제언

1) 국토 및 환경계획의 연계 방안

바람길을 다루고 있는 법·제도·계획으로는 크게 국토 및 환경 분야로 구분할 수 있다. 국토 관련 법제도에서는 미세먼지 및 바람길 관련 내용은 한정적이거나, 세부 규정이 미흡하여 실제 계획상에서 바람길이 반영되는 경우가 드물다. 환경 법제에서는 기후현황지도 및 바람길을 반영해 계획을 수립토록 권고하고 있으나, 실제 지자체 환경보전계획에서는 기후현황지도 혹은 대기오염지도, 바람길에 대한 공간적 범위가 제시되지 않은 경우가 대부분이다. 또한 작성된다고 하더라도, 바람길이 도시·군기본계획과 연계되지 않아, 환경보전계획이 제시하고 있는 기후 요소가 토지이용에 반영되지 않고 있다.

양 계획의 연계 방식은 크게 (1)국토계획 내 바람길을 내재화하는 방식, (2)환경계획의 내용을 반영하여 국토계획을 수립하는 방식, 마지막으로 (3)국토계획과 환경계획을 완전히 통합하는 방식이 있다. 본 연구에서는 국토 및 환경계획의 수립 절차와 내용 등을 연계하여 상호 보완적인 역할을 수행하는 것이 적절하다는 결론을 제시하였다. 이에 따라 광역 및 도시 차원에서는 환경계획에서 제시된 바람길을 국토 및 도시계획에 반영하는 방안과 지구 및 구역 차원에서는 즉, 지구단위계획, 개발계획 등에서 바람길 계획을 내재화하는 방안이 현실적이라고 판단하였다. 이를 위해서 계획의 수립단계를 조사, 작성, 평가, 시행단계로 구분하고 각 단계별로 연계 내용과 법제도의 개선안을 제시하였다.

2) 계획 단계별 개선 방안

(1) 조사단계

조사단계에서는 대기오염 측정자료를 활용하여, 대기오염 지도를 작성하고, CFD

모델 등을 활용하여 도시 내 주풍의 풍향, 풍속 및 찬공기의 흐름을 파악하는 것이 필요하다. 도시기후현황지도를 작성하여 주풍향의 흐름, 그린·블루 네트워크, 야간의 냉기류의 흐름도 등을 도면화하고, 나아가서는 도시기후현황지도를 지적도, 임상도, 용도지역·지구·구역도와 중첩함으로써 개발과 보전의 공간 대상을 쉽게 파악해야 한다. 또한 도시지역에는 측정망을 늘려 미세먼지 정밀지도를 작성하고, 미세먼지 저감 조치가 우선적으로 필요한 지역을 파악할 수 있도록 해야 한다.

상기의 내용을 법제도에 반영하기 위해서는 환경보전계획 수립 시 대기오염 배출원의 정보, 측정소별 환경기준 초과횟수, 대기오염 현황지도, 바람길 지도 작성 등을 권고గా 아닌, 의무화하는 것이 필요하다. 도시계획에서는 토지이용, 공원녹지, 녹지축과 연계하여 도시 내 바람길과 관련되는 사항을 수집하고, 이를 계획 작성 시 활용하도록 한다.

(2) 작성단계

계획의 작성단계에서는 조사단계의 도시 기상 및 기후에 관한 사항을 검토하여 바람길의 공간적 범위를 설정하고, 이를 기반으로 하여 개발축과 보전축을 계획해야 한다. 광역 및 도시 차원에서는 바람길의 공간적 범위를 보다 분명히 하고, 개발축과 보전축 설정 시 바람의 흐름을 고려해야 하며, 찬공기가 생성되고 흐르는 지역은 공원녹지 등 보전용도의 토지로 지정한다.

구체적으로 지자체 환경보전계획에서는 바람길의 개략적인 공간적 범위를 제시해야 한다. 찬공기 생성지역과 관리지역을 구획하고, 이를 생태축과 연계하여 보전축으로 설정한다. 이와 연계하여 도시계획 차원에서는 토지이용계획 및 공원녹지계획에서 바람길을 반영토록 하고, 나아가 공업단지 등 미세먼지 배출원과 주거지 사이에 완충녹지를 조성해 미세먼지가 주거지역으로 유입되는 것을 최소화 시켜야 한다.

이러한 내용을 법제도에 반영하기 위해서는 환경계획에서 광역·도시 차원의 공간화된 도시기후정보를 마련도록 규정하고, 토지이용계획에 활용토록 해야 한다. 도시계획에서는 토지이용, 공원녹지, 녹지축과 연계하여 바람길 조성계획을 수립하여야 한다는 규정을 담을 수 있다.

(3) 평가단계

계획의 평가단계에서는 이전 단계에서 수립된 계획이 도시기후와 미세먼지, 바람길을 고려하여 작성되었는지 평가할 수 있다. 국토계획평가에서는 환경성 검토 항목에 도시기후, 대기오염, 바람길을 추가하는 것이 적절할 것이다. 환경영향평가에서는 해당 개발사업이 대상지 내·외부의 기상, 대기질, 악취 등에 미치는 영향뿐만 아니라, 광역 및 도시의 바람환경에 미치는 영향이 평가되어야 한다.

이에 따라 ‘국토계획평가 지침’에서는 환경성 검토 항목에 바람길 평가 항목을 추가하고, 「환경영향평가법」에서는 대상 개발사업이 바람길의 확보 여부를 평가해야 한다. 찬공기 보전지역과 관리지역을 지정하여 입지 선정 시 고려토록 하며, 개발사업이 대상지 내부와 주변 지역의 대기환경에 미치는 영향을 예측하고, 대기정체의 정도를 정량화 할 필요성이 있다.

(4) 시행단계

개발 시 작성되는 지구단위계획에 포함되는 건축물의 배치 및 고도, 건축물 및 필지의 피복 상태, 도로의 방향, 공원녹지계획, 가로수 배치, 가로수의 수고 및 수종 선정 등의 내용에 바람길 확보가 고려되도록 한다. 바람길과 관련이 높은 지역에 대해서는 가급적 지구단위계획 수립 시 3D형상을 구체화할 수 있도록 지침을 마련해야한다. 필요시 지구단위계획을 보완할 수 있도록 ‘도시의 입체형상 관리기법’을 개발한다.

산, 숲, 골짜기에서 내려오는 맑은 공기가 도시 내로 원활히 유입되고 분산되어 미세먼지 농도를 낮출 수 있도록 계획 수립구역 내 바람길을 조성하도록 한다. 배출원에 인접한 지역은 미세먼지가 차단되도록 차단숲을 조성한다.

건축물 형태 및 배치에 있어서는 바람길을 통해 신선한 공기가 유입되도록 건축물 형태를 정하고 이를 적절하게 배치한다. 공원, 놀이터 등 그린인프라 설치는 바람속도가 빠르고, 미세먼지 농도장이 낮은 지역에 우선적으로 설치하여 미세먼지로부터 안전한 옥외활동을 증진시킨다.

환경계획 부분에서는 중장기적으로 사업단위별로 환경계획을 수립하고, 수립된 환경계획을 반영하여 개발계획 혹은 지구단위계획이 수립된다면 자연스럽게 바람길이 적용될 수 있다.

3. 연구의 한계 및 향후과제

본 연구는 미세먼지 저감을 위해서는 바람길 조성이 유용함을 밝히고, 이를 효과적으로 적용하기 위한 국토 및 환경계획의 연계 방안을 다루었다. 선행연구 고찰, 모의실험, 현 시점에서 법제도의 한계와 개선 방안을 다루었지만, 다음과 같은 한계점이 있다. 이를 정리하고 향후과제를 제시한다.

첫째, 2002년 이후 국내 미세먼지 배출량이 감소함에도 불구하고, 미세먼지 농도가 정체 상태에 있는 원인에 대한 규명이 부족하다. 향후 과제에서는 최근 들어 고농도 미세먼지 발생 일수가 증가하고, 지속기간이 증가한 원인에 대한 연구가 필요하다. 또한 국토 공간상에서 미세먼지의 서고동저의 현상을, 수도권과 비수도권 중 수도권이 미세먼지가 높은 현상의 원인을 밝히는 연구가 필요하다. 나아가, 미세먼지 배출원의 분포와 이동 특성을 보다 면밀하게 파악하기 위하여 2차원의 배출원 지도뿐만 아니라 3차원의 정밀지도를 작성하는 것이 필요하다.

둘째, 바람길을 매개로 한 국토 및 환경계획의 연계 방안을 제시하였으나, 현장에 적용되기 위해서는 본 연구의 성과를 토대로 한 추가적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 일부 국토 및 환경 법제의 개선 방안에 대해서는 기술하고 있으나, 계획 수립 주체 및 민간 건설사 등을 대상으로 의견을 수렴하지는 못하였다. 향후 법령의 개정을 위해서는 바람길 적용에 대한 이해당사자의 의견을 충분히 수렴하고, 비용과 편익 등을 산정하여 바람길의 정량적인 효과를 분석해야 한다.

셋째, 미세먼지 저감 정책은 미세먼지 발생억제, 발생한 미세먼지의 저감, 미세먼지와 관련되는 정보를 국민들에게 제공하는 것으로 구분할 수 있는데, 본 연구는 바람길과 관련된 미세먼지의 저감 부문에 집중하였다. 반면, 수목의 미세먼지 흡수·흡착 능

력에 대한 연구, 완충녹지, 미세먼지 차단숲의 기능에 대해서는 충분히 다루지 못하였다. 도시 차원에서는 미세먼지 저감을 위해서 공원·녹지 조성이 필요하며, 미세먼지 저감의 관점에서 우선적으로 공원·녹지를 조성해야 하는 지역을 선정하는 기준도 마련해야 한다.

나아가 도시에 그린인프라를 공급하여 미세먼지가 저감된다면, 시민들이 필요로 하는 그린인프라의 최소요구치를 설정하는 연구도 생각해 볼 수 있다. 더불어 본 연구는 도시의 미세먼지 정밀지도 등을 작성하고 이를 효과적으로 시민들에게 서비스할 수 있는 방안과 스마트기술을 이용하여 미세먼지 저감 시설을 운용하는 방안을 다루지는 못하였다. 따라서 ‘바람길 조성’, ‘그린인프라 공급’, ‘스마트기술 적용’이 어우러져 미세먼지에 보다 안전한 도시를 조성할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

한 번 도시가 조성되면 50년 혹은 100년 동안 지속되기 때문에, 바람길의 효과는 시간이 갈수록 누적된다. 더불어 바람길은 미세먼지 저감뿐만 아니라 도시의 대기환경 전반을 개선시킬 수 있다. 바람길에 조성된 녹지 네트워크는 대기환경의 개선뿐만 아니라 도시환경 개선에도 중요한 역할을 담당할 것으로 기대된다. 이러한 측면에서 바람길이라는 주제가 촉매제가 되어, 진정한 의미의 친환경 녹색도시 조성에 대한 다양한 관심이 기울여지기를 기대해 본다.

참고문헌

REFERENCE



【인용문헌】

- 관계부처 합동. 2015. 제4차 국가환경종합계획.
- 관계부처 합동. 2017. 미세먼지 관리 종합대책.
- 관계부처 합동. 2018. 비상·상지 미세먼지 관리 강화대책.
- 국립환경과학원. 2017. 대기환경연보 2016.
- 국립환경과학원. 2018. 대기환경연보 2017.
- 국립환경과학원. 2019a. 대기환경연보 2018.
- 국립환경과학원. 2019b. 대기환경월보 2019. 4.
- 국토연구원. 2019a. 신선한 바람을 도시로 끌어들이자 : 산-도시-도시숲을 연결하는 바람길 도입 방안, 국회발표자료(2019. 9. 5.).
- 국토연구원. 2019b. 월간 국토, 2019년 6월호.
- 국회예산정책처. 2019. 미세먼지 대응 사업 분석.
- 권아름·김재진. 2015. “GIS 자료를 활용한 지상 바람 관측환경 분석”, Korean Journal of Remote Sensing, VOL. 31, NO. 2, p. 65-75.
- 김동영. 2009. 대기질 모형 CMAQ을 이용한 수도권 미세먼지 특성 연구, 경기개발연구원.
- 김민경. 2014. “사회-환경적 지속가능성을 고려한 홍콩의 고층고밀주거 계획기법 - 홍콩 공공주택 사례를 중심으로 -”, 대한건축학회논문집 계획계, VOL. 30, NO. 2, p. 83-92.
- 김수봉, 정응호, 김용범. 2004. “도시열섬 현상 완화를 위한 대구시 바람길 적용 및 조성방안에 관한 연구”, 환경과학논집, VOL. 9, No. 1, p. 143-156.
- 김수봉, 정응호, 이춘우. 2007. “바람길 조성을 위한 법제도 검토 및 활용방안”, 환경과학논집, VOL. 12, No. 1. p. 127-143.

-
- 김운수, 김학열, 엄정희, 조명희, 오성남. 2001. “기후특성을 고려한 도시계획제도의 적용과 적용가능성에 관한 연구”, 서울도시연구, VOL. 2, NO. 1, p. 1-21.
- 김재진, 백종진. 2005. “CFD 모형을 이용한 도시 지역 흐름 및 스칼라 분산 연구” 한국 기상학회지, VOL. 41, NO. 5, p. 733-749.
- 김지엽. 2015a. 기후변화에 대응하기 위한 미국의 법제 및 도시관리 동향, Urban Review, VOL. 36, p. 9-10.
- 김지엽. 2015b. 기후변화에 대응한 미국의 법제 및 도시관리 동향, 도시설계학회 녹색 위원회 세미나 발표자료(2015. 3. 20.).
- 김태원, 강인성, 최은지, 정민희. 2017. “CFD 시뮬레이션을 통한 단지유형별 바람길 분석”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, VOL. 37, NO. 1, p. 585-586.
- 김현준. 2000. “건설계획법을 통한 환경보호-독일 건설법전 (BauGB)의 시사”, 환경법 연구, VOL. 22, p. 513-535.
- 대한민국정부. 2011. 제4차 국토종합계획 수정계획(2011-2020).
- 대한민국정부. 2019. 제5차 국토종합계획.
- 류지원, 정응호, 김대욱, 차재규, 손경수. 2008. “KLAM_21을 활용한 바람생성기능 평가분석 연구 : 대구시를 대상으로”, 한국지리정보학회, VOL. 11, NO. 2, p. 85-92.
- 박종순, 최영국, 김선희, 임은선, 이진희, 이희라, 김유란. 2013. 환경과 조화로운 국토 계획 및 환경계획을 위한 광역생태축 적용 방안 연구, 국토연구원, 연구보고서.
- 박종순, 김성수, 황명화, 구형수, 장용혁. 2017. 국토·도시계획과 연안계획체계의 연계 성 강화 방안 연구, 국토연구원. 연구보고서.
- 박종순, 성선용, 남성우. 2019. 미세먼지 저감을 위한 바람길 적용 및 세종시 정책 과제’, 행복청 발표자료(2019. 4. 19.).
- 세종특별자치시. 2014. 2030 세종도시기본계획.
- 손정민. 2019. 도시지역의 열환경 개선을 위한 찬공기 관리방안 연구 : 청주시, 전주시, 진주시를 대상으로, 계명대학교 석사학위논문.
-

-
- 송동수. 2008. “독일의 습지보전 및 관리법제-자연보호법과 건설법전의 연계성을 중심으로”, 환경법연구, VOL. 30, NO. 3, p. 277-305.
- 엄정희. 2010. “공간계획에서 기후를 고려하기 위한 독일의 법적 체계 검토 및 그 시사점-도시의 바람순환을 중심으로”, 환경법연구, VOL. 32, NO. 2, p. 201-222.
- 엄정희. 2019. 산줄기를 활용한 바람길 조성과 정책과제. 국토연구원 국토환경·자원연구본부 출범기념 세미나 발표자료(2019. 4. 28.).
- 오규식·정희범. 2007. “도시의 개발밀도 변화가 대기오염에 미치는 영향 -서울시 이산화질소(NO_2) 및 미세먼지(PM_{10})를 중심으로”, 대한국토·도시계획학회, VOL. 42, NO. 5, p. 197-210.
- 왕광익, 박찬, 차은혜, 이상은, 김선희. 2015. 국토·환경계획 연계에 따른 도시계획적 대응방안 연구. 국토연구원
- 이건원. 2019. 미세먼지 저감을 고려한 국토 및 환경계획 수립의 가능성. 국토연구원 내부 세미나 발표자료(2019. 2. 19.).
- 이노우에 토시히코·스다 아키히사. 2002. 세계의 환경도시를 가다. 유영초 옮김, 사계절
- 이윤희. 2017. 세종시와 인근지역 상호영향 분석을 통한 대기질 관리방안 연구. 대전세종연구원.
- 이종범. 2004. 대기오염기상학, 신광문화사.
- 이주현, 최재원, 김재진, 서용철. 2009. “도시재개발이 도시지역 상세 대기흐름에 미치는 영향”, 한국지리정보학회지, VOL. 12, NO. 2, p. 69-81.
- 주현수. 2018. 제5차 국토종합계획 내 대기환경 부문. 외부 원고.
- 주현수, 김석철, 반지영, 최순심. 2006. 도시지역에서의 바람길과 대기질 영향에 관한 연구. 한국환경정책·평가연구원. 연구보고서.
- 주현수, 신동원, 최기철, 김오석, 최지원, 김채운, 공성용, 김유미, 이현철, 박선환, 김수향, 김운수, 김정민. 2018. 미세먼지 통합관리 전략 수립 연구, 한국환경정책·평가연구원, 사업보고서.
- 최영국, 이승복, 박인권, 김현수, 변병설. 2002. 국토계획과 환경계획체계의 연계방안 연구, 국토연구원, 연구보고서.

-
- 최재국. 2019. 제도개선을 통한 도시 열환경 개선 방안에 관한 연구, 계명대학교 박사학위논문.
- 최창호·조민관. 2012. “CFD 해석을 이용한 아파트 바람길 분석”, 한국건축친환경설비학회, VOL. 6, NO. 2, p. 93-98.
- 통계청. 2018. 2018년 사회조사 결과.
- 한국환경정책·평가연구원. 2019. “바람길 적용을 위한 환경법제의 개선 방안”, 국토연구원, 2019년 기본과제 ‘미세먼지 저감을 위한 국토·환경계획 연계 방안 연구 : 바람길 적용을 중심으로’의 외부 공동연구 최종보고서.
- 행정중심복합도시건설청. 2019a. 「미세먼지 저감형 행복도시」 추진계획(안).
- 행정중심복합도시건설청. 2019b. 행정중심복합도시 6-3생활권 Master Plan(안).
- 환경부. 2007. 지방자치단체 환경보전계획 수립지침(개정).
- 환경부. 2009. 사업유형별 평가서 작성을 위한 환경영향평가서 작성 가이드라인. 환경부 국토환경정책과.
- 환경부. 2018. 대기오염측정망 설치·운영지침.
- Bai, Z. P., Cai, B. B., Dong, H. Y., & Bian, H. 2006. Adverse health effects caused by dust haze-a review. Environmental Pollution and Control, VOL. 28, NO. 3, p. 198-201.
- Barlag, A. B., Kuttler, W., 1990. The significance of country breezes for urban planning. Energy Build. VOL. 15, NO. 3-4, p. 291-297.
- Baumüller, J., Flassak, T., Sch€adler, G., Keim, M., Lohmeyer, A., 1998. “Urban climate 21”- climatological basics and design features for “Stuttgart 21” on CD-ROM, Kobe.
- Boubel, R., Fox, D., Turner, B., Stern. A., 2003. Fundamentals of Air Pollution, 알기쉬운 대기오염학. 박종길, 윤일희, 조완근, 이부용, 이기호, 김조천, 박문기, 이병규, 전병일 옮김. 2003. 동화기술. (원서출판, 1994)
- Bundesamt für Naturschutz, 2008. Landscape Planning – the basis of sustainable landscape development, Bonn, 2008, S. 52.

-
- Edward, N., 2006. Air Ventilation Assessment for High Density City Planning and Design. The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.
- Edward, N., 2009. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities - air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. Building and Environment VOL. 44, NO. 7, p. 1478-1488.
- Gál, T., and Sümeghy Z., 2007. Mapping the roughness parameters in a large urban area for urban climate applications, Acta Climatologica et chorologica, Universitatis Szegediensis, Tomus, VOL. 40-41, p. 27-36.
- Godish, T. 2005. Air quality, 대기환경론, 한화진, 김용준, 조억수, 주현수 옮김, 도서출판 그루. (원서출판, 2002)
- Kang, G., Kim, J., Kim, J., Choi, W., Park, J., 2017. Development of a computational fluid dynamics model with tree drag parameterizations: Application to pedestrian wind comfort in an urban area, VOL. 124, 1 November 2017, p. 209-218
- Katzschner, L., 1988. The urban climate as a parameter for urban development. Energy Build. VOL. 11, NO. 1-3, p. 137-147.
- Kim, H. 2014. Urban form, wind, comfort, and sustainability: the San Francisco experience. Doctor of Philosophy Dissertation. Dept. of City and Regional Planning, University of California, Berkeley.
- Kim, H., and Macdonald E. 2016, Does Wind Discourage Sustainable Transportation Mode Choice? Findings from San Francisco, California, USA, Sustainability, VOL. 8, NO. 3, 257.
- Kress, R., 1979. Regionale luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die Raumliche planung. Dortmund, Germany.

-
- Kwak K., Baik, J., Ryu, Y., Lee, S. 2015. Urban air quality simulation in a high-rise building area using a CFD model coupled with mesoscale meteorological and chemistry-transport models. *Atmospheric Environment*, VOL. 100, p. 167-177.
- Lau, S.S.Y., 2011, Chapter 3: Physical Environment of Tall Residential Buildings: The Case of Hong Kong In Yuen B. ·Yeh. G. O. A. High-Rise Living in Asian Cities, Springer.
- Matzarakis, A., Mayer, H., 1992. Mapping of urban air paths for planning in Munich. *Planning Applications of Urban and Building Climatology*, VOL. 16. Wiss. Ber. Inst. Meteor. Klimaforsch. Univ. Karlsruhe, p.13-22.
- Mayer, H., Wolfgang. B., Matzarakis, A., 1994, Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-Report, VOL. 5, NO. 94, p. 265-268.
- Mitschang, S., 2008. Die Belange von Klima und Energie in der Bauleitplanung. *Natur und Recht*, VOL. 30, p. 601-612.
- Ren C., Yang R., Cheng C., Xing P., Fang X., Zhang S., Wang H., Shi Y., Zhang X., Ting Y., Yu. K., Ng E. 2018. Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan-The implementation in Chinese cities. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, VOL. 182 p. 170-188.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2011. StEP (Stadtentwicklungsplan) Klima.
- State Capital Stuttgart, 2010, Global Climate Change - adaptation and mitigation: the new challenge facing urban climatology.
- Tanaka. T. and Moriyama, M., 2004, Application of GIS to make 'Urban Environmental Climate Map' for Urban Planning, 5th Conference on Urban Environment, American Meteorological Society

-
- Wang, T., Nie, W., Gao, J., Xue, L. K., Gao, X. M., Wang, X. Wang, S. L.
2010. Air quality during the 2008 Beijing Olympics: secondary pollutants and regional impact. *Atmospheric Chemistry and Physics*, VOL. 10, NO. 16, p. 7603–7615.
- Wang, J., Kim, J., Choi, W., Mun, D., Kang, J., Kwon, H., Kim, J., Han, K.,
2017. Effects of wind fences on the wind environment around Jang Bogo Antarctic Research Station, *Advances in Atmospheric Sciences*, VOL. 34, No. 12, p. 1404-1414.
- Weerasuriya, A. U., Tse, K. T., Zhang, X., Kwok, K. C. S., 2018. Integrating twisted wind profiles to Air Ventilation Assessment (AVA): The current status. *Building and Environment*, VOL. 135, p. 297–307.
- 鍵屋浩司・足永靖信. 2013. ヒートアイランド対策に資する「風の道」を活用した都市づくりガイドライン, 国土交通省 国土技術政策総合研究所.
- 竹林英樹. 2010. 大阪地域を対象とした 都市環境気候地図の作成方法に関する研究.

【인터넷 자료】

- 국민일보. 2016. ‘안개도시’ 세종시 교통사고 취약, (10월 24일).
<http://m.kmib.co.kr/view.asp?arcid=0923632895>, 검색일: 2019. 10. 11.
- 국립국어원. 2019. 표준국어대사전. <https://stdict.korean.go.kr/main/main.do>, 검색일: 2019. 5. 25.
- 국립환경과학원. 2019c. 배출량 통계.
https://airemiss.nier.go.kr/user/boardList.do?handle=160&siteId=airemiss&id=airemiss_030500000000, 검색일: 2019. 10. 15.
- 네이버 지도. 2019. <https://map.naver.com>, 검색일: 2019. 9. 10.
- 법제처. 2019. 국가법령정보센터.
<http://www.moleg.go.kr/lawinfo/lawNotice/lawNoticeInfo>,
검색일: 2019. 6. 28.

서울시 미세먼지정보센터. 2019.

<https://bluesky.seoul.go.kr/finedust/common-sense/page/10?article=745>.

검색일: 2019. 9. 30.

세종의 소리. 2019. 전국 최악 미세먼지 도시 오명 세종시, 해법은? (9월 25일),

<http://www.sjsori.com/news/articleView.html?idxno=39673>.

검색일: 2019. 12. 30.

오사카시. 2011. 바람길 비전 기본방침,

<https://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/page/0000123906.html>.

검색일: 2019. 6. 3.

우리말샘. 2019. <https://opendic.korean.go.kr/main>. 검색일: 2019. 12. 30.

한국일보. 2017. 기억할 오늘 1952년 런던스모그(12월 5일),

<https://www.hankookilbo.com/News/Read/201712050466264815>.

검색일: 2019. 12. 12.

행정안전부. 2019a. 국가공간정보포털 다운로드.

<http://data.nsd.go.kr/dataset/14783>. 검색일: 2019. 4. 20.

행정안전부. 2019b. 자치법규정보시스템. <http://www.elis.go.kr/>.

검색일: 2019. 4. 20.

행정안전부. 2019c. 주민등록 인구 및 세대현황. <http://27.101.213.4/index.jsp#>,

검색일: 2019. 12. 30.

환경부. 2015. 환경공간정보서비스. <https://egis.me.go.kr/main.do>,

검색일: 2019. 5. 20.

American Legal Publishing Corporation. 2019. Planning Code <http://library.amlegal.com/nxt/gateway.dll/California/planning/planningcode?f=templates>

\$fn=default.htm\$3.0\$vid=amlegal:sanfrancisco_ca\$sy, 검색일: 2019. 10. 14.

EPA(Environmental Protection Agency). 2019. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/basicscompendium.pdf>, 검색일: 2019. 12. 30.

Kwok, K. C. S., Tse, K. T., Tsang, C. W., Wong, K. S. 2012. Air ventilation assessment (AVA) for building developments. Workshop Proceedings: 15Th Australasian Wind Engineering Society Workshop: 23–24 February 2012, Sydney, Australia, The University Of Sydney. <http://www.awes.org/default.php?section=AWES15>, 검색일: 2019. 12. 30.

Planning Department. 2011. Hong Kong Planning Standards and Guidelines, Chapter 11. Urban Design Guidelines, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, https://www.pland.gov.hk/pland_en/tech_doc/hkpsg/full/index.htm, 검색일: 2018. 12. 2.

NOAA. 2019.
<https://www.noaa.gov/stories/story-map-noaa-supports-healthy-nation>,
검색일: 2019. 12. 12.

SUMMARY



A Study on Integration of Spatial and Environmental Planning to Mitigate Particulate Matter: Focusing on Ventilation Corridors

Park Jongsoon, Park Taesun, Kim Eunna, Lee Sangeun, An Seungman, Lee Jungchan,
Sung Sunyong, Yoon Eunjo, Nam Seongwoo, Joo Hyunsoo, Kim Jaemin, Lee Gunwon

Key words: Ventilation Corridors, Particulate Matter, Spatial and Environmental Planning,
Green Infrastructure, Computational Fluid Dynamics(CFD)

1. Introduction

Particulate matters(PM) in Korea have been emerged as main concerns raising people's anxiety. The annual average concentration of particulate matter(PM10) in Korea and Seoul has been gradually decreasing since 2002. Nevertheless, it is still about two times higher than the World Health Organization's recommended standard($20\mu\text{g}/\text{m}^3$). In order to address the problem, the Korean government mainly promoted a policy to regulate its emission source. This includes the management of emission sources such as replacing old diesel vehicles, expanding the supply of eco-friendly vehicles, and distributing road cleaning vehicles. To improve air quality, the budget has increased by about 20% over the last four years. However, the correlation between emissions and PM since 2012 has been decreasing. This means that it

is not enough to simply manage the emission of the source for targeting the problem of PM.

Therefore, it would be more helpful in case spatial management policies such as ventilation corridors are combined with the current emission control policy. The case of Stuttgart, Germany, and a number of studies of Korea have shown empirically that plants reduce PM, and that the layout and height of buildings affects the concentration of PM.

It is somewhat difficult to locate a case where the ventilation corridors in city are practically employed in Korea. Although there may be a number of causes, current divided spatial and environmental planning systems are one of them. In order to apply them to spatial planning, urban atmosphere is analyzed and applied on the basis of this information. In other words, if environmental plans give an idea on the potential area of them, spatial plans reflect them. In the similar way, the ventilation corridors are able to be applied by internalizing in city and development plans.

This study aims both to identify the usefulness of the ventilation corridors in order to reduce the PM in the city and to explore the policy alternative to include them in the spatial plans. In more detail, their effects including PM's reduction and dispersion are to be identified, and the integration between spatial(or urban) and environmental plans is explored as an alternative to apply them.

2. Scope and method of research

1) Scope of Study

The spatial scope of this study can be categorized into national, urban, and

district units, whereas its temporal scope can be seen as the planning period or the duration of simulation. First, the overall characteristics of Korea's PM concentration were discussed at the national level, and Sejong City was selected as a study area at the regional and urban levels.

The prevailing winds of Sejong City are the north wind and northwest wind. As a result, PM is more likely to come from the west coast, and smog combined with fog frequently occurs during the four seasons. As the city is under construction with a target of 800,000 populations, we should identify the change in wind speed and direction before and after development. At the district level, Sejong City is in need of simulation of wind direction and PM's impacts of the development in order to mitigate PM's concentration.

In 2019, the Fifth National Territorial Comprehensive Plan was addressed for the target year of 2040, whereas the Sejong Development Plan aimed at 2030. As the cold air flow chart covers the wind blowing from the mountain to the city at night, the time range can be viewed about 8 hours after sunset. Therefore, the temporal scope of the study varies, 20 years in terms of the planning period, and 8 hours in the simulation.

2) Methodology

Research methods can be divided into three categories; literature review, PM flow simulation using CFD (Computational Fluid Dynamics) model and interdisciplinary research with external experts.

First, the plans and government policies of PM are reviewed. They include the Comprehensive National Land Plan, Metropolitan Urban Plan, Urban and Military Master Plan, National Comprehensive Environmental Plan, and Local Environmental Conservation Plan. In addition, a number of countermeasures for

PM reduction of overseas countries are reviewed aiming both to drive implications and to apply them for Korea. The foreign countries cover Germany, USA, Hong Kong and Japan.

Secondly, the CFD model is used to simulate the impacts of new town development on both urban air environment and PM concentration, and to investigate the cold air flow at night.

This study adopts a research method that integrates and cooperates with external experts. Its topics can be broadly divided into 'spatial and environmental legislation and planning' and 'PM and atmosphere modeling'. In-depth study of the two themes requires interdisciplinary research with different expertise and cooperation among specialized institutions.

3. Literature reviews and Case studies

In order to fill the gaps of previous studies and to set the direction of this study, the previous studies and overseas cases have been reviewed in relation to the integration between urban climate, PM, ventilation corridors, urban and environmental plans.

To reduce PM in the city, the stagnant atmosphere should be circulated. For overseas countries the ventilation corridors could be one of a means in achieving this purpose. They are used to reduce PM and heat island effect of the city. Ventilation corridor plans are often inherent in urban planning, for example, Hong Kong. They are also linked to environmental planning, such as Germany. Despite many different approaches, urban and environmental planning regards urban microclimate as an important planning element to ensure clean air quality.

In Korea, it has been studied that the ventilation corridors are effective in

reducing and dispersing PM. At night, cold and fresh air from mountainous areas flows into city to improve air quality. Plants in the ventilation corridors is able to absorb PM. Furthermore, there have been attempts to apply the ventilation corridors by improving the legal system related to urban planning. However, there is somewhat limited that the introduction of the ventilation corridors has not dealt with the linkage of national and environmental plans.

4. PM and Its Reduction Policies of Korea

Regarding PM₁₀ in Korea, it exceeded the annual average standard in the early 2000s, but have gradually improved into stagnation stage. There is a trend for the correlation between emissions and PM concentration to decrease around 2012, which means that the policy of simply managing emissions from sources is insufficient to address the problem.

Since 2015, PM_{2.5} have been measured and at present it is on the rise. Its average monthly concentration in 2018 was higher in winter than in summer. Furthermore, the metropolitan area was higher than the other areas, while the western side of the country was higher than the east side.

In order to mitigate the PM, the Korean government is pursuing various policies including management of emission sources and cooperation with neighboring countries. However, it is relatively limited to mitigate PM as it may not regard an association between PM concentration and urban form. As a result, mitigation budgets are not sufficient enough to applying ventilation corridors.

The PM in Sejong City, which is a study area, is higher in winter than in summer. It is generated in order of scattering dust, non-road use, bio-combustion, and road movement. In order to mitigate PM, it is necessary

to control scattering dust generated at construction sites and to employ the ventilation corridors in the process of developing a new town.

5. Ventilation Corridor Simulation for PM Mitigation

In this chapter, we simulated the changes in the atmospheric environment, the flow of cold air after sunset, and the correlation between urban form and PM's concentration in Sejong City. Areas with relatively flat terrain and rivers have high wind speeds, while those in other regions have low wind speeds. The construction of a new town changed the surface wind vectors into a complex or distorted form while the wind speed generally tended to decrease.

The construction of large-scale apartment causes changes in the direction and speed of the prevailing wind, which are related to the dispersion of urban air pollutants. This means that it is necessary to conduct meteorological impact assessment before construction.

After sunset, fresh winds from the surrounding mountains move along rivers, valleys, and roads. When new cities such as the 4th, 5th and 6th neighborhoods are constructed, wind flow should be managed in accordance with ventilation corridors planning. In the block unit, wind field changes according to the height and layout of the building, which have a high correlation with PM concentration. Under the given conditions, it is more effective to arrange the plate-shaped buildings in the horizontal direction with wind corridors in mitigating PM. In this study, simulations were carried out under conditions similar to those of reality, however there are some limitations in that it uses different sizes of grids for individual simulations. Nevertheless, the results can provide various implications when determining the planning factors in developing new towns.

6. Integrating Urban and Environment Plans in Employing Ventilation Corridors

Laws, systems, and plans dealing with ventilation corridors can be divided into urban and environmental fields. In the urban legislation system, PM and ventilation corridors is rarely applied in the plans due to the lack of detailed regulations. The environmental legislation addresses that the environmental plan should reflect climate status map and wind road. However, the local environmental plans may not present the maps of climate, air pollution, and ventilation corridors. Even though the environmental maps are provided, the climate factors are not reflected in land use because of the divided urban and environmental planning systems.

It is necessary to integrate the two plans by (1) internalizing ventilation corridors in urban plans, (2) setting out urban plans reflecting the contents of the environmental plan, and finally (3) integrating urban plan with the environmental plan completely. This study suggests that it is appropriate to play a complementary role by linking the planning procedures and contents for the two plans. Accordingly, it was recommended that it is realistic of urban plans to reflect the ventilation corridors which is suggested by the environmental plan at the regional and urban level. In addition, it was appropriate that the ventilation corridors are internalized at the district and block level.

To achieve this purpose, the planning stages were divided into investigation, preparation, evaluation, and implementation stages. This study suggested the improvement of the legal system at each stage.

7. Limitations and Further Studies

The study deals with the usefulness of ventilation corridors for the mitigation of PM, and the integration between urban and environmental plans to apply them effectively. In this study, a number of previous studies, simulations, and limitations of the legal system are discussed in depth; however, the following limitations still remain. They are summarized and then further studies are suggested.

First, it is insufficient to identify the cause of PM concentration, though domestic PM's emissions have decreased since 2002. In future studies, it is necessary to conduct a research on the recent increase in the number of days and duration of high concentration. In addition, a study is needed to investigate the accumulation of PM in the metropolitan area and their difference from that of the non-capital area. Furthermore, it is necessary to prepare not only a two-dimensional emission source map, but also a three-dimensional map in order to detect the distribution and movement characteristics of the PM.

Second, it proposed an integration between spatial and environmental plans through the ventilation corridors; however, additional research is conducted on the results of this study in order to apply them to site. This study describes the improvement of some spatial and environmental legislations; however, it could not collect opinions on the planners and private construction companies. In order to amend the law in the future, it is necessary to take into account the opinions of stakeholders and to analyze its quantitative effects by calculating costs and benefits.

Third, mitigation policy can be divided into a suppression of emission and a reduction of PM and the providing of information to the public. It focuses on its reduction associated with ventilation corridors. On the other hand, it does

not fully deal with the abilities of plants which are able to absorb it. At the city level, the creation on a location of parks and green spaces should be researched in view of its reduction.

In case PM is reduced by supplying green infrastructure to the city, a study can be considered to set minimum requirements for green infrastructure that citizens need. In addition, this study did not cover both how to address a detailed map of PM and service it effectively. Furthermore, it does not deal with how to operate fine dust reduction facilities using smart technology. Therefore, it is needed to study how to build a more secure city for PM by combining ‘ventilation corridors construction’, ‘green infrastructure supply’ and ‘an application of smart technology’.

Once a city is constructed, it lasts for 50 or 100 years. The benefits of ventilation corridors, thus, accumulate over time. In addition, they can not only reduce PM, but also improve the overall quality of atmosphere in a city. A green network on them is expected to play an important role in improving the overall urban environment as well as air quality. In this respect, they may make a contribution to creating an eco-friendly green city in the long run.

기본 19-32

미세먼지 저감을 위한 국토·환경계획 연계 방안 연구 : 바람길 적용을 중심으로

연구진 박종순, 박태선, 김은란, 이상은, 안승만, 이정찬,
성선용, 윤은주, 남성우, 주현수, 김재진, 이건원

발행인 강현수

발행처 국토연구원

출판등록 제2017-9호

인쇄 2019년 12월 28일

발행 2019년 12월 31일

주소 세종특별자치시 국책연구원로 5

전화 044-960-0114

팩스 044-211-4760

가격 7,000원

I S B N 979-11-5898-506-6

홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2019, 국토연구원

이 연구보고서를 인용하실 때는 다음과 같은 사항을 기재해주시시오.

박종순, 박태선, 김은란, 이상은, 안승만, 이정찬, 성선용, 윤은주, 남성우, 주현수, 김재진, 이건원.
2019. 미세먼지 저감을 위한 국토·환경계획 연계 방안 연구: 바람길 적용을 중심으로. 세종: 국토연구원.

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

이 연구보고서는 한국출판인협회에서 제공한 KoPub 서체와 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체 등이 적용되어 있습니다.

미세먼지 저감을 위한 국토·환경계획 연계 방안 연구 : 바람길 적용을 중심으로

A Study on Integration of Spatial and Environmental Planning
to Mitigate Particulate Matter: Focusing on Ventilation Corridors



제1장 서론

제2장 선행연구·이론고찰과 해외 사례 검토

제3장 국내 및 사례 지역의 미세먼지 특성 및 대책

제4장 미세먼지 저감을 위한 바람길 모의실험 분석

제5장 바람길 적용을 위한 국토·환경계획 연계 방안

제6장 결론



KRIHS 국토연구원

(30147) 세종특별자치시 국책연구원로 5 (반곡동)
TEL (044) 960-0114 FAX (044) 211-4760

