

예산군 미세먼지 기본계획 수립을 위한 기초자료 분석

명 형 남 충남연구원 환경생태연구부 책임연구원 myunghn@cni.re.kr

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

CONTENTS

1. 연구개요
2. 미세먼지란?
3. 미세먼지 배출원별 배출량과 기여율
4. 미세먼지 농도 변화
5. 국내 미세먼지 주요정책동향
6. 결론 및 정책제언

요약

- 본 연구에서는 예산군의 미세먼지 기본계획 수립을 위한 기초자료를 분석하기 위해 미세먼지 배출원별 배출량과 배출량 기여율, 농도변화 추이를 살펴보았음
- 예산군의 대기오염물질(미세먼지포함)배출량은 2011년 대비 2015년에 16,239,544 kg으로 약 2배 증가하였고(충남전체 배출량의 약 3.2%), 대기오염물질 중에서 미세먼지의 전구물질로 알려진 암모니아(NH_3)의 배출량이 가장 많았음. 특히 총먼지(TSP)의 배출량은 약 31.3배, 미세먼지(PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) 배출량은 각각 10.0배, 4.2배로 뚜렷한 증가추이를 보이고 있음
- 예산군의 미세먼지(PM_{10}) 배출량 기여율은 비산먼지부문(70%)이 가장 많았고, 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$) 배출량 기여율은 생물성연소부문(46%)이 가장 많았음. 미세먼지의 전구물질인 암모니아(NH_3)는 농업부문(99%)에서 가장 많았음
- 예산군 도시대기측정망의 미세먼지(PM_{10}) 농도는 2017년을 기준으로 9월부터 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 가까운 날의 수가 증가하는 경향을 보임. 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$) 농도 역시 9월부터 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 날의 수가 증가하는 경향을 보이고 있음(대기모델링 미세먼지 농도로 보면 연평균 환경기준을 초과)
- 비산먼지와 생물성연소부문의 미세먼지 배출량 저감대책이 필요하며 농업부문에서의 암모니아 배출량 저감대책 필요. 장기적 관리차원에서 예산군의 미세먼지 발생 특성을 반영한 기본계획과 조례제정 모색 필요

차 례

I. 연구개요	1
1. 연구 배경 및 필요성	1
2. 연구 목적	2
II. 미세먼지란?	3
1. 정의와 발생과정	3
2. 건강영향	4
III. 미세먼지 배출원별 배출량과 기여율	6
1. 대기오염물질(미세먼지) 배출량 분류 체계	6
2. 전국	7
3. 충청남도	10
4. 충청남도 예산군	12
IV. 미세먼지 농도변화	18
1. 전국의 미세먼지 연평균 농도변화	18
2. 충청남도 예산군 미세먼지 연평균 농도변화	19
V. 국내 미세먼지 주요정책 동향	23
1. 환경부	23
2. 충청남도	24
VI. 결론 및 정책제언	27
1. 결론	27
2. 정책 제언	29
참고문헌	33

1. 연구 배경 및 필요성

- 미세먼지 배출량 증가, 기상요인 변화, 지역적 특성 등으로 인해 체감되는 미세먼지 농도가 증가하면서 미세먼지와 건강 이슈는 이제 전 국민의 관심사가 되었음
 - 어린아이를 키우는 엄마들이 자발적으로 ‘미세먼지 대책을 촉구합니다(미대촉)’ 등의 카페를 만들어 관련 정보를 공유하면서 미세먼지 대책 수립을 촉구하는 1인 시위나 토론회를 개최
 - 교육부는 미세먼지 농도 ‘나쁨’이상인 날 천식·아토피·알레르기·호흡기질환·심혈관질환 등의 미세먼지 민감군 학생들에게 ‘질병결석’을 인정하겠다고 발표(2018.4.6)
- 전국의 대기오염물질 다량배출사업장 조사결과, 충청남도는 미세먼지를 배출시키는 대기오염물질 다량배출사업장이 전국 상위 10위 안에 4개가 포함될 정도로 집중되어 있음
 - 충남의 서북부 지역에서 석탄화력발전소, 철강단지, 정유단지 등과 같은 대기오염물질 다량배출사업장이 집중적으로 몰려있음
 - 이로 인해 충남은 매년 전국 17개시도 배출량의 2위 또는 3위를 차지하고 있는 상황임
- 예산군의 경우, 산업단지가 증가하고 있으며 당진시·서산시·아산시와 같이 대기오염물질 다량배출사업장이 집중되어 있는 인접지역으로서 계절에 따라 그 영향을 받을 것으로 예상됨
 - 이러한 지역여건에도 불구하고 예산군은 2017년 상반기까지 미세먼지 등 대기오염을 측정할 수 있는 측정망이 단 한 개도 없었음
 - 2017년 5월부터 측정망의 공식적인 자료가 에어코리아가 표출되기 시작함

- 미세먼지로 인한 예산군민의 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

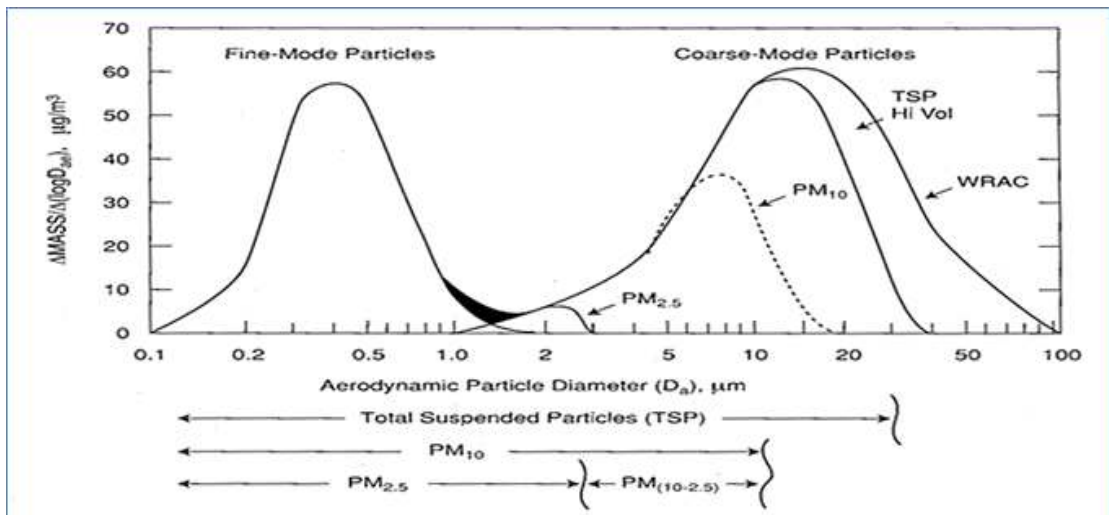
- 본 연구는 예산군의 미세먼지 발생 예방 및 저감을 위한 정책수립에 있어 기초자료를 분석하는데 목적이 있음
 - 미세먼지 배출원별 배출량
 - 미세먼지 배출원별 배출량 기여율
 - 미세먼지 농도 변화
 - 국내 미세먼지 주요정책 동향
 - 예산군 미세먼지 저감 대응방향 제언 등

02

미세먼지란?

1. 정의와 발생과정

- 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
 - [인위적발생] 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) 등과 같은 대기오염물질이 대기 중에서 전구물질로 작용하여 물리·화학적 반응을 통해 생성되는 미세먼지임

2. 건강영향

- 미세입자들은 탄소(C)물질, 다핵 방향족 탄화수소(PAH), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 니켈(Ni), 황산염(SO₄²⁻), 질산염(NO₃⁻)과 같은 중금속과 이온성분 등의 오염물질이 축적되면서 구성된 것으로 입자의 크기, 표면적, 화학적 성분 조성에 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 보이거나 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 보이거나 일부불일치 (Likely to be Causal)
	생식과 발생에의 영향	체중, 영아사망률	인과관계일 가능성 높음 (Suggestive)
	암, 돌연변이 등	폐암 사망률	인과관계일 가능성 높음 (Suggestive)

자료: 충남리포트, 명형남, 2016(재인용)

03

미세먼지 배출원별 배출량

1. 대기오염물질(미세먼지) 배출량 분류 체계

- 대기환경보전법에서 대기환경관리를 위해 대기오염물질 배출량 산정을 법률로 규정하고 있음
 - 대기환경보전법 제17조(대기오염물질의 배출원 및 배출량 조사)
 - 대기환경보전법 시행규칙 제 16조(배출시설별 배출원과 배출량 조사)
- 국내 대기오염물질 배출원 분류체계는 유럽 CORINAIR 배출원 분류체계(SNAP 97)를 기초로 하여 2007년부터 현실에 맞추어 13개의 대분류로 변경하였음

SCC	배출원 대분류		SCC	배출원 대분류
01	에너지산업 연소	➡	01	에너지산업 연소
02	비산업 연소		02	비산업 연소
03	제조업 연소		03	제조업 연소
04	생산공정		04	생산공정
05	에너지수송 및 저장		05	에너지수송 및 저장
06	유기용제 사용		06	유기용제 사용
07	도로이동오염원		07	도로이동오염원
08	비도로이동오염원		08	비도로이동오염원
09	폐기물처리		09	폐기물처리
10	자연오염원		10	농업
11	농업		11	기타 면오염원
-	-		12	비산먼지
-	-		13	생물성 연소(2011년)

〔그림 2〕 우리나라 대기오염물질 배출량 대분류 체계

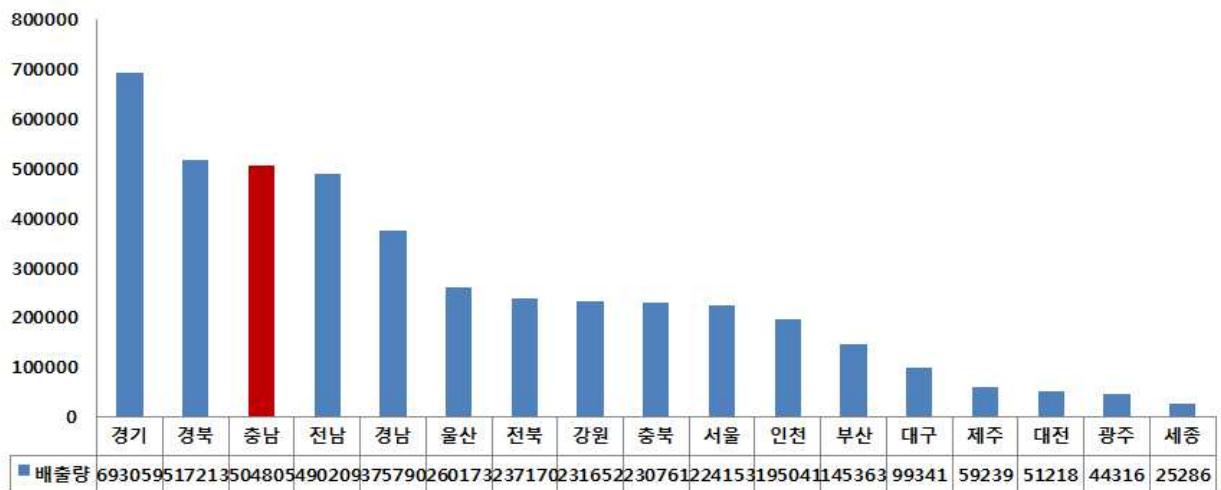
자료: 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량(<http://airemiss.nier.go.kr>)

2. 전국

(1) 전국 시도별 대기오염물질(미세먼지) 배출량

- [대기오염물질]배출량은 2015년 기준으로 경기도가 693,059 ton(15.8%)으로 전국 1위, 경상북도가 517,213 ton(11.8%)으로 전국 2위, 충청남도가 504,805 ton(11.5%)으로 전국 3위인 것으로 나타남

(단위: Ton)



[그림 3] 전국 시도별 대기오염물질 배출량(2015년)

자료: 저자 작성

- 환경부에서 전국의 대기오염물질 다량 배출사업장을 조사한 결과, 전국 상위 10위 안에 충남의 현대제철(주), 태안화력본부, 보령화력발전본부, 당진화력본부가 포함되어 있음

[표 2] 다량배출사업장 오염물질 배출량(상위10개소)

(단위 : kg/yr)

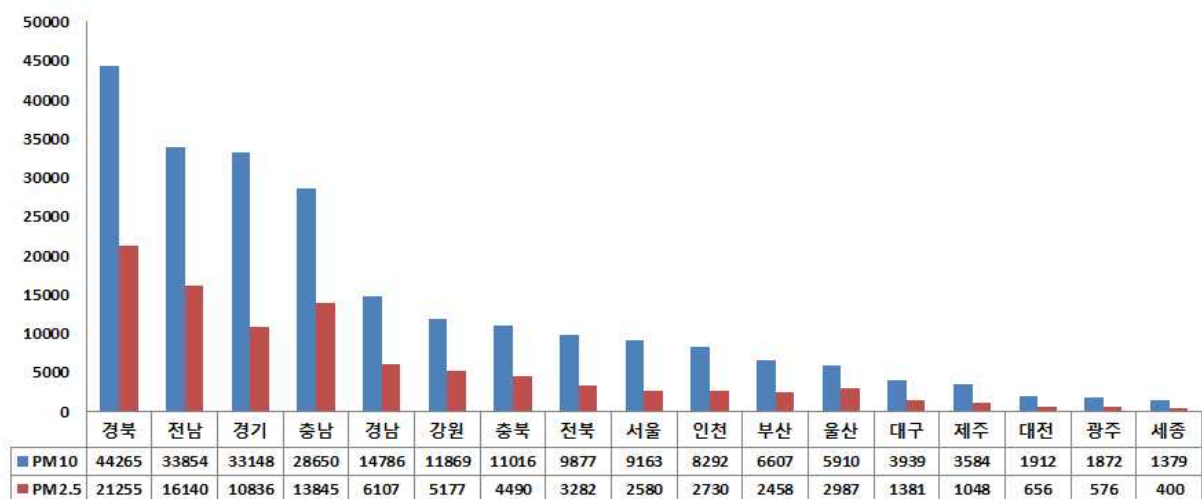
순 위	사업장명	시·도	합계	먼지	SOx	NOx	HCl	CO
1	남동발전삼천포본부	경남	28,432,715	522,066	13,420,162	14,490,487		
2	현대제철(주)	충남	21,849,496	486,018	10,899,531	10,463,613	334	
3	태안화력본부	충남	20,341,083	644,979	8,722,831	10,973,273		
4	포스코광양제철소	전남	19,997,116	227,389	9,260,432	10,505,504	3,564	227
5	보령화력발전본부	충남	18,196,984	412,766	8,355,074	9,429,144		
6	남부발전하동화력	경남	16,645,742	304,547	7,710,328	8,630,867		
7	당진화력본부	충남	15,978,327	390,705	6,762,511	8,825,111		
8	쌍용양회공업 (주)동해공장	강원	14,861,226	348,177		14,497,749	15,300	
9	포스코	경북	14,611,093	125,681	4,375,209	10,104,012	1,562	
10	(주)삼표시멘트삼척공장	강원	11,415,865	203,026		11,211,481	1,358	

자료: 환경부, 2017

● [미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})]배출량은 2015년 기준으로 <그림 4>과 같음

- 미세먼지(PM₁₀)는 경상북도가 44,265 ton(19.2%)으로 전국 1위, 전라남도가 33,854 ton(14.7%)으로 전국 2위, 경기도가 33,148 ton(14.4%)으로 전국 3위였음
- 미세먼지(PM_{2.5})는 충청남도가 13,845 ton(14.4%)으로 경상북도, 전라남도에 이어 전국 3위였음

(단위: Ton)



[그림 4] 전국 시도별 미세먼지 배출량(2015년)

자료: 저자 작성

(2) 전국의 미세먼지 배출원별 배출량

● 전국 미세먼지의 배출원별 배출량은 <표 4>와 같음

- 미세먼지(PM₁₀)는 비산먼지 부문에서 가장 많이 배출되었으며, 그다음은 제조업 연소, 비도로이동오염원, 도로이동오염원의 순서였음
- 미세먼지(PM_{2.5})는 제조업 연소에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 비산먼지, 비도로이동오염원, 생물성 연소의 순서였음

● 미세먼지의 전구물질로 작용하는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃)의 배출원별 배출량은 <표 3>와 같음

- 황산화물(SO_x)은 생산공정에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 에너지산업연소, 제조업 연소, 비도로이동오염원의 순서였음
- 질소산화물(NO_x)은 도로이동오염원에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 비도로이동오염원, 제조업연소, 에너지산업 연소의 순서였음
- 휘발성유기화합물(VOCs)은 유기용제 사용 부문에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 생산공정, 생물성연소, 폐기물처리의 순서였음
- 암모니아(NH₃)는 농업부문에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 생산공정의 순서였음

[표 3] 전국 대기오염물질(미세먼지) 부문별 배출량

(단위 : ton)

배출원 대분류	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3
에너지산업 연소	150,818	91,243	4,692	4,394	3,607	7,464	1,379
비산업 연소	82,948	28,736	1,841	1,582	1,025	2,622	1,351
제조업 연소	169,139	85,098	121,668	70,893	36,317	3,101	627
생산공정	59,830	105,385	11,876	6,658	5,132	182,899	39,432
에너지수송 및 저장	-	-	-	-	-	29,137	-
유기용제 사용	-	-	-	-	-	555,359	-
도로이동오염원	369,585	209	9,583	9,583	8,817	46,145	10,078
비도로이동오염원	304,376	39,424	15,320	15,317	14,106	40,311	117
폐기물처리	11,977	2,119	340	246	209	57,074	22
농업	-	-	-	-	-	-	231,263
기타 먼오염원	172	-	498	317	285	648	12,882
비산먼지	-	-	408,242	109,633	17,248	-	-
생물성 연소	8,883	79	30,183	14,552	12,060	86,012	15
합계*	1,157,728	352,292	604,243	233,177	98,806	1,010,771	297,167

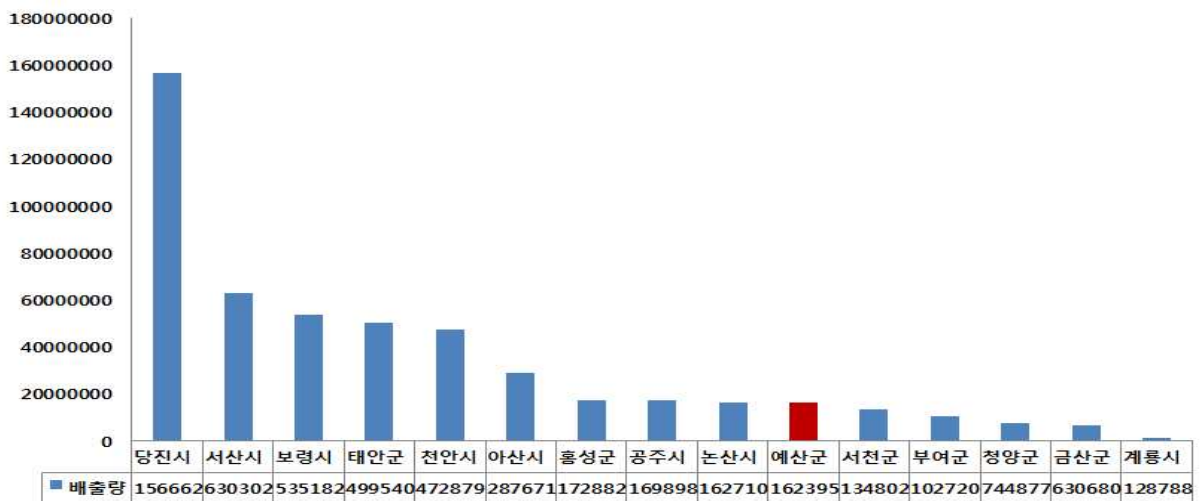
자료: 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량(<http://airemiss.nier.go.kr>), 2015년 기준

3. 충청남도

(1) 충남 시군별 대기오염물질(미세먼지) 배출량

- [대기오염물질]배출량은 2015년 기준으로 당진시가 156,663 ton(31.0%)으로 충남 1위, 서산시가 63,030 ton(12.5%)으로 충남 2위, 보령시가 53,518 ton(10.6%)으로 충남 3위인 것으로 나타남. 충남 예산군은 16,240 ton(3.2%)으로 충남 10위였음(그림 5)

(단위: Ton)



[그림 5] 충남 시군별 대기오염물질 배출량(2015년)

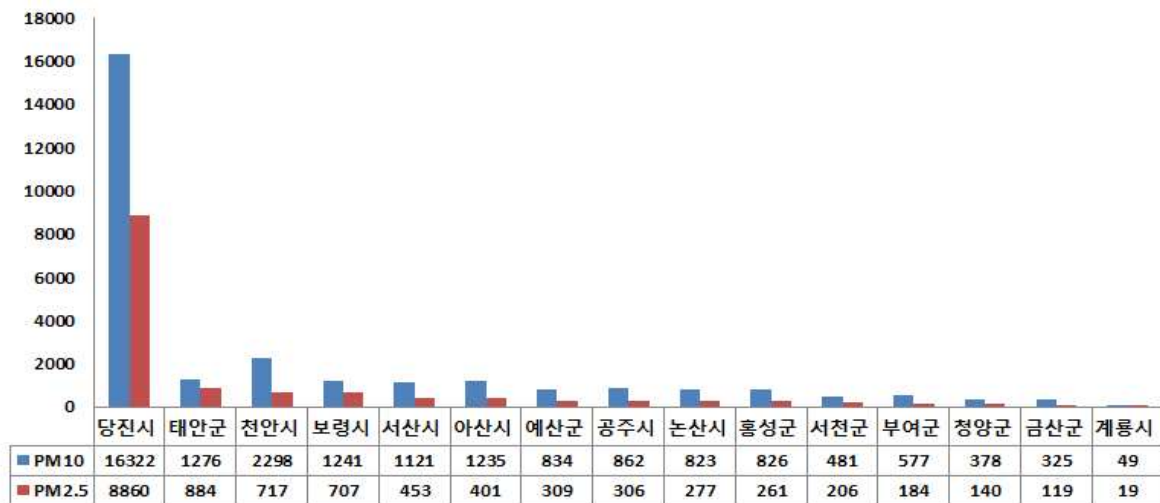
자료: 저자 작성

- [미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})]배출량은 2015년 기준으로 <그림 6>와 같음

-미세먼지(PM₁₀)는 당진시가 16,322 ton(57.0%)으로 충남 1위, 천안시가 2,298 ton(14.4%)으로 충남 2위, 태안군이 1,276 ton(4.5%)으로 충남 3위였음. 예산군은 834 ton(2.9%)으로 충남 8위였음

-미세먼지(PM_{2.5}) 역시 당진시가 8,860 ton(64.0%)으로 충남 1위, 태안군이 884 ton(6.4%)으로 충남 2위였음. 예산군은 309 ton(2.2%)으로 충남 7위였음

(단위: Ton)



[그림 6] 충남 시군별 미세먼지 배출량(2015년)

자료: 저자 작성

(2) 충남의 미세먼지 배출원별 배출량

- 충남의 미세먼지(PM₁₀) 배출원별 배출량은 제조업 연소가 13,266 톤으로 가장 많았고 그다음은 에너지산업 연소가 2,070톤, 비산먼지가 8,711 톤의 순서였음. 미세먼지(PM_{2.5})의 경우도 제조업 연소가 6,918 톤으로 가장 많았고 그 다음은 에너지산업 연소가 1,669 톤, 비산먼지가 1,420 톤의 순서였음
- 미세먼지의 전구물질로 작용하는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃)의 배출원별 배출량은 <표 4>와 같음
 - 황산화물(SO_x)은 에너지산업연소에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 생산공정, 제조업 연소의 순서였음
 - 질소산화물(NO_x) 역시 에너지산업연소에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 도로이동 오염원, 생산공정의 순서였음
 - 휘발성유기화합물(VOCs)은 유기용제 사용 부문에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 생산공정, 생물성연소의 순서였음
 - 암모니아(NH₃)는 농업부문에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 생산공정의 순서였음

[표 4] 충남 대기오염물질(미세먼지) 부문별 배출량

(단위 : ton)

배출원 대분류	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3
에너지산업 연소	61,872	37,182	2,181	2,070	1,669	1,473	65
비산업 연소	3,710	2,949	118	101	64	104	73
제조업 연소	11,322	10,616	22,789	13,266	6,918	422	57
생산공정	15,710	24,412	2,302	1,405	1,076	22,016	9600
에너지수송 및 저장	-	-	-	-	-	2,843	-
유기용제 사용	-	-	-	-	-	28,722	-
도로이동오염원	26,197	14	746	746	686	2,206	567
비도로이동오염원	15,255	2,184	901	901	827	1,770	11
폐기물처리	496	100	15	11	9	2,832	1
농업	-	-	-	-	-	-	37331
기타 면오염원	11	-	-30	19	17	38	519
비산먼지	-	-	34,289	8,711	1,420	-	-
생물성 연소	914	9	3,220	1,419	1,158	7,118	2
합계*	135,487	77,466	66,531	28,649	13,844	69,544	48,226

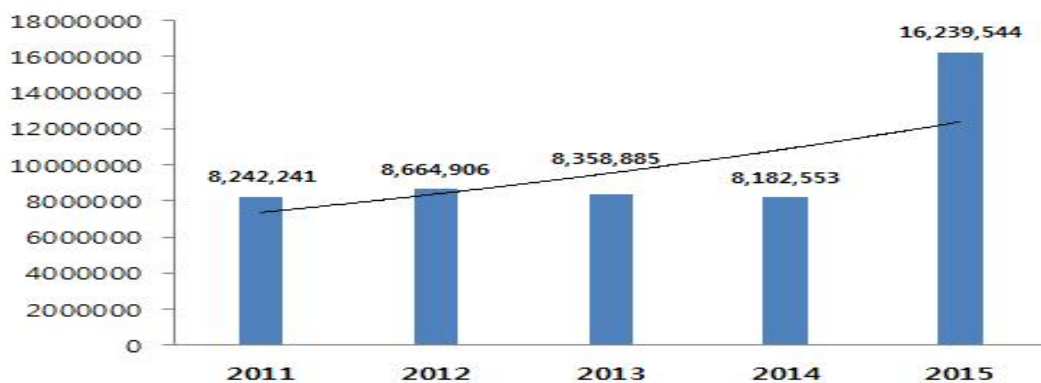
자료: 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량(<http://airemiss.nier.go.kr>), 2015년 기준

4. 충청남도 예산군

(1) 연도별 대기오염물질(미세먼지) 배출량 추이

- [대기오염물질총배출량] 2011년 8,242,241 kg에서 2014년 8,182,553 kg으로 약간 감소하다가 2015년에 16,239,544 kg으로 크게 증가하였음(2011년 대비 약 2배 증가)

(단위:kg)



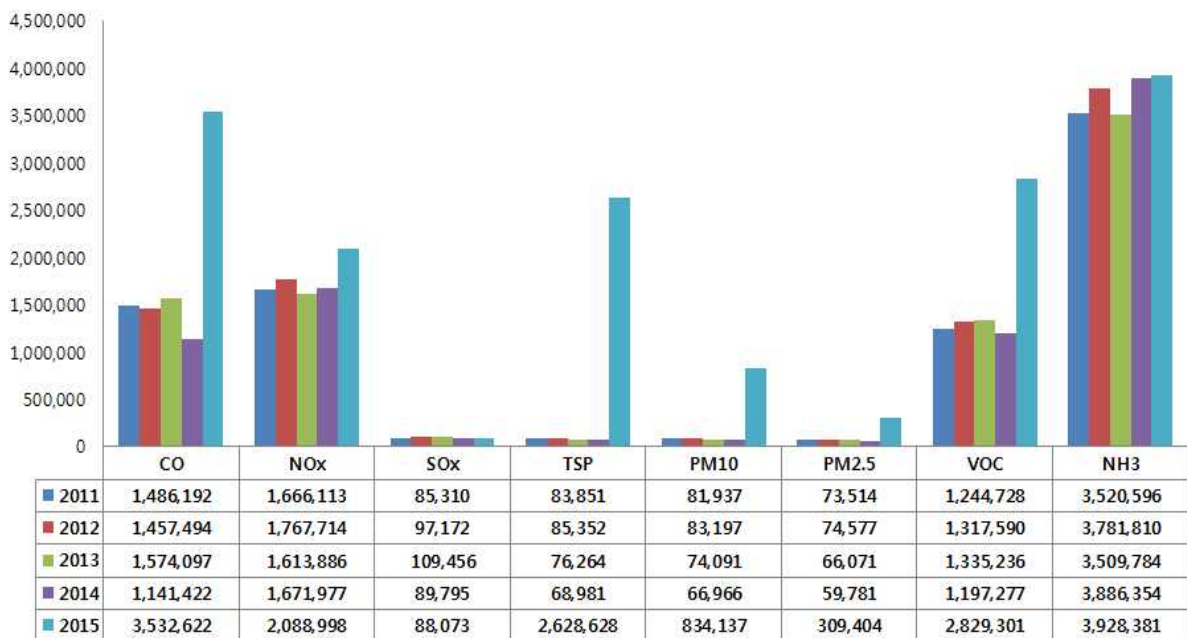
[그림 7] 예산군 대기오염물질 배출량 추이

자료: 저자 작성

● [대기오염물질별 배출량]예산군의 대기오염물질별 배출량 추이를 보면 <그림 8>과 같음

- 2011년 대비 2015년에는 모든 대기오염물질의 배출량이 증가했으나 특히 총먼지(TSP)의 배출량은 약 31.3배 증가하였고 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 배출량은 각각 약 10.0배, 약 4.2배로 뚜렷하게 증가한 것으로 나타남
- 2011년 대비 일산화탄소(CO)는 약 2.4배, 질소산화물(NO_x)은 약 1.3배, 휘발성유기화합물(VOC)은 약 2.3배 증가하였음
- 반면에 황산화물(SO_x)는 2011년 85,310 kg에서 2013년에 약간 증가하였다가 다시 2015년에 88,073 kg으로 2011년과 비슷하였음
- 대기오염물질별 중에서는 암모니아(NH₃)의 배출량이 가장 많았음

(단위:kg)



[그림 8] 예산군 대기오염물질별 배출량 추이

자료: 저자 작성

(2) 미세먼지 배출원별 배출량

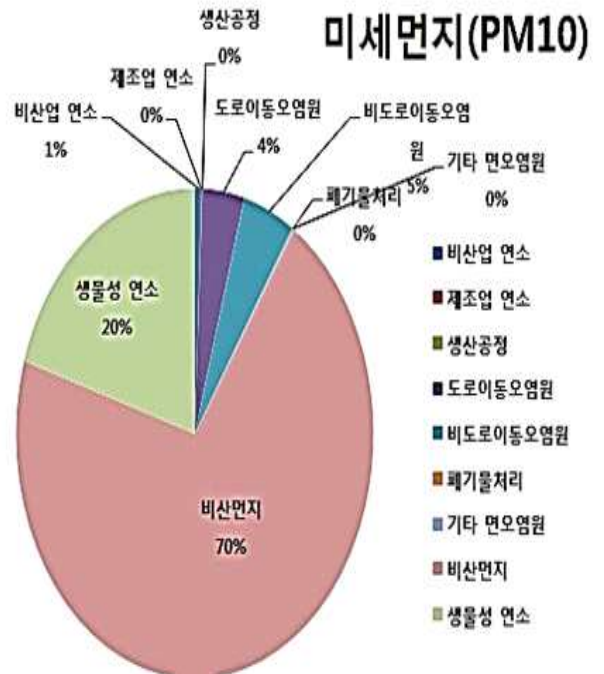
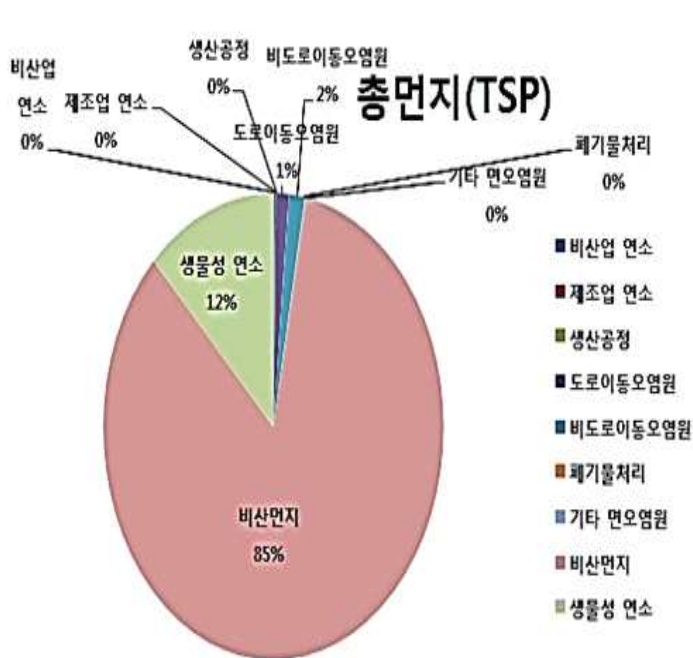
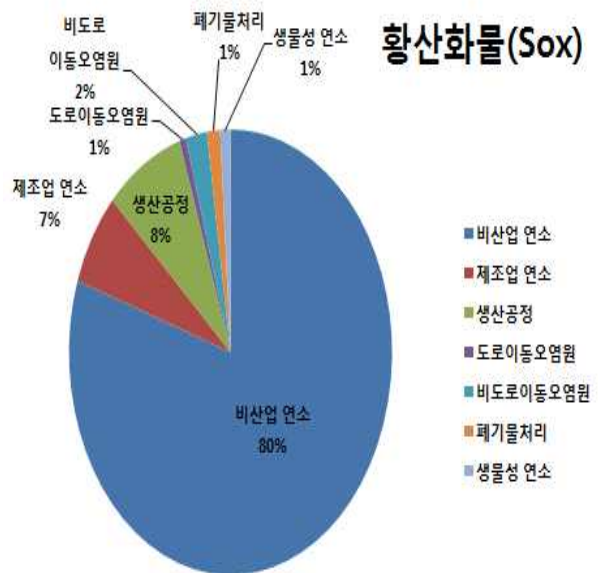
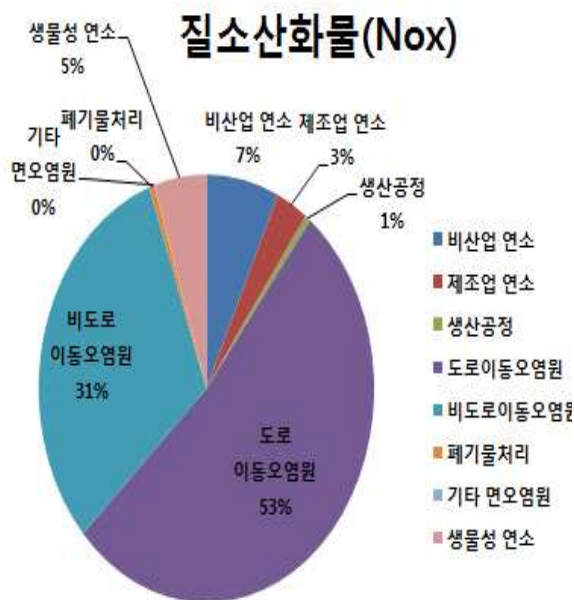
- 예산군의 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출원별 배출량은 <표 5>과 <그림 9>과 같음
 - 미세먼지(PM₁₀)배출량은 비산먼지가 587,579 kg으로 가장 많았고 그다음은 생물성연소가 168,511 kg, 비도로이동오염원 39,489 kg, 도로이동오염원 31,622 kg의 순서였음
 - 미세먼지(PM_{2.5})배출량은 생물성연소가 142,163 kg으로 가장 많았고 그 다음은 비산먼지가 97,067 kg, 비도로이동오염원 36,330 kg, 도로이동오염원 29,092 kg의 순서였음
- 미세먼지의 전구물질로 작용하는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃)의 배출원별 배출량은 <표 6>과 <그림 8>과 같음
 - 황산화물(SO_x)은 비산업연소에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 생산공정, 제조업 연소의 순서였음
 - 질소산화물(NO_x)은 도로이동오염원에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 비도로이동오염원, 비산업연소의 순서였음
 - 휘발성유기화합물(VOCs)은 생물성연소 부문에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 유기용제사용, 도로이동오염원의 순서였음
 - 암모니아(NH₃)는 농업부문에서 가장 많이 배출되었으며, 그 다음은 도로이동오염원였음

[표 5] 예산군 대기오염물질(미세먼지) 부문별 배출량

(단위 : kg)

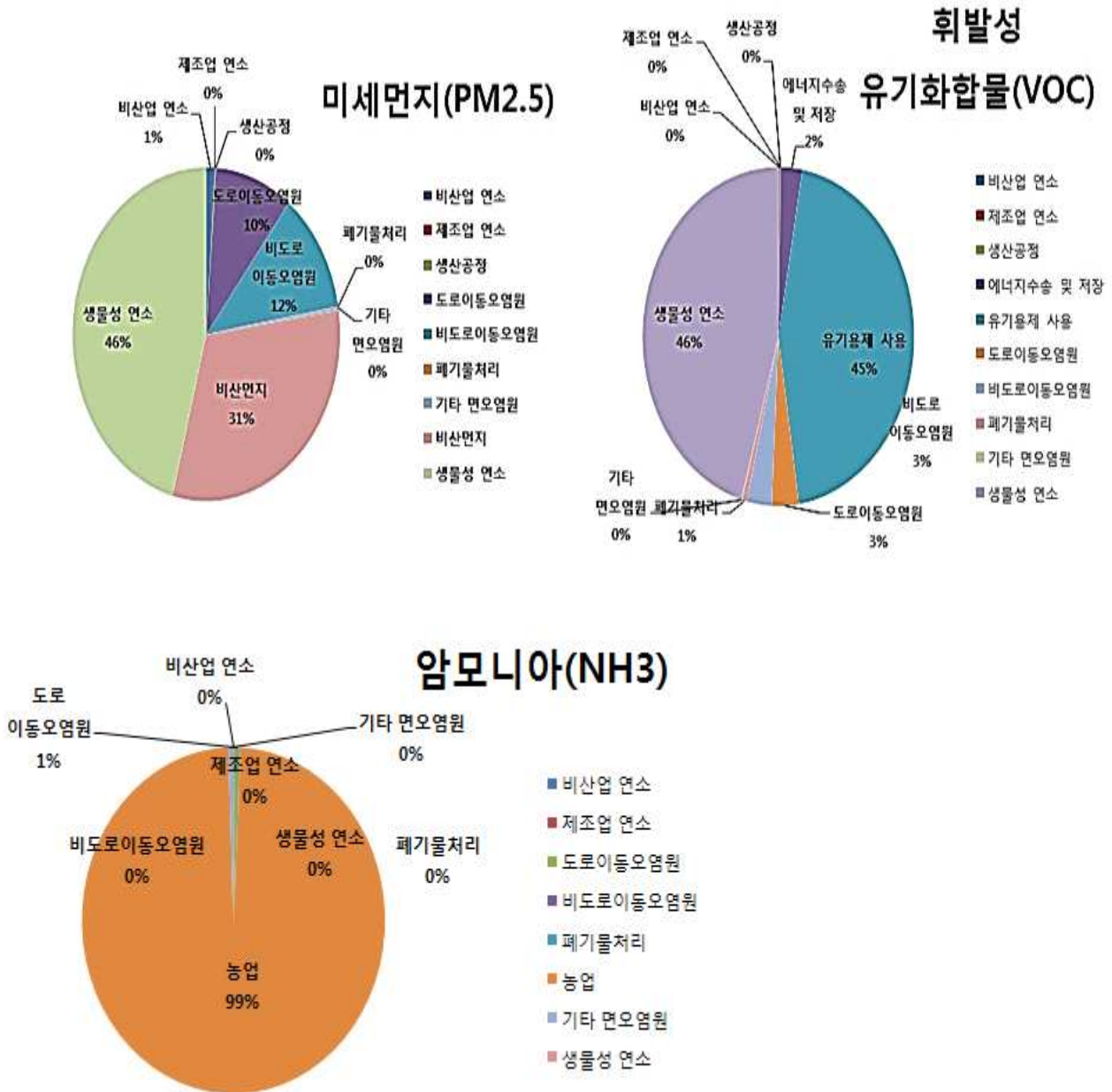
배출원 대분류	NO _x	SO _x	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3
비산업 연소	146,140	70,640	6,262	5,157	3,244	3,279	3,248
제조업 연소	64,902	5,929	269	253	168	2,946	924
생산공정	10,736	6,991	269	220	195	1,870	-
에너지수송 및 저장	-	-	-	-	-	71,762	-
유기용제 사용	-	-	-	-	-	1,266,288	-
도로이동오염원	1,097,593	575	31,622	31,622	29,092	90,615	24,480
비도로이동오염원	653,916	1,883	39,489	39,489	36,330	83,157	828
폐기물처리	10,555	1,142	314	227	173	17,560	29
농업	-	-	-	-	-	-	3,877,825
기타 먼오염원	620	-	1,699	1,080	972	2,177	20,871
비산먼지	-	-	2,221,789	587,579	97,067	-	-
생물성 연소	104,535	913	326,915	168,511	142,163	1,289,648	176
합계*	2,088,997	88,073	2,628,628	834,138	309,404	2,829,302	3,928,381

자료: 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량(<http://airemiss.nier.go.kr>), 2015년 기준



[그림 9] 예산군 오염물질별 배출원 배출량 기여율(2015년)

자료: 저자 작성



[그림 9] 예산군 오염물질별 배출원 배출량 기여율(2015년)(계속)

자료: 저자 작성

(3) 미세먼지의 연료별 배출량

- 예산군 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 연료별 배출량은 <표 6>과 같음
 - 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 연료별 배출량은 기타를 제외하고 경유가 약 90%를 차지하는 것으로 나타남
- 미세먼지의 전구물질로 작용하는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃)의 연료별 배출량은 <표 6>과 같음
 - 황산화물(SO_x)은 기타를 제외하고 무연탄에서 가장 많이 배출되었으며, 질소산화물(NO_x)은 기타를 제외하고 경유에서 가장 많이 배출되었음
 - 휘발성유기화합물(VOCs)은 기타를 제외하고 휘발유에서 가장 많이 배출되었으며, 암모니아(NH₃) 역시 기타를 제외하고 휘발유에서 가장 많이 배출되었음

[표 6] 예산군 대기오염물질(미세먼지) 연료별 배출량

(단위 : kg)

배출원 대분류	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3
무연탄	39,695	70,130	4,085	3,133	1,632	272	2
B-C유	7,115	5,891	198	182	98	166	103
경유	1,723,450	2,388	72,138	72,047	65,998	13,4821	2,516
등유	35,696	168	761	698	653	498	1,586
휘발유	41,522	140	70	70	64	104,214	23,950
LPG	30,738	131	158	158	158	2,443	235
LNG	79,187	179	233	233	233	3,841	1,088
CNG	5,149	-	-	-	-	5503	-
기타	126,445	9,046	2,550,985	757,616	240,569	2,577,543	3,898,901
합계	2,088,997	88,073	2,628,628	834,137	309,405	2,829,301	3,928,381

자료: 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량(<http://airemiss.nier.go.kr>), 2015년 기준

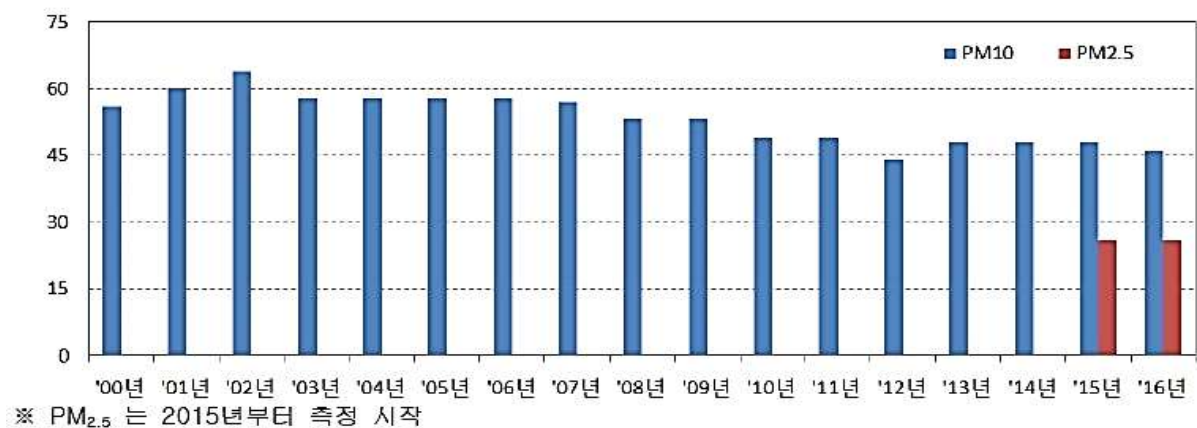
03

미세먼지 농도 변화

1. 전국의 미세먼지 연평균 농도 변화

- 국립환경과학원에서 매년 발간하는 「대기환경연월보(2016년)」에서 전국 미세먼지의 연도별 연평균 농도 추이를 분석한 자료는 <그림 10>와 같음
 - 전국 미세먼지(PM₁₀) 연평균 농도는 2000년 56.0 ug/m³에서 2016년 46.0 ug/m³으로 점점 감소하고 있는 경향을 보이고 있음
 - 전국 미세먼지(PM_{2.5}) 농도는 2015년부터 측정하기 시작하였으며 2015년과 2016년도에 26 ug/m³인 것으로 나타났음

(단위 :ug/m³)



[그림 10] 전국 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 연도별 농도 추이

자료: 국립환경과학원 「대기환경연월보」, 2016

2. 충청남도 예산군 미세먼지 연평균 농도변화

(1) 대기모델링 자료

● 충청남도 미세먼지(PM_{2.5}) 농도 변화 자료의 한계는 다음과 같음

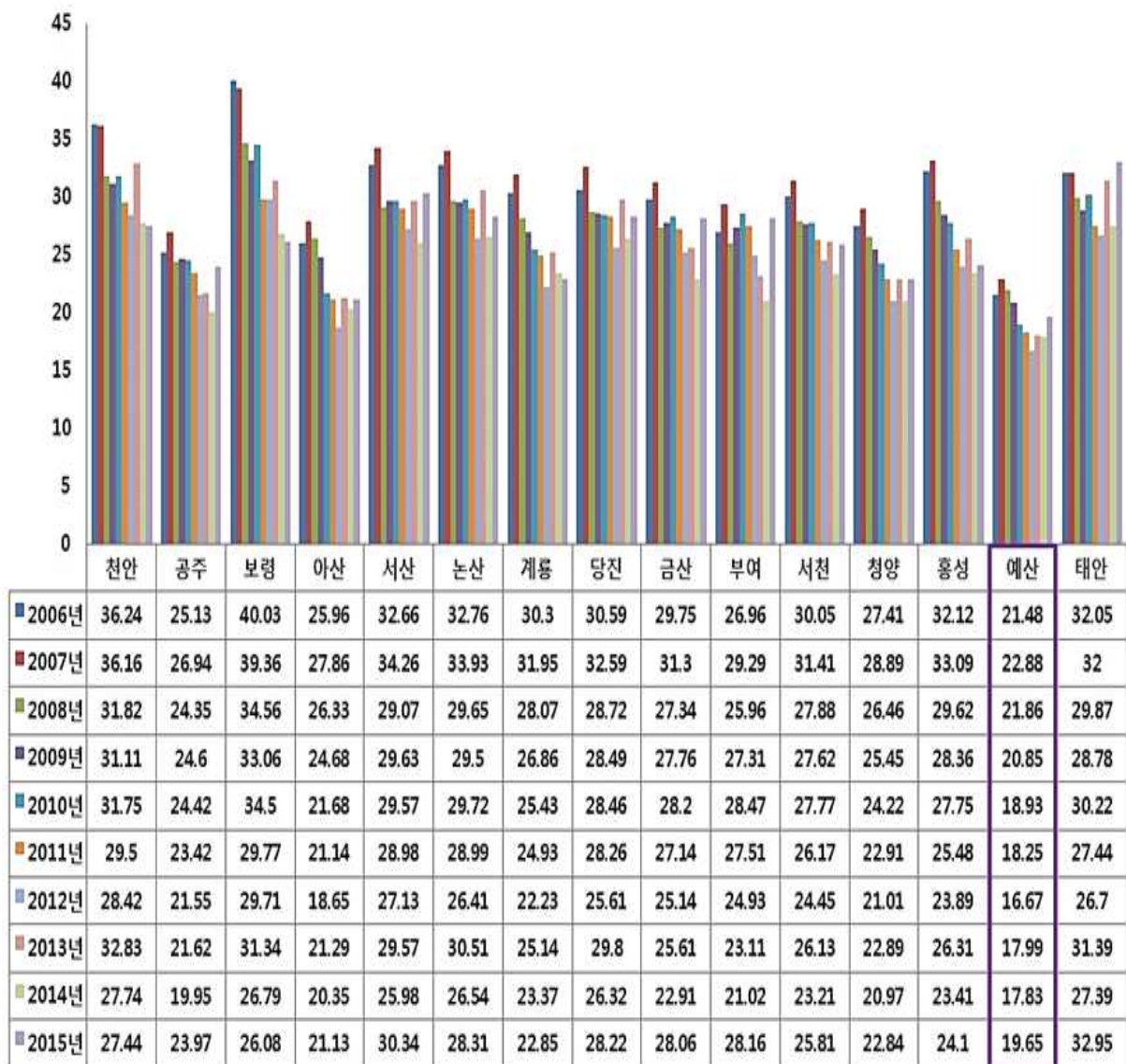
- 미세먼지 농도 변화를 살펴보기 위해서는 국가와 충남에서 운영하는 측정망 자료를 활용해야 하나, 충남의 경우 2017년까지 석탄화력발전소와 철강단지, 석유화학단지 등이 있는 서북부 지역에만 집중적으로 측정망 10개가 몰려있었음(2018년 말까지 전체 시군에 확대하여 약 25~30개의 측정망 확대·운영 예정)
- 예산군의 경우, 2017년도에 도시대기측정망(예산읍 주교로) 1개가 설치되어 2017년 5월부터 에어코리아에 공식적으로 자료가 표출되고 있지만 그전의 공식적인 측정망 자료는 없음
- 예산군의 측정망 자료를 활용하여 농도변화를 분석하는 것이 바람직하나 자료의 한계로 인해 본 연구에서는 연평균 농도변화를 배출량과 기상자료를 혼합한 대기모델링의 자료¹⁾로 분석하고자 함

● 예산군 미세먼지(PM_{2.5})의 연평균 농도 변화(2006년~2015년)는 <그림 11>과 같음

- 예산군의 미세먼지(PM_{2.5}) 연평균 농도는 2006년 21.48 ug/m³에서 2012년 16.67 ug/m³로 감소하다가 2013년도부터 다시 증가하고 있는 양상을 보임
- 인접지역인 당진시, 아산시, 서산시, 홍성군, 청양군에 비해 높지 않은 것으로 나타남
- 예산군의 미세먼지 연평균 농도는 인접지역에 비해 낮은 것으로 나타나지만 기상이나 기후 등 계절적 요인에 따라 당진시의 석탄화력발전소와 철강단지, 서산시의 석유화학단지 등 대형대기오염시설이 집중되어 있는 인접지역의 영향을 받을 것으로 예상됨

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

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



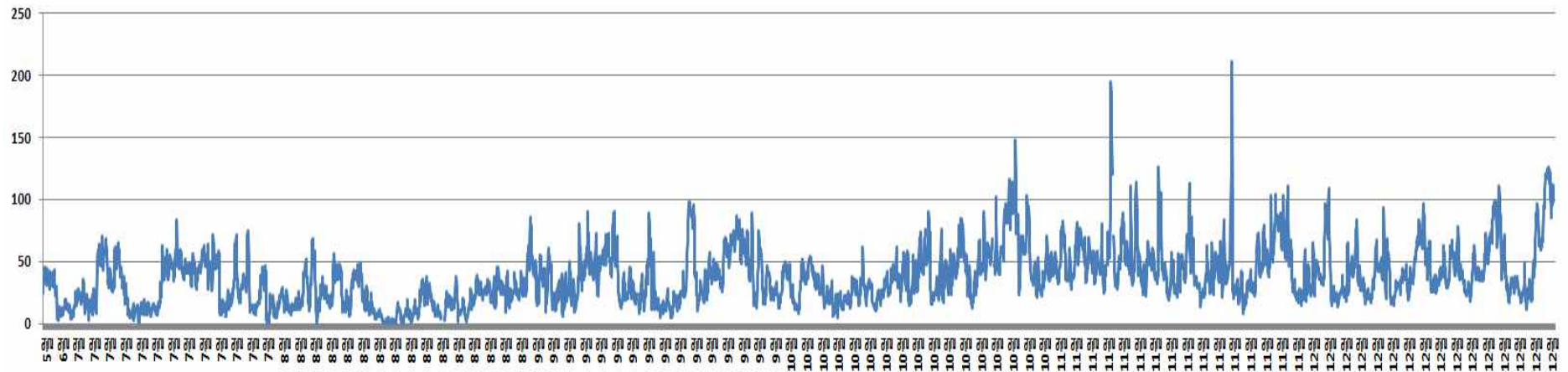
[그림 11] 충남 시군별 미세먼지(PM_{2.5}) 연평균 농도 변화(2006년~2015년)

자료: 저자 작성

(2) 측정망 자료

- 2017년 5월~12월(확정자료)까지 공식적으로 자료가 표출된 예산군의 대기측정망 미세먼지(PM₁₀) 농도는 <그림 12>과 같음
 - 5월~8월의 예산군 미세먼지(PM₁₀) 일평균 농도는 50 ug/m³를 초과하지 않는 범위이나 9월부터 12월까지는 100 ug/m³에 가까운 날의 수가 증가하는 패턴을 보이고 있음
 - 특히 10월에는 100 ug/m³를 초과하는 날의 수가 많았음

(단위 :ug/m³)

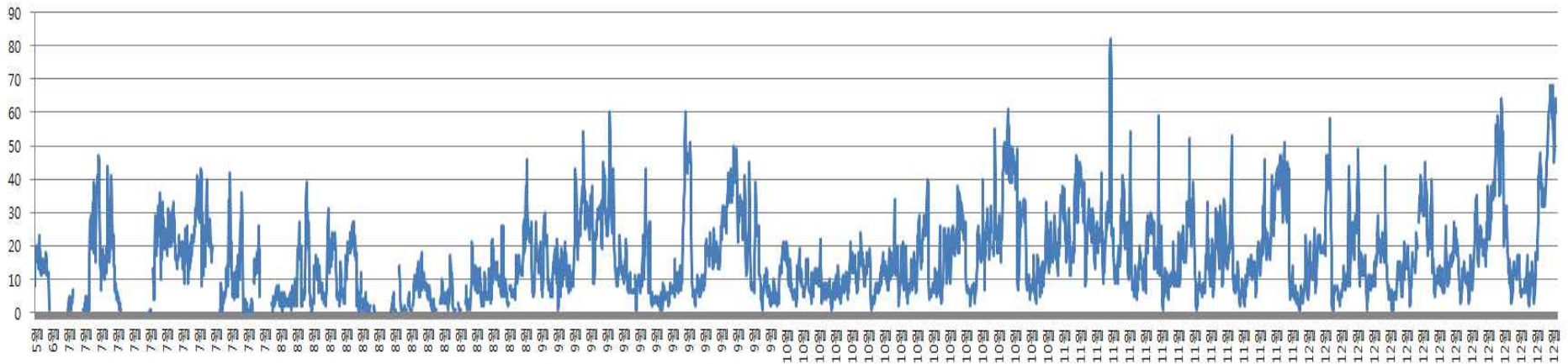


[그림 12] 예산군의 미세먼지(PM₁₀) 일평균 농도(2017년 5월~12월)*6월 자료 거의 없음

자료: 저자 작성

- 2017년 5월~12월(확정자료)까지 공식적으로 자료가 표출된 예산군의 대기측정망 미세먼지(PM_{2.5}) 농도는 <그림 13>와 같음
 - 9월부터 예산군 미세먼지(PM_{2.5})의 일평균 농도가 20 ug/m³를 초과하는 날의 수가 증가하는 패턴을 보이고 있음
 - 10월말부터 12월까지는 일평균 농도가 20 ug/m³를 초과하는 날의 수가 급격히 증가하고 있으며 11월부터는 50 ug/m³를 초과하는 날이 수도 증가하고 있음

(단위 :ug/m³)



[그림 13] 예산군의 미세먼지(PM_{2.5}) 일평균 농도(2017년 5월~12월)*6월 자료 거의 없음

자료: 저자 작성

04

국내 미세먼지 주요정책 동향

1. 환경부

- [미세먼지(PM_{2.5}) 환경기준 강화] 환경부는 미세먼지(PM_{2.5})의 환경기준을 일평균 35 ug/m³에서 연평균 15 ug/m³로 강화하는 ‘환경정책기본법 시행령’을 국무회의를 거쳐 2018년 3월부터 시행하였음
 - 그동안 국내 환경기준이 세계보건기구, 미국, 일본 등에 비해 완화된 수준이라는 지적들이 있어왔고 이에 따라 미세먼지 저감과 건강보호를 위해 환경기준을 미국, 일본 수준으로 강화함
 - 주의보 기준(2시간)은 현행 90 ug/m³에서 75 ug/m³로, 경보 기준(2시간)은 현행 180 ug/m³에서 150 ug/m³로 강화하는 ‘대기환경보전법 시행규칙’을 개정하여 7월부터 시행하고 있음
 - 주의보나 경보가 발령될때에 시도지사는 자동차 사용자체를 요청하고 사업장에는 연료사용량 감축 권고 등의 조치를 시행함

[표 7] 미세먼지 환경기준 강화내용

(단위 :ug/m³)

구 분	한 국		주요 선진국		기 타		
	현행	개정	미국	일본	WHO	EU	중국
연평균	25	15	15	15	10	25	35
일평균	50	35	35	35	25	(없음)	75

자료: 환경부, 2018

- [미세먼지 특별법 제정·공포] 미세먼지 저감대책의 법적 기반이 되는 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’의 제정·공포(안)이 의결되었고 2019년 2월부터 시행에 들어갈 예정임. 주요내용은 다음과 같음
 - 그동안 수도권 공공·행정기관을 대상으로 시범·시행 중이던 ‘고농도 미세먼지 비상저감조치’의 법적 근거를 마련하였음(자동차의 운행제한, 배출시설의 가동시간 변경·조정, 휴업 등의 저감 조치 시행)
 - 계절적, 비상시적 요인에 따라 환경부 장관은 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장, 시설운영자에게 배출시설에 대한 가동률 조정을 요청할 수 있음
 - 시·도지사, 군수·구청장은 관할구역 내에 미세먼지 오염지역 중에서 어린이노인 등의 이용하는 시설이 집중된 지역을 ‘미세먼지 집중관리구역’으로 지정하고 저감사업을 확대할 수 있음
 - 미세먼지 간이측정기의 성능인증제를 실시하여 간이 측정기의 정확성을 갖추도록 함
 - ‘미세먼지특별대책위원회’와 이를 지원하기 위한 ‘미세먼지개선기획단’을 국무총리 소속으로 설치함
 - 미세먼지 배출량의 정확한 산정과 관련 정보를 관리하기 위한 ‘국가미세먼지정보센터’를 설치·운영함
 - 정부는 5년마다 미세먼지 저감 및 관리를 위한 종합계획을 수립하고, 시도지사는 이에 따른 시행계획을 수립하고 추진실적을 매년 보고해야함

2. 충청남도

(1) 미세먼지 중심 대기환경개선 5개년(2018년~2022년) 종합계획 수립

- 충청남도는 기존의 미세먼지 관리 계획을 평가하고 미세먼지 관리여건 변화를 반영하기 위해 대기환경개선 5개년 종합계획을 수립하였음(그림 13)
 - 종합계획의 방향은 1) 대기오염물질 배출원 특성에 따른 저감대책 수립, 2) 어린이, 노약자 등 민감계층 중심 도민 체감정책 추진, 3) 미세먼지 저감 선도 정책 추진, 4) 국내외 미세먼지 저감을 위한 협력 강화, 5) 과학적 통계 기반 정책 추진임
 - 종합계획의 추진전략은 1) 에너지산업연소 관리, 2)산업부문 저감대책, 3) 이동배출원 관리, 4) 대기오염물질 총량관리제 도입, 5) 과학적인 관리기반 구축, 6) 건강보호 등 생활환경 개

선, 7) 대외협력 및 정책건의, 8) 교육 및 홍보임

- 에너지산업연소관리부문의 주요사업은 석탄화력발전 노후기준을 단축과 봄철 노후 석탄화력 일시 가동중단, 석탄화력발전 연료를 저유황탄으로 전환, 옥외 저탄장 시설산 비산먼지 관리 등이 있음
- 산업부문의 주요사업은 대기오염물질 배출사업장 자발적 감축이행 및 감축대상 확대, 사업장 배출허용기준 강화, 지역별 배출량 산정을 위한 인벤토리시스템 구축 등이 있음
- 이동배출원관리부문의 주요사업은 친환경차 및 인프라 시설 보급 추진, 경유버스 대전환, 노후 경유차 순차적 폐차, 정박지 선박관리 조례 제정 등이 있음
- 대기오염총량관리제 도입부문의 주요사업은 총량제 체계관리를 위한 조직을 운영하여 준비하며 과학적 관리기반구축부문의 주요사업으로는 공공 및 민간측정소 통합관리와 충남형 대기질 분석진단 시스템 구축, 측정망 확충, 미세먼지 경보제 3개권역 확대·운영 등이 있음
- 건강 보호 등 생활환경 개선부문의 주요사업은 환경민감지역 주민건강영향조사, 실내공기질관리, 고농도 미세먼지 비상저감조치 시행 등이 있음
- 대외협력 및 정책건의부문의 주요사업은 미세먼지협의체 구성, 국외협력강화, 이웃지자체와의 협력 강화, 미세먼지 저감 관련법 제·개정 지속 건의 등이 있음

(2) 충남형 대기질 분석진단 시스템 구축

- 충청남도는 대기오염 측정망 확대와 대기이동측정차량 체계 구축, 미세먼지 성분분석 등 그동안의 추진성과를 바탕으로 보다 더 과학적인 측정과 정책수립을 위해 대기질 분석·진단 시스템을 구축하고 있음
 - 미세먼지 이동경로 파악, 미세먼지 고농도 원인분석, 배출원 추적, 정책효과를 검증하기 위해 대기질 진단시스템을 구축(2018년~2020년)
 - 대기질 분석·진단 시스템을 통해 대기질 상세지역 예보 체계를 강화하고 1 km² 상세 격자단위로 대기의 도내 유입 거동을 분석하므로 고농도 원인을 분석
 - 충청남도에 미치는 석탄화력발전의 영향을 분석하여 노후석탄화력발전 관련 미래 시나리오의 영향을 분석



(그림 14) 충청남도 대기환경개선 5개년 종합계획(안)

자료: 충남도청, 2018

1. 결론

(1) 대기오염물질(미세먼지) 배출량과 연도별 추이

- 충남 예산군의 대기오염물질 배출량은 2015년 기준으로 16,240 톤으로 충남 15개 시·군 중에서 10위였으며 충남 전체 배출량의 약 3.2%에 해당됨. 예산군의 대기오염물질 배출량은 2011년 8,242,241 kg에서 2015년 16,239,544 kg으로 약 2배 증가하였음
- 충남 예산군의 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량은 뚜렷한 증가추이를 보이고 있으며 대기오염물질 중에서 암모니아(NH₃)의 배출량이 가장 많았음
 - 총먼지(TSP)는 2011년 대비 2015년에 31.3배 증가하였음
 - 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 배출량은 각각 약 10.0배, 약 4.2배로 증가하였음
 - 휘발성유기화합물(VOC)의 배출량 역시 2011년 대비 2015년에 약 2.3배 증가하였음
 - 대기오염물질별 중에서는 암모니아(NH₃)의 배출량이 가장 많았음

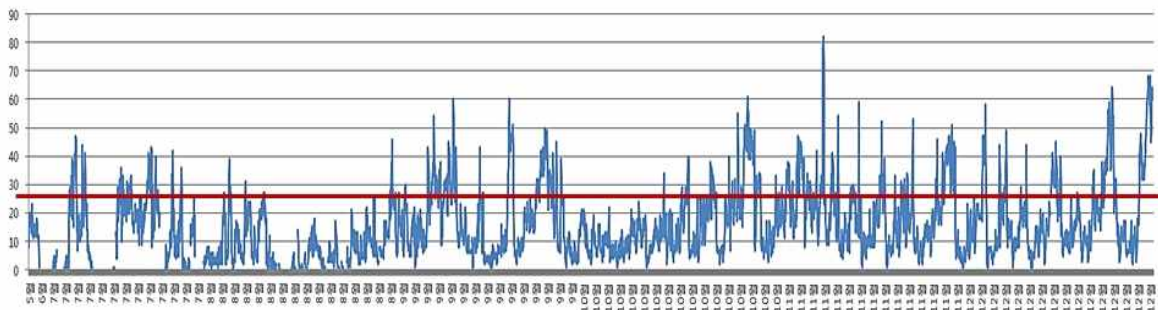
(2) 미세먼지 배출원별 배출량과 기여율

- 충남 예산군의 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량은 비산먼지부분과 생물성연소부분에서 가장 많이 배출되는 것으로 나타났으며 그다음은 비도로이동오염원과 도로이동오염원인 것으로 나타남

- 미세먼지의 전구물질로 작용하는 황산화물(SO_x) 배출량은 비산업연소에서 가장 많이 배출되었고, 질소산화물(NO_x)은 도로이동오염원, 휘발성유기화합물(VOC)은 생물성연소, 암모니아(NH₃)는 농업부문에서 가장 많이 배출되었음

(3) 미세먼지 농도변화

- [대기모델링 자료] 예산군의 미세먼지(PM_{2.5}) 연평균 농도는 인접지역인 당진시, 아산시, 서산시, 홍성군, 청양군에 비해 높지 않으나 2013년도부터 다시 증가하고 있는 경향을 보이고 있음
- [대기모델링 자료] 강화된 미세먼지(PM_{2.5})의 환경기준인 연평균 15 ug/m³로 적용하면, 예산군은 2006년부터 2015년까지 모든 연도에서 환경기준을 초과하는 것으로 나타남
- [도시대기측정망 자료] 2017년 5월부터 에어코리아로 표출된 공식적인 일평균 미세먼지(PM₁₀) 농도는 9월부터 100 ug/m³에 가까운 날의 수가 증가하는 경향을 보임. 미세먼지(PM_{2.5}) 농도 역시 9월부터 20 ug/m³를 초과하는 날의 수가 증가하는 경향을 보이고 있음
- [도시대기측정망 자료] 예산군의 도시대기측정망 자료(2017년 5월~12월)로 연평균을 분석하면 16 ug/m³로 2018년의 강화된 미세먼지(PM_{2.5}) 환경기준인 연평균 15 ug/m³을 약간 초과하는 것으로 나타남. 그러나 향후 고농도 미세먼지를 보이는 봄철의 자료까지 포함되면 환경기준을 조금 더 초과할 것으로 예상됨



(4) 국내 미세먼지 주요정책 동향

- [환경부] 미세먼지(PM_{2.5})의 환경기준을 연평균 15 ug/m³로 강화하였고 미세먼지 저감대책의 법적 기반이 되는 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’을 2019년 2월부터 시행할 예정임
- [충청남도] ‘미세먼지 중심 대기환경개선 5개년(2018년~2022년) 종합계획’을 수립하였고 특히 대기오염측정망 확대와 대기이동측정차량 체계 구축, 미세먼지 성분분석 등 과학적인 측정과 정책수립을 위해 ‘충남형 대기질 분석·진단 시스템’을 구축하고 있음

2. 정책 제언

(1) 미세먼지 다량 배출원에 대한 배출량 저감대책 필요

① 비산먼지부문과 생물성연소부문의 배출량 저감

- 예산군의 대기오염물질 총 배출량은 2015년을 기준으로 충남 전체 배출량의 약 3.2%에 해당하는 수준이지만 2011년 대비 2015년의 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량은 각각 31.3배, 10.0배, 4.2배로 뚜렷하게 증가하고 있음
- 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM₁₀)의 배출원별 배출량 기여율은 비산먼지부문에서 70%~80%를 차지하였고, 미세먼지(PM_{2.5})는 생물성연소부분에서 46%를 차지하였음
 - 충남 전체의 경우 제조업연소에서 미세먼지가 가장 많이 배출된 반면 예산군은 비산먼지부문과 생물성연소부분에서 가장 많이 배출됨
- 특히 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 예산군의 경우에는 특히 농촌지역의 노천소각에 의한 배출량을 저감할 필요가 있음

② 2차 미세먼지 생성에 기여하는 물질 중 암모니아(NH₃)의 배출량 저감

- 예산군은 대기오염물질 배출원별 배출량에서 다른 대기오염물질보다 뚜렷하게 암모니아(NH₃)의 배출량이 많은 지역임
- 암모니아(NH₃)의 배출원별 배출량 기여율은 농업이 99%로 거의 대부분 농업활동에서 배출되는 것으로 파악됨. 따라서 농업활동에서의 암모니아(NH₃) 배출 양상을 보다 면밀히 검토하여 대책을 마련하는 것이 필요

(2) 예산군민이 체감하는 미세먼지 농도 저감대책 필요

- 예산군에서 배출되는 대기오염물질(미세먼지 포함) 배출량은 충남 타 시군에 비해 적은편이지만 예산군은 대기오염물질 다량 배출사업장이 집중되어 있는 당진시·서산시·아산시의 인접 지역으로서 계절요인에 따라 미세먼지 농도변화에 영향을 줄 것으로 판단
- 고농도 미세먼지가 발생하는 봄철과 겨울철은 황사 및 기온 등의 영향으로 기저질환을 가지고 있는 노인층과 아직 발달이 미성숙한 영유아 어린이들에게는 특히 건강에 영향을 미칠 수 있음
 - 미세먼지와 관련 있다고 규명된 호흡기질환, 심혈관계 질환 등에 대한 예산군의 질환자 실태와 양상을 분석할 필요가 있음
 - 특히 건강취약계층인 노인과 영유아, 어린이에 대한 질환발생양상과 고농도 미세먼지 발생

양상의 비교분석 필요

- 미세먼지에 대한 건강취약계층과 예산취약지역을 파악함으로써 미세먼지집중관리지역과 계층에 대한 관리정책 필요

(3) 농촌지역과 농업에 관련된 미세먼지 저감대책 필요

- 미세먼지를 저감하기 위해 건설사업장·공사장을 대상으로 비산먼지를 저감하고 도로이동오염원을 저감하는 방안도 중요하지만, 특히 예산군의 경우에는 농촌지역과 농업에 관련된 미세먼지 저감대책도 필요
 - 예산군의 미세먼지(PM_{2.5})의 배출원별 배출량 기여율이 생물성연소 부분(생활폐기물 및 농업 잔재물 노천소각)에서 46%나 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 성장과 실태를 보다 면밀히 파악하여 저감대책을 수립할 필요가 있음
 - 농촌지역을 중심으로 측정망을 추가 설치하는 방안 모색 필요

(4) 장기적 관리 차원에서 미세먼지 정책을 추진할 수 있는 법적기반과 기본계획 수립 필요

- 현재 예산군의 대기오염물질(미세먼지 포함) 배출량은 충남의 약 3.2%를 차지하지만 향후 배출량은 계획 증가할 것으로 예측되므로 이에 대한 대책이 필요
 - 대기오염물질(미세먼지 포함) 배출량은 2011년 대비 2015년에 약 2배 증가
 - 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량은 2011년 대비 2015년에 각각 31.3배, 10.0배, 4.2배로 뚜렷하게 증가하고 있음
- 본 연구에서 활용된 대기모델링 미세먼지(PM_{2.5}) 농도에 2018년의 강화된 환경기준을 적용하면 2006년에서 2015년까지 모든 연도에서 환경기준을 초과함

- 예산군에서 발생하는 미세먼지의 지역적 특성 파악(인접지역 영향 포함)과 이를 해결하기 위한 기본계획 및 관련 조례 제정 모색
 - 국가적으로 미세먼지 환경기준이 강화되었고 2019년 2월부터 미세먼지 저감대책의 법적기반이 되는 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’이 시행될 예정임
 - 중앙정부의 정책과 연계된 예산군의 법적기반과 기본계획 수립이 필요
 - 예산군에서 발생하는 미세먼지의 다량배출원인 비산먼지부문, 생물성연소부문, 전구물질인 암모니아의 다량배출원인 농업부문 등의 지역적 특성과 인접지역 영향 등을 파악하고 이를 해결하기 위한 기본계획 수립 필요
 - 예산군의 지역적 특성이 반영된 미세먼지 조례 제정 필요

참고문헌

국립환경과학원. 2017. 대기환경연월보(2016).

명형남과 김순태. 2016. ‘전국과 충남의 미세먼지 현황과 정책제언’, 충남리포트 제 231호, 충남연구원.

환경부. 2017. 대기오염물질 다량배출사업장.

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

참고 사이트

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

에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr>)