

신도시 주변 미세먼지 저감을 위한 산림사업 발굴

-내포신도시 도시숲 조성 방안-

정 옥 식

충남연구원 환경생태연구부 연구위원

oksik@cni.re.kr

이 연구는 미세먼지 저감 대책 중 하나인 도시숲 연구 사례를 토대로 내포신도시 내 도시숲 조성 방안을 마련하는 데 목적이 있음

CONTENTS

1. 연구개요
2. 미세먼지 저감 도시숲 관련 선행 연구
3. 내포신도시 도시숲 조성 방안
4. 결론

요약

- 도시공간의 환경적 대표 이슈인 미세먼지에 대한 위해성에 대한 문제 제기가 지속되는 가운데 저감 대책에 대한 정책적, 기술적 연구가 진행되고 있으며 도시공간의 미세먼지 저감을 위한 대응책으로 도시숲에 대한 효과가 조명되고 있으며 관련 연구를 통해 검증되고 있음
- 연구에 의하면 도시숲의 경우 미세먼지를 비롯한 대기오염물질을 저감하고 있으며 이는 나무의 잎과 줄기의 역할에 의한 것으로 밝혀졌음
- 수종별 연구에서는 침엽수가 활엽수보다 저감 기능이 높으며 활엽수에서는 꽃개오동나무($18\mu\text{g}/\text{cm}^2$), 침엽수에서는 측백나무($30\mu\text{g}/\text{cm}^2$)가 가장 수치를 보였음
- 도시숲의 다양한 역할과 기능을 고려할 때 미세먼지 저감을 위한 내포신도시 도시숲 조성시 침엽수를 우점으로 하여 활엽수를 병행 식재해야 할 것임
- 내포신도시 도시숲은 바람의 방향과 풍속을 고려할 때 신도시 남쪽과 북쪽에 추가적인 도시숲 조성과 더불어 기존 녹지 공간을 활용한 도시숲 조성이 최선임
- 내포신도시 미세먼지를 위한 도시숲이 조성될 경우 자연복지 증진과 더불어 충남광역생태네트워크의 연계 강화, 축산악취 저감과 같은 추가적 효과도 거둘 수 있을 것임



01 연구 개요

1. 연구 배경

가. 미세먼지 국내외 현황

- 산업화와 더불어 기후변화에 의해 잦아진 대기 역전(atmospheric inversion)에 의해 최근 미세먼지는 도시 공간의 가장 큰 환경 이슈가 되었음
-
- 연구에 의하면 초미세먼지(PM2.5)의 경우 호흡기를 통해 직접 혈관 내로 침투 가능하므로 기관지염, 천식, 폐암 등 폐질환 뿐 만 아니라 심혈관 질환까지 유발할 수 있어 PM 10 크기의 미세먼지 보다 더 위협적이라 경고하고 있음
- 우리나라 초미세먼지(PM2.5)의 연평균 농도는 $27.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 OECD 가입국 중 최악의 수준이며 OECD 평균인 $13.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 2배, WHO 권고치인 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 약 3배 가까운 수치임
- 미세먼지 발생원에 규제 및 저감 활동 등과 같은 최근의 다양한 대책에도 불구하고 국내 대기질은 뚜렷하게 개선되지 않고 있으며 이에 대한 대응책으로 세계 각국에서 효과를 거두고 있는 도시 숲 조성에 대해 관심이 모아지고 있음

나. 연구 배경 및 필요성

- 충남의 경우 주요 미세먼지 발생원중 하나인 석탄화력발전소가 다수 위치하며 또한 산업발달로 인한 대기질이 악화된 중국과 서해안을 두고 인접해 있으므로 미세먼지를 비롯한 대기질 오염 수치가 높은 편임

- 특히 최근에 신도시 개발로 도시 공간이 새로이 조성된 내포신도시의 경우 저감 인프라가 아직 미완인 반면 대기오염물질 발생원과 인접한 탓에 대기오염에 대한 주민 불편이 높아지고 있음
- 따라서 발생원 규제와 별도로 미세먼지를 비롯한 대기오염물질 저감을 위한 대응책이 요구되며 최근 연구가 활발히 진행되고 있는 도시숲 조성에 대한 검토가 필요한 상황임

2. 연구 목적 및 범위

가. 연구 목적

- 우선적으로 도시숲이 갖는 미세먼지 저감 효과와 관련한 사례 및 연구를 통해 도시숲 조성의 미세먼지 저감 효과를 검증함
- 나아가 내포신도시 도시숲 조성시 고려해야 할 수종(樹種), 내포신도시의 지구단위계획을 고려한 도시숲의 배치, 이와 더불어 추가적인 고려 사항에 대해 검토함

나. 연구 범위

- 본 연구의 내용적 범위로는 미세먼지와 대기오염물질을 저감할 수 있는 도시숲 조성 방안을 우선적으로 하며 기타 악취 저감, 생물다양성 증진을 위한 내용도 일부 포함함
- 본 연구의 공간적 범위는 최근 조성된 내포신도시 지역을 대상으로 함

1. 도시숲의 미세먼지 저감 사례

- 미국농림부 산림청(USDA Forest Service)의 David Nowak 박사의 연구에 따르면 뉴욕시의 도시숲은 미세먼지를 비롯한 이산화질소(NO_2), 이산화황(SO_2), 오존(O_3), 일산화탄소(CO) 등과 같은 대기오염물질을 약 50% 저감시키며 대기질 악화로 인해 발생할 질병을 8~18% 수준으로 억제시켜 연간 60,100,000\$(한화 약 642.5억)의 의료비 지출을 절감시킨다고 함
- 상하이 도시 공간에서 숲에 인접한 지역에서는 약 10%의 미세먼지 농도가 감소한 것으로 나타났으며 베이징의 나무들은 연간 1,261톤의 공기 오염물질과 772톤의 미세먼지(PM_{10})를 제거한다고 함
- 뉴질랜드 크리스처치(Christchurch)의 나무들은 한해 평균 약 300톤의 공기오염물질을 제거한다고 하며 영국에서 실시된 연구에 의하면 도시 공간의 1/4 수준의 나무심기를 통해 미세먼지(PM_{10})의 농도를 2~10% 줄였다고 함
- Leuven 대학의 Thomas Franz 박사는 숲 조성을 조성하거나 식재할 공간적 여유가 없는 도시 공간에서는 담쟁이덩굴과 같은 덩굴성 식물 식재를 할 것을 제안하였으며 이를 통해 한 가옥당 연간 95그램 미세먼지를 저감한다고 하며 이는 25년생 교목과 맞먹는 수치라 함
- 국내 산림과학원의 연구에 따르면 미세먼지(PM_{10})의 경우 도심에서는 평균 $60.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 측정된 반면 숲 경계에서는 $40.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, 숲 내부 $51.2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 숲 중심에서는 $42.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 도시숲의 농도가 도심보다 평균 25.6%가 낮으며, 초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$)농도는 도심에서 평균 $23.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 되었고 숲 경계에서는 $13.3\mu\text{g}/\text{m}^3$, 숲 내부 $14.8\mu\text{g}/\text{m}^3$, 숲 중심은 $13.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 도심보다 평균 40.9%가 낮았음

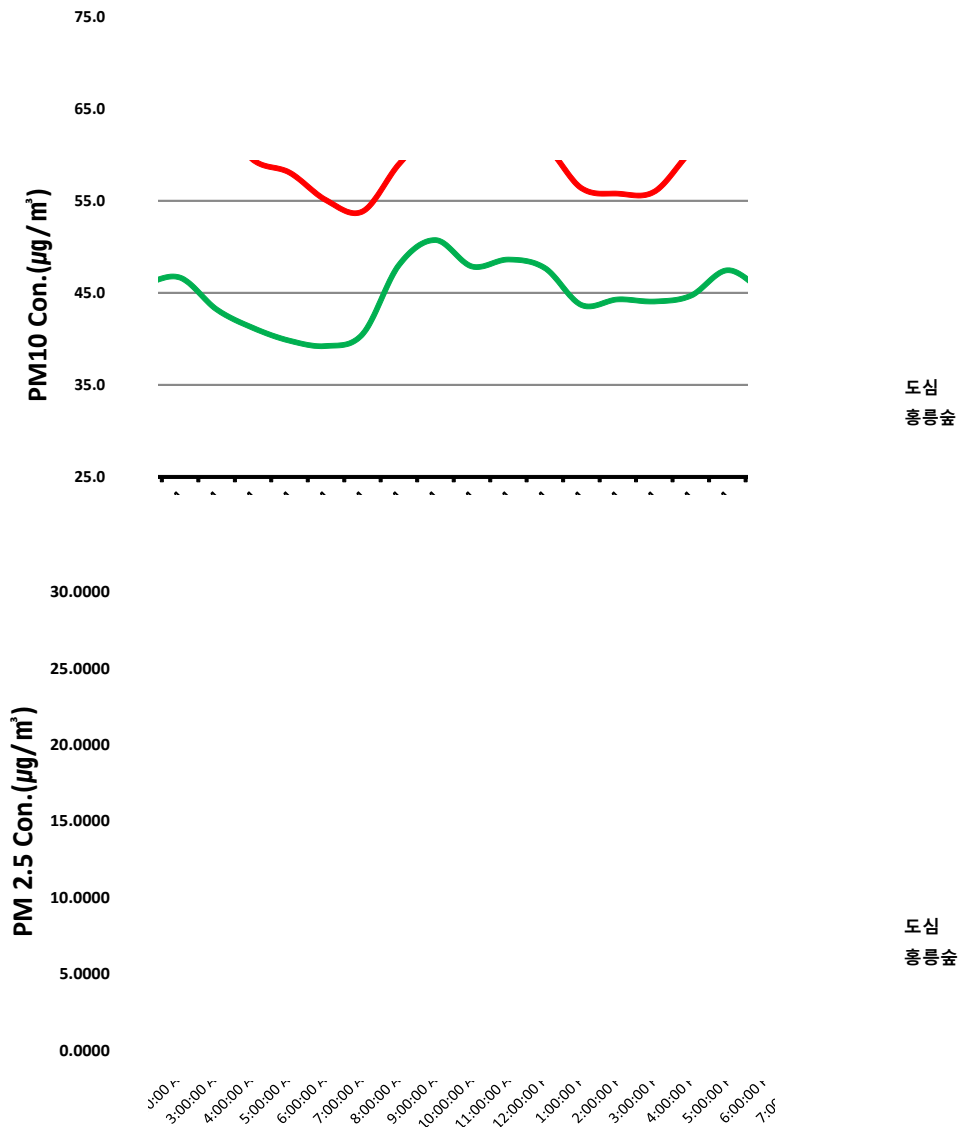


그림 3. 도심과 도시숲의 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5) 농도의 시간대별 변화
<출처 : 산림과학원 보도 자료>

- 도시 공간 환경의 여건과 상황이 각각 상이하고 다양하므로 도시숲의 미세먼지 저감 효과 또한 매우 다양하게 나타나고 있지만 한가지 분명한 것은 도시숲이 공기오염물질 및 미세먼지 저감 대응 수단으로는 분명하다는 것임
- 여러 연구 결과에 의해 효과가 검증됨에 따라 최근 중국 리저우에서는 숲도시 (Forest City)를 건설을 계획하고 있으며 3만여명의 시민이 거주할 이 도시에서는 주택, 학교, 병원 등 약 70여개의 빌딩으로 구성되고 약 100여종, 4만그루의 나무와 100만주의 식물로 덮일 예정이라고 함, 이 도시에서는 연간 10,000톤의

이산화탄소와 57톤의 공기오염물질이 저감되고 약 900톤의 산소가 생성될 것이라고 함



그림 4. 리저우시에 건설 예정인 숲도시(Forest City) <출처 : CNN 뉴스>

2. 도시숲의 미세먼지 저감 원리

- 도시숲이 미세먼지를 제거하는 원리는 나무가 미세먼지와 대기오염물질을 걸러내는 일종의 ‘필터’ 역할을 하는 것으로 주로 잎과 줄기가 이러한 오염물질을 걸러내는 역할을 함
- 연구에 의하면 잎과 나무에서 걸러진 미세먼지는 대부분 비가 올 경우 씻겨 나옴에 따라 공기중으로 재방출 되는 경우는 드물다고 함



그림 5. (도시)숲에 의한 미세먼지 저감 모식도 <출처 : 산림과학원>

- 나무에서 미세먼지를 걸러내는 역할을 주로 하는 것은 잎 표면의 ‘홈(Grooves)’과 ‘돌기(Trichomes)’이며 홈보다는 돌기가 더 중요한 역할을 한다고 함
- 다만, 식물 잎 표면에 많이 자리하고 있는 ‘기공(Stoma)’의 오염물질 저감 역할이 낮다고 함

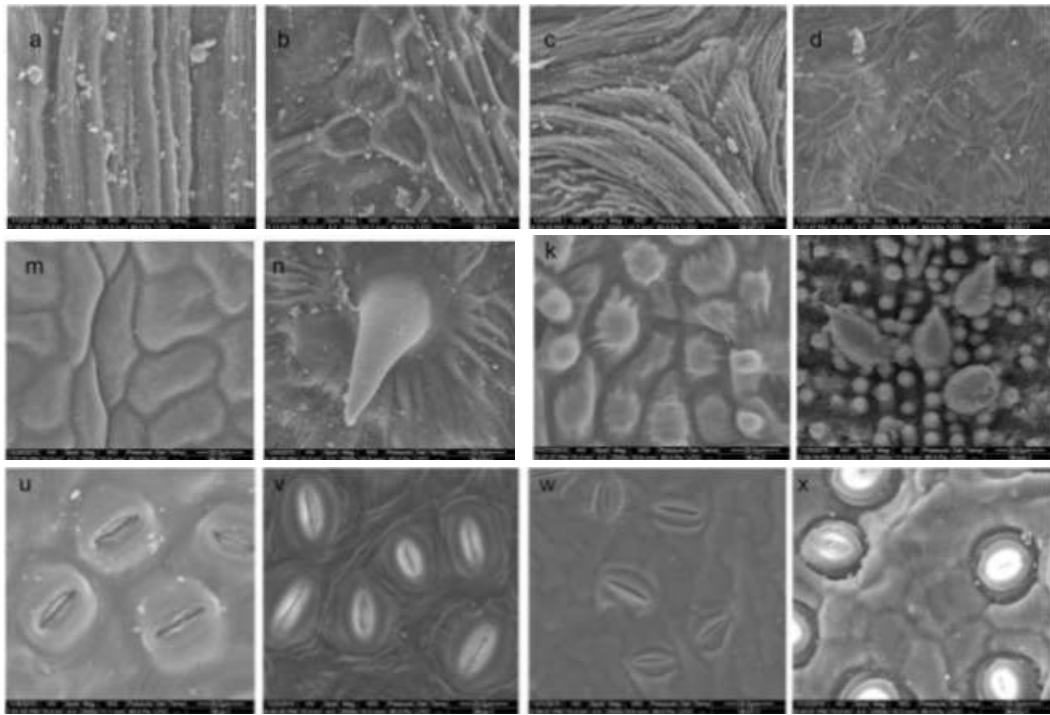


그림 6. 나뭇잎의 표면구조(위 : 다양한 홈(grooves) 모양, 중간 : 다양한 돌기(trichomes) 모양, 아래 : 다양한 기공(stoma) 모양) <출처 : Lixin Chen *et al.* 2017>

1. 식재 우선 종(種)의 선택

가. 미세먼지 저감 기능 우수종

- 연구(Lixin Chen *et al.* 2017)에 의하면 잎이 넓은 활엽수의 초미세먼지(PM2.5) 평균 저감율은 약 47%인 반면 침엽수의 경우 60%에 달하며 가장 뛰어난 것으로 알려진 측백나무의 경우 저감율은 86%에 달함
- 활엽수중에는 꽃개오동나무와 비솔나무가 초미세먼지 저감 기능이 뛰어나며 침엽수중에는 히말라야시다, 측백나무, 중국백송 등이 높게 나타났음
- 측백나무는 단위면적(cm^2)당 약 $30\mu\text{g}$ 의 초미세먼지를 축적하며 실험 대상 수종 중 가장 높은 수치를 보였으며 활엽수 중에는 꽃개오동나무가 단위면적(cm^2)당 약 $18\mu\text{g}$ 의 초미세먼지를 축적하며 가장 높은 수치를 보였음
- 따라서 연구결과에서처럼 초미세먼지 축적 능력도 가장 뛰어나고 또한 국내에도 서식하는 측백나무를 우점적으로 식재해야 할 것임

나. 식재 시 고려 사항

- 연구결과처럼 저감 능력과 국내 서식 유무를 고려할 때 측백나무를 우점적으로 식재하는 것이 바람직하지만 측백나무 한 종으로만 식재할 경우 경관적 단조로움이 예상되므로 측백나무를 우선으로 하되 다양한 침엽수종을 선택하여 식재할 것임
- 향후 식재 계획 수립 전에 국내 서식 침엽수에 대상으로 수종별 초미세먼지 저

감 능력 연구도 함께 추진되어야 할 것임

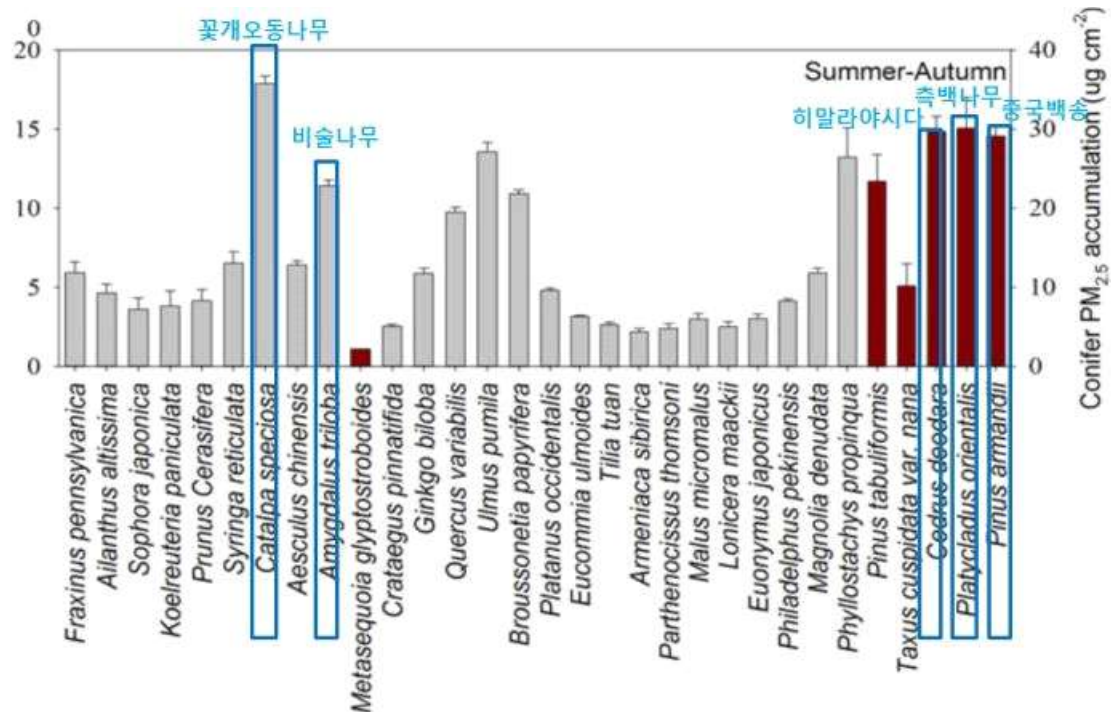
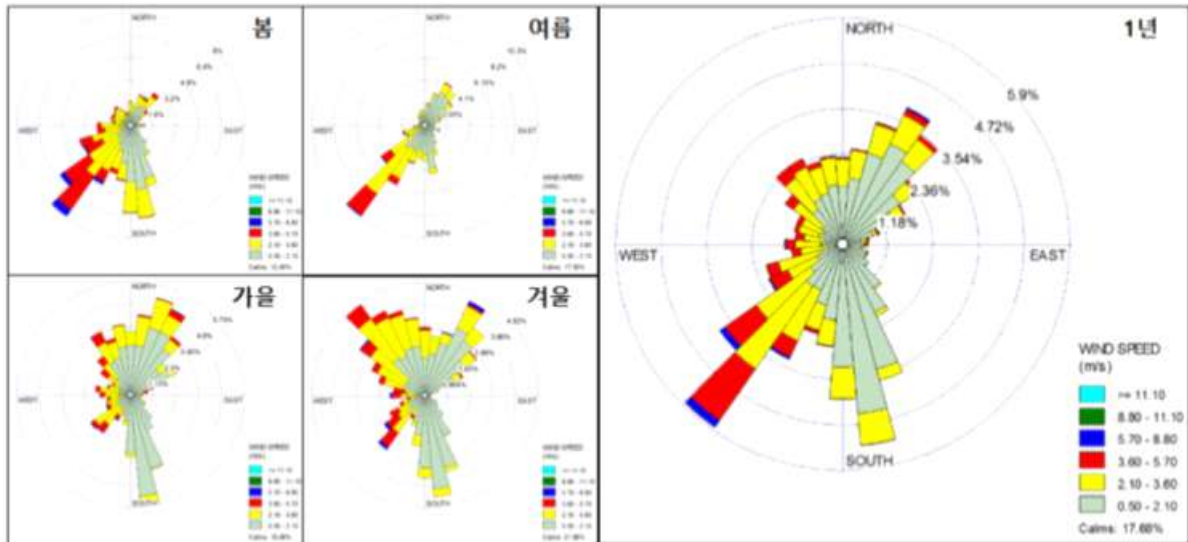


그림 7. 수종(수종)별 초미세먼지 저감 기능 <출처 : Lixin Chen et al. 2017>

- 우리나라의 경우 미세먼지의 농도가 높은 겨울과 봄철의 경우, 활엽수는 아직 개엽(잎이 펴)되지 않은 관계로 미세먼지 저감 기능이 저하된 상태이므로 4계절 잎을 지니고 있는 침엽수 위주의 식재가 합당함
- 다만, 미세먼지 저감 능력이 우수한 침엽수만으로 도시숲을 조성할 경우 미세먼지 저감에 대한 기능성 측면에서는 효과적일 수 있지만 숲이 지니는 또 다른 기능중 하나인 생물다양성 증진 측면에서는 낮을 수 있음
- 따라서, 미세먼지 저감 기능이 비교적 높은 꽃개오동나무, 비술나무 등과 함께 생물들의 먹이, 서식처 등으로 이용이 높은 유실수 혹은 참나무류의 활엽수도 함께 식재하는 것도 검토할 가치가 있음
- 무엇보다 미세먼지 저감 기능이 뛰어난 침엽수의 경우도 성장 시기에는 저감 기능이 떨어지므로 다양한 기능과 역할을 고려할 때 침엽수를 위주로 하되 활엽수도 함께 병행 식재하는 것이 경관, 기능, 역할 등 종합적인 측면에서 효과적일 것으로 보임

2. 도시숲 공간 배치

가. 내포신도시의 풍향 및 풍속



- 무엇보다 내포신도시의 그물망처럼 연결된 녹지 및 공원이 숲으로 조성될 경우 2중, 3중 필터 역할을 할 수 있으므로 미세먼지를 비롯한 대기오염물질을 저감하는 데 효과적일 것임

다. 내포신도시 도시숲 조성 방안(안)

- 1안(최적) : 내포신도시의 풍향을 고려하여 기존의 토지이용계획 외곽에 추가 공간을 조성하여 숲을 조성함과 동시에 기존의 토지이용계획에 반영된 방사형 녹지를 활용하여 식재를 통한 숲을 조성하는 방안임

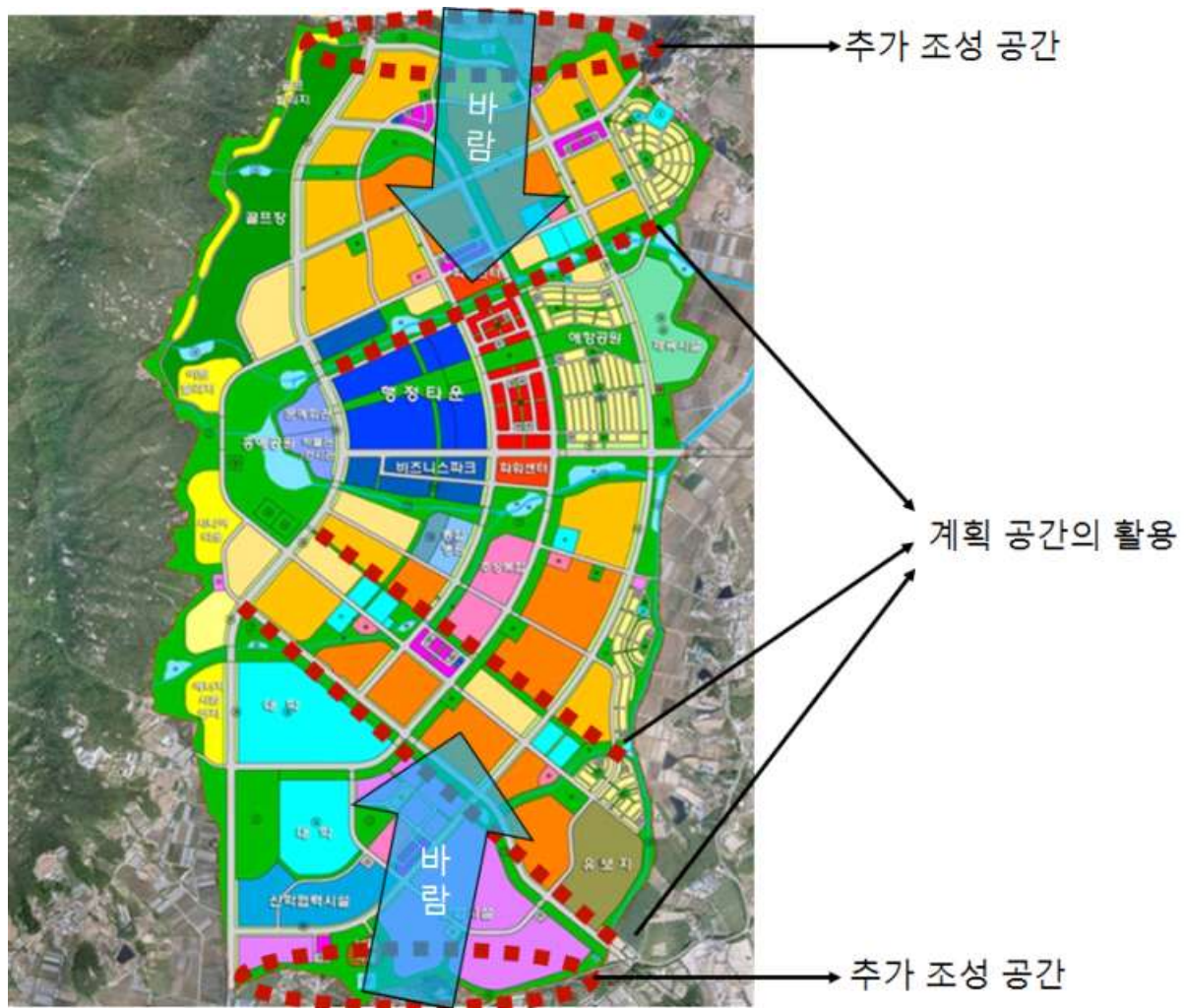


그림 9. 내포신도시 토지이용계획을 토대로 한 도시숲 조성 방안

- 1안의 경우 추가 토지 매입 비용과 더불어 식재 비용 그리고 기존 계획 내 녹지 공간내 식재 비용이 발생하여 많은 비용 부담이 예상되지만 일차적으로 넓은 공

간의 외곽의 숲이 우선적으로 미세먼지 및 오염물질을 저감하며 도시 내 선적으로 배치된 숲에서 2, 3차로 저감함에 따라 저감 효과 측면에서는 최적의 안임

- 2안(축소) : 도시 외곽에 추가적인 숲을 조성하지 않고 기존의 토지이용계획에 반영된 방사형 녹지 공간을 활용하여 식재를 통한 숲을 조성하는 방안임
- 2안의 경우 기존 공간에 식재 비용만 추가되는 경우이므로 비용면에서는 절감 효과가 뛰어나지만 선형으로 배치된 숲에서만 오염물질을 저감함에 따라 오염물질 저감 효과는 떨어지는 안임
- 3안(절충) : 기존의 토지이용계획 외곽에 추가 공간을 조성하여 숲을 조성하되 기존의 토지이용계획에 반영된 방사형 녹지는 기존의 녹지로 활용하는 방안임
- 3안의 경우 추가 토지 매입 비용과 더불어 식재 비용이 발생하며 그리고 외곽의 넓은 공간의 숲에서 오염물질에 대해 1차적 축적만 하므로 비용과 오염물질 저감 효과 측면에서 1안과 2안의 중간적 방안임

3. 도시숲의 활용

가. 자연복지 공간

- 삶의 질에 대한 사회적 관심이 높아지는 가운데 자연공간에서 체험을 즐기며 힐링하는 자연 복지에 대한 요구도 증가하고 있음
- 도시공간 내 대표적인 자연공간으로 도시숲을 꼽을 수 있으며 우리나라 1인당 생활권 도시숲 평균은 2015년 기준으로 9.91m²로 WHO 최적 권장 기준인 1인당 15m²에 미치고 못하고 있음
- 따라서 미세먼지 저감을 위한 도시숲 조성은 이러한 자연복지 공간으로 활용되어 삶의 만족도를 높일 수 있을 것임

나. 충남 광역생태네트워크 연계 강화

- 충남 광역생태네트워크의 핵심축이 내포신도시와 접해있는 용봉산과 연결되어 있으며 내포신도시의 녹지는 홍해공원을 축으로 하여 용봉산과 연결되어 있음
- 내포신도시 내 도시숲이 조성될 경우 충남 광역생태축의 3차 생태축 형성을 통

해 충남 광역생태축의 건강성을 증진시킴과 동시에 내포신도시 내 자연생태계의 지속성을 확보하게 됨

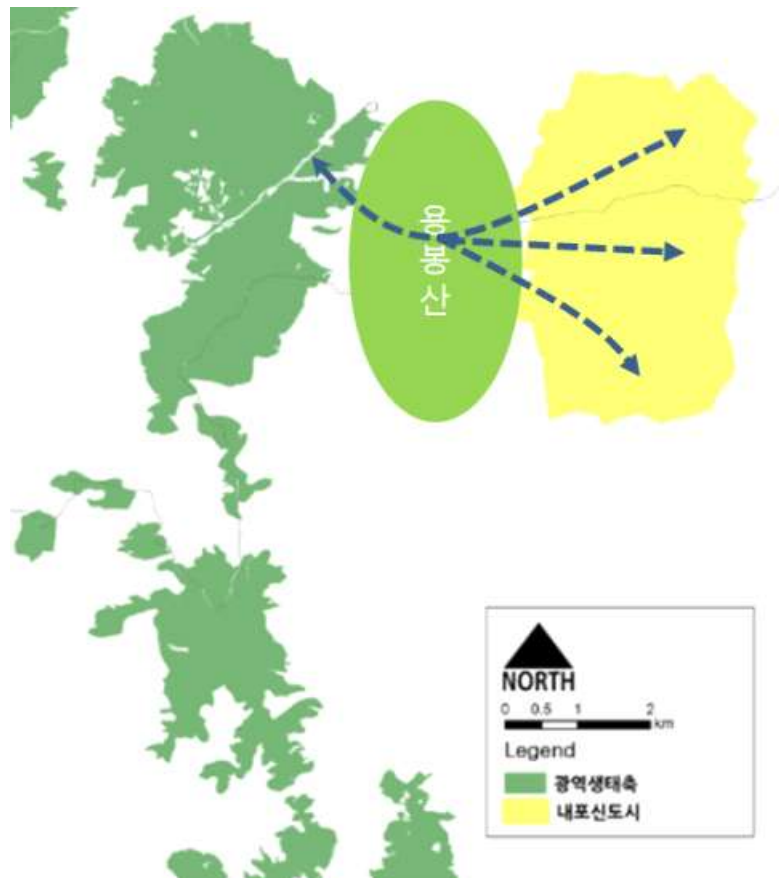


그림 10. 내포신도시와 충남광역생태네트워크의 연계

다. 축산 악취 저감

- 내포신도시 내 침엽수를 점으로 한 도시숲이 조성될 경우 최근까지 내포시의 주된 민원중 하나인 축산악취를 저감할 수 있을 것임
- 연구에 의하면 바람이 나무사이를 통과할 경우 축산 악취 성분중 하나인 휘발성 지방산(Volatile Fatty Acids/VFAs)이 50% 이상 저감된다고 하며 특히 침엽수의 경우 방향 효과가 뛰어나므로 축산악취 저감효과도 거둘 수 있을 것임
- 내포신도시 주변 축사 분포도를 볼 때 내포신도시 북측과 남측에 밀집도가 높으며 이는 내포신도시 바람의 방향과도 일치하므로 1안처럼 1차적 저감 기능을 하는 숲을 남측과 북측에 새로이 조성할 경우 축산 악취 저감 기능 효과가 추가될

수 있음

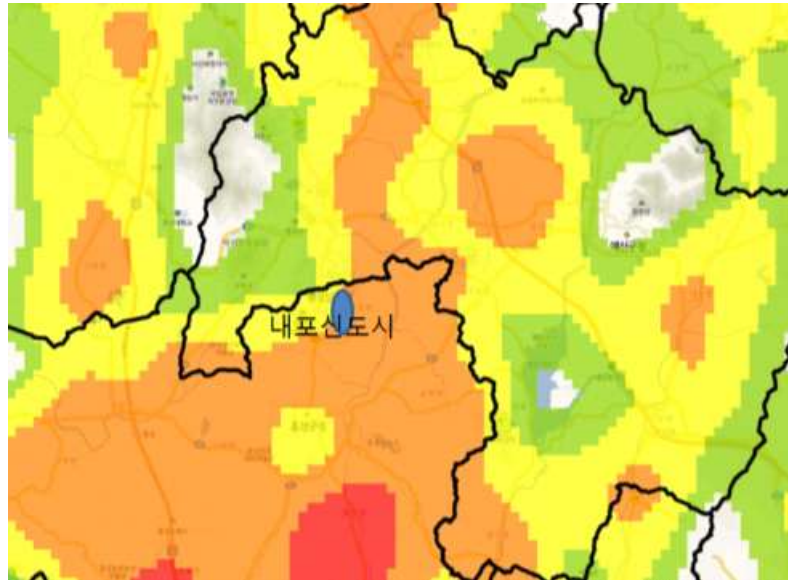


그림 11. 내포신도시 주변 축사 분포 밀도

04 결론

- 도시공간의 환경적 대표 이슈인 미세먼지에 대한 위해성에 대한 문제 제기가 지속되는 가운데 저감 대책에 대한 정책적, 기술적 연구가 진행되고 있음
- 도시공간의 미세먼지 저감을 위한 대응책으로 도시숲에 대한 효과가 조명되고 있으며 관련 연구를 통해 검증되고 있음
- 연구에 의하면 도시숲의 경우 미세먼지를 비롯한 대기오염물질을 저감하고 있으며 이는 나무의 잎과 줄기의 역할에 의한 것으로 밝혀졌음
- 수종별 연구에서는 침엽수가 활엽수보다 저감 기능이 높으며 활엽수에서는 꽃개오동나무($18\mu\text{g}/\text{cm}^2$), 침엽수에서는 측백나무($30\mu\text{g}/\text{cm}^2$)가 가장 수치를 보였음
- 도시숲의 다양한 역할과 기능을 고려할 때 미세먼지 저감을 위한 내포신도시 도시숲 조성시 침엽수를 우점으로 하여 활엽수를 병행 식재해야 할 것임
- 내포신도시 도시숲은 바람의 방향과 풍속을 고려할 때 신도시 남쪽과 북쪽에 추가적인 도시숲 조성과 더불어 기존 녹지 공간을 활용한 도시숲 조성이 최선임
- 내포신도시 미세먼지를 위한 도시숲이 조성될 경우 자연복지 증진과 더불어 충남광역생태네트워크의 연계 강화, 축산악취 저감과 같은 추가적 효과도 거둘 수 있을 것임

<참고문헌>

산림과학원. 2017. 보도자료 : 도시숲은 미세먼지 잡아먹는 하마.

Lixin Chen, Chenming Liu, Lu Zang. 2017. Variation in tree species ability to capture and retain airborne fine particulate matter(PM2.5). Scientific Reports 7(3206)

Steven Trabue, Thomas Sauer & Guillermpp Hernandez. 2012. Odor mitigation with tree buffers. Agriculture, Ecosystem & Environment 149 : 154-163.

<http://english.yonhapnews.co.kr/news/2018/01/07/0200000000AEN20180107002100320.html>

<http://www.twovisionspermaculture.com/trees-are-more-awesome-than-you-thought-fighting-dust-heart-disease/>

<https://www.indy100.com/article/forest-city-china-air-pollution-town-trees-liuzhou-stefano-boeri-climate-change-paris-agreement-7809736>

<https://edition.cnn.com/style/article/china-liuzhou-forest-city/index.html>

<http://www.flanderstoday.eu/innovation/climbing-plants-filter-fine-dust-well-trees-says-ku-leuven-researcher>

<http://datazone.birdlife.org>