

전략연구 2020-00

충남 미세먼지취약지역 선정 및 미세먼지 저감숲 체계 마련

사공정희 · 백승희

연구 요약

1. 연구배경 및 목적

충남은 축사와 발전소로 인해 육상에서의 전국 최대 미세먼지 발생원을 보유하고 있으면서 서해로부터 유입되는 해염입자로 인한 1차 미세먼지뿐만 아니라 2차 미세먼지 발생 위험도 매우 높은 지역이라 할 수 있다. 따라서 충남 미세먼지 저감을 위해서는 축사와 발전소 배출 미세먼지와 편서풍에 실려 오는 미세먼지 차단이 우선 필요하다. 그러나 충남은 농촌지역이나 해안지역에 대해서는 미세먼지 저감 정책이 부족한 실정이다. 특히, 충남은 편서풍에 의한 미세먼지 유입이 심각하나 이에 대한 저감방안은 사실상 없는 것으로 보인다.

따라서 이번 연구에서는 1차적으로 미세먼지 저감숲이 필요한 미세먼지취약지역을 선별해보았다. 이를 위해 충남 미세먼지 주요 발생원과 미세먼지취약시설의 영향권을 분석하고 이들을 종합평가하여 미세먼지취약지역의 최종 우선순위를 결정하였다. 2차적으로는 해안림과 내륙 숲과의 연계성을 통해 충남지역에 적합한 미세먼지 저감숲 체계를 마련하고자 하였다. 즉, 서해안으로부터 유입되는 미세먼지를 원천적으로 저감시키고, 내륙 발생 및 유입된 미세먼지를 이중 저감할 수 있는 일명 ‘충남형 미세먼지 저감숲 체계 : 해안림-마을숲-도시숲’을 마련하는 것이 이번 연구의 목적이라 할 수 있다.

2. 연구내용

1) 충남 미세먼지 주요 발생원 선정

(1) 축사, 발전소에 의한 자체 발생 미세먼지

충남은 전국 최대 가축사육지역이며(충남서해안기후환경연구소, 2019), 축사시설은 다양한 악취유발 오염물질을 배출한다. 이 중 질소산화물과 황화수소, 암모니아는 2차 생성 미세먼지(PM_{2.5}) 발생 전구물질로 특히 암모니아로 인해 형성된 미세먼지는 총 미세먼지 발생량의 26~35%에 해당한다(김종범 등, 2019). 축사 분뇨에서 발생하는 암모니아와 농작

물 소각 연소과정에서 발생하는 휘발성 유기화합물이 미세먼지농도에 영향을 미칠 수 있다. 무엇보다 암모니아 및 휘발성 유기화합물 성분은 해수에서 유래된 이온들과 반응하여 2차 미세먼지를 생성한다.

화력발전소 배출물질 중 황산화물(SO_x)은 수증기 등과 반응하여 황산(H₂SO₄)이 되고(Holt, J. *et al.*, 2015), 암모니아(NH₃) 등과 반응하여 질산암모늄(NH₄NO₃)이나 황산암모늄((NH₄)₂SO₄) 등의 2차 미세먼지를 생성한다(환경부, 2016).

(2) 편서풍에 의한 외부유입 미세먼지

충남은 편서풍에 의해 내륙 미세먼지뿐 아니라 외부 및 해안에서 발생하는 미세먼지도 해안으로 빠져나가지 못하고 오히려 내륙으로 유입시키는 결과를 초래한다. 편서풍에 의해 유입되는 중국발 미세먼지의 문제는 서해를 거쳐 유입되는 과정에서 해수에서 유래된 나트륨이온(Na⁺), 마그네슘이온(Mg²⁺), 칼슘이온(Ca²⁺), 염화이온(Cl⁻) 등과 물리·화학반응을 일으켜 황산나트륨(Na₂SO₄), 황산마그네슘(MgSO₄), 황산칼슘(CaSO₄), 염화철(FeCl₂), 염화알루미늄(AlCl₃) 등 미세입자를 생성시킬 수 있다는 점이다.

2) 충남 미세먼지취약지역 평가 및 우선순위 선정

(1) 충남 미세먼지 발생원 및 미세먼지취약지역 영향권 평가

측사는 환경부 및 전국 지자체에서 활용하는 이격거리를 근거로, 발전소는 「발전소주변지역지원에관한법률」 제2조 발전소 ‘주변지역’에 대한 정의를 기준으로, 해염입자는 해안선으로부터 내륙으로 염분이 날아가는 거리에 대한 연구결과를 적용하였다.

미세먼지취약지역 영향권은 미세먼지취약시설에 대한 접근성을 기준으로 분석하였으며, 이번 연구에서는 국토교통부지침에 의한 도보권근린공원 유치거리를 적용하여 시설로부터 1km 이내를 범위로 한정하였다.

(2) 미세먼지취약지역 우선순위 선정

두 기준의 평가결과를 최종 합산한 결과, 6개 시·군 전체 면적의 62.2%에 해당하는 214,260.1ha가 충남 미세먼지에 일정 부분 노출되어 있거나 취약한 곳으로 나타났다.

I 등급의 지역별 분포를 살펴보면, 당진에 25개소, 서산에 17개소, 보령에 13개소, 태안에 12개소, 서천에 11개소, 홍성에 6개소 분포하는 것으로 나타났다.

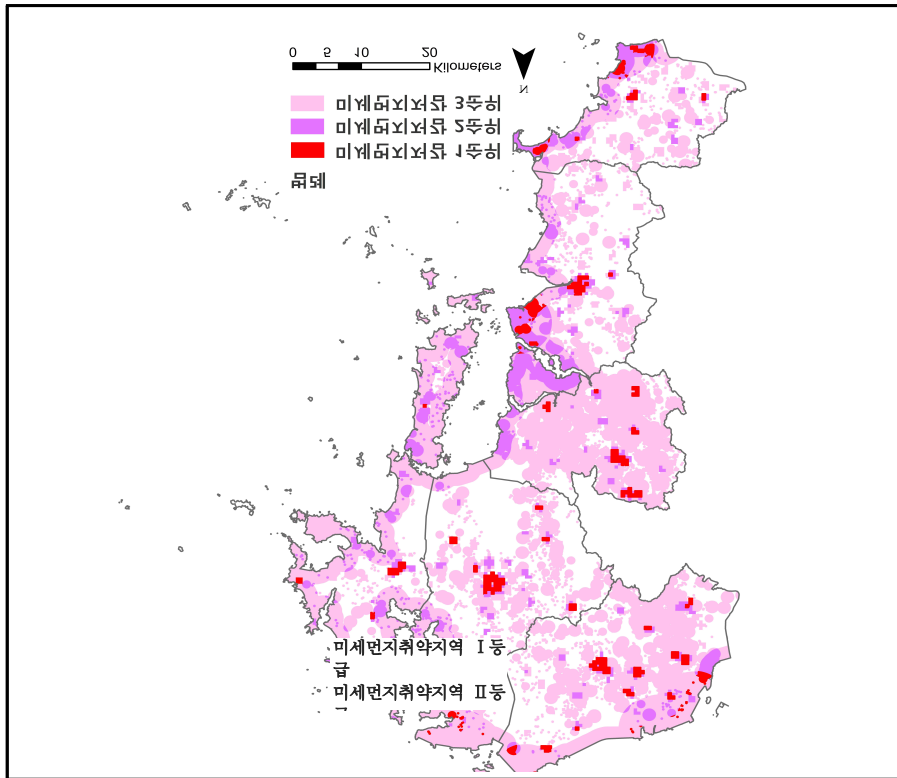


그림 1. 충남 미세먼지취약지역 우선순위

4) 충남 미세먼지 저감숲 체계 마련

(1) 충남 미세먼지 저감숲 체계의 구성요소 및 정의

해안의 해안림(1차 차단벽), 농촌지역의 마을숲(2차 차단벽), 그리고 도시지역의 도시숲이 3차 차단벽으로서 충남 미세먼지 저감숲 체계에 매우 중요한 구성요소라 할 수 있다.

(2) 충남 미세먼지 저감숲 체계 조성 및 관리방안

충남 해안림 특성을 고려한 조성 및 복원이 필요한데, 우선 구조적 측면에서 1ha 미만의 해안림 군락을 집중 관리할 필요가 있다. 생태적 측면에서는 소나무, 상수리나무, 갈참나무, 아까시나무, 졸참나무, 귀뚥나무, 진달래, 매죽나무, 개웃나무, 그늘사초, 쭉, 청미래덩굴, 산벚나무 조합으로 군락을 조성하는 것이 안정적일 수 있다. 한편, 지자체의 관리가 어려운 사유지의 경우 크게 외부침투형과 내부확장형의 훼손형태를 보이는데, 이들 특성을 고려한

복원 관리방안이 필요하다. 또한, 지역 차원의 해안림 복원이 시급하고 이에 대한 복원·관리계획을 지자체가 마련했을 경우 국가는 사유림 매수자금을 지원해줄 필요가 있다. 또한, 정부는 지자체의 해안림 복원·관리계획에 해당하는 국유림은 우선적으로 복원·관리를 해주는 것이 바람직하다고 생각한다.

전통 마을숲 복원을 위해서는 기존 자료를 근거로 전통 마을숲 부지를 확보하고 기존의 수종으로 복원하여 그 의미와 기능을 회복할 필요가 있겠다. 추가 마을숲 조성을 위해서는 마을숲 조성을 위한 유휴지 및 개인건축부지를 활용한 소규모 숲 조성이 필요하고, 해안림에 비해 다양한 수종 도입이 가능하므로 경관 향상도 가능하다. 무엇보다 과학기술을 접목하여 취약계층 이용시설 주변의 마을숲 기능을 획기적으로 보완해줄 필요가 있다.

미세먼지취약지역 I 등급은 미세먼지 차단 도시숲을 우선 조성할 필요가 있음을 의미하므로 향후 충남은 해당 우선순위를 고려하여 해당 시를 지원하는 것도 광역적 차원에서 의미가 있을 것으로 생각된다. 이러한 측면에서 충남은 당진시의 당진1동, 서산시의 동문동과 읍내동, 보령시 대천1,2,3동 일대에 우선 지원해줄 필요가 있겠다.

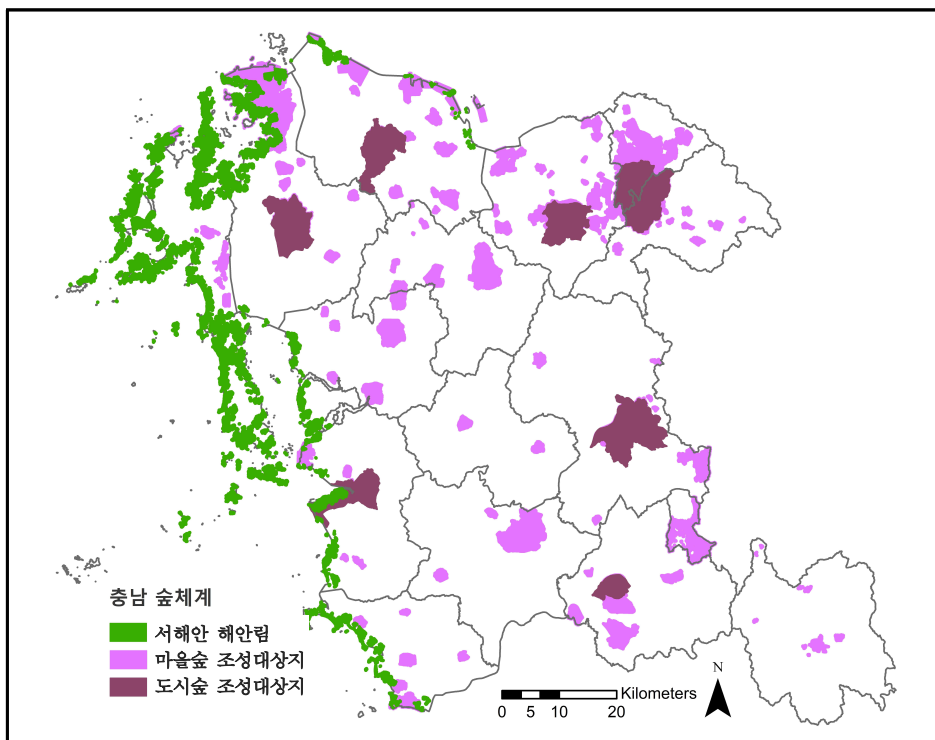


그림 2. 충남형 해안림-마을숲-도시숲의 공간 체계도

제 목 차 례

제1장 서론

1. 연구배경 및 목적	1
2. 연구범위 및 방법	2
3. 선행연구 고찰	5

제2장 충남 미세먼지 주요 발생원 현황

1. 국내 미세먼지 현황 및 주요 발생원	7
2. 충남 미세먼지 현황 및 주요 발생원	1
3. 현황 종합	0

제3장 충남 미세먼지취약지역 평가 및 우선순위 선정

1. 충남 미세먼지 발생원 영향권 설정	2
2. 미세먼지취약시설 영향권 설정	2
3. 충남 미세먼지취약지역 평가 및 우선순위 선정	3

제4장 충남 미세먼지 저감숲 체계 마련

1. 충남 미세먼지 저감숲 체계의 구성요소 및 정의	3
2. 충남 미세먼지 저감숲 조성 방안	4

제5장 결론 및 정책제언

1. 결론	0
2. 정책제언	0

표 차례

표 1. 초미세먼지(고농도사례) 국내외 기여율 연구결과	0	1
표 2. 미세먼지 농도 영향 기상인자	0	1
표 3. 충청남도 미세먼지 경보 발령 현황	2	1
표 4. 6개 시·군 축사 영향권 분포 현황	3	2
표 5. 6개 시·군 발전소 영향권 분포 현황	5	2
표 6. 6개 시·군 해염입자 영향권 분포 현황	7	2
표 7. 6개 시·군 미세먼지취약시설 영향권 분포 현황	9	2
표 8. 충남 미세먼지취약지역 우선순위 선정을 위한 평가기준 및 방법	1	3
표 9. 충남 미세먼지 노출정도 평가결과	2	3
표 10. 충남 미세먼지 취약정도 평가결과	3	3
표 11. 충남 미세먼지취약지역 등급 평가결과	4	3
표 12. 전국 도시숲(미세먼지차단숲) 조성 사례 현황 사례 일부	0	4
표 13. 충남 미세먼지 저감숲 체계의 구성요소 및 정의	1	4
표 14. 충남 해안림 조사지역의 전체식물상	6	4
표 15. 충남 해안림 조사지역의 구계학적 특정식물	6	4
표 16. 충남 해안림 조사지역의 외래식물	7	4
표 17. 충남 해안림 조사지역 식생군락별 출현종 비교	7	4
표 18. 충남 해안림 조사지역 식생군락 구조적 특징	9	4
표 19. 충남 해안림 소유현황	9	4
표 20. 충남 해안림의 복원·관리 우선순위 및 사유지 매입비용 현황	0	5
표 21. 미세먼지 저감 1순위 해안림의 훼손형태 및 복원·관리방향	1	5
표 22. 충남 해안림 군락별 면적	4	5
표 23. 충청남도 마을숲의 과거 및 현재 소재지 대조표	5	5
표 24. 충청남도 마을숲의 잔존 및 소실 현황	5	5
표 25. 충청남도 마을숲의 수종 총괄표	5	5
표 26. 충청남도 미세먼지 저감숲 체계 마련을 위한 사업(안)	3	6
부록 1. 충남 해안림 현장조사 개요	8	6
부록 2. 충남 해안림 전체 식물상 목록	9	6
부록 3. 충남 해안림 식생조사표 사례	7	7

그림차례

그림 1. 미세먼지 발생원 분류	7
그림 2. 전국 PM10 및 PM2.5 분포도	8
그림 3. 2018년 시도별 미세먼지 PM2.5 연평균 농도 및 나쁨이상 일수	8
그림 4. 전국 월별 미세먼지 PM2.5 농도(2015년~2018년)	9
그림 5. 대기관리권역 설정 대상지역(안)	9
그림 6. 충청남도 PM-10 연평균 농도 변화	1
그림 7. 충청남도 PM-10 월평균 농도 변화	1
그림 8. 충청남도 PM-10 월평균 농도 변화	1
그림 9. 충남 축사 분포도	41
그림 10. 미세먼지의 화학적 구성성분	5
그림 11. 대기 중 화학반응에 의한 2차 미세먼지 생성	1
그림 12. 봄철 충남 화력발전소 배출 미세먼지 흐름(2019.03.07.기준)	1
그림 13. 중국발 미세먼지 위성영상	8
그림 14. 선박과 항만시설에 의한 미세먼지 생성 현황	1
그림 15. 충남 축사 영향권	22
그림 16. 충남 발전소 영향권	2
그림 17. 해염입자 비산거리를 근거한 해염입자영향권	2
그림 18. 충남 해염입자 영향권	2
그림 19. 충남 미세먼지취약시설 영향권	3
그림 20. 충남 미세먼지 노출정도(위)와 취약정도(아래)	3
그림 21. 충남 미세먼지취약지역 우선순위	3
그림 22. 충남형 해안림-마을숲-도시숲의 공간 체계도	4
그림 23. 충남 해안림 식생 현황	4
그림 24. 충남 해안림 조사지역 식생군락 현장	4
그림 25. 충남 해안림 현장조사 지점	4
그림 26. 충남 해안림 소유현황(왼쪽) 및 사유지 매입 우선순위(오른쪽)	5
그림 27. 충남 해안림의 훼손 형태	5
그림 28. 충남 해안림 군락 면적별 분포현황	5
그림 29. 유흥지의 미세먼지 저감 마을숲 조성순위 분포도(서천 사례)	5
그림 30. 서천 유흥지의 토지이용현황	5
그림 31. 유흥지의 녹지율 향상 방안 사례	5
그림 32. 국내 미세먼지 저감장치 개요도	5
그림 33. 충남 도시숲 조성대상지 내 미세먼지취약지역 우선순위 분포도	5
그림 34. 미세먼지와 폭염을 위한 경기 초록담 조성사업	7

제1장 서론

1. 연구배경 및 목적

1) 연구배경

충남은 축사와 발전소로 인해 육상에서의 전국 최대 미세먼지 발생원을 보유하고 있으면서 서해로부터 유입되는 해염입자로 인한 1차 미세먼지뿐 아니라 2차 미세먼지 발생 위험도 매우 높은 지역이라 할 수 있다. 이로 인해 일반 도시지역과는 다른 형태의 미세먼지 원인 및 생성과정, 결과적으로는 일반 도시지역 미세먼지 저감방안과는 차별성 있는 충남 미세먼지저감 방안이 필요하다고 판단된다. 즉, 전국 최대 규모의 축사에서 발생하는 물질들을 비롯하여 전국 1위 배출량의 대기오염물질(환경부, 2019)들이 해풍에 실려 오는 해염입자와 반응할 경우 충남 미세먼지만의 특성이 형성될 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

무엇보다 이러한 과정을 통해 일반 내륙의 도시지역보다 훨씬 심각한 미세먼지 성질을 가질 수도 있음을 의심할 필요가 있다고 생각된다. 따라서 충남 내륙의 특이성이라 할 수 있는 ‘축사 및 발전소’와 서해안 및 편서풍 특이성이라 할 수 있는 해안으로부터의 유입 미세먼지, 무엇보다 2차 미세먼지 발생 가능성을 높이는 ‘해염입자(포말에 의한 해염입자를 비롯하여 중국발 미세먼지의 서해안 통과 과정에서 발생하는 해염입자 등)’를 복합적으로 고려한 충남 미세먼지저감 방안이 필요하다고 판단된다.

2) 연구목적

충남 미세먼지 저감을 위해서는 축사와 발전소 배출 미세먼지와 해염입자, 그리고 편서풍에 실려 오는 미세먼지 차단이 중요할 것으로 보인다. 현재 충남은 미세먼지 영향을 저감하기 위해 발전소 주변과 생활공간 곳곳에 미세먼지 저감숲 및 도시바람길숲 조성을 중점 과제로 추진하고 있다(충청남도, 2020). 그러나 이는 주로 발전소 주변의 도시지역을 대상으로 하고 있어 농촌지역이나 해안지역에 대해서는 정책이 부족한 실정이다. 특히, 충남은 편서풍에 의해 미세먼지가 가장 심각한 겨울철, 중국발 미세먼지에 큰 영향을 받을 뿐 아니라

(김진형과 강성원, 2018; 주현수 외, 2019; 충청남도 보건환경연구원, 2019) 항만시설 및 선박 배출 미세먼지와 발전소 배출 미세먼지도 서해로 빠지지 않고 오히려 내륙으로 유입되는 상황임에도 불구하고 이에 대한 저감방안은 사실상 없는 것으로 보인다.

한편, 충남에는 서해안을 따라 편서풍의 영향을 감소시키는 해안림이 오랜 세월 형성되어 있으며, 이는 편서풍에 실려 오는 다양한 입자들에 대해 훌륭한 거름막 역할을 하고 있다. 해안림의 이러한 중요 기능에도 불구하고 충남 미세먼지 배출원과의 관계성 분석이 미흡하여 해안림의 미세먼지 저감기능 증진을 위한 보전·관리 및 해안선을 따라 발생하는 난개발 방지에 대해 타당성을 제공하지 못하는 실정이다. 따라서 이번 연구에서는 1차적으로 미세먼지 저감숲이 필요한 미세먼지취약지역을 선별해보았다. 이를 위해 충남 미세먼지 주요 발생원과 미세먼지취약시설의 영향권¹⁾을 분석하고 이들을 종합평가하여 미세먼지취약지역의 최종 우선순위를 결정하였다. 2차적으로는 해안림과 내륙 숲과의 연계를 통해 충남지역에 적합한 미세먼지 저감숲 체계를 마련하고자 하였다.

즉, 충남의 주요 미세먼지를 저감시킬 수 있도록 해안림 복원·관리방안을 마련하고, 마을숲 기능을 확장하여 현재 도시지역에 집중된 미세먼지 차단숲(도시숲) 조성사업을 읍·면 단위까지 조성해야할 필요성을 제시하였다. 이를 통해 최종적으로는 서해안으로부터 유입되는 미세먼지를 원천적으로 저감시키고, 내륙 발생 및 유입된 미세먼지를 마을과 도시에서 이중 저감할 수 있는 일명 ‘충남형 미세먼지 저감숲 체계’를 마련하는 것이 이번 연구의 목적이라 할 수 있다. 또한, 해안림 보전·관리에 대한 정부 지원 근거를 마련하고 내륙의 숲 조성을 위한 적정 신청지의 근거를 마련할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 연구범위 및 방법

1) 연구범위

연구 자료는 2020년 현재 공식 발표된 최신자료를 근거하였으며, 필요한 경우 충청도와 시·군 내부의 최신 자료를 활용하였다. 충남 해안림의 식물상 및 현존식생에 대한 자료는 산림청 임상도 이외 없는 것으로 확인되어 2020년 4월부터 6월까지 6개 시·군 51개 지점에 대해 현장조사를 실시하였다. 해안림의 공간적 범위는 「연안관리법」 기준을 적용하였다.

1) 이번 연구에서의 ‘영향권’은 ‘미세먼지 발생원으로부터 미세먼지가 영향을 미친다고 예상되는 주변의 범위’와 ‘취약시설을 이용을 위해 주변 이용자들의 이동가능 범위’로 의미를 한정하였음

「연안관리법」 제2조(정의)에서 ‘연안’이란 연안해역과 연안육역을 말하며, ‘연안육역’은 연안해역의 육지쪽 경계선으로부터 500m 이내, 항만, 국가어항, 산업단지의 경우는 1,000m 이내의 육지 지역으로 정의하고 있다. 이번 연구에서는 ‘연안육역’을 공간적 범위로 한정하고 연안에 산업단지가 많은 충남의 특이성을 고려하여 충남 해안선으로부터 1,000m 이내에 분포하는 식생군락 중 상록수림(침엽수림, 상록활엽수림, 침엽수가 70% 이상인 혼효림)을 조사대상으로 한정하였다. 조사대상 해안림이 1,000m 외부까지 뻗어 있는 경우 조사대상에 포함하였다. 또한, 해안림을 포함한 숲체계 마련이 목적이므로 미세먼지 발생원 및 취약지역 분석범위 역시 해안림이 분포하는 6개 시·군으로 한정하였다.

2) 연구방법

해안림은 서해로부터 불어오는 해풍을 막는 것이 전통적 기능이며, 이로 인해 외부로부터 해풍을 타고 유입되는 미세먼지를 저감하는 것 역시 매우 기본적인 기능이라 할 수 있다. 이번 연구에서는 여기서 더 나아가 해안에서 내륙까지 중복적으로 미세먼지를 저감할 수 있는 숲체계를 마련하는 것이 목표이다. 이를 위해 우선, 충남의 주요 미세먼지 발생원 선정 및 미세먼지 영향권을 파악하고 미세먼지로 인한 위험성이 높은 미세먼지취약지역 선정 및 우선순위를 지정하였다. 마지막으로 우선순위를 기준으로 해당지역에 대해 미세먼지 저감을 위한 해안림, 마을숲, 도시숲 조성 전략을 제시하였다.

한편, ‘미세먼지 영향권’은 미세먼지 발생원으로부터 미세먼지가 영향을 미친다고 예상되는 주변의 범위’로 의미를 한정하였다. 또한, 실제 모델링을 통해 1년 평균값 등 과학적 수치를 도출하는데 한계가 있어 국내에서 일반적으로 적용하는 법정거리나 조사결과 등을 근거하여 설정하였다. ‘미세먼지취약시설 영향권’ 역시 ‘취약시설 이용을 위한 주변 이용자들의 이동가능 범위’로 의미를 한정하였으며, 통계자료와 법적지침을 근거하여 설정하였다.

(1) 충남 미세먼지 주요 발생원 및 미세먼지취약시설 분포현황 파악

기존 연구를 근거하여 축사, 발전소, 해염입자(외부유입 및 내륙발생 미세먼지와 합성하여 2차 미세먼지 생성, 편서풍에 의해 유입)를 충남 미세먼지 주요 발생원으로 최종 선정하였다. 축사와 취약시설은 건축물의 사용 승인 전 도로명주소 부여를 위해 shp. 형태로 생성되는 도로명주소 건물 자료(행정안전부 국가공간정보포털, 2020.02.03.기준)를 활용하였으며, 축사와 취약시설 건물용도 코드에 해당하는 폴리곤을 추출하였다.

발전소는 충청남도 내부자료에 근거하여 발전소 주소를 지오코딩하여 좌표로 나타냈고, WGS84 좌표계를 현재 사용 중인 GRS80타원체, TM좌표계(중부원점, 원점 가산수치 600,000m, 200,000m)로 변환하였다.

(2) 충남 미세먼지 발생원 영향권 설정

측사는 환경부 및 전국 지자체에서 활용하는 이격거리를 근거로 영향권을 설정하였고, 발전소는 「발전소주변지역지원에관한법률」 제2조 발전소 ‘주변지역’에 대한 정의를 기준으로 영향권을 설정하였다. 서해안 특이성이라 할 수 있는 해염입자는 조사범위 6개 시·군 해안선으로부터 내륙으로 염분이 날아가는 거리에 대한 연구결과를 적용하였다.

(3) 미세먼지 취약계층 집중활동지역 범위(미세먼지취약시설 영향권) 설정

취약계층 집중 활동지역 추출은 국토정보플랫폼에서 제공하는 국토통계자료(기준년도 2019년4월, 격자크기 500m×500m)를 사용하였다. 이 지도는 행정구역 단위가 아닌 각 격자의 중심에서 각 시설간의 접근성을 분석한 자료로서 취약계층 이용시설까지의 접근성을 표현할 수 있다. 이번 연구에서는 국토교통부지침에 의한 도보권근린공원 유치거리를 적용하여 시설로부터 1km 이내를 범위로 한정하였다.

(4) 미세먼지취약지역(미세먼지 저감숲 필요) 우선순위 설정

미세먼지취약지역에 측사, 발전소, 해안 등 미세먼지 배출원이 인접할 경우 미세먼지 저감녹지 조성이 시급하다고 판단하였다(정대영 외, 2019). 즉, 미세먼지 영향권의 중첩이 많을수록 미세먼지 저감숲 필요 우선순위가 높아지는 것으로 설정하였다. 또한, 미세먼지취약시설이 집중 분포하는 지역일수록 우선순위가 높아지는 것으로 설정하였다.

(5) ‘충남형 미세먼지 저감숲 체계 : 해안림-마을숲-도시숲’ 마련

외부유입 미세먼지는 그 자체가 미세먼지인 동시에 내륙에서 발생하는 미세먼지와 합성하여 매우 위험한 2차 미세먼지를 발생시킨다. 이러한 외부유입 미세먼지에 대한 1차 차단벽이라 할 수 있는 해안림의 복원·관리방안 제시를 위하여 해안림 51개 지점에 대해 현장조사를 수행하고, 이를 근거로 충남에 적합한 해안림 복원·관리방안을 제시해 보았다. 마을숲은 기존 마을숲 개념을 유지하면서 읍·면단위에 조성되는 마을숲으로 한정하였다.

즉, 대도시에 집중 조성되고 있는 도시숲과 공간적으로 구분하고 읍·면 단위에서의 마을숲 개념 및 기능을 유지하면서 미세먼지 기능을 강화하고자 하였다. 도시숲은 현재 진행되고 있는 도시숲 조성사업에 대해 보완사항을 제시하는 수준으로 한정하였다.

3. 선행연구 고찰

1) 선행연구 검토

도시 내 수목은 대기로부터 미세 입자를 흡수·흡착하여 공기의 질을 개선하고, 결과적으로 사람의 건강을 향상시킨다는 연구결과(Nowak, *et. al.*, 2006)에 기초하여 녹지를 활용한 저감방안에 많은 연구가 이루어졌다.

미세먼지 배출량이 가장 많은 배출원은 제조업의 연소공정이며, 그다음으로 자동차를 비롯한 이동오염원이다(환경부, 2016). 이로 인해 미세먼지저감 방안으로서 도로변 완충녹지의 중요성을 뒷받침하는 연구가 많이 수행되었음을 알 수 있었다.

국립산림과학원(2018)은 시화산업단지 인근 주거지역의 미세먼지농도가 완충녹지 조성 이후 약 12% 낮아졌다고 보고한 바 있다. 황광일 등(2018)은 도로변 완충녹지의 교목 열수와 관목의 층위구조가 미세먼지저감에 중요한 영향요인이며, 특히 초미세먼지는 관목의 녹피율이 중요한 요인이라고 하였다. 또한, 도로변 녹지는 면적이 넓고 하층 밀도가 낮은 경우 통기성이 좋아 미세먼지 저감에 더 효과적이라는 분석결과도 있다(최태형 외, 2019). 완충녹지가 아닌 도시근린공원을 대상으로 한 연구에서도 역시 차폐율이 높을수록 미세먼지 저감율이 높다는 결과를 얻었다(구민아, 2019).

이 외에도 미세먼지저감을 위해 녹지 및 자연공간이 효과적임을 증명하는 다양한 연구가 수행되었으며(허희엽과 김진오, 2017; 최태영 등, 2018; 김세한과 오충현, 2019; 류형원과 장동호, 2019), 산림청(2018)은 국내 322종을 대상으로 미세먼지 저감능력을 세분화하여 미세먼지저감에 우수한 수목을 구체적으로 제시하기도 하였다.

자연적 저감방안과 함께 기술적 저감방안 관련해서도 많은 연구가 이루어졌다. 사전에 배출 또는 생성된 미세먼지를 저감할 수 있는 기술적 방안에는 크게 여과 및 전기집진, 미스트 분사 등을 활용한 물리적 저감과 광촉매, CMA(Calucium Magnesium Acetate) 등을 활용한 화학적 저감방안이 있다(김정곤 외, 2019). 물리적 저감방안으로는 기상이나 액상 중의 작은 고형물을 제거할 수 있는 여과집진(필터), 미세먼지 입자를 하전 시킨 후 정전력을

이용하여 포집하는 전기집진, 먼지 입자를 습윤하게 하여 점성에 의해 미세먼지를 응결시키는 미스트 분무 등의 활용이 각광 받고 있다(경대승, 2019). 이 외에도 원심력 집진은 먼지를 함유한 공기를 원통 내에서 회전시켜 그 원심력으로 먼지를 외측으로 분리해 집진하는 원리가 있고, 습식집진은 물에 의해 분진을 세정 분리하는 방식이 있다.

화학적 저감방안으로서 빛을 흡수하여 화학반응을 촉진시키는 광촉매 물질(TiO_2)은 2차 미세먼지 생성 주요물질인 황산화물과 질소산화물 등을 분해할 수 있는 활성화 산소(OH^- 또는 O_2^- 라디칼)를 생성할 수 있다(이상수와 이원규, 2019). 또한, 겨울철 도로 표면의 결빙을 방지하는 환경친화적 제산제인 CMA는 미세먼지를 흡착하는 효과가 뛰어난 결합제(binder)로써 주목받고 있다. 이에 따라 오스트리아, 이탈리아, 독일 등 EU 국가에서 도시 내 미세먼지 저감을 위해 다양한 프로젝트를 진행하고 있다(김정곤 외, 2019).

2) 고찰

국내 미세먼지 연구는 대기오염 배출시설, 에너지소비량, 자동차사용, 인구증가, 제철소, 화력발전소 등 일반적 배출원인을 중심으로 하는 연구가 주를 이루고 있었다. 특히, 도시지역을 중심으로 이루어졌으며, 농촌지역을 대상으로 한 연구는 다소 미흡한 것으로 나타났다. 이같이 도시지역 내부 및 미세먼지 발생원 규명에 집중하고 있는 연구들을 기초하여 농촌지역에 적합한 미세먼지 저감방안을 마련하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

이미 발생한 미세먼지 저감 및 차단 방법 역시 발생지점이나 주변에 차단기계 설치 및 완충녹지조성 등 단편적 방안에 한정되어 있어 지역 전반에 걸친 미세먼지 저감 체계로서는 부족하다고 할 수 있다. 그리고 충남과 같이 바다를 접하는 지역은 해풍에 의한 염분 유입이 미세먼지 형성에 영향을 미칠 수 있음에도 이에 대한 연구는 미흡하였다.

따라서 이번 연구에서는 충남 지역 특성을 의미하는 ‘해안농촌지역’에 대한 미세먼지 저감방안을 마련하고자 하였다. 또한, 미세먼지 저감이 필요한 지역도 지금과 같이 미세먼지 발생원이나 미세먼지취약시설 주변을 단순 선정하는 방식에서 벗어나 충남 미세먼지의 영향권을 근거하여 충남 전체에 대해 미세먼지 저감 필요지역의 우선순위를 설정하고자 하였다. 이를 통해 해안립의 미세먼지 차단기능 향상을 위한 근거를 마련하고, 현재 도시에 집중 조성되고 있는 미세먼지 저감숲을 농촌지역까지 확대해야 하는 근거를 마련한다는 점에서 의미가 있을 것으로 보인다.

제2장 충남 미세먼지 주요 발생원 현황

1. 국내 미세먼지 현황 및 주요 발생원

1) 일반 현황

먼지는 유기물과 무기물의 복합 혼합물을 나타내며, 입자직경에 따라 분류된다. 입경이 $50\sim 100\mu\text{m}$ 이하인 것을 총부유분진(Total Suspended Particles)이라 하며, 미세먼지(Particulate Matter)는 아황산가스, 질소산화물, 납, 오존, 일산화탄소 등을 포함하는 대기 오염 물질로 대기 중 장기간 떠다니는 입경 $10\mu\text{m}$ 이하의 입자상 물질을 의미한다. 이는 다시 입경이 $10\mu\text{m}$ 미만인 PM10과 입경이 $2.5\mu\text{m}$ 미만인 PM2.5로 분류된다.

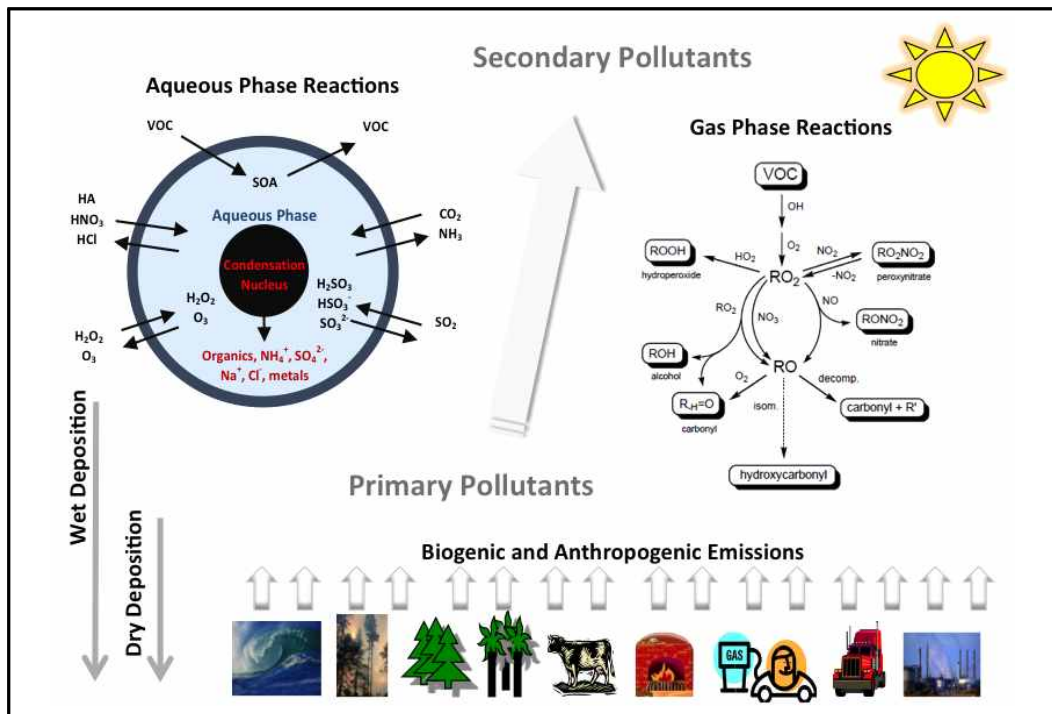


그림 1. 미세먼지 발생원 분류

출처 : <http://chem.sites.mtu.edu>

환경부는 1995년 1월부터 10 μm 이하의 미세먼지(PM10)를 새로운 대기오염물질로 규제하였으며, 2015년 1월부터 2.5 μm 이하의 초미세먼지(PM2.5)에 대한 규제를 시행하였다(「환경정책기본법」 시행령 [별표]환경기준 제2조 관련). 국내 미세먼지 PM10 농도는 2002년 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최고치를 보인 이후 최근까지 꾸준히 감소하는 추세를 나타내고 있으며, 2018년에는 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 32.8% 감소하였다.

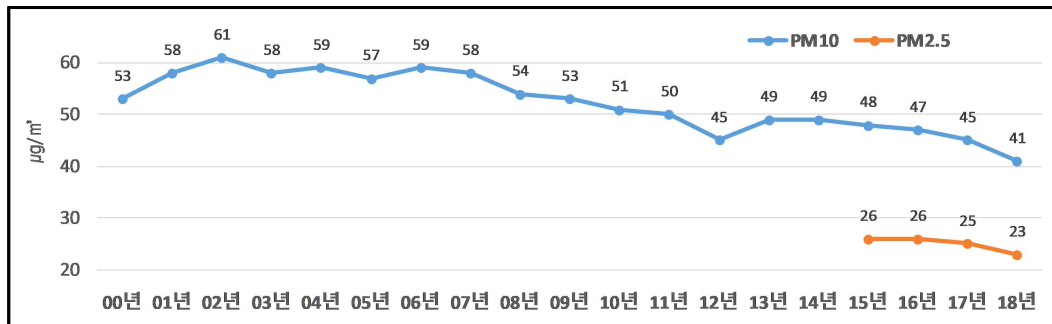


그림 2. 전국 PM10 및 PM2.5 분포도

출처 : 국립환경과학원(2019) 2018 대기환경연보.

2018년 기준 PM2.5의 연평균농도는 제주, 경남이 가장 낮게 나타났으나, 환경기준(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에는 미달하였다. 나쁨 이상 일수는 제주가 가장 적었으며, 충북이 103일로 가장 많은 일수를 기록했고, 그다음으로는 전북으로 나타났다.

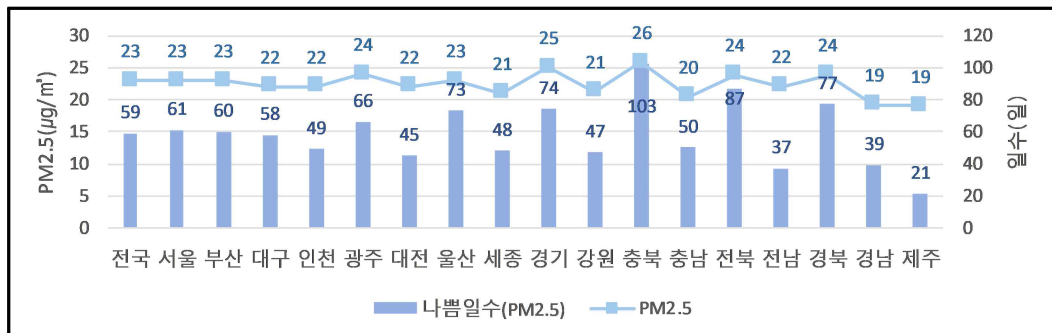


그림 3. 2018년 시도별 미세먼지 PM2.5 연평균 농도 및 나쁨이상 일수

출처 : 국립환경과학원(2019) 2018 대기환경연보.

2) 주요 발생원

국내의 미세먼지농도는 겨울철과 봄철에 높으며, 특히 12월~3월 중 월평균 농도는 연평균 대비 높은 수준을 보이며, 나쁨 일수 또한 12~3월 중에 주로 발생한다(환경부, 2019).

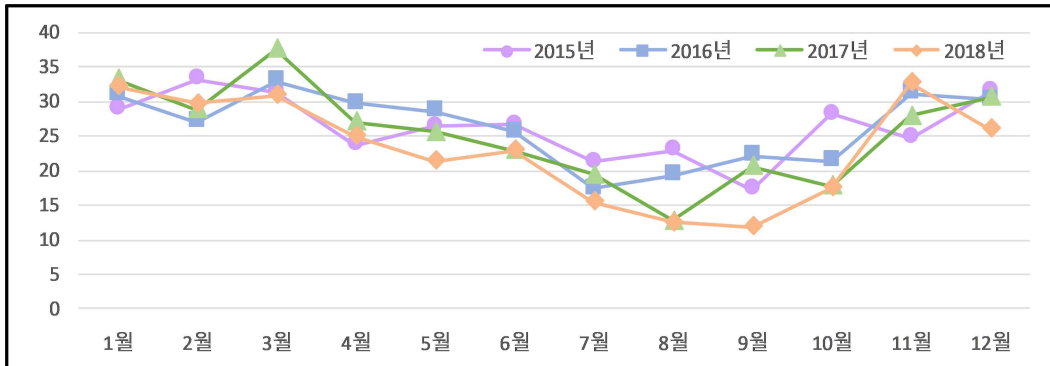


그림 4. 전국 월별 미세먼지 PM2.5 농도(2015년~2018년)

출처 : 국립환경과학원(2016~2019) 2015~2018 대기환경연보.

초미세먼지 생성물질의 배출량, 기상 여건 등을 종합하여 국내 초미세먼지 농도에 미치는 영향을 모델링한 결과 권역 전체 농도 기여율(82%) 중 중부권이 31%로 가장 높았으며(총량 사업장, 특정경유차, 인구·국토 비율 대비 미세먼지 농도가 높음), 이 중 충남의 시·군이 주를 이루는 것을 확인할 수 있었다.

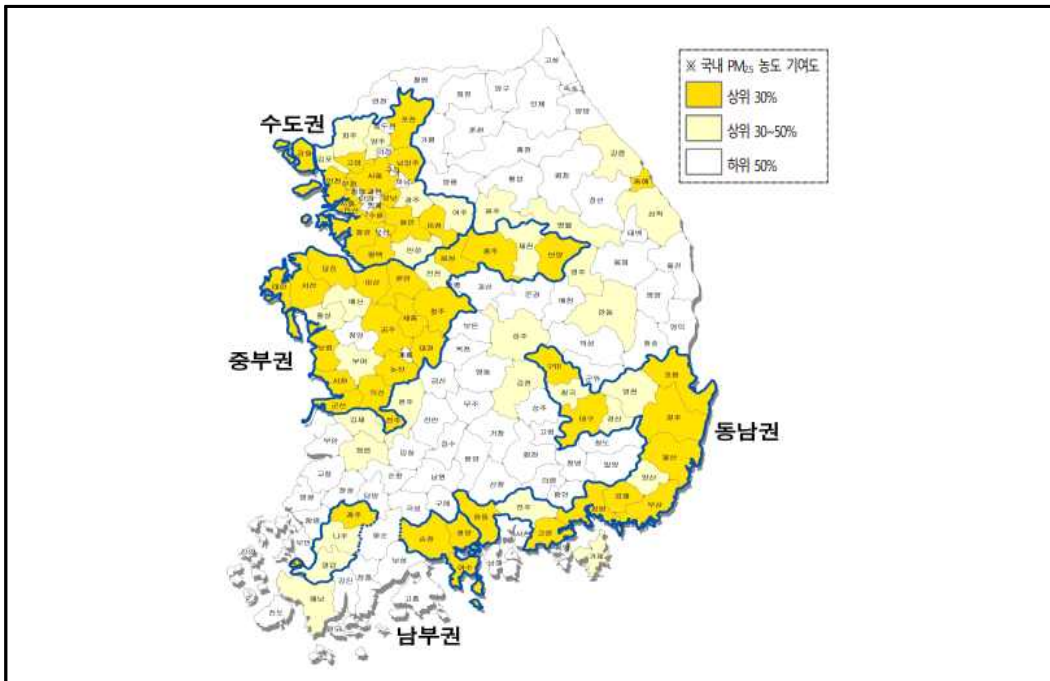


그림 5. 대기관리권역 설정 대상지역(안)

출처: 관계부처합동(2019)

국외영향에 의한 미세먼지 농도는 계절이나 기상 조건에 따라 상이하나 통상적으로 절반 수준인 것으로 나타났다. 고농도시에는 국외 영향이 69~82%로 우세한 경우와 대기정체로 국내 영향이 큰 경우도 있는 등 사례별로 상이하였다. 계절별로는 겨울과 봄철에 북서풍과 서풍이 우세하여 국외 영향이 크게 나타나며, 여름철에는 상대적으로 국내 영향이 우세한 것으로 분석되었다(국립환경과학원, 2017).

표 1. 초미세먼지(고농도사례) 국내의 기여율 연구결과

연구기관 및 측정일			대상지역	평균농도(최고농도)	국내기여도	국외기여도
국립 환경 과학원	2018.01.	01.15.~01.18.	수도권	50~88(82~106)	43~62%	38~57%
	2018.03.	03.22.~03.27.	수도권	25~104(49~126)	31~68%	32~69%
	2018.05.	05.14~05.15.	수도권	59(81)	62%	38%
	2018.11.	11.03~11.07.	전국	35~57(118~189)	66~72%	28~34%
	2019. 01.	01.11~01.15.	전국	48~96(141~248)	18~31%	69~82%
국립환경과학원-NASA 공동(KORUS-AQ)			서울	—	52%	48%
서울특별시			서울	—	45%	55%

출처 : 국립환경과학원(2017), 관계부처합동(2019)

동일한 국내 배출 및 국외 유입 영향에서도 대기정체, 강수 등 기상여건에 따라 미세먼지가 고농도로 발생하거나 생성된 미세먼지가 해소되는 등 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 겨울철과 봄철에는 강한 북서풍 형성, 지면냉각과 찬 기단의 정체에 따른 대기역전층 형성, 강수량 감소에 따른 세정효과 저하, 저온 조건에 따른 질산염(NO₃-) 생성 증가 등 여름철에 비해 미세먼지 농도에 영향을 주는 기상여건이 불리하게 작용하는 것으로 밝혀졌다(국립환경과학원, 2017; 통계청, 2019).

표 2. 미세먼지 농도 영향 기상인자

기상 요인	미세먼지 영향
풍속	· 풍속이 낮은 대기정체 현상 발생 시 대기 중 미세먼지 축적 · 활발한 2차 생성에 따라 고농도 발생에 유리한 여건으로 작용
강수	· 대기 중 강우 시 미세먼지 입자가 씻겨 내려가는 세정효과 발생 · 미세먼지 농도 저감에 유리하게 작용
대기 혼합고	· 대기 혼합고가 높을 경우 대기가 수직으로 활발히 혼합 · 미세먼지가 확산되고 농도가 줄어드는 효과 발생
풍향	· 서풍 또는 북서풍 계열의 풍향일 경우 중국 등 국외 유입 영향 증가 · 미세먼지 관리에 불리하게 작용

출처 : 국립환경과학원(2017), 통계청(2019)

2. 충남 미세먼지 현황 및 주요 발생원

1) 일반 현황

충남은 2018년 12월 기준 19개소 대기측정소에서 PM10 측정이 이루어지고 있다. 연평균 농도를 살펴보면, 2001년에서 2007년 사이 $51\pm 4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준에서 등락하다가 2008년부터 2012년까지는 감소하였다. 이후 점차 증가하여 2016년 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기록한 후 2018년 $39\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소하였다(2019, 충남보건환경연구원).

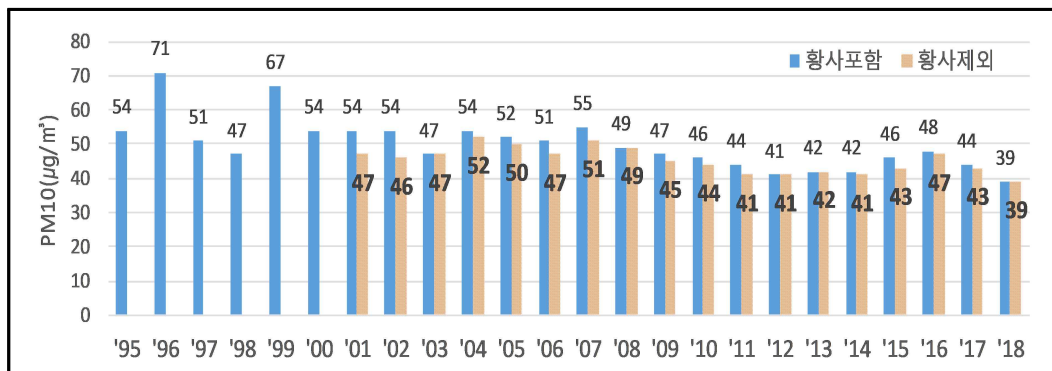


그림 6. 충청남도 PM-10 연평균 농도 변화

출처 : 충남보건환경연구원, 2019, 2018년 충청남도 대기질 평가보고서.

한편, PM10과 PM2.5 모두 연평균농도의 감소추세와는 별개로 한반도 주변의 기후변화로 대기정체가 증가하고 있어 고농도 미세먼지의 출현은 오히려 증가하는 실정이다. 미세먼지 경보제 운영결과, 2018년 PM10 주의보 11회/11일, PM2.5 주의보 10회/22일을 발령하였다. 2017년 경보 1회/1일, 주의보 6회/6일, PM2.5 주의보 1회/2일에 비해 발령 횟수가 크게 증가했는데²⁾ 이는 대기정체의 증가와 권역을 세분화한 영향으로 보여 진다(2019, 충남보건환경연구원).

충남의 월평균 미세먼지농도는 1월에서 5월까지 높은 농도를 보이다 7월까지 급격히 감소한 후 12월까지 서서히 증가하는 형태의 농도변화를 보인다. 겨울철은 난방 등 연료사용 증가 및 계절풍을 타고 중국에서 유입되는 오염물질의 영향이 크고 봄철에는 중국과 몽골내륙에서 발생한 미세한 모래먼지가 편서풍을 타고 내려오는 황사와 더불어 바람이 없고 대기

2) 단일권역(충남권역)으로 운영하던 미세먼지 경보제를 2018년 3월부터 3개(북부, 서부, 동남부)권역으로 세분하여 시행한 영향과 2018년 7월부터 PM-2.5 주의보 발령기준이 $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화된 영향도 있음

가 정체되어 국내에서 배출된 오염물질이 흩어지지 않고 지표면에 미세먼지의 농도가 증가하는 경향을 나타낸다(충청남도 보건환경연구원, 2019).

표 3. 충청남도 미세먼지 경보 발령 현황

일수(횟수)	2015년		2016년		2017년		2018년	
	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보
PM-10	5(2)	—	6(4)	1(1)	8(6)	1(1)	11(11)	—
PM-2.5	1(1)	—	6(6)	—	2(1)	—	22(10)	—

출처 : 충청남도 보건환경연구원(2019) 2018년 충청남도 대기질 평가보고서.

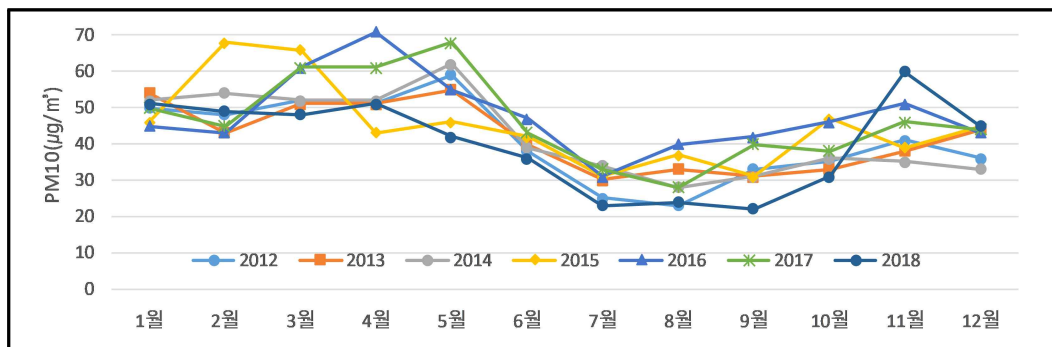


그림 7. 충청남도 PM-10 월평균 농도 변화

출처 : 충청남도 보건환경연구원(2019) 2018년 충청남도 대기질 평가보고서.

2018년 기준 충남 시·군별 PM10의 연평균농도는 계룡이 $31\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 나타났고, 당진, 아산, 천안이 높게 나타났다. 충남 시·군별 PM2.5 연평균농도 역시 계룡이 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 나타났고, 당진, 천안이 높게 나타났다.

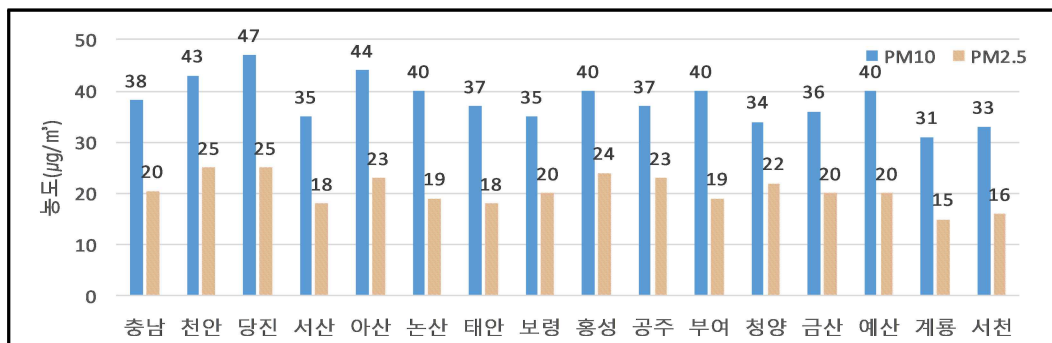


그림 8. 충청남도 PM-10 월평균 농도 변화

출처 : 충청남도 보건환경연구원(2019) 2018년 충청남도 대기질 평가보고서.

2) 주요 발생원

(1) 자체 발생 미세먼지 : 축사, 발전소

충남은 전국 가축사육지역 중 사육두수 기준 돼지 1위, 젓소 2위, 한·육우 3위, 닭 3위 등 전국 가축의 19.5% 정도를 사육(290만여 마리³⁾)하는 전국 최대 가축사육지역(충남서해안기후환경연구소, 2019)이다.

그리고 충남에는 전국 1~10위 대기오염 배출업소 중 현대제철(2위), 태안화력 본부(3위), 보령 화력발전본부(5위), 당진 화력본부(7위) 등 4곳이 위치하고 있으며(충남연구원, 2018), 석탄화력발전소 30기, 철강단지, 석유화학단지 등 국가산업단지가 밀집하고 있어 2018년 기준 굴뚝자동측정기기 부착사업장(다량배출사업장) 대기오염물질 배출량이 전국 1위(23%)인 지역이다(환경부, 2019).

이로 인해 국내 17개 시·도별 초미세먼지 기여도와 전환율을 분석한 결과, 충남의 경우 자체 기여도가 66%로 전국에서 가장 높은 수준으로 나타났다(KEI, 2018). 즉, 충남은 축사와 발전소 등에서 발생하는 내륙의 미세먼지가 외부로 빠져나가지 못하고 충남지역 자체에 상당수 머무르고 있다고 할 수 있다.

(2) 외부유입 미세먼지 : 편서풍

초미세먼지 자체 기여도가 이렇게 높은 이유로는 석탄화력발전소·제철소·석유화학 공장이 밀집한 데다 서해안 입지로 인해 오염물질이 편서풍을 타고 동쪽 내륙으로 이동하기 때문으로 분석된 연구결과가 있다(KEI, 2018).

이 같은 서해안 입지 특이성을 고려해 볼 때, 축사와 발전소 이외에도 선박과 항만시설의 배출물질 및 중국발 미세먼지 역시 편서풍을 타고 내륙으로 유입될 수 있음을 의미한다. 또한, 편서풍에 의해 유입되는 미세먼지는 서해 상공을 거치면서 해염입자와 반응하게 되는데 이 또한 2차 미세먼지를 생성하는 주요한 요인으로 작용할 수 있다.

이상의 내용을 근거로 충남의 주요 미세먼지는 크게 충남 ‘자체 발생 미세먼지’와 ‘외부유입 미세먼지’로 구분 가능하며, 이번 연구에서는 이들의 주요 발생원으로서 ‘축사’와 ‘발전소’ 그리고 ‘편서풍’으로 분석대상을 한정하였다.

3) 가축 중 한육우, 젓소, 돼지 사육두수 합. 가금류(닭, 오리 등) 제외.

3) 주요 발생 미세먼지 위험성

(1) 축사, 발전소에 의한 자체 발생 미세먼지

충남은 전국 최대 가축사육지역이며(충남서해안기후환경연구소, 2019), 축사시설은 다양한 악취유발 오염물질을 배출한다. 일반적으로 돈사와 우사는 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸, 이황화메틸, 암모니아, 저급지방산류, 계사의 경우 트리메틸아미, 질소화합물이 추가적으로 더 발생하는 것으로 알려져 있다.

이 중 질소산화물과 황화수소, 암모니아는 2차 생성 미세먼지(PM2.5) 발생 전구물질로 특히 암모니아로 인해 형성된 미세먼지는 총 미세먼지 발생량의 26~35%에 해당한다(김중범 등, 2019). 따라서 축사가 많은 충남지역의 경우 제조업이 발달한 타 지역과는 다른 미세먼지가 발생할 수 있다.

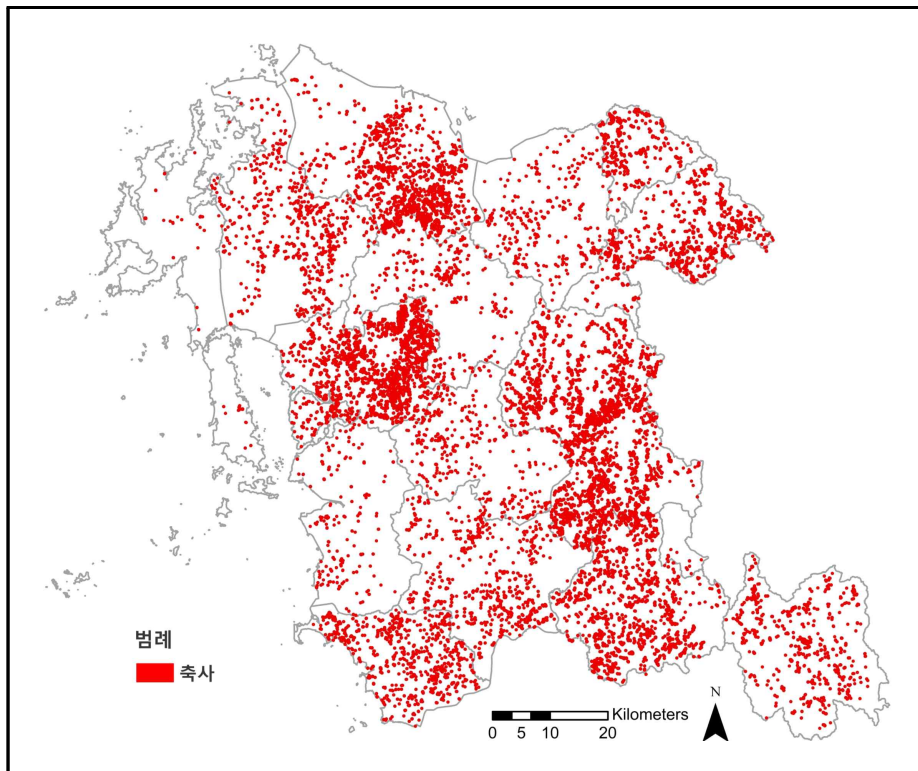


그림 9. 충남 축사 분포도

출처 : 충청남도 내부자료(2017.8)

축사 분뇨에서 발생하는 암모니아와 농작물 소각 연소과정에서 발생하는 휘발성 유기화합물이 미세먼지농도에 영향을 미칠 수 있다. 무엇보다 제조업 연소과정에서 발생하는 1차 미세먼지와 달리 암모니아 및 휘발성 유기화합물 성분은 해수에서 유래된 나트륨이온(Na^+), 마그네슘이온(Mg^{2+}), 칼슘이온(Ca^{2+}), 염화이온(Cl^-), 황산이온(SO_4^{2-}) 등과 물리·화학반응을 일으켜 2차 미세먼지를 생성한다. 특히, 축사 내 배출 비중이 높은 암모니아(NH_3)와 황화수소(H_2S)에서 유래된 암모늄(NH_4^+) 및 황화이온(S^{2-})과 결합하여 염화암모늄(NH_4Cl), 황화나트륨(Na_2S), 황화마그네슘(MgS), 황화칼슘(CaS) 등이 생성될 가능성이 높다.

한편, 화력발전소에서는 주로 미세먼지(PM), 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x), 일산화탄소(CO), 셀레늄(Se), 비소(As) 등의 대기오염물질과 중금속을, 철강단지에서는 미세먼지(PM), 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x)과 휘발성유기화합물(VOCs) 등을, 석유화학단지에서는 황산화물(SO_x)과 휘발성유기화합물(VOCs), 미세먼지(PM), 암모니아(NH_3), 질소산화물(NO_x), 코발트(Co) 등을 배출한다(국립환경과학원, 2019).

이들 중 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x), 휘발성유기화합물(VOCs) 등은 대기 중에서 전구물질로 작용하여 다양한 2차 미세먼지를 생성할 수 있다. 화석연료 연소과정에서 배출되는 황산화물(SO_x)은 수증기 등과 반응하여 황산(H_2SO_4)이 되고(Holt, J. *et al.*, 2015), 이들은 농업과정에서 배출되는 암모니아(NH_3) 등과 반응하여 질산암모늄(NH_4NO_3)이나 황산암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)과 같은 2차 미세먼지 입자를 생성한다(환경부, 2016).

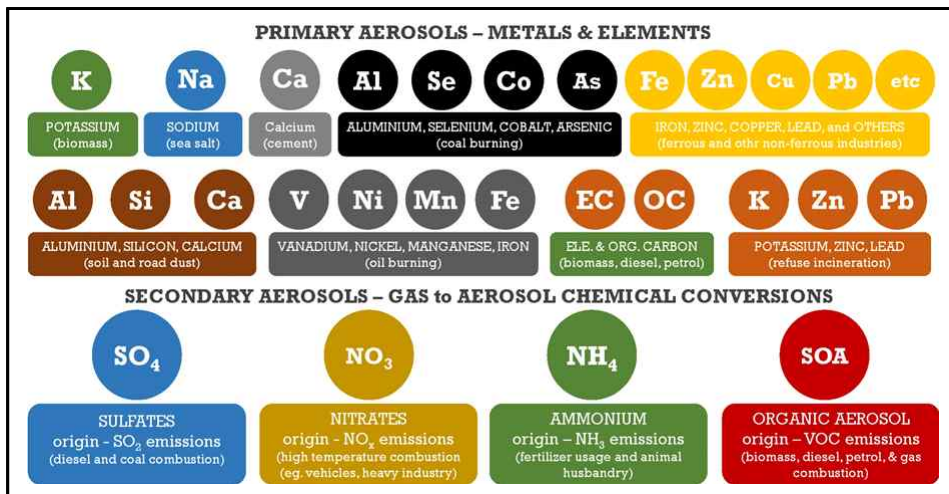


그림 10. 미세먼지의 화학적 구성성분

출처 : <http://www.urbanemissions.info>

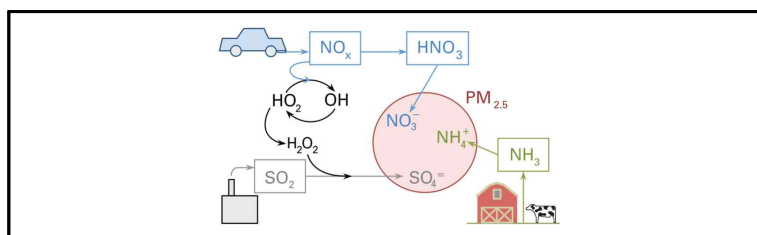


그림 11. 대기 중 화학반응에 의한 2차 미세먼지 생성
출처 : Holt, J. *et al.*(2015), *Env. Sci. Technol.*, 49:4834-4841.

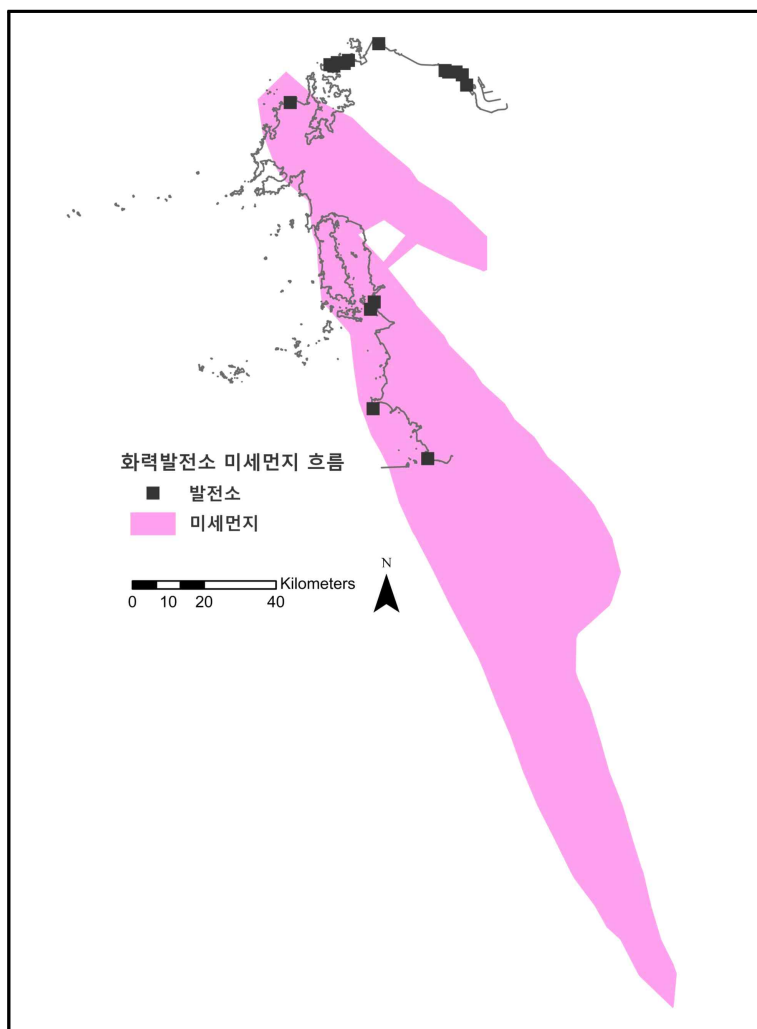


그림 12. 봄철 충남 화력발전소 배출 미세먼지 흐름(2019.03.07.기준)
출처 : 충청남도(2019) 화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구(Ⅱ), 충남연구원.

(2) 편서풍에 의한 외부유입 미세먼지

충남은 편서풍에 의해 내륙 미세먼지뿐 아니라 외부 및 해안에서 발생하는 미세먼지도 해안으로 빠져나가지 못하고 오히려 내륙으로 유입시키는 결과를 초래한다. 해안가 미세먼지에는 해염입자가 많이 포함되어 있는데(천성남 외, 2006), 파도로 생기는 포말로 인해 소금입자가 공기 중으로 날려 1차 미세먼지(sea salt)가 된다. 해염입자는 다양한 염분성분(NaCl :77.4%, MgCl_2 :10.8%, MgSO_4 :4.9%, CaSO_4 :3.7%)으로 구성되어 있다. 나트륨이온(Na^+), 마그네슘이온(Mg^{2+}), 칼슘이온(Ca^{2+}), 염화이온(Cl^-), 황산이온(SO_4^{2-})은 화력발전 소나 축사에서 발생하는 황산이온(SO_4^{2-}), 질산이온(NO_3^-), 암모늄이온(NH_4^+)과 반응하여 황산나트륨(Na_2SO_4), 질산나트륨(NaNO_3), 황산마그네슘(MgSO_4), 질산마그네슘($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), 염화암모늄(NH_4Cl) 등의 2차 미세먼지가 될 수 있다(천만영 외, 1994).

편서풍에 의해 유입되는 것으로서 중국발 미세먼지도 들 수 있다. 중국의 1차 에너지 총 사용량은 45억 톤으로 전 세계 사용량의 23%를 차지하며, GDP 대비 에너지 소비는 전 세계 평균의 2.5배 수준이다(관계부처 합동, 2019). 2014년 기준 중국의 황산화물(SO_x)과 질소산화물(NO_x) 배출량은 각각 1,974만톤, 2,078만톤으로 SO_x 전체 배출량의 88.2%와 NO_x 전체 배출량의 67.6%가 화력발전, 철강, 시멘트 등 주요 에너지 사용업계에서 배출된 것으로 나타났다(문광주 외, 2018). 그리고 SO_x 와 NO_x 배출의 주요 원인은 중국 내 에너지 소비량의 71%를 차지하는 석탄연소에 기인하는 것으로 밝혀졌다(문광주 외, 2018).

석탄은 다른 에너지원에 비해 더 많은 미세먼지와 오염물질을 생성하며, 동일 양의 에너지 생산에 필요한 원료의 양을 더 많이 필요로 한다. 또한, 석탄원료 자체에 황성분이 다량 포함되어 있고(0.5~4.0%), 연소과정에서 황산이온(SO_4^{2-}) 형태로 배출된다. 이 밖에도 연소 조건에 따라 철이온(Fe^{2+}), 알루미늄이온(Al^{3+}), 마그네슘이온(Mg^{2+}), 칼슘이온(Ca^{2+}) 등 다양한 종류의 중금속과 유기탄소, 질산이온(NO_3^-), 염화이온(Cl^-) 등이 발생된다(박기홍 외, 2017). 한편, 중국의 에너지 소비구조는 단기간 내에 큰 변화가 없을 것으로 예상되며, 최근 고품질 석탄의 품귀현상으로 저품질의 갈탄 사용이 증가하고 있어 석탄연소에 따른 대기오염물질 생성은 지속되리라 예상된다.

더욱이 중국 내 대기오염물질 농도가 높은 산둥성 지역은 백령도까지 약 200km 거리에 불과하며, 편서풍 영향으로 중국에서 생성된 오염물질이 서해로 유입될 가능성이 높고, 정도가 심할 때는 중국 내 생성 오염물질의 60~80%가 유입되는 것으로 알려져 있다(중앙일

보, 2019). 중국발 미세먼지의 또 다른 문제는 서해를 거쳐 유입되는 과정에서 해수에서 유래된 나트륨이온(Na^+), 마그네슘이온(Mg^{2+}), 칼슘이온(Ca^{2+}), 염화이온(Cl^-) 등과 물리·화학반응을 일으켜 황산나트륨(Na_2SO_4), 황산마그네슘(MgSO_4), 황산칼슘(CaSO_4), 염화철(FeCl_2), 염화알루미늄(AlCl_3) 등 미세입자를 생성시킬 수 있다는 점이다. 또한, 중국 내에서 생성된 미세먼지가 해수면을 통과하는 과정에서 응결되어 입자의 크기가 성장할 수 있으며, 상기 언급된 이온들이 표면에 흡착되어 유입될 수도 있다.

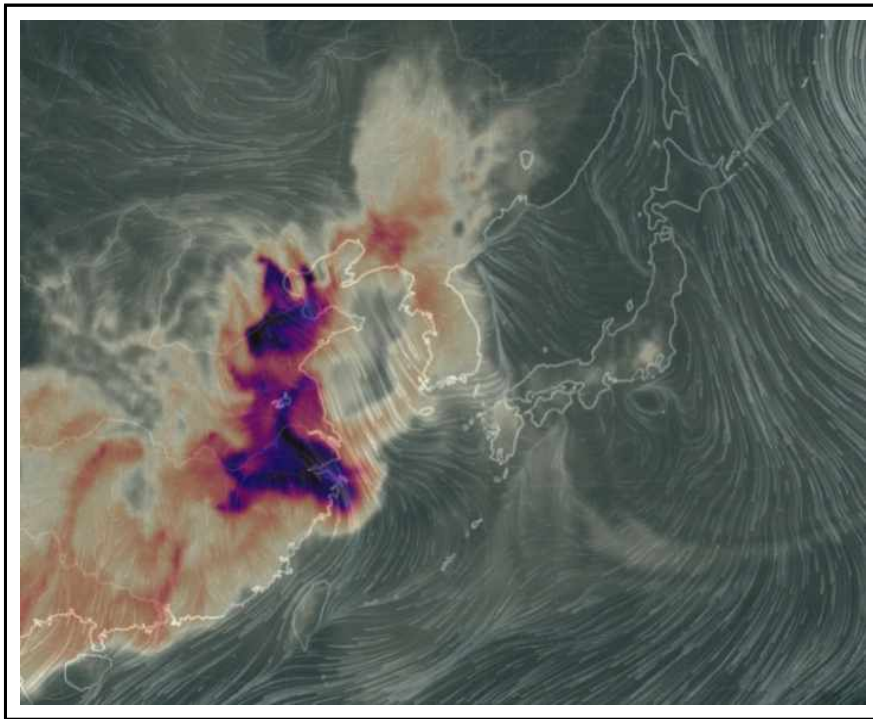


그림 13. 중국발 미세먼지 위성영상

출처: <https://earth.nullschool.net>

편서풍으로 유입되는 미세먼지로 항만시설과 선박에 의한 배출물질도 고려해 볼 수 있다. 대기질은 산업, 주거, 해상, 철도, 항공, 도로를 포함한 다양한 인위적 배출원에 영향을 받을 수 있다(Fuzzi *et al.*, 2015; Ledoux *et al.*, 2017). 선박은 연간 $5\sim7\times10^9\text{kg}$ 의 질소산화물(NO_x)과 $4.7\sim6.5\times10^9\text{kg}$ 의 이산화황(SO_2), $1.2\sim1.6\times10^9\text{kg}$ 의 미세먼지(PM)를 배출하는 것으로 알려져 있다(Buhaug *et al.*, 2009). 이 중 70%는 해안을 따라 발생하므로 해안 지역과 항구도시의 대기질 저하에 직접 기여하게 된다(Andersson *et al.*, 2009).

충남은 2016년 기준 지역 내 비도로이동 오염원 미세먼지 배출량은 2만 3,431톤(4.8%)이며, 이 중 선박에 의한 배출량은 1만 510톤(44%)으로 높은 비중을 차지한다(충청남도, 2019). 선박 연료유는 황을 3.5% 가량 함유하고 있으며, 이에 따라 선박 항해 시 다량의 황산화물(SO_x)이 배출된다. 또한, 항만 정박 시 선박 발전기 가동으로 SO_x 배출과 항만 전용장비에서 다량의 대기오염 물질이 발생하는 것으로 밝혀졌다(관계부처합동, 2019).

특히, 평택·당진항과 대산항은 국내 12개 주요 거점 항이며, 평택·당진항은 석탄, 곡물 등 주요 분진성 화물을 취급하는 국내 5대 대형항만이다. 이곳은 2012년 511TEU⁴⁾에서 2019년 725TEU로 컨테이너처리물량이 증가하였고(해양수산부 해운항만물류정보시스템, 2019), 이 과정에서 다양한 성상의 1·2차 미세먼지가 대량 발생할 것으로 판단된다.

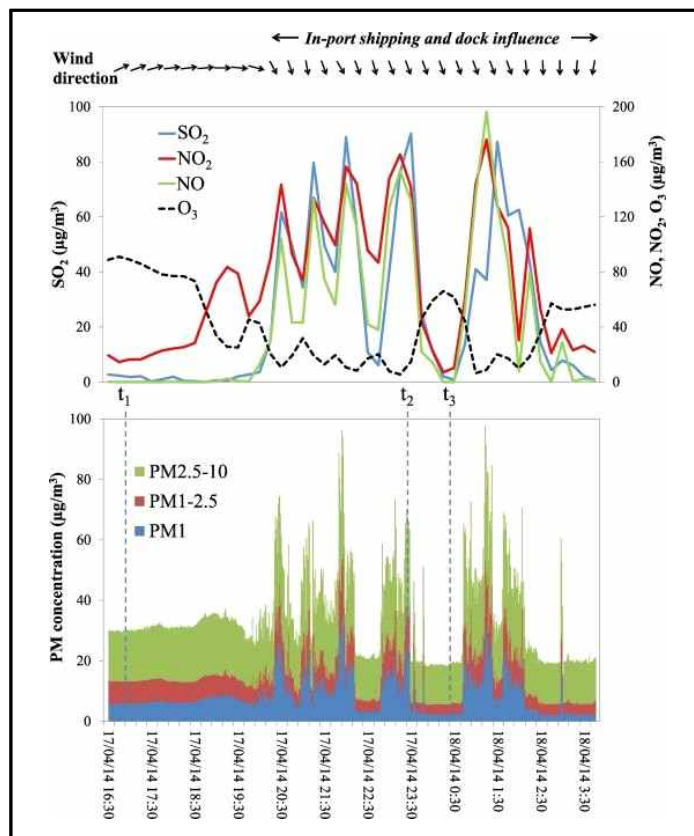


그림 14. 선박과 항만시설에 의한 미세먼지 생성 현황
출처 : Ledoux, F. *et al.*(2018), J. Env. Sci., 71, 56-66.

4) TEU(Twenty-foot Equivalent Unit) : 20ft 컨테이너 한 개를 세는 단위

3. 현황 종합

1) 국내 현황 종합

국내 미세먼지농도는 겨울철과 봄철에 높는데, 초미세먼지의 국외 농도기여율은 절반 수준으로서 겨울철과 봄철의 강한 편서풍 형성 등이 주요 원인으로 나타났다(국립환경과학원, 2017; 통계청, 2019). 초미세먼지의 국내 농도 기여율은 중부권 특히, 충남이 가장 높게 나타났다(관계부처합동, 2019). 따라서 미세먼지의 국외 영향을 저감하기 위해서는 북서풍 영향을 저감할 필요가 있으며, 국내 영향을 저감하기 위해서는 충남 내륙의 미세먼지 발생원을 파악하고 이들이 집중되어 있는 공간에 대한 대책이 필요하다고 판단된다.

2) 충남 현황 종합

PM10과 PM2.5 모두 연평균농도는 감소하는 것과 별개로 대기정체로 인한 고농도 미세먼지의 출현은 오히려 증가하는 실정이다. 월평균 미세먼지농도는 1월에서 5월까지 높은 농도를 보이는데, 겨울철은 난방 등 연료사용 증가 및 계절풍에 의한 중국으로부터의 오염물질 유입이 크고 봄철에는 중국과 몽골내륙으로부터의 황사 등이 원인으로 파악되었다(충청남도 보건환경연구원, 2019). 구체적으로 살펴보면, 충남 미세먼지는 전국 최대 규모의 축사 및 대기오염물질 배출량 전국 1위를 유발시킨 발전소로 인한 자체 발생 미세먼지와 편서풍에 의한 외부유입 미세먼지로 크게 특정될 수 있다. 축사 발생 물질 중 특히 암모니아 및 휘발성 유기화합물 성분은 해수에서 유래된 이온들과 반응하여 2차 미세먼지를 생성할 수 있고, 화력발전소 발생 물질들 역시 다양한 2차 미세먼지를 생성할 수 있다.

충남은 편서풍에 의해 내륙 미세먼지뿐 아니라 외부 및 해안에서 발생하는 미세먼지도 해안으로 빠져나가지 못하고 오히려 내륙으로 유입시키는 결과를 초래한다. 또한, 중국발 미세먼지 유입 역시 매우 큰 영향을 차지한다. 이밖에도 편서풍으로 유입되는 미세먼지로 항만시설과 선박에 의한 배출물질이 있는데, 선박 연료유는 다량의 황산화물(SOx)과 대기오염물질을 배출한다(관계부처합동, 2019). 충남은 선박에 의한 배출량이 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다(충청남도, 2019). 따라서 충남의 미세먼지 저감을 위해서는 우선 국내 전체에 대한 저감방안과 마찬가지로 북서풍(편서풍)에 의한 국외 영향을 저감시킬 필요가 있다. 또한, 국내 농도 기여율이 가장 높은 충남의 지역적 특징 즉, 충남 미세먼지의 주요 발생원인 축사와 발전소 등을 고려한 미세먼지 저감 대책이 필요하다고 판단된다.

제3장 충남 미세먼지취약지역 평가 및 우선순위 선정

1. 충남 미세먼지 발생원 영향권 설정

1) 축사

(1) 설정기준

가축사육 악취에 대한 환경부의 ‘가축사육제한거리권고안’에 따르면, 축사와 주민 간 이격거리는 한우 100m, 돼지·닭·오리 500m로 제시하고 있다. 전국 지자체 조례의 평균값을 살펴보면, 한우가 200m로서 환경부 권고안보다 크게 나타났다. 한편, 악취확산식을 이용하여 과학적인 사육 제한거리를 제안하기 위해 환경부와 농림부가 공동 수행한 연구에 따르면, 한우 70m, 돼지 1,000m, 닭·오리 650m를 최대거리로 제시하고 있다(환경부, 2015). 이번 연구에서는 환경부, 지자체 조례, 환경부-농림부 공동연구결과 중 최대거리를 기준으로 적용하였다. 이는 미세먼지 저감 기능이 필요한 지역을 최대한 도출하기 위함이다. 따라서 한우 200m, 돼지 1,000m, 닭·오리 650m를 충남 미세먼지 관련 축사 영향권으로 설정하였다.

(2) 설정결과

6개 시·군에는 총 6,725개소의 축사가 분포하고(충남 내부자료, 2017년 기준), 그 중 2,489개소(37.0%)가 홍성에 있는 것으로 나타났다.

영향권 면적은 두 가지 방식으로 도출하였다. 모든 축사의 개별영향권이 중복 없이 분포할 경우의 면적(개별영향권단순합산)과 실제 중복 부분을 제외한 면적(중복영향권제외합산)으로 구분하였다. 전자를 통해서는 해당 시·군 전체 면적 대비 영향권 면적을 비교함으로써 얼마나 많은 축사를 해당 시·군이 부담하고 있는지 판단할 수 있다. 후자는 사실상 전자와의 비교를 위해 도출한 것으로서 전자와의 차이를 통해 해당 시·군 축사들의 밀집 정도를 판단하는데 근거로 활용하였다.

우선, 6개 시·군 전체의 ‘개별영향권단순합산’은 365,747.4ha로서 6개 시·군 전체 면적대비 109.3%에 해당하였다. 지역대비면적율은 태안(20.7%)이 가장 낮았고, 서천(46.1%), 서산(52.8%) 순으로 나타났다. 그러나 보령(94.0%), 당진(112.1%), 홍성(374.3%)은 지역 면적과 유사하거나 그 이상으로 나타났는데, 특히 홍성은 지역면적대비 3배가 넘는 것으로 나타나 축사 피해 부담이 매우 높음을 알 수 있었다. 6개 시·군 전체의 ‘중복영향권 제외합산’은 133,873.6ha로 6개 시·군 전체 면적 대비 38.9%에 해당하였다. 역시 태안이 지역면적대비 17.8%로 가장 낮았고, 홍성이 83.2%로 가장 높았다.

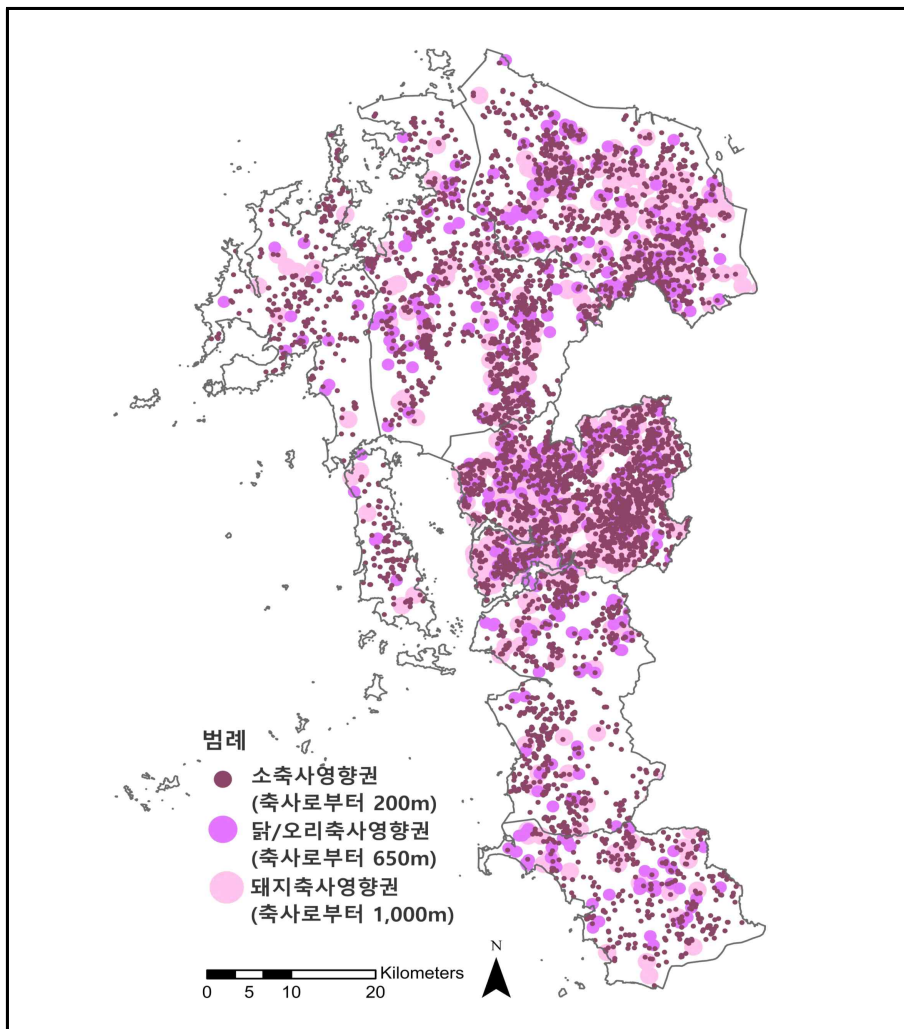


그림 15. 충남 축사 영향권

‘개별영향권단순합산’과 ‘중복영향권제외합산’의 지역대비면적을 차이를 살펴보면, 6개 시·군 전체의 경우 109.3%에서 38.9%로 줄었다. 이는 70.4%의 영향권 면적이 일정 공간에 중복됨을 의미한다. 이렇게 볼 때, 당진은 64.4%, 서산은 22.1%, 태안은 2.8%, 홍성은 291.1%, 보령은 57.7%, 서천은 13.4%의 영향권 면적이 중복되는 것으로 나타나 측사에 의한 미세면지 저감 대책이 홍성에서 가장 시급함을 알 수 있었다.

표 4. 6개 시·군 측사 영향권 분포 현황

지역	구분	개별영향권단순합산					중복영향권 제외합산
		소	닭	오리	돼지	합계	
6개 시·군 (344,481.0ha)	수(개소, %)	5,563(100.0)	377(100.0)	4(100.0)	781(100.0)	8,625(100)	—
	면적(ha)	69,860.8	50,029.9	530.8	245,325.9	36,5747.4	133,873.6
	지역대비면적율(%)	20.9	15.0	0.2	73.3	109.3	38.9
당진 (70,426.0ha)	수(개소, %)	1,054(18.9)	102(27.1)	0(0.0)	133(21.3)	1,322(19.7)	—
	면적(ha)	13,236.2	13,535.9	—	52,143.5	78,915.7	33,592.3
	지역대비면적율(%)	18.8	19.2	0.0	74.0	112.1	47.7
서산 (74,129.0ha)	수(개소, %)	1,033(18.6)	59(15.6)	1(25.0)	58(7.4)	1,151(17.1)	—
	면적(ha)	12,972.5	7,829.6	132.7	18,218.8	39,153.7	22,738.9
	지역대비면적율(%)	17.5	10.6	0.2	24.6	52.8	30.7
태안 (51,579.0ha)	수(개소, %)	356(6.4)	15(4.0)	1(25.0)	13(1.7)	385(5.7)	—
	면적(ha)	4,470.7	1,990.6	132.7	4,083.5	10,677.5	9,175.2
	지역대비면적율(%)	8.7	3.9	0.3	7.9	20.7	17.8
홍성 (44,399.0ha)	수(개소, %)	1,985(35.7)	93(24.7)	1(25.0)	410(52.5)	2,489(37.0)	—
	면적(ha)	24,927.8	12,341.6	132.7	128,788.3	166,190.4	36,949.5
	지역대비면적율(%)	56.1	27.8	0.3	290.1	374.3	83.2
보령 (57,378.0ha)	수(개소, %)	790(14.2)	61(16.2)	1(25.0)	114(14.6)	966(14.4)	—
	면적(ha)	9,920.9	8,095.0	132.7	35,809.4	53,958.1	20,821.9
	지역대비면적율(%)	17.3	14.1	0.2	62.4	94.0	36.3
서천 (36,570.0ha)	수(개소, %)	345(6.2)	47(12.5)	0(0.0)	20(2.6)	412(6.1)	—
	면적(ha)	4,332.5	6,237.2	—	6,282.4	16,852.1	11,940.4
	지역대비면적율(%)	11.8	17.1	0.0	17.2	46.1	32.7

— 시·군 면적은 충청남도 홈페이지(2020) 기준

— *: 중복영향권제외합산의 합계값은 보건시설유형, 의료시설유형, 교육시설유형 영향권 모두에 대해 중복영향권을 제외한 값이므로 각 유형의 중복영향권제외합산을 단순 합산한 값과 다름

2) 발전소

(1) 설정기준

발전소로부터 발생하는 대기오염물질의 영향권에 대한 과학적 근거는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 이번 연구에서는 「발전소주변지역지원에관한법률」 제2조⁵⁾에서 제시하는 발전소 ‘주변지역’ 범위(발전소로부터 반경 5km 이내)를 영향권으로 적용하였다.

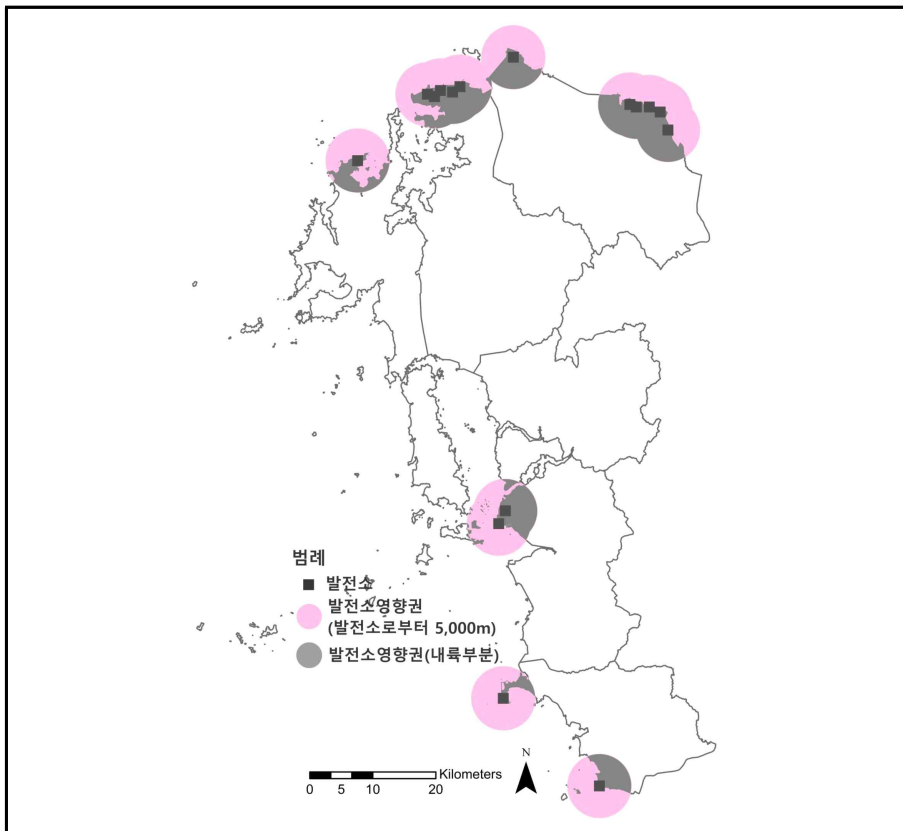


그림 16. 충남 발전소 영향권

(2) 설정결과

5) 「발전소주변지역지원에관한법률」 제2조(정의)에서 "주변지역"이란 「전기사업법」 제2조제4호에 따른 발전사업자(이하 "발전사업자"라 한다)가 가동·건설 중이거나 건설할 예정인 발전소의 발전기가 설치되어 있거나 설치될 지점으로부터 반지름 5킬로미터 이내의 육지 및 섬지역이 속하는 읍·면·동의 지역을 말한다.

충남의 대규모 발전소는 모두 해안과 매우 인접하고 있어 발전소 영향권의 상당한 면적이 해안을 포함하였다. 이번 연구에서는 충남 내륙에 해당하는 발전의 영향권 부분만을 추출하여 면적을 계산하였다.

6개 시·군 전체의 ‘개별영향권단순합산’은 53,535.1ha로서 6개 시·군 전체 면적대비 15.5%에 해당하였다. 지역대비면적율은 홍성(0.0%)과 태안(4.3%)이 가장 낮았고, 당진과 서산이 각각 33.1%와 25.0%로 매우 높았다.

6개 시·군 전체의 ‘중복영향권제외합산’은 25,617.5ha로 6개 시·군 전체 면적 대비 7.4%에 해당하였다. 지역대비면적율 역시 홍성(0.0%)과 태안(4.3%)이 가장 낮았고, 당진(11.1%)과 서천(9.2%)로 높게 나타났다.

표 5. 6개 시·군 발전소 영향권 분포 현황

지역	구분	개별영향권단순합산	중복영향권제외합산
6개 시·군 (344,481.0ha)	수(개소, %)	16(100.0)	—
	면적(ha)	53,535.1	25,617.5
	지역대비면적율(%)	15.5	7.4
당진 (70,426.0ha)	수(개소, %)	6(37.5)	—
	면적(ha)	23,285.9	7,785.1
	지역대비면적율(%)	33.1	11.1
서산 (74,129.0ha)	수(개소, %)	5(31.3)	—
	면적(ha)	18,501.2	5,447.7
	지역대비면적율(%)	25.0	7.3
태안 (51,579.0ha)	수(개소, %)	1(6.3)	—
	면적(ha)	2,224.2	2,224.2
	지역대비면적율(%)	4.3	4.3
홍성 (44,399.0ha)	수(개소, %)	0(0.0)	—
	면적(ha)	0.0	0.0
	지역대비면적율(%)	0.0	0.0
보령 (57,378.0ha)	수(개소, %)	2(12.5)	—
	면적(ha)	6,172.0	3,806.7
	지역대비면적율(%)	10.8	6.6
서천 (36,570.0ha)	수(개소, %)	2(12.5)	—
	면적(ha)	3,351.8	3,351.8
	지역대비면적율(%)	9.2	9.2

— 시·군 면적은 충청남도 홈페이지(2020) 기준

‘개별영향권단순합산’과 ‘중복영향권제외합산’의 지역대비면적을 차이를 살펴보면, 6개 시·군 전체의 경우 15.5%에서 7.4%로 줄었다. 이는 축사와 마찬가지로 발전소 영향권의 8.1% 면적은 일정 공간에 중복됨을 의미한다. 이렇게 볼 때, 당진은 22.0%, 서산은 17.7%, 보령은 4.2%의 영향권 면적이 중복되는 것으로 나타나 발전소에 의한 미세먼지 저감 대책은 당진과 서산에서 비교적 시급하다고 판단할 수 있겠다.

3) 해염입자

(1) 설정기준

일반적으로 직접 파도의 비말(파도가 칠 때 생기는 에어로졸 형태의 물보라)이 닿는 곳을 ‘암초 인접 지역’, 해안에서 200~500m 이내를 ‘중염해지역’, 해안에서 2km 이내를 ‘염해지역’으로 구별하며, 실제로 날아오는 염분의 양은 해안선의 모양과 풍향, 해발 높이, 해안림의 유무 등에 영향을 받을 수 있다(전남대학교, 2009).

이에 근거하여 이번 연구에서는 해안림이 존재하지 않는 경우 해염입자가 날아갈 수 있는 2km 이내를 충남 미세먼지 관련 해안림의 영향권으로 적용하였다.

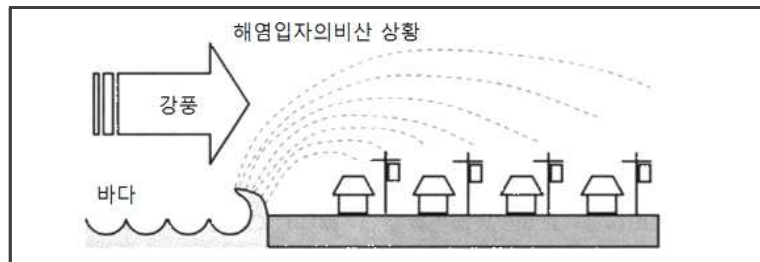


그림 17. 해염입자 비산거리를 근거한 해염입자영향권

출처 : <https://m.blog.naver.com/jsrhim516/221015871802>

(2) 설정결과

충남 해안선(국립해양조사원, 2014)으로부터 내륙방향으로 2km까지를 해염입자 영향권으로 설정한 결과, 6개 시·군의 영향권 면적은 82,611ha로서 6개 시·군 전체 면적대비 13.6%에 해당하였다. 해염입자 영향권은 축사나 발전소의 영향권과 달리 중복되는 면적이 없다. 지역별로는 홍성이 지역면적대비 5.3%로서 가장 작았고, 태안이 67.5%로 가장 높았다. 이는 홍성의 해안선이 가장 짧고 태안의 해안선이 가장 길기 때문이다.

태안과 홍성을 제외한 4개 시·군의 해염입자 영향권 면적율은 대체로 13%에서 25% 수준으로 유사하게 나타났다. 이를 통해 태안의 경우는 내부 발생 미세먼지보다는 서해안으로부터 유입되는 미세먼지 대책 마련이 비교적 시급하다고 판단된다.

표 6. 6개 시·군 해염입자 영향권 분포 현황

지역		해염입자 영향권	
지역명	면적(ha)	면적(ha)	지역대비면적율(%)
6개 시·군	344,481.0	80,148.9	23.3
당진	70,426.0	9,489.1	13.5
서산	74,129.0	12,951.7	17.5
태안	51,579.0	32,821.0	63.6
홍성	44,399.0	2,586.7	5.8
보령	57,378.0	14,372.9	25.0
서천	36,570.0	7,927.5	21.7

- 시·군 면적은 충청남도 홈페이지(2020) 기준

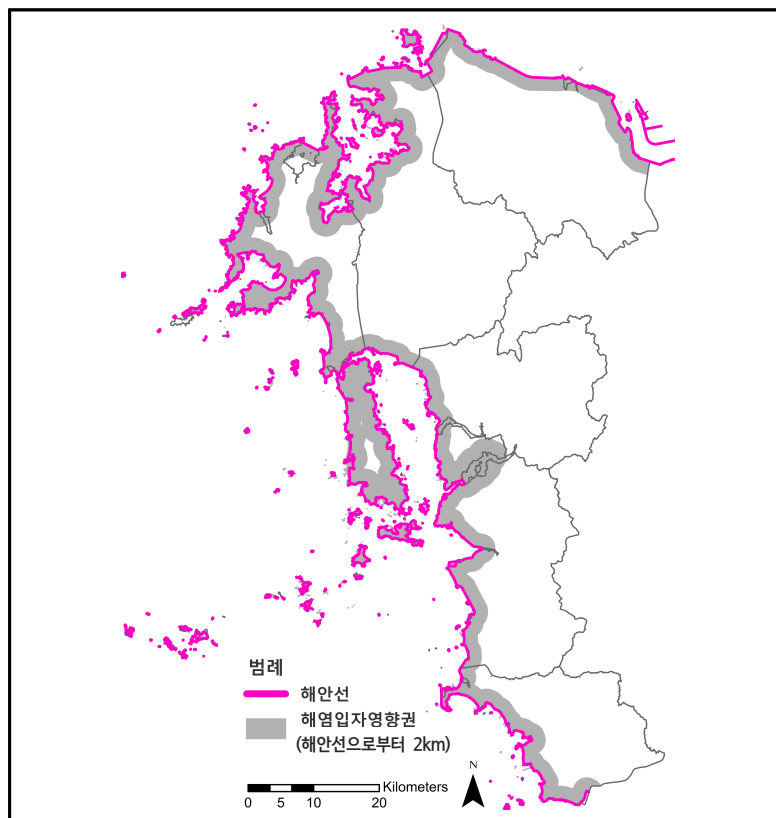


그림 18. 충남 해염입자 영향권

2. 미세먼지취약시설 영향권 설정

1) 미세먼지취약시설유형 선별

(1) 선별기준

어린이, 노인, 장애인은 건강한 성인에 비해 미세먼지에 취약하므로 이들이 집중적으로 이용하는 시설 주변에는 미세먼지 저감 시설이 특히 필요하다(정대영 외, 2019). 따라서 어린이, 노인, 장애인, 심신미약자 등이 주로 이용하는 시설을 취약계층 집중 활동시설(이하 ‘취약시설’)로 정의하고 이에 해당하는 시설을 선별하였다.

(2) 선별결과

선별기준에 따라 미취학아동시설, 초등학교, 각종 병원, 다양한 복지시설 등이 선별되었으며, 크게 세 유형으로 분류되었다.

첫 번째, 복지시설유형으로서 아동·노인·장애인 등을 위한 복지시설, 영유아보육시설, 어린이집 등이 선별되었다. 두 번째는 의원, 보건소, 병원 등을 포함한 의료시설유형, 세 번째는 유치원, 초등학교를 포함한 교육시설유형으로 분류되었다. 한편, 청소년 집중이용시설이라 할 수 있는 중·고등학교, 청소년수련원, 학원 등은 제외하였다.

세 유형에 해당하는 시설들을 도로명주소 건물자료(행정안전부, 2020년 2월 기준)에서 최종적으로 추출한 결과, 6개 시·군 취약시설은 총 1,976개소로서 복지시설유형 706개소, 의료시설유형 425개소, 교육시설유형 845개소가 추출되었다.

2) 취약계층 집중 활동지역(취약시설 영향권) 설정

(1) 설정기준

취약시설 내 활동시간을 포함하여 시설까지 접근하는 동안에도 미세먼지 노출 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 취약계층 집중 활동지역 범위(이하 ‘취약시설 영향권’)는 해당시설로부터 도보권⁶⁾ 1km 이내로 설정하였다.

6) 국토교통부지침은 어린이공원 250m, 생활권근린공원 500m, 도보권근린공원 1km 이내에 거주하는 시민을 위해 공원을 설치하도록 규정하고 있다. 취약계층 시설물 역시 공원과 같이 공공을 위한 장소이므로 이 지침에 준하여 도보권인 1km를 취약시설영향권으로 설정하였다.

(2) 설정결과

미세먼지 발생원 영향권과 같이 취약시설 영향권 면적도 두 가지 방식으로 도출하였다. 세 가지 유형의 취약시설 영향권이 중복 없이 분포할 경우의 면적(개별영향권단순합산)과 실제 중복 부분을 제외한 면적(중복영향권제외합산)으로 구분하였다. 이 역시 전자를 통해서 해당 시·군 전체 면적 대비 영향권 면적을 비교함으로써 얼마나 많은 취약시설이 해당 시·군에 분포하는지 판단할 수 있고, 두 면적 간 비교를 통해 해당 시·군 취약시설들의 밀집 정도를 판단할 수 있다.

표 7. 6개 시·군 미세먼지취약시설 영향권 분포 현황

지역	구분	개별영향권단순합산				중복영향권 제외합산
		복지시설	의료시설	교육시설	합계	
6개 시·군 (344,481.0ha)	수(개소, %)	706(100)	425(100)	845(100)	1,976(100)	—
	면적(ha)	19,124.0	20,835.1	25,246.1	62,205.2	41,901.8
	지역대비면적율(%)	5.6	6.0	7.3	18.9	12.2
당진 (70,426.0ha)	수(개소, %)	136(19.3)	61(14.4)	141(16.7)	338	—
	면적(ha)	5,177.7	4,965.4	3,424.9	13,568.0	9,013.4
	지역대비면적율(%)	7.4	7.1	4.9	19.3	12.8
서산 (74,129.0ha)	수(개소, %)	183(25.9)	81(19.1)	194(22.9)	458	—
	면적(ha)	6,000.3	6,125.4	6,625.4	18,751.1	10,039.8
	지역대비면적율(%)	8.1	8.3	8.9	25.3	13.5
태안 (51,579.0ha)	수(개소, %)	69(9.8)	47(11.1)	100(11.8)	216	—
	면적(ha)	1,325.6	2,042.4	2,691.6	6,059.6	4,433.7
	지역대비면적율(%)	2.6	4.0	5.2	11.7	8.6
홍성 (44,399.0ha)	수(개소, %)	75(10.6)	86(20.2)	183(21.7)	344	—
	면적(ha)	2,448.7	2,817.3	3,453.5	8,719.5	5,706.8
	지역대비면적율(%)	5.5	6.3	7.8	19.6	12.9
보령 (57,378.0ha)	수(개소, %)	120(17.0)	78(18.3)	103(12.2)	301	—
	면적(ha)	2,409.0	2,421.5	4,271.7	9,102.2	6,968.3
	지역대비면적율(%)	4.2	4.2	7.4	15.9	12.1
서천 (36,570.0ha)	수(개소, %)	123(17.4)	72(16.9)	124(14.7)	319	—
	면적(ha)	1,762.6	2,463.1	4,779.0	9,004.7	5,739.8
	지역대비면적율(%)	4.8	6.7	13.1	24.6	15.7

— 시·군 면적은 충청남도 홈페이지(2020) 기준

— *: 중복영향권제외합산의 합계값은 보건시설유형, 의료시설유형, 교육시설유형 영향권 모두에 대해 중복영향권을 제외한 값이므로 각 유형의 중복영향권제외합산을 단순 합산한 값과 다름

6개 시·군 전체의 취약시설 ‘개별영향권단순합산’은 63,825.0ha로서 6개 시·군 전체 면적대비 18.5%에 해당하였다. 지역대비면적율은 태안이 13.9%로 유독 낮게 나타났고, 이외 5개 시·군은 18.5%에서 21.3% 사이로 유사하게 나타났다.

6개 시·군 전체의 ‘중복영향권제외합산’은 43,825.0ha로 6개 시·군 전체 면적 대비 12.7%에 해당하였다. 지역대비면적율은 ‘개별영향권단순합산’ 결과와 달리 당진이 6.9%로 가장 낮게 나왔고, 서천이 16.3%로 가장 높았다.

‘개별영향권단순합산’과 ‘중복영향권제외합산’의 지역대비면적율 차이를 살펴보면, 6개 시·군 전체의 경우 18.5%에서 12.7%로 줄었다. 이는 5.8%의 영향권 면적이 일정 공간에 중복됨을 의미한다. 이렇게 볼 때, 당진은 12.3%, 서산은 5.9%, 태안은 4.8%, 홍성은 7.5%, 보령은 5.7%, 서천은 5.0%의 영향권 면적이 중복되는 것으로 나타나 미세먼지취약 시설의 밀집도는 당진이 가장 높은 것으로 판단되었다.

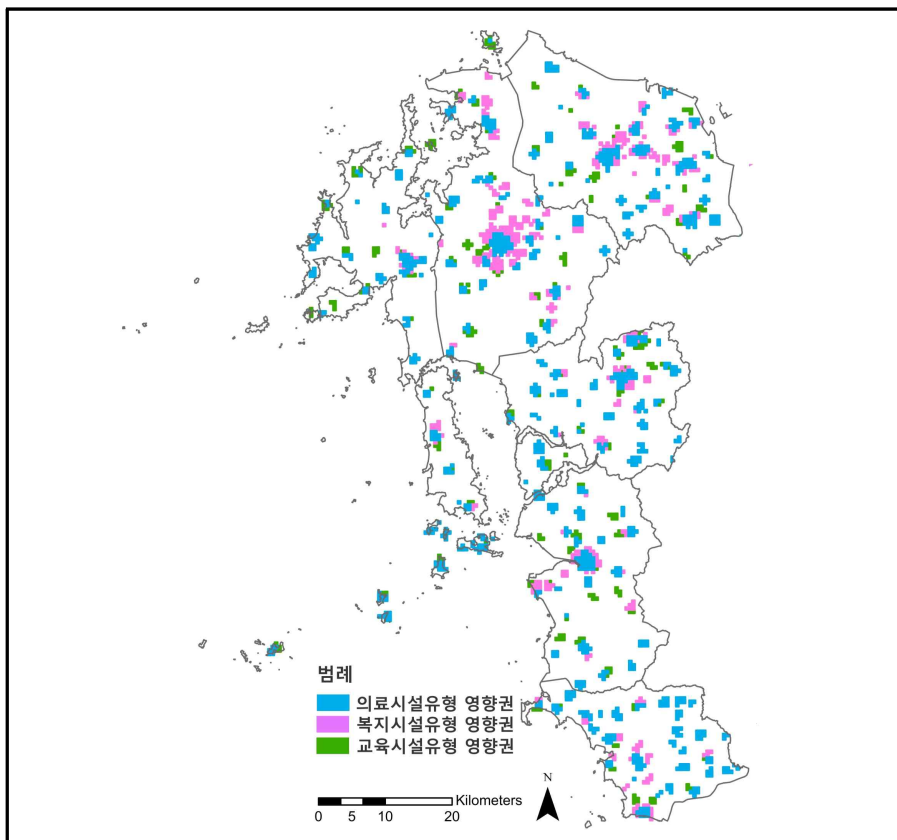


그림 19. 충남 미세먼지취약시설 영향권

3. 충남 미세먼지취약지역 평가 및 우선순위 선정

1) 평가기준 및 방법

충남 미세먼지취약지역은 크게 ‘충남 미세먼지 노출정도’와 ‘충남 미세먼지 취약정도’ 두 가지를 고려하여 평가하였다.

첫 번째 기준인 ‘충남 미세먼지 노출정도’를 평가하기 위해 충남 미세먼지 발생원인 ‘축사’, ‘발전소’, ‘해염입자’ 지표의 영향권 내부에 포함되는 경우의 수에 따라 점수를 중복부여하는 방식을 적용하였다. 즉, 축사와 발전소가 많이 분포할수록, 해안선이 가까울수록 미세먼지 노출 정도가 높아지는 것으로 평가하였다.

두 번째 기준인 ‘충남 미세먼지 취약정도’ 평가 역시 ‘충남 미세먼지 노출정도’ 평가방법과 동일하게 세 유형(의료시설, 복지시설, 교육시설) 영향권의 중복정도에 따라 미세먼지 저감이 절실한 것으로 평가하였다.

마지막으로, 두 기준에 대한 평가결과 중 높은 등급을 따르는 방법으로 최종합산평가 하였다. 이는 노출정도와 취약정도 중 높게 나온 기준을 적용하여 미세먼지를 저감하는 것이 시급하다고 판단하였기 때문이다. 그 결과에 따라 충남 미세먼지 저감시설이 가장 시급한 1순위부터 3순위까지의 우선순위를 최종 부여하였다.

표 8. 충남 미세먼지취약지역 우선순위 선정을 위한 평가기준 및 방법

평가기준	평가지표	점수	합산평가
충남형 미세먼지 노출정도	축사 영향권	영향권 내부	2점
		영향권 외부	0점
	발전소 영향권	영향권 내부	2점
		영향권 외부	0점
	해염입자 영향권	영향권 내부	2점
		영향권 외부	0점
충남형 미세먼지 취약정도	복지시설 영향권	영향권 내부	2점
		영향권 외부	0점
	의료시설 영향권	영향권 내부	2점
		영향권 외부	0점
	교육시설 영향권	영향권 내부	2점
		영향권 외부	0점

6점 : I 등급
4점 : II 등급
2점 : III 등급
0점 : IV 등급

	I	II	III	IV
I	I	I	I	I
II	I	II	II	II
III	I	II	III	III
IV	I	II	III	IV

2) 기준별 평가결과

(1) 충남 미세먼지 노출정도

측사, 발전소, 해염입자 영향권의 중복이 많을수록 미세먼지에 대한 노출정도가 심각하다고 평가한 결과, 6개 시·군 전체면적의 57.7%가 한 가지 이상의 영향권에 속하는 것으로 나타났다. 이런 측면에서 태안이 71.2%로 가장 높게 나타났다.

6개 시·군 전체면적의 0.7%인 2,441ha는 세 가지 영향권에 모두 속하는 I등급으로 평가되었다. I등급 면적이 가장 큰 곳은 보령으로 783.4ha이고, 지역대비면적율이 가장 높은 곳은 서천으로 1.9%이었으며, 홍성은 발전소가 없어서 I등급이 없었다.

6개 시·군 전체면적의 7.1%는 두 가지 영향권이 중복되는 II등급으로 나타났고, 태안과 보령이 13% 이상으로 높게 나타났다.

한 가지의 영향권에 포함되어 2점으로 평가된 III등급 지역은 6개 시·군 전체면적의 49.9%이고, 대부분 측사 영향권이라 할 수 있다.

표 9. 충남 미세먼지 노출정도 평가결과

지역	구분	미세먼지 노출정도			
		I 등급(6점)	II 등급(4점)	III 등급(2점)	합계
6개 시·군 (344,481.0ha)	면적(ha)	2,441.1	24,506.7	171,861.8	198,809.7
	지역대비면적율(%)	0.7	7.1	49.9	57.7
당진 (70,426.0ha)	면적(ha)	597.9	1,940.6	42,481.9	45,020.4
	지역대비면적율(%)	0.8	2.8	60.3	63.9
서산 (74,129.0ha)	면적(ha)	266.7	2,280.1	31,530.9	34,077.8
	지역대비면적율(%)	0.4	3.1	42.5	46.0
태안 (51,579.0ha)	면적(ha)	96.0	6,838.6	29,779.9	36,714.5
	지역대비면적율(%)	0.2	13.3	57.7	71.2
홍성 (44,399.0ha)	면적(ha)	—	1,627.1	35,206.7	36,833.7
	지역대비면적율(%)	—	3.7	79.3	83.0
보령 (57,378.0ha)	면적(ha)	783.4	7,773.9	20,132.2	28,689.5
	지역대비면적율(%)	1.4	13.5	35.1	50.0
서천 (36,570.0ha)	면적(ha)	697.1	4,046.5	12,730.2	17,473.7
	지역대비면적율(%)	1.9	11.1	34.8	47.8

— 시·군 면적은 충청남도 홈페이지(2020) 기준

— 합산점수 '0'점(IV등급) 없음

(2) 충남 미세먼지 취약정도

복지시설유형, 의료시설유형, 교육시설유형 영향권의 중복이 많을수록 미세먼지에 대한 취약정도가 심각하다고 평가한 결과, 노출정도 결과와 마찬가지로 한 가지 영향권에 해당하는 III등급 지역이 가장 많은 것으로 나타났다. 6개 시·군 전체면적의 12.2%가 한 유형 이상의 영향권에 속하는 것으로 나타났고, 태안(8.6%)과 서천(15.7%) 이 외 4개 시·군은 12.1%에서 13.5% 사이로 유사하게 나타났다.

6개 시·군 전체면적의 1.4%인 4,911.8ha는 세 유형 영향권에 모두 속하는 I 등급으로 평가되었다. I 등급 면적이 가장 큰 곳은 당진으로 1,325.9ha이고, 지역대비면적율이 가장 높은 곳은 홍성으로 2.3%이었다.

6개 시·군 전체면적의 2.9%는 두 유형 영향권이 중복되는 II등급으로 나타났고, 6개 시·군 모두 지역대비면적율이 2.6%에서 3.5% 사이로 유사하게 나타났다.

마지막으로 6개 시·군 전체면적의 7.8%가 한 가지의 영향권에 포함되는 III등급 지역으로 나타났으며, 서천이 11.6%로 지역대비면적율이 가장 높았다.

표 10. 충남 미세먼지 취약정도 평가결과

지역	구분	미세먼지 취약정도			
		I 등급(6점)	II 등급(4점)	III 등급(2점)	합계
6개 시·군 (344,481.0ha)	면적(ha)	4,911.8	9,991.6	26,998.4	41,901.8
	지역대비면적율(%)	1.4	2.9	7.8	12.2
당진 (70,426.0ha)	면적(ha)	1,325.9	1,902.7	5,784.8	9,013.4
	지역대비면적율(%)	1.9	2.7	8.2	12.8
서산 (74,129.0ha)	면적(ha)	1,250.8	1,951.2	6,837.7	10,039.8
	지역대비면적율(%)	1.7	2.6	9.2	13.5
태안 (51,579.0ha)	면적(ha)	450.1	1,542.2	2,441.4	4,433.7
	지역대비면적율(%)	0.9	3.0	4.7	8.6
홍성 (44,399.0ha)	면적(ha)	1,009.4	1,432.5	3,264.8	5,706.8
	지역대비면적율(%)	2.3	3.2	7.4	12.9
보령 (57,378.0ha)	면적(ha)	525.4	2,028.2	4,414.8	6,968.3
	지역대비면적율(%)	0.92	3.5	7.7	12.1
서천 (36,570.0ha)	면적(ha)	350.2	1,134.6	4,255.0	5,739.8
	지역대비면적율(%)	1.0	3.1	11.6	15.7

- 시·군 면적은 충청남도 홈페이지(2020) 기준

- 합산점수 '0'점(IV등급) 없음

3) 미세먼지취약지역 우선순위 선정

두 기준의 평가결과를 최종 합산한 결과, 6개 시·군 전체 면적의 62.2%에 해당하는 214,260.1ha가 충남 미세먼지에 일정 부분 노출되어 있거나 취약한 곳으로 나타났다. 특히, 태안과 홍성은 각각 73.4%와 85.8%로 매우 넓은 면적이 포함되었다. 이는 태안의 경우 해염입자, 홍성의 경우 축사로 인한 노출면적이 높기 때문으로 판단된다.

전체 62.2%에서 2.13%만이 미세먼지 노출정도와 취약정도 합산결과 I 등급(미세먼지취약지역 I 등급)으로 나타났고, II등급(2순위)이 9.7%, III등급(3순위)이 50.4%로 나타났다. I 등급 지역은 태안(1.1%)을 제외한 5개 시·군에서 2.0% 이상 3.0% 이하의 지역대비면적율로 유사하게 나타났다. I 등급의 면적은 당진이 1,923.8ha로 가장 크게 나타났다. II등급은 태안과 보령, 서천이 13% 이상으로 높게 나타났고, 당진, 서산, 홍성이 5.0%에서 7.0% 수준으로 낮게 나타났다.

I 등급의 지역별 분포를 살펴보면, 당진에 25개소, 서산에 17개소, 보령에 13개소, 태안에 12개소, 서천에 11개소, 홍성에 6개소 분포하는 것으로 나타났다.

표 11. 충남 미세먼지취약지역 등급 평가결과

지역	구분	미세먼지취약지역 최종등급			
		I 등급	II 등급	III 등급	합계
6개 시·군 (344,481.0ha)	면적(ha)	7,347.0	33,504.1	173,409.0	214,260.1
	지역대비면적율(%)	2.1	9.7	50.4	62.2
당진 (70,426.0ha)	면적(ha)	1,923.8	3,815.6	41,962.8	47,702.2
	지역대비면적율(%)	2.7	5.4	59.6	67.7
서산 (74,129.0ha)	면적(ha)	1,517.6	4,178.8	32,769.5	38,465.8
	지역대비면적율(%)	2.0	5.6	44.2	51.9
태안 (51,579.0ha)	면적(ha)	546.1	8,111.2	29,178.0	37,835.3
	지역대비면적율(%)	1.1	15.7	56.6	73.4
홍성 (44,399.0ha)	면적(ha)	1,009.4	3,034.6	34,048.6	38,092.6
	지역대비면적율(%)	2.3	6.8	76.7	85.8
보령 (57,378.0ha)	면적(ha)	1,302.8	9,606.5	21,304.6	32,213.9
	지역대비면적율(%)	2.3	16.7	37.1	56.1
서천 (36,570.0ha)	면적(ha)	1,047.3	4,757.4	14,145.5	19,950.2
	지역대비면적율(%)	2.9	13.0	38.7	54.6

－ 시·군 면적은 충청남도 홈페이지(2020) 기준

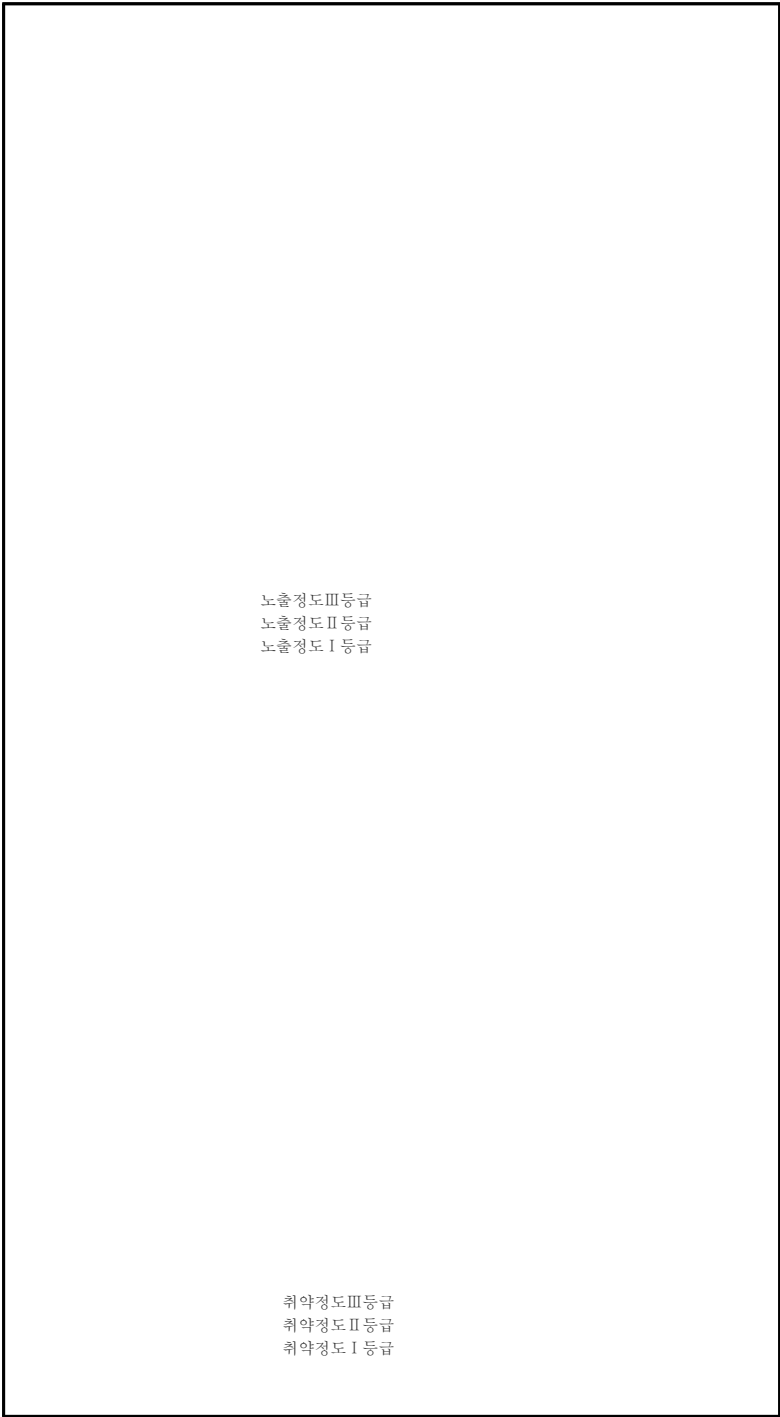


그림 20. 충남 미세먼지 노출정도(위)와 취약정도(아래)

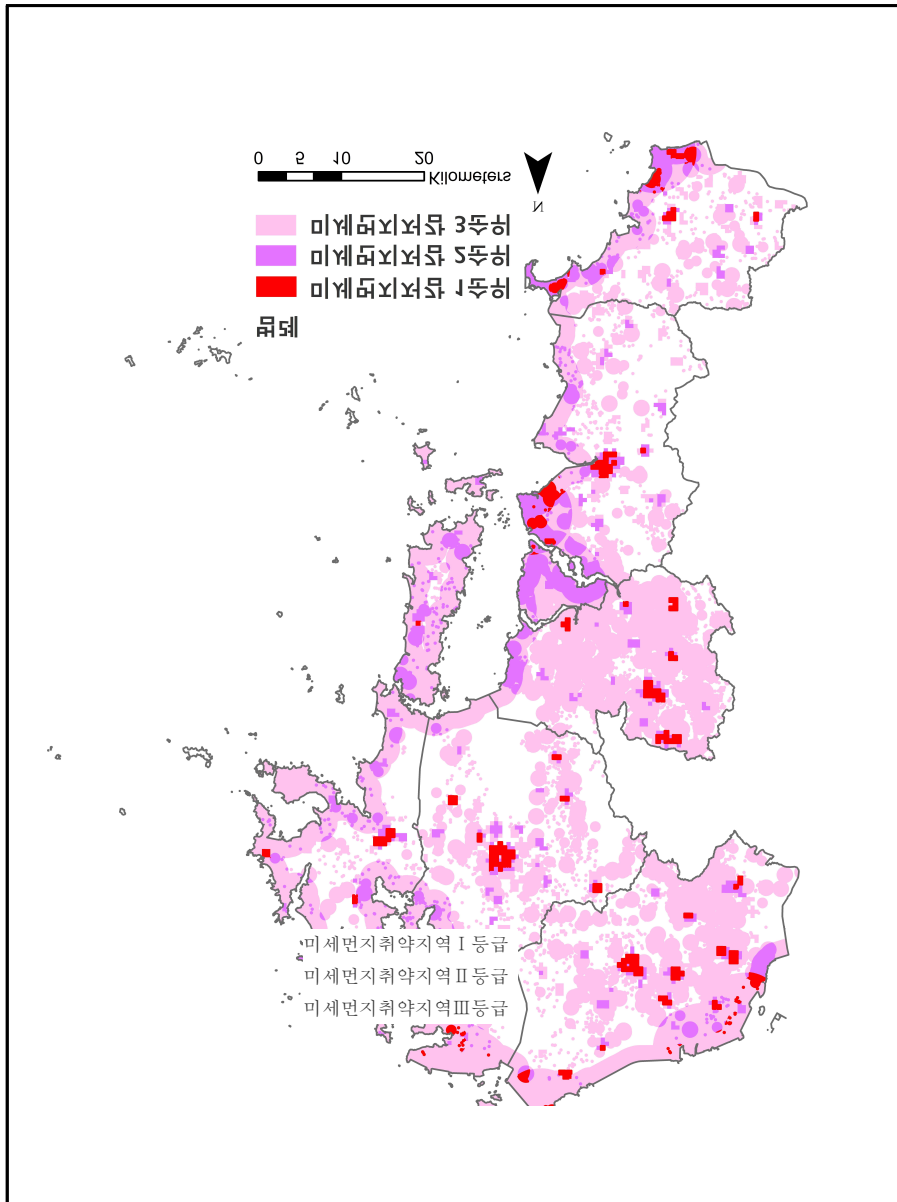


그림 21. 충남 미세먼지취약지역 우선순위

제4장 충남 미세먼지 저감숲 체계 마련

1. 충남 미세먼지 저감숲 체계의 구성요소 및 정의

1) 해안림

(1) 미세먼지 1차 차단벽 기능의 구성요소

충남에는 오래전부터 서해안을 따라 편서풍의 영향을 감소시키는 해안림이 형성되어 있다. 이는 편서풍에 실려 오는 다양한 입자들에 대해 1차 차단막 역할을 하는 숲으로서 예로부터 충남에서의 주거활동과 농사활동에 필수적인 숲이라 할 수 있다. 그러나 현재 무분별한 개발(특히, 해안가 펜션 등)로 충남 해안림은 소규모로 파편화되고 다양한 토지이용으로 많은 부분 훼손되는 등 외부유입 입자에 대한 1차 차단 역할이 점차 약해지고 있다고 판단된다. 특히, 중국발미세먼지, 항만시설과 선박 등으로부터 발생하여 유입되는 1차 미세먼지 및 해염입자와 합성하여 생성된 2차 미세먼지의 유입은 그 자체도 매우 유해하지만 이들은 충남 농촌지역에서 발생하는 미세먼지와 또다시 합성하여 또 다른 유해 미세먼지를 발생시킨다. 따라서 충남 해안림을 ‘충남 미세먼지 저감숲’ 체계의 1차 구성요소로 정의하고, ‘미세먼지 1차 차단벽’으로서의 해안림 기능성을 회복할 필요가 있겠다.

(2) 해안선 1,000m 이내로 공간적 한계 설정

내륙으로 유입되는 미세먼지에 대한 1차 차단벽인 충남 해안림의 대상 범위는 이번 연구의 해안림 조사대상 범위와 동일하게 적용하였다. 따라서 「연안관리법」 제2조(정의)에서 제시하는 연안해역의 육지쪽 경계선으로부터 500m이내, 항만, 국가어항, 산업단지의 경우는 1,000m 이내의 육지 지역 중 연안에 산업단지가 많이 분포하는 충남의 특이성을 고려하여 충남 해안선(국립해양조사원, 2014)으로부터 1,000m 이내에 분포하는 식생군락으로 한정하였다. 또한, 이 중에서도 상록수림(침엽수림, 상록활엽수림, 침엽수가 70%이상인 혼효림) 및 이와 연결되어있는 군락으로 한정하였다.

2) 마을숲

(1) 미세먼지 2차 차단벽 기능의 구성요소

「도시숲등의조성및관리에관한법률」 제2조(정의)에 마을숲은 ‘생활숲’에 포함되며, ‘산림 문화의 보전과 지역주민의 생활환경 개선 등을 위하여 마을 주변에 조성·관리하는 산림 및 수목’으로 정의하고 있다. 산림청은 ‘우리 조상들이 마을을 형성할 때, 마을을 보호하거나 홍수 피해를 막는 등 마을의 지형적 결함을 보완하기 위해 주민들이 공동체를 구성하여 인공적으로 조성하고 관리해 온’ 숲으로 마을숲을 정의하고 있다.

이번 연구에서도 ‘마을숲’은 일종의 ‘생활숲’으로서 지역주민의 생활환경개선이 중요한 목적이라 할 수 있다. 다만, 미세먼지저감 측면에서 볼 때, 해안림과 같이 떠형으로 조성되어 바람에 의한 미세먼지 유입을 최전선에서 차단하는 특정 기능보다는 생활환경에서 무작위로 발생하는 미세먼지를 차단하거나 흡착하는 기능이 크다고 할 수 있다. 또한, 마을마다 분산 조성되어 있어 미세먼지를 내륙에서 중복적으로 차단하는 기능을 수행한다고 할 수 있다. 따라서 충남에서는 해안림이 미세먼지 1차 차단벽 역할을 하고 그 후방에서 마을숲들이 미세먼지를 2차적으로 차단하거나 저감시킬 수 있다고 생각한다.

도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률

제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. "도시숲"이란 도시에서 국민의 보건·휴양 증진 및 정서 함양과 체험활동 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목을 말하며, 「자연공원법」 제2조에 따른 공원구역은 제외한다.
2. "생활숲"이란 마을숲 등 생활권 및 학교와 그 주변지역에서 국민들에게 쾌적한 생활환경과 아름다운 경관의 제공 및 자연학습교육 등을 위하여 조성·관리하는 다음 각 목의 산림 및 수목을 말한다.
 - 가. 마을숲 : 산림문화의 보전과 지역주민의 생활환경 개선 등을 위하여 마을 주변에 조성·관리하는 산림 및 수목
 - 나. 경관숲 : 우수한 산림의 경관자원 보존과 자연학습교육 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목
 - 다. 학교숲 : 「초·중등교육법」 제2조에 따른 학교와 그 주변지역에서 학습환경 개선과 자연학습교육 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목
3. "가로수"란 「도로법」 제10조에 따른 도로(고속국도를 제외한다) 등 대통령령으로 정하는 도로의 도로구역 안 또는 그 주변지역에 조성·관리하는 수목을 말한다.

한편, 마을숲은 기본적으로 비사방지 기능이 있는데(김학범과 장동수, 1994), 충남의 경우 해안 유입 물질과 축사 및 발전소 발생 물질이 반응하여 2차 미세먼지 발생 위험이 높으므로 해변의 모래를 막아주는 기능 뿐 아니라 내륙에서의 비사방지, 특히 축사가 밀집되어 있는 마을단위에서의 미세먼지저감 기능을 확대할 필요가 있겠다.

(2) 읍·면 단위 도시지역으로 공간적 한계 설정

마을숲의 전통적 의미로는 ‘마을 사람들의 삶과 관련하여 마을 주변에 조성되어 온 숲(산림청, 2020)’으로 정의되기도 하고, ‘마을의 역사, 문화, 신앙 등을 바탕으로 마을 사람들의 생활과 직접적인 관련이 있는 숲으로서 마을 사람들에 의해 인위적으로 조성되어 보호 또는 유지되어온 숲’을 의미하기도 한다(김학범과 장동수, 1994). 이러한 측면을 고려해 볼 때, 마을숲은 공간적 의미도 있다고 판단된다. 즉, 마을숲은 생활숲이긴 하지만 도시의 마을보다는 촌락지역의 마을에 더 적합한 것으로 보인다. 따라서 이번 연구에서는 ‘읍·면 단위의 도시지역(국토교통부, 2020)’으로 공간을 한정함으로써 도시숲과 마을숲의 입지적 차별성을 두고자 한다. 결과적으로 이번 연구의 마을숲은 「도시숲등의조성및관리에관한법률」에서의 마을숲 정의에 기존 마을숲 개념의 입지 특성을 반영하여 공간적 한계를 설정한 것이라 할 수 있다. 따라서 이번 연구를 통해 선정된 적정 입지가 향후 마을숲 조성사업 위치 선정에 더욱 타당성을 가질 것으로 기대한다.

3) 도시숲(미세먼지차단숲)

(1) 미세먼지 3차 차단벽 기능의 구성요소

도시숲은 「도시숲등의조성및관리에관한법률」 제2조(정의)에 “도시에서 국민의 보건·휴양 증진 및 정서 함양과 체험활동 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목을 말하며, 「자연공원법」 제2조에 따른 공원구역은 제외한다”로 정의되어 있다. 산림청은 “국민의 보건휴양·정서함양 및 체험활동 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목으로 공원, 학교숲, 산림공원, 가로수(숲) 등”으로 도시숲을 정의하고 있다. 산림청은 도시숲을 좀 더 넓은 의미로 보는데, 자연적인 도시숲(도시내산림, 수목원 등 보전 및 관리중심), 인공적인 도시숲(명상숲, 비오뜰, 가로숲, 특수공간숲 등), 목적형 도시숲(도시바람길숲, 미세먼지차단숲)으로 구분하고 있다. 최근 대기문제가 심각해지는 측면에서 볼 때, 도시숲은 특히 미세먼지 피해에

노출된 인구가 많고 상대적으로 녹지가 부족한 도시지역에서 미세먼지로부터 국민의 건강을 지키는 기능이 매우 중요하게 포함되었다고 할 수 있다.

한편, 충남은 타 지역의 미세먼지 발생과 달리 서해로부터 유입, 해안가 발전소로부터의 유입, 농촌지역으로부터의 확산 등 다양한 발생원이 있으므로 도시지역에서의 단순 차단보다는 충남 미세먼지 발생원을 고려한 순차적인 차단이 필요하다. 이에 서해안의 해안림(1차 차단벽), 농촌지역의 마을숲(2차 차단벽), 그리고 도시지역의 도시숲이 3차 차단벽으로서 충남 미세먼지 저감숲 체계에 매우 중요한 구성요소라 할 수 있다.

(2) 동 단위 도시지역으로 공간적 한계 설정

법률에서 제시하듯이 도시숲은 도시라는 공간적 한계를 두고 있으며, 조성된 도시숲 역시 농촌지역보다는 도시지역에 집중되어 있음을 알 수 있다. 전국에 설치된 도시숲 중 미세먼지 차단을 목적으로 하는 경우 그 현상이 뚜렷하게 나타났다.

따라서 이번 연구에서는 현재 도시숲(미세먼지차단숲) 조성 위치 특성을 반영하면서 읍·면 단위의 마을숲과 공간적으로 구분하여 동 단위 도시지역에 조성하는 숲으로 도시숲의 공간적 한계를 설정하였다.

표 12. 전국 도시숲(미세먼지차단숲) 조성 사례 현황 사례 일부

소재지	시기	목적	조성위치
강진군	2020	미세먼지저감	성전산단 주변, 쓰레기매립장 주변
광주시	2020	미세먼지저감	평동산단 주변
광양시	2020	미세먼지저감	초남공단과 신금산단 주변
당진시	2020	미세먼지저감	현대제철 주변
서산시	2020	미세먼지저감	대죽일반산단과 오토밸리산단 주변
성남시	2020	미세먼지저감 및 휴식공간제공	광역상수도 매설부지
안성시	2020	미세먼지저감	생활권역
양평군	2020	자연휴식처제공	주거지와 복지시설 일대
울산시	2020	미세먼지저감 및 도시경관향상	산업단지와 주거지 사이(오토밸리로)
익산시	2021(예정)	미세먼지저감 및 폭염완화	호남고속도로 주변, 국가식품클러스터 외곽
인천시	2020	미세먼지저감	남동산단·제3경인고속도로 주변
청주시	2020, 2021(예정)	미세먼지저감	오창산단 주변, 충북선 주변
춘천시	2021(예정)	미세먼지저감	옛 캠프페이지 일대
파주시	2020	미세먼지저감 및 폭염완화	문발산단과 교하택지구생활권 사이
포항시	2018	미세먼지저감 및 폭염완화	부산-포항 폐철도 중 도심구간 철도유희지

표 13. 충남 미세먼지 저감숲 체계의 구성요소 및 정의

구성요소	정의		
해안림*	기 존	산 립 청	해안에 발달하는 모래, 바다, 염기 위에 자라는 목본식물의 군락
	재정립	충 남	미세먼지 1차 차단벽 : 해안선(국립해양조사원, 2014)으로부터 1,000m이 내(「연안관리법」 제2조(정의))에 분포하는 식생군락 중 상록수림(침엽수림, 상록활엽수림, 침엽수가 70%이상인 혼효림) 및 이와 연결되어있는 군락
마을숲	기 존	법 률	산림문화의 보전과 지역주민의 생활환경 개선 등을 위하여 마을 주변에 조성·관리하는 산림 및 수목(「도시숲등의조성및관리에관한법률」 제2조)
		산 립 청	전통적으로 마을 사람들의 삶과 관련하여 마을을 보호하거나 홍수 피해를 막는 등 마을의 지형적 결함을 보완하기 위해 마을 주변에 인공적으로 조성하고 관리해 온 숲
		문 헌	마을의 역사, 문화, 신앙 등을 바탕으로 마을 사람들의 생활과 직접적인 관련이 있는 숲으로서 마을 사람들에 의해 인위적으로 조성되어 보호 또는 유지되어온 숲(김학범, 장동수, 1994)
	재정립	충 남	미세먼지 2차 차단벽 : 산림문화의 보전과 지역주민의 생활환경 개선 등을 위하여 마을 주변에 조성·관리하는 산림 및 수목(「도시숲등의조성및관리에 관한법률」 제2조)으로서 읍·면단위의 도시지역(「국토의계획및이용에관한법률」 에서 정한 용도지역)에 조성하는 숲
도시숲	기 존	법 률	도시에서 국민의 보건·휴양 증진 및 정서 함양과 체험활동 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목을 말하며, 「자연공원법」 제2조에 따른 공원구역은 제외(「도시숲등의조성및관리에관한법률」 제2조)
		산 립 청	시민의 건강 증진, 정서 함양 및 체험 활동 등을 위하여 조성 관리되고 있는 산림 및 수목을 말하는 것으로 공원, 학교 숲, 가로수, 친수 공간 등이 해당
	재정립	충 남	미세먼지 3차 차단벽 : 동단위의 도시지역(「국토의계획및이용에관한법률」 에서 정한 용도지역)에서 국민의 보건·휴양 증진 및 정서 함양과 체험활동 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목을 말하며, 「자연공원법」 제2조에 따른 공원구역은 제외(「도시숲등의조성및관리에관한법률」 제2조)

* : 「연안관리법」 제2조(정의)에서 '연안'이란 연안해역과 연안육역을 말하며, '연안육역'은 연안해역의 육지쪽 경계선으로부터 500m이내, 항만, 국가어항, 산업단지의 경우는 1,000m 이내의 육지 지역으로 정의하고 있음. 이번 연구에서는 '연안육역'을 공간적 범위로 한정하면서 연안에 산업단지가 많이 분포하는 충남의 특성을 고려하여 충남 해안선으로부터 1,000m 이내를 해안림 공간으로 적용하였음.

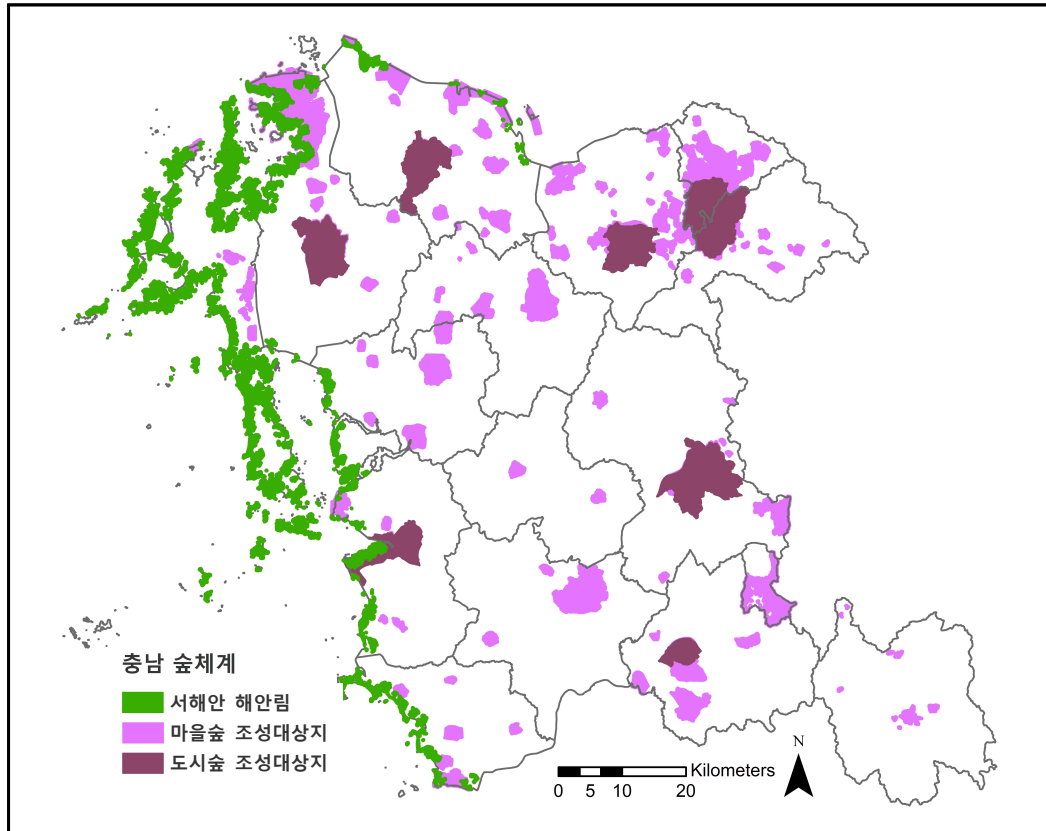


그림 22. 충남형 해안림-마을숲-도시숲의 공간 체계도

2. 충남 미세먼지 저감숲 조성 방안

1) 해안림

(1) 충남 해안림의 특성을 고려한 조성

충남 해안림에서 가장 많이 생육하는 종은 곰솔로서, 연구대상지 전체의 60.2%를 차지하였다. 그 다음으로는 소나무림이 16.6%, 침활혼효림이 9.5%, 기타활엽수림이 5.6%, 기타참나무류림이 2.3%, 리기다소나무림이 1.4% 순으로 나타났다(산림청, 2019). 즉, 충남 해안림은 곰솔과 소나무가 전체의 80% 정도를 구성하고 있음을 알 수 있었다.

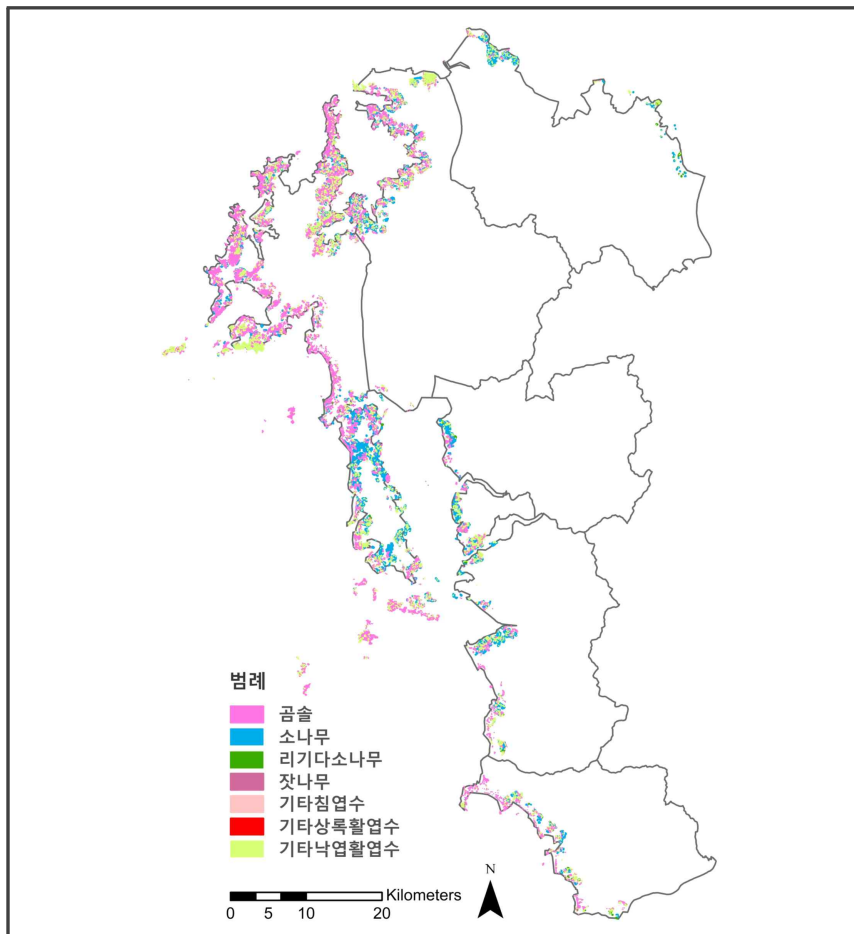
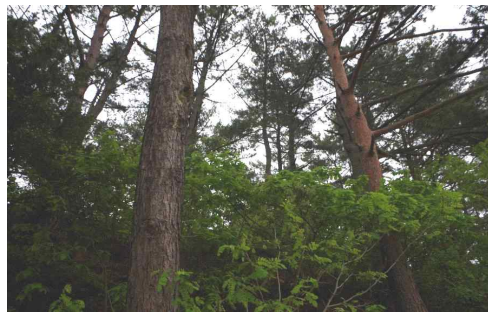


그림 23. 충남 해안림 식생 현황



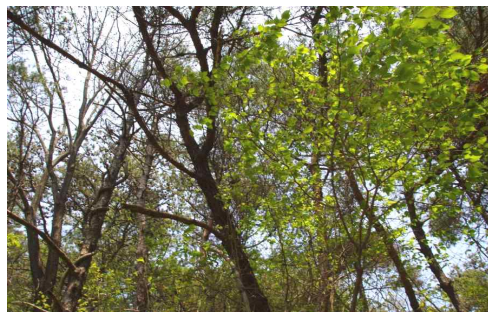
곰솔군락



소나무군락



리기다소나무군락



모감주나무군락



그림 24. 충남 해안림 조사지역 식생군락 현장

곰솔은 태안 북쪽에 집중분포하면서 당진을 제외한 서해안 전반에 분포하였고, 소나무는 태안 남쪽에 집중분포하면서 당진을 포함한 서해안 전반에 고르게 분포하는 것으로 나타났다. 이는 충남 해안림을 복원 및 조성할 때 곰솔과 소나무를 우점종으로 선택하는 것이 생태적으로 안정적임을 의미한다고 볼 수 있다.

한편, 충남 해안림의 식생을 대표할 수 있는 적절한 곳 51지점(당진4, 서산4, 태안15, 홍성3, 보령13, 서천12)을 선정하여 2020년 5월과 6월 현장조사를 실시하였다. 조사결과, 관속식물은 62과 124속 136종 23변종 2품종으로 160분류군(taxa)이 확인되었다. 특산식물종과 법정보호종(환경부, 2017)은 없었고, 양치식물은 2과 2속 2분류군, 나자식물은 2과 3속 5분류군, 피자식물은 58과 119속 154분류군으로 정리되었다.

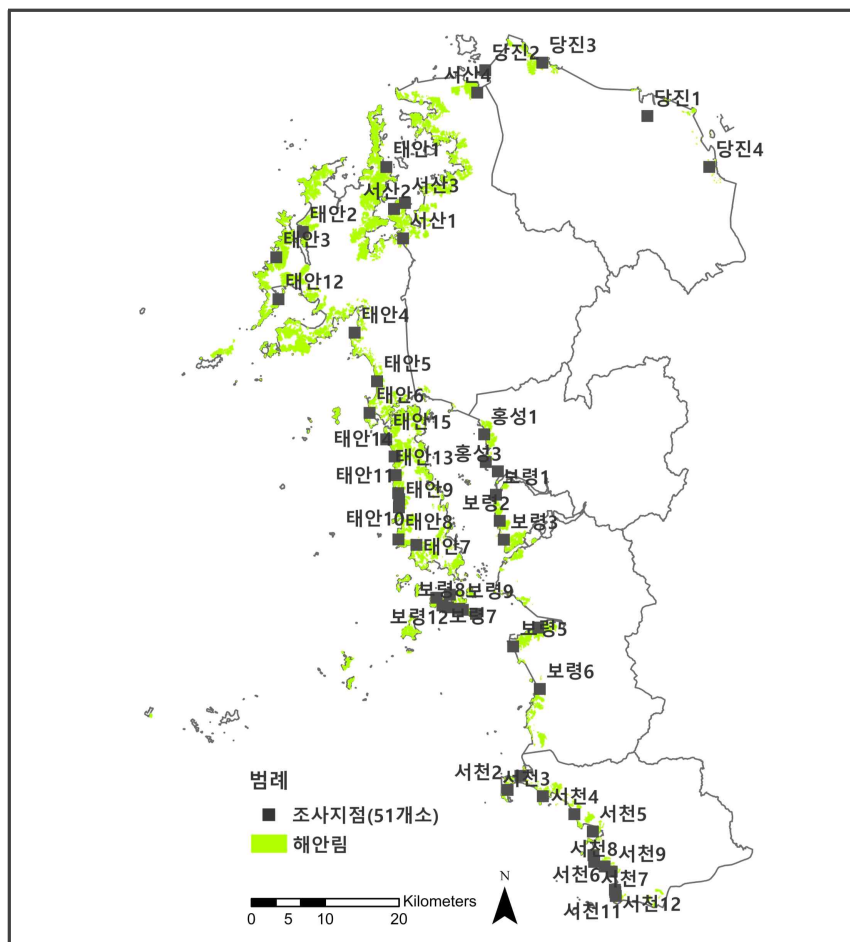


그림 25. 충남 해안림 현장조사 지점

구계학적 특정식물 III등급에 모감주나무, 토현삼 2분류군, I 등급에 왕버들, 굴참나무, 갯장구채 등 10분류군이 확인되었다. 귀화식물은 애기수영, 소리쟁이, 미국자리공, 갯, 다닥냉이, 비짜루국화 등 6과 15분류군으로 나타났으며, 생태계교란식물은 애기수영 1종이었다.

식생군락 조사결과는 51개소 조사지점 중 곰솔군락이 39개소로 가장 많았고, 소나무군락이 8개소, 리기다소나무군락이 3개소, 모감주나무군락이 1개소로 나타났다. 상록활엽수림인 모감주나무군락을 제외한 세 유형의 침엽수림 군락에서는 교목층의 경우 소나무가 모두 우점종으로 출현하였고, 아교목층에서는 상수리나무, 갈참나무, 아까시나무, 관목층에서는 갈참나무, 아까시나무, 졸참나무, 쥐똥나무, 진달래, 때죽나무, 개웃나무, 초본층에서는 그늘사초, 쭉, 아까시나무, 청미래덩굴, 갈참나무, 산벚나무가 공통 출현하는 특징이 있었다.

따라서 충남 해안림을 복원 및 조성할 때 소나무, 상수리나무, 갈참나무, 아까시나무, 졸참나무, 쥐똥나무, 진달래, 때죽나무, 개웃나무, 그늘사초, 쭉, 청미래덩굴, 산벚나무 등의 조합으로 군집을 조성하는 것이 생태적으로 안정될 수 있겠다.

표 14. 충남 해안림 조사지역의 전체식물상

분	류	과	속	종	변종	품종	총분류군		
양	치	식	물	2	2	1	1	0	2
나	자	식	물	2	3	5	0	0	5
피	자	식	물	58	119	130	22	2	154
		쌍자엽식물	51	90	100	17	2	2	119
		단자엽식물	7	29	30	5	0	0	35
계		62	124	136	23	2	2	161	

표 15. 충남 해안림 조사지역의 구계학적 특정식물

과명	학명	국명	생활형	구계등급
버드나무과	<i>Salix glandulosa</i>	왕버들	M	I
참나무과	<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	M	I
석죽과	<i>Melandryum oldhamianum for. roseum</i>	갯장구채	Th	I
장미과	<i>Rhodotypos scandens</i>	병아리꽃나무	N	I
노박덩굴과	<i>Euonymus japonica</i>	사철나무	N	I
무환자나무과	<i>Koelreuteria paniculata</i>	모감주나무	M	III
차나무과	<i>Camellia japonica</i>	동백나무	M	I
메꽃과	<i>Calystegia soldanella</i>	갯메꽃	H	I
현삼과	<i>Scrophularia koraiensis</i>	토현삼	H	III
국화과	<i>Artemisia selengensis</i>	물쭉	H	I
벼과	<i>Ischaemum antheophoroides</i>	갯쇠보리	H	I
사초과	<i>Carex kobomugi</i>	통보리사초	G	I

표 16. 충남 해안립 조사지역의 외래식물

과명	학명	국명	생활형
마디풀과	<i>Rumex acetocella</i>	애기수영	H
	<i>Rumex crispus</i>	소리쟁이	H
자리공과	<i>Phytolacca americana</i>	미국자리공	Th
십자화과	<i>Brassica juncea</i> var. <i>integrifolia</i>	갯	Th
	<i>Lepidium apetalum</i>	다닥냉이	Th
콩과	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	아까시나무	M
국화과	<i>Aster subulatus</i>	비짜루국화	Th
	<i>Erigeron annuus</i>	개망초	Th
	<i>Erigeron canadensis</i>	망초	Th
	<i>Taraxacum officinale</i>	서양민들레	H
	<i>Sonchus oleraceus</i>	방가지뚥	Th
벼과	<i>Avena fatua</i>	메귀리	Th
	<i>Dactylis glomerata</i>	오리새	H
	<i>Lolium perenne</i>	호밀풀	H
	<i>Festuca arundinacea</i>	큰김의털	H

표 17. 충남 해안립 조사지역 식생군락별 출현종 비교

식생		곰솔 군락	소나무 군락	리기다 군락	모감주 군락	식생		곰솔 군락	소나무 군락	리기다 군락	모감주 군락
초 본 층	이고들빼기	●				초 본 층	뽕리뱅이		●		
	갈참나무	●	●	●			선밀나물			●	
	원추리	●					오이풀			●	
	산뽕나무	●	●	●			새나무			●	
	귀뚥나무	●	●				밤나무			●	
	진달래	●		●			산철쭉			●	
	개고사리	●			●		사철나무			●	
	멍석딸기		●				함박꽃나무			●	
	소나무		●				개망초				●
	구절초		●				사위질빵				●
	벗나무		●				으아리				●
	숨나물		●				참반디				●
	산딸기		●				소리쟁이				●
	동백나무		●				으름덩굴				●
	팔배나무		●				쇠무릎				●
	인동덩굴		●	●			반하				●
	댕댕이덩굴		●	●			개밀				●
	서양민들레		●		●		맥문동				●
	개암나무		●				팽이밥	●			

■ : 세 가지 군락에서 출현한 식생종

표 17 계속. 충남 해안립 조사지역 식생군락별 출현종 비교

식생		곰솔 군락	소나무 군락	리기다 군락	모감주 군락	식생		곰솔 군락	소나무 군락	리기다 군락	모감주 군락
교 목 층	곰솔	●	●			관 목 층	진달래	●	●	●	
	소나무	●	●	●			산초나무	●			
	리기다소나무			●			매죽나무	●	●	●	
	밤나무			●			굴피나무	●			
	상수리나무			●			곰솔	●			
	모감주나무				●		생강나무	●			
아 교 목 층	상수리나무	●	●	●		관 목 층	개웃나무	●	●	●	
	갈참나무	●	●	●			소나무		●		
	산벚나무	●	●				명석딸기		●		
	곰솔	●					노린재나무		●	●	
	줄참나무	●	●				동백나무		●		
	아까시나무	●	●	●			벗나무		●	●	
	불나무	●	●				팔배나무		●		
	매죽나무	●		●			산철쭉		●		
	팽나무	●					팽나무		●		
	밤나무	●		●			개암나무		●		
	개웃나무	●	●				밤나무			●	
	뽕나무	●					가막살나무			●	
	굴피나무	●					굴참나무			●	
	소나무		●	●			신갈나무			●	
	리기다소나무			●			함박꽃나무			●	
	벗나무			●			그늘사초	●	●	●	
	상수리나무	●	●				쭈	●	●		●
관 목 층	갈참나무	●	●	●		초 본 층	상수리나무	●			
	싸리	●					불나무	●			
	조록싸리	●					담쟁이덩굴	●		●	
	불나무	●					기름새	●			
	아까시나무	●	●	●			아까시나무	●	●	●	
	찔레꽃	●					찔레꽃	●		●	
	산딸기	●					고마리	●			
	줄참나무	●	●	●			청미래덩굴	●	●	●	
	떡갈나무	●	●				개웃나무	●	●		
	산벚나무	●	●				산피불주머니	●			
	청미래덩굴	●	●				줄참나무	●		●	
	쥐똥나무	●	●	●			곰솔	●			

■ : 세 가지 군락에서 출현한 식생종

표 18. 충남 해안림 조사지역 식생군락 구조적 특징

군락	개소	군락내 층위별 출현종 및 구조적 특징
곰솔군락	39	- 교목층 평균수고 / 평균흉고직경 / 평균식피율 : 13.5m / 25.6cm / 91.4% - 아교목층 평균수고 / 평균식피율 : 7.1m / 19.7% - 관목층 평균식피율 : 30.8% - 초본층 평균식피율 : 38.8%
소나무군락	8	- 교목층 평균수고 / 평균흉고직경 / 평균식피율 : 12.6m / 23.2cm / 88.8% - 아교목층 평균수고 / 평균식피율 : 6.0m / 24.0% - 관목층 평균식피율 : 37.1% - 초본층 평균식피율 : 16.3%
리기다 소나무군락	3	- 교목층 평균수고 / 평균흉고직경 / 평균식피율 : 13.7m / 23.7cm / 91.7% - 아교목층 평균수고 / 평균식피율 : 6.0m / 23.3% - 관목층 평균식피율 : 33.3% - 초본층 평균식피율 : 16.7%
모감주군락	1	- 교목층 평균수고 / 평균흉고직경 / 평균식피율 : 10.0m / 12.4cm / 95.0% - 초본층 평균식피율 : 90.0%

(2) 미세먼지취약지역 등급에 따른 우선 복원·관리 및 사유지 매입

해안림의 경우는 새롭게 추가 조성하기보다는 훼손 이전의 해안림으로 복원·관리하는 것이 중점이라 할 수 있다. 이러한 측면에서 미세먼지취약지역 I 등급 지역에 분포하는 해안림을 가장 우선 복원·관리할 필요가 있으며, 이를 통해 충남에서 특히 의미가 있는 해안림의 방풍기능을 직접적으로 향상시킬 수 필요가 있겠다.

한편, 사유림에 대해서는 훼손된 해안지형 복원 및 해안림 조림을 위한 접근조차 현실적으로 어려운 실정이다. 따라서 지역 차원의 해안림 복원이 시급하고 이에 대한 복원·관리계획을 지자체가 마련했을 경우 국가는 사유림 매입비용⁷⁾을 지원해줄 필요가 있다. 또한, 정부는 지자체의 해안림 복원·관리계획(미세먼지저감 해안림-마을숲-도시숲 등)에 해당하는 국유림은 우선적으로 복원·관리를 해주는 것이 바람직하다고 생각한다.

표 19. 충남 해안림 소유현황

소유	면적(ha)	비율(%)	소유	면적(ha)	비율(%)
국·공유지	4,482.0	26.3	사유지	9,796.6	57.5
도·시·군유지	2,764.4	16.2	합계	17,043.0	100.0

7) 충남 해안림 중 11.9%가 복원·관리 1순위로서 이 중 66.3%가 우선매입이 필요하며, 매입비용은 1,177억 원 정도로 분석됨.

표 20. 충남 해안림의 복원·관리 우선순위 및 사유지 매입비용 현황

해안림 복원·관리 우선순위	군락 수		군락 면적		매입 필요 사유지			매입비용	
	개소	비율 (%)	총면적 (ha)	비율 (%)	총면적 (ha)	비율(%)		비용 (억원)	비율 (%)
						순위대비	매입대비		
제1순위	81	4.2	2,027.4	11.9	1,344.3	66.3	13.7	1,176.9	12.5
제2순위	715	36.8	8,193.6	48.1	4,623.9	56.4	47.2	3782.7	40.1
제3순위	1,145	59.0	6,822.0	40.0	3,828.4	56.1	39.1	4472.7	47.4
계	1,941	100.0	17,043.0	100.0	9,796.6	57.5	100.0	9,432.4	100.0

－ 공시지가출처 : 국가정보공간포털(<http://www.nsdi.go.kr/lxportal/?menu=2679>), 2019년 기준.

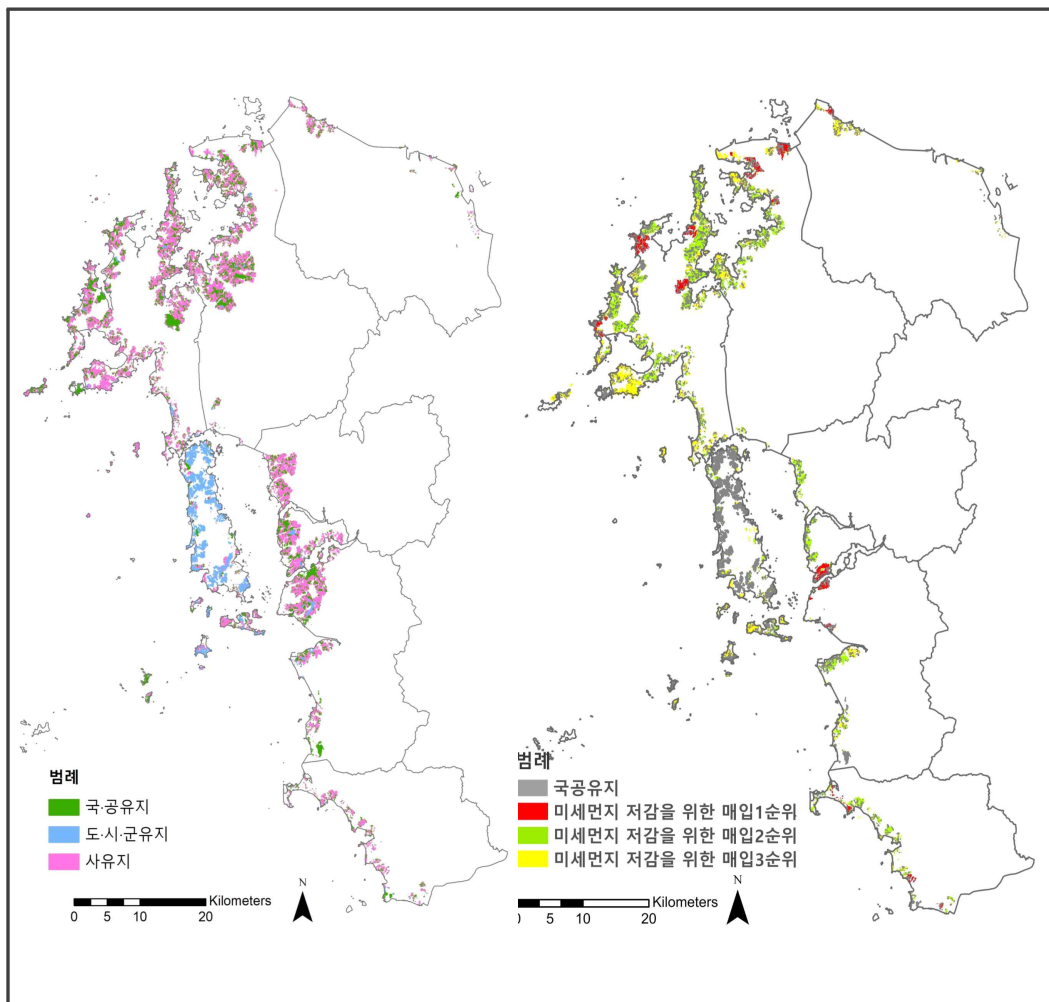


그림 26. 충남 해안림 소유현황(왼쪽) 및 사유지 매입 우선순위(오른쪽)

(3) 훼손지 복원

복원·관리 1순위 해안림 군락에 대해 훼손 형태를 영상으로 확인해본 결과, 해안림 외부에서 내부로 파고 들어올 가능성이 있는 형태(외부침투형 : 향후 해안림 훼손을 발생시킬 수 있는 형태)와 해안림 내부에서 확장가능성을 가진 형태(내부확장형 : 이미 해안림 훼손을 발생시키는 형태) 등 크게 2가지로 구분할 수 있었다.

‘외부침투형’은 논과 밭 등 경작지가 많았으며, 선(線)형으로 이어져 내부로 깊게 침투하는 형태로 나타났다. ‘내부확장형’에는 묘지가 많았으며, 면(面)형의 묘지가 주변에 연속적으로 생성되면서 전체적인 묘지면적이 확장되는 형태로 나타났다. 따라서 경작지와 묘지에 대해서는 별도의 토지이용 관리 방향이 필요하다고 판단된다.

표 21. 미세먼지 저감 1순위 해안림의 훼손형태 및 복원·관리방향

훼손형태	훼손특성 및 문제점	복원·관리방향
외 부 침투형	<ul style="list-style-type: none"> - 논, 밭, 묘지 등이 선(線)형이나 면(面)형으로 연속 발생하면서 해안림 내부로 침투하는 형태 - 곳곳에서 침투해 들어오는 훼손지들이 결국 서로 합쳐지면서 해안림의 단절 및 파편화 우려 - 훼손지의 대부분은 사유지로서 적극적 복원·관리에 한계 - 특히 관심이 필요한 공간은 건축물과 해안림 사이의 유흥지(대부분 초지형태로서 해안림을 보호하는 완충 공간 역할)인데, 이들은 언제든지 훼손 가능성 내포 	<ul style="list-style-type: none"> - 내부로 침투한 일부 농경지 및 묘지를 매입하여 침투형 훼손지의 확대 가능성 저지 필요 - 매입한 농경지 및 묘지를 수목식생지로 복원하여 해안림의 기능증진 필요 - 건축물과 해안림 사이의 유흥지를 매입하여 외부로부터의 훼손 가능성 저지 필요(자연천이 형태의 복원으로도 충분)
내 부 확장형	<ul style="list-style-type: none"> - 대부분이 묘지로서 면(面)형의 개별 묘지가 집단화되는 과정에서 규모가 점차 확장하는 형태 - 이로 인해 해안림 내부공간이 감소하고 결국에는 해안림의 파편화 및 소멸 우려 - 특히 묘지는 일반 초지와 달리 인간의 간섭이 지속적으로 발생하는 유형으로서 해안림의 구조적 기능뿐 아니라 생태적 가치 저하도 우려 - 훼손지의 대부분은 사유지로서 적극적 복원·관리에 한계 	<ul style="list-style-type: none"> - 해안림 내부 사유지 중 훼손지 우선 매입 필요 - 매입이 어려운 경우 장기적으로 이장 권유 및 토지 임대를 통해 수목식생지로 복원하여 해안림의 기능증진 필요 - 마을 인근 해안림의 경우는 수목식재뿐 아니라 자연천이 방식도 고려하여 생물종다양성 측면에서의 가치 향상 기대

- 외부침투형 : 해안림 외부에서 해안림 내부로 파고 들어오는 형태로서 향후 해안림 훼손 가능
 - 내부확장형 : 해안림 내부에서 점차 확대될 가능성이 있는 형태로서 이미 해안림 훼손 중

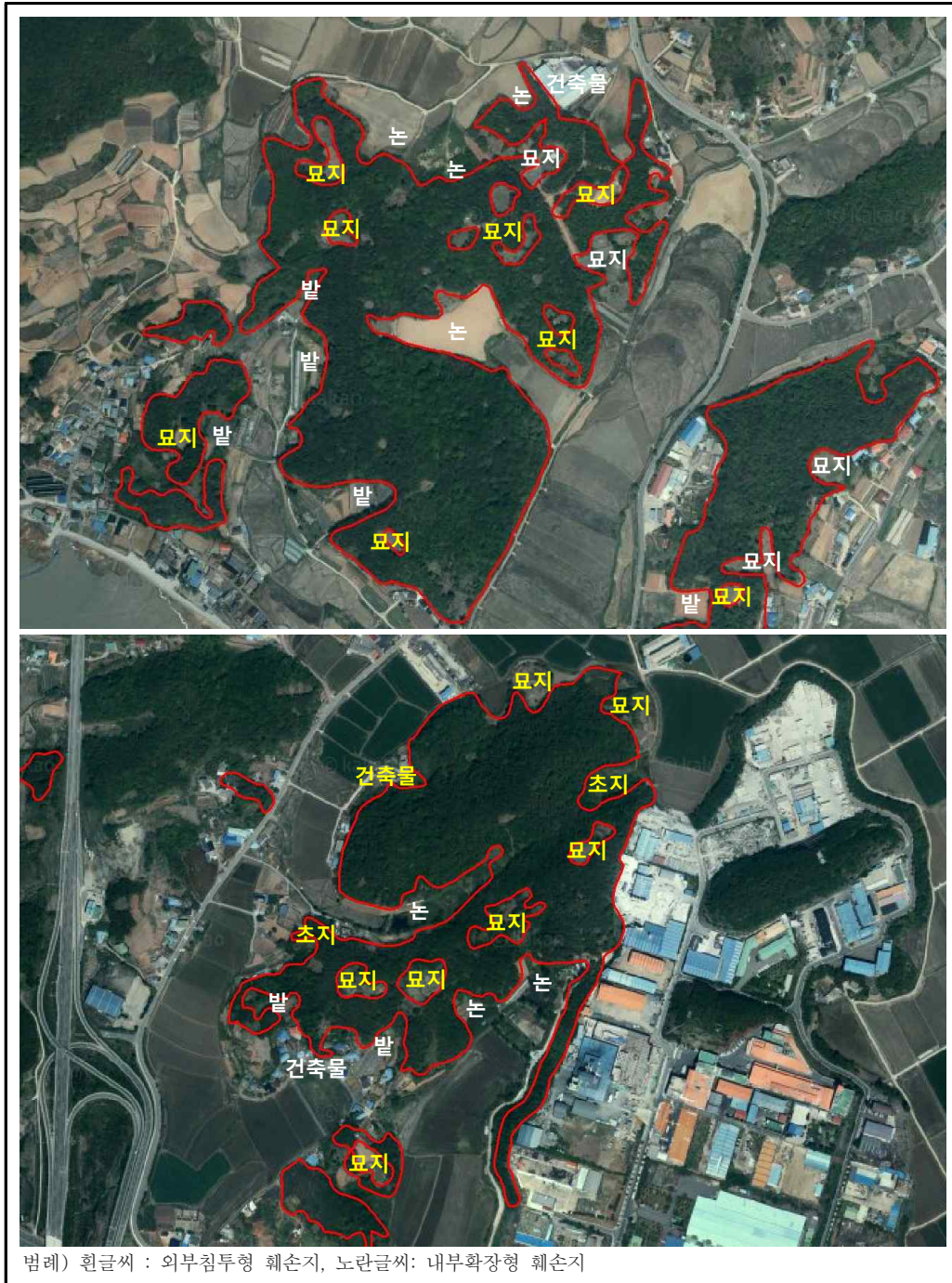


그림 27. 충남 해안림의 훼손 형태

(4) 1ha 미만 해안림 군락 집중 관리

임상도(산림청, 2019)에서 충남 해안림(해안선으로부터 1,000m 이내에 분포하는 상록수림 및 이와 연결된 군락)을 선별한 결과, 17,043.0ha으로서 충남 산림(416,495.9ha, 2019년 임상도 기준)의 4.1%에 해당하였다. 총 1,941개 군락이고, 군락의 최대면적은 494.7ha, 최소면적은 0.02ha로 나타났고, 평균면적은 8.8ha이었다.

군락 면적별 분포현황을 살펴보면, 0.1~1ha 미만이 859개소, 1~10ha 미만이 686개소로 총 1,941개소 중 79.6%를 차지하였다.

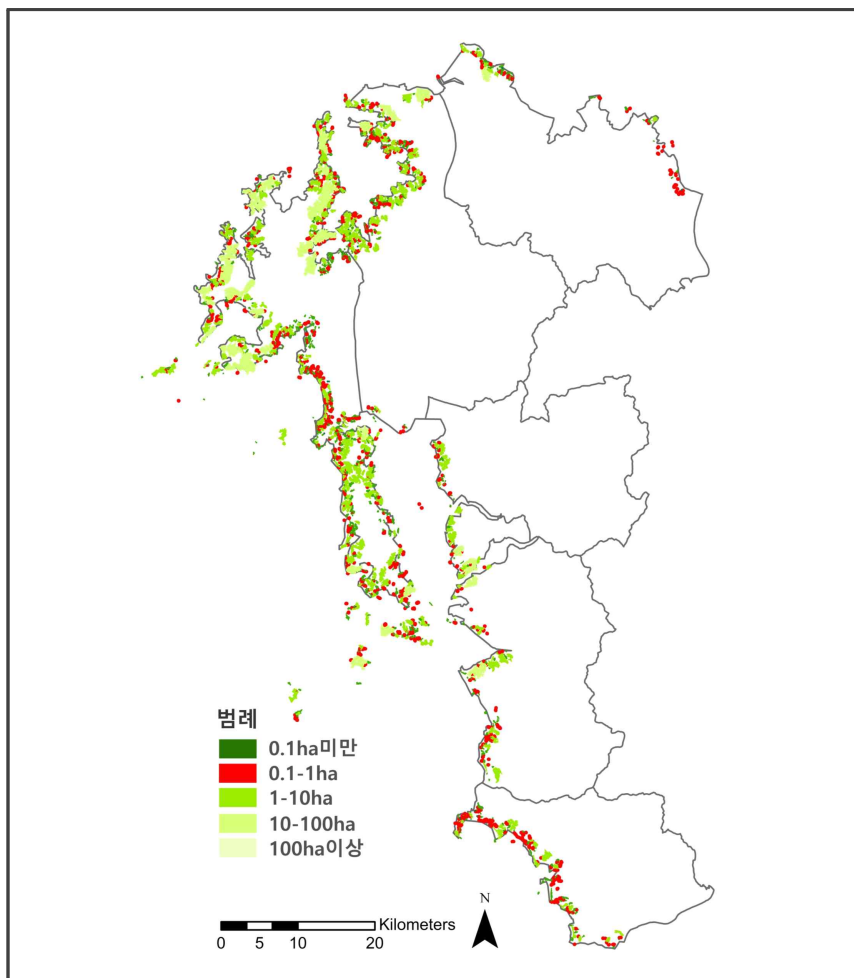


그림 28. 충남 해안림 군락 면적별 분포현황

총면적으로는 10ha 이상의 군락이 전체 충남 해안림 면적의 84.1%를 차지하고 있었는데, 이는 10ha 이상의 해안림 14,341.0ha가 302개소로 조각나있으며 평균 47.5ha의 대규모로 분포함을 의미한다. 반면, 10ha 미만의 해안림은 총면적 2,702.0ha가 1,639개소로 조각나있으며, 이는 군락별 평균 1.6ha의 작은 면적으로 파편화되어 있음을 의미한다.

군락의 개소비율과 면적비율 차이가 가장 큰 1ha 미만의 해안림(49.1%의 개소비율, 2.1%의 면적비율) 군락들은 소규모로 조각나 있어 1ha 이상 규모의 해안림 군락들에 비해 훼손 및 소멸 가능성이 높을 것으로 예상된다. 특히, 1ha 미만의 군락들은 충남 해안림 군락 수의 대부분을 차지하고 있어 이들의 훼손은 결국 충남 해안림의 훼손 및 소멸을 의미한다. 따라서 충남은 1ha 미만의 해안림 군락 관리에 집중할 필요가 있겠다.

표 22. 충남 해안림 군락별 면적

군락 면적 범위	군락 수		군락 면적	
	개소	비율(%)	총면적(ha)	비율(%)
0.1ha 미만	94	4.8	7.1	0.0
0.1~1ha	859	44.3	350.6	2.1
1~10ha	686	35.3	2,344.3	13.8
10~100ha	269	13.9	8,223.2	48.2
100ha 이상	33	1.7	6,117.8	35.9
계	1,941	100.0	17,043.0	100.0

2) 마을숲

(1) 전통 마을숲 복원

삼국시대부터 조선시대에 이르는 우리나라 마을숲 원형조사서인 ‘조선의 임수’ 역주본(2007)⁸⁾에 따르면, 충남에는 부여의 가림수, 홍성의 홍주임수, 서산의 서산임수와 지성, 당진의 합덕지 등 총 5곳의 마을숲이 있었던 것으로 되어있다. 이들 중 부여와 서산에 각 1곳이 일부 잔존하고 있고 나머지 3곳은 2006년 기준 소실된 것으로 확인되었다(조선의 임수 역주본, 2007). 마을숲은 기본적으로 비산면지를 막기 위한 수림대이므로 새로운 마을숲 조성부지를 선별하기에 앞서 우선 조상들의 지혜가 담겨있는 마을숲의 위치에 다시 마을숲을 복원하는 것도 큰 의미가 있을 것으로 보인다.

8) 장미아·김남기·배제수·김진성(2007), 조선의 임수(역주), (사)생명의숲국민운동.

표 23. 충청남도 마을숲의 과거 및 현재 소재지 대조표

임수		소재지	
지역	임수명	1938년	2020년
부여	가림수	부여군 임천면 군사리·구교리	부여군 임천면 군사리·구교리
홍성	홍주임수	홍성군 홍주면 대교리·고암리·오관리	홍성군 홍성읍 대교리·고암리·오관리
서산	서산임수	서산군 서산면 읍내리	서산시 읍내동
	지성	서산군 해미면 읍내리	서산시 해미면 읍내리
당진	합덕지	당진군 합덕면 성동리·합덕리	당진시 합덕읍 성동리·합덕리

출처 : 장미아·김남기·배재수·김진성(2007), 조선의 임수(역주), (사)생명의숲국민운동.

표 24. 충청남도 마을숲의 잔존 및 소실 현황

임수		발생 시기	잔존 여부	쇠퇴 및 소실		
지역	임수명			연도	확인방법	원인
부여	가림수	상고	△	1980년대	2006년 현장답사	도로확장
홍성	홍주임수	1820년대	×	1950년대	홍주향토문화연구회	경작지 개간, 시장, 도로 개설로 소실. 현재 느티나무 고목 1그루
				1960~70년대		
서산	서산임수	미상	△	1970년대	서산향토연구회	하천복개
	지성	1491년	×	1910년경	『조선의 임수』(1938)	경작지 및 가옥부지로 변함
당진	합덕지	1765년	×	1900년경	『조선의 임수』(1938)	자연 고사 및 벌채

출처 : 장미아·김남기·배재수·김진성(2007), 조선의 임수(역주), (사)생명의숲국민운동.

표 25. 충청남도 마을숲의 수종 총괄표

임수		수종	규격					형태			임상	밀도
지역	임수명	한국명	수고	직경 ^{cm} 최대 최다		그루	임령	위치	길이×폭	식재 형태		
부여	가림수	왕버들	—	B80	B60	35주	노거수	도로변	400m	열식	단순림	—
홍성	홍주 임수	왕버들	—	B150	B30	173 주	—	산기슭 아래의 평야	500×30m 1.5ha	—	혼효림	소 중
		상수리나무										
		팽나무										
		느티나무										
		줄참나무										
		소나무										
서산	서산 임수	느티나무	—	B160	B60	80 주	—	성벽 근처 소류 도로변	250m	열식	울창한 혼효림	밀
		팽나무										
		참느릅나무										
		느릅나무										
	지성	미림목 경작지·일부는 가옥부지										
당진	합덕지	왕버들	—	B76	B	—	—	제방법선	1,600m 堰堤	산생	혼효림	밀
		매죽나무										
		벚나무						1930년 1,000주 보식				

출처 : 장미아·김남기·배재수·김진성(2007), 조선의 임수(역주), (사)생명의숲국민운동.

한편, 수 십 년 이상 존재했던 마을숲이었으므로 전통 마을숲에 대한 기록을 근거하여 복원하는 것이 적합할 것이라 판단된다. 특히 수종은 해당지역에 적응이 용이한 수종이었을 것이라 예상되므로 근거 자료를 따르는 것이 바람직하다고 판단된다.

가장 어려운 점은 도로 등 토지이용형태를 변경하기 어려운 경우인데, 이때는 최대한 그 주변의 유휴지에 조성하는 것이 마을숲의 미세먼지 방지 기능을 기대할 수 있을 것으로 예상된다. 그 외 경작지, 가옥부지, 벌채 등으로 소실된 경우는 토지를 매입하여 복원하는 계획을 장기적으로 수립할 필요가 있다.

(2) 추가 마을숲 조성

기존의 마을숲 위치 이외 이번 연구에서의 마을숲 추가 조성 가능 부지로는 유휴지로 한정하였다. 그러나 미세먼지취약지역 I 등급 내 유휴지의 실제 토지이용현황을 살펴보면, 추가 녹지조성이 어려운 개인건축부지의 화단이거나 주변의 건축예정부지(대부분 원예지로 이용 중)이며, 숲 조성 의미가 크게 없는 산림사면 등으로 나타났다. 이로 인해 실제 미세먼지 저감 마을숲 조성가능 유휴지는 이보다 훨씬 적은 면적이라 할 수 있다.

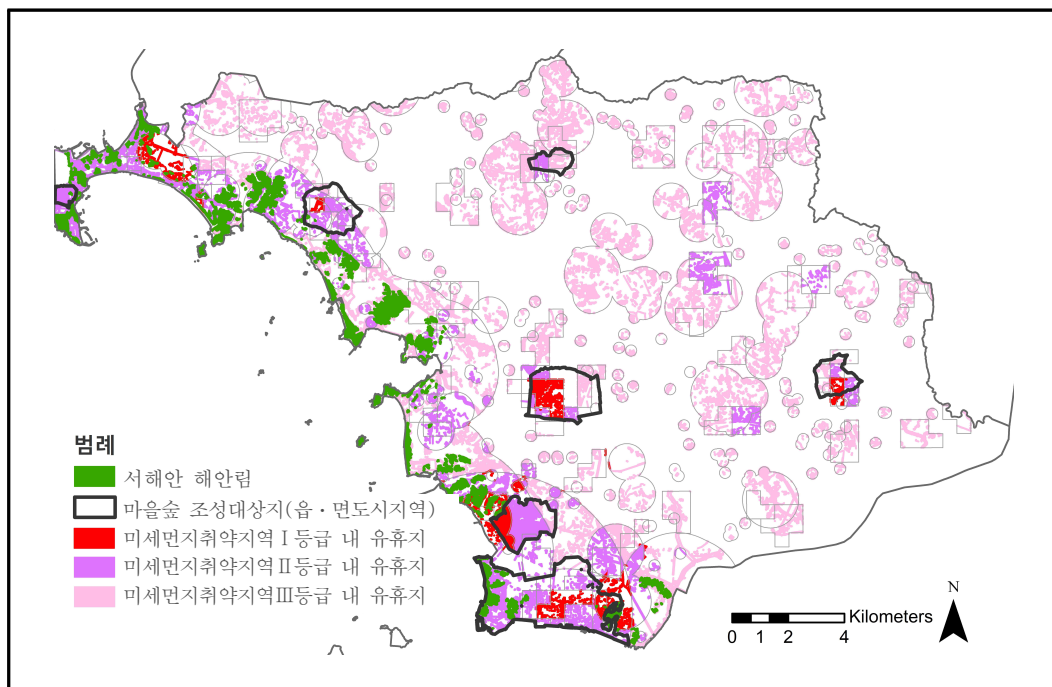


그림 29. 유휴지의 미세먼지 저감 마을숲 조성순위 분포도(서천 사례)



그림 30. 서천 유희지의 토지이용현황

영상출처 : kakao, 국토지리정보원.

또한, 대부분의 유희지는 소규모로 흩어져 있어 미세먼지 저감 마을숲을 대규모 면(面) 형태로 조성하기에는 한계가 있을 것으로 보인다. 따라서 미세먼지 저감을 위한 마을숲은 조성대상지(읍·면 도시지역) 내 실제 숲 조성이 가능한 유희지를 점(点) 형태의 소규모 녹지로 추가 조성하거나 개인건축부지의 녹화 유도를 통해 미세먼지취약지역 전체의 녹지율을 높이는 방안이 현실적일 것으로 판단된다.



그림 31. 유희지의 녹지율 향상 방안 사례

출처 : 경대승(2019) 도시 미세먼지저감전략 및 기술개발, 도시내 미세먼지저감을 위한 국회전문가세미나 발표자료

(3) 다양한 수종 및 과학기술 도입

충남 해안림은 기본적으로 편서풍의 영향을 감소시켜 미세먼지 영향도 함께 감소시키는 것이므로 염분에 강한 곰솔과 소나무가 지배적인 것으로 조사되었다. 그러나 마을숲의 경우는 해풍으로부터 유입되는 염분에 직접적 영향을 덜 받으므로 해풍보다는 미세먼지를 고려한 수종을 선정할 필요가 있다. 따라서 곰솔과 소나무 이외 다양한 수종 도입이 가능하며, 이를 통해 농촌경관 향상도 기대할 수 있다.

주민 생활공간에 조성하는 마을숲은 해안림보다 미세먼지 Free-Zone이 더욱 필요하다. 특히 마을숲은 단순한 녹지공간이 아니라 앞으로는 읍·면 단위의 중요한 복지공간으로서 기능을 해야 할 것이다. 따라서 미시 공간 단위의 특성에 따른 환경영향과 미세먼지 특성을 분석하여 효과적인 미세먼지 저감방안을 마련할 필요가 있다. 이를 위해 생활밀착형 미세먼지 저감 기술개발이 활발히 진행 중이다. 국내에서는 입체녹화를 통한 식물흡착·흡수기작과 하이브리드 집진패널 기술을 융합한 미세먼지 저감장치가 시범사용 중에 있다. 이는 설치반경 3m 이내 미세먼지저감에 효과적으로 알려져 있다(경대승, 2019). 이런 최신 기술도입을 통해 취약계층 이용시설 주변의 마을숲 기능을 획기적으로 보완해줄 필요가 있다.

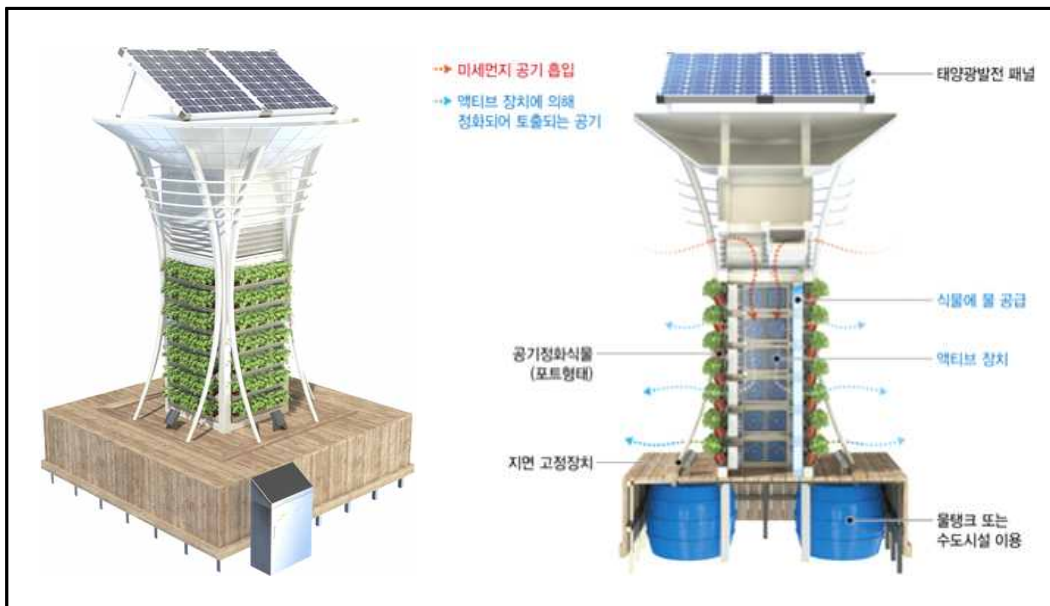


그림 32. 국내 미세먼지 저감장치 개요도

출처 : 경대승(2019) 도시 미세먼지저감전략 및 기술개발, 도시내 미세먼지저감을 위한 국회전문가세미나 발표자료

3) 도시숲

도시숲은 산림청 지원으로 전국에서 설치되고 있으며, 충남 역시 산림청 지원을 받기 위해 노력하고 있다. 충남에는 현재 000가 조성 예정인데, 미세먼지취약지역 평가 결과 등의 기준이 적용되지 않아 아쉬운 면이 있다.

미세먼지취약지역 I 등급은 미세먼지 차단 도시숲을 우선 조성할 필요가 있음을 의미하므로 향후 충남은 해당 우선순위를 고려하여 해당 시를 지원하는 것도 광역적 차원에서 의미가 있을 것으로 생각된다. 이러한 측면에서 충남은 당진시의 당진1동, 서산시의 동문동과 읍내동, 보령시 대천1,2,3동 일대에 우선 지원해줄 필요가 있겠다.

한편, 이번 연구는 ‘해안림-마을숲-도시숲 체계’를 위한 분석이었으므로 해안림이 분포하는 6개 시·군의 도시숲 조성순위만 제시하였으나 충남 전체를 고려해 보았을 때도 이번 순위는 충분히 도시숲 조성을 위한 지원순위 선정기준으로 반영될 수 있다고 판단된다.

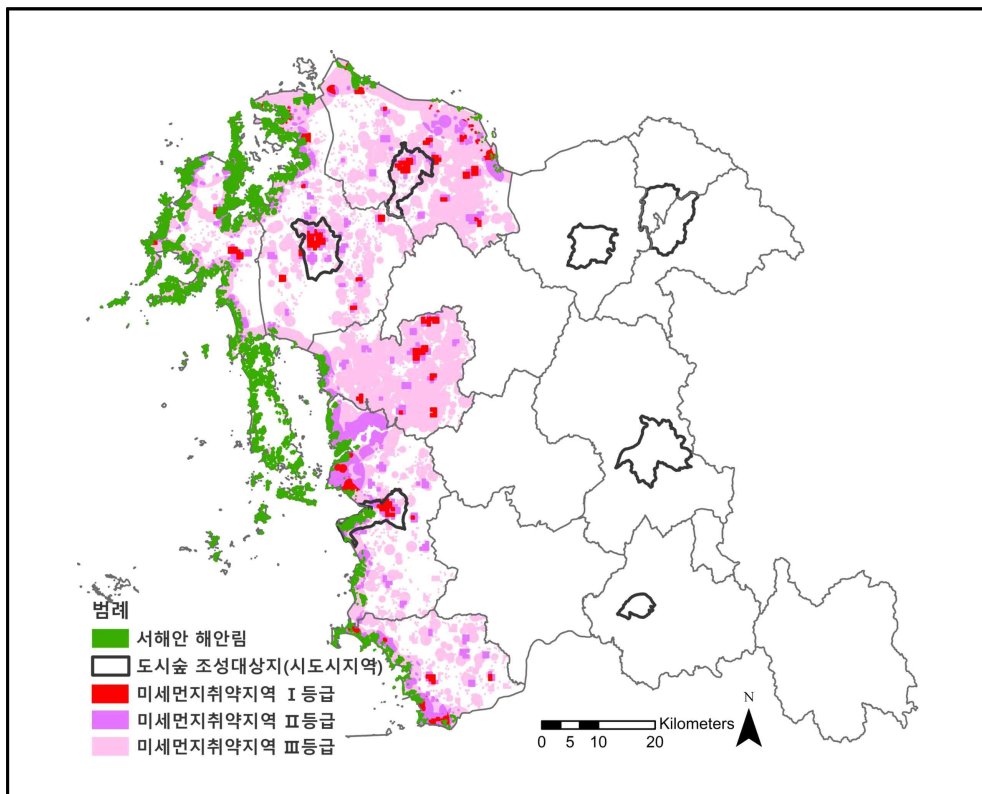


그림 33. 충남 도시숲 조성대상지 내 미세먼지취약지역 우선순위 분포도

제5장 결론 및 정책제언

1. 결론

1) 충남 미세먼지 특성을 고려한 저감 방안 필요

충남은 축사와 발전소로 인해 육상에서의 전국 최대 미세먼지 발생원을 보유하고 있으면서 서해로부터 유입되는 해염입자로 인한 1차 미세먼지뿐만 아니라 2차 미세먼지 발생 위험도 매우 높은 지역이다. 따라서 충남 미세먼지 저감을 위해서는 축사와 발전소 배출 미세먼지와 편서풍에 실려 오는 미세먼지 차단이 우선 필요하다.

그러나 충남은 농촌지역이나 해안지역에 대해서는 미세먼지저감 정책이 부족한 실정이다. 특히, 충남은 편서풍에 의한 미세먼지 유입이 심각하나 이에 대한 저감방안은 사실상 없는 것으로 보인다. 따라서 이번 연구에서는 서해로부터 유입되는 미세먼지를 원천적으로 저감시키고, 내륙 발생 및 유입된 미세먼지를 이중 저감할 수 있는 ‘충남형 미세먼지 저감순체계’를 마련하고자 하였다.

2) 충남 미세먼지 주요 발생원 파악

충남형 미세먼지 저감순체계 마련을 위해 우선 충남 미세먼지 주요 발생원을 파악하였다. 충남은 전국 최대 가축사육지역으로서(충남서해안기후환경연구소, 2019) 다양한 악취 유발 오염물질을 배출한다. 특히 암모니아로 인한 미세먼지는 총 미세먼지 발생량의 26~35%이며(김종범 등, 2019), 해수유래 이온들과 반응하여 2차 미세먼지를 생성한다.

축사만큼이나 충남에서 중요한 화력발전소에서는 황산화물(SO_x)을 배출하며, 이는 수증기와 반응하여 황산(H₂SO₄)이 되고(Holt, J. *et al.*, 2015), 암모니아(NH₃) 등과 반응하여 2차 미세먼지를 생성한다(환경부, 2016).

충남은 축사와 발전소와 같이 내륙 자체 발생 미세먼지 이외에도 편서풍에 의한 외부 유입 미세먼지도 심각한 수준이다. 특히, 중국발 미세먼지는 서해를 거쳐 유입되는 과정에서 해수유래 이온들과 반응을 일으켜 새로운 미세입자를 생성시킬 수 있다.

3) 미세먼지취약지역 우선순위 선정

충남의 주요 미세먼지 발생원으로부터 발생하는 미세먼지에 대한 취약지역을 평가하고 이에 대한 우선순위를 설정하였다. 즉, 충남 미세먼지의 주요 발생원이라 할 수 있는 축사와 발전소, 편서풍에 대한 영향권을 분석하고, 이들이 미세먼지취약지역에 미칠 수 있는 강도를 평가하였다. 이를 통해 6개 시·군 전체 면적의 62.2%가 충남 미세먼지에 일정 부분 노출되어 있거나 취약한 곳으로 나타났고, 이 공간에 대해 순위를 부여하였다. 향후 충남의 미세먼지 저감률은 이러한 평가를 통해 도출된 미세먼지취약지역 우선순위를 근거하여 조성 관리될 필요가 있겠다.

4) ‘충남형 미세먼지 저감숲 체계 : 해안림-마을숲-도시숲’ 제시

마지막으로, 서해안의 해안림(1차 차단벽), 읍·면단위 농촌지역의 마을숲(2차 차단벽), 동단위 도시지역의 도시숲(3차 차단벽)을 핵심 구성요소로 설정하고 이들을 공간적으로 구분하여 충남 미세먼지 저감숲 체계를 제시하였다.

특히 해안림에 대해서는 미세먼지저감 기능성 증진을 위해 몇 가지 방안을 제시해 보았는데, 무엇보다 충남 해안림 특성을 고려한 조성 및 복원이 필요하다. 우선 구조적 측면에서 1ha 미만의 해안림 군락을 집중 관리할 필요가 있다. 생태적 측면에서는 소나무, 상수리나무, 갈참나무, 아까시나무, 졸참나무, 귀퉁나무, 진달래, 때죽나무, 개울나무, 그늘사초, 쭉, 청미래덩굴, 산벚나무 조합으로 군집을 조성하는 것이 안정적일 수 있다. 한편, 해안림 복원 우선순위나 이에 대한 복원·관리계획을 지역 차원에서 마련했을 경우 국가는 사유림 매수 자금을 지원하거나 우선적으로 복원·관리를 해주는 것이 바람직하다고 생각한다.

전통 마을숲 복원을 위해서는 역사자료를 근거로 전통 마을숲 부지에 기존 수종으로 복원하는 방법이 있겠다. 추가 마을숲 조성을 위해서는 유흥지 및 개인건축부지를 활용한 소규모 숲 조성이 필요하고, 해안림에 비해 다양한 수종 도입도 가능하다. 무엇보다 과학기술을 접목하여 취약계층 이용시설 주변의 마을숲 기능을 획기적으로 보완해줄 필요가 있다.

미세먼지취약지역 I 등급은 미세먼지 차단 도시숲을 우선 조성할 필요가 있음을 의미하므로 향후 충남은 해당 우선순위를 고려하여 해당 시를 지원하는 것도 광역적 차원에서 의미가 있을 것으로 생각된다. 이러한 측면에서 충남은 당진시의 당진1동, 서산시의 동문동과 읍내동, 보령시 대천1,2,3동 일대에 우선 지원해줄 필요가 있겠다.

2. 정책제언

1) 국가적 기준보다 상향된 감축목표를 지향하는 충남의 노력

충청남도는 2020년 기후환경국 내 미세먼지대책과를 신설하여 미세먼지대책 추진과 대응에 집중하고 있다. 발전부분에서는 12월~3월 화력발전 가동중지 및 상한제약 상시 적용, 발전3사의 자발적 감축 유도, 산업부분에서는 자발적 감축협약 사업장 확대 운영 및 이행상황 점검, 소규모 사업장의 청정연료 전환사업 확대 및 방지사설 설치 지원, 수송부분에서는 노후경유차 운행제한 단속시스템 구축과 친환경차 보급 및 운행차 배출가스 저감사업 추진, 생활부분에서는 미세먼지 감시단 운영, 안심마을 및 안심어린이집을 조성한다.

미세먼지 비상저감조치 대응으로는 기관차량 2부제, 경유관용차량 운행금지, 공공사업장 · 공사장 운영시간 조정, 도로청소강화, 불법소각감시, 배출가스 5등급 차량운행제한, 사업장 · 공사장 가동시간 변경, 가동률조정 또는 방지사설효율 개선을 시행한다.

또한, 권역 내 일정 배출량 이상 사업장에 대한 오염물질 총량관리 시행 등 권역관리체제로 전환한다. 대기관리권역은 충남 내 14개 시 · 군(금산 제외)이며, 대상사업장은 107개 사업장이다. 또한 국가 대기환경관리 기본계획에서 배출허용총량을 확정하고, 확정된 지역별 배출허용총량에 따라 대기관리시행계획 수립, 배출량을 감축하게 된다.

2) 해안림 및 자연공간을 활용한 사업 강화 필요

이상과 같이 충청남도에서 추진하고 있는 미세먼지 관련 과제는 국내배출량 감축에 집중되어 있어 충남 미세먼지 발생원을 분석하여 충남지역에 적합한 저감 방안을 마련하기에는 미흡한 수준으로 보인다. 또한, 이미 발생한 미세먼지를 저감하기 위한 사업도 기술적인 측면에 치우쳐 있고 그나마 자연공간 조성(숲가꾸기, 미세먼지저감 차단숲 조성, 도시바람길 숲 조성 등) 관련 사업은 주로 동단위의 도시지역을 대상으로 하고 있으며, 농촌지역이나 해안지역에 대해서는 추진이 거의 없는 실정이다. 특히, 해안림과 관련해서는 해안침식방지 구조물 조성이 주를 이루고 있고, 해안방재림과의 연계추진을 강조하지만 구체적인 방안 제시는 없는 실정이다. 더욱이 해안림의 방풍기능은 충남에서 매우 중요한 의미임에도 불구하고 편서풍에 실려 오는 외부 미세먼지와 연계한 대책은 전혀 없는 것으로 파악되었다.

이에 이번 연구에서는 지금까지의 연구결과를 바탕으로 해안림, 마을숲, 도시숲에 대해 충남에서 현실성 있게 추진할 필요가 있는 사업을 몇 가지 제안해보고자 한다.

표 26. 충청남도 미세먼지 저감숲 체계 마련을 위한 사업(안)

구분	중점 추진과제		
	과제명	과제내용	
미세먼지저감숲	미세먼지저감관련조림사업	기존	-도시외곽산림, 미립목지, 산업단지 등 미세먼지 발생지역 근교 우선 추진 -도시근교공한지, 산업단지 및 발전소 주변, 그린벨트, 둔치 등 지속 발굴
		제안	-미세먼지취약지역 I 등급 내 우선 조림
	숲가꾸기사업	기존	-도시주변 숲의 건강성 증진을 위한 생활밀착형 숲 가꾸기 추진
		제안	-미세먼지취약지역 I 등급 내 우선 추진
	미세먼지저감차단숲조성사업	기존	-
		제안	-전통마을숲 복원(당진, 서산, 홍성 우선 추진) -미세먼지취약지역 I 등급 내 유흥지 매입 또는 장기 임대 -미세먼지취약지역 I 등급 내 사유지 녹지활용계약* 및 녹화계약** 활성화 -미세먼지 저감장치 병행 설치
	도시바람길숲조성사업	기존	-
		제안	-미세먼지취약지역 I 등급 내 우선 조성 -사유지에 대한 녹지활용계약 및 녹화계약 활성화
해안림	해안지역해안침식방지사업	기존	-구조물 조성
		제안	-미세먼지취약지역 I 등급 우선 복원·관리 -1ha 미만 군락을 1ha 이상으로 확대 조성하거나 주변 해안림과 연결 -미세먼지취약지역 I 등급 내 사유지 녹지활용계약 및 녹화계약 활성화
	지역특화조림사업	기존	-안면소나무(후계림) 육성
		제안	-미세먼지취약지역 I 등급 내 우선 조림 -해안림 내부 및 경계 훼손지(묘지 및 경작지) 우선 매입 또는 장기 임대 -건축물과 해안림 사이 유흥지 매입 및 녹화(또는 자연방치) -충남 해안림 특성을 고려한 복원(소나무, 상수리나무, 갈참나무, 아까시나무, 졸참나무, 귀똥나무, 진달래, 땀죽나무, 개웃나무, 그늘사초, 쑥, 청미래덩굴, 산벚나무 등의 조합으로 군집 조성) -미세먼지 저감장치 병행 설치(배후지역 관광화)

* : '녹지활용계약'란 도시민이 이용할 수 있는 공원녹지를 확충하기 위하여 도시지역의 식생 또는 임상이 양호한 토지의 소유자와 그 토지를 일반 도시민에게 제공하는 것을 조건으로 시장 또는 군수가 해당 토지의 식생 또는 임상의 유지·보존 및 이용에 필요한 지원을 하는 것을 내용으로 하는 계약(도시공원및녹지등에관한법률 제12조_녹지활용계약)

** : '녹화계약'이란 도시 지역 안의 수림대 등의 보호, 해당 지역의 면적 대비 식생 비율의 증가, 해당 지역을 대표하는 식생의 증대 등을 목적으로 시장 또는 군수가 토지 소유자 또는 거주자와 묘목의 제공 등 필요한 지원의 제공을 내용으로 체결하는 계약(도시공원및녹지등에관한법률 제13조_녹화계약)

기존사업 출처 : 충청남도(2020) 2020년도 산림사업 추진계획, 충청남도 내부자료.

참 고 문 헌

- 관계부처합동(2019) 제3차 미세먼지특별대책위원회 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)
- 구민아(2019) 도시근린공원 미세먼지(PM)저감과 공간차폐율과의 관계-대구광역시 수성구 근린공원을 중심으로-, 한국조경학회지 47(6) : 67-77.
- 국립수목원, 한국식물분류학회(2007) 국가표준식물목록. 국립수목원보고서.
- 국립수목원(2005) 한반도 특산 관속식물. 국립수목원보고서.
- 국립환경과학원 (2012) 제4차 전국자연환경조사 지침. 국립환경과학원보고서.
- 국립해양조사원(2014) 제1차 해안선 조사 5년(2001~2013).
- 국립환경과학원(2019) 2016 대기오염물질 배출량 통계
- 국립환경과학원(2019) 2018 대기환경연보
- 국회예산정책처(2019) 미세먼지 대응 사업 분석
- 경기도(2017), 경기도 도시숲 조성 및 관리를 위한 기본계획 수립.
- 경대승(2019) 미세먼지 발생에 따른 도시자원 대응방안 검토, 세종포럼 68 : 81-95.
- 경대승(2019) 미세먼지 처리기법 원리 및 기술개발 동향, 국토 : 34-41, 국토연구원.
- 경대승(2019) 도시 미세먼지저감전략 및 기술개발, 도시내 미세먼지저감을 위한 국회 전문가세미나 발표자료.
- 김철환(2000) 자연환경 평가- I. 식물군의 선정-. 한국환경생물학회지 18(1): 163-198.
- 김진형, 강성원(2018) 국내 미세먼지 오염도에 영향을 미치는 요인에 대한 분석, 한국환경경제학회 하계학술대회논문집.
- 김성용, 장미나, 이영진, 박태완, 장세명, 정성철, 윤호중(2012) 해안방재림 효과 분석을 위한 임목모형 개발, 한국임학회 학술발표논문집 2012(0) : 453-455.
- 김세한, 오충현(2019) 미세먼지저감을 위한 도심 내 뉴-그린 공간 도출, 한국환경생태학회 학술대회논문집 29(2) : 59-60.
- 김정곤, 경대승, 이성희(2019) 미세먼지 저감도시 조성기법 및 사례연구, LH 토지주택연구원.
- 김중범, 이상진, 김동훈(2019) 축산악취관리를 통한 온실가스 미세먼지저감, 충남기후정보브리핑 39(1) : 1-8.
- 김학범, 장동수(1994), 마을숲, 서울:열화당.
- 권진오, 한이채. 2009. 인천지역 해안매립지 적정 수종 선정. 인천발전연구원 연구보고서 2009-42.
- 류형원, 장동호(2019) 미세먼지(PM10) 오염농도와 토지피복간의 상관성 분석을 통한 GWR 모델의 적합성 평가, 한국사건지리학지 29(1) : 73-84.
- 명형남(2016), 석탄화력발전과 미세먼지, CNI세미나(석탄화력발전과 미세먼지 연속세미나)
- 문광주, 채혁기, 전권호, Yang Xiaoyang, Meng Fan, 김대곤, 박현주, 김정수(2018) 중국 초미세먼지 현황 및 정책동향 34(3) : 373-392.
- 미래창조과학부(2017) 다양한 구성요소/발생원을 가진 초미세먼지 발생, 실시간 진단, 위해성 평가, 정화성능 평가 플랫폼 구축 보고서, 광주과학기술원.
- 박기형, 정성철, 배영태, 김찬범, 이창우, 윤호중, 김경하(2012) 해안방재림 조성·복원 및 종합관리 기술 개발, 국립산림과학원
- 박수현, 신준환, 이유미, 임종환, 문정숙(2002) 우리나라 귀화식물의 분포. 임업연구원국립수목원 임업연구원보고서.
- 박수현(1995) 한국 귀화식물 원색도감. 일조각. 서울.
- 박수현(2001) 한국 귀화식물 원색도감-보유편-. 일조각. 서울.
- 박수현(2009) 세밀화와 사진으로 보는 한국의 귀화식물. 일조각. 서울.
- 박우진. 2008. NaCl 처리가 몇 수종의 생육 및 생리적 반응에 미치는 영향. 박사학위 논문. 전북대학교.
- 박찬열, 권진오, 오전학, 구남인, 손정아(2018) 대기오염물질 저감을 위한 도시숲 조성 및 관리 기술 개발-미세먼지를 중심으로-, 국립산림과학원.

- 박해우, 조영민(2013) 미세먼지 관리기준과 발생원별 관리방안, 한국대기환경학회지 29(4) : 486-503.
- 변재경. 2004. 임해매립지에서 복토높이에 따른 토양환경변화 및 수목생장. 박사학위논문. 건국대학교.
- 백성주. 2012. 생태학적 식재를 위한 내염성 및 내조성 자생수종 선발 : 전남 순천만을 중심으로, 석사학위 논문. 순천 대학교.
- 산림청, 국립수목원(2008) 한국 희귀식물 목록집. 국립수목원보고서.
- 신종현, 장세명, 장미나, 이영진, 윤호중(2015) 해안 방재림 조성으로 인한 바람에너지 감소 효과의 정량적 분석-임분밀도 대비 소살률 상관식-, 한국방재학회논문집 15(1) : 361-368.
- 안현진, 한지현, 이미혜, 강은하(2015) 수원시 대기 중 오존과 질소산화물의 장기변동 특성(1991-2012), 한국대기환경학회지 31(4) : 378-384.
- 오현경, 김용식, 김도균(2007), 여수시 장수리, 평사리 방풍림일대의 식물분포와 관리실태, 한국환경복원기술학회지 10(1) : 44-56.
- 이경준, 송재도, 이규화. 2015. 새만금 간척지에서 36종 조경수의 양묘 가능성 검증과 내염성 분류. 한국임학회지 104(4):564-577.
- 이성대, 김문정(2014) 과량의 감쇠 특성을 고려한 해안림의 방재효과, 한국방재학회 14(5) : 381-388.
- 이영노(2006) 새로운 한국식물도감(Ⅰ·Ⅱ). 교학사. 서울.
- 이우철, 임양재(1978) 한반도 관속식물의 분포에 관한 연구. 식물분류학회지 8(부록): 1-33.
- 이우철(1996) 원색 한국기준식물도감. 아카데미서적. 서울.
- 이유미, 박수현, 정수영, 오승환, 양종철(2011) 한국내 귀화식물의 현황과 고찰. 한국식물분류학회지 41(1): 87-101.
- 이윤상, 양승혁, 이승주, 송정민, 강창희, 김인환(2013) 산간과 해안지역 미세먼지의 화학조성 비교, 한국분석과학회 학술대회, 230.
- 이창복(2003) 원색 대한식물도감(상하). 향문사. 서울.
- 이상수, 이원규(2019) 광촉매(TiO₂) 작용을 이용한 미세먼지 저감용 콘크리트 패널의 제조기술, 콘크리트학회지 31(4) : 36-40.
- 장미아, 김남기, 배재수, 김진성(2007), 조선의 임수(역주), (사)생명의숲국민운동.
- 장영기(2016) 미세먼지 오염의 현황과 문제점, 환경논총 58 : 4-13.
- 전근우, 김석우, 김경남, 중도행회, 강기자부(2005) 쓰나미에 대비한 해안림 조성과 비구조물 대책-일본의 사례를 중심으로 -, 한국산림과학회지 94(3) : 197-204.
- 정대영, 최윤의, 전진형(2019) 미세먼지저감 도시숲 조성을 위한 가용공간의 중요도 분석, 한국조경학회지 47(6) : 103-114.
- 주현수, 이승민, 최지원, 김채운, 최민욱, 김기환(2019), 중국의 미세먼지 농도추이 및 한중 간의 오염도 상관관계 분석, 한국환경정책·평가연구원.
- 천만영, 이영재, 김희강(1994) 서울시 부유분진 중 해염입자에 의한 입자상 nitrate 농도, 한국대기보전학회지 10(3) : 191-196.
- 천성남, 박철배, 김동명(2006) 해안지역에서 염분오염의 발생 및 이동 특성, 한국대기환경학회 학술대회논문집 464-466.
- 최광희, 정필도, 김윤미, 서민환(2012), 태풍의 통과로 인한 해안사구 지형의 침식과 회복, 한국지형학회지 19(1) : 17-27.
- 최일홍, 황경희, 이경재. 2002. 임해매립지 조경수목의 피해현황 및 요인분석. 한국환경생태학회지 16(1):10-21.
- 최태형, 강다인, 차재규(2019) 도로변 미세먼지 농도에 대한 녹지와 풍속의 영향 연구, 한국환경생태학회 학술대회논문집 29(2) : 67-68.
- 최태형, 문호경, 강다인, 차재규(2018) 서울시 토지피복에 따른 계절별 미세먼지 농도 차이 분석-산림과 시가지지역을 중심으로-, 환경영향평가 27(6) : 635-646.농림축산식품부 한국농어촌공사(2017) 새만금 방풍림 다목적 활용 방안 마련 연구

- 충청남도(2008) 충청남도 광역생태네트워크 구축을 위한 자연환경조사(2차), 충남연구원.
- 충청남도 보건환경연구원(2019) 2018년 충청남도 대기질 평가보고서.
- 충청남도(2019) 화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구(Ⅱ), 충남연구원.
- 충청남도(2019) 충청남도 보도자료(대형선박미세먼지), 기후환경국 기후환경정책과.
- 충청남도(2020) 충청남도 내부자료(2020년도 산림사업 추진계획)
- 표주원, 이동근(2017) 응축성장을 이용한 PM2.5 초미세먼지의 무필터제거, 대한기체학회논문집 41(4) : 221-228.
- 해양수산부(2019) 선박입출항현황(총괄-연도별)
- 해양수산부(2019) 컨테이너 화물 처리현황
- 환경부(2012) 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률(제23조)-생태계교란생물-.
- 환경부(2014) 제1차 외래생물 관리계획(2014-2018) 외래식물 333종 목록.
- 환경부(2016), 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까
- 환경부(2017) 야생생물 보호 및 관리에 관한 법률(제2조)-멸종위기야생생물 I·Ⅱ급-.
- 환경부(2019) 2018년 대기환경연보
- 환경부(2019) 미세먼지 관리 종합계획.
- 환경부(2019) 보도자료(2019.4.1.)
- 환경부(2015) 지자체 가축사육제한 조례 제·개정 관련 권고안.
- 환경부(2019) 2018년 대기환경연보
- 황광일, 한봉호, 광정인, 박석철(2018) 도로변 완충녹지의 식재구조에 따른 초미세먼지(PM2.5)농도 저감효과 연구, 한국조경학회지 46(4) : 61-75.
- 허희엽, 김진호(2017) 미세먼지저감을 위한 식재기법 및 도시 녹지계획 방향-중국 베이징시 사례를 중심으로-, 한국조경학회지 45(6) : 40-49.
- Braun-Blanquet, J. (1964) Pflanzensoziologie. Grundzueger der Vegetationskunde. Wien. 865pp.
- David J. Nowak, Daniel E. Crane, Jack C. Stevens(2006) Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, Urban forestry & Urban Greening 4 : 115-123.
- Forman, R. T. T. and M. Gordon(1986) Landscape Ecology. Wiley, New York, pp.619.
- Frederic Ledoux, Cloe Roche, Fabrice Cazier, Charles Beaugard, Dominique Courcot(2018) Influence of ship emissions on NOx, SO2, O3 and PM concentrations in a North-Sea harbor in France, Journal of Environmental Sciences 71 : 56-66.
- Jareth Holt, Noelle E. Selin, Susan Solomon(2015) Changes in inorganic fine particulate matter sensitivities to precursors due to large-scale US emissions reductions, Environmental Science and Technology 49(8) : 4834-4841.
- Melchior, H.(1964) A Engler's syllabus der pflanzenfamilien band II. Gebruder Borntraeger. Berlin.
- <http://www.mof.go.kr/statPortal/main/portalMain.do>
- <https://forestforlife.tistory.com/30>
- <https://www.forest.go.kr>
- <https://cafe.naver.com/forestlike/189>
- http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=146&tblId=DT_MLTM_1292
- https://www.index.go.kr/potal/stts/idxMain/selectPoSttsIdxMainPrint.do?idx_cd=1267&board_cd=INDX_001
- <https://news.join.com/article/23286549>

부록 1. 충남 해안림 현장조사 개요

식물에 대한 배열순서와 학명기재는 국립수목원과 한국식물분류학회(2007) 국가표준식물목록과 Engler 분류체계(Melchior, 1964)에 따라 정리하였으며, 가능한 현지에서 동정을 하되, 동정이 불가능한 식물들은 채집하여 이우철(1996)과 이창복(2003) 및 이영노(2006)의 문헌을 바탕으로 동정하였다. 법정보호종은 환경부(2017), IUCN 평가 기준에 따른 희귀식물은 산림청과 국립수목원(2008)의 571분류군, 특산식물은 국립수목원(2005)의 328분류군을 대상으로 하였다. 구계학적 특정식물의 식물구계 구분(이우철과 임양재, 1978)은 북한지역의 3개아구(갑산아구, 관북아구, 관서아구)를 제외한 중부아구, 남부아구, 남해안아구 및 제주아구에 포함(울릉도의 식물상은 4개 아구에 포함되어 이용)되는 식물을 대상으로 우리나라 4,000여종의 관속식물 중 1,071분류군을 5개 등급으로 구분하였다(김철환, 2000). 외래식물은 환경부(2014)에서 제시한 외래식물 333분류군을 기준으로 산정하였다. 생태계교란식물은 환경부(2012)가 “생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률” 제23조에 지정한 14분류군을 기준으로 확인하였다. 식생조사를 위한 조사구 크기는 10m×10m로 정하고, 조사구 내에 출현하는 모든 종을 측정하였다. 교목은 흉고직경을 측정하였으며, 교목을 비롯하여 아교목, 관목, 지피층의 각 층위별 평균 높이와 식피율 등을 조사하여 출현하는 모든 종의 우점도를 판정하였다.

표 1. 구계학적 특정식물의 분류군 및 등급기준

등급	분포역	과	속	분류군	비율(%)
V	고립 혹은 불연속적으로 분포하는 분류군	41	76	83	7.7
IV	4개의 아구 중 1개의 아구에 분포하는 분류군	78	217	314	29.3
III	4개의 아구 중 2개의 아구에 분포하는 분류군	93	223	307	28.7
II	백두대간을 중심으로 1,000m 이상 지역에 분포하는 분류군	43	92	109	10.2
I	4개의 아구 중 3개의 아구에 분포하는 분류군	91	207	258	24.1
합 계		142	559	1,071	100.0

표 2. 우점도의 계급(Braun-Branquet, 1964)

계급	판정기준
5	표본구 면적의 3/4 이상을 덮고, 개체수는 임의
4	표본구 면적의 1/2~3/4을 덮고, 개체수는 임의
3	표본구 면적의 1/4~1/2을 덮고, 개체수는 임의
2	표본구 면적의 1/10~1/4을 덮거나, 개체수가 많다
1	개체수가 많지만 피도 낮다. 혹은 산재하지만 피도는 높다(단 1/10 이하)
+	피도는 낮고 산재
r	고립하여 출현, 피도는 극히 낮다.

부록 2. 충남 해안립 전체 식물상 목록

학명	국명	출현	생활형	귀화종	특산종	구계등급
<i>Petridaceae</i>	고사리과					
<i>Pteridium</i>	고사리속					
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	고사리	●	G			
<i>Aspidiaceae</i>	면마과					
<i>Athyrium</i>	개고사리속					
<i>Athyrium niponicum</i>	개고사리	●	H			
<i>Pinaceae</i>	소나무과					
<i>Larix</i>	잎갈나무속					
<i>Larix leptolepis</i>	일본잎갈나무	●	M	식		
<i>Pinus</i>	소나무속					
<i>Pinus rigida</i>	리기다소나무	●	M	식		
<i>Pinus densiflora</i>	소나무	●	M			
<i>Pinus thunbergii</i>	곰솔	●	M			
<i>Cupressaceae</i>	측백나무과					
<i>Juniperus</i>	향나무속					
<i>Juniperus rigida</i>	노간주나무	●	M			
<i>Salicaceae</i>	버드나무과					
<i>Salix</i>	버드나무속					
<i>Salix glandulosa</i>	왕버들	●	M			I
<i>Juglandaceae</i>	가래나무과					
<i>Platycarya</i>	굴피나무속					
<i>Platycarya strobilacea</i>	굴피나무	●	M			
<i>Betulaceae</i>	자작나무과					
<i>Corylus</i>	개암나무속					
<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>	개암나무	●	M			
<i>Fagaceae</i>	참나무과					
<i>Castanea</i>	밤나무속					
<i>Castanea crenata</i>	밤나무	●	M	식		
<i>Quercus</i>	참나무속					
<i>Quercus acutissima</i>	상수리나무	●	M			
<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	●	M			I
<i>Quercus dentata</i>	떡갈나무	●	M			
<i>Quercus aliena</i>	갈참나무	●	M			
<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	●	M			
<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	●	M			
<i>Ulmaceae</i>	느릅나무과					
<i>Celtis</i>	팽나무속					
<i>Celtis sinensis</i>	팽나무	●	M			
<i>Moraceae</i>	뽕나무과					
<i>Morus</i>	뽕나무속					
<i>Morus bombycis</i>	산뽕나무	●	M			
<i>Morus alba</i>	뽕나무	●	M			

부록 2 계속. 충남 해안림 전체 식물상 목록

학명	국명	출현	생활형	귀화종	특산종	구계등급
<i>Cannabinaceae</i>	삼과					
<i>Humulus</i>	환삼덩굴속					
<i>Humulus japonicus</i>	환삼덩굴	●	Th			
<i>Polygonaceae</i>	마디풀과					
<i>Rumex</i>	소리쟁이속					
<i>Rumex acetocella</i>	애기수영	●	H	귀		
<i>Rumex crispus</i>	소리쟁이	●	H	귀		
<i>Pleuropterus</i>	하수오속					
<i>Pleuropterus multiflorus</i>	하수오	●	G			
<i>Persicaria</i>	여뀌속					
<i>Persicaria thunbergii</i>	고마리	●	Th			
<i>Chenopodiaceae</i>	명아주과					
<i>Chenopodium</i>	명아주속					
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	명아주	●	Th			
<i>Amaranthaceae</i>	비름과					
<i>Achyranthes</i>	쇠무릎속					
<i>Achyranthes japonica</i>	쇠무릎	●	H			
<i>Phytolaccaceae</i>	자리공과					
<i>Phytolacca</i>	자리공속					
<i>Phytolacca americana</i>	미국자리공	●	Th	귀		
<i>Caryophyllaceae</i>	석죽과					
<i>Cerastium</i>	점나도나물속					
<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i>	점나도나물	●	Th			
<i>Stellaria</i>	별꽃속					
<i>Stellaria aquatica</i>	쇠별꽃	●	H			
<i>Stellaria media</i>	별꽃	●	Th			
<i>Melandryum</i>	장구채속					
<i>Melandryum oldhamianum</i> for. <i>roseum</i>	갯장구채	●	Th			I
<i>Ranunculaceae</i>	미나리아재비과					
<i>Clematis</i>	으아리속					
<i>Clematis mandshurica</i>	으아리	●	N			
<i>Clematis apiifolia</i>	사위질빵	●	N			
<i>Lardizabalaceae</i>	으름덩굴과					
<i>Akebia</i>	으름덩굴속					
<i>Akebia quinata</i>	으름	●	N			
<i>Menispermaceae</i>	방기과					
<i>Cocculus</i>	댕댕이덩굴속					
<i>Cocculus trilobus</i>	댕댕이덩굴	●	N			
<i>Magnoliaceae</i>	목련과					
<i>Magnolia</i>	목련속					
<i>Magnolia sieboldii</i>	함박꽃나무	●	M			
<i>Magnolia obovata</i>	일본목련	●	M	식		

부록 2 계속. 충남 해안림 전체 식물상 목록

학명	국명	출현	생활형	귀화종	특산종	구계등급
<i>Lauraceae</i>	녹나무과					
<i>Lindera</i>	생강나무속					
<i>Lindera obtusiloba</i>	생강나무	●	N			
<i>Fumariaceae</i>	현호색과					
<i>Corydalis</i>	현호색속					
<i>Corydalis speciosa</i>	산괴불주머니	●	Th			
<i>Cruciferae</i>	십자화과					
<i>Brassica</i>	배추속					
<i>Brassica juncea</i> var. <i>integrifolia</i>	갓	●	Th	귀		
<i>Lepidium</i>	다닥냉이속					
<i>Lepidium apetalum</i>	다닥냉이	●	Th	귀		
<i>Crassulaceae</i>	돌나물과					
<i>Sedum</i>	돌나물속					
<i>Sedum sarmentosum</i>	돌나물	●	H			
<i>Saxifragaceae</i>	범의귀과					
<i>Ribea</i>	까치밥나무속					
<i>Ribes fasciculatum</i> var. <i>chinense</i>	까마귀밥(여름)나무	●	N			
<i>Rosaceae</i>	장미과					
<i>Rhodotypos</i>	병아리꽃나무속					
<i>Rhodotypos scandens</i>	병아리꽃나무	●	N			I
<i>Duchesnea</i>	뱀딸기속					
<i>Duchesnea chrysantha</i>	뱀딸기	●	H			
<i>Potentilla</i>	양지꽃속					
<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i>	양지꽃	●	H			
<i>Rubus</i>	산딸기속					
<i>Rubus crataegifolius</i>	산딸기	●	N			
<i>Rubus parvifolius</i>	멍석딸기	●	N			
<i>Sanguisorba</i>	오이풀속					
<i>Sanguisorba officinalis</i>	오이풀	●	H			
<i>Rosa</i>	장미속					
<i>Rosa multiflora</i>	찔레꽃	●	N			
<i>Rosa wichuraiana</i>	돌가시나무	●	N			
<i>Rosa rugosa</i>	해당화	●	N			
<i>Prunus</i>	벚나무속					
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	벚나무	●	M	식		
<i>Prunus sargentii</i>	산벚나무	●	M			
<i>Sorbus</i>	마가목속					
<i>Sorbus alnifolia</i>	팔배나무	●	M			
<i>Leguminosae</i>	콩과					
<i>Lespedeza</i>	싸리속					
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	조록싸리	●	N			
<i>Lespedeza bicolor</i>	싸리	●	N			
<i>Lespedeza cuneata</i>	비수리	●	Ch			

부록 2 계속. 충남 해안림 전체 식물상 목록

학명	국명	출현	생활형	귀화종	특산종	구계등급
<i>Vicia</i>	나비나물속					
<i>Vicia angustifolia</i> var. <i>segetilis</i>	살갈퀴	●	H			
<i>Vicia tetrasperma</i>	얼치기완두	●	G			
<i>Pueraria</i>	췌속					
<i>Pueraria thunbergiana</i>	췌	●	M			
<i>Indigofera</i>	땅비싸리속					
<i>Indigofera kirilowii</i>	땅비싸리	●	N			
<i>Robinia</i>	아까시나무속					
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	아까시나무	●	M	귀		
<i>Oxalidaceae</i>	팬이밥과					
<i>Oxalis</i>	팬이밥속					
<i>Oxalis corniculata</i>	팬이밥	●	G			
<i>Rutaceae</i>	운향과					
<i>Zanthoxylum</i>	초피나무속					
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	산초나무	●	N			
<i>Anacardiaceae</i>	옻나무과					
<i>Rhus</i>	불나무속					
<i>Rhus chinensis</i>	불나무	●	N			
<i>Rhus trichocarpa</i>	개옻나무	●	N			
<i>Celastraceae</i>	노박덩굴과					
<i>Euonymus</i>	화살나무속					
<i>Euonymus japonica</i>	사철나무	●	N	식		I
<i>Celastrus</i>	노박덩굴속					
<i>Celastrus orbiculatus</i>	노박덩굴	●	N			
<i>Staphyleaceae</i>	고추나무과					
<i>Staphylea</i>	고추나무속					
<i>Staphylea bumalda</i>	고추나무	●	N			
<i>Sapindaceae</i>	무환자나무과					
<i>Koelreuteria</i>	모감주나무속					
<i>Koelreuteria paniculata</i>	모감주나무	●	M			III
<i>Vitaceae</i>	포도과					
<i>Vitis</i>	포도속					
<i>Vitis flexuosa</i>	새머루	●	M			
<i>Ampelopsis</i>	개머루속					
<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>heterophylla</i>	개머루	●	M			
<i>Parthenocissus</i>	담쟁이덩굴속					
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	담쟁이덩굴	●	M			
<i>Theaceae</i>	차나무과					
<i>Camellia</i>	동백나무속					
<i>Camellia japonica</i>	동백나무	●	M			I
<i>Violaceae</i>	제비꽃과					
<i>Viola</i>	제비꽃속					
<i>Viola collina</i>	둥근털제비꽃	●	H			
<i>Elaeagnaceae</i>	보리수나무과					
<i>Elaeagnus</i>	보리수나무속					
<i>Elaeagnus umbellata</i>	보리수나무	●	N			

부록 2 계속. 충남 해안림 전체 식물상 목록

학명	국명	출현	생활형	귀화종	특산종	구계등급
<i>Araliaceae</i>	두릅나무과					
<i>Kalopanax</i>	읍나무속					
<i>Kalopanax pictus</i>	읍나무	●	M			
<i>Aralia</i>	두릅나무속					
<i>Aralia continentalis</i>	독활	●	H			
<i>Umbelliferae</i>	산형과					
<i>Sanicula</i>	참반디속					
<i>Sanicula chinensis</i>	참반디	●	H			
<i>Anthriscus</i>	전호속					
<i>Anthriscus sylvestris</i>	전호	●	H			
<i>Pyrolaceae</i>	노루발과					
<i>Pyrola</i>	노루발속					
<i>Pyrola japonica</i>	노루발	●	H			
<i>Ericaceae</i>	진달래과					
<i>Rhododendron</i>	진달래속					
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	진달래	●	N			
<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>	산철쭉	●	N			
<i>Symplocaceae</i>	노린재나무과					
<i>Symplocos</i>	노린재나무속					
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	노린재나무	●	N			
<i>Symplocos paniculata</i>	검노린재	●	N			
<i>Styracaceae</i>	매죽나무과					
<i>Styrax</i>	매죽나무속					
<i>Styrax japonica</i>	매죽나무	●	M			
<i>Oleaceae</i>	물푸레나무과					
<i>Ligustrum</i>	귀퉁나무속					
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	귀퉁나무	●	N			
<i>Asclepiadaceae</i>	박주가리과					
<i>Metaplexis</i>	박주가리속					
<i>Metaplexis japonica</i>	박주가리	●	G			
<i>Convolvulaceae</i>	메꽃과					
<i>Calystegia</i>	메꽃속					
<i>Calystegia soldanella</i>	갯메꽃	●	H			I
<i>Verbenaceae</i>	마편초과					
<i>Callicarpa</i>	작살나무속					
<i>Callicarpa japonica</i>	작살나무	●	N			
<i>Labiatae</i>	꿀풀과					
<i>Meehania</i>	별개덩굴속					
<i>Meehania urticifolia</i>	별개덩굴	●	H			
<i>Lycopus</i>	썩사리속					
<i>Lycopus ramosissimus</i> var. <i>japonicus</i>	썩사리	●	G			
<i>Isodon</i>	산박하속					
<i>Isodon inflexus</i>	산박하	●	H			
<i>Solanaceae</i>	가지과					

부록 2 계속. 충남 해안림 전체 식물상 목록

학명	국명	출현	생활형	귀화종	특산종	구계등급
<i>Solanum</i>	가지속					
<i>Solanum lyratum</i>	배풍등	●	Ch			
<i>Scrophulariaceae</i>	현삼과					
<i>Scrophularia</i>	현삼속					
<i>Scrophularia koraiensis</i>	토현삼	●	H			III
<i>Mazus</i>	주름잎속					
<i>Mazus miquelii</i>	누운주름잎	●	H			
<i>Mazus pumilus</i>	주름잎	●	Th			
<i>Phrymaceae</i>	파리풀과					
<i>Phryma</i>	파리풀속					
<i>Phryma leptostachya</i> var. <i>asiatica</i>	파리풀	●	H			
<i>Plantaginaceae</i>	질경이과					
<i>Plantago</i>	질경이속					
<i>Plantago asiatica</i>	질경이	●	H			
<i>Rubiaceae</i>	꼭두서니과					
<i>Paederia</i>	계요등속					
<i>Paederia scandens</i>	계요등	●	N			
<i>Rubia</i>	꼭두서니속					
<i>Rubia akane</i>	꼭두서니	●	G			
<i>Rubia cordifolia</i> var. <i>pratensis</i>	갈퀴꼭두서니	●	G			
<i>Galium</i>	갈퀴덩굴속					
<i>Galium spurium</i>	갈퀴덩굴	●	Th			
<i>Caprifoliaceae</i>	인동과					
<i>Viburnum</i>	산분꽃나무속					
<i>Viburnum dilatatum</i>	가막살나무	●	N			
<i>Lonicera</i>	인동속					
<i>Lonicera japonica</i>	인동	●	N			
<i>Compositae</i>	국화과					
<i>Leibnitzia</i>	숨나물속					
<i>Leibnitzia anandria</i>	숨나물	●	H			
<i>Aster</i>	참취속					
<i>Aster tataricus</i>	개미취	●	G			
<i>Aster subulatus</i>	비짜루국화	●	Th	귀		
<i>Erigeron</i>	망초속					
<i>Erigeron annuus</i>	개망초	●	Th	귀		
<i>Erigeron canadensis</i>	망초	●	Th	귀		
<i>Petasites</i>	머위속					
<i>Petasites japonicus</i>	머위	●	H			
<i>Chrysanthemum</i>	산국속					
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	구절초	●	H			
<i>Chrysanthemum boreale</i>	산국	●	H			
<i>Artemisia</i>	쑥속					
<i>Artemisia selengensis</i>	물쑥	●	H			I
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	쑥	●	H			

부록 2 계속. 충남 해안림 전체 식물상 목록

학명	국명	출현	생활형	귀화종	특산종	구계등급
<i>Bidens</i>	도깨비바늘속					
<i>Bidens bipinnata</i>	도깨비바늘	●	Th			
<i>Taraxacum</i>	민들레속					
<i>Taraxacum officinale</i>	서양민들레	●	H	귀		
<i>Ixeris</i>	썸바귀속					
<i>Ixeris dentata</i>	썸바귀	●	H			
<i>Ixeris chinensis</i> var. <i>strigosa</i>	선썸바귀	●	H			
<i>Lactuca</i>	왕고들빼기속					
<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>	왕고들빼기	●	Th			
<i>Sonchus</i>	방가지뚥속					
<i>Sonchus oleraceus</i>	방가지뚥	●	Th	귀		
<i>Youngia</i>	고들빼기속					
<i>Youngia japonica</i>	뽕리뱅이	●	H			
<i>Youngia denticulata</i>	이고들빼기	●	Th			
<i>Gramineae</i>	벼과					
<i>Alopecurus</i>	뚝새풀속					
<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	뚝새풀	●	Th			
<i>Avena</i>	귀리속					
<i>Avena fatua</i>	메귀리	●	Th	귀		
<i>Phalaris</i>	갈풀속					
<i>Phalaris arundinacea</i>	갈풀	●	H			
<i>Agropyron</i>	개밀속					
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	개밀	●	Th			
<i>Bromus</i>	참새귀리속					
<i>Bromus japonicus</i>	참새귀리	●	Th			
<i>Dactylis</i>	오리새속					
<i>Dactylis glomerata</i>	오리새	●	H	귀		
<i>Lolium</i>	호밀풀속					
<i>Lolium perenne</i>	호밀풀	●	H	귀		
<i>Festuca</i>	김의털속					
<i>Festuca arundinacea</i>	큰김의털	●	H	귀		
<i>Festuca ovina</i>	김의털	●	H			
<i>Poa</i>	포아풀속					
<i>Poa sphondylodes</i>	포아풀	●	H			
<i>Arundinella</i>	새속					
<i>Arundinella hirta</i>	새	●	H			
<i>Setaria</i>	강아지풀속					
<i>Setaria viridis</i>	강아지풀	●	Th			
<i>Oplismenus</i>	주름조개풀속					
<i>Oplismenus undulatifolius</i>	주름조개풀	●	H			
<i>Miscanthus</i>	억새속					
<i>Miscanthus sinensis</i>	참억새	●	H			
<i>Spodiopogon</i>	기름새속					
<i>Spodiopogon cotulifer</i>	기름새	●	H			

부록 2 계속. 충남 해안림 전체 식물상 목록

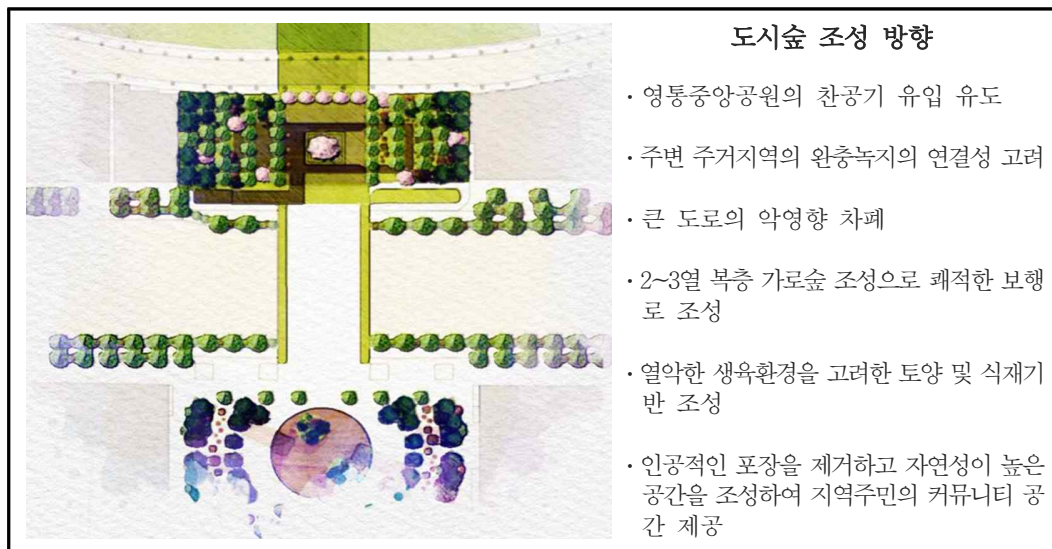
학명	국명	출현	생활형	귀화종	특산종	구계등급
<i>Cymbopogon</i>	개솔새속					
<i>Cymbopogon tortilis</i> var. <i>goeringii</i>	개솔새	●	H			
<i>Ischaemum</i>	쇠보리속					
<i>Ischaemum antheophoroides</i>	갯쇠보리	●	H			I
<i>Cyperaceae</i>	사초과					
<i>Carex</i>	사초속					
<i>Carex kobomugi</i>	통보리사초	●	G			I
<i>Carex lanceolata</i>	그늘사초	●	H			
<i>Carex siderosticta</i>	대사초	●	H			
<i>Araceae</i>	천남성과					
<i>Pinellia</i>	반하속					
<i>Pinellia ternata</i>	반하	●	G			
<i>Arisaema</i>	천남성속					
<i>Arisaema amurense</i> var. <i>serratum</i>	천남성	●	G			
<i>Commelinaceae</i>	닭의장풀과					
<i>Commelina</i>	닭의장풀속					
<i>Commelina communis</i>	닭의장풀	●	Th			
<i>Juncaceae</i>	굴풀과					
<i>Luzula</i>	꿩의밥속					
<i>Luzula capitata</i>	꿩의밥	●	H			
<i>LiLiaceae</i>	백합과					
<i>Hemerocallis</i>	원추리속					
<i>Hemerocallis fulva</i>	원추리	●	G			
<i>Allium</i>	부추속					
<i>Allium monanthum</i>	달래	●	G			
<i>Lilium</i>	백합속					
<i>Lilium tigrinum</i>	참나리	●	G			
<i>Polygonatum</i>	동굴레속					
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>	동굴레	●	G			
<i>Disporum</i>	애기나리속					
<i>Disporum smilacinum</i>	애기나리	●	G			
<i>Liriope</i>	맥문동속					
<i>Liriope platyphylla</i>	맥문동	●	G			
<i>Smilax</i>	청미래덩굴속					
<i>Smilax nipponica</i>	선밀나물	●	G			
<i>Smilax china</i>	청미래덩굴	●	N			
<i>Smilax sieboldii</i>	청가시덩굴	●	N			
<i>Dioscoreaceae</i>	마과					
<i>Dioscorea</i>	마속					
<i>Dioscorea japonica</i>	참마	●	G			
<i>Dioscorea quinqueloba</i>	단풍마	●	G			
종수		160				

부록 3. 충남 해안림 식생조사표 사례

조사일	2020. 5. 2			조사자 : 이상화 (서명)		해발 : 5m			
조사지점 : 보령2(지점번호 15)				좌표	N :36도28분17초		면적 : 10×10m²		
상관식생 : 소나무					E :126도29분20초		경사 : 30°		방위 : 170°
지형 : <input type="checkbox"/> 산정, <input type="checkbox"/> 산능선, <input checked="" type="checkbox"/> 사면(상,중,하,凹,凸), <input type="checkbox"/> 계곡, <input type="checkbox"/> 조금높은평지, <input type="checkbox"/> 평지								낙엽부식층 cm	
층위별	높이(m)	식피율(%)		우점종	특기사항 :				
교목층(T1)	12	80		소나무					
아교목층(T2)	5	40		갈참나무					
관목층(S)	1.2	40		갈참나무					
초본층(H)	0.3	20		그늘사초					
우점종 DBH	최대(35cm), 중간(30cm), 최소(25cm)								
No ·	교목층(T1)			아교목층(T2)		관목층(S)		초본층(H)	
	종명	피도	DBH	종명	피도	종명	피도	종명	피도
1	소나무	4	35	갈참나무	3	갈참나무	3	그늘사초	2
2			30	상수리나무	1	개울나무	+	쫄레꽃	+
3			25	산벚나무	1	상수리나무	1	상수리나무	+
4			25			붉나무	1	인동	r
5			25			보리수나무	+	떡갈나무	+
6	곰솔	2	25			쫄레꽃	+	개울나무	+
7			25			노간주나무	+	미국자리공	r
8						떡갈나무	+	갈참나무	r
9						개암나무	+	명석딸기	r
10								댕댕이덩굴	r
11								참마	r
12								선밀나물	r

부록 4. 경기도 도시숲 사례

경기도는 주로 서해와 맞닿아 있는 서부지역의 미세먼지가 높은 편인데, 이는 경기도의 산업단지가 서쪽 해안 부근에 주로 위치하고, 중국에서 넘어온 미세먼지의 영향도 있을 것으로 예상된다. 또한, 농지 분포가 많은 지역에서 미세먼지 분포가 높은 경향을 보여 농지의 영향도 클 것으로 유추하고 있다. 이에 경기도(2017)는 미세먼지와 폭염에 대한 대책 시범사업지로 수원의 도시숲을 구상하였다.



미세먼지와 폭염을 위한 대책 시범사업지 : 수원의 도시숲

출처 : 경기도(2017), 경기도 도시숲 조성 및 관리를 위한 기본계획 수립.

경기도는 도로 및 자동차에서 발생하는 미세먼지, 매연 및 아스팔트 복사열 등에 직접 노출된 가로 보행자를 보호하는 것을 목적을 도로변에 상록성 관목을 식재하는 ‘도로변 초록담 조성사업(5년간 120km, 240억원)’을 추진하고 있다. 이는 기존 낙엽관목, 초본류 녹지가 이른 봄 잎 나기 전 미세먼지 저감 효과가 미흡한 것을 보완하기 위함도 있다.

사업대상지는 유치원, 초등학교 등 미세먼지 등에 취약한 어린이 통행이 많은 학교 주변 도로 한정하였다. 차량에서 배출되는 미세먼지 등의 저감을 위해 중앙분리대, 가로수 띠 녹지를 조성하는데, 도시지역 내 차도와 연접하여 폭 4m 이상 보도를 우선 대상지로 선정하였다. 또한, 시행자(지자체)와 주민의 충분한 협의를 통해 선정(구도심 등 취약지역)하였다.

수종은 회양목, 사철나무, 측백나무, 서양측백나무 등 지역여건에 따라 적합한 상록관목으로 선정하였다. 식재 기준으로는 수고 0.6~1.5m 범위에서 교통안전 등 도로 여건에 따라 조정이 가능하고, 폭은 최소 0.8m 이상(여건에 따라 변경 가능), 밀도는 m²당 6~10주를 제시하였다.

경기도 초록담 조성사업 개요

구 분		계	2020	2021	2022	2023	2024
사 업 량(km)		120	10	20	30	30	30
사업비 (억원)	합 계	240	20	40	60	60	60
	도 비(30%)	72	6	12	18	18	18
	시·군비(70%)	168	14	28	42	42	42

- 학교주변, 보도폭 4m이상 우선 선정 시범 실시 후 확대.
- 출처 : 이양주(경기연구원, 경기도 내부자료).



그림 34. 미세먼지와 폭염을 위한 경기 초록담 조성사업

출처 : 경기도(2017), 경기도 도시숲 조성 및 관리를 위한 기본계획 수립.

■ 집 필 자 ■

연구책임 · 사공정희 충남연구원 책임연구원

공동연구 · 백 승 희 충남연구원 연구원

내부자문 · 이 상 신 충남연구원 전임책임연구원

외부자문 · 경 대 승 울산대학교 교수

· 이 상 화 녹색마당 대표

전략연구 2020-00 · 충남 미세먼지취약지역 선정 및 미세먼지 저감숲 체계 마련

글쓴이·사공정희, 백승희

발행자·윤황 / 발행처·충남연구원

인쇄·2020년 12월 31일 / 발행·2020년 12월 31일

주소·충청남도 공주시 연수원길 73-26 (314-140)

전화·041-840-1275(공간·환경연구실) 041-840-1114(대표) / 팩스·041-840-1129

ISBN·978-89-6124-274-5 03350

<http://www.cni.re.kr>

© 2020. 충남연구원

■ 이 책에 실린 내용은 출처를 명기하면 자유로이 인용할 수 있습니다.

무단전재하거나 복사, 유통시키면 법에 저촉됩니다.

■ 연구보고서의 내용은 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.