

홍성군 미세먼지 발생현황 조사

명 형 남 충남연구원 공간·환경연구실 책임연구원 myunghn@cni.re.kr

본 연구는 홍성군의 미세먼지 발생 예방 및 저감을 위한 정책수립에 있어 기초자료를 분석하는데 목적이 있음

CONTENTS

1. 연구개요
2. 미세먼지 발생유형 및 건강영향
3. 미세먼지 배출원별 배출량과 기여율
4. 미세먼지 농도 변화 및 외부요인
5. 미세먼지 관련 질환자 추이
6. 결론 및 정책제언

요약

- 홍성군의 대기오염물질(미세먼지포함) 총 배출량은 17,528톤으로 충남 15개 시·군 중에서 8번째로 많았고, 대기오염물질 중에서는 미세먼지의 전구물질로 알려진 암모니아(NH_3)의 배출량이 가장 많았음('16년 기준)
- 예산군의 총먼지(TSP) 배출량 기여율은 비산먼지부문(88%)이 가장 많았음. 미세먼지(PM_{10}) 배출량 기여율은 비산먼지부문(79%)에서 가장이 가장 많았으며 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$) 배출량 기여율 역시 비산먼지부문(42%), 그다음은 생물성연소부문(33%)에서 많았음. 미세먼지의 전구물질인 암모니아(NH_3)는 농업부문(99%)에서 가장 많았음
- 홍성군의 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$) 연평균 농도가 $24 \text{ ug}/\text{m}^3$ ('18년 기준)으로, 당진, 천안 다음으로 3번째로 높았음. 이는 환경기준을 약 1.6배 초과하는 수치임. 인접지역의 석탄화력발전소 등 대형점오염원에 기인한 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$)의 월평균 기여농도는 지역별·계절별로 다르게 나타나고 있으나 7월과 10월에 기여농도가 높았음
- 미세먼지 관련 질환자 추이를 분석한 결과, 폐암 연령표준화 사망률은 '12년 대비 '17년에 증가하는 양상을 보이고 있음. 향후 측정망 농도자료가 축적되면 응급실방문과 병원입원과의 연계분석도 필요함
- 미세먼지 발생 유형(도시형+농촌형)에 맞춘 미세먼지 다량 배출원 저감관리 필요, 미세먼지 고농도 발생지역 분석으로 취약지역·계층관리, 리빙랩 시범사업, 장기적 관리차원에서 미세먼지 저감정책추진을 위한 전략수립이 필요

차 례

I. 연구개요	1
1. 연구 배경 및 필요성	1
2. 연구 목적	2
II. 미세먼지 발생유형 및 건강영향	3
1. 정의와 발생유형	3
2. 건강영향	5
III. 미세먼지 배출원별 배출량과 기여율	7
1. 대기오염물질(미세먼지) 배출량	7
2. 대기오염물질(미세먼지) 배출원별 배출량	9
3. 대기오염물질(미세먼지)별 배출량 기여율	9
4. 미세먼지의 연료별 배출량	14
IV. 미세먼지 농도변화 및 외부요인	15
1. 연평균 농도변화	15
2. 외부요인	19
V. 미세먼지 관련 질환자 추이	23
VI. 결론 및 정책제언	26
1. 결론	26
2. 정책제언	28
참고문헌	33

1. 연구 배경 및 필요성

- 전국적으로 미세먼지 연평균 농도가 '15년 이후 낮아지는 경향을 보이고 있으나, 기준이 강화되면서 향후 미세먼지 나쁨 일수는 증가할 것으로 예상됨
 - 전국 미세먼지 연평균 농도는 '15년 $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 '18년 $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 감소하는 경향을 보임
 - 전국 미세먼지 나쁨 일수는 '15년 62일에서 '18년 59일로 감소하는 경향을 보이고 있으나, 기준이 강화되면서 향후 나쁨 일수는 증가할 것으로 예상됨
- 충청남도 역시 연평균 농도와 나쁨 일수에 있어 전국과 유사한 패턴을 보이고 있음
 - 충청남도 미세먼지 연평균 농도는 '15년 $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 '18년 $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 감소하는 경향을 보임
 - 충청남도 미세먼지 나쁨 일수는 '15년 72일에서 '18년 52일로 감소하는 경향을 보임
- 홍성군¹⁾의 경우, 산업단지·축사밀집지역·인근지역 영향으로 미세먼지 농도가 지속적으로 높아질 것으로 예상되며 이로 인해 미세먼지와 건강에 대한 주민들의 우려는 증가할 것임
 - 홍성군은 '19년 1월을 기준으로 10개 산업단지가 분포되어 있으며 2차 미세먼지 생성의 전구 물질로 작용하는 암모니아를 다량 발생하는 축사밀집지역임
 - 홍성군은 보령시·서산시와 같이 대기오염물질 다량배출사업장이 분포되어 있는 인접지역으로서 계절에 따라 그 영향을 받을 것으로 예상됨

1) 홍성군의 미세먼지 농도는 '17년 5월부터 에어코리아에 공식적인 자료가 표출되기 시작하였음('16년에 대기오염측정망이 설치되었고 그 이전에는 대기오염측정망이 없었음)

- 미세먼지로 인한 홍성군민의 건강을 보호하고 군민이 쾌적한 환경에서 생활할 수 있도록 미세먼지 발생 예방 및 저감을 위한 정책수립이 필요하며 이를 위해 기초자료를 분석할 필요가 있음

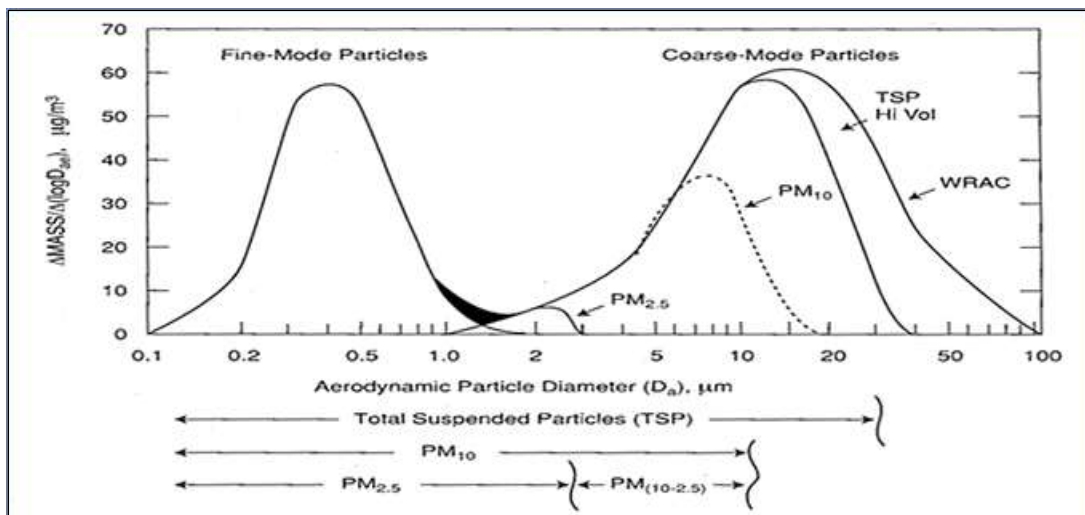
2. 연구 목적

- 본 연구는 홍성군의 미세먼지 발생 예방 및 저감을 위한 정책수립에 있어 기초자료를 분석하는데 목적이 있음
 - 미세먼지 배출원별 배출량
 - 미세먼지 배출원별 배출량 기여율
 - 미세먼지 농도 변화
 - 미세먼지 관련 질환자 추이
 - 홍성군 미세먼지 저감 대응방향 제언 등

1. 정의와 발생유형

(1) 정의

- 공기 중 고체 상태와 액적 상태 입자의 혼합물을 미세먼지라 정의하며 그 입자의 직경에 따라 $2.5\ \mu\text{m}$ 까지는 $\text{PM}_{2.5}$ 로 구분하고 $10\ \mu\text{m}$ 까지는 PM_{10} 이라 구분함
 - 사람의 머리카락과 비교해 보면 머리카락 직경 $50\sim 70\ \mu\text{m}$ 의 $1/20\sim 1/30$ 의 크기보다 작은 입자로서 눈에 보이지 않음



〔그림 1〕 대기 중 입자상 물질의 입경분포

자료: USEPA(미국환경청), 2009(원문), 석탄화력발전과 미세먼지 발표자료, 명형남, 2016(재인용)

- 미세먼지의 발생은 자연적인 발생과 인위적인 발생으로 구분하며 인위적인 발생은 1차·2차 발생으로 구분되어짐

- [자연발생] 바닷물이 증발해서 생성된 소금입자, 흙먼지, 화산폭발 등으로 자연 중에서 만들어짐
- [인위적 발생] 1차 미세먼지는 산업시설·자동차 배기가스·비산먼지 등과 같은 배출원에서 직접 배출되는 먼지이며, 2차 미세먼지는 가스형태의 물질들이 대기 중으로 배출될 때 기온의 영향으로 응결되면서 생성되는 것과 황산화물(SO_x)·질소산화물(NO_x)·휘발성유기화합물(VOCs)·암모니아(NH₃) 등의 대기오염물질이 대기 중에서 전구물질로 작용하여 물리·화학적 반응을 통해 생성되는 미세먼지임

(2) 발생유형

- 미세먼지가 발생하는 과정에 있어, 주요 배출원과 배출물질에 따라 미세먼지의 발생유형을 도시형과 농촌형으로 구분할 수 있음

- [도시형] 석탄·석유 등의 화석연료를 연소하거나 공장·자동차 등의 배출가스에서 미세먼지가 생성되는 유형
- [농촌형] 축산이나 비료사용 농경지, 농업기계, 불법소각이 미세먼지 농도를 높이는 주요 원인으로 지목되고 있음. 축산분야에서 발생하는 암모니아는 황산화물과 결합하여 황산암모늄을 발생시키고 질소산화물과 반응하여 질산암모늄을 발생시키는데, 발생한 황산암모늄과 질산암모늄은 미세먼지의 전구물질로 작용함(그림 2)

- 홍성군은 도시형과 농촌형의 복합형으로서 도시유형의 미세먼지 특성과 농촌유형의 미세먼지 특성이 동시에 나타날 것으로 추정되고 있음



[그림 2] 미세먼지의 전구물질인 황산암모늄과 질산암모늄 발생과정

2. 건강영향

- 미세입자들은 탄소(C)물질, 다핵 방향족 탄화수소(PAH), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 니켈(Ni), 황산염(SO_4^{2-}), 질산염(NO_3^-)과 같은 중금속과 이온성분 등의 오염물질이 축적되면서 구성된 것으로 입자의 크기, 표면적, 화학적 성분 구성에 따라 건강영향을 결정하는 것으로 알려져 있음
- 미국환경청(EPA)에서는 다양한 수준의 연구대상, 연구방법, 연구결과를 보이고 있는 미세먼지에 관련된 수많은 역학연구들에 대해 종합적으로 평가해서 인과관계가 분명(Causal), 인과관계가 분명해 보이나 일부 불일치(Likely to be), 인과관계일 가능성 높음(Suggestive), 인과관계를 논하기에 자료가 부족(Inadequate)과 같이 4단계로 구분하였음(표 1)
 - 단기간 노출의 경우 사망률, 심혈관계 질환에 의한 응급실 방문과 병원입원에 분명한 인과관계가 있었음
 - 장기간 노출의 경우 심혈관계 및 폐암 사망률에 분명한 인과관계가 있다고 평가함

[표 1] 미세먼지(PM_{2.5})의 장·단기간 건강영향

구분	건강영향	세부영향	인과 관계
단 기 간	사망률	모든 종류의 사망률, 심혈관계질환 사망률, 호흡기계질환 사망률	인과관계(Causal)
	심혈관계 영향	심혈관계 질환으로 인한 응급실방문 및 병원입원	인과관계(Causal)
	호흡기계 영향	만성폐쇄성폐질환(COPD), 호흡기염증으로 인한 응급실 방문 및 병원입원, 천식으로 인한 응급실 방문 및 병원입원	인과관계가 분명해 보이나 일부불일치 (Likely to be Causal)
장 기 간	사망률	심혈관계 질환 사망률, 폐암 사망률	인과관계(Causal)
	심혈관계 영향	심혈관계 질환 사망률	인과관계(Causal)
	호흡기계 영향	폐 기능 성장 감소, 폐 증상 증가, 천식 등	인과관계가 분명해 보이나 일부불일치 (Likely to be Causal)
	생식과 발생에의 영향	체중, 영아사망률	인과관계일 가능성 높음 (Suggestive)
	암, 돌연변이 등	폐암 사망률	인과관계일 가능성 높음 (Suggestive)

자료: 현안과제, 명형남, 2018(재인용)

03

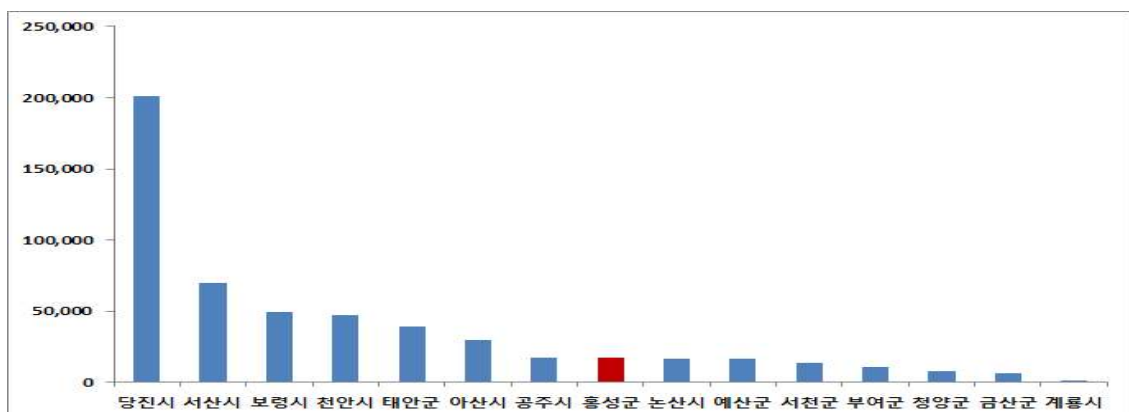
미세먼지 배출원별 배출량과
기여율

1. 대기오염물질(미세먼지) 배출량

(1) 대기오염물질 총 배출량

- 충남 시군별 대기오염물질의 배출량은 2016년을 기준으로²⁾ 당진시가 가장 많았고, 홍성군의 대기오염물질 배출량은 15개 시군 중에 8번째로 많았음(그림 3)
 - 당진시가 200,933 ton(36.8%)으로 충남1위, 서산시가 69,687 ton(12.8%)으로 충남 2위, 보령시가 49,826 ton(9.1%)으로 충남 3위인 것으로 나타남
 - 홍성군은 17,528 ton(3.2%)으로 충남 8위였음

(단위: Ton)



〔그림 3〕 충남 시군별 대기오염물질 배출량(2016년)

자료: 저자 작성

2) 본 연구에서는 국립환경과학원에서 발간한 가장 최신자료인 2016년의 국가 대기오염물질 배출량자료를 분석하였음

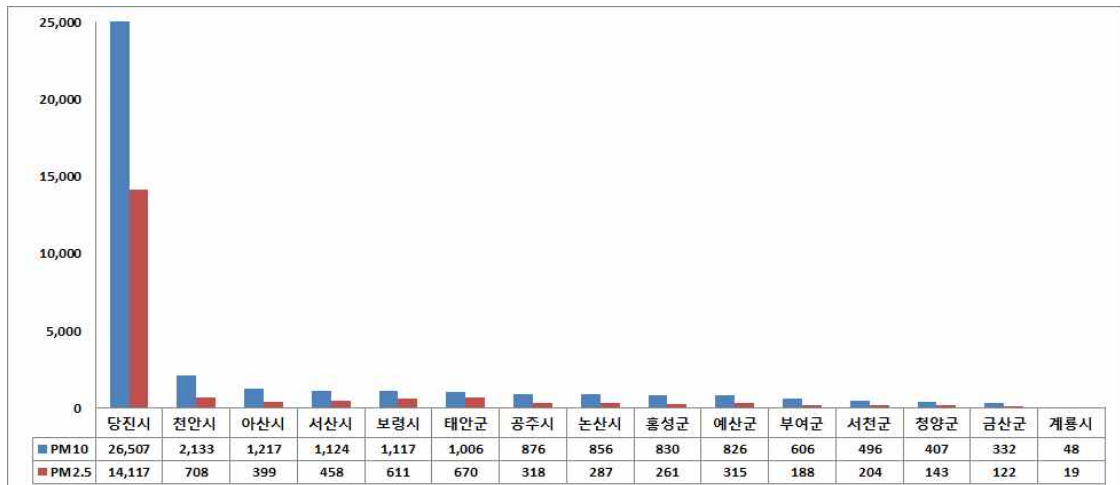
(2) 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량

- 충남 시군별 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량은 2016년 기준으로 당진시가 가장 많았고, 홍성군의 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량은 15개 시군 중에 9번째, 10번째로 많았음(그림 4)

-미세먼지(PM₁₀)는 당진시가 26,507 ton(69.0%)으로 충남 1위, 천안시가 2,133 ton(5.6%)으로 충남 2위, 아산시가 1,217 ton(3.2%)으로 충남 3위였음. 홍성군은 830 ton(2.2%)으로 충남 9위 이였음

- 미세먼지(PM_{2.5}) 역시 당진시가 14,117 ton(75.0%)으로 충남 1위, 천안시가 708 ton(3.8%)으로 충남 2위였음. 홍성군은 261 ton(1.4%)으로 충남 10위 이였음

(단위: Ton)



[그림 4] 충남 시군별 미세먼지 배출량(2016년)

자료: 저자 작성

2. 대기오염물질(미세먼지) 배출원별 배출량

- 홍성군의 대기오염물질 배출원별 배출량은 농업분야에서 가장 많이 배출되며 그 다음은 비산먼지, 생물성연소의 순서였음(표 2)
 - 농업분야의 배출량은 6,965,564 kg으로 가장 많았고 그다음은 비산먼지가 3,270,297 kg, 생물성연소 2,857,059 kg의 순서였음
 - 그 다음은 도로이동 오염원 1,892,146 kg, 비도로이동오염원 976,815 kg, 유기용제 사용 952,881 kg, 비산업 연소 343,283 kg, 제조업 연소 79,409 kg 의 순서였음

3. 대기오염물질(미세먼지)별 배출량 기여율

- 홍성군의 대기오염물질 중에서 가장 많이 배출되는 오염물질은 암모니아(NH_3)이며 그 다음은 일산화탄소(CO), 총먼지(TSP), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOC), 미세먼지(PM_{10}), 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$), 황산화물(SO_x)의 순서였음(표 2)
 - 암모니아(NH_3)는 7,008,150 kg으로 가장 많았고, 그 다음은 일산화탄소(CO) 2,867,525 kg, 총먼지(TSP) 2,844,758 kg, 질소산화물(NO_x) 1,999,543 kg, 휘발성유기화합물(VOC) 1,658,560 kg, 미세먼지(PM_{10}) 829,851 kg, 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$) 260,899 kg, 황산화물(SO_x) 59,127 kg의 순서였음
- 홍성군의 미세먼지(PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) 배출원별 배출량은 <표 2>, <그림 5>와 같음
 - 미세먼지(PM_{10})배출량은 비산먼지가 652,544 kg으로 가장 많았고 그다음은 생물성연소가 105,848 kg, 비도로이동오염원 34,131 kg, 도로이동오염원 31,082 kg의 순서였음
 - 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$)배출량은 비산먼지가 110,054 kg으로 가장 많았고 그 다음은 생물성연소가 84,493 kg, 비도로이동오염원 31,421 kg, 도로이동오염원 28,596 kg의 순서였음

[표 2] 홍성군 대기오염물질(미세먼지) 부문별 배출량

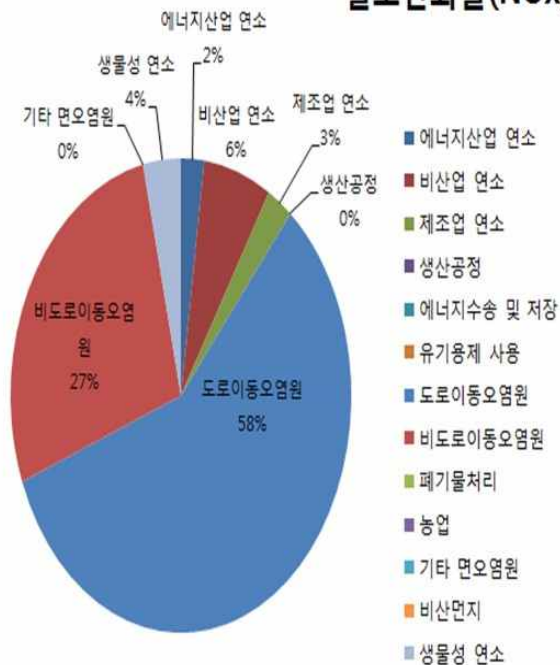
(단위 : kg)

배출원 대분류	CO	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3	합계
에너지산업 연소	11,648	43,802	75	271	271	271	1,578	383	58,299
비산업 연소	155,794	128,775	41,491	4,677	3,974	2,560	2,981	3,031	343,283
제조업 연소	11,126	49,236	13,845	1,038	961	569	1,864	770	79,409
생산 공정	3	136	88	3	3	2	3,976	-	4,211
에너지 수송 및 저장	-	-	-	-	-	-	71,690	-	71,690
유기용제 사용	-	-	-	-	-	-	952,881	-	952,881
도로이동 오염원	537,124	1,159,592	580	31,082	31,082	28,596	91,579	12,511	1,892,146
비도로이동 오염원	253,598	546,297	2,521	34,131	34,131	31,421	73,954	762	976,815
폐기물 처리	-	-	-	-	-	-	177	22	199
농업	-	-	-	-	-	-	-	6,965,564	6,965,564
기타 면오염원	25,279	595	-	1,632	1,037	933	2,091	24,993	56,560
비산먼지	-	-	-	2,507,699	652,544	110,054	-	-	3,270,297
생물성 연소	1,872,953	71,110	527	264,225	105,848	86,493	455,789	114	2,857,059
합계	2,867,525	1,999,543	59,127	2,844,758	829,851	260,899	1,658,560	7,008,150	17,528,413

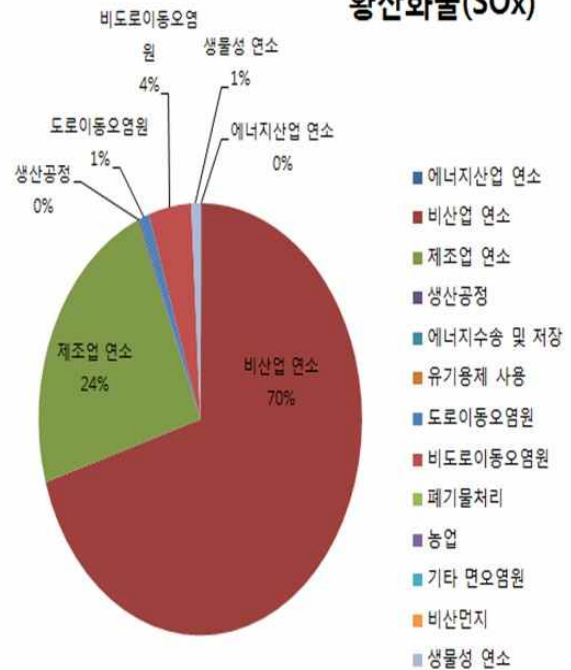
자료: 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량 자료 재정리(2016년 기준)

- 미세먼지의 전구물질로 작용하는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃)의 배출원별 배출량은 <표 2>, <그림 5>와 같음
 - 질소산화물(NO_x)의 배출량은 도로이동오염원이 1,159,592 kg으로 가장 많았고, 그 다음은 비도로이동오염원 546,297 kg, 비산업연소 128,775 kg의 순서였음
 - 황산화물(SO_x)의 배출량은 비산업연소가 41,491 kg으로 가장 많았고, 그 다음은 제조업 연소가 13,845 kg, 비도로이동오염원 2,521 kg의 순서였음
 - 휘발성유기화합물(VOCs)의 배출량은 유기용제 사용이 952,881 kg으로 가장 많았고, 그 다음은 도로이동오염원 91,579 kg, 비도로이동오염원 73,954 kg의 순서였음
 - 암모니아(NH₃)의 배출량은 농업부문이 6,965,564 kg으로 가장 많았고, 그 다음은 기타 먼오염원 24,993 kg, 도로이동오염원 12,511 kg의 순서였음

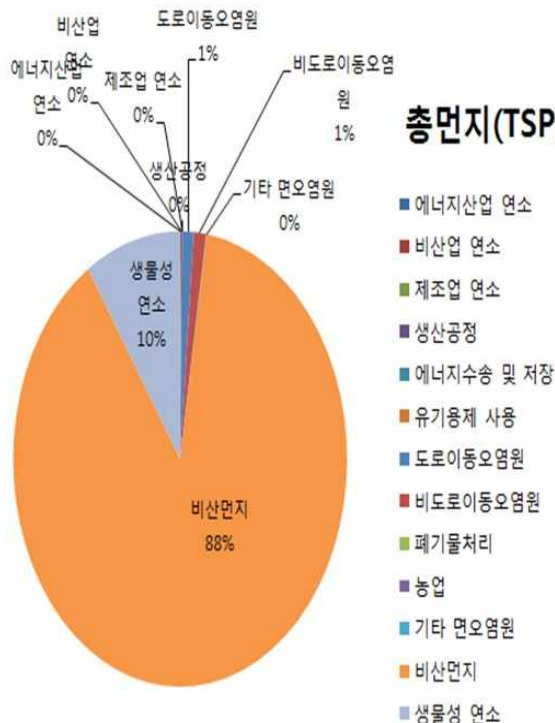
질소산화물(NOx)



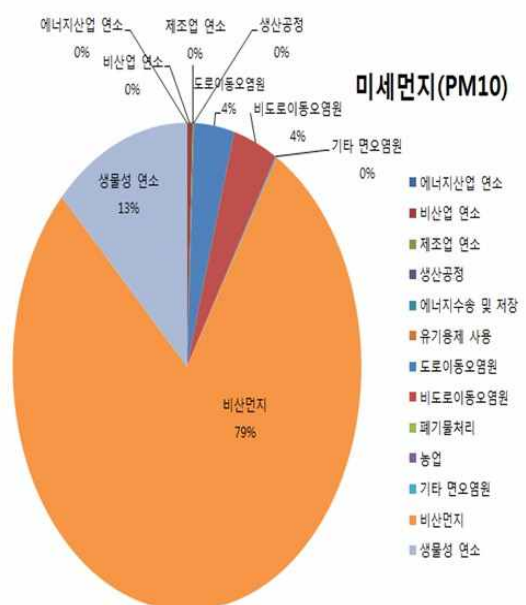
황산화물(SOx)



총먼지(TSP)

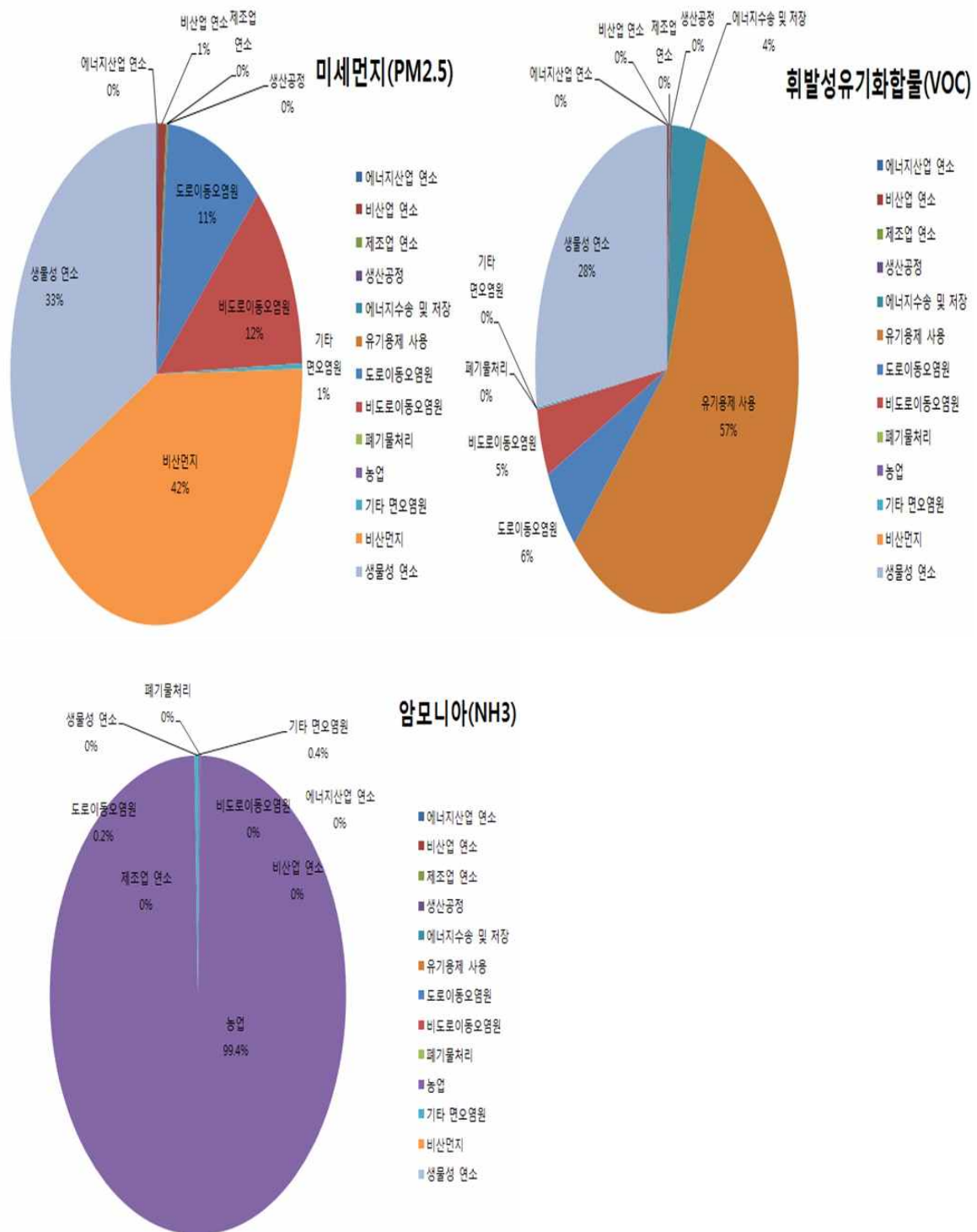


미세먼지(PM10)



[그림 5] 홍성군 오염물질별 배출원 배출량 기여율(2016년)

자료: 저자 작성



[그림 5] 홍성군 오염물질별 배출원 배출량 기여율(2016년)(계속)

자료: 저자 작성

4. 미세먼지의 연료별 배출량

- 홍성군 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 연료별 배출량은 <표 3>과 같음
 - 총먼지(TSP)의 연료별 배출량은 경유가 약 92%를 차지하고, 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 연료별 배출량 역시 경유가 92%~94%를 차지하는 것으로 나타남
- 미세먼지의 전구물질로 작용하는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃)의 연료별 배출량은 <표 3>과 같음
 - 황산화물(SO_x)의 연료별 배출량은 무연탄이 약 71%를 차지하고, 질소산화물(NO_x)은 경유에서 약 86%를 차지하는 것으로 나타남
 - 휘발성유기화합물(VOCs)의 연료별 배출량은 휘발유가 약 71%를 차지하고, 암모니아(NH₃)는 휘발유에서 약 63%를 차지하는 것으로 나타남

[표 3] 홍성군 대기오염물질(미세먼지) 연료별 배출량

(단위 : kg)

배출원 대분류	CO	NO _x	SO _x	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3
무연탄	122,931	22,257	39,322	2,291	1,757	915	153	1
B-C유	2,549	26,264	12,530	1,320	1,211	567	666	408
경유	455,833	1,666,508	2,963	65,181	65,125	59,740	38,364	2,267
등유	11,598	41,796	329	940	862	784	580	1,856
휘발유	293,974	41,921	178	692	692	653	121,745	11,064
LPG	49,716	30,351	116	199	199	197	2,258	842
LNG	31,294	93,760	176	539	539	539	3,696	983
CNG	1,206	4,071	-	-	-	-	4,447	5
합계	969,101	1,926,928	55,614	71,162	70,385	63,395	171,909	17,426

자료: 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량 자료 재정리, 2016년 기준. 기타 제외

04

미세먼지 농도 변화 및 외부요인

1. 연평균 농도 변화

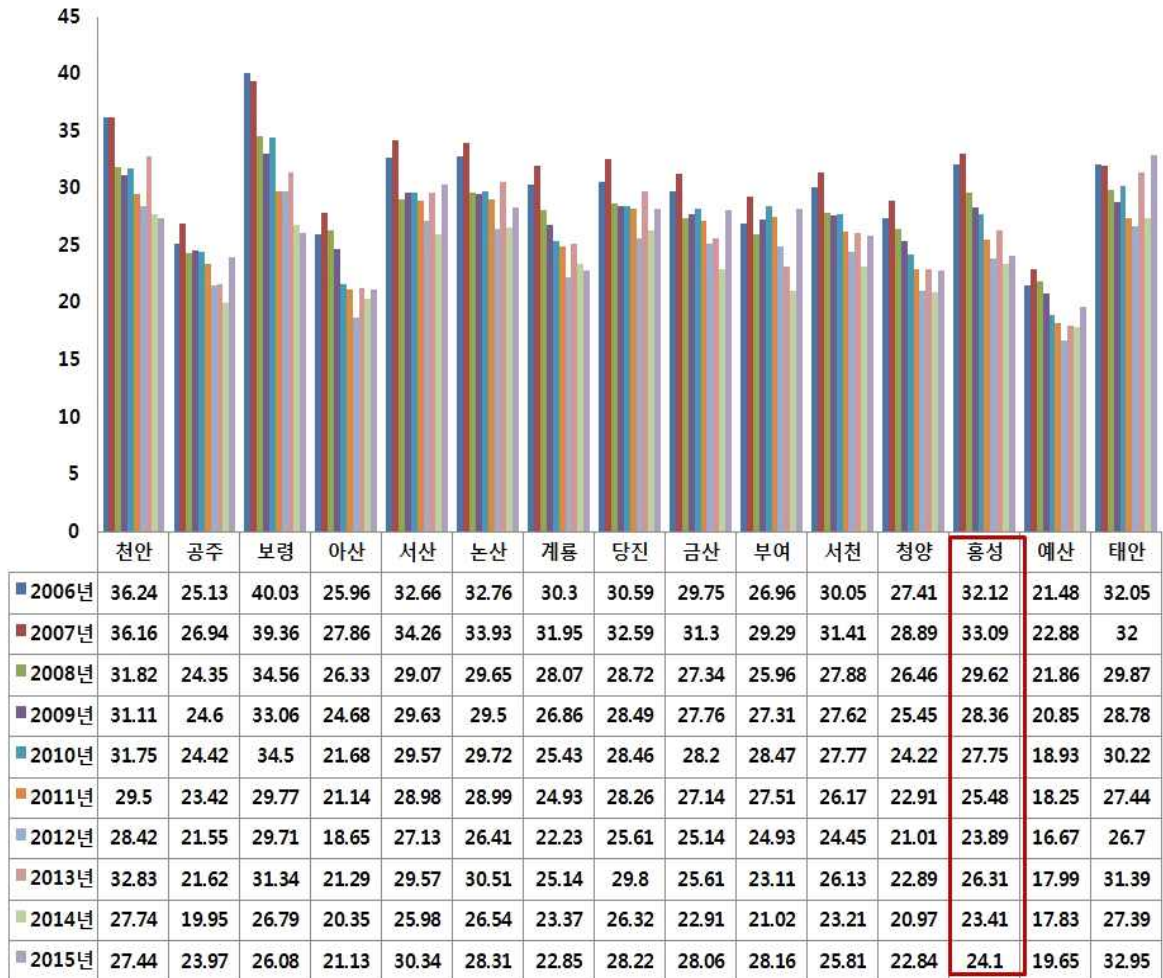
(1) 대기모델링 자료

- 홍성군 미세먼지(PM_{2.5})의 연평균 농도 변화추이는 측정망 자료를 활용하여 분석하는 것이 바람직하나, 자료의 한계³⁾로 인해 본 연구에서는 배출량과 기상자료를 혼합한 대기모델링⁴⁾의 자료로 분석하였음(그림 6)
 - 홍성군의 미세먼지(PM_{2.5}) 연평균 농도는 2006년 32.12 ug/m³에서 2015년 24.1 ug/m³로 감소하는 경향을 보이고 있음
 - 인접지역인 보령시, 서산시에 비해 높지 않은 것으로 나타남
 - 홍성군의 미세먼지 연평균 농도는 인접지역에 비해 낮은 것으로 나타나지만 기상이나 기후 등 계절적 요인에 따라 보령시의 석탄화력발전소와 철강단지, 서산시의 석유화학단지 등 대형대기오염시설이 집중되어 있는 인접지역의 영향을 받을 것으로 예상됨

3) 홍성군의 경우, '17년에 도시대기측정망 2개(홍성읍, 내포)가 설치되어 '17년부터 5월부터 에어코리아에 공식적인 자료가 표출되고 있음

4) 아주대학교 환경공학과 김순태 교수 연구실의 모델링 자료를 무상으로 제공받아 본 연구를 위해 분석하였음. 본 자료는 국가 감사원의 자료로 활용되었던 농도자료임

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



[그림 6] 충남 시군별 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$) 연평균 농도 변화(2006년~2015년)

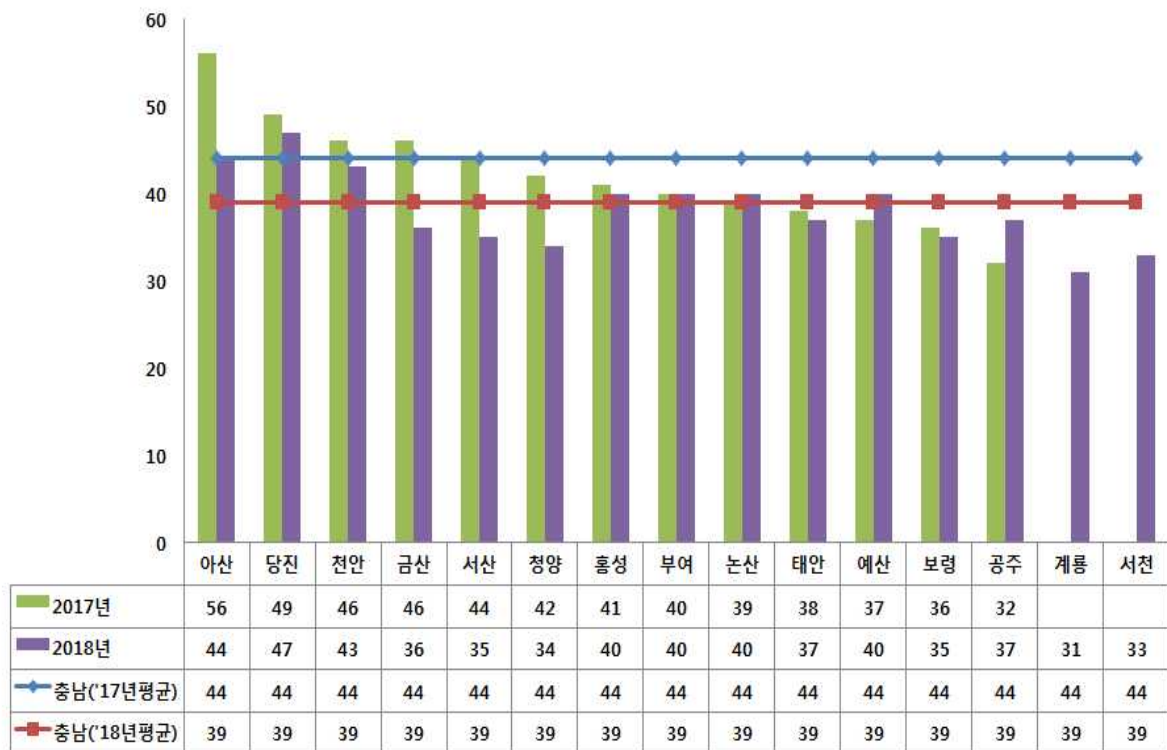
자료: 저자 작성

(2) 측정망 자료

- '17년부터 에어코리아로 표출된 충남 시군별 대기측정망 미세먼지(PM₁₀) 농도는 <그림 7>과 같음

- 충남의 미세먼지(PM₁₀) 연평균 농도는 '17년 44 ug/m³에서 '18년 39 ug/m³로 감소함
- '18년을 기준으로 홍성군의 미세먼지(PM₁₀) 연평균 농도는 당진, 아산, 천안 다음으로 4번째로 높았음
- 홍성군의 미세먼지(PM₁₀) '17년 연평균 농도는 41 ug/m³으로 충남의 연평균 농도인 44 ug/m³에 비해 3 ug/m³낮았음. 홍성군의 미세먼지(PM₁₀) '18년 연평균 농도는 40 ug/m³으로 충남의 연평균 농도인 39 ug/m³에 비해 1 ug/m³높았음

(단위 :ug/m³)



[그림 7] 충남 시군별 미세먼지(PM₁₀) 연평균 농도(2017년, 2018년)⁵⁾

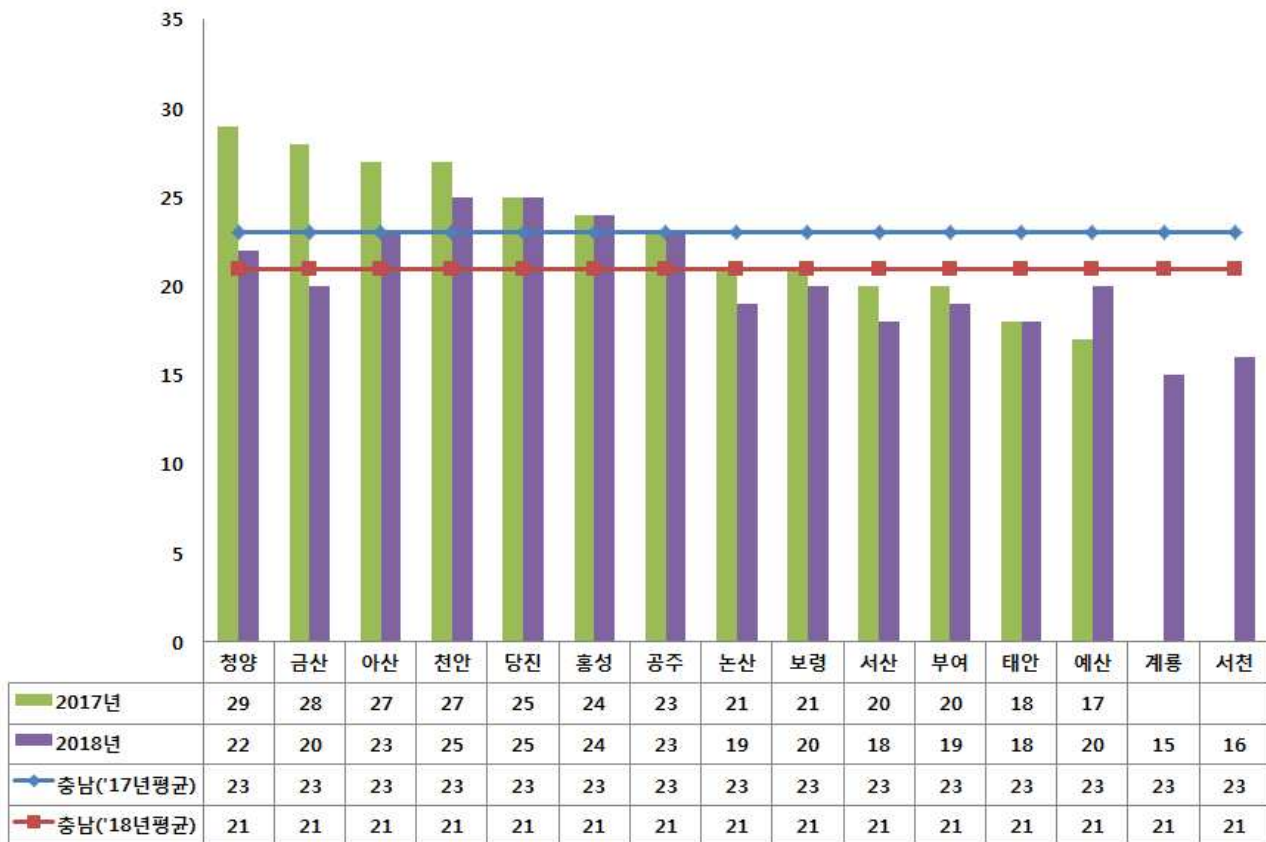
자료: 저자 작성

5) 계룡시와 서천군 '17년 자료 없음

● ‘17년부터 에어코리아로 표출된 충남 시군별 대기측정망 미세먼지(PM_{2.5}) 농도는 <그림 8>과 같음

- 충남의 미세먼지(PM_{2.5}) 연평균 농도는 ‘17년 23 ug/m³에서 ‘18년 21 ug/m³로 감소함
- ‘18년을 기준으로 홍성군의 미세먼지(PM_{2.5}) 연평균 농도는 당진시, 천안시 다음으로 3번째로 높았음
- 홍성군의 미세먼지(PM_{2.5}) ‘17년 연평균 농도는 24 ug/m³으로 충남의 연평균 농도인 23 ug/m³에 비해 1 ug/m³높았음. 홍성군의 미세먼지(PM_{2.5}) ‘18년 연평균 농도는 24 ug/m³으로 충남의 연평균 농도인 21 ug/m³에 비해 3 ug/m³높았음

(단위 :ug/m³)



[그림 8] 충남 시군별 미세먼지(PM_{2.5}) 연평균 농도(2017년, 2018년)⁶⁾

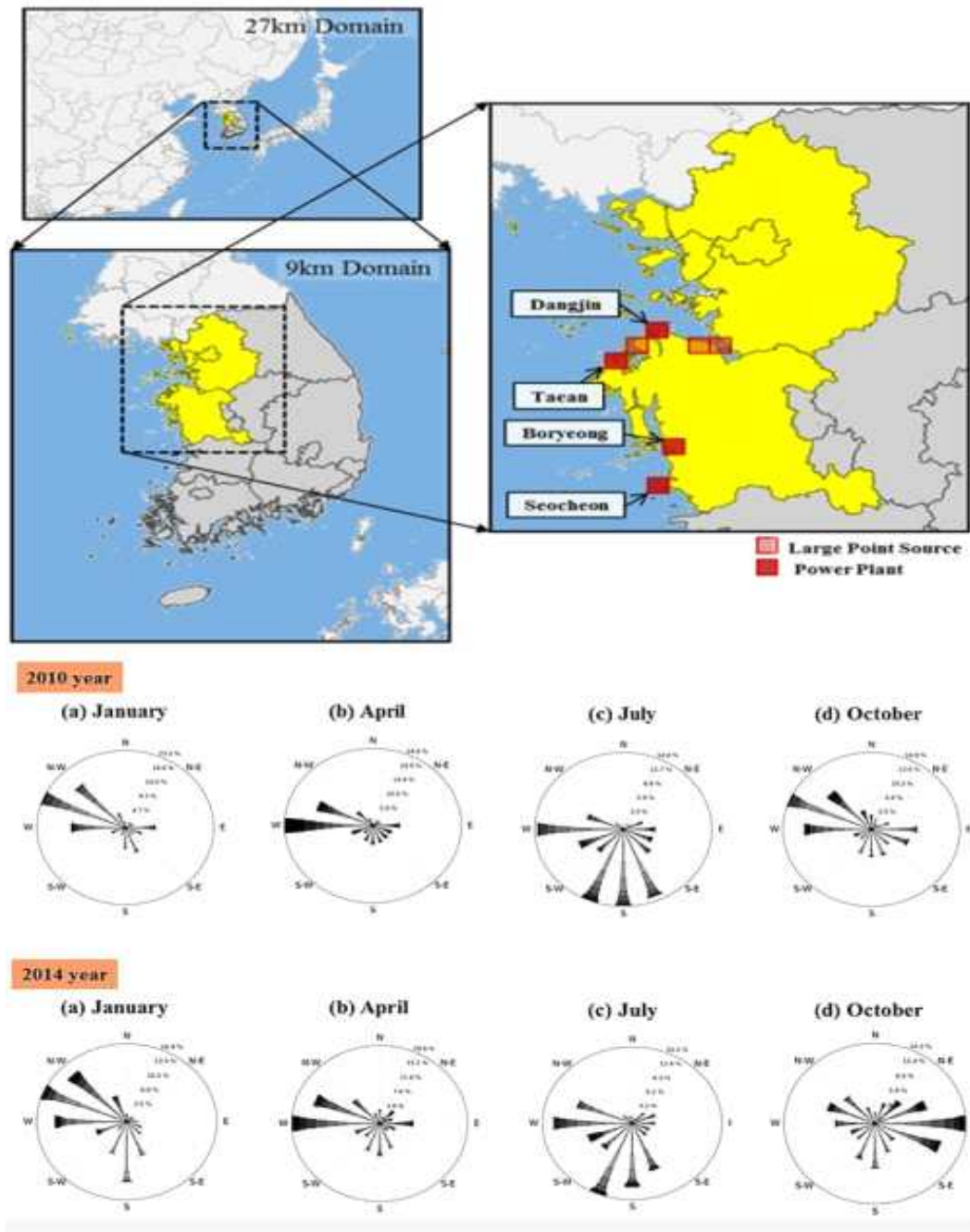
자료: 저자 작성

6) 계룡시와 서천군 '17년 자료 없음

2. 외부요인

- 홍성군의 미세먼지(PM_{2.5}) 농도에 영향을 미치는 외부요인의 기여도를 분석하기 위해서는 별도의 연구가 필요함. 본 연구는 단기간에 수행하는 현안과제로서 기존에 수행되었던 유사 연구를 인용하여 계절별 영향을 대략적으로 제시하였음
 - 김순태 등(2016)은 우리나라에서 처음으로 충남 당진시·서천군·보령시·태안군에 위치한 석탄화력발전소 등을 중심으로 점오염원 모사영역을 구분하고, 미세먼지(PM_{2.5})에 대한 충남의 석탄화력발전소의 기여도를 분석함(그림 9)
 - 이를 위해 대기물질 배출량, 기상관측 등의 자료를 활용하였고, 계절에 따라 주풍향이 변화되는 점을 감안하여 각 계절을 대표할 수 있는 1월, 4월, 7월, 10월로 구분하여 2010년과 2014년도의 기여도를 비교하여 분석함
 - <그림 10>은 충남의 석탄화력발전소 등의 대형점 오염원으로부터 배출된 물질의 미세먼지(PM_{2.5}) 월평균 기여농도와 성분 기여도의 비율을 분석한 결과임
 - 미세먼지(PM_{2.5})의 성분농도 추정을 위해서 다음의 방식을 활용하였고, 충남에는 중량 관측농도 자료가 부재하므로 PM₁₀ 관측보정 모사자료에 PM_{2.5}/PM₁₀ 월평균비를 산정·적용하여 PM_{2.5} 중량농도 자료를 산정하였음
- $$PM_{2.5} \text{ 성분농도} = PM_{2.5} \text{ 성분 모사 농도} \times (PM_{2.5} \text{ 중량 관측농도} / PM_{2.5} \text{ 중량 모사농도})$$

※ PM_{2.5} 중량 관측농도는 PM₁₀ 관측보정 모사 자료에 PM_{2.5}/PM₁₀ 월평균비를 산정·적용하여
PM_{2.5} 중량농도 자료 산정
- 미세먼지(PM_{2.5})의 월평균 기여농도를 보면, 충남 대형 점 오염원에서 배출된 것으로 기인된 미세먼지(PM_{2.5})의 영향범위가 전반적으로 2010년에 비해 2014 년도에 확대되고 있는 것으로 나타남



자료 : kim et al. 2016.

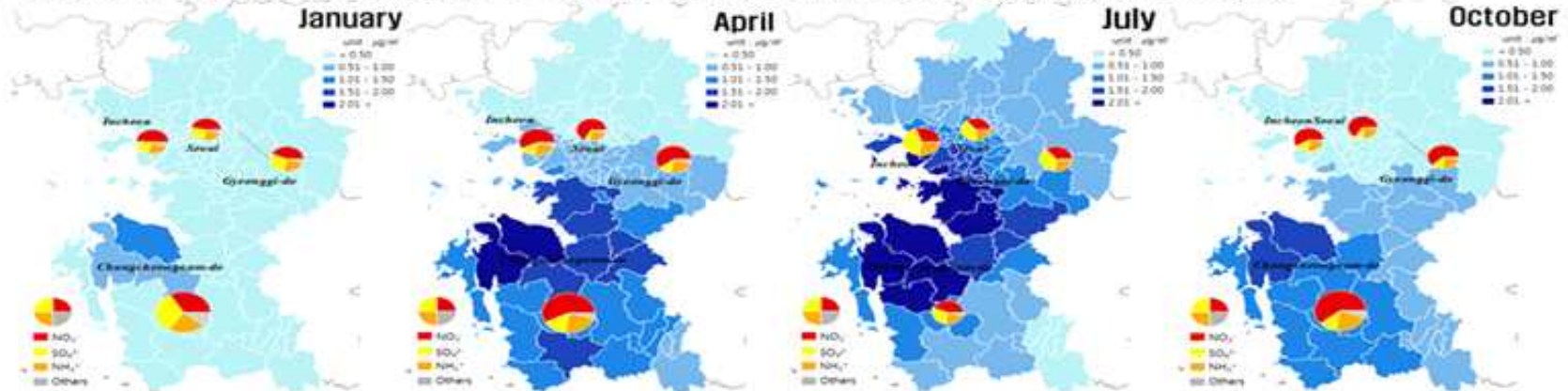
(그림 9) 충남 대형점오염원 모사영역과 월별 주풍향 변화(2010년, 2014년)

● 충남 석탄화력발전소 등의 대형 점 오염원에 기인한 미세먼지(PM_{2.5})의 월평균 기여농도는 지역별·계절별로도 다르게 나타나고 있음

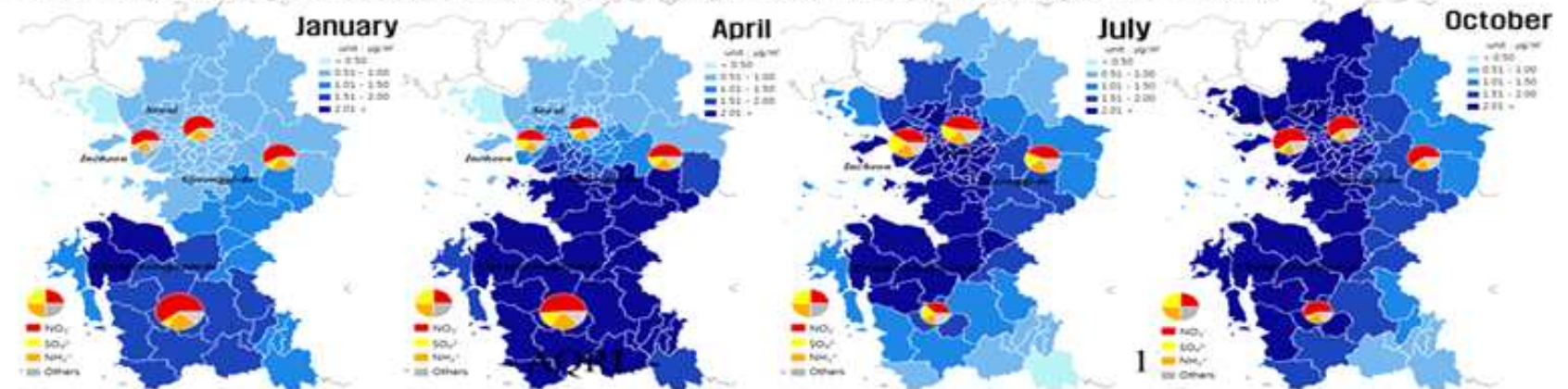
- 2014년도를 기준으로 1월에는 충남 당진시와 서산시에서 대형 점 오염원에 기인한 미세먼지 월평균 기여농도가 가장 높았음
- 4월에는 충남 태안군과 금산군을 제외한 나머지 시·군에서 대형 점 오염원에 기인한 미세먼지 월평균 기여농도가 높았고, 수도권 일부지역에도 영향을 동일하게 미쳤음
- 7월에는 충남 서산시, 당진시, 아산시, 천안시, 홍성군, 예산군에서 대형 점 오염원에 기인한 미세먼지 월평균 기여농도가 높았고, 4월보다는 수도권의 더 많은 지역에 영향을 미쳤음
- 10월에는 충남 태안군, 서산시, 당진시, 아산시, 예산군, 홍성군, 보령시, 청양군에서 대형 점 오염원에 기인한 미세먼지 월평균 기여농도가 높았고, 그 다음은 서천군, 부여군인 것으로 나타남. 수도권에는 경기북부 지역까지도 영향을 미치는 것으로 나타남

● 충남 석탄화력발전소 등의 대형점 오염원으로부터 배출된 물질의 미세먼지(PM_{2.5})의 성분 기여도 비율을 보면, 2010년과 2014년 모두 황산화물과 질소산화물질의 비율이 가장 많았고 그다음은 암모니아, 기타물질(unspeciatiated)의 순서였음. 기타물질 비율은 2010년도에 비해 2014년도에 증가하는 경향을 보임

◆ Monthly average contributions from large point sources in Chungnam in 2010



◆ Monthly average contributions from large point sources in Chungnam in 2014



자료 : kim et al. 2017.

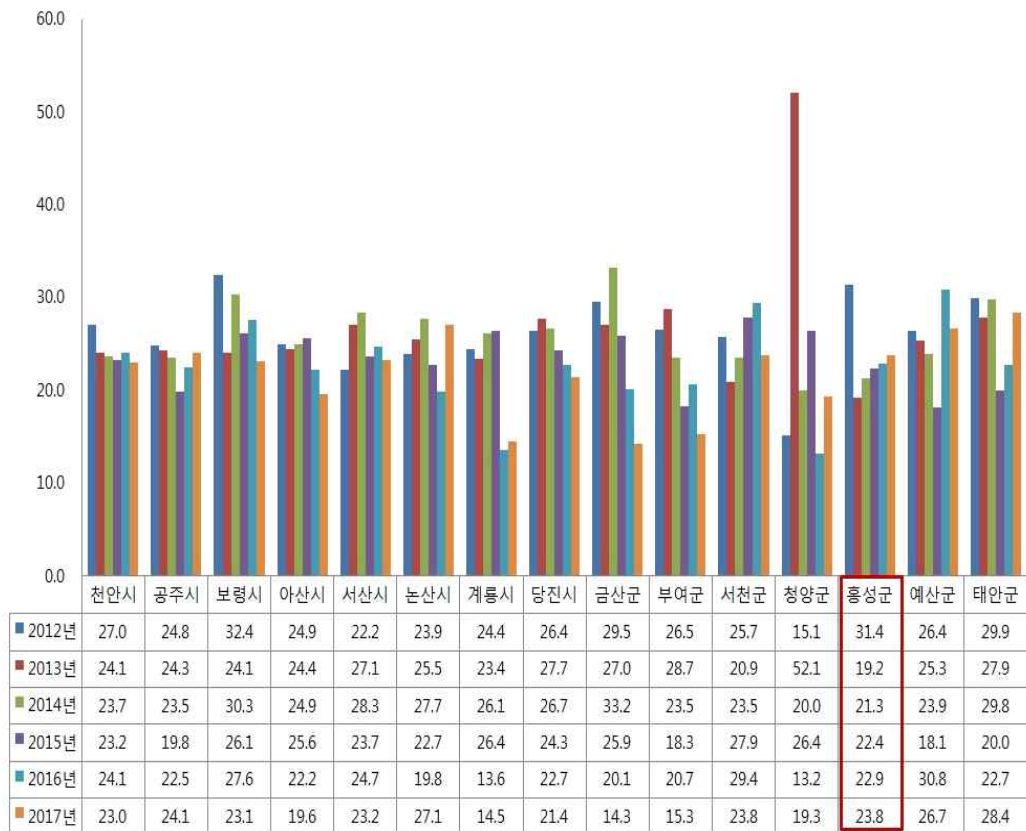
[그림 10] 충남 대형점오염원에 의한 미세먼지(PM_{2.5}) 기여도 분석(2010년, 2014년)

05

미세먼지 관련 질환자 추이

- 2장에서 살펴본 바와 같이, 미세먼지 단기간 노출은 호흡기계 질환 사망률과 분명한 인과관계가 있으며 장기간의 노출은 심혈관계 및 폐암 사망률에 분명한 인과관계가 있음
- 홍성군의 도시대기측정망이 '17년부터 가동되어 미세먼지 농도자료와 질환 자료를 연계분석하기에는 한계가 있음. 본 장에서는 미세먼지와 인과관계가 있다고 규명된 호흡기계와 폐암 사망률에 대한 충남과 홍성군의 질환자 추이 정도만 살펴보았음. 추후 농도자료가 축적이 되면 응급실 방문과 병원입원과의 연계 분석도 필요함
- [폐암(C33-C34)] 통계청의 사망원인별 연령표준화 사망률 자료를 분석한 결과, 홍성군의 폐암 연령표준화 사망률은 '12년에 인구 10만명 당 31.4명에서 '13년 19.2명으로 감소하였다가 '17년에 23.8명으로 다시 증가하는 양상을 보이고 있음(그림 11)
- [호흡기계질환(J00-J98, U04)] 통계청의 사망원인별 연령표준화 사망률 자료를 분석한 결과, 홍성군의 호흡기계 연령표준화 사망률은 '12년에 인구 10만명 당 43.5명에서 '17년 36.8명으로 감소하는 양상을 보이고 있음(그림 12)

(단위 :명/10만명)

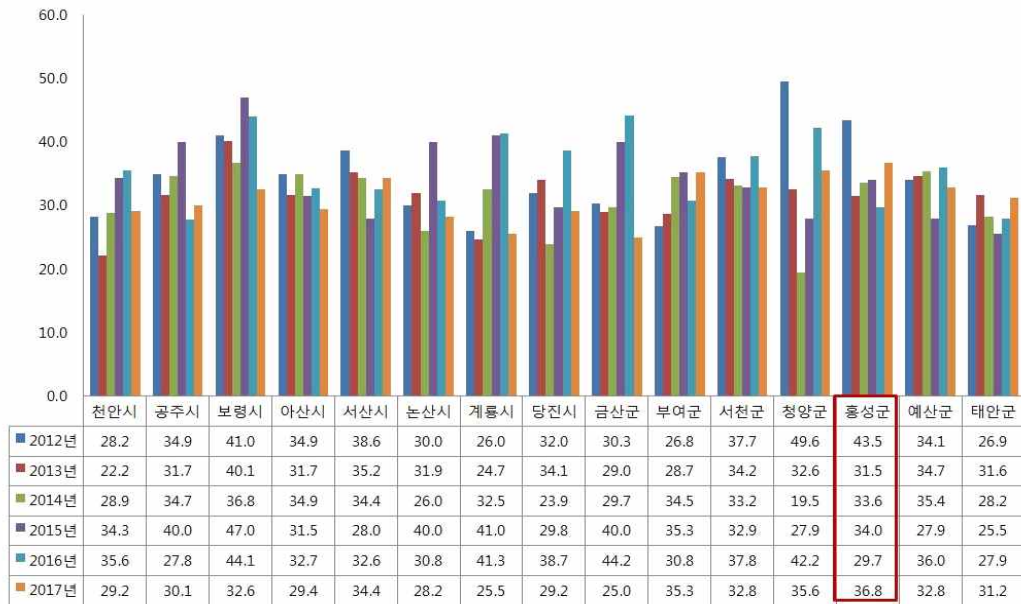


[그림 11] 폐암에 의한 연령표준화 사망률(2012~2017년)

자료: 저자 작성

- [만성 하기도 질환(J40-J47)] 통계청의 사망원인별 연령표준화 사망률 자료를 분석한 결과, 홍성군의 만성 하기도 질환의 연령표준화 사망률은 '12년에 인구 10만명 당 17.6명에서 '17년 13.1명으로 감소하는 양상을 보이고 있음(그림 13)

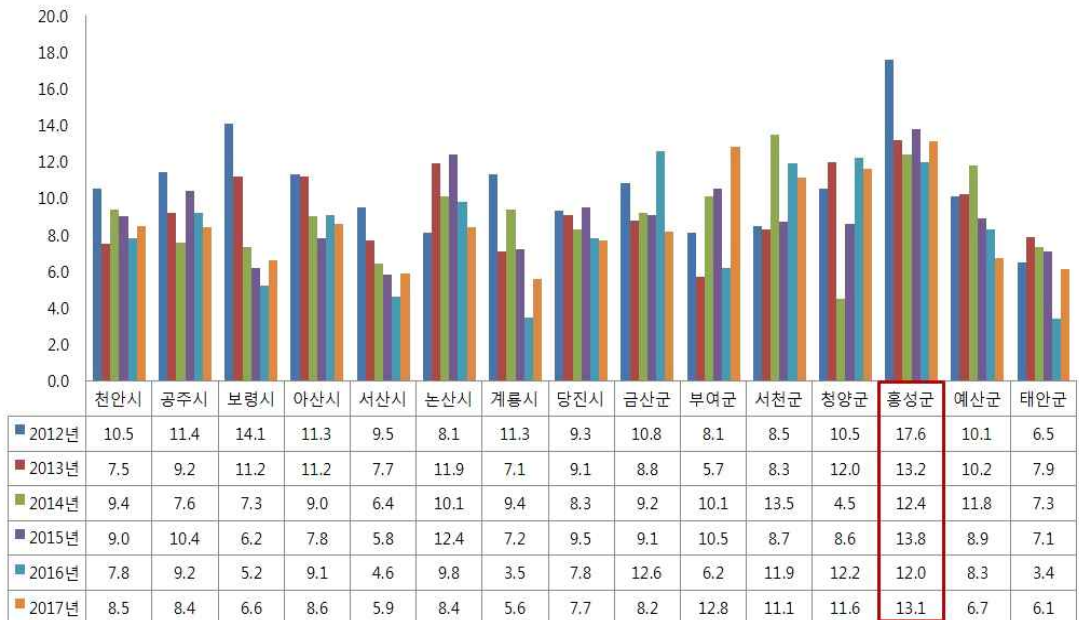
(단위 :명/10만명)



[그림 12] 호흡기계 질환에 의한 연령표준화 사망률(2012~2017년)

자료: 저자 작성

(단위 :명/10만명)



[그림 12] 만성 하기도 질환에 의한 연령표준화 사망률(2012~2017년)

자료: 저자 작성

06 결론 및 정책제언

1. 결론

(1) 대기오염물질(미세먼지) 배출량

- 충남 홍성군의 대기오염물질 배출량은 17,528 톤(2016년 기준)으로 충남 15개 시·군 중에서 8번째로 많았으며, 이는 충남 전체 배출량의 약 3.2%에 해당됨
- 충남 홍성군의 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량은 2016년 기준으로 충남 15개 시·군 중에서 9번째, 10번째로 많았음
 - 미세먼지(PM₁₀)는 830 톤으로 충남 전체 미세먼지(PM₁₀) 배출량의 약 2.2%를 차지함
 - 미세먼지(PM_{2.5})는 261 톤으로 충남 전체 미세먼지(PM_{2.5}) 배출량의 약 1.4%를 차지함

(2) 미세먼지 배출원별 배출량과 기여율

- 충남 홍성군의 대기오염물질 배출원별 배출량은 농업분야에서 가장 많이 배출되며 그 다음은 비산먼지, 생물성연소의 순서였음
- 충남 홍성군의 대기오염물질 배출량 중에서 암모니아(NH₃)가 가장 많이 배출되었고, 그 다음은 일산화탄소(CO), 총먼지(TSP), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOC) 순서였음
 - 암모니아는(NH₃) 배출량은 7,008,150 kg으로 홍성군 전체 배출량의 약 40.0%를 차지
 - 일산화탄소(CO) 배출량은 2,867,525 kg으로 홍성군 전체 배출량의 약 16.4%를 차지

- 총먼지(TSP) 배출량은 2,844,758 kg으로 홍성군 전체 배출량의 약 16.2%를 차지
 - 질소산화물(NO_x) 배출량은 1,999,543 kg으로 홍성군 전체 배출량의 약 11.4%를 차지
 - 휘발성유기화합물(VOC) 배출량은 1,658,560 kg으로 홍성군 전체 배출량의 약 9.5%를 차지
- 홍성군의 총먼지(TSP) 배출량은 비산먼지에서 가장 많이 배출되었고, 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량은 비산먼지와 생물성연소, 그 다음은 비도로이동오염원과 도로이동오염원의 순서였음
 - 미세먼지의 전구물질로 작용하는 질소산화물(NO_x)의 배출량은 도로이동오염원에서 가장 많이 배출되었고, 황산화물(SO_x)은 비산업연소, 휘발성유기화합물(VOCs)은 유기용제 사용, 암모니아(NH₃)는 농업부문에서 가장 많이 배출되었음

(3) 미세먼지의 연료별 배출량

- 홍성군의 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 연료별 배출량은 경유가 90% 이상으로 가장 많은 것으로 나타남
- 미세먼지의 전구물질로 작용하는 황산화물(SO_x)의 연료별 배출량은 무연탄이 약 71%로 가장 많았고, 휘발성유기화합물(VOCs)와 암모니아(NH₃)는 휘발유에서 가장 많이 배출되었음

(4) 미세먼지 농도변화와 외부요인

- [대기모델링 자료] 홍성군의 미세먼지(PM_{2.5}) 연평균 농도는 인접지역인 보령시, 서산시에 비해 높지 않았고, 2006년 대비 2015년까지 감소하는 경향을 보이고 있음
- [도시대기측정망 자료] '18년을 기준으로 홍성군의 미세먼지(PM₁₀)의 연평균 농도는 40 ug/m³으로 충남의 연평균 농도인 39 ug/m³에 비해 약간 높았으며, 당진, 아산, 천안 다음으로 4번째로 높은 것으로 나타남

- [도시대기측정망 자료] '18년을 기준으로 홍성군의 미세먼지(PM_{2.5})의 연평균 농도는 24 ug/m³ 으로 충남의 연평균 농도인 23 ug/m³에 비해 약간 높았으며, 당진, 천안 다음으로 3번째로 높은 것으로 나타남. 이는 2018년의 강화된 미세먼지(PM_{2.5}) 환경 기준인 연평균 15 ug/m³을 약 1.6배 초과하는 수치임
- [외부 요인] 충남 석탄화력발전소 등의 대형 점 오염원에 기인한 미세먼지(PM_{2.5})의 월평균 기여농도는 지역별·계절별로 다르게 나타나고 있으며, 홍성군에는 7월과 10월에 기여하는 농도가 높은 것으로 나타남

(5) 미세먼지 관련 질환자 추이

- 통계청의 사망원인별 연령표준화 사망률 자료를 분석한 결과, 홍성군의 폐암 연령표준화 사망률은 '12년 대비 '17년에 증가하는 양상을 보이고 있으나 호흡기계 질환과 만성하기도질환의 연령표준화 사망률은 감소하는 양상을 보이고 있음

2. 정책 제언

(1) 국내 미세먼지 주요정책 동향

- [행정안전부] 미세먼지를 재난으로 규정하는 안전관리기본법 개정(2019.3)하였음
- [환경부] 미세먼지 종합계획 수립, 환경기준 강화, 노후화력발전소 정례적 셧다운(조기폐쇄), 미세먼지특별법 시행(민감계층 활동공간관리, 고농도 미세먼지 관리 등), 대기관리권역 법 제정으로 권역 확대 및 총량제 할당관리(수도권역, 중부권역, 동남권역, 남부권역)계획을 수립하고 있음
- [법부처(과기부·환경부·보건복지부) 미세먼지 R&D 추진] 미세먼지 생성 및 오염원 규명을 통해 발생유입규명, 미세먼지 입체감시 및 예보기술 개발로 측정예보 고도화, 사업장 미세먼지 저감기술 개발로 집진저감 효율증대, 국민생활 보호대응기술개발(실

내환경 통합관리, 인체건강영향, 건강영향지도, 마스크효용성연구 등)로 건강피해 보호대응의 과제를 추진하고 있음

- [충청남도] 미세먼지 중심 대기환경개선 5개년(2018~2022)종합계획 수립하였고, 배출저감 등 주요추진사업은 다음과 같음

- 배출저감을 위한 주요 추진사업으로 산업시설의 탈황, 탈질 등 방지설비와 집진설비 확충, 화력발전소 가동율 80% 제한, 배출기준 강화, 농도규제에서 총량구제로 강화, 고농도 미세먼지 발생시 비상저감조치(사업장 단축조정, 차량2부제, 화력발전소 2기 80% 상한제약 등)시행 및 미세먼지 마스크보급 및 공기청정기 보급 등을 추진하고 있음
- ‘미세먼지 걱정 없는 더 행복한 충남위원회’ 출범하여 정책기획, 연구사업, 거버넌스, 생활환경, 홍보교육 5개분과 운영하면서 정책 및 사업을 발굴하고 있음

(2) 제언

- 국내 미세먼지 주요정책 동향에서 살펴본 바와 같이, 국가와 광역단위에서의 미세먼지 저감을 위한 법·제도·정책·기술개발의 기반은 조성되어 있음. 그러나 여전히 지역주민들이 체감하기에는 한계가 있음

- 국가와 광역단위에서의 미세먼지 정책이 지역단위에서 보다 더 촘촘하게 실현될 수 있는 다양한 방안 도출이 필요하며, 홍성군의 경우 미세먼지 발생양상과 특징에 부합된 관리전략이 요구됨

① 미세먼지 발생 유형(도시형+농촌형)에 맞춘 미세먼지 다량 배출원 관리 필요

- 홍성군의 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM₁₀) 배출원별 배출량 기여율은 비산먼지부문에서 79%~88%를 차지하였고, 미세먼지(PM_{2.5})는 비산먼지가 42%, 생물성연소부문에서 33%를 차지하였음
- 충남 전체의 경우 제조업연소에서 미세먼지가 가장 많이 배출된 반면 홍성군은 비산먼지부문과 생물성연소부문에서 가장 많이 배출됨

- 고농도 미세먼지 발생현상의 빈도가 높은 봄철, 겨울철을 대비한 비산먼지 저감대책이 필요함
 - 생활주변 도로 및 건설공사장 비산먼지 저감필요(분진흡입차량 도입 등)
 - 봄철, 겨울철에 집중적으로 건설사업장, 공사장을 대상으로 특별점검 강화 등

- 생물성연소는 노천소각(생활폐기물 및 농업잔재물 소각), 화목난로, 펠렛난로 및 보일러, 아궁이, 숯가마 등 고기구이에서 발생하는 연소로서 홍성군의 경우에는 농촌지역의 노천소각에 의한 배출량을 저감해야 함

- 홍성군은 대기오염물질 배출원별 배출량 중에서 암모니아(NH_3)가 가장 많이 배출되었고, 암모니아(NH_3)의 배출원별 배출량 기여율은 농업이 99%로 거의 대부분 농업활동에서 배출되는 것으로 파악됨. 따라서 농업활동에서의 암모니아(NH_3) 배출 양상을 보다 면밀히 검토하여 대책을 마련하는 것이 필요
 - 홍성군의 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$)의 배출원별 배출량 기여율이 생물성연소 부분(생활폐기물 및 농업 잔재물 노천소각)에서 33%를 차지하고 있으며, 미세먼지의 전구물질로 알려진 암모니아의 배출량이 원별 배출량 기여율은 농업부문에서 99%를 차지하고 있음
 - 농촌의 노천소각의 유해성에 대한 홍보교육과 단속 강화 등이 필요하며 농업에서 배출되는 암모니아의 성상과 실태를 보다 면밀히 파악하기 위해 농촌지역을 중심으로 측정망을 추가 설치하는 방안 모색 필요

② 미세먼지 고농도 발생 지역 분석으로 취약지역·계층 관리

- 상습적으로 고농도를 보이는 지역을 분석하여 미세먼지집중관리지역으로 선정하고 이 지역의 건강취약계층에 대한 관리정책 필요
 - 미세먼지집중관리지역 내 건강취약계층 시설인 어린이집, 유치원, 마을회관, 학교 등의 실내공기질 무료 측정 및 개선방안 컨설팅
 - 농촌의 농업·축산업에 종사하시는 어르신들의 경우, 고농도에 장기간 노출될 수 있으므로 지역 보건소와 연계한 관리가 필요함

- 고농도 미세먼지가 발생하는 봄철·겨울철은 기저질환을 가지고 있는 노인층과 아직 발달이 미성숙한 영유아 어린이들에게는 건강에 영향을 미칠 수 있음
 - 미세먼지와 관련 있다고 규명된 호흡기질환, 심혈관계 질환 등에 대한 홍성군의 질환자 실태와 양상을 면밀히 분석할 필요가 있음
 - 특히 건강취약계층인 노인과 영유아, 어린이에 대한 질환발생양상과 고농도 미세먼지 발생양상의 비교분석 필요

③ 미세먼지 저감을 위한 홍성군민들의 참여와 문제해결능력을 증진시키는 정책 필요

- 주민이 체감하는 미세먼지 문제에 대해 주민들이 함께 참여하여 해결방안을 찾도록 하는 주민참여형 사업(리빙랩 시범사업) 모색
 - 홍성군의 미세먼지 지역 이슈 및 민원증가 지역 발굴, 대안 및 방법 모색
 - 지역의 지속가능발전협의회 및 환경단체 등 네트워크 구축 등

리빙랩이란?

일상생활의 실험실이라는 의미인 리빙랩은 민·관·산·학·연이 협력해 지역의 문제를 해결하는 주민 참여형 사업이다. 그동안 추진되었던 리빙랩은 정부 및 지자체 주도형의 기술개발사업으로, 일회성 등의 추진한계로 인해 최근에는 시민주도형 리빙랩이 시도되고 있다.

④ 장기적 관리 차원에서 미세먼지 정책 추진을 위한 전략수립이 필요

- 홍성군에서 배출되는 대기오염물질(미세먼지 포함) 배출량은 충남 도내에서 8번째로 배출되지만, '18년 기준으로 미세먼지(PM_{2.5})의 연평균 농도는 충남에 비해 약간 높았으며 환경기준을 약 1.6배 초과하였음
- 홍성군에서 발생하는 미세먼지의 지역적 특성 파악(도시형+농촌형, 인접지역 영향 포함)과 이를 해결하기 위한 전략수립 연구 필요
 - 국가적으로 미세먼지 환경기준이 강화되었고 2019년 2월부터 미세먼지 저감대책의 법적기반이 되는 '미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법'이 시행되고 있음

- 중앙정부의 정책과 연계된 홍성군의 미세먼지 피해저감정책 필요
- 홍성군에서 발생하는 미세먼지의 다량배출원인 비산먼지부문, 생물성연소부문, 전구물 질인 암모니아의 다량배출원인 농업부문 등의 지역적 특성과 인접지역 영향 등을 파악하고 이를 해결하기 위한 전략연구 필요

참고문헌

국립환경과학원. 2017. 대기환경연월보(2016).

충청남도. 2018. 미세먼지 중심 대기환경개선(2018년~2022년) 종합계획.

참고 사이트

국가 대기오염물질 배출량(<http://airemiss.nier.go.kr>)

에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr>)

환경부(<http://me.go.kr>)