

(옆면)

(앞면)

319108-2

논 밭두렁 및 영농폐기물부산물 소각 등 농촌  
소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향

2021

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( )발간등록번호( O )  
농생명산업기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003628-01

# 논 밭두렁 및 영농폐기물부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향

2021. 07. 30.

주관연구기관 / 광주과학기술원

농림축산식품부  
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

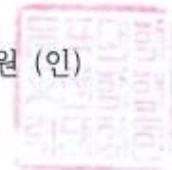
본 보고서를 “논 밭두렁 및 영농폐기물부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출  
량에 미치는 영향”(개발기간 : 2019. 09. ~ 2021. 04.)과제의 최종보고서로 제출합니  
다.

2021. 07. 30.



주관연구기관명 : 광주과학기술원 (대표자) 총장직무대행 송 종 인 (인)

참 여 기 관 명 : 목포대학교 산학협력단 (대표자) 정 석 원 (인)



주관연구책임자 : 이 병 태

참여기관책임자 : 배 민 석

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서						보안등급			
						일반[ √ ], 보안[ ]			
중앙행정기관명					사업명	농생명산업기술개발사업			
전문기관명 (해당 시 작성)					내역사업명 (해당 시 작성)				
공고번호					총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)				
					연구개발과제번호	319108-2			
기술분류	국가과학기술 표준분류	N74	50%	N23	25%	N72	25%		
	농림식품과학기술분류	RA0499	60%	RA0406	20%	RA0401	20%		
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문							
		영문							
연구개발과제명		국문	는 발두렁 및 영농폐기물무산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향						
		영문	Effects of field burning of agricultural residues on fine dust emissions						
주관연구개발기관		기관명	광주과학기술원		사업자등록번호	410-82-07550			
		주소	(우)61005 광주광역시 북구 첨단과기로 123		법인등록번호				
연구책임자		성명	이병태		직위	연구교수			
		연락처	직장전화	062-715-3315		휴대전화	010-3647-2025		
			전자우편	btlee@gist.ac.kr		국가연구자번호	11400109		
연구개발기간		전체	2019. 09. 20 - 2021. 04. 19( 1년 7개월)						
		단계 (해당 시 작성)	1단계	YYYY. MM. DD - YYYY. MM. DD( 년 개월)					
			n단계	YYYY. MM. DD - YYYY. MM. DD( 년 개월)					
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원	기관부담		그 외 기관 등의 지원금		연구개발비 외 지원금		
		연구개발비 현금	연구개발비 현금	현물	현금	현물		현금	현물
총계		250,000					250,000	250,000	
1단계	1년차	100,000					100,000	100,000	
	2년차	150,000					150,000	150,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고		
위탁연구개발기관		목포대학교	배민석	교수	010-2966-5034	minsbae@hotmail.com	위탁	대학	
연구개발담당자 실무담당자		성명	유근배		직위	연구원			
		연락처	직장전화	062-715-3312		휴대전화	010-9299-3961		
			전자우편	goodfish@gist.ac.kr		국가연구자번호	10180713		

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021년 07월 30일

연구책임자: 이 병 태

주관연구개발기관의 장: 총장직무대행 송 종 인 (직인)

위탁연구개발기관의 장: 목포대학교 산학협력단장 정 석 원 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

## < 요약 문 >

사업명	농생명산업기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)				연구개발과제번호		319108-2	
기술분류	국가과학기술 표준분류	N74	50%	N23	25%	N72	25%
	농림식품 과학기술분류	RA0499	60%	RA0406	20%	RA0401	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명	논 발두렁 및 영농폐기물부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향						
전체 연구개발기간	2019. 09. 20 - 2021. 04. 19						
총 연구개발비	총 250,000 천원 (정부지원연구개발비: 250,000천원)						
연구개발단계	기초[ <input checked="" type="checkbox"/> ] 응용[ <input type="checkbox"/> ] 개발[ <input type="checkbox"/> ] 기타[ <input type="checkbox"/> ]			기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준( ) 종료시점 목표( )	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 농업농촌지역의 농업 잔재물 노천소각으로 인한 대기오염물질 배출량 산정 및 배출 특성 평가</li> <li>■ 농촌 소각이 미세먼지 발생량에 미치는 영향 평가</li> </ul> <p>[세부 목표]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. CAPSS 내 농촌 생물성 연소 활동도 갱신</li> <li>2. 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 산정</li> <li>3. 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정</li> <li>4. 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)</li> <li>5. 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 저감 및 관리 방안</li> </ol>				
	전체 내용		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 농업 잔재물 소각의 활동도 자료 구축                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 활동도 자료 구축을 위한 “설문조사” 설계</li> <li>■ 전국 시·군·구 단위 농업인(1,002명) 대상 활동도 설문조사</li> <li>■ 설문결과 통계처리 및 해석</li> <li>■ 40개 세분류별 소각비율, 소각시기 등 활동도 도출</li> <li>■ 농업 잔재물 발생량 및 소각량 산정방안 제시</li> </ul> </li> <li>2. 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 산정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 배출계수 산정을 위한 연소 시험 설비 마련</li> <li>■ 11개 세분류 농업 잔재물 시료 확보 및 연소 시험</li> <li>■ 11개 세분류별 대기오염물질 배출계수 산정</li> </ul> </li> <li>3. 농업 잔재물 소각에 의한 대기오염물질 배출량 산정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 배출량 자료 구축 배출특성 평가 및 CAPSS</li> <li>■ 선행연구, CAPSS 자료와이 비교 분석을 통한 현행 배출량 산정의 개선방안 도출</li> </ul> </li> <li>4. 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ CMAQ 모델링을 통한 시·공간에 대한 환경 영향 자료 구축</li> </ul> </li> <li>5. 농업잔재물 소각에 의한 대기오염물질 배출량 저감 및 관리 방안 제시                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 저감 방안 : 기술적 제도적 방안 제시</li> <li>■ 관리 방안 : 배출량 관리방안 제시</li> </ul> </li> </ol>				
	1단계 (해당 시 작성)	목표 내용					

	n단계 (해당 시 작성)	목표	
		내용	

연구개발성과	<p>[정성적 성과]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 농촌지역 농업잔재물 소각 활동도 조사를 위한 설문조사표 개발</li> <li>2. 40개 세분류 농업 잔재물 소각비율 활동도 자료 갱신</li> <li>3. 작물별 농업 잔재물 발생량 추정 방법 제시 및 발생량 산출</li> <li>4. 농업잔재물 연소시험을 위한 연소설비 설계 및 구축</li> <li>5. 연소 시 대기오염물질 실시간 측정용 기술 설계 및 구축</li> <li>6. 11개 작물의 농업 부산물 소각 대기오염물질 배출계수 산정</li> <li>7. 19개 세분류에 대한 대기오염물질 배출량 산정</li> <li>8. 선행연구 및 CAPSS의 배출량 산정방식 개선방안 제시</li> <li>9. 농업 잔재물 소각에 의한 미세먼지 발생예측을 위한 대기질 모델링 시스템 구성</li> <li>10. WRF v3.8.1 모델 구동을 통한 동아시아 지역 기상입력자료 생성</li> <li>11. CMAQ 모델링에 적용되는 소각 배출량 자료 구축</li> <li>12. 모델링 구현을 위한 인공위성 관측자료 및 지상 관측자료 구축</li> </ol> <p>[정량적 성과]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 농업 잔재물 소각 관련 활동도 세분류 40개 개발</li> <li>2. 농업 잔재물 11개 세분류에 대한 배출계수 개발</li> <li>3. 농업 잔재물 19개 세분류에 대한 배출량 산정</li> <li>4. 농림부, 농촌진흥청 등 관계기관에 연구결과 제공을 통한 정책개발 참여 3건</li> </ol>
--------	---

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경부에서 관리하는 대기오염물질 배출량의 산정방법과 관련하여 본 연구결과인 활동도와 배출계수 자료를 적용하여 신뢰도 높은 정보를 생산하는 데 활용</li> <li>• 본 연구에서 사용한 연소 시험 방법은 기존 배출계수 산정을 위해 사용된 실험 방법을 진일보시킨 것으로서 수분 함량, 연소 방법 등에 의해 발생하는 높은 불확도를 감소시키는데 활용</li> <li>• 농업 부산물 연소에 잔류 비료 및 농약 성분이 배출계수에 영향을 미칠 수 있다는 연구결과를 통해 향후 농촌지역 대기 환경을 관리하기 위한 추가 연구에 참고자료로 활용</li> <li>• 대기오염물질 배출량뿐만 아니라 기상모델과 대기화학모델 등을 활용한 대기질 모델 시스템을 구축하여 미세먼지 발생을 예측하고, 이 결과를 통하여 농업잔재물 소각에 의한 미세먼지 발생 영향을 평가하였음. 이러한 진일보된 연구기법은 향후 다양한 분야의 미세먼지 발생 예측기술로 활용이 가능하며, 또한 구축된 기상자료 등 모델자료들은 향후 후속연구에 기본정보로서 활용성이 매우 높음.</li> </ul>
---------------------	---

연구개발성과의 비공개여부 및 사유												
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화학물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호		

국문핵심어 (5개 이내)	활동도	배출계수	배출량	미세먼지	생물성 연소
영문핵심어 (5개 이내)	Activities	Emission factor	Emissions	Fine dust	Biomass burning

# 목 차

<b>1. 연구개발과제의 개요</b> .....	<b>14</b>
가. 연구개발의 필요성 .....	14
1) 연구개발의 개요 .....	14
2) 연구개발 대상의 국내·외 현황 .....	16
나. 연구개발의 목표 및 내용 .....	26
1) 최종목표 .....	26
2) 세부목표 .....	27
<b>2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용</b> .....	<b>28</b>
가. 국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별 활동도 자료의 update .....	28
1) 농업 잔재물 소각 행태 조사를 위한 설문조사 .....	28
나. 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 갱신 .....	36
1) 연소시험 시설 구축 .....	36
2) 분석대상 선정 .....	39
3) 연소 시험용 시료 채취 .....	41
4) 연소시험 .....	42
5) 배출계수 산정 및 DB화 .....	44
다. 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정 .....	51
1) 배출량 산정 방법 .....	51
라. 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링) .....	54
1) 산정기법 확립 및 대기질 모델링 시스템 구성 .....	54
2) 기상모델링 .....	55
3) 대기화학 모델링 .....	57
4) 관측자료 .....	64
<b>3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도</b> .....	<b>67</b>
가. 연구수행결과 .....	67
1) 정성적 연구개발성과 .....	67
2) 정량적 연구개발성과 .....	156
나. 목표 달성 수준 .....	158
<b>4. 목표 미달 시 원인분석</b> .....	<b>159</b>
가. 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용 .....	159
나. 자체 보완활동 .....	159
다. 연구개발 과정의 성실성 .....	159
<b>5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도</b> .....	<b>160</b>
<b>6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획</b> .....	<b>161</b>
<b>7. 별첨 자료(참고문헌, 부록)</b> .....	<b>171</b>

## <표 차례>

표 1. 국내 배출량 산정 선행 연구 요약	16
표 2. 통계청 주요 농업 작물 자료와 농업잔재물 세분류 비교 (예시)	18
표 3. 국외 배출량 산정 선행 연구 요약	19
표 4. 미국 EPA에서 제시한 생물성 연소 배출량 산정 방법	20
표 5. 유럽 배출원별 대기오염물질 배출량 (2014년 기준, 천톤/년)	21
표 6. 설문조사 대상 선정과정	29
표 7. 설문조사표 마련을 위한 단계 및 단계별 내용	29
표 8. 설문조사 주요 내용	30
표 9. 설문조사 진행 과정	31
표 10. 새해농업인 실용교육 및 농업인대학 교육 참여 대면조사 과정	31
표 11. 대면조사 대상 및 조사 결과	32
표 12. 농업기술원 농업인대학 교육 참여 우편조사 과정	32
표 13. 우편조사 대상 및 조사 결과	33
표 14. 품목별 작물연구회 회원 온라인조사 과정	34
표 15. 온라인조사 대상 및 조사 결과	34
표 16. 연소 시험 시설에 사용되는 항목별 측정기기	39
표 17. 농업 잔재물 연소시험 대상 세분류 작물의 경작지 면적	41
표 18. 수분 함량에 따른 가스상 오염물질의 농도	44
표 19. 농업잔재물 수분량 측정결과	44
표 20. 농업농촌분야 생물성 연소 배출계수 산정 항목	45
표 21. 분석항목별 측정 방법	46
표 22. NH3 analyzer condition	47
표 23. NH3 측정에 의한 농도 산출식	47
표 24. 이온크로마토그래피 분석 조건	48
표 25. TC (OC+EC) 분석 열광학 조건	49
표 26. Operational conditions of GC/MS-TD system	50
표 27. 단위면적당 소각 가능 잔재물 중량	52
표 28. 배출량 산정에 사용된 세분류 작물별 배출계수	53
표 29. WRF 모델 환경설정 및 적용된 물리적 옵션	56
표 30. CMAQ 구동에 적용한 모듈 옵션	58
표 31. CMAQ 모델링에 적용된 인위적/자연적/산불발생/농업 잔재물 소각 배출량 자료	59
표 32. QA4ECV 알고리즘의 NO2 층적분 농도 자료 추출을 위한 flag 기준	65
표 33. 농촌지역 생활폐기물 발생량 및 처리 비중	67
표 34. 농촌지역 생활폐기물의 노천소각량 및 소각 횟수	68
표 35. 농업 잔재물 소각 행태 설문조사 응답자 특성	70

표 36. 전체작물 기준 작물잔사 처리 실태 .....	72
표 37. 전체작물 기준 지역 및 작물별 농업 잔재물 소각 행태 비교 .....	74
표 38. 세분류 작물별 농업 잔재물 및 영농폐기물 처리 행태 .....	76
표 39. 세부 작물별 농업잔재물 소각 시기 .....	78
표 40. 콩, 고추, 참깨의 주·부산지 및 재배면적 규모 분석 기준 .....	81
표 41. 콩의 주·부산지에 따른 농업 잔재물 처리 비교 .....	81
표 42. 콩의 경작지 규모에 따른 농업 잔재물 처리 비교 .....	81
표 43. 고추의 주·부산지에 따른 농업 잔재물 처리 비교 .....	82
표 44. 고추의 경작지 규모에 따른 농업 잔재물 처리 비교 .....	82
표 45. 참깨의 주·부산지에 따른 작물잔사 처리 차이검증 .....	82
표 46. 참깨의 규모에 따른 작물잔사 처리 차이검증 .....	82
표 47. 논·밭 경작 및 소각 여부 .....	83
표 48. 논·밭 소각 시기 .....	83
표 49. 연도별 통계청 농림어업조사 중 작물잔사 처리방법 조사대상 작물 .....	87
표 50. 통계청 농림어업조사 중 논벼의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) .....	88
표 51. 통계청 농림어업조사 중 논벼의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) .....	88
표 52. 통계청 농림어업조사 중 논벼의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	89
표 53. 통계청 농림어업조사 중 논벼의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	89
표 54. 통계청 농림어업조사 중 보리의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) .....	90
표 55. 통계청 농림어업조사 중 보리의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) .....	90
표 56. 통계청 농림어업조사 중 보리의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	91
표 57. 통계청 농림어업조사 중 보리의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	91
표 58. 통계청 농림어업조사 중 콩의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) .....	92
표 59. 통계청 농림어업조사 중 콩의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) .....	92
표 60. 통계청 농림어업조사 중 콩의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	93
표 61. 통계청 농림어업조사 중 콩의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	93
표 62. 통계청 농림어업조사 중 고구마의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) .....	94
표 63. 통계청 농림어업조사 중 감자의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) .....	94
표 64. 통계청 농림어업조사 중 수박의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	95
표 65. 통계청 농림어업조사 중 수박의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	95
표 66. 통계청 농림어업조사 중 오이의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	96
표 67. 통계청 농림어업조사 중 오이의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	96
표 68. 통계청 농림어업조사 중 호박의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	97
표 69. 통계청 농림어업조사 중 호박의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	97
표 70. 통계청 농림어업조사 중 딸기의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) .....	98
표 71. 통계청 농림어업조사 중 토마토의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) .....	98
표 72. 통계청 농림어업조사 중 가을배추의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) .....	99
표 73. 통계청 농림어업조사 중 가을배추의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) .....	99

표 74. 통계청 농림어업조사 중 고추의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) .....	100
표 75. 통계청 농림어업조사 중 고추의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) .....	100
표 76. 통계청 농림어업조사 중 고추의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	101
표 77. 통계청 농림어업조사 중 고추의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	101
표 78. 통계청 농림어업조사 중 양파의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) .....	102
표 79. 통계청 농림어업조사 중 양파의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) .....	102
표 80. 통계청 농림어업조사 중 양파의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	103
표 81. 통계청 농림어업조사 중 양파의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	103
표 82. 통계청 농림어업조사 중 마늘의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) .....	104
표 83. 통계청 농림어업조사 중 마늘의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) .....	104
표 84. 통계청 농림어업조사 중 마늘의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	105
표 85. 통계청 농림어업조사 중 마늘의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	105
표 86. 통계청 농림어업조사 중 참깨의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) .....	106
표 87. 통계청 농림어업조사 중 참깨의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) .....	106
표 88. 통계청 농림어업조사 중 참깨의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) .....	107
표 89. 통계청 농림어업조사 중 참깨의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) .....	107
표 90. 선행연구 및 통계청 조사결과, 본 연구결과의 농업 잔재물 소각 비율 비교 .....	111
표 91. 주요 작물별 잔재물 종류 및 생산량 기준 잔재물 발생량 추정 환산계수 .....	113
표 92. 배출계수 산정에 사용된 농업 부산물 종류 .....	114
표 93. 생물성 연소 실험 분석 항목 .....	114
표 94. 분석 시료의 수분, 회분, 가연분 측정결과 .....	115
표 95. 참깨대 수분함유량에 따른 배출계수 실험결과 .....	115
표 96. 농업 부산물 배출계수 결과 요약 .....	119
표 97. 옥수수 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	121
표 98. 땅콩 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	122
표 99. 논, 밭두렁 주변 초본 식물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	123
표 100. 벼 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	124
표 101. 보리 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	125
표 102. 수박 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	126
표 103. 양파 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	127
표 104. 마늘 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	128
표 105. 감나무 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	129
표 106. 감귤 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	130
표 107. 고구마 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 .....	131
표 108. 2019년 작물별 생산량을 기준 농업 잔재물 연소로 인한 대기오염물질 배출량 .....	132
표 109. 본 연구 결과와 2017년 CAPSS의 항목별 배출량 비교 .....	134
표 110. 모델링 및 관측된 기온에 대한 관측지점별 통계분석 결과 .....	138
표 111. 2014년 선행연구와 본 연구에서 제시한 보리의 배출계수 비교 .....	155

## <그림 차례>

그림 1. 미국 EPA 배출원별 대기오염물질 배출량 산정 결과 (국립환경과학원, 2017년) .....	20
그림 2. 일본 생물성 연소 관련 연구 (*국립환경과학원, 2017) .....	21
그림 3. 농업잔해물 초미세분진 carbon 분석 결과 .....	23
그림 4. 초미세분진 유기 성분 및 이온성분 분석 결과 .....	24
그림 5. 초미세분진 아미노산 성분 분석 결과 .....	24
그림 6. 초미세분진 유기 성분 class별 비율 결과 .....	25
그림 7. 자료 처리 및 분석 절차 .....	35
그림 8. 연소실험 모식도 및 장치 설치 결과 .....	36
그림 9. 본 연구 및 선행 연구에서 사용된 연소 챔버 .....	37
그림 10. PM 중량 측정 및 PAHs 분석을 위한 필터 포집 장치 .....	38
그림 11. Co, NO <sub>x</sub> 등 가스상 물질 측정을 위한 장치 .....	39
그림 12. 확보된 연소 시험용 시료 .....	42
그림 13. 연소 시험 방법 모식도 .....	43
그림 14. 양이온 및 음이온 분석을 위한 IC (Cation, Anion) 분석기 .....	48
그림 15. 논두렁 단위면적당 소각량 산출 절차 .....	52
그림 16. 대기질 모델링 구동 및 농업잔재물 소각 영향성 평가 절차 .....	54
그림 17. 기상모델링 및 대기화학모델링의 공간적 범위 및 주요 분석 대상 범위 .....	55
그림 18. 본 분석에 사용된 24개 종관기상관측 지점 .....	56
그림 19. CMAQ 모델링 시스템 구성도 .....	57
그림 20. PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , OC, EC, NO, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , CO에 대한 동아시아 지역 1월 인위적, 자연적, 산불발생 배출량의 총합 .....	61
그림 21. PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , OC, EC, NO, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , CO에 대한 남한지역 1월 및 7월 인위적, 자연적, 산불발생 배출량의 총합 .....	62
그림 22. PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , OC, EC, NO, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , CO에 대한 남한지역 1월 및 6월 농업 잔재물 소각에 의한 배출량 .....	63
그림 23. NO <sub>2</sub> 증적분 농도 산출을 위한 QA4ECV 알고리즘 절차. a)와 b)의 녹색선은 대기과 상호 작용없이 태양에서 지표면으로, 그리고 다시 위성으로 향하는 직사광의 경로를 나타냄. c)의 녹색선은 대기 중 다양한 프로세스로 인해 수정된 광경로를 의미하고 분홍색 선은 수직 증적분 농도를 나타냄. (Delgado, 2019) .....	65
그림 24. 중국 및 한국 지상 관측망 지점 및 분석 대상 공간적 범위 (CEC, CEC2, SK) .....	66
그림 25. 지역별 농촌지역의 생활폐기물 발생량 및 소각 비율 .....	67
그림 26. 농촌지역 생활폐기물의 노천소각량 및 소각 횟수 .....	68
그림 27. 농촌지역 생활폐기물 중 1회 평균 노천소각량 추정 .....	69
그림 28. 시도별 재배면적 및 생산량 .....	71
그림 29. 지역별 전체작물 기준 작물잔사 처리 실태 .....	73

그림 30. 작물 유형별 전체작물 기준 작물잔사 처리 실태 .....	73
그림 31. 지역별 작물잔사 평균 소각 비중 .....	75
그림 32. 작물 유형별 작물잔사 평균 소각 비중 .....	75
그림 33. 세부 작물별 작물잔사 소각 비중 .....	80
그림 34. 논바닥 소각 여부 및 소각 시기 .....	84
그림 35. 논두렁 소각 여부 및 소각 시기 .....	84
그림 36. 밭두렁 소각 여부 및 소각 시기 .....	85
그림 37. 논밭주변부 소각 여부 및 소각 시기 .....	85
그림 38. 농림어업조사 농가조사표 중 작물잔사 처리 방법 조사표 .....	86
그림 39. 작물별 소각 추이 .....	109
그림 40. 선행연구 및 통계청 조사결과, 본 연구결과의 농업 잔재물 소각 비율 비교 .....	110
그림 41. 수분 함량에 따른 PM 배출계수 .....	116
그림 42. 연소 시험 시료의 표면 이물질 .....	118
그림 43. 작물별 농업잔재물 소각에 의한 대기오염물질 배출량 기여율 비교 .....	133
그림 44. 본 연구 결과와 2017년 CAPSS의 배출량 비교 .....	134
그림 45. 2014년 연구와 본연구의 작물별 농업 잔재물 발생량 비교 .....	135
그림 46. 2014년 연구와 본연구의 작물별 농업 잔재물 소각비율 비교 .....	136
그림 47. 지표관측 (검정색)과 모델모의 (붉은색) 지표 온도의 연간 시계열 변화 .....	137
그림 48. 월평균 지표 온도의 공간적 분포와 24개 지점 지상 관측된 기온 .....	139
그림 49. 월평균 바람 벡터의 공간적 분포와 24개 지점 지상 관측된 평균 풍속 .....	140
그림 50. 농업잔재물 소각에 따른 남한 지역 PM10, PM2.5, EC, OC, SO2, NOx, NH3, CO 배출량 의 월변화 .....	141
그림 51. 인위적(+자연적+산불발생) 배출량 (검정색)과 농업잔재물 소각에 따른 배출량을 합한 배출 량 (붉은색)의 월별화 .....	142
그림 52. 계절별 CMAQ 모의 (첫번째 열) 및 위성관측 (두번째 열) NO2 총적분 농도 및 두 자료간 산포도 및 통계분석 결과 .....	144
그림 53. CEC, CEC2, SK 지역에서 관측 (검정색 실선) 및 모의된 (청색 실선) PM10 농도의 시계열 및 그 산포도 분석 .....	145
그림 54. CEC, CEC2, SK 지역에서 관측 (검정색 실선) 및 모의된 (청색 실선) PM2.5 농도의 시계 열 및 그 산포도 분석 .....	146
그림 55. 국내 모델모의 및 관측 (circle)된 PM10의 지표 농도의 공간분포 .....	147
그림 56. 국내 모델모의 및 관측 (circle)된 PM2.5의 지표 농도의 공간분포 .....	147
그림 57. CEC, CEC2, SK 지역에서 관측 (검정색 실선) 및 모의된 (청색 실선) O3 농도의 시계열 및 그 산포도 분석 .....	148
그림 58. 국내 모델모의 및 관측 (circle)된 O3의 지표 농도의 공간분포 .....	148
그림 59. S1 모델링과 S1 모델링으로부터 산출된 PM10 농도의 절대차이 .....	150
그림 60. S1 모델링과 S1 모델링으로부터 산출된 PM10 농도의 상대차이 .....	151
그림 61. S1 모델링과 S1 모델링으로부터 산출된 PM2.5 농도의 절대차이 .....	152

그림 62. S1 모델링과 S1 모델링으로부터 산출된 PM2.5 농도의 상대차이 ..... 152



# 1. 연구개발과제의 개요

## 가. 연구개발의 필요성

### 1) 연구개발의 개요

#### ○ 기술 개요

- 논·밭두렁 및 영농폐기물·잔재물 소각 등 농촌 소각 활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향평가
  - 국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별 활동도 자료의 update
  - 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 산정
  - 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정
  - 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)
  - 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 저감 및 관리방안 마련

#### ○ 핵심 기술

- 국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별 활동도 자료의 update
  - 2018 통계청 농촌 통계 자료 구축 DB화
  - 신뢰도 높은 활동도 자료구축 및 DB화
    - : 통계 조사 전문기업을 통한 “설문조사” 설계
    - : 전국단위 세분류별 활동도 설문조사 대상 선정
    - : 영농폐기물 및 농업 작물(논·밭 포함)에 대한 세분류 전국단위 세부 조사
    - : 경작 규모에 따른 활동도 분석
    - : 통계 처리를 통해 대표 활동도 산출
- 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 갱신
  - 배출계수 산정을 위한 연소 시험 규격화
  - 생물성 연소 세분류 선별 및 우선순위를 고려한 세분류 연소 시험
    - : CAPSS 내 배출계수 갱신이 필요한 2개 세분류 (옥수수, 땅콩)
    - : CAPSS에 미수록된 세분류 중 생산량, 경작지 면적 등을 고려한 신규 세분류
  - 대기오염물질에 대한 세분류별 배출계수 산정
    - : CAPSS에 수록된 8 항목 (SOx, NOx, CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NH<sub>3</sub>, VOCs, TSP)
    - : 모델링 적용을 위한 2 항목 (CMAQ 모델 - OCEC, 수용모델 - Levoglucosan)
    - : 유해대기오염물질(HAPs; Hazardous Air Pollutants) 15 항목 (PAHs)

- 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정
  - 농촌지역 영농폐기물 및 영농부산물 소각의 대기오염물질 배출량 산정
    - : 행정구역별 공간 배분 배출량
    - : 국가 대기오염 배출량 산정 편람의 방법 적용
  - 배출량 인벤토리 구축 및 CAPSS 수정·보완 방안 제시
    - : 농촌지역 영농폐기물 및 농업 잔재물 소각 시 발생 배출량에 대한 시공 배분 인벤토리 구축
- 농업잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)
  - 시계열(월단위), 공간계열(수평 15×15 km) 미세먼지 발생량 모니터링
  - 농촌 소각 및 농업잔재물 영향평가를 위한 자료구축
    - : CMAQ 모델링을 통한 시·공간에 대한 환경 영향 자료구축
- 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 저감 및 관리방안
  - 저감 방안 : 기술적 제도적 방안 제시
  - 관리방안 : 배출량 관리방안 제시

## 2) 연구개발 대상의 국내·외 현황

### (1) 배출량 산정

#### ① 국내 기술 수준 및 시장 현황

표 1. 국내 배출량 산정 선행 연구 요약

선행 연구 1	연구 주제	생물성 연소 배출량 산정을 위한 규격화 연구 (환경부, 2011~2014)
	연구 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 생물성 연소를 농촌 소각, 농업잔재물 소각 등등의 6개 항목으로 설정</li> <li>■ 활동도 및 배출계수 산정 방법 제시</li> <li>■ 배출량 산정 및 DB 구축</li> </ul>
	최종결과물	생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정법 편람 (현행 기준)
	문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 활동도 및 배출계수의 불확도로 인하여 국가 공식자료 제외</li> <li>■ 활동도 DB의 노후화, 배출계수 산정에 누락물질 확인</li> </ul>
선행 연구 2	연구주제	생물성 연소 배출량 산정법 개선 (국립환경과학원, 2017)
	연구 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ‘선행연구 1’ 에 대한 자료 및 배출량 산정법 개선</li> <li>■ 연소시험을 바탕으로 한 배출계수 산정 시 수분함량의 규격화 제안</li> <li>■ 누락 배출원 발굴의 필요성 제시</li> <li>■ 활동도 조사를 통계 조사 및 1:1 대면 방식에 의한 설문조사 제안</li> <li>■ 활동도 자료 갱신을 최소 3~5년 주기가 필요함을 주장</li> </ul>
	문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 개선방안에 대한 전국적 실증 연구 미비</li> </ul>
선행연구의 문제점 보완사항 도출 및 본 연구계획서의 추가 연구 내용·방법		
개선 요구사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 활동도 조사                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 통계청 자료 최신 DB 업데이트</li> <li>- 통계 조사 전문기관을 활용한 “설문조사” 설계 (95% 신뢰수준, 규격 오차 ±10% 목표)</li> <li>- 전국단위의 1:1 대면 설문조사, 통계 처리를 통한 대표성 확보</li> </ul> </li> <li>■ 배출계수 산정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세분류의 수분 함량, 연소시설의 규격화에 의한 시험 수행</li> <li>- 통계청 자료를 바탕으로 생물성 연소가 가능한 누락 배출 세분류 발굴 (통계청 제시 41세분류 및 논·밭을 항목에 추가)</li> </ul> </li> </ul>	
추가 연구 내용·방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 활동도 조사                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 통계청 자료 최신 DB 업데이트</li> <li>- 세분류 경작지 규모별 활동도 조사</li> <li>- 농업잔재물 발생량 추정 방안</li> </ul> </li> <li>■ 배출계수 항목의 추가                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생물성 연소의 환경 영향(모델링)을 확인하기 위한 항목 추가 (CMAQ 모델 적용 - OCEC, 수용모델 적용 - Levoglucosan)</li> <li>- 대기유해물질에 대한 추가 항목 분석 (PAHs)</li> </ul> </li> <li>■ 생물성 연소에 의한 환경 영향 평가(모델링)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시공간 특성에 따른 생물성 연소의 대기 환경 영향평가</li> </ul> </li> </ul>	

○ 기술현황

- 생물성 연소 배출량 산정 규격화 연구는 2011년~2014년까지 환경부에서 수행하였으며, 결과물로 ‘생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 편람(2011년 배출량 기준)’ 을 제시 (2014년)
- 현재 CAPSS에 제시되고 있는 생물성 연소 배출량은 상기 환경부(2014년)에서 제시한 방법을 이용하여 결과를 산출하고 있음
- 하지만 상기 방법은 활동도, 배출계수에 대한 불확도에 의해 국가 공식자료에서 제외하고 있으며, 이에 개선 방향 연구를 수행함
- 생물성 연소 배출량 산정의 개선 방법 연구는 2017년 국립환경 과학원에서 수행하였으며, 연구 결과 생물성 연소 배출량 산정을 위해 다음 사항을 제시
  - 통계 자료뿐만 아니라 1:1 대면 방식에 의한 정기적인 설문조사가 필요
  - 누락 물질에 대한 추가적인 연구가 필요
- 국립환경과학원(2017년)이 제시한 결과는 현재 전국단위의 실증 연구가 필요한 상황이며, 이와 관련된 추가적인 연구는 이루어지고 있지 않음
- 또한 통계청에서 확인된 농업 작물 종류와 CAPSS에서 수록된 세분류는 차이가 있음 : 통계청 43개 작물 자료, CAPSS 11 세분류

표 2. 통계청 주요 농업 작물 자료와 농업잔재물 세분류 비교 (예시)

순번	소분류	세분류	경지면적 (ha)	비고
1		논	844,265	
2		밭	751,349	
3	맥류	보리	47,237	CAPSS 수록
4		밀	6,600	
5	과수	사과	33,234	CAPSS 수록
6		배	10,303	CAPSS 수록
7		복숭아	21,087	CAPSS 수록
8		포도	12,795	CAPSS 수록
9		감귤	21,572	
10		감	23,918	
11		자두	7,266	
12		기타	34,543	
13	두류	콩	50,638	CAPSS 수록
14		팥	4,775	
15		녹두	1,694	
16		기타	5,719	
17	잡곡	옥수수	15,472	CAPSS 수록(갱신 필요)
18		메밀	2,928	
19		기타	7,384	
20	서류	고구마	20,948	
21		감자	23,402	
22	채소(과채류)	수박	12,661	
23		참외	3,581	
24		딸기	5,907	
25		오이	4,918	
26		호박	9,095	
27		토마토	5,782	
28	채소(엽채류)	배추	32,416	
29		시금치	4,598	
30		상추	3,484	
31		양배추	6,854	
32	채소(근채류)	무	6,095	
33	채소(조미채소)	고추	32,865	CAPSS 수록
34		파	18,078	
35		대파	13,122	
36		쪽파	4,956	
37		양파	19,538	
38		생강	2,573	
39		마늘	24,864	
40	특용세분류	참깨	29,682	CAPSS 수록
41		들깨	43,352	CAPSS 수록
42		땅콩	5,190	CAPSS 수록(갱신 필요)
43	화훼	화훼	4,936	

② 국외 기술 수준 및 시장 현황

표 3. 국외 배출량 산정 선행 연구 요약

	미국	유럽	일본
주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 대기배출원을 대분류 기준 5개, 세분류 84개로 구분</li> <li>■ 별도의 생물성 연소 배출원을 구분하지 않았지만 세분류 항목 8개에 포함 되어 있음</li> <li>■ 산불, 농업 활동에 대한 생물성 연소 배출량 산정 방법이 규격화되어 있음</li> <li>■ CAPSS와 비교하여 배출량 산정 항목은 7개로 TSP를 제외함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 대기배출원을 대분류 기준 11개, 세분류 61개로 분류</li> <li>■ 생물성 연소는 세분류 중 농업폐기물 농촌 소각 및 산불로 제시</li> <li>■ 생물성 연소 배출량 산정 방법이 규격화되어 있음</li> <li>■ 미국과 동일하게 배출량 산정은 7개 항목으로 TSP를 제외함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 농업잔재물을 태우고 있는 실정이지만 공식적인 생물성 연소 배출량 산정은 하고 있지 않음</li> <li>■ 생물성 연소 연구는 개인 연구자에 의해 수행되고 있으며, 세분류의 연소 속도, 연소 조건에 따른 발생물질의 농도 변화 관찰이 연구의 주요 내용임</li> <li>■ 연구에 따르면 연소물질의 수분함량이 높을 때와 연소 속도가 낮을 때 대기오염물질의 배출량이 증가하는 것으로 나타남</li> </ul>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 미국 및 유럽의 경우 대기오염물질 배출원의 분류가 국내 CAPSS보다 세분화 되어 있음</li> <li>■ 미국, 유럽의 경우 생물성 연소 배출량 산정법이 규격화되어 있으며, 배출물질의 산정은 CAPSS 보다 1개 적은 7개 항목으로 구성되어 있음</li> <li>■ 배출계수 산정을 위해 수행되는 연소 시험은 연소물질의 연소 방법에 따라 배출계수가 크게 차이나는 것으로 확인되기 때문에 규격화된 시험 시스템을 바탕으로 연소시험이 수행되어야 함</li> </ul>		

○ 기술현황

- 미국 EPA

- 미국 EPA는 대기 배출원을 연료, 산업, 도로, 비도로 및 기타의 5개로 나누었으며, 이 중 생물성 연소는 기타 분류의 세분류 중 농업 및 숲, 기타연소(들불), 재해 등에 포함되어 있음
- 미국 EPA의 생물성 연소 배출량 산정은 EPA, AP-42와 CARB (2006) 이용함

표 4. 미국 EPA에서 제시한 생물성 연소 배출량 산정 방법

EPA, AP-42 : 생활폐기물 소각에 의한 배출량 산정	
$\text{Emission}_i = P_{\text{frac}} \times W \times B_{\text{frac}} \times \text{EF}_i$	
Emission <sub>i</sub>	: 생활폐기물 소각 오염물질 i의 배출량 (ton/yr)
P <sub>frac</sub>	: 농가인구수 (인)
W	: 1인당 폐기물 발생량
B <sub>frac</sub>	: 농촌 소각 비율 (%)
EF <sub>i</sub>	: 오염물질 i의 배출계수
CARB (2006) : 농업잔재물 소각에 의한 배출량 산정	
$\text{Emission}_{ij} = \text{Acres}_j \times \text{FL}_j \times \text{EF}_{ij} \times 10^{-3}$	
Emission <sub>ij</sub>	: 세분류 j에 대한 오염물질 I의 배출량 (ton/yr)
Acres <sub>j</sub>	: 세분류 j의 경작지 면적(m <sup>2</sup> )
FL <sub>j</sub>	: 세분류 j의 단위면적당 평균 소각량 (kg/m <sup>2</sup> )
EF <sub>ij</sub>	: 세분류 j에 대한 오염물질 I의 배출계수 (g/kg)

- 상기 식의 배출계수는 연소 시험을 바탕으로 산정하며, 활동도 계수인 농가인구수, 폐기물 발생량, 소각 비율, 경작지 면적 등은 통계 자료와 설문조사를 통해 조사됨

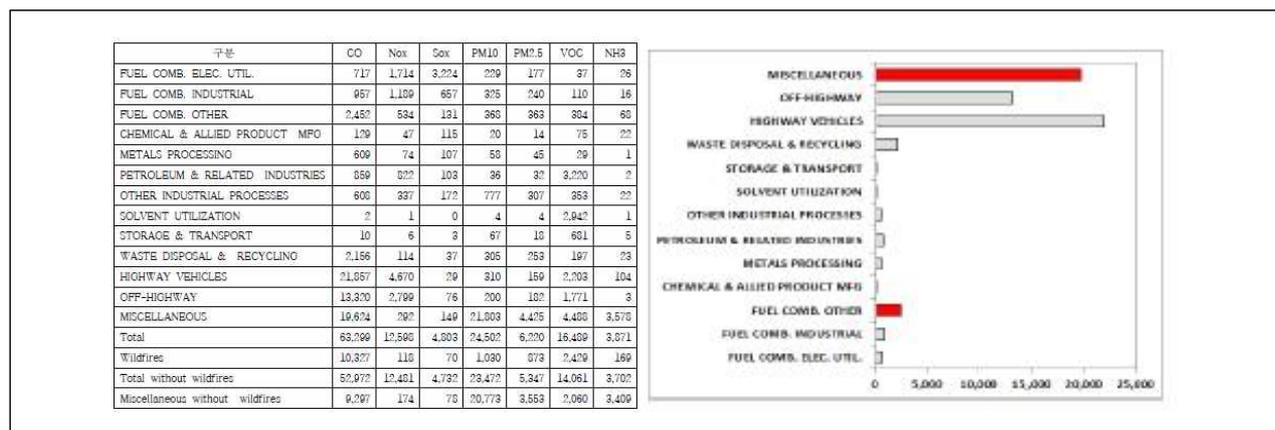


그림 1. 미국 EPA 배출원별 대기오염물질 배출량 산정 결과 (국립환경과학원, 2017년)

- 유럽

- 유럽 생물성 연소 대기오염물질 배출량은 목재 연료연소에서 가장 많이 배출되는 것으로 나타났으며, 여기에는 산불에 대한 배출은 포함되지 않음

표 5. 유럽 배출원별 대기오염물질 배출량 (2014년 기준, 천톤/년)

구분	CO	NOx	SOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	VOC	NH <sub>3</sub>
PublicPower	474	1,344	1,449	76	47	68	4
Industry	4,967	1,232	941	362	181	1,535	54
OtherStationaryComb	8,628	636	475	711	649	919	33
Fugitive	96	35	128	27	8	546	1
Solvents	20	2	2	50	21	1,898	6
RoadTransport	4,576	3,078	6	215	159	715	54
Shipping	326	283	59	21	16	74	0
Aviation	69	71	5	2	2	8	0
Offroad	1,479	852	8	60	55	180	0
Waste	111	11	3	25	19	63	62
AgriLivestock	-	10	-	188	39	559	2,245
AgriOther	683	265	6	131	16	157	1,429
Other	13	0	0	3	2	1	31
total	21,441	7,820	3,083	1,870	1,214	6,723	3,918

\* 생물성연소 배출량 산정법 개선 (국립환경과학원, 2017)

- 일본

- 일본은 볏짚 및 콩대와 같은 밭새분류의 잔재물을 주로 태우고 있으며, 생물성 연소에 관련한 공식적인 배출량 산정은 하지 않고 있음
- 다만 개별 연구 활동에 의한 배출량은 산정되고 있으며, 연소 방법에 따른 미세먼지, OCEC, CO, CH<sub>4</sub> 등의 발생량을 관찰하고 있음
- 연구 결과에 따르면 농업 잔재물의 수분 함량 증가는 CO, CH<sub>4</sub>, OC 입자의 배출계수가 증가하는 것으로 나타남

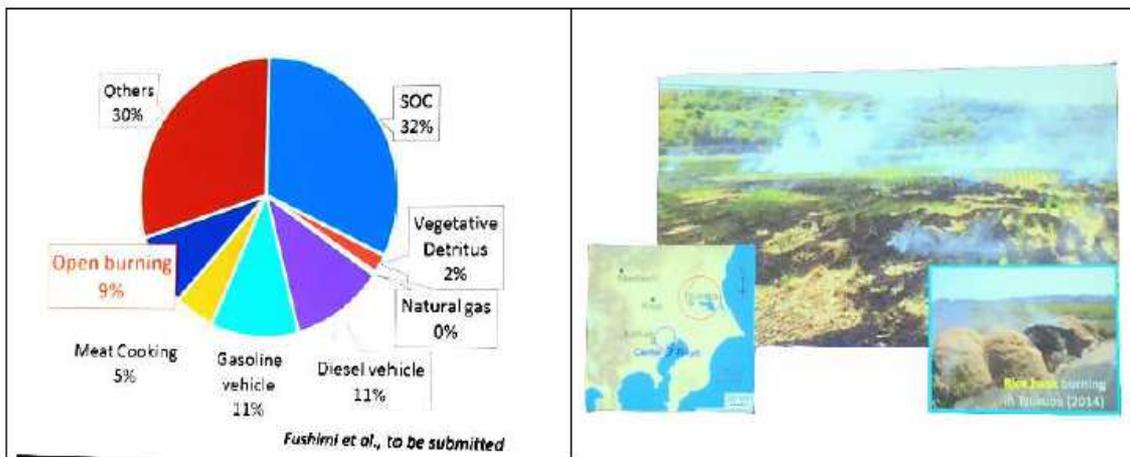


그림 2. 일본 생물성 연소 관련 연구 (\*국립환경과학원, 2017)

## (2) 대기질 모델링

### ① 국내 기술 수준 및 시장 현황

#### ○ 기술현황

- 국내 다수의 연구그룹 (국립환경과학원 대기질 예보센터, 광주과학기술원, 서울대, 부산대, 아주대, 안양대 등) 대기질 예보 시스템 구축 운영
- 국내에서는 자체 개발된 대기질 모델이 전무한 실정이고, 대부분 미국의 환경보호청 (US-EPA)와 미국 국립해양대기국 (NOAA)에서 개발한 CMAQ 혹은 WRF-CHEM 모델을 활용
- 최근, 미세먼지 국가전략프로젝트를 통하여 광주과학기술원을 중심으로 한국형 대기질 예보 모델링 시스템 개발 연구가 진행 (2017. 09 - 현재)
- 건국대 연구팀에서 아시아 지역의 인위적 배출인벤토리 구축 및 한국형 배출량 자료 처리시스템 개발
- 국립환경과학원에서는 국내 인위적 오염원에 대한 CAPSS (Clean Air Policy Support System) 배출인벤토리 개발하여, 1999년부터 현재까지 CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> (2011년 이후), VOC, NH<sub>3</sub>에 대한 DB 구축, biomass burning 및 선박 배출 등 누락 배출원에 대한 개선이 요구됨
- 국내 대기질 모델 개발 및 예보 기술은 선진국 대비 60% 기술수준

#### ○ 시장현황

- 대기질 모델개발은 공공재 성격으로 시장형성이 어려움
- 최근 산업계에서 기상정보를 활용한 경영 전략 수립

### ② 국내 기술 수준 및 시장 현황

#### ○ 기술현황

- 해외 국가별 대기질 모델 운영
  - 미국 EPA의 CMAQ 모델개발 및 현업에 활용
  - 미국의 NOAA WRF-CHEM 모델개발 연구 및 현업 활용
  - 미국 Ramboll社 에서 CAMx 모델 개발
  - 미국의 기술 수준: 95-100%
  - 유럽에서는 프랑스 (CHIMERE), 독일 (EURAD), 네덜란드 (LOTUS-EUROS), 스웨덴 (MATCH), 핀란드 (SILAM) 등 독자 모델 보유 운영 중
  - 일본의 NIES에서 WRF/CMAQ 혹은 WRF-CHEM을 통한 대기질 연구
  - 미국과 유럽을 중심으로 지상 및 위성 관측자료를 활용한 자료동화 기법 (3D-VAR 및 4D-VAR 등)을 이용하여 대기질 모의의 정확성을 개선하는 연구가 활발하게 진행됨

(3) 자체 선행연구

① 식생 연소 시험

- 연구 주제 : 생물성 연소가 대기 농도에 미치는 영향평가
- 연구 대상 : 소나무 잎 등을 포함한 산림 7종, 벼짚 등 농경과 5종
- 분석 항목
  - 초미세 분진 농도, OCEC, 이온성분, 수용성 유기탄소, 유기성분
  - 초미세 분진은 PAH, 알칸 성분, 호폐인, 유기산, 레보글루코산, 카르복실산 그룹에 대해서 122 항목 분석
- 연구 결과

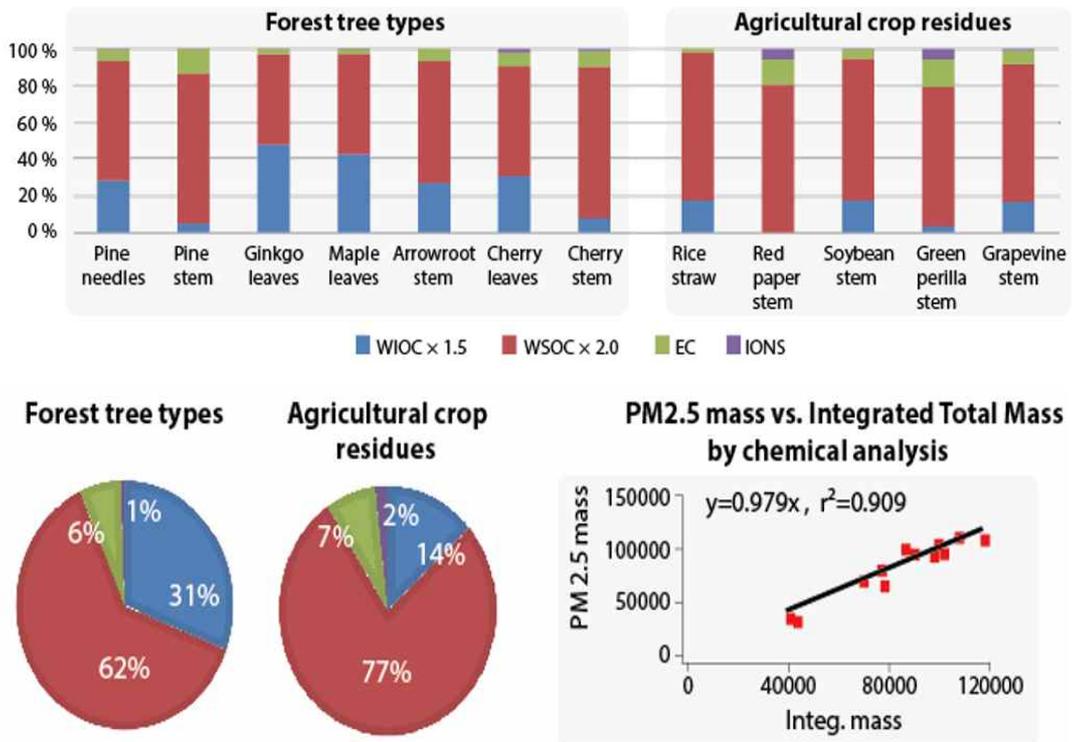


그림 3. 농업잔해물 초미세분진 carbon 분석 결과

- 분석 물질은 수용성 유기탄소(62~77%) > 불용성 탄소(14~31%) > 원소 탄소(6~7%) 등의 순으로 나타남

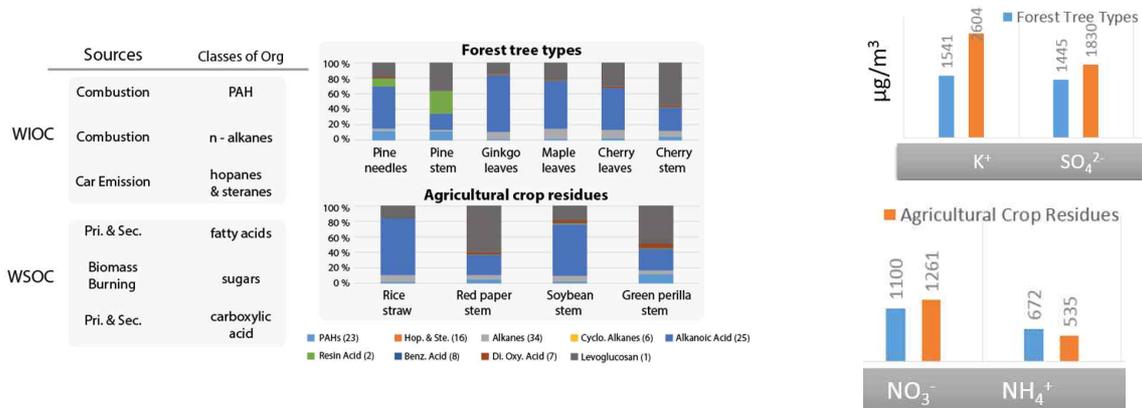


그림 4. 초미세분진 유기 성분 및 이온성분 분석 결과

■ 산림과 소나무 잎(가시)의 경우 유기산이 가장 높게 나타났으며, 소나무 잎과 줄기에서 모두 소나무 지시 성분인 resin acid가 분석됨. 은행나무 잎, 단풍나무 잎, 뽕나무 잎에서 유기산이 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 레보글루코산이 높게 나타남. 또한, 농경과 뽕짚과 콩대의 경우 유기산이 가장 높게 나타났으며, 고추 줄기 및 콩 들깨 줄기에서 레보글루코산이 높게 분석되었음.

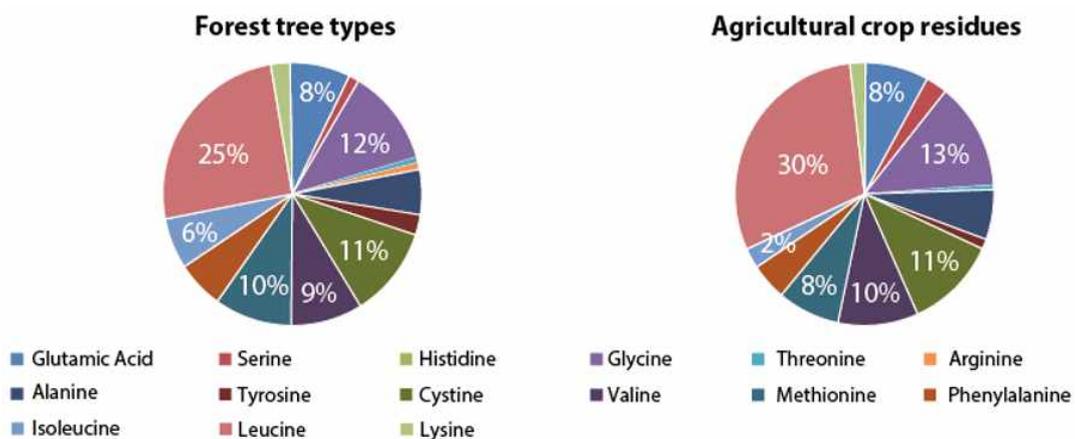


그림 5. 초미세분진 아미노산 성분 분석 결과

: 초미세 분진 아미노산 분석 결과 Leucine이 산림과와 농경과 식물에 대해서 모두 가장 높게 분석되었음. 그 다음으로는 Glycine와 Cystine이 높게 분석되어 향후 아미노산을 바이오 매스 발생 성분 중 유기 지시 분포 성분에 포함하여 대기 농도 기여율에 활용 가능할 것으로 판단됨

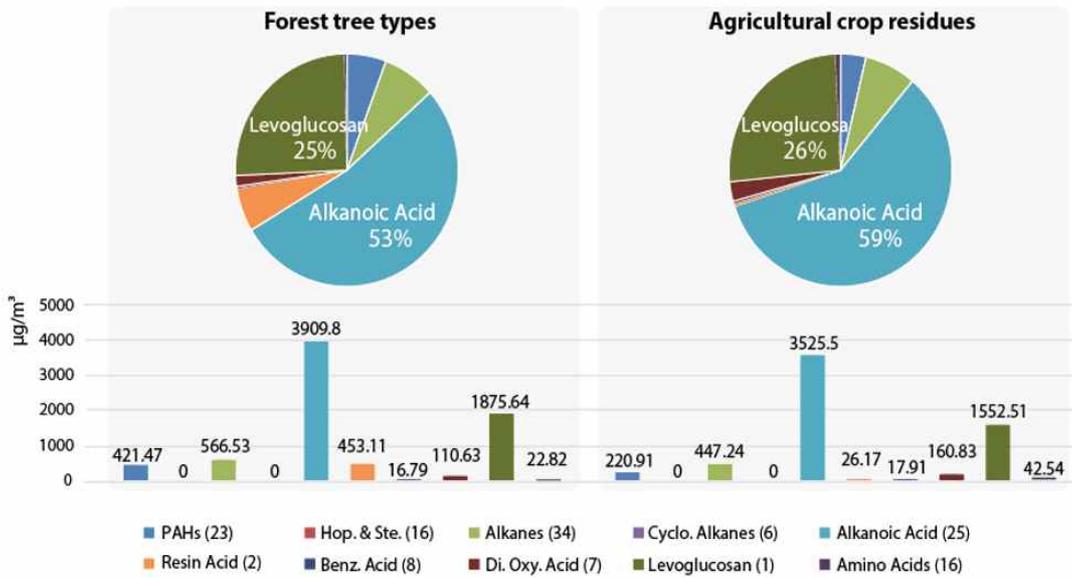


그림 6. 초미세분진 유기 성분 class별 비율 결과

- 전체적으로 살펴볼 때, 산림과 및 농경과 모두 유기산이 가장 높은 비율을 나타냈고, 그 다음으로 단일 성분 중 가장 높은 농도를 나타낸 레보글루코산이 가장 높게 나타나, 이 두 그룹에 의한 오염 분포도를 확정하여 향후 대기 기여도 계산에 활용할 수 있을 것으로 판단됨

## 나. 연구개발의 목표 및 내용

### 1) 최종목표



- 국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별 활동도 자료의 update
- 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 갱신
- 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정
- 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)
- 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 저감 및 관리방안

## 2) 세부목표

- 국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별 활동도 자료의 update
  - 통계청 농촌 통계자료 확보 및 활용
  - 신뢰도 높은 활동도 자료구축
    - “설문조사” 방법 설계
    - 통계 처리를 통한 대표 활동도 산출
- 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 갱신
  - 배출계수 산정을 위한 연소 시험 설계
    - 수분함량, 연소 속도 등 기술적 규격화 및 연소 시스템 구축
  - 세분류 농업 잔재물에 대한 대기오염물질 배출계수 산정
    - CAPSS에 제시된 11개 세분류 중 보완이 필요한 2종(옥수수, 땅콩) 포함
    - CAPSS에 미수록된 세분류 중 생산량, 경작지 면적 등을 고려한 신규 세분류 (연소 시험에 의한 실측)
      - : 논·밭 또는 논두렁·밭두렁 소각을 농업 잔재물 소각의 세분류로 포함하여 조사
  - 농촌 소각 및 농업 잔재물 영향평가를 위한 자료 구축
    - 분석항목 25개에 대한 배출량 자료 구축
    - CMAQ 모델링을 통한 시·공간에 대한 환경 영향 자료 구축
- 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정
  - 농촌지역 영농폐기물 소각 배출량 산정
    - 행정구역별, 월별 시계열 배출량
  - 배출량 인벤토리 구축 및 CAPSS 수정·보완 사항 제시
- 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)
  - 대기화학 모델을 통한 미세먼지 발생 예측
    - CMAQ 모델링을 통한 시·공간에 대한 환경 영향 자료 평가
- 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 저감 및 관리계획(안) 수립
  - 저감 방안 : 기술적 제도적 방안 제시
  - 관리 방안 : 배출량 관리방안 제시

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

### 가. 국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별 활동도 자료의 update

#### 1) 농업 잔재물 소각 행태 조사를 위한 설문조사

##### (1) 설문조사 개요

설문조사를 수행하기 전에 설문조사지 내용, 설문 대상(지역별) 계획을 수립하였다. 설문 조사는 단위면적당 농업 잔재물 발생량, 단위면적당 영농 부산물 소각량, 소각시기(월단위) 등을 파악하기 위함으로 작물의 종류, 설문 조사 문항 등을 고려하여 조사표를 작성하였다. 설문 대상(지역별) 계획은 시도단위 경작지 면적 기준으로 설문 대상 수를 결정하였다.

##### ① 설문 조사표 작성

- : 객관적이고 과학적인 설문 문항 구성
- : 지나치게 긴 질문을 만들지 않음
- : 모호한 문장이나 어려운 용어를 사용하지 않음
- : 특정 답변을 유도하지 않도록 작성
- : 질문의 순서는 용이한 질문, 어려운 질문, 민감한 질문 등의 순으로 작성
- : 응답자가 작성할 수 있는 정보를 내용으로 구성
- : 설문조사표 샘플 작성 후 타당성을 고려하여 수정, 보완 후 완료

##### ② 설문 조사 방법 교육 : 설문 조사 화법, 설문 조사 문구

##### ③ 세분류 재배시기에 따른 설문 조사 지역 설정

##### ④ 예비 테스트 진행

##### ⑤ 전국 시, 군, 구 단위 세분류별 활동도 설문조사 대상 설정

- : 전국 246개 행정구역의 경지면적 비율에 따라 설문조사
- : 설문조사는 영농폐기물 및 농업 잔재물을 대상으로 수행

설문조사표의 내용은 일반적 특성, 생활폐기물 처리, 농업 잔재물 처리로 구성하였다. 일반적 특성에는 지역, 가족 구성원 등의 내용이 있다. 생활폐기물 처리 항목은 1년 동안 1주일 평균 생활폐기물 발생량, 재활용, 소각, 매립 등 처리 방법, 노천소각 시 1회 태우는 양, 소각 횟수 등을 포함하고 있다. 농업 잔재물 처리 항목은 작물 및 작물별 처리 방법으로 작물 종류, 재배 면적, 수확 후 잔재물 양, 퇴비화, 사료화, 판매, 소각 등 잔재물 처리 방법, 노천, 소각시설 등 소각 장소 및 시기 등의 내용을 포함하였다.

##### (2) 설문조사 대상

- 전국 시, 군, 구 단위 농업인 1000명
- 국내 주요 농산물 40개의 주산지 농업인 대상 조사 실시
- 조사 대상 선정과정은 아래 표와 같음

표 6. 설문조사 대상 선정과정

구분		내용
1단계	조사 대상 농산물 선정	• 국내 생산 주요 농산물 40개 품목 선정
2단계	주산지 파악	• 조사 대상 품목별 주산지 파악 - 1차: 품목별 재배면적 활용(2018년 통계청 자료) - 2차: 품목별 전국 유명 주산지 파악
3단계	조사 대상 선정	• 2020년 새해농업인 실용교육 교육 참여자 조사 • 각 품목별 주산지 시군구 농업기술원 농업인 대학 참여자 조사 • 각 품목별 작물연구회 회원 조사 • 기타 다양한 방법을 활용하여 광범위한 대상 조사

### (3) 조사표 설계

- 아래와 같은 5단계 과정을 통해 설문조사표를 설계하였다.

표 7. 설문조사표 마련을 위한 단계 및 단계별 내용

구분		내용
1단계	설문지 초안 설계	• 조사항목 선정 • 조사표 구조설계
2단계	자문회의	• 연구진 회의 (설문조사 전문기업 참여) • 농업 관련 종사자 자문
3단계	1차 예비조사	• 농업인 대상 1차 예비조사 실시 후 의견수렴
4단계	설문지 수정	• 자문회의 결과 및 1차 예비조사 의견을 반영하여 설문지 수정
5단계	문항 확정	• 연구진 회의 (설문조사 전문기업 참여) • 최종 설문 문항 확정

- 조사 내용은 응답자 특성, 생활폐기물 처리, 농업잔재물 처리, 영농폐기물 처리, 논밭 소각 여부로 구분하였다. 세부 조사 내용은 다음 표와 같다.
- 설문조사표는 부록에 수록하였다.

표 8. 설문조사 주요 내용

구분	조사 내용	
인구사회학적 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 거주지역</li> <li>• 동거 가족 구성원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 성별</li> <li>• 연령</li> </ul>
생활폐기물 처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일주일 평균 생활폐기물량</li> <li>• 생활폐기물 처리 방법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 성별 노천소각량</li> <li>• 노천소각 횟수</li> </ul>
농업잔재물 처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작물별 재배면적</li> <li>• 작물 수확 후 작물잔사량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작물잔사 처리방법 및 비중</li> <li>• 작물잔사 소각 시기</li> </ul>
영농폐기물 처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영농폐기물량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영농폐기물 처리방법 및 비중</li> </ul>
논밭 소각 실태	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 논바닥 소각 횟수 및 소각 시기</li> <li>• 논두렁 소각 횟수 및 소각 시기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 밭두렁 소각 횟수 및 소각 시기</li> <li>• 논밭주변부 소각 횟수 및 소각 시기</li> </ul>

#### (4) 설문조사 과정 및 방법

- 설문조사는 3단계로 진행하였다. 농업인을 대상으로 대면조사를 원칙으로 계획하였으나 연구수행 기간인 2020년에 발생한 코로나-19 상황에 의해 농업인 대학, 농업기술원 등 관계기관 및 농업인 대면 접촉이 여의치 않아 다양한 방법으로 조사를 수행하였다. 기본적으로는 각 지역의 농업기술센터에서 시행하는 농업인 대학을 활용하였으며, 이외에 지역별 작물연구회, 새해 농업인 실용교육 등 지역별로 시행하는 농업기술교육 프로그램을 활용하였다. 코로나-19의 사회적 거리두기 등 정부 및 지방자치단체의 제한조치 시행에 따라 대면면접조사 뿐만 아니라 우편조사, 온라인 설문조사 등을 병행하여 설문을 실시하였다.

- 코로나-19 상황으로 대면설문조사의 성과가 당초 계획 대비 매우 저조하였다. 예를 들어, 대면조사 협조를 확보한 후 방문한 농업인 대학이 코로나-19로 타 지역 방문자 출입 제한조치로 조사를 실시하지 못한 채 철수하는가 하면, 계획된 농업인 대학이 연기 또는 전면 취소되는 상황이 수시로 발생하였다. 제한된 연구기간 내에 계획에 따라 설문조사를 완료하는 것이 불가능하여 부득이 연구수행일정 및 연구방법을 변경하였으며, 상황에 따라 설문조사 유연하게 설문조사를 실시하였다.

- 이러한 과정에서 연구진은 부득이 변경된 설문조사 과정으로 인해 결과의 신뢰도가 낮아질 것을 우려하였으며, 이를 방지 또는 최소화하기 위하여 1차 설문조사 후 설문결과에 대해 2차 검증 및 추가 전화조사를 추가 실시하여 결과의 신뢰도를 확보하기 위해 노력하였다.

표 9. 설문조사 진행 과정

구분		내용
1단계	교육일정 파악	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020년 새해농업인 실용교육일정 파악</li> <li>• 2020년 각 주산지 농업기술센터 농업인대학 일정 파악</li> <li>• 각 품목별 작물연구회 파악</li> </ul>
2단계	조사일정 협의	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 새해농업인 실용교육 교육 참여자 조사 : 각 교육별 조사일정 협의</li> <li>• 농업기술원 농업인 대학 수강생 조사 : 해당 작물 교육 시 조사가능 여부 확인</li> <li>• 작물연구회 조사 : 각 지역 농업기술원 교육담당을 통해 작물연구회 회장 연락처 및 회원 연락처 제공 가능 여부 확인</li> </ul>
3단계	조사 진행	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 새해농업인 실용교육 : 대면면접조사</li> <li>• 농업인대학 조사: 우편조사</li> <li>• 작물연구회조사: 온라인설문조사</li> </ul>

(5) 대면조사

- 새해농업인 실용교육 및 농업인대학 교육 참여자를 대상으로 대면조사를 실시하였다. 교육 참여 접수 시 설문지를 사전 배포 후 ppt 자료를 이용하여 설문조사의 취지와 작성방법을 설명 후 설문지를 작성토록 유도하였다. 설문제출 시 조사원이 설문내용을 검토 후 필요시 바로 수정토록 하였다. 2차 검증은 조사 책임자에 의해 설문을 검토 후 누락 또는 오기 등 충분치 않은 설문결과에 대해 직접 전화 등의 과정을 통해 설문조사 결과를 수정 보완하였다.

표 10. 새해농업인 실용교육 및 농업인대학 교육 참여 대면조사 과정

구분		내용
1단계	설문지 배포	• 교육 참여 접수 시 교육용 교재와 함께 설문지 배포
2단계	설문방법 설명	• 교육 시작 10분 전에 PPT 자료를 이용하여 설문조사의 취지와 작성방법 설명
3단계	설문지 작성	• 교육 중 휴식시간을 이용하여 설문지 작성
4단계	설문지 제출 및 1차 검증	• 교육 완료 후 귀가 시 출구에 마련된 조사 테이블에 작성한 설문지를 조사원에게 제출하고 조사원 1차 검증 후 답례품 수령
5단계	2차 검증 및 추가 전화조사	• 작성된 설문 내용 중 설문조사 책임자의 2차 검증과정에서 누락된 내용이나 오류가 발견된 경우 설문작성 시 수집한 작성자의 휴대폰 번호를 활용하여 추가 전화 조사 실시
6단계	최종확정	• 자료 처리 및 최종데이터 확정

- 대면조사는 전국 14개 지역에서 총 515명의 농업인을 대상으로 시행되었다. 자세한 지역별 조사 현황은 다음 표와 같다.

표 11. 대면조사 대상 및 조사 결과

번호	지역명		조사일	조사대상자	조사인원
1	경북	김천	1월22일	새해농업인 실용교육 참여자	37명
2	전남	나주	1월31일	새해농업인 실용교육 참여자	57명
3	전남	담양	2월1일	새해농업인 실용교육 참여자	45명
4	전남	해남	1월30일	새해농업인 실용교육 참여자	57명
5	제주	제주	1월30일	새해농업인 실용교육 참여자	57명
6	강원	홍천	6월29일	농업인 대학 참여자	43명
7	전남	구례	7월18일	농업인 대학 참여자	26명
8	전남	담양	6월23일	농업인 대학 참여자	14명
9	전남	해남	7월30일	농업인 대학 참여자	12명
10	전북	고창	6월23일	농업인 대학 참여자	33명
11	전남	나주	6월23일	농업인 대학 참여자	15명
12	경북	청송	6월24일	농업인 대학 참여자	65명
13	충북	진천	6월25일	농업인 대학 참여자	16명
14	충남	태안	6월25일	농업인 대학 참여자	38명
소계					515명

### (6) 우편조사

- 농업기술센터 농업인 대학 교육 참여자를 대상으로 우편조사를 실시하였다. 설문조사 과정은 아래 표와 같으며, 설문조사의 완성도를 높이기 위해 1차 및 2차 검증을 실시하였다.

표 12. 농업기술원 농업인대학 교육 참여 우편조사 과정

구분		내용
1단계	설문지 배포	• 설문지와 답례품을 해당 농업기술센터로 우편 발송
2단계	설문지 작성	• 농업인 대학 담당자의 안내에 따라 설문지 작성
3단계	설문지 회수	• 작성 완료된 설문지를 착불발송
4단계	설문지 제출 및 1차 검증	• 회수한 설문지 조사원 1차 검증
5단계	2차 검증 및 추가 전화조사	• 설문조사 책임자의 2차 검증과정에서 누락된 내용이나 오류가 발견된 경우 설문작성 시 수집한 작성자의 휴대폰 번호를 활용하여 추가 전화조사 실시
6단계	최종확정	• 자료 처리 및 최종데이터 확정

- 우편조사는 전국 16개 지역의 농업인대학 참여자 총 425명을 대상으로 2020년 6월~8월에 실시하였다. 자세한 지역별 조사 현황은 다음 표와 같다.

표 13. 우편조사 대상 및 조사 결과

번호	지역명		조사일	조사대상자	조사인원
1	강원	영월	6월24일	농업인 대학 참여자	28명
2	강원	정선	7월13일	농업인 대학 참여자	20명
3	경기	가평	8월1일	농업인 대학 참여자	17명
4	경기	용인	8월1일	농업인 대학 참여자	14명
5	경기	평택	8월1일	농업인 대학 참여자	24명
6	경기	남양주	8월10일	농업인 대학 참여자	21명
7	경남	의령	8월10일	농업인 대학 참여자	42명
8	경남	함안	8월10일	농업인 대학 참여자	18명
9	경북	의성	8월10일	농업인 대학 참여자	61
10	전남	영암	8월10일	농업인 대학 참여자	27명
11	전북	김제	7월15일	농업인 대학 참여자	49명
12	제주	서귀포	8월10일	농업인 대학 참여자	12명
13	제주	제주	8월10일	농업인 대학 참여자	18명
14	충북	음성	8월10일	농업인 대학 참여자	27명
15	충북	증평	6월25일	농업인 대학 참여자	11명
16	충북	충주	8월10일	농업인 대학 참여자	36명
소계					425명

### (7) 온라인조사

- 작물연구회 회원을 대상으로 온라인 설문조사를 실시하였다. 설문조사 과정은 아래 표와 같으며, 설문조사의 완성도를 높이기 위해 1차 및 2차 검증을 실시하였다.

표 14. 품목별 작물연구회 회원 온라인조사 과정

구분		내용
1단계	회원 명부 및 연락처 확보	• 각 농업기술센터 교육담당 농촌지도사의 협조를 얻어 해당 품목 작물연구회 회장 및 회원 명단 확보
2단계	온라인 설문지 배포	• 회장 연락처만 제공받은 경우 작물연구회 비상연락망 및 단체대화방 등을 통해 회원들에게 온라인 설문지 배포 요청 • 회원 명단과 연락처를 함께 제공받은 경우 단체 문자메세지 시스템을 통해 온라인 설문지 배포
3단계	설문지 작성	• 개인 휴대폰으로 받은 URL.주소에 접속하여 온라인 조사 참여
4단계	설문지 제출 및 1차 검증	• 조사기관 서버를 통해 들어온 온라인 설문 답변 내용을 1차 검증
5단계	2차 검증 및 추가 전화조사	• 작성된 설문 내용 중 1차 검증과정에 누락된 내용이나 오류가 발견된 경우 설문작성 시 수집한 작성자의 휴대폰 번호를 활용하여 추가 전화조사 실시
6단계	최종확정	• 자료 처리 및 최종데이터 확정

- 온라인조사는 전국 5개 지역 참여자 총 64명을 대상으로 2020년 8월에 실시하였다. 자세한 지역별 조사 현황은 다음 표와 같다.

표 15. 온라인조사 대상 및 조사 결과

번호	지역명		조사일	조사대상자	조사결과
1	경북	청도	8월20일	청도복숭아연구회	26명
2	경북	성주	8월20일	성주향산화계르마늘 작목반	15명
3	전남	담양	8월25일	담양토마토연구회	7명
4	충북	영동	8월20일	영동포도연구회	10명
5	전남	영광	8월25일	정보화농업인연구회	6명
소계					64명

#### (8) 설문조사 결과 처리 및 분석

- 조사를 통해 수집된 자료는 코딩 및 data cleaning 과정을 거친 후 통계분석 프로그램을 이용하여 빈도분석, 교차분석, 기술통계분석 등을 실시하였다. 조사결과를 이용하여 작물 및 시도별 차이를 검증하였다.

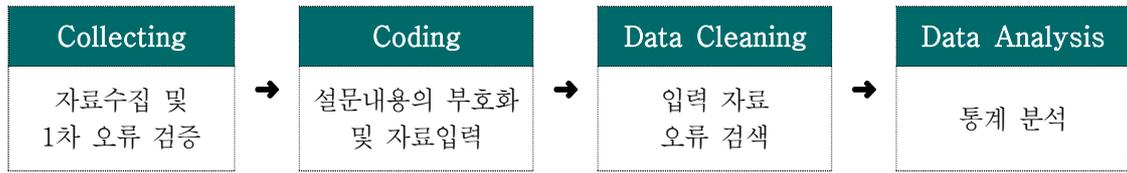
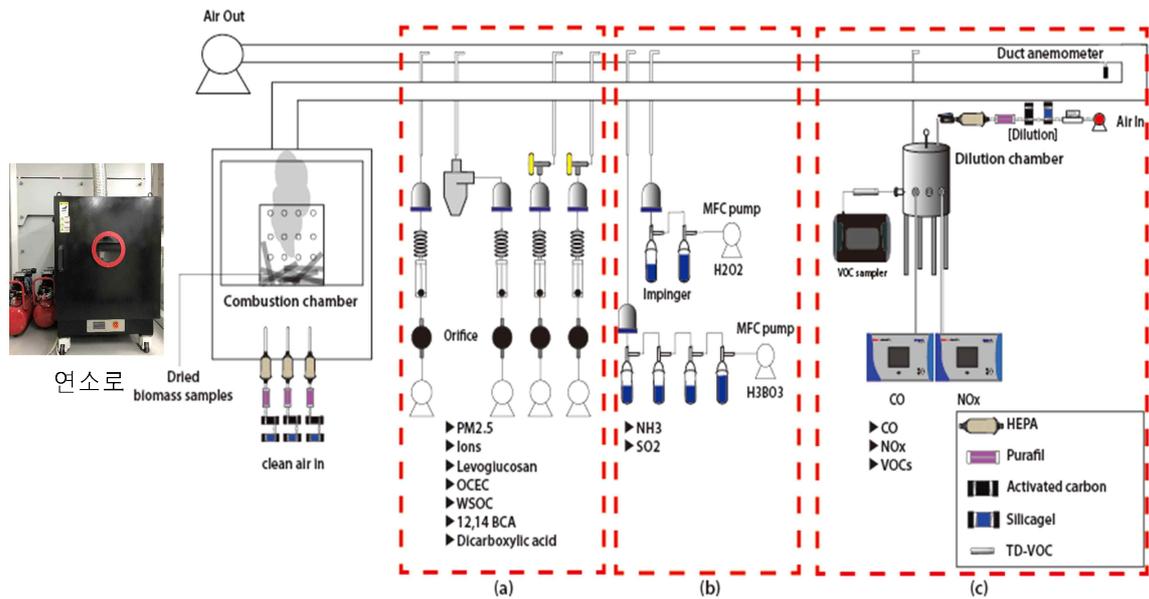


그림 7. 자료 처리 및 분석 절차

## 나. 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 갱신

### 1) 연소시험 시설 구축



실시간 가스 분석 장비



연소 배연 시스템



필터 및 TD 포집 장치

그림 8. 연소실험 모식도 및 장치 설치 결과

농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수를 산정하기 위해 연소 시험 시설을 구축하였다. 연소 시험 시설의 구축은 EPA method 5G 방법을 기준으로 설계·제작하였으며, 본 연구 목적에 최적화하기 위해 추가적으로 ‘생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정 방법 편람 (국립환경과학원, 2014)’, ‘생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술 개발 (환경부, 2014)’ 및 ‘생물성연소 배출량 산정법 개선 (국립환경과학원, 2017)’을 참고하였다.

설계·제작된 연소 시험 시설의 모식도 및 장치 설치 결과를 그림 8에 제시하였다. 그림에서와 같이 연소 시험 시설의 구성은 ① 농업부산물 연소를 위한 연소로, ② 배연관, ③ PM 중량 측정 및 PAHs 분석을 위한 필터 포집 장치, ④ VOCs 측정을 위한 가스상 물질 포집 장치, ⑤ CO, NOx 등 가스상 물질 측정을 위한 장치로 구성되어 있다. 연소 시험을 위한 챔버는 작물을 연소하고, 연소에 의해 발생하는 물질을 배연관으로 보내는 역할을 한다. 본 연구를 위해 제작된 챔버 및 선행 연구에서 사용된 챔버를 그림 9에 나타내었다. 그림에서와 같이 본 연구에 사용되는 챔버는 밀폐형 챔버로 선행 연구에 사용된 개방형 챔버

와 차별화되어 있다. 밀폐형 챔버는 개방형 챔버와 비교하여 2가지 장점이 있다. 첫 번째는 연소에 의해 발생하는 물질을 100% 배연관으로 보낼 수 있다는 것이다. 개방형 챔버의 경우 배연관 외의 곳으로 연소에 의해 발생하는 물질이 유출될 수 있으며, 일반적으로 20% 전후 수준이 배연관 외로 유출되는 것으로 알려져 있다. 정밀한 시험을 위해서는 분석 결과에 배연관 외로 유출되는 가스비를 보정해야 하지만, 정확한 유출비를 측정하는 것은 매우 어려운 일이다. 반면 밀폐형 챔버의 경우 연소에 의해 발생하는 물질을 100% 배연관으로 보낼 수 있기 때문에 개방형 챔버에 비해 정확한 시험 결과를 제시할 수 있다. 두 번째 장점은 연소 과정에 사용되는 에어의 선택성이다. 개방형 챔버의 경우 일반 대기를 이용하여 연소를 수행한다. 대기 상에는 산소, 질소 외에 다양한 물질들이 함유되어 있으며, 측정물질 및 측정물질을 생성하는 다양한 전구 물질을 함유하고 있는 경우가 있다. 또한 연소 시험 기간 동안 동일한 수준의 일반대기의 바탕농도 특성을 유지하기 어렵다는 점도 있다. 따라서 연소 시험에 일반대기를 이용할 경우 시험 결과가 과대 평가되거나, 반복 시험 시 발생하는 편차가 높아질 수 있다. 반면 밀폐형 챔버의 경우 연소 과정에 사용되는 주입 공기에 포함된 오염성분을 흡착장치에 의해 제거 후 가스분배를 이용하여 주입하기 때문에 일정한 매우 낮은 수준의 바탕 농도 일정 유지 및 측정에 방해되는 불순물을 배제할 수 있다.



<연구 시설 연소 챔버>



<선행연구 연소 챔버>

\*생물성연소 배출량 산정법 개선(국립환경과학원 2017)

그림 9. 본 연구 및 선행 연구에서 사용된 연소 챔버

본 연구에 사용되는 배연관은 EPA method 5G에서 제시하는 스테인리스 재질을 이용하여 제작하였다. 연소 챔버에서 각 항목을 측정/시료포집 하는 곳까지의 거리는 약 7.5 m로 구성하였으며, 배관에서 연소 물질의 유속은 0.2 m/sec 이상을 유지하도록 설계하였다. 상기 조건은 연소 과정에서 발생하는 물질의 온도 조정 및 시료 채취 시 손실되는 물질의 양을 최소화하기 위한 조건이다. 추가로 상기 조건의 확인 및 실험 결과의 정확도를 유지하기 위해 배연관 중간에 온도 및 유속 측정 장치를 설치하였으며, 실험 시 단위 시간에

따른 유속과 온도를 실시간 측정하여 실험 결과에 반영하였다.

PM 중량 측정 및 PAHs 분석을 위한 필터 포집 장치를 그림 10에 나타내었다. 필터 포집 장치는 연소 발생물질을 희석 없이 포집하도록 설계하였다. 희석 없이 연소 물질을 회수하는 것은 저농도 PAHs 물질 등의 분석에 유리하게 작용하며, 동시 포집은 다중 분석에 의한 실험의 신뢰성을 증가시킬 수 있다는 장점이 있다. VOCs 측정을 위한 가스상 물질 포집 장치는 희석기를 통해 연소 가스를 100배 희석 가능하도록 설계하였다. VOCs 측정은 TD-GC/MS를 이용하기 때문에 가스상 물질의 포집은 TD 분석용 흡착튜브를 사용하도록 설계되었다. CO, NOx 등 가스상 물질 측정을 위한 장치의 구성은 ‘배연관→희석장치→Hepa 필터→Purafil→활성탄→실리카겔→측정용 센서(측정기)’로 이루어져 있다 (그림 6). 이러한 구성은 연소 발생물질의 농도를 낮추고, 측정에 방해가 되는 물질들을 배제하기 위해 설계한 것이다. 측정에 사용되는 장비 목록은 표 16에 제시하였다.



그림 10. PM 중량 측정 및 PAHs 분석을 위한 필터 포집 장치



<희석 장치>



<측정기기>

그림 11. Co, NOx 등 가스상 물질 측정을 위한 장치

표 16. 연소 시험 시설에 사용되는 항목별 측정기기

측정 항목	측정 기기	측정 항목	측정 기기
NH <sub>3</sub>	Los Gaos Research, Ultraportable Ammonia Analyzer	NOx	Thermo Scientific, 42iQ
CO	Thermo Scientific, 48iQ		

## 2) 분석대상 선정

### (1) 옥수수, 땅콩 : CAPSS 배출원 소분류 배출계수 보완 2종

- 현재 CAPSS에는 농업농촌분야 생물성 연소 중 농업 잔재물의 소각에 의한 배출량 산정을 위해 11개 세분류(보리, 사과, 배, 복숭아, 포도, 콩, 옥수수, 고추, 참깨, 들깨, 땅콩) 농업 배출원 자료를 구축하였다. 수록된 생물성 연소관련 농업잔재물의 배출계수 중 옥수수는 고추대의 배출계수를 적용하고 있으며, 땅콩은 콩의 배출계수를 적용하고 있다. 작물의 종류에 따라 잔재물의 성상이 다르며 이에 따라 소각 시 배출되는 대기오염물질의 발생이 다를 수 있다. 따라서 옥수수 및 땅콩 등 2종의 CAPSS 내 배출계수를 갱신할 필요가 있다.

### (2) 추가 세분류 7종 : 경작지 면적 상위

- 작물별 경작규모에 따른 작물에 대한 우선순위를 부여하여 연소시험 대상 상위 8종을 선정하였다. 작물별 경작규모는 2018년 통계청의 자료를 참고하였으며, 논, 콩 등 총 32개 작물을 세분류로 하여 조사 및 검토하였다.

- 경작지 면적은 논, 콩, 보리 등의 순으로 조사되었다. 이 중 이미 CAPSS에 반영된 작물을 제외한 상위 작물 논(벼), 수박, 양파, 마늘, 감, 감귤, 고구마 등 7종을 배출계수 산정을

위한 연소시험 대상으로 선정하였다. 논외 경우에는 논바닥 소각을 대상으로 조사하였으며, 볏짚을 확보하여 연소시험용 시료로 하였다. 배추는 부산물의 소각처리가 이루어지지 않고 대부분의 부산물이 현장에서 직접 밭갈이로 처리되므로 대상에서 제외하였다. 감자의 경우 연구수행과정에서 시료 확보에 실패하여 연소시험대상에서 제외하였다. 과와 대과는 현장조사 결과 부산물 발생량이 매우 미미하여 대상에서 제외하였다.

**(3) 초본식물 : 두렁 및 경작지 주변 초본식물**

- 논 및 밭두렁과 경작지 주변의 소각은 주로 야생으로 서식하는 초본식물이 대상이 된다. 현재 농업잔재물 소각에는 두렁 등의 소각활동은 고려되지 않고 있다. 본 연구에서는 초본식물의 소각의 대기오염 발생특성을 조사하기 위하여 초본식물을 연소시험 대상으로 선정하였다.

**(4) 보리 : 선행연구의 배출계수와 비교시험용 대상**

- 보리는 선행연구에서 연소시험을 통해 배출계수가 산정되어 있다. 본 연구에서는 연소시험의 방법에 따른 배출특성을 비교하기 위하여 보리를 비교시험용으로 선정하였다. 보리의 농업 잔재물을 확보하여 준비된 연소시험설비에서 시험방법에 따라 연소 후 배출되는 대기오염물질 측정하였다. 측정된 값은 결과에 제시하였으며, 이 결과와 선행연구의 보리에 대한 배출계수와 비교를 통해 연소시험 방법에 따른 배출특성을 평가할 수 있다.

표 17. 농업 잔재물 연소시험 대상 세분류 작물의 경작지 면적

순서	세분류	경작지 면적 (ha, '18 통계청)	비고
1	논	844,265	벼짚 확보
2	콩	50,638	CAPSS 수록
3	보리	47,237	CAPSS 수록
4	들깨	43,352	CAPSS 수록
5	사과	33,234	CAPSS 수록
6	고추	32,865	CAPSS 수록
7	배추	32,416	부산물 소각여부 불투명
8	참깨	29,682	CAPSS 수록
9	마늘	24,864	
10	감	23,918	
11	감자	23,402	
12	감귤	21,572	
13	복숭아	21,087	CAPSS 수록
14	고구마	20,948	
15	양파	19,538	
16	과	18,078	부산물 발생 없음
17	옥수수	15,472	CAPSS 수록(갱신필요)
18	대파	13,122	부산물 발생 없음
19	포도	12,795	CAPSS 수록
20	수박	12,661	
21	배	10,303	CAPSS 수록
22	호박	9,095	
23	자두	7,266	
24	양배추	6,854	
25	밀	6,600	
26	무	6,095	
27	딸기	5,907	
28	토마토	5,782	
29	땅콩	5,190	CAPSS 수록(갱신필요)
30	쪽파	4,956	
31	화훼	4,936	
32	오이	4,918	

### 3) 연소 시험용 시료 채취

#### (1) 농업 잔재물 시료 확보

- 작물의 수확시기를 고려하여 선정된 10종의 농업 잔재물에 대해 작물별 3~5 kg 시료 확보하였다. 연소시험용 시료는 광주광역시, 장성군, 담양군, 영광군, 무안군 등 농업 지역에서 수확 후의 잔재물을 직접 확보하였다. 논바닥 소각에 대해서는 벼짚을 시료로 확보하였다. 초본식물은 밭 주변 야생식물이 서식하는 지역에서 직접 채취하

였다. 감, 감귤 등 과수의 잔재물은 전정(가지치기) 작업 시 발생하는 잔재물을 확보하여 시료로 하였다.



그림 12. 확보된 연소 시험용 시료

#### 4) 연소 시험

연소 시험은 EPA method 5G 및 ‘생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법 편람 (국립환경과학원, 2014)’, ‘생물성연소 배출량 산정법 개선 (국립환경과학원, 2017)’을 참고하여 그림 13과 같이 수행하였다. 그림에서와 같이 연소 시험은 ① 시료 건조 ② 건조 시료의 중량 측정 ③ 연소 ④ 연소 중 가스상 물질의 측정 및 시료 포집 ⑤ 포집된 시료의 분석으로 구성된다.

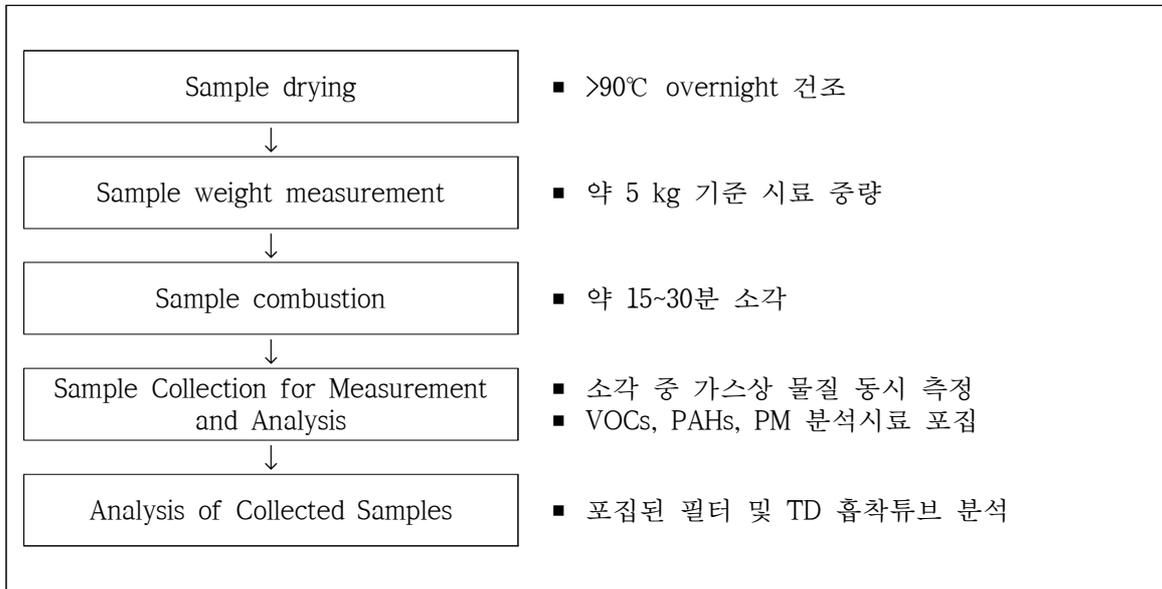


그림 13. 연소 시험 방법 모식도

연소 시험 중 첫 번째 과정인 시료의 건조는 비교적 균질한 시험 결과를 확보하기 위해 수행하였다. 선행 연구에서는 농업 부산물에 함유된 수분 함량에 따라 연소 시 발생하는 물질의 양에 차이가 나는 것을 보고하였다(표 18). 따라서 일정한 시험 결과를 확보하기 위해서는 수분함량이 일정한 시료를 사용해야 하며, 농업 부산물의 수분 함량은 실제 농업 지역에서 농업 부산물을 소각할 때의 시료를 기준으로 하는 것이 바람직하다. 하지만 현실적으로 이는 불가능하다. 그 이유는 농업 지역에서 농업 부산물을 소각할 때의 소각물 내 수분 함량은 균질하지 않으며, 설령 균질하다 할지라도 동일한 수분 함량을 가지는 작물을 이용하여 시험을 할 수 없기 때문이다. 시료 내 수분 함량은 시료 확보 후 시간이 경과함에 따라 감소하며, 이후 수분을 보충할지라도 일정한 수분 함량을 유지하기 어렵기 때문이다(표 19). 결론적으로 연소 시험 결과에 중요한 영향을 미치는 수분 함량은 일정하게 유지하기 어려운 반면 수분 함량에 따른 시험 결과는 매우 큰 오차를 나타낸다. 본 연구에서는 이에 대한 대안으로 시료 내 함유된 수분을 1% 이하로 낮추어 수분을 배제한 연소 시험을 수행하였다. 시험 결과는 선행 연구 자료를 활용하여 시료 내 수분이 증가함에 따라 증감되는 성분을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

연소 시료의 중량 측정은 연소량 대비 발생량을 정량하기 위한 과정이며, 연소는 시료의 연소 특성에 따라 10~15분 소각하였다. 분석 항목 25개는 연소 시 동시 측정, 필터 포집 후 중량 측정, 필터 포집 후 추출/정제 후 분석, 흡착 튜브 등을 이용한 측정 등으로 구성하여 수행하였다.

표 18. 수분 함량에 따른 가스상 오염물질의 농도

구분	가스상 오염물질 농도					유속 (m/s)	수분함량 (%)
	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO (ppm)	CO (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)		
1회	66	15	3,485	18	3	0.47	3.73
2회	36	9	1,993	19	2	0.47	3.41
3회	64	13	2,779	19	2	0.47	3.15
평균	55.3	12.3	2,752	18.7	2.3	0.47	3.43
편차	16.8	3.1	746.4	0.6	0.6	0	0.3

\* 생물성연소 배출량 산정법 개선(국립환경과학원 2017)

표 19. 농업잔재물 수분량 측정결과

구분	10/19	10/25	10/31	11/2	11/7	11/14	11/16
고추대	37.4	43.2	28.9	22.9	16.3	20.9	16.0
들깻대	27.9	16.3	11.1	15.2	11.5	11.2	11.7
참깻대	10.9	9.1	10.0	9.1	9.1	10.0	12.1

\*10월 25일 시료로 배출되는 실험 진행

\*\* 11월 2일, 3일, 8일, 10일, 13일, 15일 비내림

\*\*\* 생물성연소 배출량 산정법 개선(국립환경과학원 2017)

연소 시험 결과에서 항목별로 측정된 결과를 이용하여 연소 작물별 항목별 배출계수를 최종적으로 산출하였다. 생물성 연소에 대한 배출계수는 식 1를 이용하여 산정 하였다.

$$BE = \frac{C \times Df \times Q_t}{M \times Q_c} \quad (\text{식 1})$$

여기서, BE는 배출계수 (g/kg), C는 항목별 분석 방법에 의해 도출된 정량 값 (g), Df는 회석기에 의한 회석배수, Qt는 연소 시험 시설의 관 유량 (m<sup>3</sup>), M은 연소 시험에 사용한 시료 무게 (kg), Qc는 포집유량 (m<sup>3</sup>)이다. 즉, 식 2는 시료 중량 중 가연분을 기준으로 분석 항목이 차지하는 중량을 제시하고 있다.

### 5) 배출계수 산정 및 DB화

농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수는 표 20에 제시한 바와 같이 총 69개 항목을 측정하여 산정하였다. 분석 항목은 질량 기준의 PM, PM<sub>2.5</sub> 내 함유된 성분과 가스 성분의 3가지로 구분된다. 세부적으로 PM 물질은 TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>의 3가지, PM<sub>2.5</sub> 내 분석 물질은

탄소성분의 OCEC, 8개의 이온성분, 생물성 연소의 유기지표 성분인 Levoglucosan 및 18종의 PAHs 물질이다. 가스 성분은 CO, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub> 등의 5개 성분과 TD-GC/MS를 통해 측정되는 31개의 VOCs 물질이다.

표 20. 농업농촌분야 생물성 연소 배출계수 산정 항목

구분		분석 항목
PM		TSP, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>
PM <sub>2.5</sub> - Major Components	C	OC, EC
	Ions	F <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup>
	Organic Indicator Ingredients	Levoglucosan
	PAHs	Naphtalene, Biphenyl, Acenaphthylene, Acenaphene, Fluorene, Dibenzothiophene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo[ghi]fluoranthene, Benzo[c]phenanthrene, Benz[a]anthracene, Cyclopenta[cd]pyrene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene
Gas - Major Components	Gas	CO, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , NO, NO <sub>2</sub>
	VOCs	Acrylonitrile, 1,1-Dichloroethane, 1,2-DiChlorobenzene, 1,2-Dichloroethane, 1,1,1-Trichloroethane, Benzene, Toluene, Carbon tetrachloride, Trichloroethylene, Tetrachloroethylene, Chlorobenzene, Ethylbenzene, m&p-Xylene, Styrene, o-Xylene, Bromobenzene, Hexachloro-1,3-butadiene, 1,2,4-Trichlorobenzene, Naphtalene, n-Butylbenzene, 1,4-DiChlorobenzene, tert-Butylbenzene, sec-Butylbenzene, 1,3-DiChlorobenzene, Isopropylbenzene, 2-Chlorotoluene, n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene, 1,3,5-Trimethylbenzene, p-Isopropylbenzene, 1,2,4-Trimethylbenzene, Chloroform

표 21. 분석항목별 측정 방법

항목	분석법
TSP	대기오염공정시험법 중량법
PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>	대기오염공정시험법 중량법
SOx	대기오염공정시험법 자외선흡수법, 이온크로마토그래피법
NOx	대기오염공정시험법 화학발광법
CO	대기오염공정시험법 비분산적외선법
NH <sub>3</sub>	레이저 감쇄법 (국내 공정시험법에 없음), 이온크로마토그래피법
Ions	대기오염공정시험법 이온크로마토그래피법
OCEC	NIOSH5040 (국내 공정시험법에 없음)
VOCs	대기오염공정시험법 GC/MS법
PAHs	대기오염공정시험법 GC/MS법
Levoglucosan	LC-MS (국내 공정시험법에 없음)

배출계수를 산정하기 위한 69개 항목은 표 21에 제시된 바와 같이 11개의 방법으로 분석을 수행하였다. 분석항목 중 TSP는 대기오염공정시험기준의 중량법을 이용하였으며, 포집 전과 포집 후의 중량 차이를 이용하여 계산하였다.

NOx는 화학발광법(Chemiluminescence, CLD)을 이용하여 NO와 NO<sub>2</sub>의 총합으로 분석되었다. NO는 O<sub>3</sub>와 반응하여 NO<sub>2</sub>를 생성할 때 발생하는 화학발광 강도를 측정하며, NO<sub>2</sub>는 오존과의 반응이 없으므로 컨버터를 통과하여 일산화질소로 변환시킨 후 오존과 반응시켜 측정하였다. CO는 시료에 특정파장의 적외선을 투과하여 흡수하는 원리를 이용한 비분산적외법(Nondispersive Infrared, NDIR)으로 4.68 μm 파장에서 적외선을 흡수하는 성질을 가지고 있어 cell에 장착된 wheel에 의해 CO 기준값과 측정값에 해당하는 전기적 신호에 의해 농도를 구한다. SO<sub>2</sub>는 자외선형광법(fluorescence)으로, 자외선 영역의 빛을 가스분자가 흡수하여 안정상태로 회귀하면서 빛을 발하는 현상으로서 이때 분자로부터 방출되는 형광 자외선의 강도가 분자농도에 비례하여 농도로 산출된다. O<sub>3</sub>는 자외선 투과했을 시 254 nm에서 최대 흡수를 나타내는 성질을 이용하여 광학필터를 통해 254nm의 단파장만 투과시켜 cell에 존재하는 O<sub>3</sub>의 농도에 따른 흡광도 변화량을 측정하여 농도를 산출하였다. 모든 장비는 측정 전 표준가스를 이용하여 검정 및 교정하였으며, 기기간 비교 측정 하여 분석 신뢰성을 확보하였다.

가스상 물질 중 하나인 암모니아는 EAA-30r-EP 장비를 사용하여 측정하였다. EAA-30r-EP는 샘플 투과 전과 후의 Laser 강도 차이에 의해 흡광도를 계산하는 Lambert-Beer 법칙을 사용한다. 또한 EAA-30r-EP 장비는 흡수 셀에서 Off-Axis Integrated-Cavity Output Spectroscopy (Off-Axis ICOS) 방식을 사용하여 기존의 다른 장비에 비교하여 더욱 정확한 농도를 측정한다. Off-Axis ICOS 방식은 셀 내부 양 끝에 반사율이 높은 거울을 장착해 Laser가 셀 내부에서 반복적으로 반사되어 Laser 이동거리를 천배

증가시켜 흡수율을 향상시켜주는 방식이다. 장비에서 농도를 계산하기 위해 측정되는 값은 가스의 온도와 압력, 파장의 이동거리, 그리고 샘플을 투과한 이후의 파장이다. 표 22에는 NH<sub>3</sub> 측정의 운영조건들을 정리하였으며 표 23에 농도 산출 과정식을 나타냈다.

추가적으로 가스상 물질 중 SO<sub>2</sub> 및 NH<sub>3</sub> 측정은 실시간 분석기 외에 과산화수소 및 붕산을 이용한 흡수액 포집법을 이용하여 이온크로마토그래피 분석을 수행하였다. 그 이유는 연소 시 배출되는 가스 내 SO<sub>2</sub> 및 NH<sub>3</sub>의 농도가 실시간 측정기가 측정하는 범위 이상으로 나타났기 때문이다. 즉, 저농도 측정을 위한 실시간 장비만을 이용할 경우 연소 시험에서 배출되는 고농도 SO<sub>2</sub> 및 NH<sub>3</sub>를 측정할 수 없기 때문에 실시간 측정기 및 흡수액을 사용한 크로마토그래피법을 병용하여 결과를 산정하였다.

표 22. NH<sub>3</sub> analyzer condition

Typye	Condition
Measurement Range	0 - 400 ppb
Sample flow	1.3 lpm
Resolutime	120s(여름), 1s(가을)
Cell temp	40 (°C)
Cell pressure	99 torr
Ring - down time	22.8 (us)

표 23. NH<sub>3</sub> 측정에 의한 농도 산출식

	Equation
Beer' s Law	$\frac{I_v}{I_0} = e^{-SL\chi P\phi_v}$
Mole fraction	$\chi = \frac{-1}{SLP} \int_v \ln\left(\frac{I_v}{I_0}\right) dv$ <p> <i>I<sub>v</sub></i> = Transmitted intensity through the sample at frequency  <i>I<sub>0</sub></i> = The reference laser intensity prior to entering the cell  <i>s</i> = Absorption line strength of the probed transition  <i>l</i> = Optical path length of the laser beam through the sample  <i>χ</i> = Mole fraction  <i>P</i> = Gas pressure  <i>φ<sub>v</sub></i> = line-shape function of the transition at frequency                 </p>

PM<sub>2.5</sub> 내 이온상 물질은 석영 여과지에 채취한 시료를 30mL의 초순수액을 이용하여 추출하여 이온크로마토그래피(Metrohm 883, Switzerland)을 이용하여 양이온 및 음이온 총 8가지의 성분을 분석하였다. 또한 현장 공시료(field blank) 분석을 통해 배경농도를 보정하여 시료 채취 시간에 따른 각 이온의 농도를 산출하였다. 음이온은 Metrohm Metrosep A Supp-5 칼럼, 0.7 mL/min 유속, 250  $\mu$ L 주입량 및 3.7 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> & 1.0mM NaHCO<sub>3</sub> 용리액 조건으로 분석하였으며 양이온은 Metrohm Metrosep C4-250 칼럼, 0.6 mL/min 유속 250  $\mu$ L 주입량, 5 mM HNO<sub>3</sub> 용리액의 조건으로 분석하였다.



그림 14. 양이온 및 음이온 분석을 위한 IC (Cation, Anion) 분석기

표 24. 이온크로마토그래피 분석 조건

	음이온	양이온
Instrument	IC Metrohm 883	IC Metrohm 930
Detector	Conductivity	Conductivity
Column	Metrosep A Supp 150/4.0	Metrosep C4-250/4.0
Flow Rate	0.7 mL/min	0.9 mL/min
Injection Volume	250 $\mu$ L	250 $\mu$ L
Eluent	3.7 mM Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> & 1.0 mM NaHCO <sub>3</sub>	5 mM HNO <sub>3</sub>
Target Ions	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

OC 및 EC 측정은 표 25에 나타낸 바와 같이 NIOSH5040 (National Institute of Occupational Safety & Health) 프로토콜(protocol)을 기초로 한 열광학적 투과도법을 이용하여 분석하였다.

표 25. TC (OC+EC) 분석 열광학 조건 (NIOSH5040 Protocol)

Step	Gas	Hold time (second)	Temp. (Celsius)
1	Helium	10	1
2	Helium	80	310
3	Helium	80	475
4	Helium	80	615
5	Helium	110	870
6	Helium	45	550
7	Oxygen	45	550
8	Oxygen	45	625
9	Oxygen	45	700
10	Oxygen	45	775
11	Oxygen	45	850
12	Oxygen	110	870
13	CalibrationOx	120	1

연소 시 발생하는 VOCs 분석은 유기용매를 사용하지 않고 유기성분들을 완전히 분리하여 분석할 수 있는 GC/MS-TD (Gas Chromatography/Mass Spectrometry-Thermal Desorption)를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 GC/MS-TD에 대한 분석조건을 표 26에 요약하였다. VOCs를 포집하기 위해 열탈착 전처리된 고체 흡착관을 이용하여 시료를 채취하고 연소 가스를 포집 후 바로 밀봉팩으로 2단 밀봉 후 분석 전까지 4°C에서 냉장 보관하였다. 분석은 TD기기에 시료가 포집된 고체흡착관을 장착시키고 320°C에서 이동상 가스 (Carrier gas) 헬륨을 사용하여 약 50 mL/min 유량으로 8분 동안 시료를 1차 열탈착 시킨 후 저온 흡착관(Cold Trap)에서 -10°C로 1분간 시료를 저온농축 및 재흡착을 유도하고 다시 320°C에서 15분간 2차 열탈착 하여 GC column으로 이동된다. Column은 길이 60 m, 안지름 0.25 mm을 사용하였다. 컬럼에 의해 분리된 시료들은 Quadruple MS를 통해 최종적으로 정성, 정량하였다. 내부표준물질 Chlorobenzene-d5를 이용해 정량화하였다.

㉟ 26. Operational conditions of GC/MS-TD system

<b>GC (Agilent 7890A)/MS (Agilent 5975C)</b>
<b>Column : DB-1 (Length : 60m, Diam. : 0.25mm, Film : 0.25 <math>\mu</math>m)</b> <b>Oven setting</b> Oven temp. : 35 $^{\circ}$ C (5 $^{\circ}$ C/min) Max oven temp. : 320 $^{\circ}$ C (3min) Total time : 60 min Carrier gas : He (99.999%) <b>Detector setting</b> Ionization mode : EI (70eV) Ion source temp. : 230 $^{\circ}$ C MS Quad : 150 $^{\circ}$ C
<b>TD (Unity2, Markes International, Ltd, UK)</b>
Cold trap : High boilers trap (U-T2HBL-25) Split ratio : Splitless Hold time : 30min Trap low : -10 $^{\circ}$ C Trap High : 320 $^{\circ}$ C Flow path temp. : 150 $^{\circ}$ C
<b>Sampling</b>
Desorb time : 30 min Desorb flow : 50 mL/min Desorb temp. : 320 $^{\circ}$ C

## 다. 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정

### 1) 배출량 산정 방법

#### (1) 배출량 산정 대상

- 19개 세분류 작물에 대한 배출량을 산정하였다.
- CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOC, TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub> 등 8개 대기오염물질에 대한 배출량을 산정하였다.

#### (2) 배출량 산정 방법

- 농업잔재물 소각에서 사용되는 배출량 산정식은 국립환경과학원의 “생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법 편람 - 2011년 대기오염물질 배출량 기준 (2014)” 에서 제시된 US CARB(Areawide Emission Inventory Methodologies-Agricultural Burning, 2006) 방법을 참고하였다. 이 방법의 농업 잔재물 소각량은 연구에서 제안한 작물별 생산량 기준으로 산출하여 적용하였다.
- 산정식은 아래와 같다.

$$\text{배출량} = \text{연간 농업 잔재물 소각량(kg/yr)} * \text{배출계수 (g/kg)}$$

$$\text{연간 농업잔재물 소각량(kg/yr)} = \text{연간 농업잔재물 발생량(kg/yr)} * \text{소각비율}$$

$$\text{연간 농업잔재물 발생량(kg/yr)} = \text{연간 작물 생산량(kg/yr)} * \text{환산계수}$$

#### (3) 배출량 산정을 위한 자료

- 작물별 소각 비율은 본 연구의 설문조사 결과를 활용하였다.
- 연간 작물 생산량은 통계청의 2019년 자료를 활용하였다.
- 논바닥 및 논밭두렁 소각 대기오염물질 배출량 산정에 적용된 소각량은 재배면적 기준 소각량을 실측하여 적용하였다. 논두렁 단위면적당 소각량 산출을 위해 형태 또는 지역이 각기 다른 3개의 논을 임의로 설정하였다. 3개의 논은 벧짚이 많이 흩어져 있거나, 비교적 정리가 잘되어 있거나, 또는 지역이 다른 논 등으로 설정하였다. 한 개 논 내에서 중앙, 외곽 등 5개 구역에서 단위면적을 1m×1m 로 설정하였다. 구역 내 소각 가능한 벧짚을 수거 후 토양 등 제거를 위한 세척과 건조 과정을 거쳐 무게를 측정하였다. 각각의 단위구역 당 무게를 산술평균하여 단위면적당 잔재물 발생량으로 하였다. 논바닥의 농업 잔재물 발생량은 0.027 ton/ha로 조사되었다.
- 논바닥 면적 및 논밭두렁 면적은 통계청의 마이크로데이터를 활용하였다. 통계청은 시군단위로 작물재배면적을 조사하여 자료를 제공하고 있다. 작물재배면적 조사 시에는 두렁면적, 경작가능면적 등으로 구분하고 있으며, 이때 경작가능면적은 논과 밭의 대장면적에서 논두렁, 밭두렁 면적을 제외한 실제로 작물을 재배할 수 있는 면적을 가리킨다. 두렁은 논이나 밭 가장자리에 경계를 이룰 수 있도록 두둑하게 만든 것을 가리킨다. 두렁면적은 농업면적조사의 ‘재배면적\_경작가능면적’에서 ‘규반계합계’로 제시되고 있다. 규반이란 경지 구획의 경계로서 구획의 형상을 표시하는 두렁을 말한다. 논바닥 면적은 벧

의 경작지 면적을 적용하였다.

- 논바닥 및 논밭두렁의 소각량은 아래의 식을 이용하여 산출하였다. 잔재물 발생량 산출은 실측을 통해 확보한 논바닥 단위면적당 농업잔재물 발생량에 논바닥 또는 논밭두렁 면적을 곱하여 산출하였다. 여기에 설문조사를 통해 확보한 논밭소각실태(소각비율)를 적용하여 단위면적당 소각량을 산출하였다. 논밭두렁 소각비율은 논두렁 소각비율(11.2%)과 밭두렁 소각비율(6.4%) 평균값인 8.8%를 적용하였다.

$$\begin{aligned} \text{논바닥 농업잔재물 소각량} &= \text{논바닥 농업잔재물 양} * \text{논바닥 소각비율}(\%) \\ \text{농업잔재물 양} &= \text{단위면적당 농업잔재물 발생량}(\text{ton/ha}) * \text{논 경작지면적}(\text{ha}) \\ \text{논밭두렁 소각량} &= \text{논밭두렁 농업잔재물 양} * \text{논밭두렁 소각비율}(\%) \\ \text{농업잔재물 양} &= \text{단위면적당 농업잔재물 발생량}(\text{ton/ha}) * \text{두렁면적}(\text{ha}) \end{aligned}$$



그림 15. 논두렁 단위면적당 소각량 산출 절차

표 27. 단위면적당 소각 가능 잔재물 중량

필지	구역별 소각가능 잔재물 건조중량 (g/m <sup>2</sup> )					평균	편차
	1	2	3	4	5		
1	107.1	103.5	180.6	111.9	198.2	140.3	45.4
2	251.2	802.2	215.5	248.0	419.3	387.2	245.3
3	261.3	271.7	173.8	425.1	252.1	276.8	91.5
<b>총 계</b>						<b>268.1</b>	<b>176.4</b>

- 배출계수는 9개 세분류는 본 연구의 연소시험을 통해 신규 도출한 자료를 사용하였으며 3개 세분류는 본 연구의 연소시험을 통해 갱신된 자료, 그리고 8개 세분류에 대해서는 기존의 CAPSS 자료를 활용하였다. 정리하면 다음의 표와 같다.

표 28. 배출량 산정에 사용된 세분류 작물별 배출계수(g/kg)

구분	세분류	CO	NOx	SOx	VOC	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>	비고
1	감	121.87	1.99	0.26	0.01	15.89	15.56	13.01	0.16	신규
2	감귤	180.66	1.11	0.39	0.00	0.60	0.58	0.56	0.14	신규
3	고구마	121.99	0.72	0.18	0.00	0.52	0.52	0.47	0.41	신규
4	고추	206.58	4.94	0.00	40.25	25.96	9.71	7.94	0.00	CAPSS
5	논 (논벼)	158.12	0.32	0.41	0.01	12.58	12.48	11.69	0.32	신규
6	논밭 (두렁)	88.92	0.60	0.04	0.00	17.92	16.54	11.12	0.23	신규
7	들깨	296.19	8.59	0.00	54.24	67.45	25.45	21.40	0.01	CAPSS
8	땅콩	256.04	1.33	0.27	0.01	15.02	10.90	8.89	0.17	갱신
9	마늘	153.97	0.40	0.14	0.00	4.92	3.98	3.34	0.15	신규
10	배	238.31	8.74	0.00	87.74	29.46	11.28	8.45	0.01	CAPSS
11	보리	65.24	0.11	0.03	0.00	3.75	3.70	3.56	0.07	갱신
12	복숭아	277.22	15.02	0.00	61.58	32.41	11.21	9.47	0.01	CAPSS
13	사과	146.04	10.36	0.00	353.29	22.91	18.85	16.77	0.01	CAPSS
14	수박	257.07	4.20	0.13	0.02	12.42	11.57	10.47	36.04	신규
15	양파	374.48	1.00	0.01	0.00	0.98	0.94	0.83	4.90	신규
16	옥수수	134.62	0.62	0.21	0.02	5.25	5.15	5.09	0.13	갱신
17	참깨	237.11	6.47	0.00	109.47	59.56	16.31	13.78	0.00	CAPSS
18	콩	184.38	7.17	0.00	27.36	30.01	11.97	10.11	0.02	CAPSS
19	포도	304.48	14.44	0.00	154.58	34.45	14.78	9.51	0.01	CAPSS

## 라. 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)

### 1) 산정기법 확립 및 대기질 모델링 시스템 구성

농업 잔재물 소각으로 발생하는 미세먼지 영향을 파악하기 위하여 WRF (Weather Research and Forecasting) v3.8.1/ CMAQ (Community Multi-sclae Air Quality) v5.2.1 모델링 시스템을 구축하고 (그림 16), 2016년 1월 - 2016년 12월에 대한 모델링을 수행하였다. 그림 16의 푸른색 항목은 기상 입력자료 생성을 위한 것들이고, 기상모델 구동과 MCIP (Meteorology-Chemistry Interface Processor) 프로세싱이 포함된다. MCIP 과정은 기상모델인 WRF 결과를 대기화학모델 (CMAQ)을 구동하기 위한 입력자료 형태 (model-ready input)로 변환시키는 과정이다. MCIP을 통해 생성된 결과는 기상청 중관관측 자료와 비교분석을 통해 기상 모델의 성능을 검증하였다. 그림 16의 황색 항목은 배출량 자료 준비를 위한 과정들을 나타낸 것이다. 배출량 자료는 인위적인 배출원, 식생 혹은 자연 배출원, 산불발생 배출원을 모두 포함하는 통합자료를 생성하였고, 대기화학모델의 1차 구동 (그림 16에서 “S1”로 명명)의 입력자료로 활용하였다. 농업잔재물 및 부속물 소각으로 발생하는 영향을 살펴보기 위하여, 본 과제로부터 생산된 활동도 자료와 배출계수를 반영한 농업잔재물 소각 배출량 (biomass burning emission)을 생성하였고, S1 모델링을 위해 산출된 배출량 자료와 합산하여 2차 모델링 (그림 1에서 “S2”로 명명)을 구동하였다. 그림 16에서 녹색 항목은 S1과 S2 실험을 위해 CMAQ 모델링이 수행되는 과정을 나타내고, 총 24개월에 대한 모델링이 구동되었다. 모델 구동 기간만큼 방대한 양 (대략 50 테라 바이트)의 모델결과물이 산출되었다. 모델링의 구동결과는 그림 16의 붉은색 항목과 같이, 지상 및 위성관측 자료와 비교하여 모델의 성능을 검증한 이후, 농업잔재물 소각에 따른 영향성 분석이 이루어졌다.

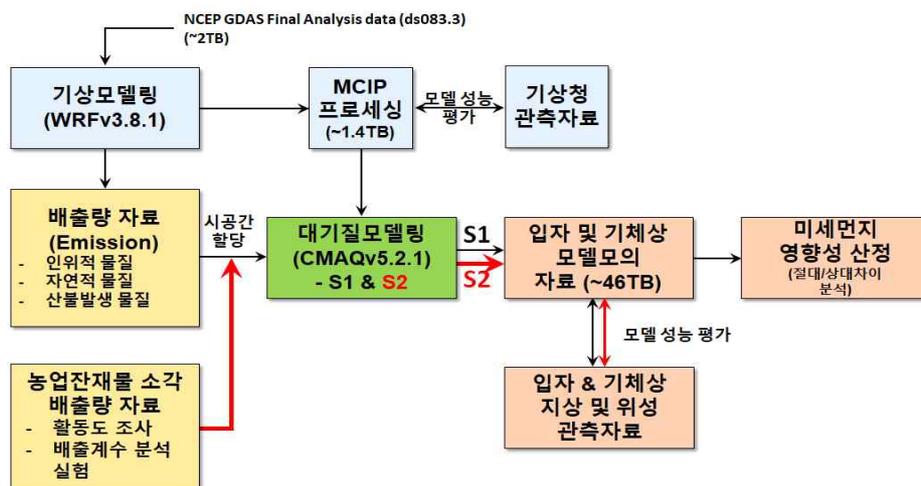


그림 16. 대기질 모델링 구동 및 농업잔재물 소각 영향성 평가 절차

## 2) 기상모델링

대기질 모델구동을 위한 기상입력자료를 생성하기 위하여 동아시아 지역 (그림 17참조) 2016년 1월 - 12월 기간을 대상으로 WRF v3.8.1 모델을 구동하였다. NCAR (National Center for Atmospheric Research)에서 개발된 이 모델은 완전압축성 비정수계 (fully compressible non-hydrostatic) 모델로 C 격자 체계를 사용하고 지형에 근거한 정역할 연직 자료를 사용한다. WRF 모델은 수행과정은 크게 전처리, 모델, 후처리 과정으로 구분할 수 있는데, 이 중 전처리 과정은 GEOGRID, UNGRID, METGRID로 세분화할 수 있다. GEOGRID는 지형고도와 토지피복 등 지형자료를 생성하는 과정이고, UNGRID은 입력자료를 WRF 모델에 사용할 수 있는 자료형식으로 전환하는 과정, METGRID는 격자체계에 맞게 수평 내삽된 기상자료를 생성하는 과정이다. 모델단계에서는 REAL과정을 통해 연직 내삽되어 경계 및 초기자료가 생성되고 WRF 실행단계에서는 REAL 과정을 통해 생성된 자료를 바탕으로 수치적분하여 대기 상태를 모의하였다. 후처리 단계에서는 NCL (NCAR Command Language)와 IDL (Interface Definition Language)를 이용하여 해당 결과를 분석하고 시각화하였다.

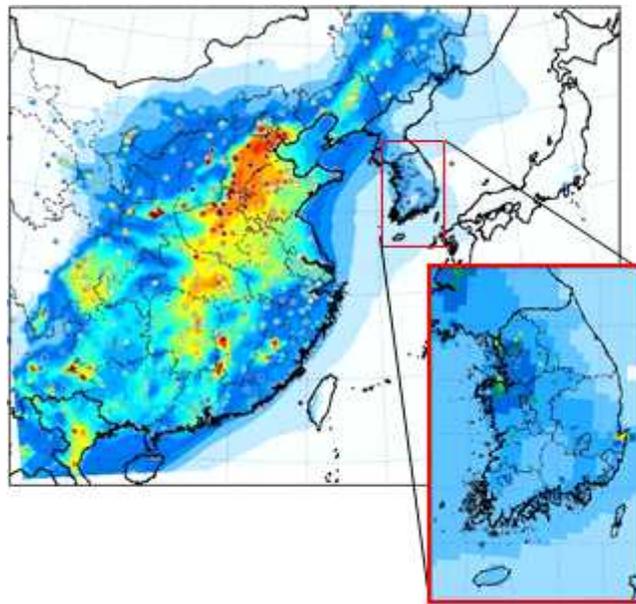


그림 17. 기상모델링 및 대기화학모델링의 공간적 범위 및 주요 분석 대상 범위 (붉은색)

본 연구에 적용된 NCEP 재분석 자료 (NCEP GDAS Final Analysis Data, da083.3, <https://rad.ucar.edu/datasets/ds083.3/>)는 전구규모 자료로서 공간해상도  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  이고, 시간 해상도는 6시간 간격이다. 본 모델링 수행을 위한 수평해상도는  $15\text{km} \times 15\text{km}$ 로 총 296개 (동서)  $\times$  225개 (남북)의 격자수이고, 총  $4440\text{km} \times 3375\text{km}$ 를 포함한다 (그림 2 참조). 연직으로 50mb까지 총 27개 층을 구성하였다. 수치적분에 사용된 물리과정으로, 미세구름물리는 WRF Single Moment 6-class (WRF6; Hong and Lim, 2006), 행성경계층은 Yonsei Univeristy (YSU) PBL (Hong et al., 2006), 장파 및 단파복사는 RRTMG Shortwave and Longwave scheme (Mawer et al., 1997), 적운 모수화는 Kain-Fritsch scheme (Kain,

2004)이 활용되었다. WRF의 구동조건은 표 29에 요약하였다.

기상 모델링과 비교를 위한 기상관측자료는 기상청에서 제공하고 있는 지상 종관기상관측 자료를 활용하였다 (<https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36>). 제공되는 16개 기상변수 중 대표적인 기온, 바람벡터에 대한 비교분석을 통하여 기상모델의 성능을 검증하고자 하였고, 대상 관측지점은 각 지자체 및 공간적 분포를 고려하여 24개 지점을 선정하였다 (그림 18에 제시).

표 29. WRF 모델 환경설정 및 적용된 물리적 옵션

환경조건	내용
수평격자	296 × 225
수평해상도	15km × 15km
연직 top	27 eta level, 50 hPa
초기 및 경계자료	NCEP GDAS Final Analysis data (ds083.3), 0.25° , 6hrs

WRF 물리과정	선택 scheme	WRF 옵션 번호
미세 구름물리	WSM5 (WRF Single-Momentum 6-Class, Hong and Lim, 2006)	mp_physics=6
장파복사	RRTMG (new version of Rapid Radiative Transfer Model, Iacono et al., 2008)	ra_lw_physics=4
단파복사	RRTMG shortwave (Iacono et al., 2008)	ra_sw_physics=4
적운 대류 모수화	Kain-Fritsch scheme (new Eta) (Kain, 2004)	cu_physics=1
대기 경계층 모수화	YSU (Yonsei University) scheme (Hong et al., 2006)	bl_pbl_physics=1
지표 모수화	5-layer thermal diffusion Land Surface Model	sf_surface_physics=1

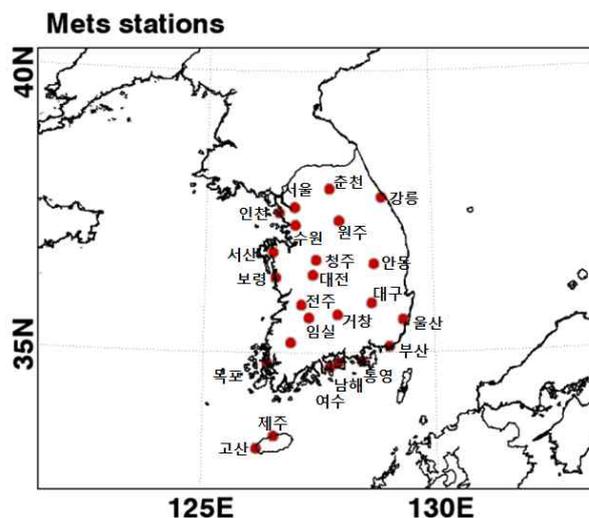


그림 18. 본 분석에 사용된 24개 종관기상관측 지점

### 3) 대기화학 모델링

대기질을 모의하기 위하여 미국 환경청 (US EPA)에서 개발된 CMAQ v5.2.1을 구동하였다. CMAQ 모델은 대기오염의 주요 이슈인 미세먼지, 오존, 시정 및 산성침적 등을 지역 규모 및 도시규모에서 예측하기 위한 모델로서, 대기오염물질의 변환, 이류, 확산, 침적 등의 프로세스를 구현하기 위한 기체상 화학, 입자상 화학, 기체-입자간 비균질 화학, 입자 열역학 등에 대한 모듈 및 매개 변수화가 잘 개발된 모델이다 (Byun et al., 2006).

CMAQ 모델은 대류권 전체에 걸쳐, 오존과 미세먼지, 독성화합물 등을 추정하기 위한 5개의 주요 프로그램을 통합한 것으로 그림 19와 같이 MCIP (Meteorology-Chemistry Interface Processor), ICON (Initial Condition Processor), BCON (Boundary Condition Processor), JPROC (Photolysis Rate Processor), CCTM (CMAQ Chemical Transport Model)의 포트란 프로그램으로 구성되어 있다. 이외도 Bldmake (Model Builder), CHEMMECH (Chemical Mechanism Compiler), PROCAN (Process Analysis Preprocessor) 등과 같은 보조 지원프로그램이 포함될 수 있다. MCIP은 기상모델 (WRF)의 출력물을 사용하여 SMAOKE나 CMAQ에서 활용하기 위한 netCDF 형식의 기상데이터를 생성하기 위한 과정이고, ICON은 모델링 초기 1시간에 대하여 도메인 격자별 화학종별 초기 농도 조건을 netCDF 형식 파일을 생성하기 위한 것으로 화학메커니즘, 수평 및 수직 격자의 정의에 대한 옵션이 포함된다. 이 ICON은 단기 대기질 예보에서 특히 중요한 프로세스라 할 수 있다. 본 연구에서는 각 월별 모델링 구동을 위해 ICON의 조건을 기본 설정조건으로 설정하고, 대기질의 모의상태로 근접하게하기 위하여 모델의 spin-up 구동시간 (5일)을 고려하였다.

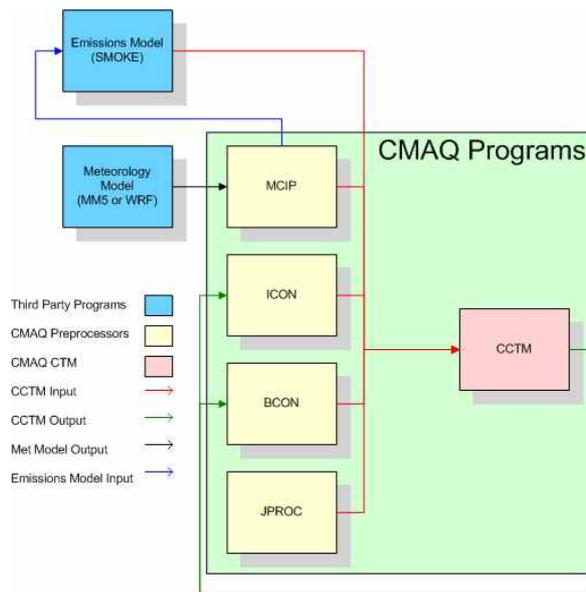


그림 19. CMAQ 모델링 시스템 구성도

BCON은 모델 도메인의 수평경계에 대한 화학종별 농도 조건을 netCDF 파일로 형성하는 과정으로, ICON과 유사하게 화학메커니즘, 수평 및 수직격자의 정의에 따라 달라지지만, ICON과 달리 매 시간 정보를 제공한다. JPROC는 흡수 단면적 및 양자수율 (CSQY) 데이터로부터 위·경도별, 대기화학종별, 시간별 조건에 따라 청정조건에서 광해리 상수를 계산하는 과정이다. 구름이 없는 청정조건으로 계산된 광해리 상수는 실제 모델의 CCTM과정에

서 구름 정보가 반영되어 적용된다. CCTM은 CMAQ 모델의 최종 실행 프로그램으로서 앞서 설명한 전처리 프로그램의 결과물과 기상자료 및 배출량 자료를 통합하여 실행하게 되는데, 식 2의 지배방정식을 통해 시간에 따른 각 격자별 농도변화 ( $\partial C/\partial t$ )를 계산함으로써, 대기화학종의 상태를 모의하게 된다.

$$\frac{\partial \overline{C}_i}{\partial t} + \underbrace{\frac{\partial \overline{C}_i u_j}{\partial x_j}}_{\text{Advection}} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} k_c \frac{\partial \overline{C}_i}{\partial x_j}}_{\text{Turbulent diffusion}} + \underbrace{\overline{R}_i}_{\text{Reaction}} + \underbrace{\overline{E}_i}_{\text{Emission}} - \underbrace{\overline{D}_i}_{\text{Deposition}} \quad (\text{식 2})$$

그림 17의 CMAQ 모델링의 도메인은 WRF 기상모델의 도메인의 경계로부터 동서 및 남북으로 각각 대략 10개 격자씩 제거된 273×204개 (수평해상도 15km×15km)로 4095km×3045km의 공간범위이고 연직으로 기상 모델링과 동일한 27개 층으로 구성하였다. 본 모델링에 적용된 scheme은 수평이류 및 연직이류에 대해 각각 YAMO와 WRF이고, 수평 확산과 연직 확산은 multiscale과 acm2 기법이 고려되었다. 기체상 화학은 SAPRC07 (Statewide Air Pollution Research Center) 메커니즘을 고려하였고 (Carter, 2010), 에어로솔 역역할 및 동역학을 위해 AERO6 최신 모듈이 적용되었다. 그 외 CMAQ 모델 구동을 위한 적용 모듈은 표 30에 요약하였다.

표 30. CMAQ 구동에 적용한 모듈 옵션

모수화 방법	적용기법
화학 solver	EBI (Euler Backward Iterative)
대기화학	SAPRC-07
에어로솔 모듈	AERO6
구름화학 모듈	acm_aero6
건식침적	M3DRY
수평 이류	YAMO
수직 이류	WRF
수평 확산	MULTISCALE
연직 확산	ACM2(Astmmetric Convective Model version 2)

본 모델링에 적용된 인위적 배출 입력자료는 KORUSv5.0, CAPSS2016, MEGAN-MACC, FINNv1.5 자료이고, KORUSv5.0의 경우는 동아시아 전체 도메인에 적용되었고, 이중 남한 지역에 대해 NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, PMs, NH<sub>3</sub>와 총 VOC는 CAPSS로 대체하였다. CAPSS의 NMVOC는 총량 자료만 제공하기 때문에 VOC의 중분배 정보는 KORUSv5.0 자료를 그대로 활용하였다.

본 연구는 국내 농업잔재물 소각에 따른 미세먼지의 영향을 파악하기 위한 목적으로 모델이 구동되기 때문에 그림 16에 소개한 S1 모델링에서는 CAPSS의 농업잔재물 소각으로 인한 배출원은 모두 제거하여 자료를 가공하였다. 또한, S2 모델링에서 남한 지역의 농업잔재물 소각으로 인해 발생하는 배출량 정보는 본 연구팀에서 현장/자료조사 및 분석 실험을

통해 산출한 세부항목별 활동도 계수 (kg/월)와 세부항목에 대한 오염물질별 배출 계수 (kg/kg)를 활용하였다 (활동도 계수 연구 및 배출계수 분석 연구 참조). 이들 배출 인벤토리 자료는 각각 다른 공간 해상도를 제공하고 있고, 모델링에 적용하기 위하여 이들 자료를 모두 15km × 15km로 격자 전환하였다. 특히, 농촌 잔재물 소각 배출량 자료는 시군구 단위로 제공되기 때문에 GIS와 Spatial allocator를 이용하여 격자 전환하였다 (BOX I 및 부록 참고). 이들 자료에 대한 시공간 해상도 및 관련 정보는 표 31에 요약하였다. 그림 20와 그림 21은 본 모델링에 적용된 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, OC, EC, NO, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO의 인위적, 자연적, 산불 발생 배출량 총합에 대한 1월 동아시아 및 한반도 배출량을 공간적으로 나타낸 것이다.

표 31. CMAQ 모델링에 적용된 인위적/자연적/산불발생/농업 잔재물 소각 배출량 자료

구분	배출인벤토리
인위적 배출량 자료	1) KORUSv5 * (도메인 전체, Woo et al., 2020) - 공간해상도: 0.1° × 0.1° , 전체 도메인 - 시간해상도: 월별 자료 2) CAPSS 2016 (남한, CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , total VOC) - 농업잔재물 소각에 의한 배출량 자료 제거 - 공간해상도: 1km × 1km, 남한 - 시간해상도: 연간 자료
식생 배출량 자료	- MEGAN MACC (Model of Emissions of Gases and Aerosol from Nature-Monitoring Atmospheric Composition and Climate; Sindelarova et al., 2014; <a href="https://eccad.aeris-data.fr/">https://eccad.aeris-data.fr/</a> ) - 공간해상도: 0.5° × 0.5° , 전체 도메인 - 시간해상도: 월별 자료
산불발생 자료	- FINN v1.5 from NCAR (Wiedinmyer et al., 2011) - 공간 해상도: 1km × 1km, 전체 도메인 - 시간 해상도: 일별자료를 월평균 전환
농촌 잔재물 소각	- 시군구 지자체별 활동도 (GIST) - 과수 등 세분류 43종에 대한 배출계수 (목포대) - 공간 해상도: 지자체별, 남한 지역 대상 - 시간해상도: 월별 자료

\* 건국대 우정현 교수 연구팀 제공

S1 모의: 인위적+식생+산불발생 배출량 자료 적용

S2 모의: S1모의 + 농업 잔재물 소각 배출량

## Box I. Spatial Allocator 적용

본 연구에서 농업잔재물 소각에 의한 지자체별 배출량 자료를 모델링의 격자자료로 전환하기 위하여 Spatial Allocator (SA)를 이용하였다. SA는 다양한 지리정보를 처리하기 위하여 새로운 map projection에 적용할 때 사용할 수 있는 유용한 프로그램으로 CAPSS 배출량을 모델링 격자 전환에 널리 활용되고 있다. 아래 격자전환 수행과정과 일부 예시를 간략하게 소개하였다.

### 1. 프로그램: Spatial Allocator

[https://github.com/CMASCenter/Spatial-Allocator/blob/master/docs/User\\_Manual/README.md](https://github.com/CMASCenter/Spatial-Allocator/blob/master/docs/User_Manual/README.md)

### 2. 설치방법: linux상에서 git 활용

```
git clone https://github.com/CMASCenter/Spatial-Allocator.git
```

예제 프로그램을 위해 추가 입력자료 다운로드 필요

<https://drive.google.com/uc?id=0B4Gx-y00i4D0WEFaMkFHZG5DRik&export=download>

<https://drive.google.com/uc?id=0B2kxCwKICxUWUpyd2RCaGR6TXc&export=download>

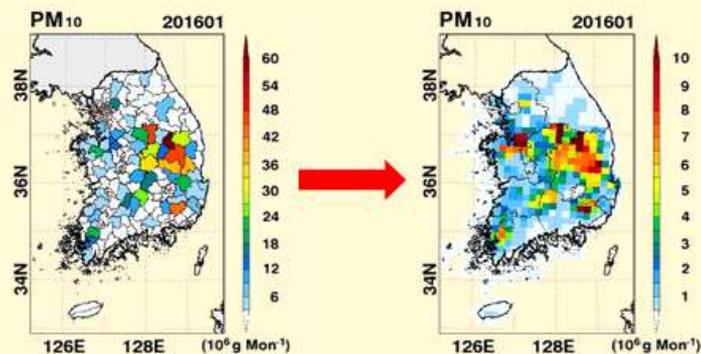
### 3. CAPSS 자료 변환

- CAPSS 1km×1km 텍스트 파일은 중부좌표로 투영되어 있음. 관련 투영좌표는 아래와 같음. 다만 CAPSS 자료 별로 False Northing 이 500,000 또는 550,000 인 자료가 있으므로 반드시 GIS 프로그램에 투영한 후 분석이 필요함.
- proj 설정

```
+proj=tmerc +lat_0=38 +lon_0=127.0028902777778 +k=1 +x_0=200000 +y_0=500000 +ellps=bessel +units=km +no_defs +towgs84=-115.80,474.99,674.11,1.16,-2.31,-1.63,6.43
```

### 4. SA 적용 예시

- generate surrogates: Generate emission spatial surrogates from shapefiles surrogate
- 모든 실행 스크립트는 SA\_HOME 만 사용자 설정에 맞춰주면 정상 작동 함.
- 실행 script: generate\_surrogates.csh



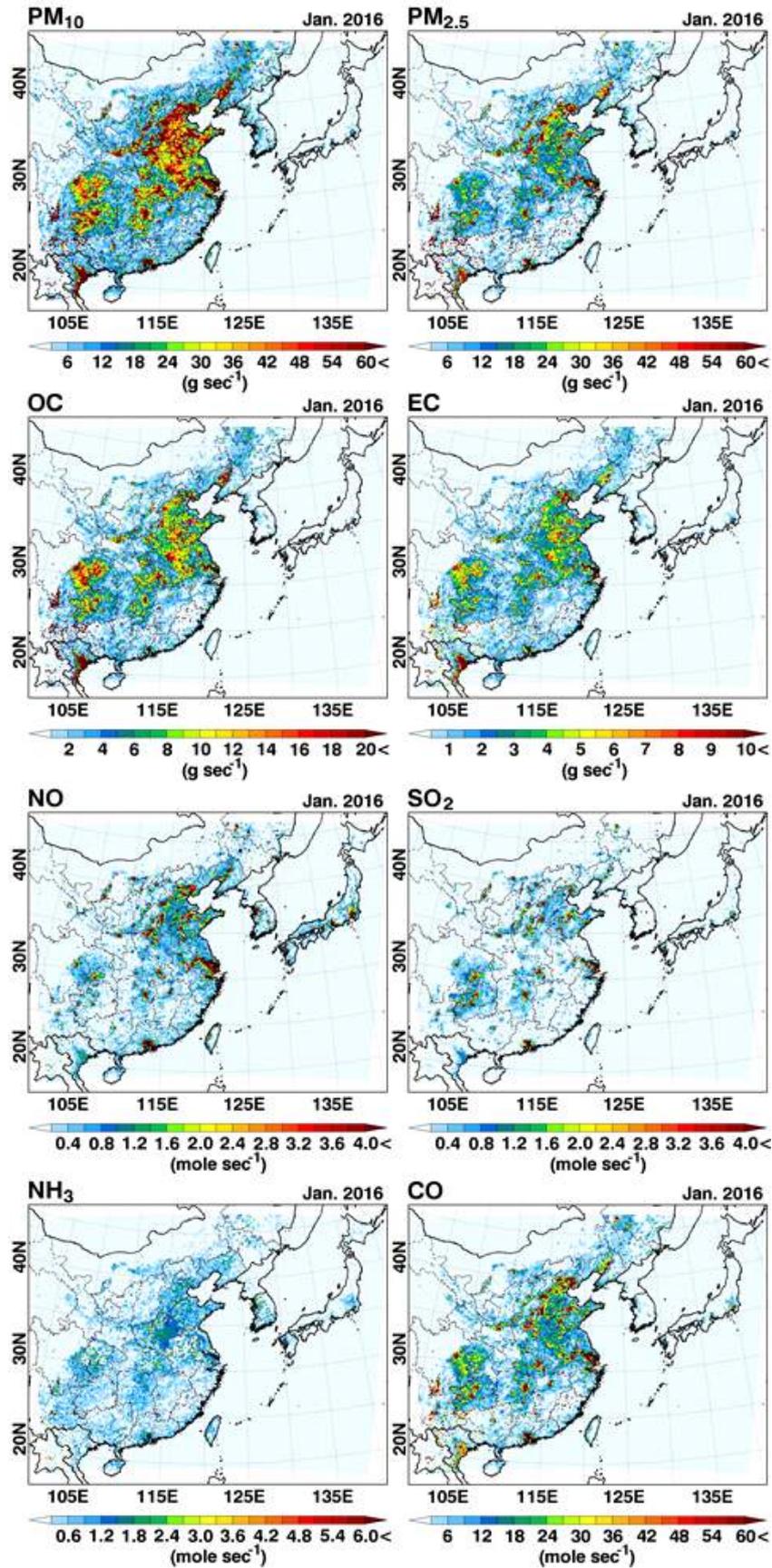
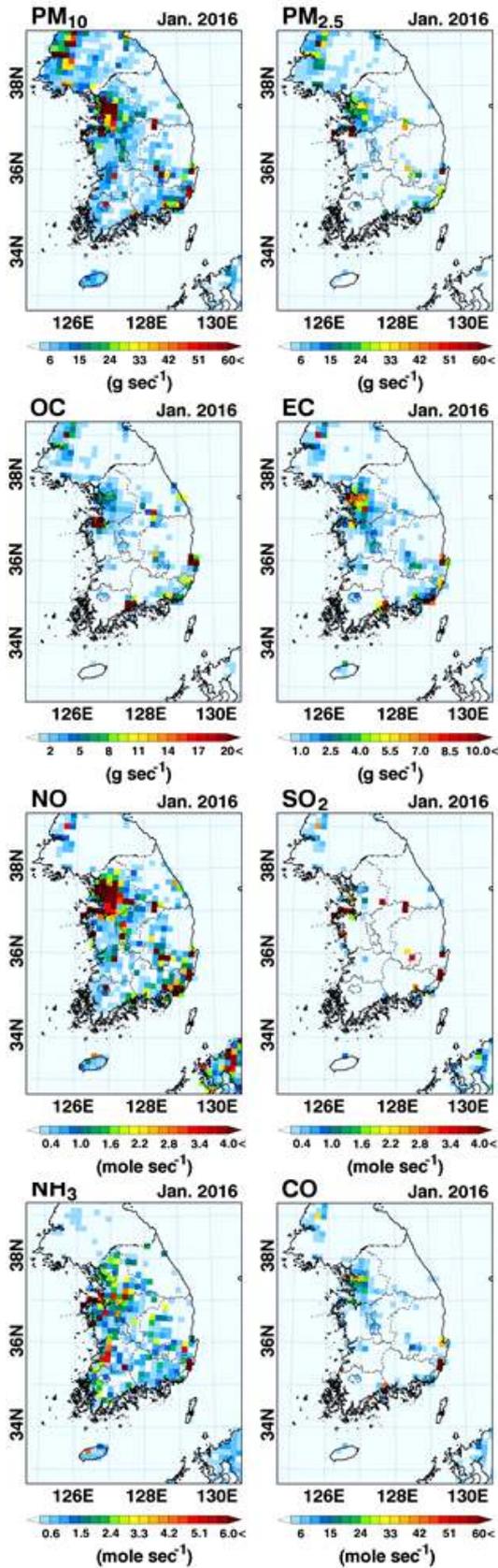


그림 20. PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, OC, EC, NO, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO에 대한 동아시아 지역 1월 인위적, 자연적, 산불발생 배출량의 총합 (기체상 물질 단위: mole sec<sup>-1</sup>; 입자상 단위: g sec<sup>-1</sup>)

## January 2016



## July 2016

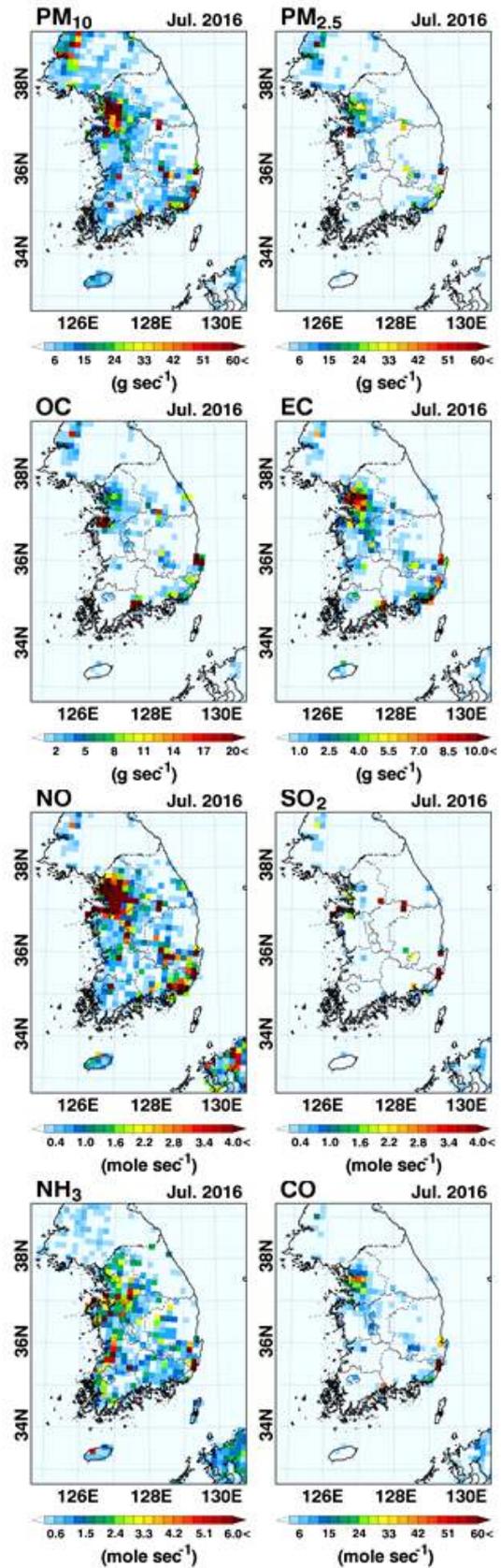


그림 21. PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, OC, EC, NO, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO에 대한 남한지역 1월 및 7월 인위적, 자연적, 산불발생 배출량의 총합 (기체상 물질 단위: mole sec<sup>-1</sup>; 입자상 단위: g sec<sup>-1</sup>)

그림 22에는 농업 잔재물 소각에 따른 기체 및 입자상 물질 배출량의 공간적 분포를 1월과 6월에 대해 시각화한 것이다. 인위적 오염물질에 대한 배출량의 공간적 분포와 달리 농업 잔재물 소각에 의한 배출량은 비 도심지역에 집중적으로 분포하고 있다.

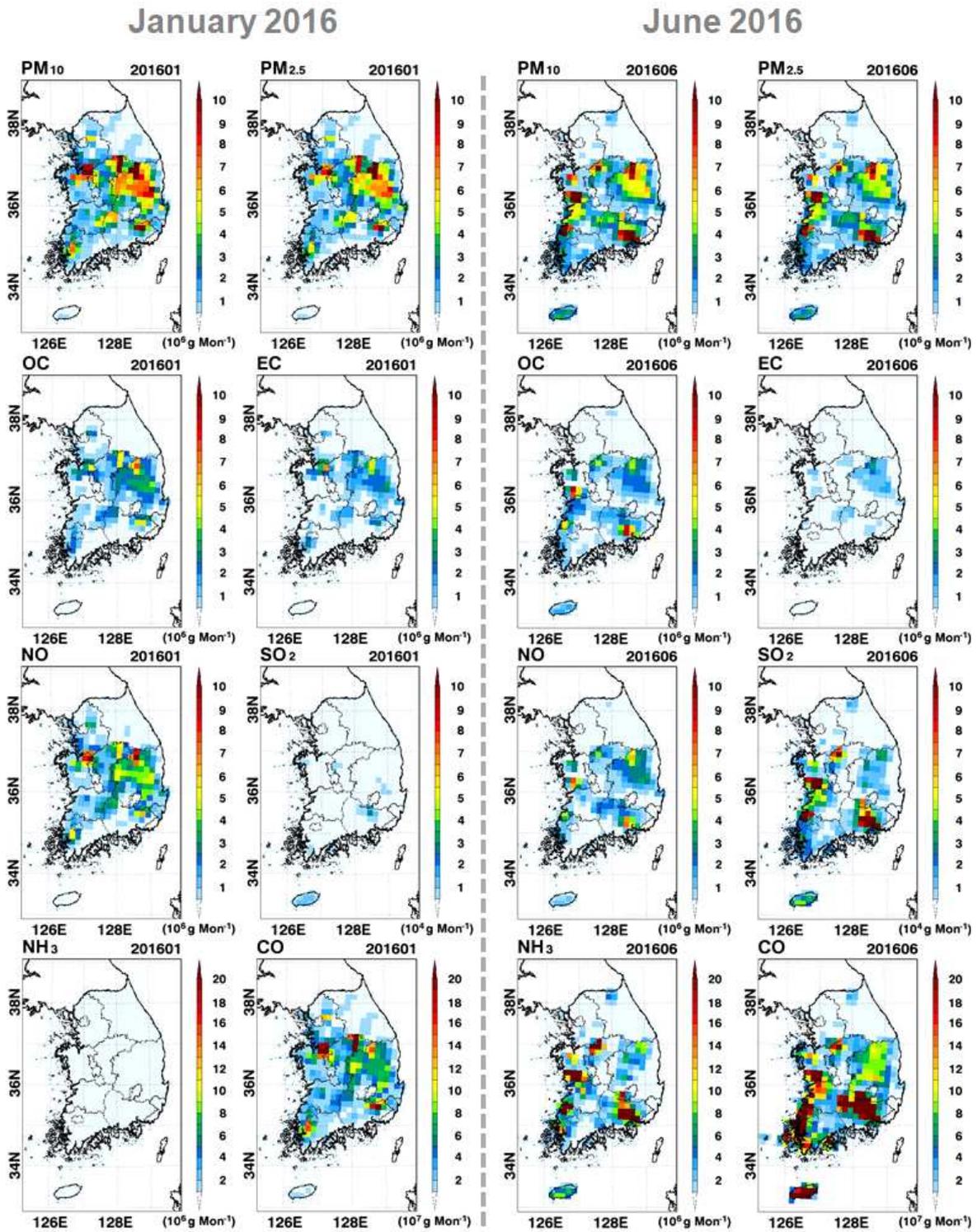


그림 22. PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, OC, EC, NO, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO에 대한 남한지역 1월 및 6월 농업 잔재물 소각에 의한 배출량 (기체상 물질 단위: mole sec<sup>-1</sup>; 입자상 단위: g sec<sup>-1</sup>)

#### 4) 관측자료

본 연구에서는 대기화학 모델링의 성능을 평가하기 위하여 인공위성에서 관측된 자료와 지상관측 자료를 확보하였다. 위성관측은 OMI (Ozone Monitoring Instrument) 센서에서 관측된 NO<sub>2</sub> 총적분 농도자료를 활용하였다. NO<sub>2</sub>를 비교 대상 물질로 선택한 것은 NO<sub>2</sub>가 질산염과 오존 생성의 주된 전구체이고, 위성에서 관측되는 오염물질 중 NO<sub>2</sub>가 가장 널리 활용되고 있는 물질 중의 하나이기 때문이다.

미항공우주국 (NASA)의 EOS-Aura 위성 플랫폼에 탑재된 OMI는 대기중 산란되거나 지표에서 반사되는 자외선 및 가시광선을 관측하는 초분광센서이고, 관측된 radiance 자료는 산출 알고리즘을 통해 NO<sub>2</sub> 총적분 자료를 제공하게 된다.

OMI에서 관측된 자료를 NO<sub>2</sub> 총적분 농도로 산출하는 알고리즘은 NASA의 standard product (Bucsesela et al., 2006), 네덜란드 기상청 (KNMI)의 DOMINO 알고리즘에 기초한 DOMINO product (Boersma et al., 2011), 그리고 비교적 최근 KNMI를 중심으로 유럽의 대학 및 연구기관에서 개발한 QA4ECV 알고리즘으로 크게 구분된다. 이들 알고리즘은 산출 기법에 다소 차이를 나타내고 있으나, 비교적 유사한 값을 제공하고 기본적으로 차등분광 흡수법 (Differential Optical Absorption Spectroscopy, DOAS)에 에 기초한 것으로 태양광이 대기를 통과할 때 파장에 의존하여 흡수가 일어나는 원리를 이용한 것이다.

본 연구에 적용된 QA4ECV 알고리즘은 다음과 같은 3단계의 과정을 거치게 된다. i) 총경사 NO<sub>2</sub> 총적분 농도 ( $N_s$ , Slant Column Density)는 태양과 위성 사이의 광경로를 따라 관측된 NO<sub>2</sub>를 위해 모델 모의된 반사 스펙트럼을 관측된 radiance 스펙트럼에 피칭하여 결정 (그림 23a), ii) 대기화학 전구 모델을 이용하여 성층권의 기여도 ( $N_{s, strat}$ )를 제거 후 대류권 경사 총적분 농도 산출 (그림 23b), iii) RTM (Radiance Transfere Model) 대기 복사 모델을 통해 산출된 대기질량 인자 (Air Mass Factor, AMF or  $M$ )를 이용하여 경사 총적분 농도를 수직 총적분 농도로 전환 (그림 23c)한다. NO<sub>2</sub> 총적분 농도에 대한 산출식은 식 (3)와 같다.

$$\hat{x}_{tr} = \frac{N_s(y) - N_{s, strat}}{M_{tr}(x_{a, tr}, b)} \quad \text{식 (3)}$$

$y$ 는 관측된 radiance spectrum이고,  $M_{tr}$ 은 대류권 AMF로 모델  $b$ 와 대류권  $x_{a, tr}$ 에 종속적이다.

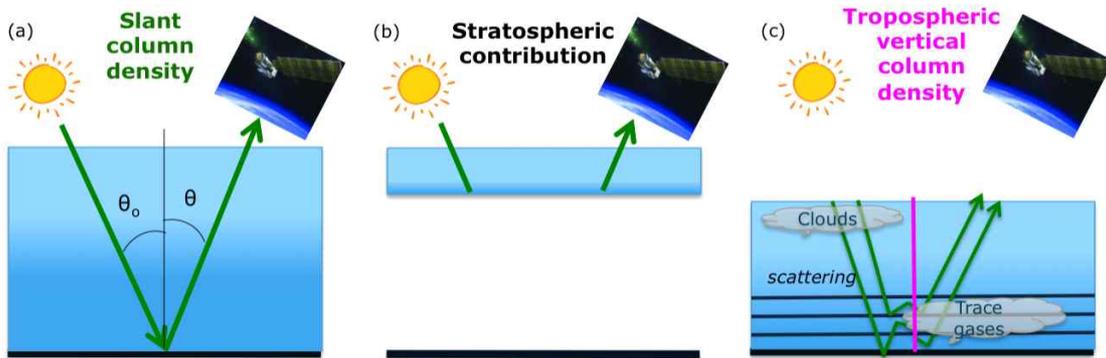


그림 23. NO<sub>2</sub> 총적분 농도 산출을 위한 QA4ECV 알고리즘 절차. a)와 b)의 녹색선은 대기와 상호 작용없이 태양에서 지표면으로, 그리고 다시 위성으로 향하는 직사광의 경로를 나타냄. c)의 녹색선은 대기 중 다양한 프로세스로 인해 수정된 광경로를 의미하고 분홍색 선은 수직 총적분 농도를 나타냄. (Delgado, 2019)

본 연구에서 QA4ECV 알고리즘의 일간 대류권 총적분 농도 자료와 Averaging kernel 수직 정보는 TEMIS 사이트에서 확보하였다 (www.temis.nl). 이 일간 자료는 불확실성을 최소화 하기 위하여 표 32에서 제시한 플래그에 따라 유효한 자료만 추출하였다.

표 32. QA4ECV 알고리즘의 NO<sub>2</sub> 총적분 농도 자료 추출을 위한 flag 기준

항목별 flag	유효 자료 및 제거 기준
processing_error_flag = 0	- 0인 경우만 활용 - 1인 경우 치명적인 오류로 모두 제거
solar_zenith_angle < 80	- solar zenith angle이 80보 큰 자료의 경우 모두 제거
snow_ice_flag < 10 혹은 snow_ice_flag = 255	- 해당 픽셀에 snow가 10% 미만 자료만 고려 - 혹은 바다인 경우 (255)만 고려
amf_trop/amf_geo > 0.2	- 해당 기준이 0.2 이상의 경우 만 고려
cloud_radiance_fraction_no2 ≤ 0.5	- 0.5 이하인 자료만 고려 (AMF 계산에서 수행된 a priori 가정의 영향 혹은 에러 발생을 제한함)

본 연구에서는 또한, 중국 전역을 대상으로 1400여 지점 및 국내 320여개 지점에서 관측된 O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 기체상 물질 농도와 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>의 입자상 물질 농도자료와 비교하여 모델의 성능을 평가하였다. 관측값은 <https://quotsoft.net/air/> (중국지역)와 AirKorea (<http://www.airkorea.or.kr/web>)로부터 확보하였다. 그림 24에는 중국 (적색 사각형) 및

AirKorea (황색 원)의 관측망의 공간적 정보와 비교 분석을 위한 공간적 범위를 제시하였다.

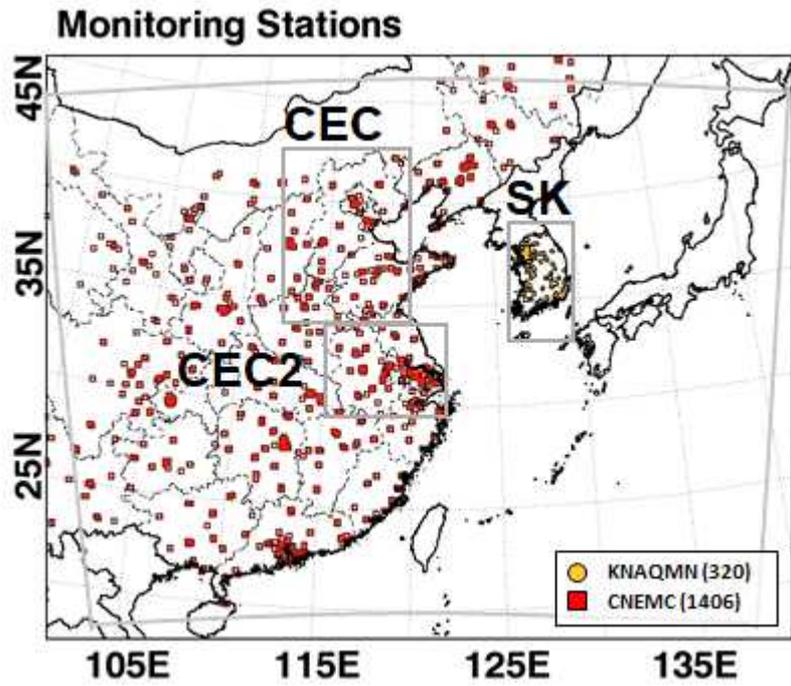


그림 24. 중국 및 한국 지상 관측망 지점 및 분석 대상 공간적 범위 (CEC, CEC2, SK)

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 가. 연구수행결과

##### 1) 정성적 연구개발성과

##### (1) 국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별 활동도 자료의 update

##### ① 생활폐기물 처리 설문조사 결과

##### ○ 농촌지역 생활폐기물 발생량 및 처리 비중

- 일주일간 배출되는 생활폐기물량을 조사한 자료를 동거 가족 구성원 수로 나누어 1인 기준 및 하루 기준으로 분석한 결과, 2.263kg 생활폐기물이 배출되는 것으로 조사되었다. 시도 중 전북에서 배출되는 생활폐기물량이 가장 많고, 충남과 경북도 평균 이상을 배출하는 것으로 나타났다.
- 생활폐기물 처리 방식에 따른 처리 비중을 조사한 결과, 수거되는 비율이 45.4%로 가장 높고, 이어서 재활용, 소각 순이었다. 시도별 소각되는 비율은 전북, 전남, 경북, 강원 등의 순으로 높았다.

표 33. 농촌지역 생활폐기물 발생량 및 처리 비중

(단위 : 명, kg/1인/1일, %)

구분	생활폐기물량		생활폐기물 처리 비중						
	사례수	평균	사례수	재활용	소각	수거	매립	기타	
전체	952	2.263	999	28.5	20.6	45.4	2.5	3.0	
시도	경기	71	1.468	76	35.7	11.2	46.2	4.8	2.0
	강원	86	1.971	89	23.3	19.2	51.4	4.1	1.9
	충북	92	1.276	95	28.3	17.9	49.2	2.0	2.6
	충남	39	3.036	40	36.3	9.5	50.1	1.0	3.2
	전북	78	5.906	82	27.1	40.2	27.8	2.8	2.1
	전남	260	2.142	267	24.3	24.4	45.4	1.7	4.2
	경북	191	2.574	203	31.8	19.9	42.6	2.3	3.4
	경남	49	1.659	60	26.9	9.9	59.7	1.1	2.3
제주	86	0.633	87	31.5	17.7	45.4	3.8	1.6	

BASE : 유효응답자

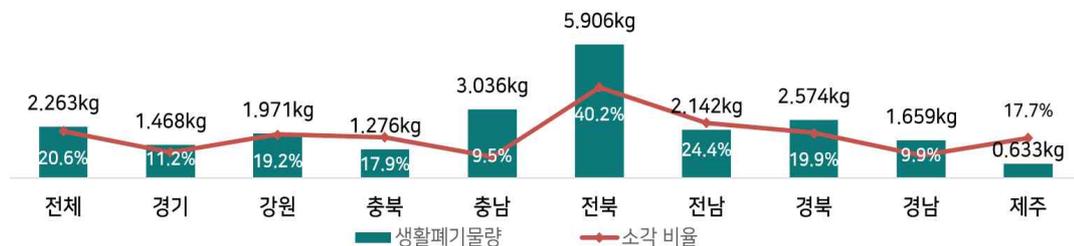


그림 25. 지역별 농촌지역의 생활폐기물 발생량 및 소각 비율

○ 농촌지역 생활폐기물의 노천소각량 및 노천소각 횟수

- 생활폐기물 1회 평균 소각량에 대한 조사 결과를 가족구성원 수로 나누어 1인 기준으로 분석한 결과, 1회 평균 2.291kg 소각하는 것으로 나타났다. 시도별 노천소각량은 강원도가 가장 많고, 이어서 전북, 충북 순이었다. 월평균 노천소각 횟수를 조사하여 하루 평균으로 환산한 결과, 평균 노천소각 횟수는 0.046회로 조사되었다. 월평균 노천소각 횟수는 전북이 가장 많고, 이어서 강원, 제주, 충남 순이었다.
- 하루 평균 생활폐기물 발생량은 1인 기준 2.263kg으로 조사되었고, 이 중 평균적으로 20.6%를 소각하는 것으로 조사되었다. 하루 평균 소각량으로 계산하면 1인 기준 0.466kg으로 추정된다.

표 34. 농촌지역 생활폐기물의 노천소각량 및 소각 횟수

(단위 : 명, kg/1인/1회, 회/일)

구분	사례수	노천소각량		노천소각 횟수		
		평균	중앙값	평균	중앙값	
전체	946	2.291	0.146	0.046	0.016	
시도	경기	73	0.784	0.000	0.033	0.000
	강원	84	6.557	0.292	0.055	0.033
	충북	86	3.253	0.333	0.041	0.013
	충남	39	0.943	0.000	0.047	0.000
	전북	76	5.957	1.000	0.073	0.066
	전남	258	1.778	0.001	0.046	0.005
	경북	192	1.248	0.000	0.044	0.000
	경남	54	0.382	0.000	0.030	0.000
	제주	84	0.840	0.000	0.048	0.000

BASE : 유효응답자

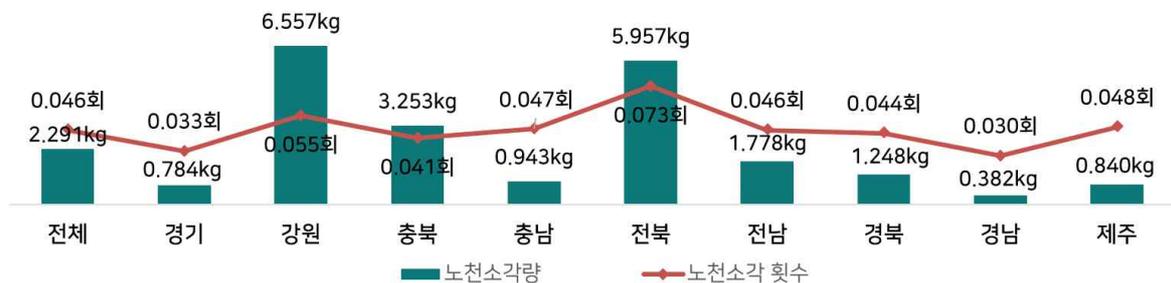


그림 26. 농촌지역 생활폐기물의 노천소각량 및 소각 횟수

생활폐기물 처리 비중(평균)

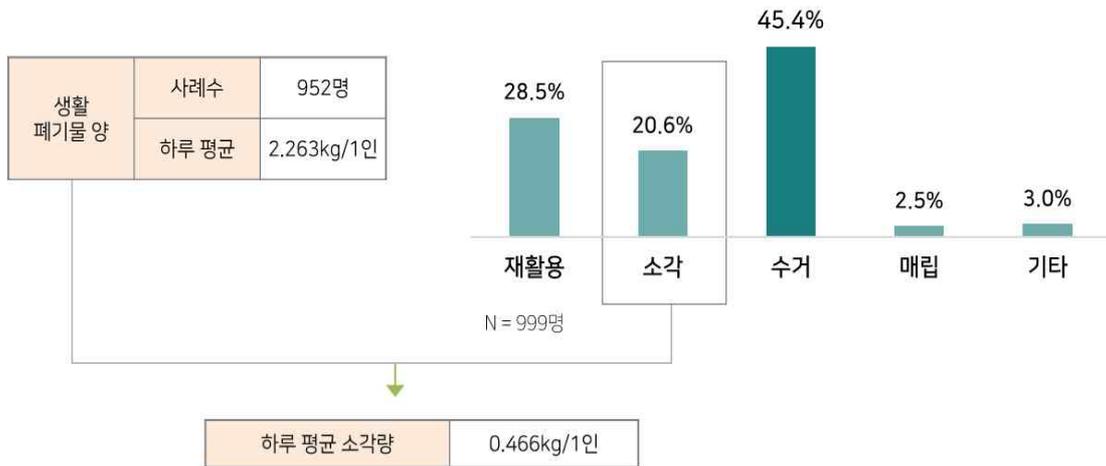


그림 27. 농촌지역 생활폐기물 중 1회 평균 노천소각량 추정

## ② 농업 잔재물 소각 설문조사 결과

### ○ 응답자 특성

- 농촌지역 생물성연소 배출량 산정을 위한 활동도 조사에 총 1,004명이 응답을 완료하였다.
- 이 중 남성이 702명, 여성이 289명으로 남성의 비율이 더 높았다.
- 연령대는 60대가 374명으로 가장 많고, 50대, 40대 이하 순으로 분포하였다.
- 동거 가족 구성원은 2명이 409명으로 가장 많으며, 혼자 사는 응답자는 128명으로 12.7%를 차지하였다.
- 시도별 전남과 경북이 각각 267명, 204명으로 많으며, 이어서 충북, 강원, 제주 순으로 응답이 많았다.
- 총 응답자는 1,004명이지만, 세부 문항별로 유효 응답자 수는 상이함
- 시도의 경우, 특별시와 광역시는 통계청 자료에서 재배면적과 생산량 비율이 매우 낮은 비중을 차지하여 조사 대상에서 제외하였다.
- 아래 재배면적과 생산량은 40가지 조사 대상 작물의 재배면적과 생산량 각각의 합계이며, 2018년 또는 2019년 자료를 기준으로 하였다.

표 35. 농업 잔재물 소각 행태 설문조사 응답자 특성

(단위 : 명, %)

구분	사례수	비율
전체	1,004	100.0
성별	남성	69.9
	여성	28.8
	미상	1.3
연령대	40대 이하	23.7
	50대	26.0
	60대	37.3
	70대	12.7
	미상	0.3
동거 가족 구성원	1명	12.7
	2명	40.7
	3명	21.3
	4명	13.1
	5명 이상	9.8
	미상	2.3
시도	경기	7.6
	강원	9.1
	충북	9.7
	충남	4.0
	전북	8.2
	전남	26.6
	경북	20.3
	경남	6.0
	제주	8.7

(단위 : ha, ton, %)

시도	재배면적	생산량
서울	298 (0.0)	4,000 (0.0)
인천	13,850 (1.0)	121,232 (0.8)
대전	2,287 (0.2)	23,245 (0.2)
세종	6,020 (0.5)	64,206 (0.4)
광주	7,882 (0.6)	71,684 (0.5)
대구	6,987 (0.5)	126,160 (0.9)
부산	4,914 (0.4)	85,715 (0.6)
울산	6,219 (0.5)	50,024 (0.3)
경기	123,079 (9.2)	1,160,551 (8.0)
강원	74,900 (5.6)	861,210 (6.0)
충북	79,233 (6.0)	845,461 (5.9)
충남	182,920 (13.7)	1,737,460 (12.0)
전북	180,550 (13.6)	1,624,299 (11.2)
전남	264,749 (19.9)	2,833,805 (19.6)
경북	207,724 (15.6)	2,355,822 (16.3)
경남	124,024 (9.3)	1,493,391 (10.3)
제주	45,997 (3.5)	989,780 (6.9)

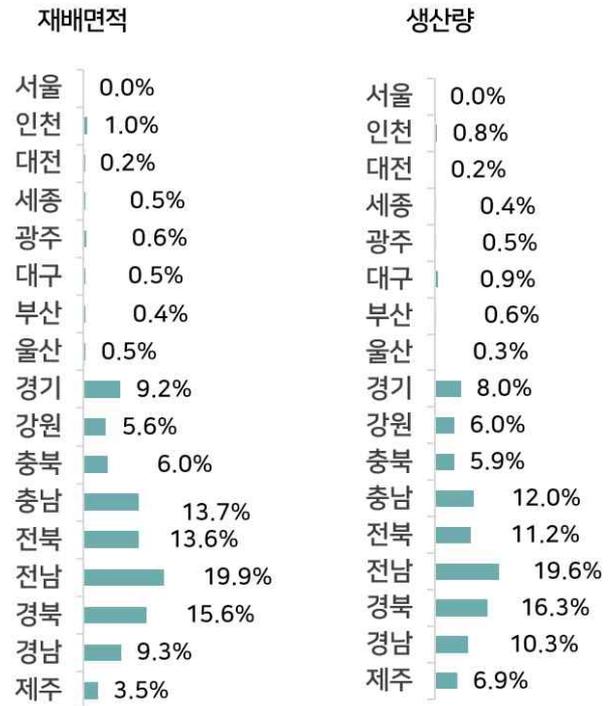


그림 28. 시도별 재배면적 및 생산량

### ○ 전체 작물 기준 농업 잔재물 처리 형태

- 유효 응답자 989명이 경작하는 작물(복수 응답)을 통합하여 평당 잔사량과 작물잔사 처리 비중을 계산하였다. 따라서 아래 표의 사례수는 응답자의 수가 아닌, 유효 응답자가 경작하는 작물의 수를 의미한다.
- 재배면적당 잔사량은 평균 0.327kg이며, 작물잔사의 소각 비율은 13.6%로 조사되었다. 지역과 작물 유형에 관계없이 작물잔사는 경지비료로 처리되는 비율이 가장 높았다. 경기도는 다른 지역에 비해 상대적으로 소각 비율이 높고, 작물 중 조미채소와 특용 작물의 경우 상대적인 소각 비율이 높게 나타났다.

표 36. 전체작물 기준 작물잔사 처리 실태

(단위 : 명, kg/m<sup>2</sup> , %)

구분	잔사량		작물잔사 처리 비중						
	사례수	평균	사례수	경지비료	사료화	판매/수거	소각	기타	
전체	1,392	0.327	2,142	73.5	6.5	5.9	13.6	0.5	
지역	경기	117	0.403	190	54.7	8.8	4.8	31.7	0.0
	강원	130	0.491	211	76.0	8.8	2.5	12.5	0.2
	충북	123	0.282	204	67.4	7.2	2.7	21.6	1.1
	충남	112	0.214	125	77.9	10.5	3.3	7.0	1.3
	전북	49	0.287	116	72.3	3.4	5.2	19.1	0.0
	전남	487	0.364	675	78.5	2.8	7.4	10.8	0.6
	경북	243	0.248	379	75.4	4.5	10.9	8.7	0.6
	경남	55	0.463	111	59.4	20.9	4.0	15.5	0.3
	제주	76	0.122	131	84.0	10.3	0.7	5.0	0.0
작물 유형	맥류	19	0.117	37	57.8	21.1	4.6	16.5	0.0
	과수	343	0.157	546	72.6	4.6	7.7	14.4	0.7
	두류	134	0.278	210	71.1	12.2	4.0	12.8	0.0
	잡곡	71	0.857	109	70.9	17.1	3.8	7.8	0.5
	서류	144	0.456	207	75.1	12.7	3.8	8.3	0.2
	과채류	150	0.433	238	83.6	3.1	6.4	6.9	0.0
	엽채류	85	0.325	110	81.4	9.4	5.7	2.7	0.8
	근채류	25	0.378	33	71.2	10.3	9.7	6.1	2.7
	조미채소	269	0.347	412	70.1	2.2	6.5	20.2	1.0
	특용	132	0.246	222	71.4	2.6	5.0	21.0	0.0
화훼	19	0.104	18	86.1	2.8	0.0	11.1	0.0	

BASE : 유효응답자

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

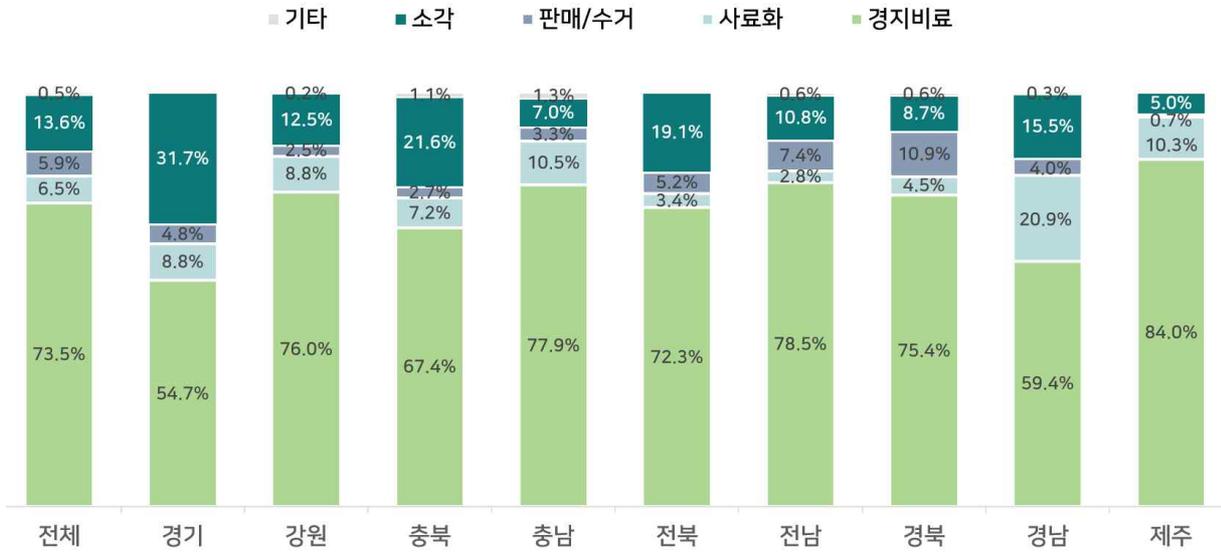


그림 29. 지역별 전체작물 기준 작물잔사 처리 실태

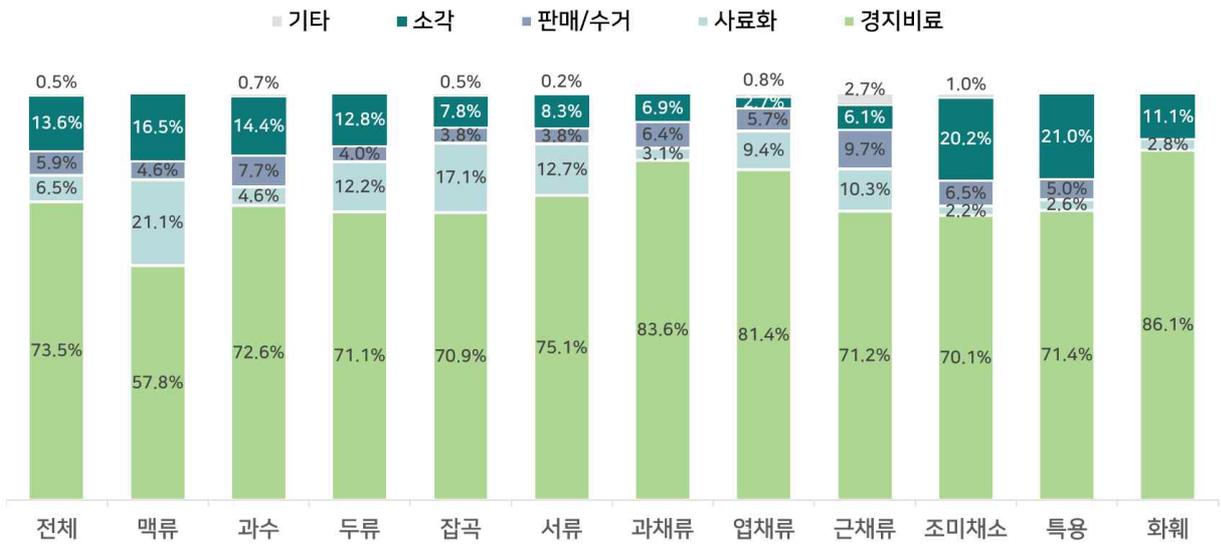


그림 30. 작물 유형별 전체작물 기준 작물잔사 처리 실태

○ 지역 및 작물별 농업 잔재물 소각 행태 비교

- 앞에서 살펴본 전체 경작 작물을 대상으로 지역별, 작물 유형별 평균 소각 비중에 대한 차이를 비교하였다. 지역과 작물 유형에 따라 작물잔사 소각 비중에 유의한 차이가 나타났다. 경기와 충북, 전북, 경남의 소각 비율이 높고, 제주와 충남에서 상대적으로 소각 비율이 낮았다. 특용작물과 조미채소의 작물잔사 소각 비율이 높고, 엽채류의 작물잔사 소각 비율이 가장 낮았다.

표 37. 전체작물 기준 지역 및 작물별 농업 잔재물 소각 행태 비교

(단위 : 명, %)

구분		사례수	평균 소각 비중	F
전체		2,142	13.6	-
지역	경기	190	31.7	14.888 ***
	강원	211	12.5	
	충북	204	21.6	
	충남	125	7.0	
	전북	116	19.1	
	전남	675	10.8	
	경북	379	8.7	
	경남	111	15.5	
	제주	131	5.0	
작물 유형	맥류	37	16.5	7.106 ***
	과수	546	14.4	
	두류	210	12.8	
	잡곡	109	7.8	
	서류	207	8.3	
	과채류	238	6.9	
	엽채류	110	2.7	
	근채류	33	6.1	
	조미채소	412	20.2	
	특용	222	21.0	
	화훼	18	11.1	

BASE : 유효응답자

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

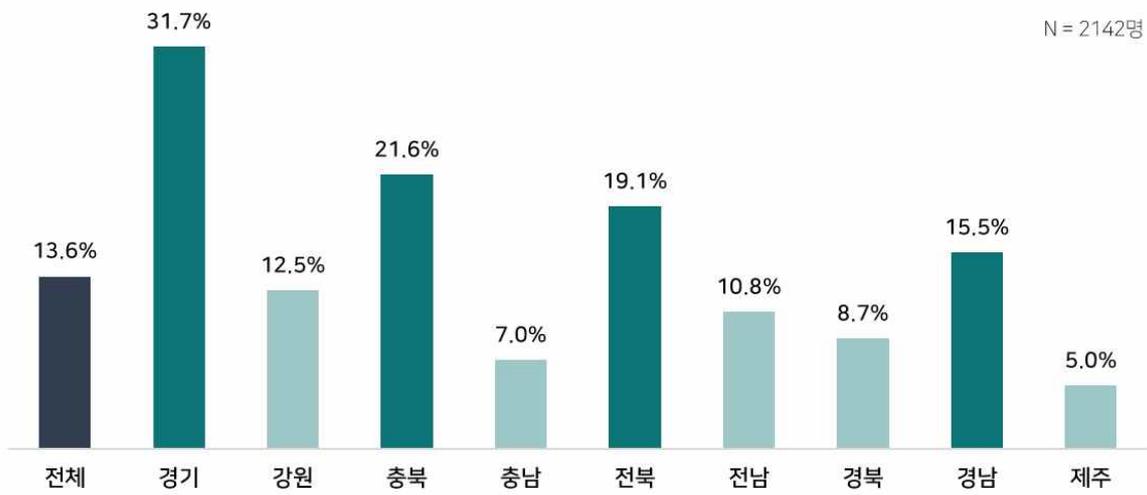


그림 31. 지역별 작물잔사 평균 소각 비중

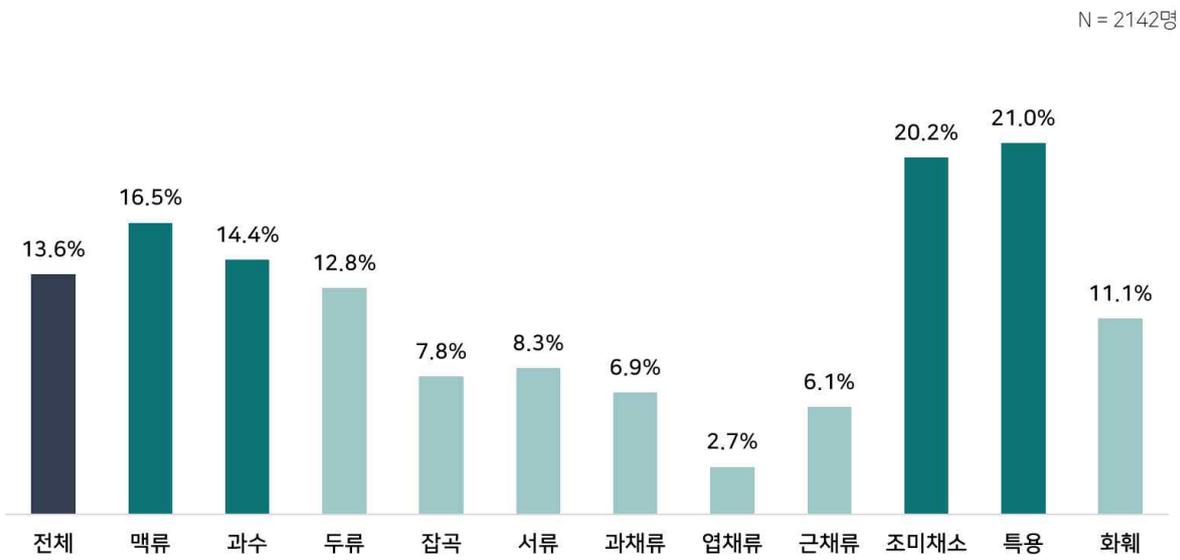


그림 32. 작물 유형별 작물잔사 평균 소각 비중

○ 세분류 작물별 농업 잔재물 처리 형태

- 각 세부 작물 및 문항별 유효 응답자를 대상으로 작물잔사 처리와 영농폐기물 처리 형태를 조사하였다. 농업 잔재물 처리 방법으로 모든 세부 작물에 대하여 50% 이상이 경지비료로 처리되었다. 모든 작물에 대하여 영농폐기물의 70% 이상은 재활용·수거되었다.
- 세부 작물별 소각 비중을 살펴보면, 고추의 농업 잔재물 소각 비중이 33.6%로 가장 높고 이어서 배, 땅콩, 참깨와 보리, 들깨와 녹두 등의 순으로 조사되었다. 특용작물은 다른 작물 유형에 비해 소각 비율이 비교적 높게 나타났다. 밀, 두류 기타, 메밀, 상추, 쪽파, 생강은 농업 잔재물을 소각하지 않는 것으로 조사되었다.

표 38. 세분류 작물별 농업 잔재물 및 영농폐기물 처리 형태

(단위 : 명, kg/m<sup>2</sup> , %)

No	구분		사례수	작물잔사 처리						영농폐기물 처리			
				잔사량	처리 비중					폐기물량	처리 비중		
					경지비료	사료화	판매/수거	소각	기타		재활용/수거	소각	기타
1	맥류	보리	29	0.118	53.1	20.0	5.9	21.0	0.0	0.015	90.0	10.0	0.0
2		밀	9	0.115	75.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.005	100.0	0.0	0.0
3	과수	사과	131	0.099	59.1	4.9	16.7	18.2	1.1	0.024	91.3	8.4	0.3
4		배	78	0.141	59.8	2.4	9.4	27.5	1.0	0.023	78.9	20.5	0.6
5		복숭아	92	0.185	72.4	5.4	5.8	15.2	1.2	0.017	90.8	9.2	0.0
6		포도	40	0.151	82.3	4.8	5.1	7.8	0.0	0.078	90.6	4.7	4.7
7		감귤	67	0.168	89.1	1.6	1.3	7.9	0.0	0.053	90.9	6.8	2.3
8		감	49	0.248	89.2	2.1	5.2	3.5	0.0	0.011	98.2	0.0	1.8
9		자두	60	0.190	81.1	3.8	6.0	9.1	0.0	0.041	90.9	4.5	4.5
10		기타	61	0.225	70.9	12.6	1.9	13.7	0.4	0.024	86.0	10.3	3.7
11	두류	콩	176	0.219	69.9	14.1	3.1	12.8	0.0	0.042	81.7	3.2	0.0
12		팥	28	0.281	78.6	5.7	3.6	12.1	0.0	0.186	97.1	2.9	0.0
13		녹두	8	0.159	80.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.000	-	-	-
14		기타	5	3.781	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.074	100.0	0.0	0.0
15	잡곡	옥수수	107	0.897	71.6	16.4	4.1	7.4	0.5	0.388	90.1	9.9	0.0
16		메밀	2	-	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	-	-	-
17		기타	8	0.182	57.1	28.6	0.0	14.3	0.0	0.043	83.3	16.7	0.0
18	서류	고구마	119	0.579	71.5	17.2	4.2	7.1	0.0	0.094	94.9	2.3	0.0
19		감자	98	0.306	79.6	7.0	3.3	9.7	0.5	0.097	95.4	3.3	1.4

No	구분		사례수	작물잔사 처리						영농폐기물 처리			
				잔사량	처리 비중					폐기물 량	처리 비중		
					경지 비료	사료화	판매 /수거	소각	기타		재활용 /수거	소각	기타
20	채소 (과채 류)	수박	47	0.209	73.6	0.0	9.5	16.8	0.0	0.654	91.1	4.2	0.0
21		참외	23	0.255	83.5	4.3	3.5	8.7	0.0	0.694	91.7	8.3	0.0
22		딸기	65	0.195	88.4	4.3	5.1	2.2	0.0	0.544	97.1	2.7	0.0
23		오이	17	0.183	78.8	8.8	5.3	7.1	0.0	0.302	90.0	10.0	0.0
24		호박	55	0.755	82.9	3.8	9.2	4.1	0.0	0.314	92.1	7.3	0.6
25		토마토	39	0.843	90.5	0.3	3.3	5.9	0.0	0.240	87.6	12.4	0.0
26	채소 (엽채 류)	배추	71	0.376	80.3	13.0	5.2	1.5	0.0	0.054	91.5	8.5	0.0
27		시금치	12	0.125	68.3	0.0	15.8	8.3	7.5	0.292	80.0	20.0	0.0
28		상추	22	0.356	91.9	8.1	0.0	0.0	0.0	0.350	97.1	2.9	0.0
29		양배추	11	0.185	81.8	0.0	9.1	9.1	0.0	0.091	99.6	0.4	0.0
30	채소 (근채 류)	무	38	0.375	71.2	10.3	9.7	6.1	2.7	0.086	89.5	10.5	0.0
31	채소 (조미 채소)	고추	231	0.319	58.5	2.6	4.6	33.6	0.6	0.090	87.5	11.6	1.0
32		대파	22	0.202	80.0	4.5	0.0	6.8	4.1	0.170	88.0	12.0	0.0
33		쪽파	19	0.642	80.6	8.3	5.6	0.0	0.0	0.275	81.0	19.0	0.0
34		양파	32	0.544	85.5	0.0	11.3	3.2	0.0	0.266	91.7	8.3	0.0
35		생강	14	0.389	87.1	0.0	12.9	0.0	0.0	0.636	81.3	18.8	0.0
36		마늘	111	0.314	83.7	0.5	9.8	6.0	0.0	0.190	94.3	5.7	0.0
37	특용	참깨	98	0.234	69.2	2.5	7.3	21.0	0.0	0.155	95.9	2.2	1.9
38		들깨	109	0.219	74.2	2.4	3.3	20.0	0.1	0.200	93.6	6.4	0.0
39		땅콩	27	0.666	67.2	4.0	3.2	25.6	0.0	0.525	80.0	20.0	0.0
40	화훼	화훼	21	0.104	86.1	2.8	0.0	11.1	0.0	0.150	98.2	1.8	0.0

BASE : 사례수는 작물을 재배한다고 응답한 응답자이며, 작물잔사 처리와 영농폐기물 처리 값들은 유효 응답자를 대상으로 분석

○ 세분류 작물별 농업 잔재물 소각 시기

- 작물잔사를 소각하는 세부 작물별로 소각 시기를 살펴보면, 보리는 85.7%를 6월에 소각하였다. 사과, 배, 복숭아, 포도는 10월~2월 중에 소각하는 비율이 높았으며, 감귤과 자두는 4월에 소각하는 비율이 가장 높았다. 수박은 5월~6월에 소각하는 비율이 높고, 딸기는 5월에 소각하는 비율이 49.9%로 조사되었다. 오이, 호박, 토마토는 10월에 소각하는 비율이 50%이었으며, 콩과 팥, 서류, 조미채소, 특용작물은 11월에 소각하는 비율이 높게 나타났다.

표 39. 세부 작물별 농업잔재물 소각 시기

(단위 : 명, %)

No	구분	사례수	소각 비중	소각 시기												
				1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
1	맥류	보리	29	21.0	-	-	-	-	-	85.7	-	-	-	14.3	-	-
2		밀	9	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	과수	사과	131	18.2	13.3	13.3	10.0	8.3	3.3	8.3	3.3	3.3	1.7	10.0	10.0	15.0
4		배	78	27.5	19.0	9.5	-	4.8	-	-	-	-	4.8	31.0	9.5	21.4
5		복숭아	92	15.2	5.6	22.1	5.6	-	-	-	11.1	16.7	11.1	11.1	-	16.7
6		포도	40	7.8	16.7	33.3	-	-	-	-	-	-	-	16.7	33.3	-
7		감귤	67	7.9	7.7	15.4	15.4	30.7	15.4	-	-	7.7	-	-	7.7	-
8		감	49	3.5	-	25.0	-	25.0	-	-	25.0	-	-	25.0	-	-
9		자두	60	9.1	-	20.0	-	40.0	-	-	-	20.0	-	-	-	20.0
10		기타	61	13.7	9.1	9.1	9.1	-	-	-	-	9.1	9.1	9.1	18.2	27.3
11	두류	콩	176	12.8	5.9	2.9	2.9	-	-	-	-	-	-	20.6	41.2	26.5
12		팥	28	12.1	14.3	-	-	-	-	-	-	-	-	28.6	42.8	14.3
13		녹두	8	20.0	-	-	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14		기타	5	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	잡곡	옥수수	107	7.4	9.1	18.2	9.1	-	-	-	-	9.1	18.2	18.2	18.2	-
16		메밀	2	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17		기타	8	14.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50.0	50.0	-
18	서류	고구마	119	7.1	-	6.3	12.4	-	-	-	-	6.3	6.3	18.7	43.7	6.3
19		감자	98	9.7	-	-	12.5	-	-	25.0	-	-	-	25.0	37.5	-
20	채소 (과채류)	수박	47	16.8	-	-	-	-	25.0	25.0	-	12.5	12.5	12.5	-	12.5
21		참외	23	8.7	-	-	-	-	-	-	-	-	100.0	-	-	-
22		딸기	65	2.2	-	-	-	-	49.9	16.7	-	16.7	-	-	16.7	-
23		오이	17	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	50.0	50.0	-	-
24		호박	55	4.1	-	-	-	-	-	-	50.0	-	-	-	50.0	-
25		토마토	39	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50.0	50.0	-

No	구분	사례수	소각 비중	소각 시기												
				1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
26	채소 (엽채류)	배추	71	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27		시금치	12	8.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28		상추	22	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29		양배추	11	9.1	-	-	-	-	-	-	100.0	-	-	-	-	-
30	채소 (근채류)	무	38	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.0	-
31	채소 (조미 채소)	고추	231	33.6	10.3	10.3	5.7	1.2	-	-	1.2	1.2	2.3	19.5	25.3	23.0
32		대파	22	6.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.0	-
33		쪽파	19	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34		양파	32	3.2	-	-	-	-	-	100.0	-	-	-	-	-	-
35		생강	14	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36		마늘	111	6.0	12.5	-	-	-	-	25.0	-	-	-	12.5	50.0	-
37	특용	참깨	98	21.0	4.5	9.1	9.1	-	-	-	-	9.1	4.5	13.6	31.8	18.3
38		들깨	109	20.0	-	8.3	8.3	-	-	-	-	-	-	20.8	33.4	29.2
39		땅콩	27	25.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.0	80.0	-
40	화훼	화훼	21	11.1	25.0	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	50.0

BASE : 사례수는 작물을 재배한다고 응답한 응답자이며, 작물잔사 처리와 영농폐기물 처리 값들은 유효 응답자를 대상으로 분석

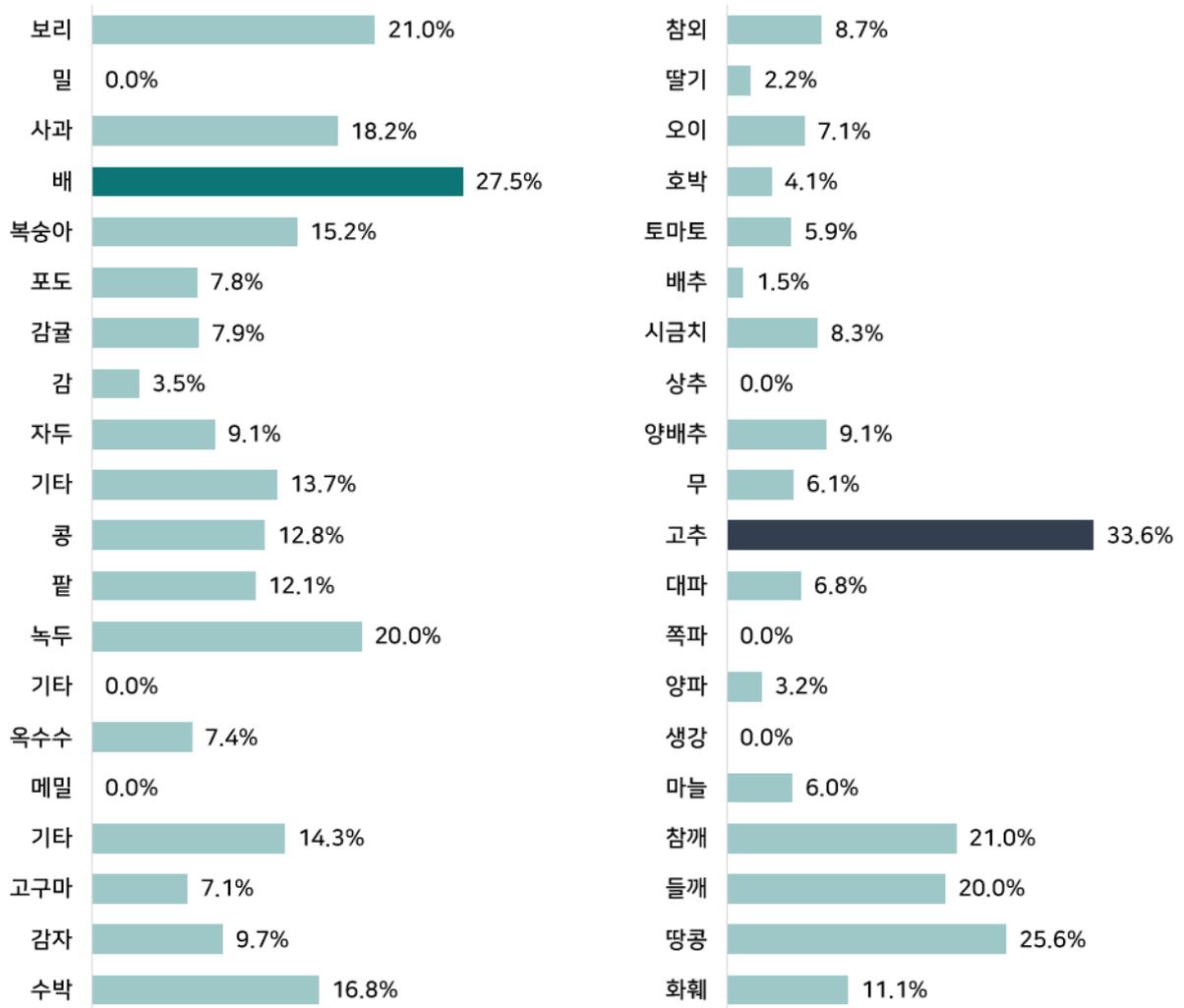


그림 33. 세부 작물별 작물잔사 소각 비중

○ 세분류 작물의 경작 규모에 따른 농업 잔재물 처리 비교

- 콩, 고추, 참깨를 주요 작물로 선정하여 주·부산지별 작물잔사 처리와 규모별 농업 잔재물 처리를 비교하였다. 통계청 자료를 기반으로 재배면적이 가장 넓은 기초 지자체를 주산지로 선정하였으나, 해당 기초 지자체로 한정하면 사례수가 너무 적어 기초 지자체에 해당하는 시·도(광역 단위)를 주산지로 하였다. 재배면적 규모는 작물별 유효데이터를 대상으로 재배면적의 중위값을 계산하여 중위값보다 큰 경우 대규모, 작은 경우 소규모로 구분하였다.

표 40. 콩, 고추, 참깨의 주·부산지 및 재배면적 규모 분석 기준

구분	콩	고추	참깨
주산지	전북	강원	전남
재배면적 규모(중위값)	500평	200평	200평

- 콩은 주·부산지에 따라 경지비료로 처리되는 비율에 유의한 차이가 있었다. 주산지에서 경지비료로 처리하는 비율이 더 높게 나타났다. 재배면적 규모에 따라 소각되는 비율에 유의한 차이가 있었다. 소규모로 재배되는 콩의 경우 작물잔사 소각 비율이 더 높게 나타났다.

표 41. 콩의 주·부산지에 따른 농업 잔재물 처리 비교

(단위 : 명, %)

구분	사례수	경지비료		사료화		판매/수거		소각		기타	
		평균	F	평균	F	평균	F	평균	F	평균	F
주산지	21	84.8	12.327*	5.7	7.179	0.0	3.403	9.5	1.260	0.0	-
부산지	149	67.8		15.3		3.6		13.3		0.0	

BASE : 유효응답자

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

표 42. 콩의 경작지 규모에 따른 농업 잔재물 처리 비교

(단위 : 명, %)

구분	사례수	경지비료		사료화		판매/수거		소각		기타	
		평균	F	평균	F	평균	F	평균	F	평균	F
대규모	77	73.4	.354	16.8	3.483	3.0	.056	6.9	20.248*	0.0	-
소규모	93	67.1		12.0		3.2		17.7		0.0	

BASE : 유효응답자

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

- 고추는 주·부산지에 따라 사료화되는 비율과 판매·수거되는 비율에 유의한 차이가 있었다. 사료화되거나 판매·수거되는 비율 모두 부산지에서 더 높게 나타났다. 재배면

적 규모에 따른 농업 잔재물 처리에 유의한 차이가 없었다.

표 43. 고추의 주·부산지에 따른 농업 잔재물 처리 비교 (단위 : 명, %)

구분	사례수	경지비료		사료화		판매/수거		소각		기타	
		평균	F	평균	F	평균	F	평균	F	평균	F
주산지	26	69.8	.500	0.0	4.196	0.0	7.236	30.2	.234	0.0	1.644
부산지	195	56.8		3.0	**	5.3	***	34.2		0.7	

BASE : 유효응답자

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

표 44. 고추의 경작지 규모에 따른 농업 잔재물 처리 비교 (단위 : 명, %)

구분	사례수	경지비료		사료화		판매/수거		소각		기타	
		평균	F	평균	F	평균	F	평균	F	평균	F
대규모	101	54.0	1.669	2.2	.707	5.2	.327	37.6	1.859	0.9	1.666
소규모	120	62.0		3.0		4.2		30.5		0.4	

BASE : 유효응답자

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

- 참깨는 주·부산지 및 재배면적 규모에 따른 농업 잔재물 처리에 유의한 차이가 없었다.

표 45. 참깨의 주·부산지에 따른 작물잔사 처리 차이검증 (단위 : 명, %)

구분	사례수	경지비료		사료화		판매/수거		소각		기타	
		평균	F	평균	F	평균	F	평균	F	평균	F
주산지	39	72.3	.799	0.0	8.121	9.7	2.239	17.9	.812	0.0	-
부산지	54	67.0		4.3		5.6		23.1		0.0	

BASE : 유효응답자

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

표 46. 참깨의 규모에 따른 작물잔사 처리 차이검증 (단위 : 명, %)

구분	사례수	경지비료		사료화		판매/수거		소각		기타	
		평균	F	평균	F	평균	F	평균	F	평균	F
대규모	29	66.2	1.183	3.4	.748	13.1	9.811	17.2	1.205	0.0	-
소규모	64	70.6		2.0		4.7		22.7		0.0	

BASE : 유효응답자

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

○ 논·밭 소각 실태

- 논바닥, 논두렁, 밭두렁, 논밭 주변부에 대한 소각 실태를 조사하였다. 전체 응답자 1,004명 중 논 또는 밭을 경작하는 농업인이 논·밭 소각 실태 조사에 참여하였다. 경작자 중 소각하는 비율은 논바닥이 13.5%로 가장 높았고, 논두렁 11.2%, 논밭 주변부 7.1%, 밭두렁 6.4%로 조사되었다.

표 47. 논·밭 경작 및 소각 여부

(단위 : 명, %)

구분	소각 여부						
	사례수	1회	2회	3회	4회 이상	합계 (소각합)	소각 안함
논바닥	529	9.5	3.0	0.6	0.4	13.5	86.6
논두렁	529	8.3	2.3	0.2	0.4	11.2	88.8
밭두렁	973	4.2	1.3	0.3	0.6	6.4	93.5
논밭주변부	876	4.2	1.8	0.3	0.8	7.1	92.8

BASE : 전체응답자 / 유효응답자

- 소각을 하는 응답자를 대상으로 소각 시기를 조사한 결과, 논바닥은 3월과 11월에 소각하는 비율이 가장 높았다. 논두렁과 밭두렁, 논밭주변부는 모두 3월, 2월 순으로 소각 비율이 높게 나타났다.

표 48. 논·밭 소각 시기

(단위 : 명, %)

구분	사례수	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
논바닥	68	11.4	15.9	17.0	4.5	9.1	9.1	1.1	-	2.3	5.7	17.0	6.8
논두렁	56	15.9	18.8	20.3	10.1	5.8	2.9	1.4	1.4	1.4	5.8	11.6	4.3
밭두렁	62	10.5	12.6	24.2	8.4	2.1	5.3	5.3	2.1	2.1	10.5	9.5	7.4
논밭주변부	61	9.2	17.3	20.4	9.2	4.1	3.1	3.1	2.0	1.0	8.2	13.3	9.2

BASE : 유효응답자



그림 34. 논바닥 소각 여부 및 소각 시기

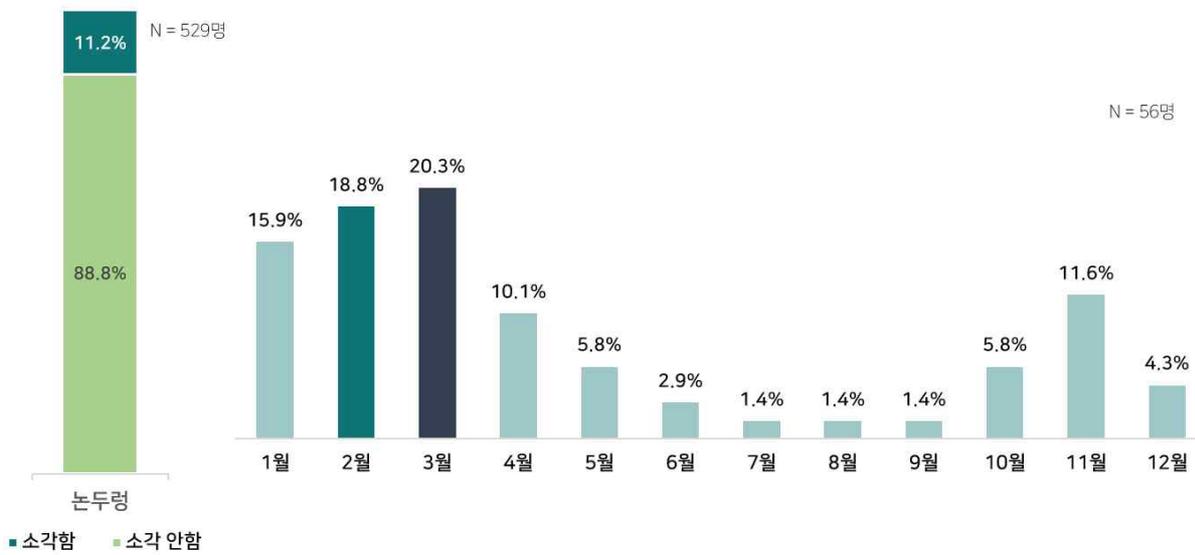


그림 35. 논두렁 소각 여부 및 소각 시기

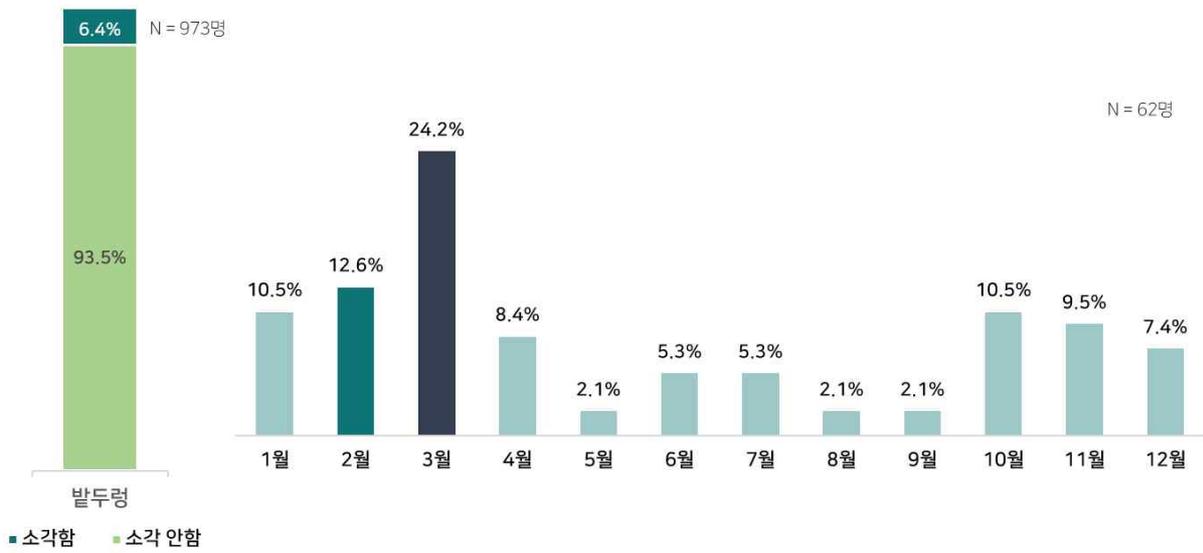


그림 36. 발두령 소각 여부 및 소각 시기

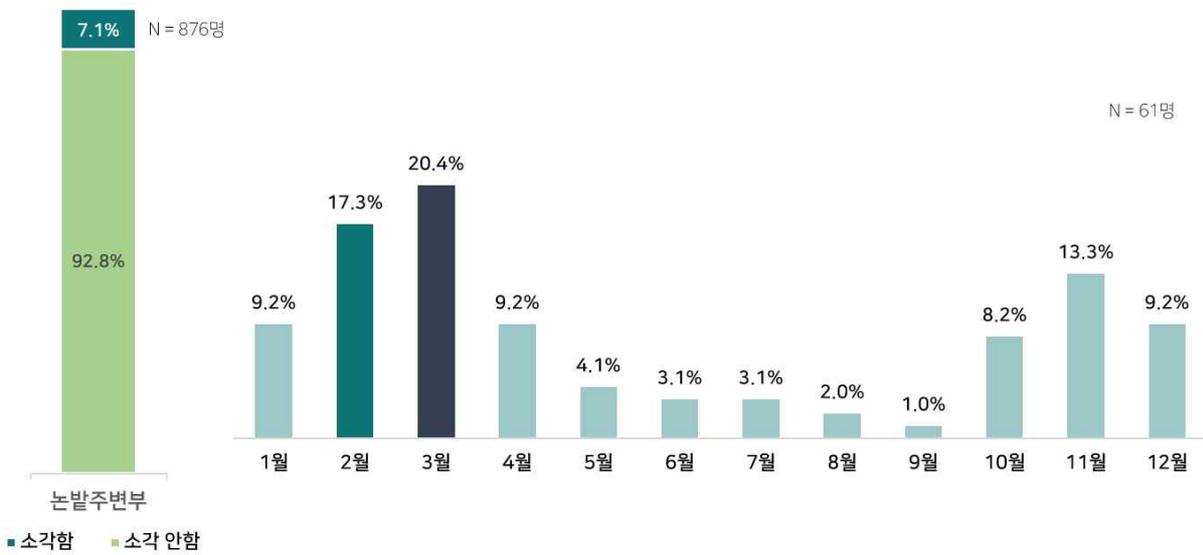


그림 37. non-back/neck 소각 여부 및 소각 시기

### ③ 통계청의 농림어업조사 중 작물잔사 처리방법에 대한 조사 결과 검토

#### ○ 통계청의 농림어업조사 개요

- 통계청은 2011년부터 농림어업조사에서 작물잔사의 처리방법에 대한 조사를 실시하였다. (2015년은 농림어업조사를 실시하지 않음) 본 조사에서는 총 16가지 세분류 작물에 대해 발생하는 작물 잔사(농업 잔재물)의 처리방법을 판매, 경지비료, 가축사료, 소각, 기타 등으로 분류하고 이에 대한 실태를 조사하였다. 조사연도에 따라 대상 작물은 아래 표와 같이 약간의 변동이 있었다.

- 이 자료는 인가용 데이터므로 원격접근 서비스를 신청하여 확보하였다. 인가용 데이터는 활용하고자 하는 데이터에 대한 이용 신청서를 작성한 후 심사를 받았다. 심사 후 원격접근이 가능한 계정과 비밀번호를 제공 받아 신청한 데이터를 이용할 수 있었다. 원격접근시스템 계정과 비밀번호를 받은 후 원격으로 접속하여 이용 허가를 받은 데이터를 SPSS 프로그램으로 분석하였다. 분석 결과에 대한 엑셀 파일을 반출하여 세분류 작물별 작물잔사 처리 행태의 지역별/연도별 추이를 분석하였다.

#### 15 수확 작물

지난 1년간 수확한 작물면적은 얼마나 됩니까? 그리고 수확 후 잔사의 주된 처리방법은 무엇입니까?  
(채소·특용작물은 판매목적으로 수확한 경우)

(단위 : ar)

	수확면적							작물 잔사 처리 방법						품종	
	백만	십만	만	천	백	십	일	판매	경지비료	가축사료	소각비료	소각연료	기타	조생종	중만생종
식량작물	논							①	②	③	④	⑤	⑥	①	②
	벼							①	②	③	④	⑤	⑥		
	보리							①	②	③	④	⑤	⑥		
	콩							①	②	③	④	⑤	⑥		
채소·특용작물	감							①	②	③	④	⑤	⑥		
	자두							①	②	③	④	⑤	⑥		
	고구마							①	②	③	④	⑤	⑥		
	가을배추							①	②	③	④	⑤	⑥		
	가을무							①	②	③	④	⑤	⑥		
	고추							①	②	③	④	⑤	⑥		
	마늘							①	②	③	④	⑤	⑥		
	양파							①	②	③	④	⑤	⑥		
	수박							①	②	③	④	⑤	⑥		
	오이							①	②	③	④	⑤	⑥		
	호박							①	②	③	④	⑤	⑥		
	토마토							①	②	③	④	⑤	⑥		
딸기							①	②	③	④	⑤	⑥			
참깨							①	②	③	④	⑤	⑥			

**작물 잔사란?**

작물 수확(주산물, 부산물) 후 식용으로 쓸 수 없는 최종 나머지 부분

- \*논벼, 보리의 경우는 벼짚, 보릿짚
- \*콩, 고추 등의 경우는 콩대, 고추대 등

**작물잔사 처리 방법**

- \*경지비료 : 논밭에 잔사를 직접 환원하거나, 퇴비화하여 투입한 경우
- \*소각(경지비료) : 논밭에서 잔사를 소각한 경우
- \*소각(연료용) : 재래식 난방연료(아궁이로 사용하는 등)

그림 38. 농림어업조사 농가조사표 중 작물잔사 처리 방법 조사표

표 49. 연도별 통계청 농림어업조사 중 작물조사 처리방법 조사대상 작물

작물	조사연도						
	2011년	2012년	2013년	2014년	2016년	2017년	2018년
논벼	●	●	●	●	●	●	●
보리	●	●	●	●	●	●	●
콩	●	●	●	●	●	●	●
고구마	-	-	-	-	-	●	●
감자	-	-	-	-	-	●	●
수박	-	-	-	-	●	●	●
딸기	-	-	-	-	-	●	●
오이	-	-	-	-	●	●	●
호박	-	-	-	-	●	●	●
토마토	-	-	-	-	-	●	●
가을배추	-	-	-	-	-	●	●
가을무	-	-	-	-	-	●	●
고추	●	●	●	●	●	●	●
양파	●	●	●	●	●	●	●
마늘	●	●	●	●	●	●	●
참깨	●	●	●	●	●	●	●

○ 논벼

- 논벼의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 50. 통계청 농림어업조사 중 논벼의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) (단위 : 명, %)

구분	2011년						2012년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	48,167	27.2	50.2	18.2	0.7	3.8	46,583	25.3	52.0	18.3	0.0	4.4	
지역	서울	21	14.3	52.4	14.3	9.5	9.5	20	15.0	65.0	15.0	0	5.0
	부산	281	29.9	66.9	1.8	0.4	1.1	271	21.0	70.1	1.8	0	7.0
	대구	422	21.3	61.8	13.3	0.5	3.1	423	27.2	57.9	14.4	0	0.5
	인천	454	27.5	62.3	2.0	6.8	1.3	426	21.6	71.1	6.3	0	0.9
	광주	495	17.6	79.2	2.2	0.4	0.6	457	11.8	86.9	1.3	0	0
	대전	195	14.4	67.2	14.4	2.6	1.5	185	8.1	80.5	7.0	0	4.3
	울산	503	13.7	46.7	33.6	0.2	5.8	504	15.9	46.8	30.2	0	7.1
	세종	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
	경기	5,821	21.1	67.1	9.3	0.5	2.0	5,663	21.7	67.7	8.7	0	1.9
	강원	3,093	24.5	38.6	24.3	0.9	11.7	2,961	23.4	43.5	24.2	0	8.8
	충북	3,585	34.6	43.3	15.8	0.7	5.6	3,492	29.8	47.4	16.6	0.0	6.2
	충남	6,818	18.8	61.0	16.7	0.6	2.9	6,547	17.6	61.8	17.4	0	3.3
	전북	5,053	31.1	53.6	13.7	0.5	1.1	4,920	29.5	56.2	12.0	0	2.3
	전남	7,777	16.7	55.2	23.8	0.8	3.5	7,464	13.9	58.5	24.4	0	3.2
	경북	7,409	46.5	28.5	19.9	0.4	4.8	7,202	46.1	27.6	21.0	0	5.3
경남	6,240	28.4	44.1	23.5	0.8	3.2	6,048	24.3	45.5	23.0	0.0	7.1	

표 51. 통계청 농림어업조사 중 논벼의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) (단위 : 명, %)

구분	2013년						2014년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	44,951	26.5	55.3	15.4	0.0	2.9	43,503	24.7	60.1	12.8	0.0	2.4	
지역	서울	18	16.7	61.1	16.7	0	5.6	15	33.3	53.3	6.7	0	6.7
	부산	269	28.3	64.3	1.9	0	5.6	262	25.6	68.3	1.9	0	4.2
	대구	416	35.1	51.9	11.5	0	1.4	390	28.7	57.7	10.8	0	2.8
	인천	384	30.2	64.8	4.2	0	0.8	377	39.0	58.9	1.6	0	0.5
	광주	444	18.7	79.5	1.4	0	0.5	437	15.1	83.1	1.4	0	0.5
	대전	179	11.2	83.8	2.2	0	2.8	184	15.8	78.3	3.3	0	2.7
	울산	490	12.2	52.0	27.6	0	8.2	486	10.1	56.6	24.9	0	8.4
	세종	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	425	19.1	65.4	12.2	0	3.3
	경기	5,426	21.0	69.5	8.2	0	1.3	5,269	22.2	68.8	7.8	0	1.1
	강원	2,859	23.3	49.8	20.3	0.0	6.5	2,748	25.8	51.8	18.1	0	4.3
	충북	3,353	30.5	50.8	12.4	0	6.3	3,160	27.9	55.7	10.7	0	5.7
	충남	6,275	20.1	63.4	14.4	0	2.0	5,788	15.6	70.8	11.9	0.0	1.7
	전북	4,774	30.2	57.2	11.9	0	0.6	4,627	26.7	63.4	9.3	0	0.7
	전남	7,241	15.4	63.3	19.3	0	2.0	6,990	13.2	71.4	13.4	0	1.9
	경북	7,046	48.3	29.9	17.8	0	4.0	6,807	46.9	33.7	16.3	0.0	3.1
경남	5,777	23.4	54.3	19.3	0	3.0	5,538	21.1	60.2	16.9	0	1.9	

표 52. 통계청 농림어업조사 중 논벼의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) (단위 : 명, %)

구분	2016년					2017년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	27,340	15.1	73.7	9.3	1.9	26,057	20.7	67.3	10.0	0.1	1.9	
지역	서울	33	0	87.9	12.1	0	26	23.1	61.5	15.4	0	0
	부산	237	32.1	64.6	2.1	1.3	205	11.7	76.6	1.5	0	10.2
	대구	247	7.7	85.0	6.9	0.4	233	12.0	81.5	6.0	0	0.4
	인천	351	7.7	90.0	2.3	0	334	9.3	87.4	3.3	0	0
	광주	351	3.1	95.4	1.4	0	310	11.6	85.2	3.2	0	0
	대전	153	6.5	83.7	7.8	2.0	143	2.8	90.2	7.0	0	0
	울산	248	4.0	82.7	11.3	2.0	235	3.4	81.3	13.2	0	2.1
	세종	271	22.5	67.9	8.1	1.5	266	15.4	76.7	7.9	0	0
	경기	3,250	16.1	76.0	6.5	1.4	3,166	19.4	73.3	6.0	0.0	1.3
	강원	1,809	17.2	64.9	12.8	5.0	1,665	24.1	57.1	14.2	0	4.6
	충북	1,820	16.8	66.7	12.7	3.8	1,717	21.0	65.3	10.3	0.1	3.2
	충남	3,890	13.2	77.9	7.3	1.6	3,786	19.5	69.5	8.9	0.1	2.1
	전북	2,726	9.4	83.7	6.0	0.8	2,601	20.3	71.2	8.1	0.0	0.3
	전남	4,301	5.0	83.2	9.6	2.3	4,127	8.9	77.8	11.8	0	1.5
	경북	4,378	29.2	56.9	11.8	2.1	4,190	37.0	49.1	12.0	0.1	1.7
경남	3,275	15.4	71.3	12.2	1.1	3,053	21.7	64.3	11.6	0.0	2.5	

표 53. 통계청 농림어업조사 중 논벼의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) (단위 : 명, %)

구분	2017년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	24,981	20.6	67.2	10.1	0.2	1.9	
지역	서울	21	19.0	57.1	23.8	0.0	0
	부산	209	12.4	78.5	0.5	0.0	8.6
	대구	222	12.6	83.3	3.6	0.0	0.5
	인천	317	18.3	78.9	2.8	0.0	0
	광주	304	4.6	91.8	3.3	0.3	0
	대전	141	7.1	84.4	5.7	0.0	2.8
	울산	220	2.7	70.0	25.0	0.0	2.3
	세종	255	17.6	72.9	9.0	0.0	0.4
	경기	3,020	16.1	77.7	5.2	0.1	1.0
	강원	1,593	18.7	60.2	15.3	0.3	5.6
	충북	1,654	18.3	69.5	10.0	0.1	2.1
	충남	3,628	23.6	67.3	7.5	0.0	1.5
	전북	2,504	24.1	67.4	7.9	0.0	0.5
	전남	3,947	10.0	75.0	13.0	0.7	1.3
	경북	4,027	34.6	49.0	12.7	0.1	3.6
경남	2,919	21.3	66.1	11.3	0.0	1.2	

○ 보리

- 보리의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 54. 통계청 농림어업조사 중 보리의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) (단위 : 명, %)

구분	2011년						2012년						
	사례수	판매	경지 비료	가축 사료	소각	기타	사례수	판매	경지 비료	가축 사료	소각	기타	
전체	658	10.8	43.9	15.0	23.3	7.0	709	20.6	42.2	15.1	16.8	5.4	
지역	서울	1	0	100.0	0	0	0	2	0	100.0	0	0	0
	부산	3	0	100.0	0	0	0	2	0	100.0	0	0	0
	대구	4	25.0	75.0	0	0	0	13	15.4	30.8	0	15.4	38.5
	인천	1	0	0	0	100.0	0	2	0	50.0	0	50.0	0
	광주	2	0	50.0	0	50.0	0	1	0	0	0	100.0	0
	대전	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0
	울산	3	0	0	66.7	0	33.3	4	0	0	75.0	25.0	0
	세종	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0
	경기	24	0	58.3	4.2	29.2	8.3	21	0	61.9	9.5	23.8	4.8
	강원	44	0	31.8	36.4	18.2	13.6	54	7.4	64.8	20.4	5.6	1.9
	충북	11	18.2	18.2	45.5	18.2	0	12	0	25.0	16.7	41.7	16.7
	충남	15	0	46.7	6.7	46.7	0	24	0	41.7	29.2	16.7	12.5
	전북	248	15.3	48.8	4.0	27.0	4.8	260	49.2	26.2	3.5	15.4	5.8
	전남	166	10.8	44.0	23.5	16.3	5.4	183	1.6	57.9	19.7	19.7	1.1
	경북	50	6.0	16.0	18.0	38.0	22.0	47	8.5	36.2	29.8	19.1	6.4
	경남	63	11.1	47.6	20.6	20.6	0	62	4.8	43.5	27.4	19.4	4.8
제주	23	8.7	52.2	13.0	4.3	21.7	22	9.1	50.0	27.3	0	13.6	

표 55. 통계청 농림어업조사 중 보리의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) (단위 : 명, %)

구분	2013년						2014년						
	사례수	판매	경지 비료	가축 사료	소각	기타	사례수	판매	경지 비료	가축 사료	소각	기타	
전체	801	14.0	51.1	14.0	17.1	3.9	884	9.0	57.2	13.5	17.8	2.5	
지역	서울	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	부산	3	0	66.7	33.3	0	0	2	0	100.0	0	0	0
	대구	26	0	61.5	3.8	19.2	15.4	22	0	45.5	4.5	27.3	22.7
	인천	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.0	0	0	0
	광주	2	0	50.0	0	50.0	0	4	0	50.0	0	50.0	0
	대전	1	0	0	0	100.0	0	2	0	50.0	0	50.0	0
	울산	2	0	50.0	50.0	0	0	4	25.0	50.0	25.0	0	0
	세종	0	0	0.0	0.0	0.0	0	3	0	66.7	33.3	0	0
	경기	20	0	60.0	10.0	20.0	10.0	20	0	65.0	10.0	15.0	10.0
	강원	39	2.6	64.1	28.2	0	5.1	52	17.3	53.8	25.0	1.9	1.9
	충북	14	7.1	35.7	35.7	14.3	7.1	15	0	46.7	26.7	26.7	0
	충남	33	0	45.5	33.3	9.1	12.1	27	0	74.1	11.1	11.1	3.7
	전북	260	34.6	36.2	3.5	24.6	1.2	295	22.0	46.8	9.2	22.0	0
	전남	225	5.3	67.6	15.1	11.6	0.4	250	0.4	72.8	11.6	14.8	0.4
	경북	53	7.5	39.6	28.3	17.0	7.5	53	1.9	37.7	37.7	22.6	0
	경남	89	2.2	52.8	16.9	20.2	7.9	95	1.1	54.7	12.6	23.2	8.4
제주	34	5.9	52.9	20.6	11.8	8.8	40	5.0	67.5	15.0	2.5	10.0	

표 56. 통계청 농림어업조사 중 보리의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년)

(단위 : 명, %)

구분	2016년						2017년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	647	3.1	80.1	7.0	7.4	2.5	692	6.8	60.1	7.9	21.8	3.3	
지역	서울	6	0	100.0	0	0	0	6	0	100.0	0	0	0
	부산	3	0	66.7	0	0	33.3	3	0	100.0	0	0	0
	대구	1	0	100.0	0	0	0	8	0	25.0	0	50.0	25.0
	인천	9	0	77.8	0	22.2	0	3	0	100.0	0	0	0
	광주	3	0	100.0	0	0	0	2	0	100.0	0	0	0
	대전	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0
	울산	3	0	33.3	0	66.7	0	0	0	0.0	0	0	0
	세종	0	0	0.0	0	0	0	2	0	100.0	0	0	0
	경기	24	0	62.5	0	20.8	16.7	30	0	70.0	6.7	13.3	10.0
	강원	19	0	57.9	31.6	5.3	5.3	19	0	63.2	15.8	10.5	10.5
	충북	10	0	70.0	10.0	20.0	0	8	12.5	50.0	12.5	25.0	0
	충남	28	3.6	78.6	3.6	14.3	0	23	0	52.2	21.7	21.7	4.3
	전북	123	6.5	82.1	3.3	8.1	0	178	13.5	33.1	4.5	46.6	2.2
	전남	265	1.1	89.4	3.8	4.5	1.1	271	4.4	74.5	5.9	14.0	1.1
	경북	32	9.4	59.4	25.0	3.1	3.1	35	8.6	57.1	28.6	5.7	0
	경남	65	6.2	61.5	21.5	6.2	4.6	71	8.5	64.8	12.7	8.5	5.6
제주	56	1.8	82.1	1.8	8.9	5.4	33	3.0	66.7	3.0	15.2	12.1	

표 57. 통계청 농림어업조사 중 보리의 작물잔사 처리 조사결과(2018년)

(단위 : 명, %)

구분	2018년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	718	14.2	58.8	9.1	14.6	3.3	
지역	서울	3	0	100.0	0	0	0
	부산	2	0	100.0	0	0	0
	대구	24	0	100.0	0	0	0
	인천	7	0	85.7	0	14.3	0
	광주	4	25.0	0	0	75.0	0
	대전	2	0	50.0	50.0	0	0
	울산	0	0	0.0	0	0	0
	세종	4	0	75.0	25.0	0	0
	경기	26	0	73.1	3.8	15.4	7.7
	강원	13	0	61.5	30.8	0	7.7
	충북	9	11.1	77.8	0	0	11.1
	충남	20	0	40.0	20.0	35.0	5.0
	전북	163	39.9	30.1	1.8	21.5	6.7
	전남	299	9.7	67.2	11.0	12.0	0
	경북	32	6.3	56.3	9.4	21.9	6.3
	경남	83	3.6	67.5	18.1	8.4	2.4
제주	27	3.7	63.0	0	18.5	14.8	

○ 콩

- 콩의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 58. 통계청 농림어업조사 중 콩의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) (단위 : 명, %)

구분	2011년						2012년						
	사례수	판매	경지 비료	가축 사료	소각	기타	사례수	판매	경지 비료	가축 사료	소각	기타	
전체	26,366	1.2	28.3	8.3	50.2	12.0	27,730	0.6	41.0	2.8	46.7	9.0	
지역	서울	24	0	20.8	0	70.8	8.3	13	0	38.5	0	53.8	7.7
	부산	125	0	30.4	1.6	64.8	3.2	119	0	34.5	0	64.7	0.8
	대구	185	2.2	43.8	7.6	36.8	9.7	210	0	27.6	1.9	59.0	11.4
	인천	262	0	11.1	3.1	80.9	5.0	259	0	43.2	0	46.7	10.0
	광주	140	0	20.7	0	75.0	4.3	182	0	32.4	0	61.5	6.0
	대전	110	0	31.8	1.8	62.7	3.6	115	0	39.1	0.9	55.7	4.3
	울산	136	0	24.3	16.2	30.1	29.4	169	0	33.7	0	44.4	21.9
	세종	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.0
	경기	3,223	1.9	19.9	2.8	67.3	8.1	3,580	0	43.1	0.6	50.1	6.2
	강원	3,000	4.2	38.3	19.5	21.0	17.0	3,500	3.8	57.9	10.9	13.8	13.5
	충북	2,499	2.2	24.0	9.1	56.2	8.4	2,574	1.0	39.2	5.3	45.7	8.8
	충남	3,137	0.3	18.2	5.9	66.4	9.2	3,276	0.1	30.1	1.4	61.6	6.8
	전북	2,225	0.3	29.1	4.2	58.7	7.7	2,615	0	43.4	1.4	49.6	5.6
	전남	4,421	0.2	31.5	8.2	42.4	17.6	4,186	0	43.8	0.5	47.0	8.8
	경북	3,931	0.4	36.3	7.9	42.1	13.3	4,178	0	43.6	2.3	45.4	8.7
경남	2,707	0.6	23.9	9.3	55.7	10.6	2,508	0	19.3	0.5	68.1	12.1	
제주	241	5.0	56.4	12.9	8.7	17.0	246	0.8	60.2	8.5	8.1	22.4	

표 59. 통계청 농림어업조사 중 콩의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) (단위 : 명, %)

구분	2013년						2014년						
	사례수	판매	경지 비료	가축 사료	소각	기타	사례수	판매	경지 비료	가축 사료	소각	기타	
전체	30,175	0.3	49.7	1.5	42.0	6.6	29,736	0.1	53.7	1.2	40.8	4.2	
지역	서울	18	0	94.4	0	5.6	0	19	0	94.7	0	5.3	0
	부산	95	0	40.0	0	58.9	1.1	90	0	35.6	0	63.3	1.1
	대구	190	0	26.8	0	65.8	7.4	187	0	27.8	0	65.8	6.4
	인천	278	0	43.2	0	53.2	3.6	295	0	40.0	0	58.3	1.7
	광주	173	0	62.4	0	37.0	0.6	168	0	44.6	0	54.8	0.6
	대전	98	0	53.1	0	45.9	1.0	112	0	33.0	0	66.1	0.9
	울산	130	0	26.9	0	39.2	33.8	122	0	27.0	0	55.7	17.2
	세종	0	0	0.0	0	0.0	0.0	201	0	21.9	0	58.7	19.4
	경기	3,917	0.1	57.2	0.4	37.0	5.3	3,940	0	60.4	0.1	37.0	2.5
	강원	3,714	1.1	68.1	5.6	12.7	12.5	3,706	0.6	77.6	5.6	9.1	7.2
	충북	2,862	0.5	47.9	1.7	41.2	8.6	2,727	0.0	66.2	2.2	24.1	7.5
	충남	3,877	0.3	54.8	2.0	39.2	3.8	3,857	0.1	62.6	1.1	33.3	3.0
	전북	2,892	0	55.3	0.0	42.1	2.5	2,581	0	56.3	0.5	41.3	1.9
	전남	4,608	0	41.8	0.3	53.6	4.2	4,473	0	42.6	0.0	55.8	1.5
	경북	4,385	0	44.3	0.9	47.1	7.7	4,242	0	44.8	0.0	50.7	4.4
경남	2,674	0.2	24.1	1.7	66.9	7.1	2,754	0	23.3	0.4	71.2	5.0	
제주	264	3.0	69.7	4.5	4.5	18.2	262	1.1	72.5	5.0	4.2	17.2	

표 60. 통계청 농림어업조사 중 콩의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년)

(단위 : 명, %)

구분	2016년						2017년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타
전체	13,814	0.1	62.4	0.8	31.5	5.3	13,220	0.1	47.8	0.5	45.0	6.8
지역	서울	18	0	100.0	0	0	24	0	95.8	0	0	4.2
	부산	67	0	28.4	0	67.2	4.5	34	0	91.2	0	8.8
	대구	59	0	5.1	0	94.9	0	88	0	11.4	0	87.5
	인천	209	0	65.1	0	34.9	0	159	0	18.9	0	81.1
	광주	96	0	58.3	0	32.3	9.4	132	0	45.5	0	53.8
	대전	42	0	71.4	0	26.2	2.4	85	0	89.4	0	7.1
	울산	46	0	87.0	0	10.9	2.2	19	0	63.2	0	36.8
	세종	61	0	52.5	0	47.5	0	140	0	72.1	0	27.9
	경기	1,766	0	69.0	0.2	28.4	2.4	1,867	0	54.2	0	43.8
	강원	1,783	0.6	83.0	2.7	5.3	8.4	1,532	0.4	72.3	2.7	18.3
	충북	1,045	0	60.0	0.6	27.8	11.7	970	0.1	42.7	0.9	41.6
	충남	1,874	0	59.2	0.4	36.2	4.2	1,705	0	34.4	0	52.1
	전북	1,134	0	61.1	0	37.1	1.8	867	0	28.0	0.2	67.4
	전남	2,176	0	66.4	1.2	28.5	3.9	2,205	0	49.8	0.0	43.1
	경북	2,061	0.1	55.1	0.5	37.7	6.6	2,040	0	45.2	0.1	50.0
	경남	1,244	0	36.9	0.2	56.8	6.0	1,247	0	40.8	0.2	52.8
	제주	133	0.8	89.5	0	2.3	7.5	106	0	75.5	0.9	10.4

표 61. 통계청 농림어업조사 중 콩의 작물잔사 처리 조사결과(2018년)

(단위 : 명, %)

구분	2018년					
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	13,066	47.4	0.5	46.3	5.9	
지역	서울	19	94.7	0	5.3	0
	부산	45	77.8	2.2	0	20.0
	대구	55	58.2	0	41.8	0
	인천	181	29.8	0	69.1	1.1
	광주	106	47.2	0	50.0	2.8
	대전	79	30.4	0	65.8	3.8
	울산	25	84.0	0	16.0	0
	세종	87	43.7	0	56.3	0
	경기	1,812	58.1	0.1	40.8	1.0
	강원	1,499	64.2	2.6	19.8	13.3
	충북	1,026	49.8	0.1	39.8	10.3
	충남	1,895	21.1	0.3	69.1	9.6
	전북	886	28.9	0.1	66.3	4.7
	전남	2,122	62.2	0.3	36.7	0.8
	경북	1,835	43.9	0.2	52.9	3.1
	경남	1,291	41.9	0	49.6	8.5
	제주	103	76.7	0	6.8	16.5

○ 고구마

- 고구마의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 62. 통계청 농림어업조사 중 고구마의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) (단위 : 명, %)

구분	2017년						2018년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	7,206	0.2	79.5	1.2	8.7	10.4	8,211	0.3	82.5	1.7	6.7	8.9	
지역	서울	19	5.3	94.7	0	0	0	33	0	97.0	0	3.0	0
	부산	61	0	82.0	0	0	18.0	94	0	78.7	1.1	0	20.2
	대구	36	0	66.7	0	27.8	5.6	31	0	71.0	0	29.0	0
	인천	188	0	96.3	0.5	2.7	0.5	291	0	85.2	0.3	12.4	2.1
	광주	98	3.1	91.8	4.1	0	1.0	83	1.2	88.0	0	9.6	1.2
	대전	100	0	92.0	1.0	3.0	4.0	84	0	90.5	2.4	1.2	6.0
	울산	10	0	90.0	0	10.0	0	9	0	88.9	0	11.1	0
	세종	95	0	95.8	1.1	3.2	0	66	3.0	95.5	1.5	0	0
	경기	1,690	0.4	89.2	0.5	6.9	3.0	1,940	0.2	92.2	0.5	4.3	2.7
	강원	751	0.1	84.2	1.2	7.3	7.2	889	0.1	59.7	1.2	2.2	36.7
	충북	470	0	67.2	0.2	6.2	26.4	492	0	85.0	2.0	4.7	8.3
	충남	1,088	0	70.5	0.4	11.7	17.5	1,151	0.3	71.6	1.0	9.9	17.2
	전북	394	0	61.2	1.3	17.8	19.8	397	0	85.1	2.0	9.3	3.5
	전남	952	0.2	78.5	2.9	5.7	12.7	1,119	0	92.4	2.8	3.3	1.5
경북	629	0.2	77.1	0.8	7.0	14.9	708	0.7	83.9	1.3	10.2	4.0	
경남	614	0	75.9	2.6	17.9	3.6	811	0.6	78.3	5.2	13.4	2.5	
제주	11	0	100.0	0	0	0	13	7.7	84.6	0	0	7.7	

○ 감자

- 감자의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 63. 통계청 농림어업조사 중 감자의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) (단위 : 명, %)

구분	2017년						2018년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	5,846	0.1	80.6	0.6	8.9	9.8	6,852	0.1	82.6	0.7	6.3	10.4	
지역	서울	16	0	100.0	0	0	0	26	0	96.2	0	3.8	0
	부산	31	0	90.3	0	0	9.7	59	0	96.6	0	0	3.4
	대구	18	0	77.8	0	22.2	0	17	0	82.4	0	17.6	0
	인천	131	0	94.7	0	5.3	0	230	0	92.6	0.4	6.5	0.4
	광주	32	0	90.6	6.3	3.1	0	29	0	96.6	0	0	3.4
	대전	67	0	97.0	0	0	3.0	77	0	93.5	1.3	1.3	3.9
	울산	7	0	85.7	0	14.3	0	4	0	75.0	0	25.0	0
	세종	65	0	93.8	1.5	4.6	0	49	0	98.0	0	2.0	0
	경기	1,398	0.1	90.6	0.3	5.4	3.6	1,701	0	92.8	0.5	4.3	2.4
	강원	1,545	0.1	85.6	0.8	6.0	7.6	1,708	0.1	71.2	0.8	2.2	25.7
	충북	368	0.5	61.4	0	6.5	31.5	391	0	86.2	1.3	5.9	6.6
	충남	738	0	64.1	0.4	11.2	24.3	821	0	72.2	0.4	11.8	15.6
	전북	199	0	54.8	0	31.2	14.1	273	0	86.8	0.4	7.3	5.5
	전남	314	0.3	85.4	1.6	5.7	7.0	397	0.3	95.0	0.5	3.0	1.3
경북	555	0.2	78.4	0.7	13.5	7.2	595	0.2	84.5	0.8	9.9	4.5	
경남	335	0	74.0	1.5	21.5	3.0	445	0	74.4	1.1	20.0	4.5	
제주	27	3.7	81.5	0	3.7	11.1	30	3.3	86.7	0	0	10.0	

○ 수박

- 수박의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 64. 통계청 농림어업조사 중 수박의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) (단위 : 명, %)

구분	2016년					2017년					
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타
전체	581	68.2	0.9	13.1	17.9	585	0.7	70.4	0.5	12.1	16.2
지역	서울	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	부산	6	100.0	0	0	0	1	0	100.0	0	0
	대구	4	50.0	0	50.0	0	4	0	50.0	0	50.0
	인천	23	100.0	0	0	0	22	0	95.5	0	0
	광주	1	100.0	0	0	0	0	0	0.0	0	0
	대전	0	0.0	0	0	0	2	0	100.0	0	0
	울산	0	0.0	0	0	0	1	0	100.0	0	0
	세종	4	100.0	0	0	0	2	0	100.0	0	0
	경기	38	78.9	0	10.5	10.5	30	0	86.7	0	10.0
	강원	50	76.0	4.0	4.0	16.0	46	0	52.2	2.2	23.9
	충북	78	73.1	0	15.4	11.5	82	0	51.2	0	6.1
	충남	101	49.5	0	10.9	39.6	85	0	67.1	0	25.9
	전북	63	76.2	0	19.0	4.8	69	0	76.8	0	1.4
	전남	43	55.8	0	16.3	27.9	45	0	88.9	2.2	0
	경북	95	72.6	3.2	10.5	13.7	114	0	78.9	0.9	7.9
경남	73	58.9	0	21.9	19.2	80	5.0	61.3	0	22.5	
제주	2	50.0	0	0	50.0	2	0	100.0	0	0	

표 65. 통계청 농림어업조사 중 수박의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) (단위 : 명, %)

구분	2018년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타
전체	545	0.4	72.8	0.7	10.3	15.8
지역	서울	3	0	100.0	0	0
	부산	4	0	75.0	0	0
	대구	3	0	66.7	33.3	0
	인천	19	0	100.0	0	0
	광주	0	0	0.0	0	0
	대전	0	0	0.0	0	0
	울산	1	0	100.0	0	0
	세종	3	0	100.0	0	0
	경기	18	0	88.9	0	5.6
	강원	46	0	54.3	0	37.0
	충북	71	0	50.7	0	8.5
	충남	101	1.0	66.3	0	8.9
	전북	69	0	89.9	0	7.2
	전남	34	0	88.2	2.9	8.8
	경북	102	1.0	78.4	2.0	8.8
	경남	70	0	70.0	0	8.6
	제주	1	0	100.0	0	0

○ 오이

- 오이의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 66. 통계청 농림어업조사 중 오이의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) (단위 : 명, %)

구분	2016년					2017년						
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	947	76.6	0.1	12.2	11.1	704	0.1	74.0	0.3	10.7	14.9	
지역	서울	4	100.0	0	0	0	4	0	100.0	0	0	0
	부산	23	95.7	0	0	4.3	16	0	100.0	0	0	0
	대구	8	12.5	0	87.5	0	4	0	50.0	0	50.0	0
	인천	115	93.9	0	6.1	0	66	0	93.9	0	3.0	3.0
	광주	2	50.0	0	50.0	0	2	0	100.0	0	0	0
	대전	9	100.0	0	0	0	17	0	82.4	0	5.9	11.8
	울산	8	87.5	0	0	12.5	0	0	0.0	0	0.0	0
	세종	13	92.3	0	0	7.7	10	0	100.0	0	0	0
	경기	259	78.8	0	12.4	8.9	251	0	82.5	0	10.4	7.2
	강원	181	81.8	0	5.0	13.3	101	0	68.3	0	23.8	7.9
	충북	80	55.0	0	13.8	31.3	47	0	44.7	2.1	2.1	51.1
	충남	70	58.6	0	24.3	17.1	54	0	61.1	0	7.4	31.5
	전북	20	45.0	0	10.0	45.0	16	0	68.8	0	6.3	25.0
	전남	60	71.7	0	18.3	10.0	54	1.9	61.1	0	5.6	31.5
	경북	56	64.3	1.8	30.4	3.6	37	0	64.9	2.7	21.6	10.8
경남	36	94.4	0	2.8	2.8	20	0	45.0	0	15.0	40.0	
제주	3	66.7	0	33.3	0	5	0	80.0	0	0	20.0	

표 67. 통계청 농림어업조사 중 오이의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) (단위 : 명, %)

구분	2018년					
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	720	83.5	0.1	7.4	9.0	
지역	서울	16	100.0	0	0	0
	부산	35	97.1	0	0	2.9
	대구	2	100.0	0	0	0
	인천	51	100.0	0	0	0
	광주	1	100.0	0	0	0
	대전	9	100.0	0	0	0
	울산	0	0.0	0	0	0
	세종	8	100.0	0	0	0
	경기	252	91.3	0	4.4	4.4
	강원	117	65.8	0	20.5	13.7
	충북	42	57.1	0	7.1	35.7
	충남	57	71.9	0	12.3	15.8
	전북	18	72.2	5.6	22.2	0
	전남	53	98.1	0	0	1.9
	경북	34	70.6	0	5.9	23.5
경남	19	73.7	0	10.5	15.8	
제주	6	83.3	0	0	16.7	

○ 호박

- 호박의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 68. 통계청 농림어업조사 중 호박의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) (단위 : 명, %)

구분	2016년					2017년						
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	1,340	78.4	0.1	12.2	9.3	955	0.3	78.5	0.2	11.7	9.2	
지역	서울	7	100.0	0	0	0	6	0	100.0	0	0	0
	부산	34	82.4	0	0	17.6	22	0	95.5	0	0	4.5
	대구	11	18.2	0	81.8	0	7	0	71.4	0	28.6	0
	인천	134	92.5	0	6.7	0.7	74	0	86.5	0	2.7	10.8
	광주	13	76.9	0	15.4	7.7	7	0	100.0	0	0	0
	대전	8	100.0	0	0	0	12	0	75.0	0	8.3	16.7
	울산	11	100.0	0	0	0	1	0	0	0	100.0	0
	세종	3	66.7	0	0	33.3	3	0	100.0	0	0	0
	경기	241	71.4	0	19.5	9.1	253	0.8	78.7	0.8	10.7	9.1
	강원	222	83.3	0	5.0	11.7	137	0	75.2	0	19.7	5.1
	충북	79	75.9	0	12.7	11.4	31	0	83.9	0	3.2	12.9
	충남	67	76.1	0	11.9	11.9	34	0	61.8	0	5.9	32.4
	전북	28	64.3	3.6	10.7	21.4	24	0	45.8	0	25.0	29.2
	전남	140	72.9	0.7	7.9	18.6	129	0.8	85.3	0	4.7	9.3
	경북	191	80.1	0	15.2	4.7	92	0	87.0	0	7.6	5.4
	경남	145	77.2	0	16.6	6.2	121	0	68.6	0	24.8	6.6
제주	6	100.0	0	0	0	2	0	100.0	0	0	0	

표 69. 통계청 농림어업조사 중 호박의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) (단위 : 명, %)

구분	2018년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	877	0.2	83.2	0.5	6.5	9.6	
지역	서울	23	0	95.7	0	4.3	0
	부산	34	0	97.1	0	0	2.9
	대구	0	0	0.0	0	0	0
	인천	74	0	87.8	0	2.7	9.5
	광주	8	0	100.0	0	0	0
	대전	12	0	100.0	0	0	0
	울산	1	0	0	0	100.0	0
	세종	3	0	100.0	0	0	0
	경기	227	0.9	88.1	0	4.0	7.0
	강원	122	0	67.2	1.6	12.3	18.9
	충북	21	0	76.2	0	9.5	14.3
	충남	28	0	71.4	0	7.1	21.4
	전북	22	0	81.8	0	13.6	4.5
	전남	89	0	91.0	1.1	5.6	2.2
	경북	99	0	80.8	1.0	12.1	6.1
	경남	109	0	78.9	0	4.6	16.5
제주	5	0	80.0	0	0	20.0	

○ 딸기

- 딸기의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 70. 통계청 농림어업조사 중 딸기의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) (단위 : 명, %)

구분	2017년						2018년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	439	1.4	79.7	0.2	3.9	14.8	448	80.1	0.2	8.0	11.6	
지역	서울	1	0	100.0	0	0	0	2	100.0	0	0	0
	부산	3	0	66.7	0	0	33.3	2	100.0	0	0	0
	대구	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0.0	0.0	0
	인천	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0.0	0.0	0
	광주	7	0	100.0	0	0	0	6	83.3	0	0	16.7
	대전	3	0	33.3	0	0	66.7	1	100.0	0	0	0
	울산	1	0	100.0	0	0	0	1	100.0	0	0	0
	세종	1	0	100.0	0	0	0	2	100.0	0	0	0
	경기	11	0	81.8	0	18.2	0	9	77.8	0	11.1	11.1
	강원	2	0	100.0	0	0	0	2	50.0	0	0	50.0
	충북	8	0	62.5	0	0	37.5	13	92.3	0	0	7.7
	충남	86	3.5	83.7	0	5.8	7.0	88	56.8	0	11.4	31.8
	전북	40	0	50.0	0	0	50.0	45	88.9	0	11.1	0
	전남	90	1.1	91.1	0	3.3	4.4	89	87.6	0	10.1	2.2
	경북	43	0	90.7	0	2.3	7.0	52	88.5	0	5.8	5.8
경남	135	1.5	75.6	0.7	4.4	17.8	130	82.3	0.8	6.2	10.8	
제주	8	0	75.0	0	0	25.0	6	83.3	0	0	16.7	

○ 토마토

- 토마토의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 71. 통계청 농림어업조사 중 토마토의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) (단위 : 명, %)

구분	2017년						2018년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	소각	기타	
전체	400	0.3	73.3	0.5	13.3	12.8	459	0.2	81.7	7.8	10.2	
지역	서울	0	0	0	0	0	17	0	100.0	0	0	
	부산	24	0	87.5	0	0	12.5	49	0	79.6	0	20.4
	대구	2	0	0	0	0	100.0	4	0	75.0	25.0	0
	인천	12	0	91.7	0	0	8.3	17	0	100.0	0	0
	광주	8	0	87.5	0	12.5	0	7	0	85.7	14.3	0
	대전	10	0	80.0	0	0	20.0	7	0	100.0	0	0
	울산	0	0	0.0	0	0	0.0	1	0	100.0	0	0
	세종	3	0	66.7	0	33.3	0	2	0	0	100.0	0
	경기	89	0	94.4	0	5.6	0	109	0	95.4	2.8	1.8
	강원	76	0	59.2	2.6	26.3	11.8	67	0	67.2	4.5	28.4
	충북	18	0	50.0	0	11.1	38.9	15	0	60.0	6.7	33.3
	충남	25	0	44.0	0	24.0	32.0	21	0	61.9	23.8	14.3
	전북	26	0	26.9	0	34.6	38.5	24	0	62.5	33.3	4.2
	전남	43	2.3	83.7	0	4.7	9.3	46	0	89.1	8.7	2.2
	경북	37	0	75.7	0	10.8	13.5	43	0	81.4	11.6	7.0
경남	23	0	87.0	0	13.0	0	25	4.0	72.0	12.0	12.0	
제주	4	0	100.0	0	0	0	5	0	100.0	0	0	

○ 가을배추

- 가을배추의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 72. 통계청 농림어업조사 중 가을배추의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) (단위 : 명, %)

구분	2017년						2018년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	5,580	0.1	81.3	0.5	4.7	13.5	6,089	0.1	86.1	0.6	5.9	7.3	
지역	서울	47	0	100.0	0	0	48	0	97.9	0	2.1	0	
	부산	147	0.7	83.0	0.7	0	15.6	199	0.5	79.4	0	0	20.1
	대구	64	0	68.8	0	29.7	1.6	77	0	54.5	0	45.5	0
	인천	152	0	71.1	0.7	0.7	27.6	196	0	90.3	0	5.1	4.6
	광주	127	0	99.2	0.8	0	0	88	0	96.6	0	1.1	2.3
	대전	48	0	83.3	0	0	16.7	22	0	100.0	0	0	0
	울산	25	0	88.0	0	12.0	0	19	0	89.5	0	10.5	0
	세종	28	0	89.3	0	3.6	7.1	15	0	100.0	0	0	0
	경기	1,000	0	91.5	0.6	3.0	4.9	1,110	0.2	94.2	0	4.1	1.4
	강원	616	0.2	89.9	0.5	1.9	7.5	634	0	81.7	0.6	0.9	16.7
	충북	298	0	68.1	0.3	3.0	28.5	307	0	72.3	1.0	3.3	23.5
	충남	401	0	76.6	0.2	4.2	19.0	549	0	67.8	0.2	19.7	12.4
	전북	440	0.2	52.7	0.5	14.3	32.3	438	0	88.8	0.2	3.9	7.1
	전남	1,100	0.2	85.2	0.3	4.1	10.3	1,135	0	93.6	1.8	1.9	2.7
	경북	718	0	74.9	0.7	3.8	20.6	639	0.2	84.7	0.6	5.3	9.2
경남	364	0	85.7	0.5	9.1	4.7	606	0	86.6	0.8	10.7	1.8	
제주	5	20.0	80.0	0	0	0	7	0	100.0	0	0	0	

○ 가을무

- 가을무의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 73. 통계청 농림어업조사 중 가을배추의 작물잔사 처리 조사결과(2017~2018년) (단위 : 명, %)

구분	2017년						2018년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	3,666	0.4	79.2	0.5	5.3	14.6	3,799	0.6	84.2	0.8	7.5	6.9	
지역	서울	44	0	100.0	0	0	47	0	97.9	0	2.1	0	
	부산	94	0	80.9	1.1	0	18.1	160	0.6	77.5	0.6	0	21.3
	대구	36	0	61.1	0	38.9	0	41	0	41.5	0	58.5	0
	인천	141	0	68.1	0.7	0.7	30.5	189	0	88.9	0	6.3	4.8
	광주	91	0	96.7	0	3.3	0	53	0	90.6	0	5.7	3.8
	대전	35	0	82.9	0	2.9	14.3	16	0	100.0	0	0	0
	울산	12	0	100.0	0	0	0	10	0	100.0	0	0	0
	세종	10	0	80.0	0	10.0	10.0	9	0	100.0	0	0	0
	경기	805	0.2	90.3	0.7	4.2	4.5	863	0.2	93.5	0	4.2	2.1
	강원	371	0.8	89.8	0.3	2.2	7.0	356	0	83.4	1.1	2.0	13.5
	충북	145	0	77.2	0	7.6	15.2	114	0.9	82.5	0	7.9	8.8
	충남	294	0	73.8	0	6.1	20.1	417	0.2	61.9	0.2	25.9	11.8
	전북	176	1.7	37.5	1.1	9.7	50.0	228	0.4	81.1	0	12.7	5.7
	전남	647	0.2	80.1	0.5	5.4	13.9	517	0.2	93.8	3.3	1.0	1.7
	경북	488	1.2	68.0	0.6	5.1	25.0	347	2.6	75.5	0.9	6.1	15.0
경남	247	0	81.8	0.8	8.1	9.3	388	0.3	88.4	0.8	8.0	2.6	
제주	30	0	70.0	0	23.3	6.7	44	9.1	70.5	0	0	20.5	

○ 고추

- 고추의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 74. 통계청 농림어업조사 중 고추의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) (단위 : 명, %)

구분	2011년						2012년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	25,008	0.5	16.4	1.2	65.9	16.0	28,305	0.0	33.9	0.0	56.7	9.4	
지역	서울	29	0	13.8	3.4	72.4	10.3	11	0	27.3	0	45.5	27.3
	부산	180	0	18.3	0	77.2	4.4	220	0	28.6	0	64.5	6.8
	대구	125	2.4	20.8	3.2	52.0	21.6	193	0	24.4	0.5	62.7	12.4
	인천	389	0.3	9.0	0.3	85.6	4.9	445	0	40.0	0	48.5	11.5
	광주	196	0	50.5	0.5	39.8	9.2	216	0	50.0	0	44.4	5.6
	대전	99	1.0	25.3	0	55.6	18.2	105	0	35.2	0	60.0	4.8
	울산	165	0	30.9	3.0	32.1	33.9	291	0	25.8	0	41.9	32.3
	세종	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.0
	경기	3,135	0.9	11.9	0.4	75.5	11.4	3,677	0	38.3	0	54.5	7.2
	강원	3,004	1.0	24.5	2.0	53.8	18.7	3,703	0.1	50.4	0.3	34.6	14.6
	충북	1,877	0.2	6.6	0.5	84.9	7.8	1,990	0	32.1	0	60.9	7.1
	충남	2,781	0.2	6.5	0.3	83.0	9.9	3,226	0	23.3	0.0	69.6	7.0
	전북	3,056	0.2	16.7	0.2	64.4	18.6	3,420	0	33.5	0	62.6	3.9
	전남	4,390	0.3	14.6	2.1	57.5	25.5	4,692	0	29.8	0.0	58.2	11.9
	경북	3,518	0.7	25.0	1.7	58.0	14.6	3,845	0	38.0	0	53.7	8.3
	경남	2,049	0.8	18.9	1.7	64.1	14.4	2,255	0	18.1	0	70.4	11.5
제주	15	0	40.0	0	26.7	33.3	16	0	43.8	0	18.8	37.5	

표 75. 통계청 농림어업조사 중 고추의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) (단위 : 명, %)

구분	2013년						2014년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	29,073	0.0	42.2	0.0	51.1	6.7	28,240	46.2	0.0	49.3	4.5	
지역	서울	18	0	83.3	0	16.7	0	15	73.3	0	20.0	6.7
	부산	243	0	35.4	0	60.9	3.7	232	34.5	0	64.7	0.9
	대구	177	0	22.0	0	69.5	8.5	214	15.4	0	74.8	9.8
	인천	484	0	35.1	0	54.3	10.5	514	34.0	0	62.5	3.5
	광주	239	0	72.0	0	27.2	0.8	230	33.9	0	65.2	0.9
	대전	42	0	40.5	0	57.1	2.4	85	40.0	0	56.5	3.5
	울산	232	0	21.6	0	47.0	31.5	179	26.8	0	54.2	19.0
	세종	0	0	0.0	0	0.0	0.0	157	15.9	0	57.3	26.8
	경기	3,822	0	54.5	0	39.5	6.0	3,777	55.8	0	41.4	2.8
	강원	3,644	0	62.4	0.2	28.4	9.0	3,594	73.0	0.0	19.6	7.5
	충북	2,132	0	33.6	0	58.3	8.1	1,999	51.9	0	42.5	5.6
	충남	3,208	0	43.0	0	53.1	3.8	3,113	54.7	0	42.0	3.3
	전북	3,631	0	51.1	0	47.4	1.6	3,380	54.4	0	44.4	1.2
	전남	4,742	0	29.1	0	62.4	8.5	4,354	26.6	0	69.1	4.2
	경북	4,138	0	35.3	0	57.5	7.2	3,911	35.7	0	60.0	4.3
	경남	2,297	0	24.4	0.1	68.2	7.4	2,467	28.3	0.0	65.7	6.0
제주	24	4.2	62.5	0	8.3	25.0	19	63.2	0	15.8	21.1	

표 76. 통계청 농림어업조사 중 고추의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년)

(단위 : 명, %)

구분	2016년						2017년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	17,007	0.0	60.0	0.0	34.1	5.9	14,946	41.3	0.0	51.8	6.8	
지역	서울	26	0	100.0	0	0	30	96.7	0	3.3	0	
	부산	239	0	35.6	0	62.3	2.1	144	81.9	0	3.5	14.6
	대구	143	0	2.8	0	97.2	0	170	8.8	0	89.4	1.8
	인천	358	0	73.5	0	26.5	0	311	16.4	0	79.4	4.2
	광주	189	0	68.8	0	25.4	5.8	195	22.1	0	77.9	0
	대전	44	0	38.6	0	54.5	6.8	74	68.9	0	20.3	10.8
	울산	109	0	77.1	0	20.2	2.8	62	61.3	0	38.7	0
	세종	98	0	43.9	0	53.1	3.1	90	48.9	0	51.1	0
	경기	2,327	0	65.5	0	31.6	2.9	2,241	47.7	0	50.0	2.4
	강원	2,477	0.0	81.1	0.1	11.9	6.8	1,879	73.9	0.2	23.4	2.6
	충북	986	0	49.1	0	39.7	11.3	806	33.3	0.1	50.1	16.5
	충남	2,033	0	57.2	0	36.2	6.6	1,489	23.2	0	60.4	16.5
	전북	1,572	0	59.9	0	37.9	2.2	1,519	19.7	0	76.1	4.1
	전남	2,593	0	59.3	0	34.5	6.2	2,360	40.3	0	51.9	7.8
	경북	2,332	0	55.4	0.1	38.0	6.5	2,138	42.3	0	52.5	5.1
	경남	1,466	0	40.2	0	50.2	9.6	1,426	38.8	0	51.5	9.7
	제주	15	0	60.0	0	13.3	26.7	12	75.0	0	25.0	0

표 77. 통계청 농림어업조사 중 고추의 작물잔사 처리 조사결과(2018년)

(단위 : 명, %)

구분	2018년					
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	15,352	41.1	0.0	51.5	7.4	
지역	서울	48	93.8	0	6.3	0
	부산	176	75.6	0	1.1	23.3
	대구	134	64.2	0	35.8	0
	인천	337	15.4	0	81.9	2.7
	광주	160	36.3	0	55.6	8.1
	대전	56	57.1	0	39.3	3.6
	울산	50	72.0	0	28.0	0
	세종	118	28.0	0	72.0	0
	경기	2,186	44.1	0	54.4	1.5
	강원	1,959	57.6	0.1	27.7	14.6
	충북	960	39.4	0	48.2	12.4
	충남	1,729	18.2	0	70.9	10.9
	전북	1,419	19.1	0	79.1	1.8
	전남	2,439	48.5	0	41.8	9.6
	경북	1,982	40.3	0	56.9	2.8
	경남	1,592	49.6	0	42.3	8.0
	제주	7	57.1	0	42.9	0

○ 양파

- 양파의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 78. 통계청 농림어업조사 중 양파의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) (단위 : 명, %)

구분	2011년						2012년				
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	소각	기타	
전체	4,403	0.9	46.4	1.5	20.2	31.0	4,386	59.4	20.6	20.0	
지역	서울	7	0	42.9	0	42.9	14.3	2	50.0	50.0	0
	부산	105	0	61.9	0	31.4	6.7	126	90.5	7.9	1.6
	대구	11	0	18.2	0	18.2	63.6	8	37.5	25.0	37.5
	인천	114	0	30.7	0	65.8	3.5	117	53.8	36.8	9.4
	광주	17	0	41.2	0	17.6	41.2	15	46.7	40.0	13.3
	대전	7	0	14.3	0	42.9	42.9	8	50.0	25.0	25.0
	울산	53	0	45.3	3.8	9.4	41.5	85	55.3	18.8	25.9
	세종	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0
	경기	268	0.4	23.5	0.7	40.7	34.7	248	41.1	41.1	17.7
	강원	74	1.4	37.8	0	20.3	40.5	117	79.5	8.5	12.0
	충북	32	0	18.8	0	50.0	31.3	30	23.3	46.7	30.0
	충남	471	0	34.0	1.1	46.1	18.9	585	57.8	31.5	10.8
	전북	558	0.4	38.9	0.2	24.4	36.2	587	42.4	33.7	23.9
	전남	1,595	0.9	51.4	1.4	4.8	41.4	1,421	62.0	11.2	26.8
	경북	414	2.7	54.6	1.0	20.8	21.0	394	62.4	18.5	19.0
	경남	638	1.1	56.0	4.5	17.1	21.3	602	69.4	13.6	16.9
	제주	39	2.6	79.5	0	0	17.9	41	78.0	0	22.0

표 79. 통계청 농림어업조사 중 양파의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) (단위 : 명, %)

구분	2013년						2014년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	4,287	0.0	69.3	0.0	17.4	13.3	4,109	70.9	0.0	20.3	8.8	
지역	서울	3	0	100.0	0	0	0	4	75.0	0	0	25.0
	부산	121	0	76.9	0	21.5	1.7	113	73.5	0	24.8	1.8
	대구	24	0	12.5	0	25.0	62.5	19	26.3	0	26.3	47.4
	인천	125	0	64.0	0	32.0	4.0	163	54.6	0	44.8	0.6
	광주	17	0	76.5	0	17.6	5.9	17	76.5	0	17.6	5.9
	대전	2	0	50.0	0	0	50.0	8	62.5	0	37.5	0
	울산	65	0	43.1	0	9.2	47.7	45	42.2	0	13.3	44.4
	세종	0	0	0.0	0	0.0	0.0	5	80.0	0	20.0	0
	경기	230	0	53.9	0	33.9	12.2	210	58.1	0	32.9	9.0
	강원	108	0	85.2	0	4.6	10.2	81	86.4	0	3.7	9.9
	충북	51	0	29.4	0	51.0	19.6	63	42.9	0	23.8	33.3
	충남	428	0	76.4	0	17.3	6.3	482	63.3	0	29.3	7.5
	전북	547	0	63.4	0	21.2	15.4	464	67.2	0	18.3	14.4
	전남	1,474	0	73.0	0	11.5	15.5	1,401	79.7	0	14.6	5.7
	경북	453	0	63.8	0	22.1	14.1	390	61.0	0	26.4	12.6
	경남	608	0.2	74.2	0.2	16.0	9.5	613	77.3	0.3	15.2	7.2
	제주	31	0	90.3	0	0	9.7	31	87.1	0	3.2	9.7

표 80. 통계청 농림어업조사 중 양파의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년) (단위 : 명, %)

구분	2016년					2017년					
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	3,129	74.8	0.0	15.1	10.0	2,972	77.7	0.0	10.5	11.8	
지역	서울	10	100.0	0	0	0	9	100.0	0	0.0	0
	부산	158	86.7	0	7.6	5.7	47	72.3	0	4.3	23.4
	대구	31	6.5	0	93.5	0	29	55.2	0	31.0	13.8
	인천	165	90.9	0	7.9	1.2	125	88.0	0	8.0	4.0
	광주	25	88.0	0	8.0	4.0	47	100.0	0	0.0	0
	대전	6	83.3	0	16.7	0	13	84.6	0	0.0	15.4
	울산	19	78.9	0	10.5	10.5	23	87.0	0	13.0	0
	세종	11	81.8	0	9.1	9.1	4	75.0	0	25.0	0
	경기	212	71.7	0	16.0	12.3	198	73.2	0	16.2	10.6
	강원	113	82.3	0.9	5.3	11.5	117	89.7	0	7.7	2.6
	충북	41	63.4	0	19.5	17.1	28	60.7	0	17.9	21.4
	충남	468	71.4	0	21.4	7.3	272	57.4	0	10.7	32.0
	전북	196	53.6	0	30.1	16.3	228	45.6	0	26.3	28.1
	전남	1,007	78.2	0	10.6	11.2	1,141	88.2	0	4.1	7.7
	경북	283	66.8	0	21.9	11.3	328	79.6	0	13.7	6.7
	경남	360	79.7	0	9.7	10.6	345	71.9	0.3	17.4	10.4
	제주	24	79.2	0	12.5	8.3	18	88.9	0	5.6	5.6

표 81. 통계청 농림어업조사 중 양파의 작물잔사 처리 조사결과(2018년) (단위 : 명, %)

구분	2018년					
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	2,663	82.2	0.0	12.2	5.6	
지역	서울	8	100.0	0	0	0
	부산	80	73.8	0	0	26.3
	대구	29	79.3	0	20.7	0
	인천	127	82.7	0	11.8	5.5
	광주	33	84.8	0	15.2	0
	대전	6	100.0	0	0	0
	울산	19	78.9	0	21.1	0
	세종	6	100.0	0	0	0
	경기	172	87.2	0	8.1	4.7
	강원	68	91.2	0	4.4	4.4
	충북	25	80.0	0	16.0	4.0
	충남	363	58.1	0	30.6	11.3
	전북	209	75.6	0	16.3	8.1
	전남	917	90.3	0.1	5.9	3.7
	경북	260	85.8	0	10.0	4.2
	경남	322	82.9	0	14.9	2.2
	제주	19	100.0	0	0	0

○ 마늘

- 마늘의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 82. 통계청 농림어업조사 중 마늘의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) (단위 : 명, %)

구분	2011년						2012년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	10,297	0.7	37.6	2.8	29.7	29.3	11,083	49.5	0.2	29.7	20.5	
지역	서울	11	0	18.2	0	54.5	27.3	8	25.0	0	37.5	37.5
	부산	112	0	55.4	0.9	35.7	8.0	132	84.8	0	12.1	3.0
	대구	49	2.0	49.0	6.1	12.2	30.6	76	22.4	0	13.2	64.5
	인천	136	0	42.6	0	55.1	2.2	146	62.3	0	30.1	7.5
	광주	35	0	25.7	0	28.6	45.7	40	42.5	0	35.0	22.5
	대전	22	0	31.8	0	40.9	27.3	25	44.0	0	48.0	8.0
	울산	86	0	25.6	2.3	24.4	47.7	149	40.9	0	22.1	36.9
	세종	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0
	경기	968	0.8	24.6	0.5	52.8	21.3	1,085	40.6	0	43.2	16.1
	강원	559	0.4	33.5	2.9	32.6	30.8	679	62.7	0.1	21.2	15.9
	충북	501	0.4	29.3	1.0	36.7	32.5	475	42.3	0	39.2	18.5
	충남	1,519	0	31.0	0.4	48.5	20.1	1,867	48.2	0.1	38.6	13.1
	전북	1,033	0.9	34.0	0.1	31.6	33.5	1,073	33.9	0	47.6	18.5
	전남	2,725	0.3	41.4	3.3	13.3	41.6	2,742	54.7	0.1	14.6	30.7
	경북	777	0.5	44.5	1.2	26.6	27.2	792	55.8	0	24.9	19.3
경남	1,598	1.0	44.0	9.7	23.8	21.5	1,605	48.7	1.2	33.1	16.9	
제주	166	9.6	67.5	0	0	22.9	189	65.1	0	2.1	32.8	

표 83. 통계청 농림어업조사 중 마늘의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) (단위 : 명, %)

구분	2013년						2014년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	10,851	0.0	59.4	0.2	27.4	13.1	10,447	62.3	0.1	27.7	9.9	
지역	서울	9	0	66.7	0	22.2	11.1	6	83.3	0	16.7	0
	부산	151	0	76.8	0	21.2	2.0	144	72.2	0	26.4	1.4
	대구	93	0	11.8	0	37.6	50.5	87	12.6	0	43.7	43.7
	인천	181	0	67.4	0	29.3	3.3	208	48.1	0	49.0	2.9
	광주	42	0	71.4	0	21.4	7.1	44	70.5	0	20.5	9.1
	대전	6	0	33.3	0	33.3	33.3	17	64.7	0	23.5	11.8
	울산	90	0	37.8	0	14.4	47.8	71	42.3	0	21.1	36.6
	세종	0	0	0.0	0	0.0	0.0	45	46.7	0	35.6	17.8
	경기	1,113	0	53.4	0	33.7	12.9	990	57.3	0	29.0	13.7
	강원	686	0	65.5	0.6	20.3	13.7	635	75.7	0.3	8.8	15.1
	충북	597	0	39.9	0.2	46.1	13.9	659	52.4	0	31.7	15.9
	충남	1,682	0	68.0	0	28.3	3.7	1,635	64.2	0	29.5	6.3
	전북	1,095	0	58.9	0	30.9	10.2	928	59.1	0	32.1	8.8
	전남	2,505	0	63.7	0	17.5	18.8	2,317	72.3	0	21.8	5.9
	경북	914	0	53.3	0	32.9	13.8	886	55.9	0	32.5	11.6
경남	1,494	0	56.0	0.8	32.1	11.0	1,583	57.2	0.6	33.8	8.4	
제주	193	0.5	67.9	0	3.1	28.5	192	66.7	0	3.1	30.2	

표 84. 통계청 농림어업조사 중 마늘의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년)

(단위 : 명, %)

구분	2016년						2017년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	판매	경지비료	소각	기타	
전체	7,586	0.0	68.1	0.1	20.2	11.6	7,028	0.0	66.1	21.6	12.2	
지역	서울	17	0	100.0	0	0	18	0	100.0	0.0	0	
	부산	204	0	64.2	0	30.9	4.9	79	0	74.7	1.3	24.1
	대구	86	0	2.3	0	97.7	0	91	0	29.7	58.2	12.1
	인천	206	0	80.1	0	18.9	1.0	174	0	44.3	51.7	4.0
	광주	70	0	81.4	0	12.9	5.7	107	0	93.5	6.5	0
	대전	13	0	69.2	0	23.1	7.7	37	0	75.7	0.0	24.3
	울산	46	0	82.6	0	8.7	8.7	33	0	87.9	12.1	0
	세종	32	0	78.1	0	18.8	3.1	16	0	50.0	50.0	0
	경기	759	0	76.7	0	17.4	5.9	750	0	71.9	23.2	4.9
	강원	565	0.2	72.2	1.1	9.2	17.3	374	0	79.7	16.8	3.5
	충북	335	0	59.4	0	24.8	15.8	262	0	50.4	19.8	29.8
	충남	1,380	0	60.3	0	17.9	21.8	1,063	0	55.8	14.7	29.5
	전북	392	0	48.2	0	40.1	11.7	508	0	33.3	42.3	24.4
	전남	1,784	0	74.0	0	14.2	11.8	1,793	0	78.1	15.1	6.8
	경북	651	0	67.3	0	28.4	4.3	679	0	69.2	23.7	7.1
	경남	948	0	70.7	0	22.6	6.8	939	0.2	64.7	27.9	7.1
	제주	98	0	85.7	0	1.0	13.3	105	0	88.6	2.9	8.6

표 85. 통계청 농림어업조사 중 마늘의 작물잔사 처리 조사결과(2018년)

(단위 : 명, %)

구분	2018년					
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	6,475	71.6	0.0	21.1	7.4	
지역	서울	15	93.3	0	6.7	0
	부산	112	73.2	0	0	26.8
	대구	84	73.8	0	26.2	0
	인천	164	67.7	0	27.4	4.9
	광주	64	70.3	0	28.1	1.6
	대전	19	94.7	0	5.3	0
	울산	29	82.8	0	17.2	0
	세종	20	65.0	0	35.0	0
	경기	570	74.7	0	22.1	3.2
	강원	337	78.0	0	3.9	18.1
	충북	226	52.7	0	32.3	15.0
	충남	1,024	54.5	0	33.8	11.7
	전북	400	35.0	0	58.5	6.5
	전남	1,671	81.6	0.1	13.2	5.2
	경북	562	81.0	0	13.0	6.0
	경남	1,071	79.0	0.1	16.3	4.6
	제주	107	87.9	0	3.7	8.4

○ 참깨

- 참깨의 작물잔사 처리에 대한 통계청 조사결과를 표로 정리하였다.

표 86. 통계청 농림어업조사 중 참깨의 작물잔사 처리 조사결과(2011~2012년) (단위 : 명, %)

구분	2011년						2012년					
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	9,535	0.4	22.5	1.7	59.4	15.9	10,511	36.4	0.0	54.4	9.2	
지역	서울	7	0	14.3	0	71.4	14.3	3	33.3	0	66.7	0
	부산	59	0	10.2	0	89.8	0	96	31.3	0	66.7	2.1
	대구	74	0	41.9	2.7	41.9	13.5	98	40.8	0	55.1	4.1
	인천	38	0	15.8	0	78.9	5.3	56	35.7	0	58.9	5.4
	광주	65	0	21.5	0	72.3	6.2	91	35.2	0	56.0	8.8
	대전	41	0	31.7	0	58.5	9.8	40	45.0	0	47.5	7.5
	울산	45	0	22.2	2.2	11.1	64.4	76	39.5	0	34.2	26.3
	세종	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0
	경기	964	1.0	14.8	0.9	70.4	12.8	992	41.7	0	51.4	6.9
	강원	387	1.6	39.8	2.3	37.5	18.9	467	66.0	0	23.6	10.5
	충북	950	0.1	14.7	1.5	74.0	9.7	877	31.8	0	57.5	10.7
	충남	923	0.1	12.7	0	77.0	10.2	1,048	28.1	0	65.5	6.4
	전북	1,283	0.2	20.3	0.2	60.0	19.4	1,365	34.5	0	59.7	5.8
	전남	2,420	0.1	27.0	2.8	48.4	21.7	2,707	43.2	0.0	45.3	11.4
	경북	1,412	0.8	30.2	1.6	54.4	13.0	1,648	31.6	0	58.6	9.9
	경남	831	0.8	18.3	4.3	61.5	15.0	899	17.7	0	72.3	10.0
	제주	36	0	58.3	2.8	33.3	5.6	48	72.9	2.1	6.3	18.8

표 87. 통계청 농림어업조사 중 참깨의 작물잔사 처리 조사결과(2013~2014년) (단위 : 명, %)

구분	2013년					2014년					
	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	10,765	42.3	0.0	51.8	5.9	11,370	44.6	0.0	51.2	4.1	
지역	서울	5	60.0	0	40.0	0	4	75.0	0	25.0	0
	부산	120	23.3	0.8	75.0	0.8	114	24.6	0	75.4	0
	대구	89	22.5	0	70.8	6.7	114	17.5	0	72.8	9.6
	인천	66	47.0	0	51.5	1.5	99	38.4	0	59.6	2.0
	광주	103	68.0	0	29.1	2.9	86	45.3	0	51.2	3.5
	대전	17	58.8	0	41.2	0	32	21.9	0	78.1	0
	울산	53	32.1	0	28.3	39.6	45	28.9	0	24.4	46.7
	세종	0	0.0	0	0.0	0.0	50	30.0	0	66.0	4.0
	경기	953	56.6	0	39.8	3.7	942	61.1	0	36.1	2.8
	강원	484	75.6	0	18.8	5.6	425	79.3	0	14.6	6.1
	충북	981	30.1	0.1	61.7	8.2	1,011	53.7	0	40.0	6.3
	충남	828	47.5	0	50.4	2.2	1,109	60.0	0	36.7	3.3
	전북	1,501	51.4	0	45.8	2.7	1,418	53.0	0	44.4	2.5
	전남	2,756	43.0	0	49.9	7.1	2,771	39.4	0	58.1	2.5
	경북	1,867	30.7	0.1	61.0	8.3	2,043	32.0	0	62.5	5.5
	경남	876	22.3	0.2	73.1	4.5	1,046	23.0	0.1	71.9	5.0
	제주	66	78.8	0	7.6	13.6	61	83.6	0	3.3	13.1

표 88. 통계청 농림어업조사 중 참깨의 작물잔사 처리 조사결과(2016~2017년)

(단위 : 명, %)

구분	2016년						2017년				
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	사례수	경지비료	소각	기타	
전체	8,121	0.0	57.4	0.0	37.0	5.6	8,085	40.9	51.5	7.6	
지역	서울	28	0	100.0	0	0	40	97.5	2.5	0	
	부산	94	0	40.4	0	56.4	3.2	58	93.1	1.7	5.2
	대구	70	0	0	0	100.0	0	111	9.9	88.3	1.8
	인천	111	0	81.1	0	18.9	0	79	21.5	75.9	2.5
	광주	103	0	61.2	0	34.0	4.9	116	39.7	58.6	1.7
	대전	13	0	38.5	0	53.8	7.7	37	70.3	21.6	8.1
	울산	24	0	83.3	0	12.5	4.2	15	66.7	33.3	0
	세종	40	0	50.0	0	47.5	2.5	67	43.3	56.7	0
	경기	805	0	63.7	0	32.9	3.4	818	49.8	46.6	3.7
	강원	383	0	76.2	0	14.1	9.7	202	75.2	21.3	3.5
	충북	628	0	50.0	0	40.0	10.0	510	31.4	46.3	22.4
	충남	1,032	0	66.4	0	30.0	3.6	763	28.7	54.7	16.6
	전북	747	0	50.7	0	47.3	2.0	909	20.8	72.6	6.6
	전남	1,858	0	63.2	0	30.9	5.9	2,118	50.3	43.6	6.1
	경북	1,497	0.1	51.8	0.1	40.0	8.0	1,514	39.5	54.0	6.5
	경남	659	0	37.0	0	58.3	4.7	711	38.0	56.5	5.5
제주	29	0	79.3	0	13.8	6.9	17	70.6	23.5	5.9	

표 89. 통계청 농림어업조사 중 참깨의 작물잔사 처리 조사결과(2018년)

(단위 : 명, %)

구분	2018년						
	사례수	판매	경지비료	가축사료	소각	기타	
전체	7,436	0.0	44.2	0.0	50.8	4.9	
지역	서울	31	0	87.1	0	12.9	0
	부산	69	0	82.6	0	0	17.4
	대구	93	0	63.4	0	36.6	0
	인천	70	0	18.6	0	77.1	4.3
	광주	98	0	44.9	0	52.0	3.1
	대전	54	0	68.5	0	29.6	1.9
	울산	22	0	81.8	0	18.2	0
	세종	45	0	37.8	0	62.2	0
	경기	918	0	54.5	0	43.1	2.4
	강원	187	0	39.6	0	28.3	32.1
	충북	467	0	38.1	0	48.8	13.1
	충남	716	0	22.3	0	69.3	8.4
	전북	645	0	23.4	0	75.0	1.6
	전남	1,962	0.1	57.6	0.1	40.7	1.5
	경북	1,139	0	32.6	0.1	61.5	5.8
	경남	900	0	48.4	0	47.7	3.9
제주	20	0	75.0	0	10.0	15.0	

○ 통계청 조사결과 작물별 소각 추이

- 2011년부터 조사된 작물과 2016년(또는 2017년)부터 조사된 작물을 구분하여 소각 추이를 살펴보았다. 2011년부터 조사된 작물은 전반적으로 2016년까지 소각 비율이 낮아지는 추세를 보였다.
- 양파는 2011년부터 2014년까지 20% 내외의 소각 비율을 보이다가 2016년 15.1%, 2017년 10.5%로 낮아졌고, 2018년에 12.2%로 약간 상승하였다.
- 고추, 참깨, 콩은 2016년까지 소각 비율이 꾸준히 낮아졌으며, 2017년에는 소각 비율이 2014년도 수준 이상으로 다시 높아졌고, 2018년에는 2017년과 비슷한 수준을 유지하였다.
- 마늘은 2011년부터 2014년까지 28% 내외의 수준을 보이다가 2016년 20.2%, 2017년 21.8%의 소각 비율로 조사되었고, 2018년 1.1%로 매우 크게 감소하였다.
- 보리는 2011년 23.3%에서 2012년 16.8%로 감소하였다가 2014년까지 비슷한 수준을 유지했으며, 2016년에는 7.4%로 크게 감소한 뒤 2017년 21.8%, 2018년 14.6%로 조사되었다.
- 2016년부터 조사된 작물은 수박, 호박, 오이이며, 2018년까지 소각 비율이 꾸준히 감소하였다.
- 2017년부터 조사된 작물 중 토마토와 고구마, 감자는 2017년 대비 2018년에 소각 비율이 낮아졌다.
- 가을무, 가을배추, 딸기는 2017년 대비 2018년에 소각 비율이 높아졌다.

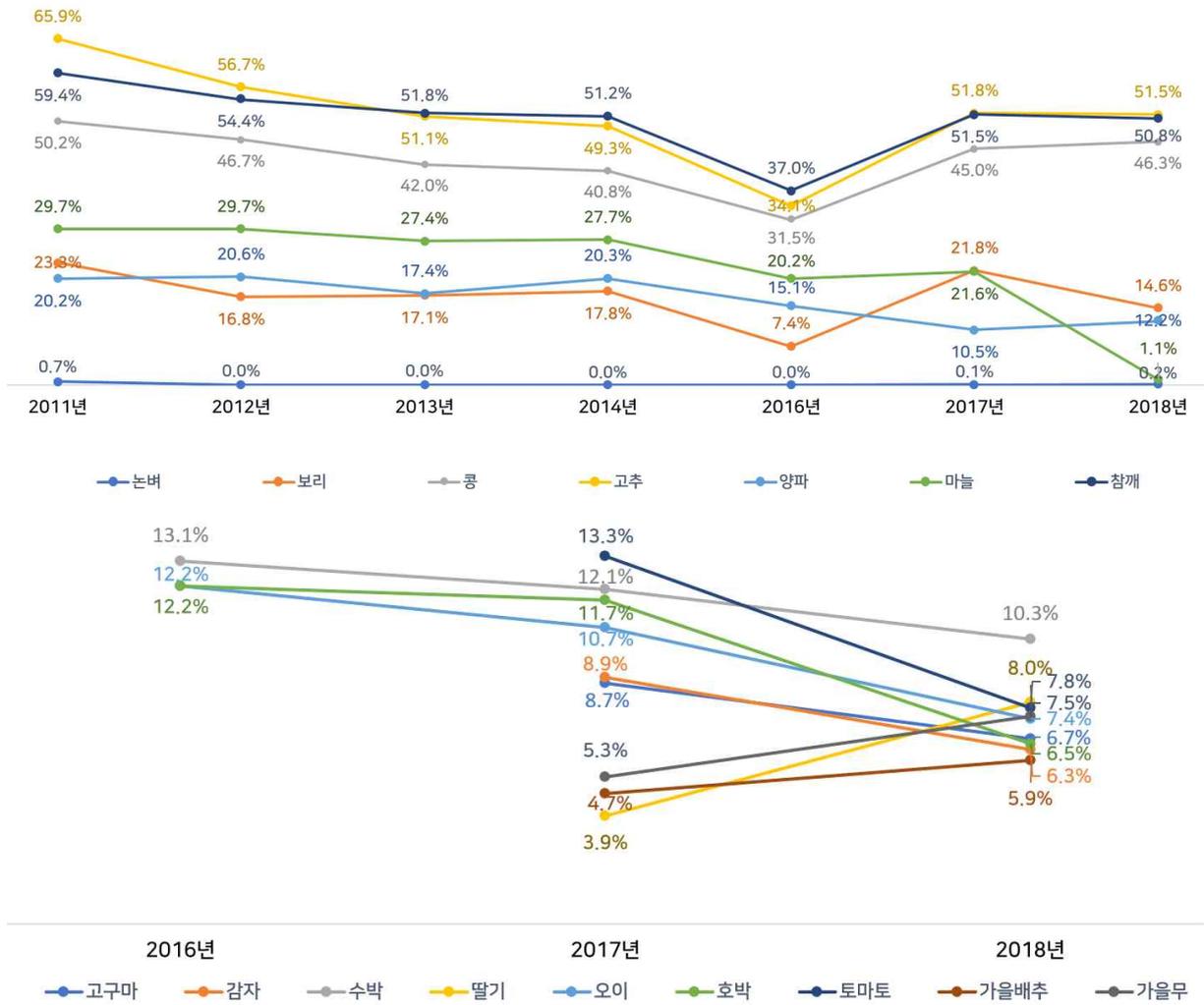


그림 39. 작물별 소각 추이

#### ④ 조사방식에 따른 농업 잔재물 소각 비율 비교 검토

##### ○ 소각 비율 검토

- 2014년 경기개발연구원이 수행한 “생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선 기술 개발” 연구, 통계청 MDIS 자료, 그리고 본 연구에서 수행한 2020년 설문조사 결과의 농업 잔재물 소각 행태에 대한 결과를 비교하였다.
- 본 연구의 설문조사 결과와 통계청 자료는 수치의 차이는 있으나 전반적으로 비슷한 추이를 나타내었다. 고구마, 감자, 수박을 제외한 나머지 작물에 대하여 2018년 통계청 자료에 의한 소각 비율이 2020년 설문조사 결과에 의한 소각 비율보다 높게 나타났다.
- 2014년 경기개발연구원의 결과는 통계청 자료와 설문조사 결과에 비해 소각 비율이 매우 높았다.

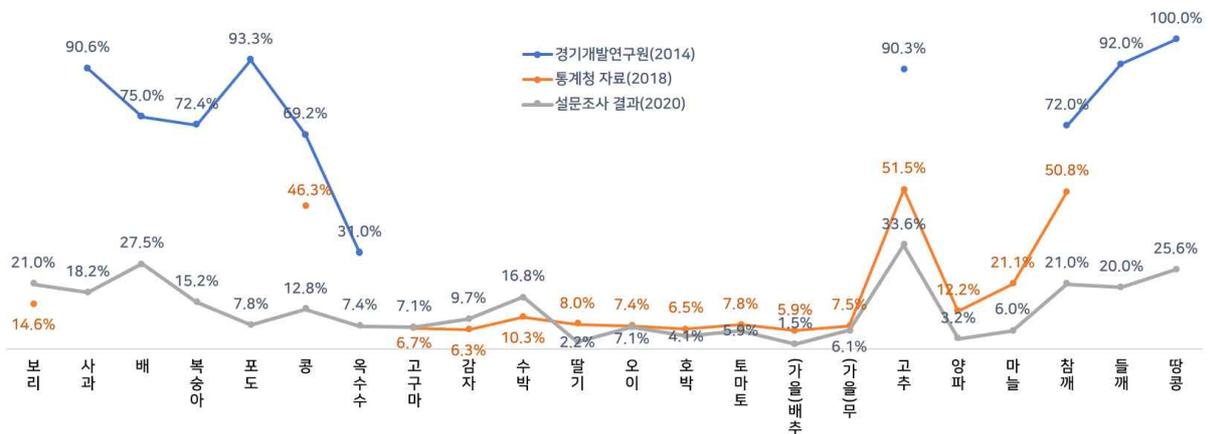


그림 40. 선행연구 및 통계청 조사결과, 본 연구결과의 농업 잔재물 소각 비율 비교

표 90. 선행연구 및 통계청 조사결과, 본 연구결과의 농업 잔재물 소각 비율 비교 (단위 : 명, %)

작물		경기개발연구원(2014)		통계청(2018)		본 연구 설문조사(2020)	
		사례수	소각 비율	사례수	소각 비율	사례수	소각 비율
맥류	보리	-	-	718	14.6	29	21.0
과수	사과	-	90.6	-	-	131	18.2
	배	-	75.0	-	-	78	27.5
	복숭아	-	72.4	-	-	92	15.2
	포도	-	93.3	-	-	40	7.8
두류	콩	-	69.2	13,066	46.3	176	12.8
잡곡	옥수수	-	31.0	-	-	107	7.4
서류	고구마	-	-	8,211	6.7	119	7.1
	감자	-	-	6,852	6.3	98	9.7
채소 (과채류)	수박	-	-	545	10.3	47	16.8
	딸기	-	-	448	8.0	65	2.2
	오이	-	-	720	7.4	17	7.1
	호박	-	-	877	6.5	55	4.1
	토마토	-	-	459	7.8	39	5.9
채소(엽채류)	(가을)배추	-	-	6,089	5.9	71	1.5
채소(근채류)	(가을)무	-	-	3,799	7.5	38	6.1
채소 (조미채소)	고추	-	90.3	15,352	51.5	231	33.6
	양파	-	-	2,663	12.2	32	3.2
	마늘	-	-	6,475	21.1	111	6.0
특용	참깨	-	72.0	7,436	50.8	98	21.0
	들깨	-	92.0	-	-	109	20.0
	땅콩	-	100.0	-	-	27	25.6

주) 경기개발연구원 사례수는 총(합계) 1,002명

## ⑤ 농업 잔재물 발생량

### ○ 작물별 생산량 기준 농업 잔재물 발생량 추정

- 현재 CAPSS에 활용되고 있는 농업 잔재물 발생량 추정방식은 2014년 경기개발연구원 연구원이 수행한 연구 결과이다. 2014년 연구에서 농업잔재물의 양은 농업인을 대상으로 한 설문조사 및 현장조사를 기반으로 하였다. 당시 연구에서는 농업인의 직접 면담을 통해 발생하는 농업 잔재물의 양을 추정하거나 필요시 현장에서 즉시 무게를 달아 결과에 반영하였다.
- 본 연구에서 실시한 활동도 개선을 위한 농업인 대상 설문조사에서 작물별로 발생하는 농업 잔재물 발생량을 조사하였다. 농업인에게 해당 사항을 설명하고 발생하는 잔재물의 양을 무게단위로 추정하여 설문지에 기록하게 하였다. 이 과정에서 농업인들은 발생하는 잔재물의 무게 추정의 기준이 모호하며 무게 측정 경험이 없어 해당 설문내용에 대한 응답이 원활히 진행되지 않았다. 또한 몇몇 농업인의 발생량 기록은 응답 간의 편차가 매우 커서 신뢰하기 어려운 문제가 발생하였다.
- 본 연구에서 설문조사를 통한 농업 잔재물 발생량 자료의 생산은 체계적이지 않으며 결과의 신뢰성이 확보되지 않기 때문에 기존 문헌자료를 활용하는 방안을 모색하였다.
- 국립농업과학원이 2020~2012년 2년간 수행한 “농촌지역 바이오매스 자원의 순환활용기술 개발”에서는 농업부문 바이오매스 부존량 인벤토리 작성 등에 대한 연구 결과가 제시되어 있다. 해당 연구보고서에는 농작물의 바이오매스 잠재발생량 추정을 위하여 농작물 생산량을 기준으로 26작물 32품목에 대한 바이오매스 환산계수를 산정하여 제시하고 있다. 이 연구의 바이오매스는 농업 잔재물과 동일한 것으로서, 이러한 발생량 추정방식을 활용하는 것이 합리적이며 체계적이다.
- 국립농업과학원의 연구에서는 총 생산량에 단위면적당 생산량에 대한 부산물의 비율로 산출하였다. 작물의 종류, 품종, 토양 양분상태, 기상조건 등에 따라 곡물의 생산량과 이에 따른 농작물 부산물의 발행량도 차이가 발생하기 때문에 2004~2008년의 5년간 농작물 총 생산량 평균값을 이용하여 농업 잔재물 단위 발생량을 산출하여 바이오매스 환산계수를 산정하였다. 또한 국립농업과학원 포장에서 2003~2007년까지 10개 작물을 대상으로 재배하여 조사한 결과를 활용하여 바이오매스 환산계수를 산정하였다. 연구결과 산정된 작물별 생산량 기준 바이오매스 환산계수는 다음의 표와 같으며, 아래 식을 이용하여 농업 잔재물 발생량을 추정할 수 있다.

$$\text{농업 잔재물 발생량 (ton)} = \text{작물 생산량 (ton)} * \text{환산계수}$$

표 91. 주요 작물별 잔재물 종류 및 생산량 기준 잔재물 발생량 추정 환산계수 (국립농업과학원, 2013)

작물 종류	잔재물 종류	잔재물 발생량 환산계수
벼 (Paddy rice)	짚 (Straw)	1.020
	겉껍질 (Husks)	0.177
벼 (Under rice)	짚 (Straw)	1.062
	겉껍질 (Husks)	0.236
보리 (Barley)	줄기 (Haulm)	1.230
쌀보리 (Naked Barley)	줄기 (Haulm)	0.662
맥주보리 (Two-rowed barley)	줄기 (Haulm)	0.690
밀 (Wheat)	짚 (Straw)	0.708
감자 (Potato)	줄기 (Haulm)	0.180
고구마 (Sweet potato)	줄기 (Haulm)	0.850
옥수수 (Corn)	대 (Straw)	1.189
조 (Foxtail millet)	줄기 (Haulm)	1.718
메밀 (Buck wheat)	줄기 (Haulm)	1.278
콩 (Soy bean)	줄기 (Stalk)	1.000
	껍질 (Shell)	0.417
팥 (Red bean)	줄기 (Stalk)	1.079
	껍질 (Shell)	0.368
녹두 (Mung bean)	줄기 (Stalk)	1.092
	껍질 (Shell)	0.404
고추 (Pepper)	줄기 (Stem)	2.600
참깨 (Sesame)	줄기 (Stem)	5.800
들깨 (Perilla seed)	줄기 (Stem)	6.140
땅콩 (Peanut)	줄기 (Stem)	1.780
	껍질 (Shell)	0.278
사과 (Apple)	가지 (Branch)	1.316
감 (Persimmon)	가지 (Branch)	0.270
감귤 (Citrus fruit)	가지 (Branch)	0.088
배 (Pear)	가지 (Branch)	0.656
포도 (Grape)	가지 (Branch)	1.562
복숭아 (Peach)	가지 (Branch)	0.367
자두 (Plum)	가지 (Branch)	0.383

## (2) 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 갱신

### ① 대기오염물질에 대한 세분류별 배출계수 산정

농업 부산물에 대한 배출계수를 산정하기 위해 표 92에 제시된 농업 부산물을 대상으로 연소 시험을 수행하였다. 11개 대상 중 옥수수과 땅콩은 CAPSS에 수록되어 있지만 옥수수는 고추대, 땅콩은 콩의 배출계수를 적용하고 있기 때문에 보완이 필요한 작물이다. 논 및 밭두렁 주변의 초본 식물은 농촌 지역 작물 연소 시 함께 연소될 확률이 높으며, 근래에는 거의 없지만 쥐불놀이 등 농업 지역 생물성 연소에 큰 영향을 받는 물질이다. 이외 벼, 보리, 수박, 양파, 마늘, 감나무, 감귤 및 고구마 등의 8개 농업 부산물은 본 연구를 통해 신규 배출계수 산정 물질이다.

표 92. 배출계수 산정에 사용된 농업 부산물 종류

구분	농업 부산물 종류
CAPSS 배출계수 보완 2종	옥수수, 땅콩
논 및 밭두렁 생물성 연소 물질 1종	논 및 밭두렁 주변 초본 식물
신규 물질 8종	벼, 보리, 수박, 양파, 마늘, 감나무, 감귤, 고구마

농업 부산물 배출계수를 산정하기 위한 연소 시험은 표 93에 제시된 72가지 항목을 실험 하였으며, 이 중 수분, 회분, 가연분을 제외한 69항목에 대한 배출계수를 산정하였다. 수분, 회분, 가연분으로 명명되는 삼성분은 연소 시험 시 연소되는 중량(가연분)을 산정하기 위해 수행되었으며, 가연분 및 회분의 비율은 실험을 통해 높은 정확도를 확인할 수 있었다. 다만 수분은 농업 부산물 발생 시기와 시료 채취 시기가 동일하지 않기 때문에 농업 부산물의 수분 함량을 대변하기 어렵다. 하지만 본 연구에서는 수분을 배제한 시료를 대상으로 연구를 수행하였기 때문에 수분 함량은 본 연구 결과에서 제시되는 배출계수에 직접적인 영향을 미치지 않는다.

표 93. 생물성 연소 실험 분석 항목

삼성분 (3종)		수분, 회분, 가연분	PM mass (3종)		TSP, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>
PM 2.5 (30 종)	탄소	OC, EC	Gas (36 종)	주요 가스물질	CO, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , NO, NO <sub>2</sub> 의 5종
	유기지표 성분	Levogluconan		VOCs	Acrylonitrile, Chloroform 등 31종
	이온	음이온 : F, Cl, NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> 4종 양이온 : Na, NH <sub>4</sub> , Mg, Ca 4종			
	PAHs	Naphtalene, Benzo[a]pyrene 등 18종			

배출계수 산정을 위한 11개 시료에 대한 가연분, 회분, 수분에 대한 측정 결과를 표 94에 제시하였다. 표에서와 같이 수분은 1.02~24.6 %로 다양하게 나타났다. 하지만 본 연구에서 제시한 수분은 농업 부산물이 발생될 때의 기준이 아닌, 주관기관인 광주과학기술원에서 시료를 송부하여 수령한 시간을 기준으로 한다. 따라서 수분 함유량은 농업 부산물의 발생 및 소각 시의 수분량을 대변하지 못한다. 또한 농업 부산물의 소각 시 정확한 수분량은 지역별로 소각을 수행하는 사람에 따라 다르기 때문에 정확한 통계를 제시할 수 없다. 반면 표 95에 제시된 바와 같이 농업 부산물 소각 시 수분 함량이 높아지면 PM 및 PM 배출계수가 증가하는 것으로 확인된다. 또한 그림 41에 제시된 것처럼 수분 함량과 배출계수는 일정 부분 비례적인 관계를 보인다. 따라서 농업 부산물 소각 시 부산물에 함유된 수분 함량을 측정할 경우 수분 함량에 따른 배출계수의 증감을 예상할 수 있다.

표 94. 분석 시료의 수분, 회분, 가연분 측정결과

구분	수분, 회분, 가연분 백분율			회분 및 가연분 백분율	
	가연분(%)	회분(%)	수분(%)	가연분(%)	회분(%)
벼	75.32	17.60	7.07	81.06	18.94
보리	81.43	5.51	13.06	93.66	6.34
수박	41.21	36.31	22.47	53.16	46.84
양파	55.31	22.38	22.31	71.19	28.81
초본 식물	83.06	5.48	11.46	93.81	6.19
마늘	57.57	17.84	24.60	76.34	23.66
감나무	30.47	68.51	1.02	30.78	69.22
감귤(잎)	73.59	6.72	19.69	91.63	8.37
옥수수	52.44	40.02	7.54	56.72	43.28
고구마	83.50	5.97	10.53	30.78	69.22
땅콩	60.04	31.32	8.64	65.72	34.28

표 95. 참깨대 수분함유량에 따른 배출계수 실험결과

구분	수분량		
	상(8.36%)	중(5.05%)	하(2.58%)
PM 농도 (ug/Sm <sup>3</sup> )	417.82	199.54	99.16
PM 배출계수 (g/kg)	9.23	6.59	5.51

환경부 (2014) 생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술 개발

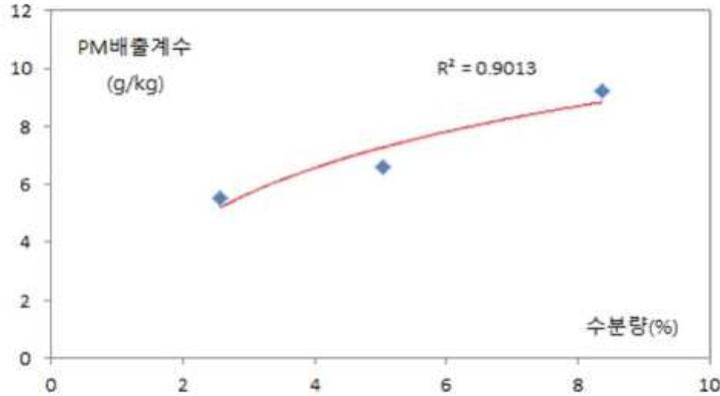


그림 41. 수분 함량에 따른 PM 배출계수

본 연구에서는 시료별로 차이가 큰 수분 함량이 시료 특성에 따른 배출계수를 왜곡하는 것을 배제하기 위해 시료 수거 후 24시간 이상을 105 °C에서 건조하여 수분을 배제하여 실험을 수행하였다. 따라서 본 연구 결과에서 제시된 배출계수는 실제 농업 부산물을 소각할 때와 비교하여 저평가될 가능성이 있다. 하지만 작물 특성에 기인한 배출계수의 차이를 보다 자세하게 평가할 수 있으며, 향후 향후 농업 부산물 소각 시 함유된 수분량을 측정함으로써 배출계수를 보완할 수 있다. 또한 시료 내 수분을 배제함으로써 수분 함량 차이에서 발생하는 실험 오차를 줄일 수 있기 때문에 작물 고유의 배출계수를 제시할 수 있다는 장점이 있다.

수분을 배제한 가연분과 회분을 비교하였을 때 한 가지 특이점이 확인되었다. 시료의 단단함을 나타내는 경질화가 높을수록 회분의 함량이 높다는 것이다. 즉, 경질화가 낮은 초본 식물은 가연분이 약 94%인 것에 반해, 경질화가 높은 감나무는 가연분이 약 30%로 1/3 수준이었다. 또한 같은 과수 작물의 부산물인 감나무와 감귤을 비교했을 때 태우는 부위가 연질(감귤-잎)과 경질(감나무-가지)에 차이를 보일 경우 가연분이 달라진다는 것이다. 배출계수가 가연분에 절대적으로 비례하지는 않지만 이러한 결과는 연질의 농업 부산물을 태울 경우 경질의 농업 부산물에 비해 대기 환경에 배출되는 배출물이 높다는 것을 간접적으로 보여준다. 반면 경질 시료는 연질 시료에 비해 회분의 함량이 높을 뿐만 아니라 연소 시간 역시 최대 3배 이상 길었다. 선행 연구에 의하면 연소 속도가 빠를수록 배출계수는 낮고, 연소 속도가 느릴수록 배출계수가 높았다. 즉, 가연분의 절대량을 기준으로 경질화가 낮은 연질성 시료가 대기 중으로 배출되는 가연분은 많지만, 연소 속도 기준에서 배출계수는 경질화 시료가 더 높을 가능성이 있다. 결론적으로 배출계수는 작물의 특성 뿐만 아니라 수분 함량, 연소속도, 회분 함량 등이 복합적으로 적용되어 나타난다. 따라서 본 연구에서 제시하는 배출계수는 농촌 지역 농업 부산물 연소의 절대적인 배출계수를 제시할 수 없다. 또한 농촌지역에서 동일 작물을 연소할 경우 다양한 수분함량, 연소 방법에 의한 연소 속도 등 다양한 변수가 발생되기 때문에 한 가지 배출계수를 바탕으로 높은 불확도를 가지는 연소 배출물을 평가하기는 어렵다. 하지만 본 연구에서 제시되는 배출계수는 동일 조건에 의한 실험적 측정으로 산정되었기 때문에 작물 특성에 기인하는 배출계수의 차이, 연소로 인한

최소한의 배출량 등을 제시할 수 있을 것으로 판단한다.

산정된 배출계수를 요약하여 표 96에 나타내었다. 표 96은 11개 시료의 연소 시험 결과를 요약한 것으로 분석항목 72개 중 수분, 회분, 가연분 및 OC/EC를 제외한 67개 성분을 나타낸 것이다. 세부적으로 직접적인 PM 배출을 나타내는 TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>와 2차 생성 미세먼지의 전구물질인 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 및 NH<sub>3</sub> 등의 가스물질, 9가지의 이온성분, 휘발성유기화합물 및 PAHs 등이다. PM 배출 인자인 TSP, PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>를 살펴보면 3성분의 편차는 평균 9% 정도로 농업 부산물 연소에서 발생하는 대부분의 PM은 PM<sub>2.5</sub>로 나타났다. 작물별 PM<sub>2.5</sub>의 배출계수를 확인하면 감나무 (13.01 g/kg), 벼 (11.69 g/kg), 초본식물 (11.12 g/kg), 수박 (10.47 g/kg), 땅콩 (8.89 g/kg), 옥수수 (5.09 g/kg), 보리 (3.56 g/kg), 마늘 (3.34 g/kg) 등의 순으로 나타났으며, 평균 6.28 g/kg을 배출한다는 것을 알 수 있었다.

CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 및 NH<sub>3</sub> 등의 가스 성분의 배출 계수 평균은 각각 173.92 g/kg, 1.13 g/kg, 0.19 g/kg, 3.88 g/kg으로 나타나 대부분의 가스 물질은 CO였다. 가스상 물질의 배출계수를 작물별로 살펴보면 양파 (380.39 g/kg), 수박 (297.44 g/kg), 땅콩 (257.80 g/kg), 감귤 (182.29 g/kg), 벼 159.17 g/kg, 마늘 (154.66 g/kg) 등의 순으로 나타났으며, 가스상 물질이 가장 낮게 배출된 것은 초본 식물로 65.45 g/kg이었다. 한 가지 특이한 점은 수박 및 양파의 경우 가스상 물질의 배출계수가 높을 뿐만 아니라 NH<sub>3</sub>의 농도가 수박 36.04 g/kg, 양파 4.90 g/kg으로 다른 작물에 비해 10~300배 이상 높은 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 수박 및 양파 시료 표면에 함유된 비료 성분의 영향으로 인한 결과로 판단된다. 실제 수박 및 양파 시료의 표면은 그림 42에서와 같이 시료 표면에 흰 가루가 다량으로 함유되어 있었으며, 수박 시료의 경우 표면 흰 가루를 증류수에 용해시켜 이온 성분을 측정하였을 때 K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub> 등의 비료 성분이 10~30 mg/g 이상으로 고농도로 나타났다. 이러한 결과는 농촌 지역 작물 연소에 사용되는 비료가 큰 영향을 미치는 것을 나타내는 결과로 농업 부산물에 잔류하는 비료 및 퇴비 성분은 연소 과정에서 대기에 악영향을 미칠 수 있음을 시사하고 있다.

시료 표면에 이물질이 다량 함유된 시료(수박 및 양파)



시료 표면에 이물질이 없는 시료(감귤, 벼, 보리, 마늘)



그림 42. 연소 시험 시료의 표면 이물질

표 96. 농업 부산물 배출계수 결과 요약

단위 : g/kg

	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	Σ 9ions	Σ VOCs	Σ PAHs
옥수수	5.25	5.15	5.09	134.62	0.6205	0.2130	0.1277	0.2582	0.0210	0.0046
땅콩	15.02	10.90	8.89	256.04	1.3262	0.2657	0.1701	0.1340	0.0085	0.0117
초본 식물	17.92	16.54	11.12	88.92	0.5960	0.0433	0.2331	0.1086	0.0020	0.0670
벼	12.58	12.48	11.69	158.12	0.3193	0.4138	0.3193	0.1321	0.0081	0.1204
보리	3.75	3.70	3.56	65.24	0.1145	0.0256	0.0720	0.0762	0.0050	0.0078
수박	12.42	11.57	10.47	257.07	4.1963	0.1343	36.0359	0.7567	0.0165	0.0041
양파	0.98	0.94	0.83	374.48	0.9999	0.0066	4.8988	0.0156	0.0014	0.0018
마늘	4.92	3.98	3.34	153.97	0.4020	0.1439	0.1454	0.1075	0.0034	0.0058
감나무	15.90	15.56	13.01	121.99	1.9926	0.2601	0.1597	0.1136	0.0120	0.0385
감귤 (잎)	0.60	0.58	0.56	180.66	1.1064	0.3871	0.1373	0.0384	0.0013	0.0055
고구마	0.52	0.52	0.47	121.99	0.7233	0.1828	0.4090	0.0098	0.0006	0.0004

PM<sub>2.5</sub> 내 함유된 이온상 성분의 평균 농도는 Cl (0.0514 g/kg), K<sup>+</sup> (0.0427 g/kg), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0.0210 g/kg), SO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (0.0172 g/kg) 등의 순으로 나타나 비료의 주요소인 N, K 성분과 염분 등이 높은 것으로 확인되었다. 작물 특성별로 살펴볼 경우 수박 (0.7567 g/kg), 옥수수 (0.2582 g/kg), 땅콩 (0.134 g/kg), 벼 (0.1321 g/kg)의 순으로 나타났다. PM<sub>2.5</sub> 내 함유된 PAHs를 살펴보면 평균 0.02 g/kg의 농도를 가지고 있었으며, 주요 PAHs 성분은 pyrene, biphenyl, acenaphene, fluorene, fluoranthene 등으로 벤젠고리가 3~4개인 성분이 높게 나타났다. 반면 벤젠고리가 5 이상인 indeno[1,2,3-cd]pyrene, benzo[a]pyrene, chrysene 등은 비교적 낮은 농도로 검출되었다. 벤젠고리의 수는 PAHs의 존재 상태를 나타낼 수 있는데, 벤젠고리 수가 2~4개인 물질은 기체나 고체에 흡착된 형태로, 5개 이상은 주로 고체에 흡착된 형태로 환경 중에 존재한다. 따라서 농업 부산물 연소에서 배출되는 PAHs물질은 주로 기체나 고체에 흡착된 형태로 존재하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 농업 부산물 연소로 인해 배출되는 PAHs가 비교적 넓은 범위에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 연소 과정에서 배출되는 VOCs의 평균 농도는 0.02 g/kg으로 확인되었으며, 주요 VOCs 물질은 benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, acylonitrile 등으로 확인되었으며, 이들 물질이 분석된 전체 31개의 VOCs의 약 70%를 차지하고 있었다. 특히 benzene은 작물에 따라 차이가 있지만 일부 작물에서는 전체 VOCs의 50~70%를 차지하고 있었으며, benzene가 가지는 위해성을 생각했을 때 각별한 관리가 필요할 것으로 판단하였다.

연소 시험에 의해 11개 작물의 배출계수를 확인한 결과 분석 항목별 배출계수는 각 작물

에 따라 다양한 결과가 나타났으며, 재배 형태, 작물의 경질도, 품종의 유사성에 대한 상관성은 확인되지 않았다. 세부적으로 PM 배출량은 최소 최대 편차가 약 30배 이상, 가스상 물질은 약 100배 이상 차이가 나타났으며, PM에 함유된 이온상 및 PAHs 역시 작물 특성의 유사성과 상관없이 다양하게 나타났다. 즉, 농업 부산물 연소는 작물 종류에 따라 개별적인 배출계수를 가지고 있었으며, 한 가지 작물을 기준으로 다른 작물의 배출 계수를 추정할 수 없다는 결론을 얻었다. 분석 항목에 대한 11개 작물의 배출계수는 다음의 표에 세부적으로 제시하였다.

○ 옥수수

표 97. 옥수수 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
5.2500	5.1461	5.0940	3.7249	0.0309	0.0771	0.0046	0.0065
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.1494	0.0024	0.0161	0.0069	0.0567	0.0195	0.0000	0.0008

Gas Components					
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs
134.6156	0.2130	0.1277	0.6205	0.0000	0.0211

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.000193	0.000420	0.000238	N.D	N.D	N.D
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi]fluoranthene	Benzo[c]phenanthrene
N.D	N.D	0.000332	0.001522	0.000292	0.000367
Benz[a]anthracene	Cyclopenta[cd]pyrene	Chrysene	Benzo[b]fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3-cd]pyrene
0.000340	0.000155	0.000267	0.000280	0.000112	0.000088

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroethane	Chloroform	1,2-Dichloroethane	1,1,1-Trichloroethane	Benzene
0.001200	0.000014	0.000037	0.000072	0.000011	0.014483
Carbon tetrachloride	Trichloroethylene	Toluene	Tetrachloroethylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000020	0.000009	0.001642	0.000004	0.000011	0.000504
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3-butadiene	1,2,4-Trichlorobenzene
0.000499	0.001377	0.000266	0.000051	0.000019	0.000018
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobenzene	tert-Butylbenzene	sec-Butylbenzene	1,3-DiChlorobenzene
0.000428	0.000062	0.000016	0.000021	0.000015	0.000014
Isopropylbenzene	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobenzene	1,3,5-Trimethylbenzene	p-Isopropylbenzene	1,2,4-Trimethylbenzene
0.000022	0.000019	0.000014	0.000029	0.000032	0.000064
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000086					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 땅콩

표 98. 땅콩 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
15.0243	10.9016	8.8927	8.9732	0.0276	0.0789	0.0117	0.0270
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.0086	0.0020	0.0373	0.0007	0.0259	0.0222	0.0042	0.0061

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
256.0408	0.2657	0.1701	1.3262	0.0000	0.0085	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.000094	0.001195	0.000168	0.000365	0.000005	0.000005
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
0.000004	0.000008	0.000267	0.008355	0.000119	0.000415
Benz[a]antra- -cene	Cyclopenta[cd] -pyrene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3- -cd]pyrene
0.000167	0.000072	0.000129	0.000172	0.000075	0.000057

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet- -hane	Chloroform	1,2-Dichloroet- -hane	1,1,1-Trichloro- -ethane	Benzene
0.000567	0.000007	0.000007	0.000032	0.000005	0.001909
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle- -ne	Toluene	Tetrachloroeth- -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000006	0.000004	0.001392	0.000003	0.000007	0.001086
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3- -butadiene	1,2,4-Trichloro benzene
0.000745	0.000855	0.000438	0.000088	0.000009	0.000009
Naphthalene	n-Butylbenzen- -e	1,4-DiChlorobe- -nzene	tert-Butylbenz- -ene	sec-Butylbenz- -ene	1,3-DiChlorobe- -nzene
0.000270	0.000104	0.000008	0.000042	0.000016	0.000007
Isopropylbenze- -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe- -nzene	1,3,5-Trimethy lbenzene	p-Isopropylben- -zene	1,2,4-Trimethy lbenzene
0.000025	0.000313	0.000007	0.000057	0.000044	0.000164
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000239					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 논, 밭두렁 주변 초본 식물

표 99. 논, 밭두렁 주변 초본 식물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
17.9229	16.5363	11.1159	6.2612	0.0262	0.5824	0.067	0.0417
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.0057	0.0007	0.0155	0.0029	0.0181	0.004	0.0067	0.0133

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
88.9221	0.0433	0.2331	0.5960	0.0000	0.0020	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.000466	0.000998	0.002415	0.038515	0.000002	0.000002
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
0.000002	N.D	0.003155	0.010644	0.001221	0.002603
Benz[a]anthra- -cene	Cyclopenta[cd] py-rene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyren- e	Indeno[1,2,3- -cd]pyrene
0.001360	0.001199	0.000779	0.003270	0.000356	0.000052

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet- -hane	Chloroform	1,2-Dichloroet- -hane	1,1,1-Trichloro- -ethane	Benzene
0.000092	0.000008	0.000026	0.000025	0.000006	0.000914
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle- -ne	Toluene	Tetrachloroeth- -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000016	0.000006	0.000256	0.000002	0.000006	0.000087
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3- -butadiene	1,2,4-Trichloro- -benzene
0.000166	0.000075	0.000064	0.000016	0.000011	0.000010
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobe- -nzene	tert-Butylbenz- -ene	sec-Butylbenz- -ene	1,3-DiChlorobe- -nzene
0.000050	0.000024	0.000009	0.000011	0.000007	0.000008
Isopropylbenze- -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe- -nzene	1,3,5-Trimethy- -lbenzene	p-Isopropylben- -zene	1,2,4-Trimethy- -lbenzene
0.000007	0.000029	0.000008	0.000017	0.000011	0.000027
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000025					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 벼

표 100. 벼 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
12.5788	12.4830	11.6947	6.7022	0.0408	0.5304	0.1204	0.0494
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.0206	0.0010	0.0213	0.0013	0.0217	0.0064	0.0029	0.0075

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
158.1172	0.4138	0.3193	0.3193	0.0000	0.0081	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.0002	0.0361	0.0490	0.0012	0.0000	0.0000
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
0.0000	0.0000	0.0114	0.0078	0.0023	0.0053
Benz[a]anthra- -cene	Cyclopenta[cd] pyrene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3 -cd]pyrene
0.0044	0.0008	0.0007	0.0005	0.0007	0.0000

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet- -hane	Chloroform	1,2-Dichloroet- -hane	1,1,1-Trichloro- -ethane	Benzene
0.000578	0.000009	0.000016	0.000084	0.000007	0.002864
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle- -ne	Toluene	Tetrachloroeth- -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000010	0.000006	0.001051	0.000003	0.000008	0.000365
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3- -butadiene	1,2,4-Trichloro benzene
0.000787	0.000492	0.000302	0.000024	0.000013	0.000011
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobe- -nzene	tert-Butylbenz- -ene	sec-Butylbenze- -ne	1,3-DiChlorobe- -nzene
0.000734	0.000129	0.000011	0.000045	0.000019	0.000010
Isopropylbenze- -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe- -nzene	1,3,5-Trimethy lbenzene	p-Isopropylben- -zene	1,2,4-Trimethy lbenzene
0.000052	0.000014	0.000010	0.000072	0.000054	0.000189
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000179					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 보리

표 101. 보리 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
3.7535	3.6983	3.5611	1.5910	0.0101	0.0402	0.0078	0.0136
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.0222	0.0000	0.0049	0.0018	0.0054	0.0222	0.0008	0.0053

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
65.2383	0.0256	0.0720	0.1105	0.0040	0.0051	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.000046	0.000068	0.002722	0.002998	0.000001	0.000001
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
N.D	0.000003	0.000918	N.D	0.000205	0.000389
Benz[a]antra- -cene	Cyclopenta[cd] pyrene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3- -cd]pyrene
0.000117	0.000076	0.000029	0.000139	0.000043	N.D

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet- -hane	Chloroform	1,2-Dichloroet- -hane	1,1,1-Trichloro- -ethane	Benzene
0.000639	0.000003	0.000008	0.000014	0.000002	0.001889
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle- -ne	Toluene	Tetrachloroeth- -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000004	0.000002	0.000652	0.000001	0.000002	0.000294
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3- -butadiene	1,2,4-Trichloro benzene
0.000456	0.000426	0.000165	0.000030	0.000004	0.000004
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobe- -nzene	tert-Butylbenz- -ene	sec-Butylbenz- -ene	1,3-DiChlorobe- -nzene
0.000190	0.000029	0.000003	0.000030	0.000005	0.000003
Isopropylbenze- -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe- -nzene	1,3,5-Trimethy lbenzene	p-Isopropylben- -zene	1,2,4-Trimethy lbenzene
0.000006	0.000008	0.000003	0.000023	0.000016	0.000074
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000065					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 수박

표 102. 수박 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
12.4214	11.5719	10.4745	5.3076	0.4953	0.1561	0.0041	0.0129
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.2711	0.0101	0.0603	0.0070	0.0541	0.3268	0.0068	0.0076

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
257.0690	0.1343	36.0359	4.1963	0.0000	0.0165	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.000157	0.001184	0.000204	N.D	0.000007	0.000007
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
0.000004	0.000013	0.000228	0.001172	0.000151	0.000408
Benz[a]anthra- -cene	Cyclopenta[cd] pyrene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3- -cd]pyrene
0.000190	0.000069	N.D	0.000213	0.000116	N.D

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet- -hane	Chloroform	1,2-Dichloroet- -hane	1,1,1-Trichloro- -ethane	Benzene
0.001502	0.000012	0.000027	0.000079	0.000010	0.009067
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle- -ne	Toluene	Tetrachloroeth- -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000022	0.000008	0.001780	0.000004	0.000010	0.000603
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3- -butadiene	1,2,4-Trichloro benzene
0.000783	0.000916	0.000410	0.000077	0.000016	0.000015
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobe- -nzene	tert-Butylbenz- -ene	sec-Butylbenz- -ene	1,3-DiChlorobe- -nzene
0.000503	0.000069	0.000014	0.000029	0.000014	0.000013
Isopropylbenze- -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe- -nzene	1,3,5-Trimethy lbenzene	p-Isopropylben- -zene	1,2,4-Trimethy lbenzene
0.000022	0.000157	0.000013	0.000049	0.000045	0.000132
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000123					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 양과

표 103. 양과 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
0.9842	0.9412	0.8264	0.5463	0.0042	0.0044	0.0018	0.0010
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.0035	0.0000	0.0032	0.0005	0.0016	0.0048	0.0003	0.0006

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
374.4812	0.0066	4.8988	0.9999	0.0000	0.0014	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.000018	0.000794	0.000092	0.000226	0.000001	0.000001
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
0.000001	0.000002	0.000040	0.000273	0.000043	0.000120
Benz[a]anthra- -cene	Cyclopenta[cd] pyrene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3- -cd]pyrene
0.000066	0.000031	0.000009	0.000033	0.000012	N.D

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet h-ane	Chloroform	1,2-Dichloroet h-ane	1,1,1-Trichloro- -ethane	Benzene
0.000098	0.000001	0.000001	0.000004	0.000001	0.000239
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle- -ne	Toluene	Tetrachloroeth- -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000001	0.000001	0.000201	N.D	0.000002	0.000163
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3- -butadiene	1,2,4-Trichloro benzene
0.000177	0.000156	0.000077	0.000006	0.000002	0.000002
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobe- -nzene	tert-Butylbenz- -ene	sec-Butylbenz- -ene	1,3-DiChlorobe- -nzene
0.000055	0.000020	0.000001	0.000005	0.000003	0.000001
Isopropylbenze- -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe- -nzene	1,3,5-Trimethy lbenzene	p-Isopropylben- -zene	1,2,4-Trimethy lbenzene
0.000005	0.000046	0.000001	0.000011	0.000006	0.000030
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000035					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 마늘

표 104. 마늘 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
4.9163	3.9755	3.3392	2.1254	0.0158	0.0307	0.0058	0.0031
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.0528	0.0003	0.0117	0.0008	0.0092	0.0289	0.0001	0.0005

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
153.9702	0.1439	0.1454	0.4020	0.0000	0.0034	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio -phene
0.000195	0.001842	0.000260	N.D	0.000001	0.000001
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
0.000002	0.000009	0.000561	0.000992	0.000154	0.000598
Benz[a]anthra -cene	Cyclopenta[cd] pyrene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3 -cd]pyrene
0.000126	0.000206	0.000382	0.000287	0.000096	0.000065

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet -hane	Chloroform	1,2-Dichloroet -hane	1,1,1-Trichloro -ethane	Benzene
0.000281	0.000009	0.000013	0.000080	0.000007	0.001135
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle -ne	Toluene	Tetrachloroeth -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000012	0.000005	0.000514	0.000003	0.000005	0.000139
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3 -butadiene	1,2,4-Trichloro benzene
0.000309	0.000189	0.000116	0.000042	0.000012	0.000011
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobe -nzene	tert-Butylbenz -ene	sec-Butylbenz -ene	1,3-DiChlorobe -nzene
0.000197	0.000097	0.000010	0.000021	0.000009	0.000009
Isopropylbenze -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe -nzene	1,3,5-Trimethy lbenzene	p-Isopropylben -zene	1,2,4-Trimethy lbenzene
0.000016	0.000012	0.000009	0.000024	0.000013	0.000052
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000067					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 감나무

표 105. 감나무 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
15.8950	15.5576	13.0072	5.5133	0.0236	0.2179	0.0385	0.0297
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.0113	0.0015	0.0121	0.0011	0.0329	0.0224	0.0004	0.0022

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
121.8698	0.2601	0.1597	1.9740	0.0186	0.0120	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.000153	0.000761	0.000587	0.021884	N.D	N.D
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
N.D	N.D	0.004123	0.005897	0.000474	0.000671
Benz[a]antra- -cene	Cyclopenta[cd] pyrene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3- -cd]pyrene
0.000191	0.000315	0.000731	N.D	0.002530	0.000219

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet- -hane	Chloroform	1,2-Dichloroet- -hane	1,1,1-Trichloro- -ethane	Benzene
0.001116	0.000010	0.000007	0.000029	0.000005	0.004637
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle- -ne	Toluene	Tetrachloroeth- -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000007	0.000004	0.001312	0.000002	0.000008	0.000908
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3- -butadiene	1,2,4-Trichloro benzene
0.000819	0.001205	0.000413	0.000077	0.000010	0.000009
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobe- -nzene	tert-Butylbenz- -ene	sec-Butylbenz- -ene	1,3-DiChlorobe- -nzene
0.000665	0.000081	0.000008	0.000049	0.000012	0.000007
Isopropylbenze- -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe- -nzene	1,3,5-Trimethy lbenzene	p-Isopropylben- -zene	1,2,4-Trimethy lbenzene
0.000021	0.000224	0.000007	0.000040	0.000044	0.000120
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000172					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 감귤

표 106. 감귤 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
0.6008	0.5773	0.5606	0.3799	0.0068	0.0122	0.0055	0.0002
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.0159	0.0004	0.0047	0.0025	0.0033	0.115	0.0000	0.0000

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
180.6586	0.3871	0.1373	1.1064	0.0000	0.0013	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.000083	0.000559	0.000144	0.000378	N.D	N.D
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
N.D	0.000001	0.000893	0.002057	0.000158	0.000333
Benz[a]anthra- -cene	Cyclopenta[cd] pyrene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3 -cd]pyrene
0.000234	0.000153	0.000280	0.000121	0.000043	0.000068

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet- -hane	Chloroform	1,2-Dichloroet- -hane	1,1,1-Trichloro- -ethane	Benzene
0.000093	0.000006	0.000018	0.000022	0.000005	0.000496
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle- -ne	Toluene	Tetrachloroeth- -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000009	0.000005	0.000165	0.000002	0.000002	0.000056
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3- -butadiene	1,2,4-Trichloro benzene
0.000143	0.000048	0.000051	0.000009	0.000009	0.000008
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobe- -nzene	tert-Butylbenz- -ene	sec-Butylbenze- -ne	1,3-DiChlorobe- -nzene
0.000018	0.000015	0.000007	0.000009	0.000006	0.000006
Isopropylbenze- -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe- -nzene	1,3,5-Trimethy lbenzene	p-Isopropylben- -zene	1,2,4-Trimethy lbenzene
0.000006	0.000005	0.000006	0.000012	0.000008	0.000020
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000018					

ND : 0.000001 g/kg 이하

○ 고구마

표 107. 고구마 부산물 연소에 따른 배출계수 측정 결과 (단위 g/kg)

PM Components							
TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	Levo glucosan	Σ PAHs	F <sup>-</sup>
0.5241	0.5208	0.4668	0.3558	0.0015	0.0047	0.0004	0.0003
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.0042	0.0001	0.0020	0.0004	0.0017	0.0011	0.0000	0.0000

Gas Components						
CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	Σ VOCs	
121.9905	0.1828	0.4090	0.7233	0.0000	0.0006	

PAHs					
Naphtalene	Biphenyl	Acenaphthylene	Acenaphene	Fluorene	Dibenzothio- -phene
0.000008	0.000024	0.000012	N.D	N.D	N.D
Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[ghi] fluoranthene	Benzo[c] phenanthrene
N.D	N.D	0.000026	0.000227	0.000016	0.000014
Benz[a]anthra- -cene	Cyclopenta[cd] pyrene	Chrysene	Benzo[b] fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3 -cd]pyrene
0.000009	0.000005	0.000012	0.000011	0.000008	0.000004

VOCs					
Acrylonitrile	1,1-Dichloroet- hane	Chloroform	1,2-Dichloroet- hane	1,1,1-Trichloro- -ethane	Benzene
0.000082	0.000001	0.000001	0.000003	N.D	0.000302
Carbon tetrachloride	Trichloroethyle- -ne	Toluene	Tetrachloroeth- -ylene	Chlorobenzene	Ethylbenzene
0.000001	N.D	0.000066	N.D	N.D	0.000021
m&p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Bromobenzene	Hexachloro-1,3 -butadiene	1,2,4-Trichloro benzene
0.000020	0.000035	0.000008	0.000002	0.000001	0.000001
Naphthalene	n-Butylbenzene	1,4-DiChlorobe- -nzene	tert-Butylbenz- -ene	sec-Butylbenze- -ne	1,3-DiChlorobe- -nzene
0.000007	0.000002	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001
Isopropylbenze- -ne	2-Chlorotoluene	1,2-DiChlorobe- -nzene	1,3,5-Trimethy lbenzene	p-Isopropylben- -zene	1,2,4-Trimethy lbenzene
0.000001	0.000004	0.000001	0.000001	0.000001	0.000003
n-Propylbenzene & 4-Chlorotoluene					
0.000004					

ND : 0.000001 g/kg 이하

(3) 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정

① 농업 잔재물 소각에 의한 대기오염물질 배출량

○ 19개 세분류별 대기오염물질 배출량

- 2019년 통계청 자료를 기준으로 앞의 산정방식을 이용하여 8개 대기오염물질에 대한 배출량을 산출하였다.
- 대기오염물질별로 살펴보면 CO가 연간 146,414 ton으로 가장 높았으며, 휘발성유기오염물질, TSP 등의 순으로 나타났다.
- 작물의 중분류별로 보면 과수, 채소의 배출량 기여율이 가장 높았다. 과수 중에서는 사과, 배, 포도의 순으로 배출량 기여율이 높게 나타났으며, 채소에서는 소박, 양파, 고추의 순이었다.

표 108. 2019년 작물별 생산량을 기준 농업 잔재물 연소로 인한 대기오염물질 배출량(ton/yr)

구분	세분류	CO	NOx	SOx	VOC	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>
1	감	1,789	29	4	0	233	228	191	2
2	감귤	791	5	2	0	3	3	2	1
3	고구마	2,248	13	3	0	10	10	9	8
4	고추	14,156	339	0	2,758	1,779	665	544	0
5	논(논벼)	417	1	1	0	33	33	31	1
6	논밭(두렁)	1	0	0	0	0	0	0	0
7	들깨	14,674	426	0	2,687	3,342	1,261	1,060	0
8	땅콩	1,284	7	1	0	75	55	45	1
9	마늘	5,283	14	5	0	169	136	115	5
10	배	8,630	316	0	3,177	1,067	408	306	0
11	보리	3,370	6	1	0	194	191	184	4
12	복숭아	3,253	176	0	723	380	132	111	0
13	사과	18,725	1,328	0	45,298	2,937	2,417	2,150	1
14	수박	30,362	496	16	2	1,467	1,367	1,237	4,256
15	양파	28,183	75	0	0	74	71	62	369
16	옥수수	924	4	1	0	36	35	35	1
17	참깨	3,676	100	0	1,697	923	253	214	0
18	콩	2,486	97	0	369	405	161	136	0
19	포도	6,164	292	0	3,129	697	299	193	0
<b>계</b>		<b>146,414</b>	<b>3,724</b>	<b>35</b>	<b>59,840</b>	<b>13,824</b>	<b>7,725</b>	<b>6,624</b>	<b>4,649</b>

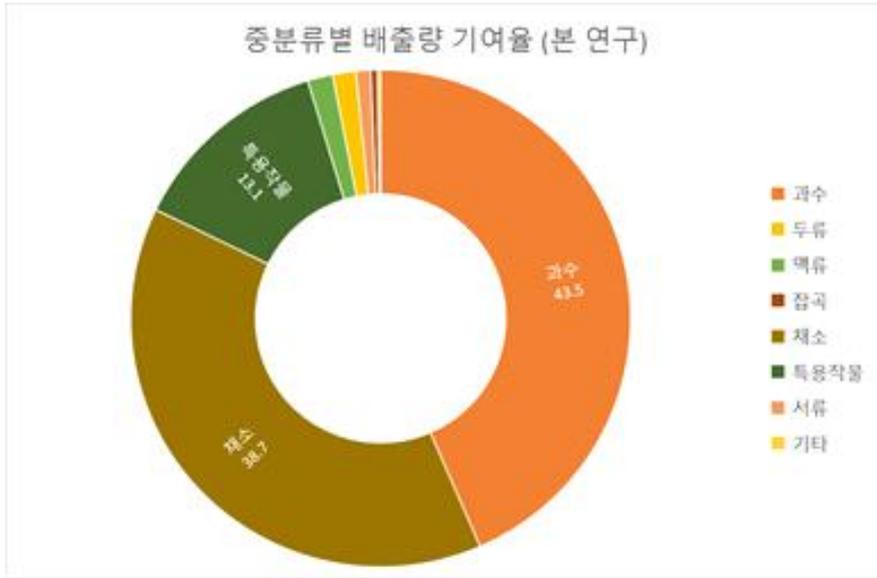


그림 43. 작물별 농업잔재물 소각에 의한 대기오염물질 배출량 기여율 비교

## ② CAPSS 배출량과 본 연구 결과의 비교

### ○ 2017년 CAPSS의 농업 잔재물 소각 배출량 자료와의 비교

- 국가미세먼지정보센터로부터 농업 잔재물 소각 배출량 자료(2017년)를 내려받아 정리하였다. 본 연구에서 산출한 배출량 결과와 비교 분석하였다.
- CAPSS 자료는 11개 세분류에 대한 배출량 자료를 제공하고 있으며, 본 연구에서는 19개 세분류에 대한 배출량을 산출하였다.
- 본 연구결과로 제시된 배출량은 암모니아를 제외한 모든 항목에서 CAPSS 자료 대비 낮은 것으로 나타났다. 8개 항목에 대한 총배출량은 CAPSS 대비 6.5% 낮게 나타났다. 앞서 말한 바와 같이 본 연구에서는 8개 세분류를 추가하여 산정하였음을 감안할 때 배출량의 감소 폭은 매우 크다고 볼 수 있다.
- 항목별로는 TSP, NO<sub>x</sub>가 가장 큰 차이를 나타냈다. NH<sub>3</sub>은 CAPSS 배출량 대비 매우 크게 나타났으며, 이는 일부 작물의 배출계수 산정을 위한 연소시험 조건 때문인 것으로 추정된다.

표 109. 본 연구 결과와 2017년 CAPSS의 항목별 배출량 비교

구 분	배출량 (ton/yr)								
	계	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>
CAPSS (2017)	259,651	152,427	5,634	-	62,729	22,079	9,150	7,627	5.1
본 과제 (2019)	242,837	146,414	3,724	35	59,840	13,824	7,725	6,624	4,649
증감(%)	<b>6.5</b>	3.9	33.90	-	4.60	37.4	15.6	13.1	-91.197

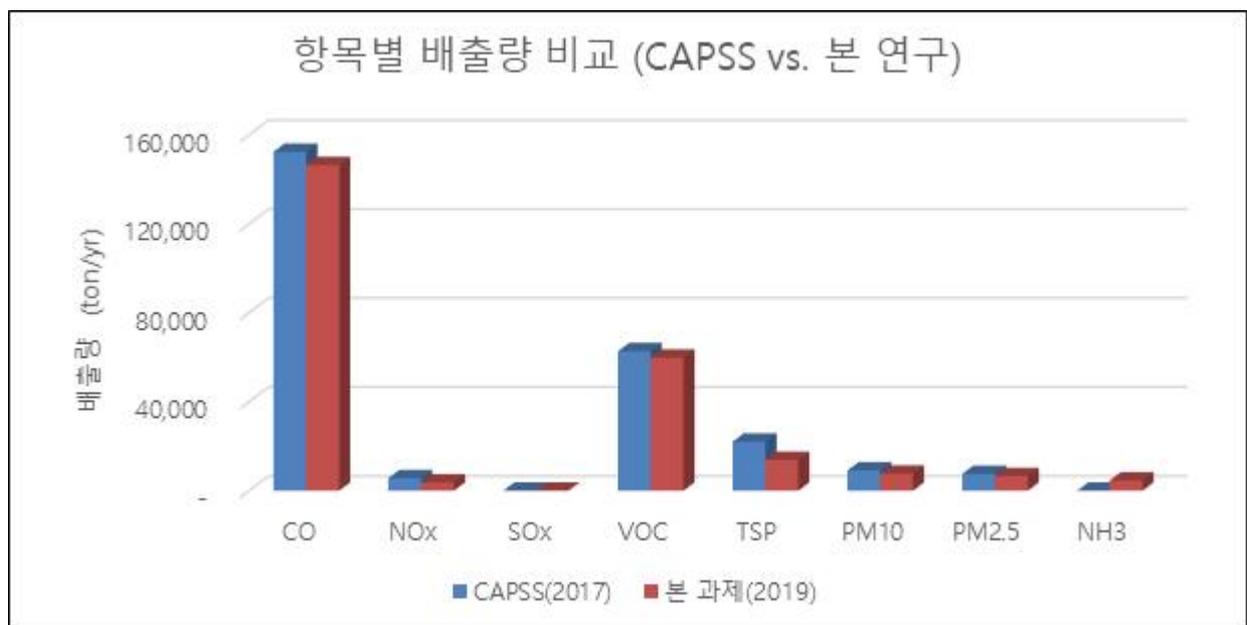


그림 44. 본 연구 결과와 2017년 CAPSS의 배출량 비교

○ 2017년 CAPSS의 농업 잔재물 소각 배출량 산정방법과의 차이점

- 2017년 CAPSS와 본 연구에서 사용한 배출량 산정방법의 차이는 크게 3가지이다.
- 첫 번째는 농업 잔재물 발생량 산정 방법이다. 앞서 말한 바와 같이 2014년 경기개발연구원의 농업 잔재물 발생량은 단위면적당 값을 사용하였으며, 이는 설문조사 또는 현장 실측 방법으로 조사된 것이다. 본 연구에서는 국립농업과학원에서 제시한 작물별 생산량 기준 농업 잔재물 발생량 추정 방식을 적용하였다. 아래에 나타난 바와 같이 본 연구에서 산출한 작물별 농업 잔재물 발생량은 배와 콩을 제외한 세분류 작물에서 더 큰 값을 보였다.



그림 45. 2014년 연구와 본연구의 작물별 농업 잔재물 발생량 비교

- 두 번째는 농업 잔재물의 소각비율이다. CAPSS에 적용된 작물별 소각비율은 2014년 경기개발연구원의 설문조사 결과를 반영한 것이다. 앞서 비교한 바와 같이, 본 연구에서 조사된 소각비율은 당시의 소각비율 대비 매우 낮게 조사되었다. 이는 조사 시기, 조사방법 등으로 인한 것으로 볼 수 있다. 다만, 앞서 비교 설명한 바와 같이 통계청이 매년 수행하는 농업 잔재물 처리 실태조사결과의 소각비율이 본 연구에서 조사한 소각비율과 매우 유사한 경향 및 값을 보인다. 본 연구에서 산출한 작물별 소각비율은 세분류 작물에서 더 작은 값을 보였다.

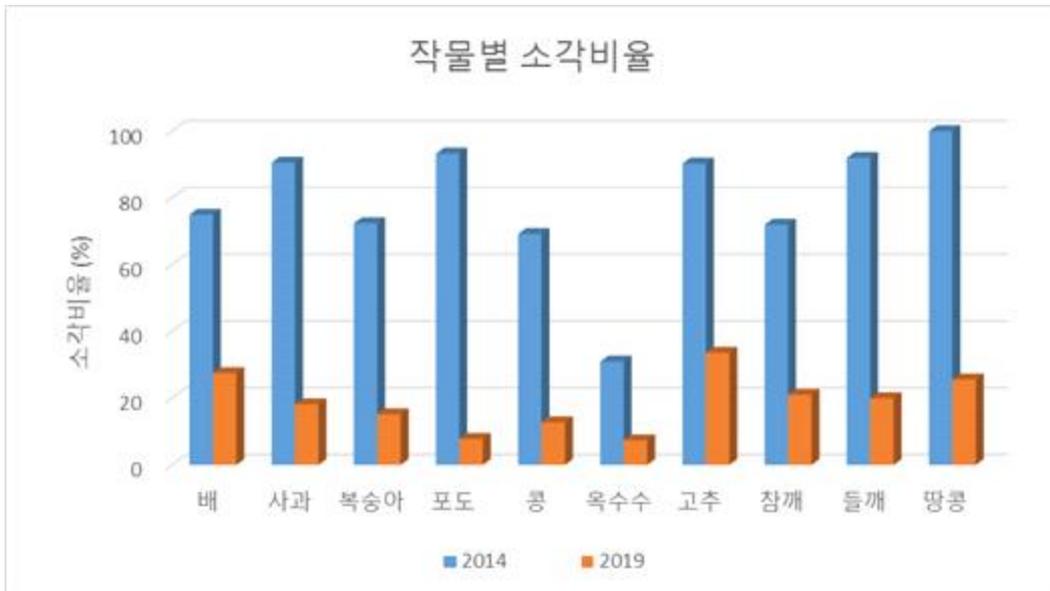


그림 46. 2014년 연구와 본연구의 작물별 농업 잔재물 소각비율 비교

- 세 번째는 배출계수의 적용이다. 본 연구에서는 실험실 내 연소설비를 구축하고 이를 활용하여 작물별 연소시험을 실시하였으며, 이 과정에서 실측을 통해 배출계수를 산출하였다. 배출계수는 연소시험의 조건, 시료의 상태 등에 의해 영향을 받을 수 있다.

#### (4) 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)

##### ① 기상모델 성능 분석

기상모델의 성능을 평가하기 위하여, 모델로부터 모의된 지표온도를 기상청 종관기상관측자료와 비교하였다. 관측망에서 관측된 자료는 1시간 간격으로 자료를 제공하고 있고, 일부자료는 누락되어 있으나, 2016년 대상지역 및 해당 기상변수의 포집율은 99% 이상으로 매우 높다. 그림 47은 서울, 춘천, 서산, 안동, 광주, 부산, 제주, 남해 지역에서 관측된 값과 모델에서 모의된 지표 기온의 시계열을 표시한 것으로, 여름철에 높고, 겨울철에 낮은 기온을 모델이 비교적 잘 모의하고 있는 것으로 판단된다 (각 지역별 ID 정보는 표 110 참조). 표 110에는 24개 모든 지역에 대한 보다 자세한 통계분석 결과를 제시하였다.

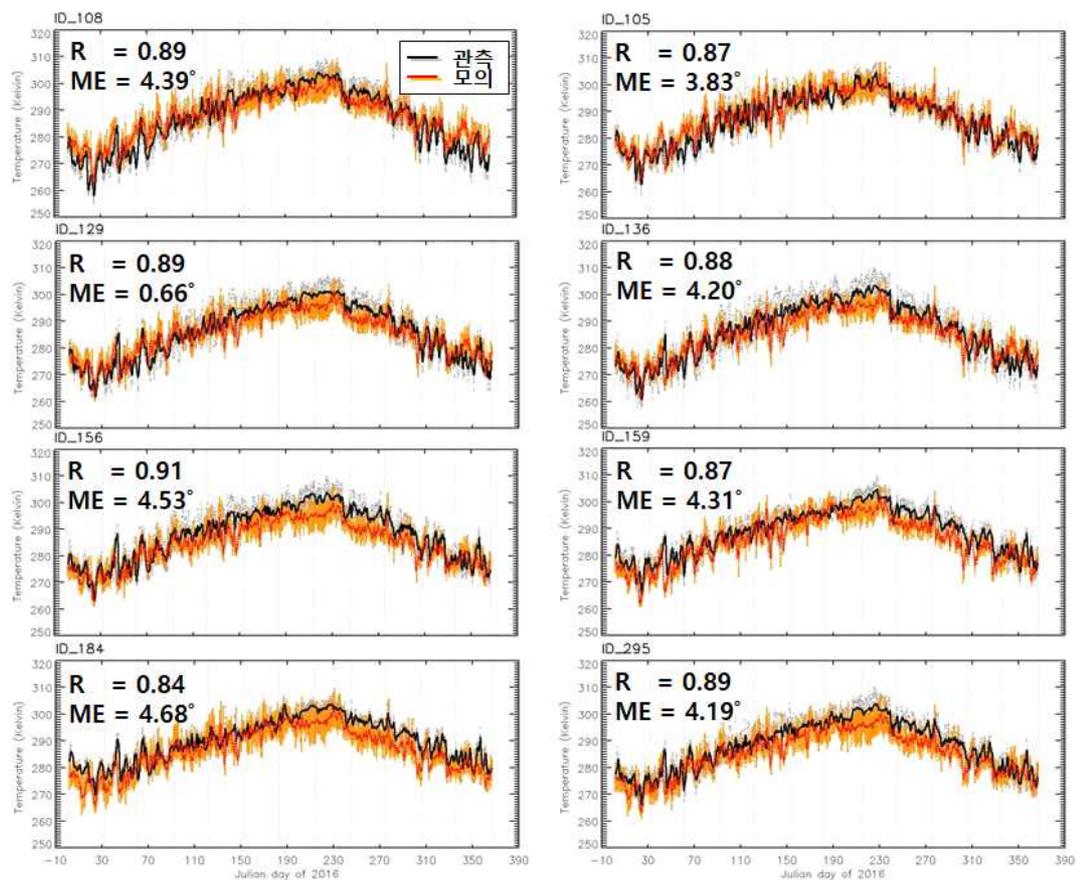


그림 47. 지표관측(검정색)과 모델모의(붉은색) 지표 온도의 연간 시계열 변화 (R: 상관성, ME: 평균에러)

표 110에 산출된 통계변수는 식 (4) - (8)에 정의된 바와 같이 상관계수, 절대에러, 상대에러, 절대바이어스, 상대바이어스이다. 앞서 기술한 바와 같이, 관측자료의 포집율이 99% 이상 높기 때문에 일부 누락된 자료는 무시하고, 해당 자료들의 통계값을 산출하였다. 24개 지점에 대한 상관성 (R)은 0.83 - 0.90로 나타났고, R이 1에 근접한 경우 높은 상관성을 의미하고, 반대로, 0에 가까울수록 관련성이 없음을 의미한다. 절대 바이어스의 경우, 대략적인 범위가  $-4.2^{\circ}$  에서  $1.95^{\circ}$  범위에 존재하고, 지역에 따라 모델값이 다소 과대 혹은 과소 모의하는 결과를 보이고 있다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (M - \bar{M})(O - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M - \bar{M})^2 \sum_{i=1}^N (O - \bar{O})^2}} \quad (4)$$

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |M - O| \quad (5)$$

$$NME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|M - O|}{O} \times 100 \quad (6)$$

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M - O) = \bar{M} - \bar{O} \quad (7)$$

$$MNB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{M - O}{O} \right) \times 100 \quad (8)$$

(M: 모델 모의된 값; O: 관측된 값)

표 110. 모델링 및 관측된 기온에 대한 관측지점별 통계분석 결과

번호	ID	도시	위도	경도	N data	R	ME (°)	NME (%)	MB (°)	NMB (%)
1	101	춘천	37.90	127.74	8775	0.89	4.64	1.62	1.88	0.66
2	105	강릉	37.75	128.89	8773	0.87	3.83	1.34	1.16	0.40
3	108	서울	37.57	126.97	8775	0.89	4.39	1.53	0.91	0.32
4	112	인천	37.48	126.62	8774	0.88	4.13	1.44	1.18	0.41
5	114	원주	37.34	127.95	8774	0.88	4.21	1.47	0.96	0.34
6	119	수원	37.26	126.98	8775	0.88	4.19	1.46	0.91	0.32
7	129	서산	36.78	126.49	8773	0.89	3.97	1.39	-0.66	-0.23
8	131	청주	36.64	127.44	8775	0.89	4.59	1.60	-2.36	-0.82
9	133	대전	36.37	128.65	8775	0.89	4.63	1.63	-2.54	-0.88
10	136	안동	36.57	128.71	8775	0.88	4.20	1.47	-1.21	-0.42
11	143	대구	35.88	128.65	8775	0.90	5.06	1.76	-4.18	-1.45
12	146	전주	35.84	127.12	8775	0.89	4.85	1.69	-3.67	-1.28
13	152	울산	35.58	129.33	8775	0.87	3.88	1.35	-2.16	-0.75
14	156	광주	35.17	126.89	8775	0.89	4.53	1.57	-3.21	-1.12
15	159	부산	35.10	126.89	8775	0.87	4.31	1.49	-3.05	-1.06
16	162	통영	34.85	128.44	8772	0.88	4.52	1.57	-3.63	-1.26
17	165	목포	34.82	126.38	8769	0.88	3.87	1.35	-1.88	-0.65
18	168	여수	34.74	127.74	8775	0.88	4.26	1.49	-3.11	-1.08
19	184	제주	33.51	126.53	8775	0.84	4.68	1.61	-0.34	-1.15
20	185	고산(제주)	33.29	126.16	8775	0.83	4.44	1.54	-2.55	-0.88
21	235	보령	36.33	126.56	8775	0.88	3.96	1.38	-1.34	-0.47
22	244	임실	35.61	127.29	8773	0.89	4.49	1.57	-1.84	-0.65
23	284	거창	35.67	127.91	8775	0.89	4.15	1.45	-2.06	-0.72
24	295	남해	34.82	127.93	8768	0.89	4.19	1.45	-2.94	-1.02

- N data: 자료수 (자료 미 누락 시 총 366\*24 = 8784개)
- ME: Mean Error (절대에러)
- NME: Normalized Mean Error (상대에러)
- R: 상관계수
- MB: Mean Bias (절대 바이어스)
- NMB: Normalized Mean Bias (상대 바이어스)

그림 48은 모델에서 모의한 월평균 지표 온도를 공간적으로 나타낸 것으로 월평균한 관측 자료와 함께 표출하였다. 전반적으로 관측 자료가 높게 나타나고 있으나 대체적으로 유사한 크기범위로 분포하고 있음을 알 수 있다.

최근 국내에서 발생하는 미세먼지 고농도 현상이 기후변화에 기인한 서풍의 감소로 인해 점차 빈번하게 발생되고 있음을 밝혀지고 있어, 풍속 및 풍향정보는 미세먼지를 포함하는 오염물질 농도변화를 파악하는데 반드시 고려되어야 할 요소 중의 하나가 된다. 그림 49에서는 월평균 바람 벡터의 공간적 분포를 시각화한 것이다.

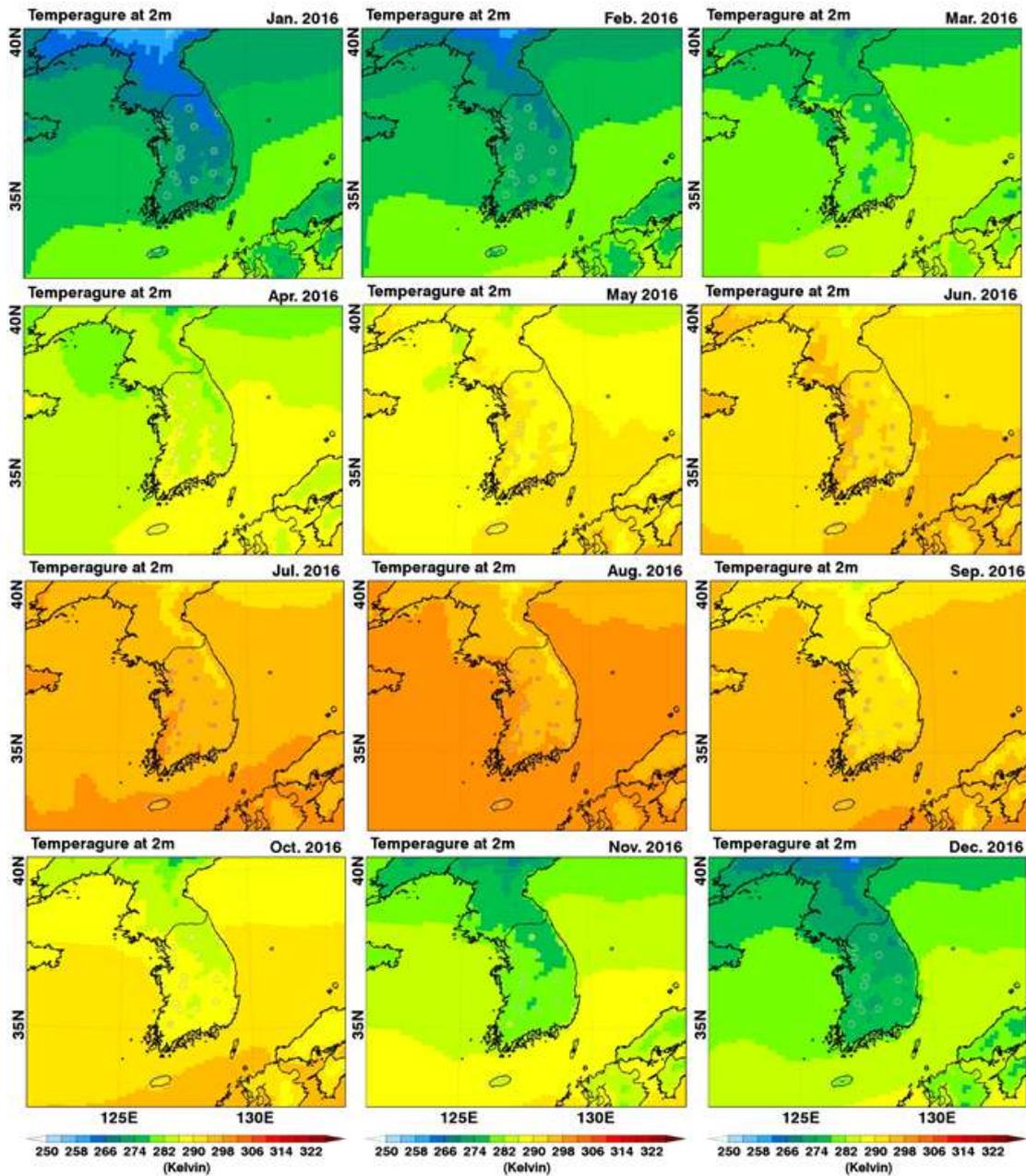


그림 48. 월평균 지표 온도의 공간적 분포와 24개 지점 지상 관측된 기온

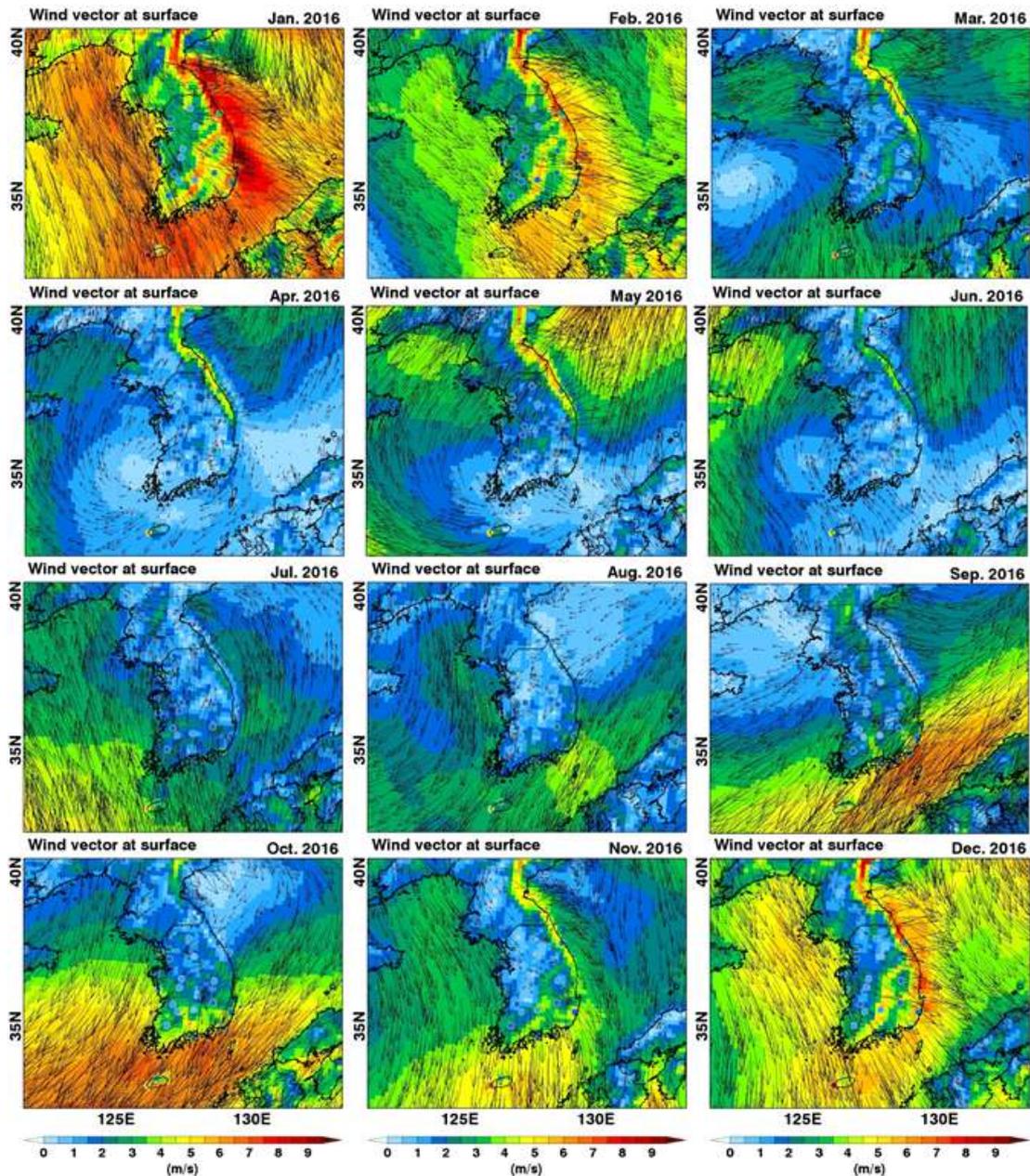


그림 49. 월평균 바람 벡터의 공간적 분포와 24개 지점 지상 관측된 평균 풍속

풍속은 가을 및 겨울철에 높은 값을 보이고, 여름철에 다소 낮은 값이 나타내고 있다. 공간적으로 해상에서 높게 나타나지만, 고도가 높은 산악지대에서도 10m/s 이상의 빠른 풍속을 보이기도 한다. 모델 모의된 풍속값은 지상관측된 평균 풍속과 대체적으로 유사한 크기 분포를 나타내고 있는 것으로 판단된다. 그림 49에서처럼 겨울철 바람은 오염물질의 배출량이 많은 중국으로부터 유입되는 북서풍이 주를 이루고 있고, (초)여름철의 경우, 남풍과 서풍계열의 바람이 주를 이루고 있다. 본 연구에서 수행된 지표기온과 바람벡터의 공간적 분포, 각종 통계분석 결과를 바탕으로, 기상모델이 관측값의 변화를 비교적 양호하게 모의하고 있는 것으로 판단된다.

## ② 농업 잔재물 소각으로 발생한 배출량 자료 분석

본 연구에서는 농업잔재물 소각으로부터 발생하는 배출량이 미세먼지에 미치는 영향을 파악하기 위해, 해당 배출량의 월변화 경향을 먼저 파악하였다. 그림 21에 나타난 바와 같이 농업잔재물 소각으로 인한 배출량은 오염물질별 공간분포에 따라 다소 차이가 나타난다. 그림 50은 해당 배출량 자료를 남한 전체를 대상으로 월변화 트렌드를 나타낸 것으로, 공간에 따른 차이뿐만 아니라 물질별 월별 차이도 크게 나타남을 알 수 있다. PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, EC 및 OC 등 입자상 물질의 경우, 주로 늦가을 및 겨울철(1, 2, 10, 11, 12월)에 높은 배출량을 나타낸다. 이에 반해 가스상 물질은 겨울철에도 일부 높은 값을 나타내지만, 6월에 가장 높다. 이러한 차이는 세분류된 과수 및 농작물에 대한 소각 배출계수와 해당 세분류 항목들의 작물 수확시기에 영향을 받는 것으로 추정된다.

그림 51은 인위적(+자연적+산불발생) 배출원(검정색 선)과 인위적 배출원에 농업 잔재물 소각에 대한 배출량을 합한 값(붉은색 선)을 함께 제시하였다.

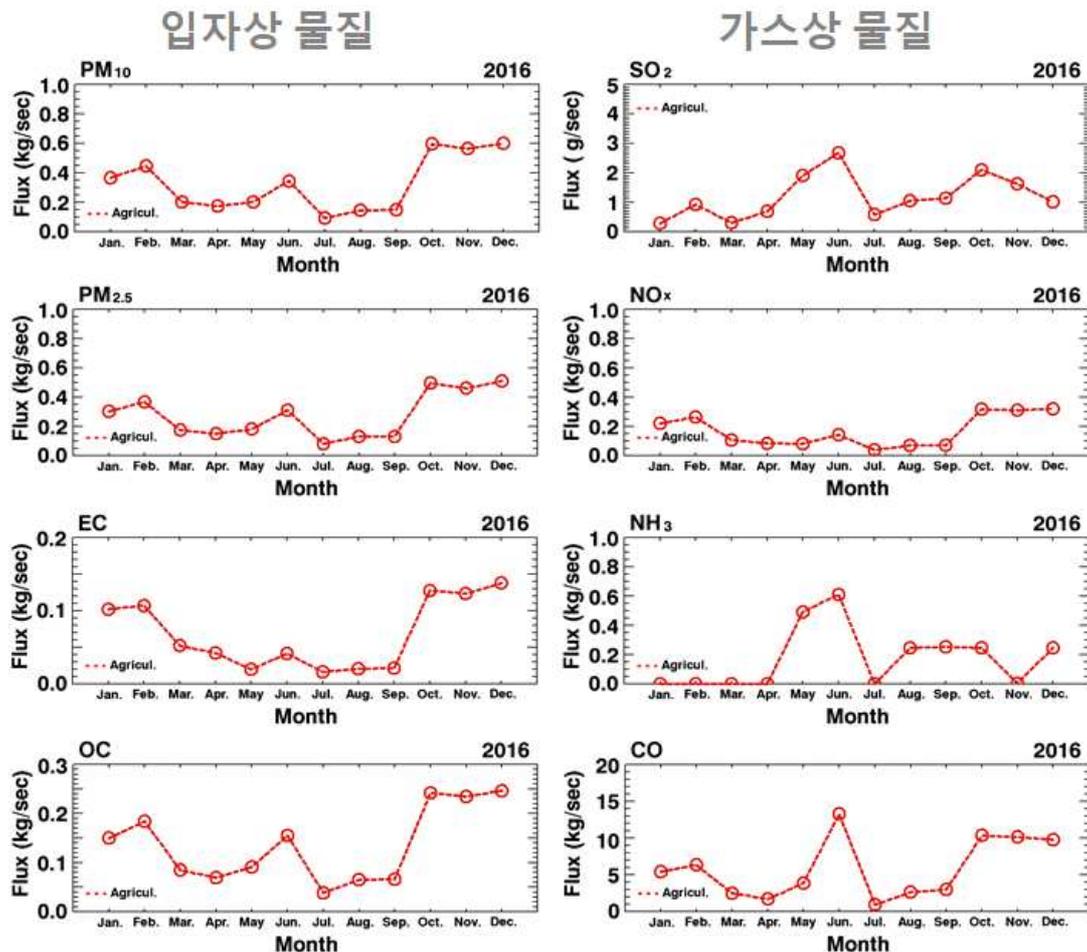


그림 50. 농업잔재물 소각에 따른 남한 지역 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, EC, OC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, CO 배출량의 월변화

농업잔재물 소각에 의한 배출량의 상대적 기여도는 물질마다 상당한 차이를 나타낸다. 예를 들어, 기체상 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, 및 NH<sub>3</sub>의 경우 ~1, ~2, ~6% 이내에서 미미한 정도의 기여도를

나타내는 반면 입자상 물질은 계절에 따라 최고 25% (EC, 12월)의 기여도를 나타낸다.

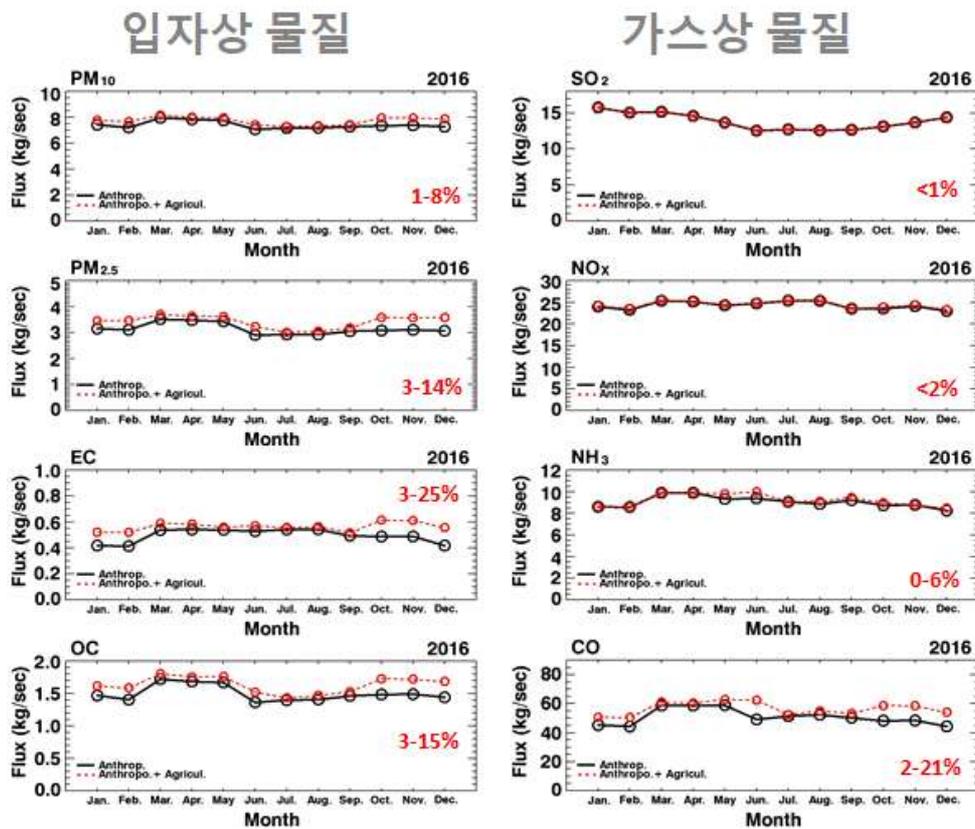


그림 51. 인위적(+자연적+산불발생) 배출량 (검정색)과 농업잔재물 소각에 따른 배출량을 합한 배출량 (붉은색)의 월별화. 자연적 및 산불발생 배출원은 그 배출량이 미미하여 인위적 배출원에 포함시켜 anthropo로 표기. 붉은색 숫자는 농업잔재물 소각의 월별 기여도 범위(%)

농업잔재물 소각으로 발생하는 EC의 배출량은 비교적 큰 기여도를 나타내지만, 그 배출량은 PM<sub>10</sub>이나 PM<sub>2.5</sub>에 비해 비교적 적고, PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>에 대한 기여도는 최고 ~8, ~14%를 나타낸다. 또한, 본 연구에서는 인위적(+자연적+산불발생) 배출원의 PM<sub>10</sub> 대비 PM<sub>2.5</sub> 비율 (PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>)과 농업 잔재물 소각 배출량의 비율을 월별로 파악하였다. 서로 다른 크기의 입자는 서로 다른 배출원에서 기인하기 때문에, 이 비율은 배출원의 출처를 파악하는데 널리 활용되어 왔다 (Xie et al., 2005; Chan and Yao, 2008; Zhao et al., 2019). 본 연구에서는 인위적 배출원에 대한 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>은 0.41 - 0.44 범위로 평균 0.42를 나타내었고, 농업 잔재물 소각 배출원의 경우 0.82 - 0.90 범위로 평균 0.85를 나타내어, 농업 잔재물 소각을 통해서 PM<sub>2.5</sub>가 상대적으로 많이 배출됨을 알 수 있다.

### ③ 대기화학 모델 성능 평가

본 연구에서는 대기화학 모델링의 성능을 평가하기 위하여, QA4ECV 알고리즘으로부터 산출된 OMI의 NO<sub>2</sub> 증적분 농도 (Vertical Column Density, VCD)를 모델로부터 모의된 NO<sub>2</sub> 증적분 농도 (molecule cm<sup>-2</sup>)와 상호 비교하였다. 모델 모의된 NO<sub>2</sub> 농도자료는 각 격자별 및 고도별 부피 농도 (ppm 혹은 ppb)가 제공되기 때문에, 모델 모의된 각 층별 NO<sub>2</sub> 농도를

molecules cm<sup>-3</sup>으로 전환 후 각 층별 높이를 곱하여, 대류권에 대한 대류권 층적분 농도가 산출된다 (식 9 - 식 11).

$$VCD = \frac{m_R(ppm)}{10^6} \times n_0 \quad (\text{단위: molecules cm}^{-3}) \quad \text{식 (9)}$$

$$n_0 = \frac{P}{R \cdot T} \quad \text{식 (10)}$$

$$VCD = \sum_{i=0}^{10km} \frac{m_R}{10^6} \times \frac{L_T \cdot P \cdot N_A}{R \cdot T} n_0 \quad \text{식 (11)}$$

$m_R$ ,  $n_0$ ,  $P$ ,  $R$ ,  $T$ ,  $L_T$ 는 NO<sub>2</sub> 농도, NO<sub>2</sub> molecules 수, 압력, 이상기체상수, 온도, 층별 고도이다. 한편, 모델링과 위성관측된 기체상 층적분 농도를 직접 비교하기 위해서는 averaging kernel (AK)를 고려하는 과정이 필요하다 (Boersma et al., 2011; Han et al., 2015). AK는 미량기체 수직 분포에 대한 위성 관측의 민감도로서, 고도별, 계절별에 따라 차이를 보인다. AK는 식 (12)로 정의되고, 식 (13)-식(14)을 통해 계산된다.

$$AK = \frac{\partial \tilde{x}}{\partial x} \quad \text{식 (12)}$$

$x$ 는 대기중 실제값 (참값)이고,  $\tilde{x}$ 는 위성으로부터 측정된 산출값이다.

$$\begin{aligned} \tilde{x} &= AK \cdot x + error \\ &= \frac{S}{M(x_a, b)} \end{aligned} \quad \text{식 (13)}$$

$$\begin{aligned} AK &= M(x_a, b)^{-1} \frac{\partial S}{\partial x} \\ &= M(x_a, b)^{-1} m \end{aligned} \quad \text{식 (14)}$$

$M$ 은 대기질량인자 (AMF),  $S$ 는 경사 층적분농도,  $x_a$ 는 가정된 NO<sub>2</sub> 분포,  $b$ 는 모델변수,  $m$ 은 산란가중치 (scattering weight) 이다. 그림 52의 첫 번째와 두 번째 열은 동아시아 지역을 대상으로 CMAQ 모델 모의된 NO<sub>2</sub> 층적분 농도 (첫번째 열)와 OMI 센서 관측된 농도 자료 (두번째 열)의 공간적 분포를 나타내는 것이고, 세 번째 열은 두 자료간 산포도를 나타낸 것이다. 도메인 평균 CMAQ 모델링의 NO<sub>2</sub> 층적분 농도는 봄, 여름, 가을, 겨울에 대해  $0.85 \times 10^{15}$ ,  $0.52 \times 10^{15}$ ,  $1.12 \times 10^{15}$ ,  $1.89 \times 10^{15}$  molecules cm<sup>-2</sup>으로 OMI 관측값 ( $2.15 \times 10^{15}$ ,  $1.61 \times 10^{15}$ ,  $2.15 \times 10^{15}$ ,  $2.87 \times 10^{15}$ )과 비교하여 낮게 모의하고 있다. 각 계절별 평균 바이어스 (MB, molecule cm<sup>-2</sup>)와 상대 바이어스 (NMB, %)는 세 번째 열에 각각 제시하였다. CMAQ 모델 낮게 모의하는 것은 입력자료인 NO<sub>x</sub> 배출량이 과소평가된 것으로 판단된다.

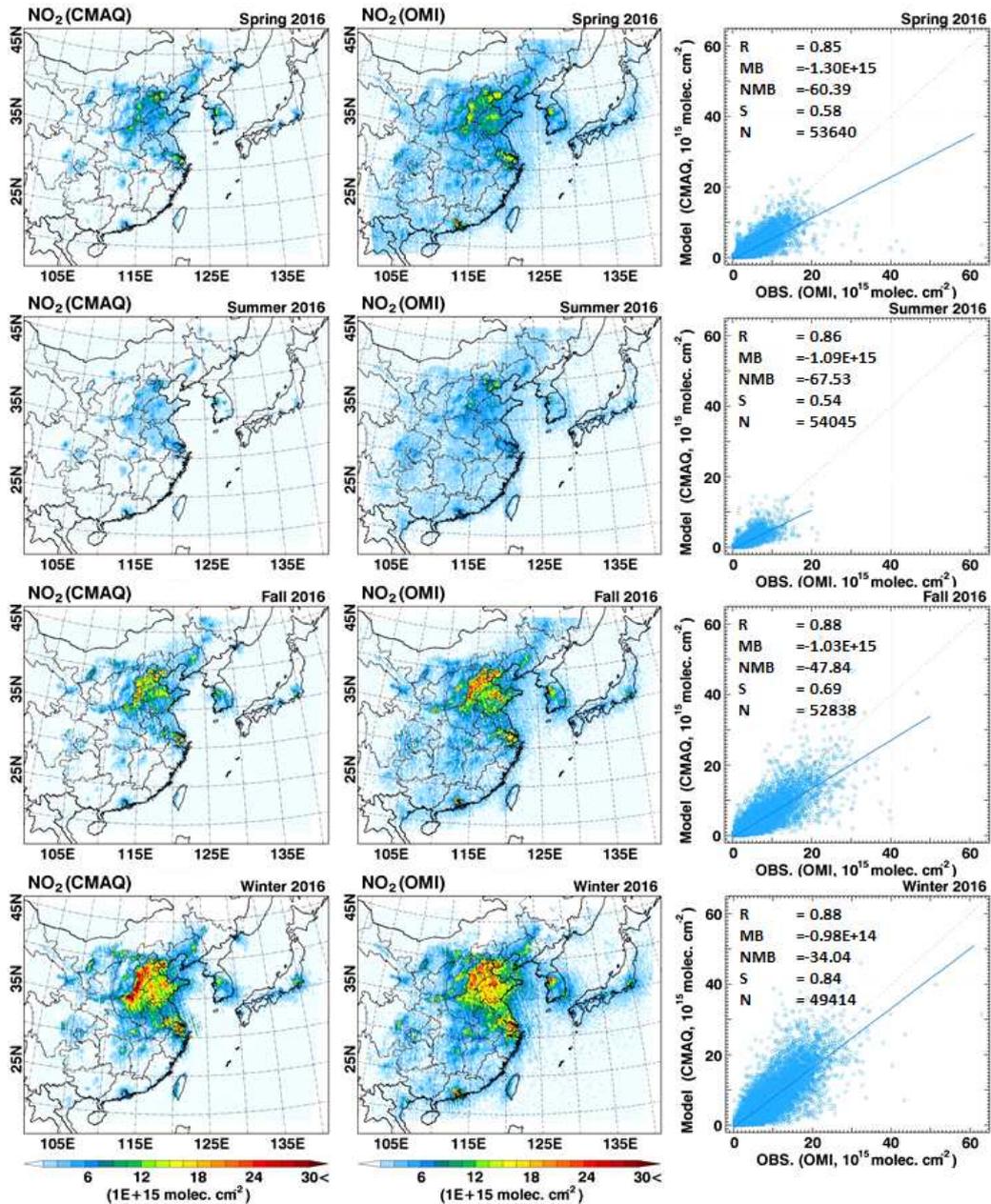


그림 52. 계절별 CMAQ 모의 (첫번째 열) 및 위성관측 (두번째 열) NO<sub>2</sub> 증적분 농도 및 두 자료간 산포도 및 통계분석 결과 (세번째 열) (R: 상관계수, MB: 평균 바이어스, NMB: 상대 바이어스, S: 두 자료간 기울기, N: 자료수)

KORUSv5 배출량 자료를 이용한 Oak et al. (2020)의 오존생성 효율 연구에 따르면, NO<sub>x</sub> 배출량의 50% 증가시키는 경우, 오존 생성특성을 가장 잘 모의하는 것으로 나타났고, 이 결과는 기존 KORUSv5 배출량이 과소평가됨을 의미하는 것이다. 그럼에도 불구하고, 상관계수 관점에서 모델 모의된 NO<sub>2</sub> 증적분 농도는 위성관측의 증적분 농도의 시공간적 변화를 대체적으로 잘 모의하고 있는 것으로 판단된다 (R = 0.85 - 0.88). 또한, 위성 및 모델 모의된 NO<sub>2</sub> 증적분 농도가 낮은 것은 특히, 여름철 고농도 OH라디칼과 NO<sub>2</sub>와의 반응을 통해 NO<sub>x</sub>가 화학적으로 활발하게 소멸되기 때문이다 (NO<sub>2</sub> + OH → HNO<sub>3</sub>).

본 연구에서는 위성관측 자료뿐만 아니라 지상관측자료와도 상호 비교를 통해 대기화학

모델의 성능을 검증·평가하였다. 분석대상 지역은 그림 24에 나타난 바와 같이 CEC, CEC2, SK 지역이고, 각 해당 지역 내에 자료를 산술평균하여 모델링 결과와 비교하였다. 모델링 자료 역시, 관측지점에 대응하는 모든 격자 (각각 120 - 130 여 픽셀)를 추출하여 평균하였다. 그림 53과 54은 CEC, CEC2, SK에서 관측 및 모의된 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 농도의 시계열과 각각의 산포도를 나타낸 것이다. 농도 시계열에서 지역간 비교를 쉽게 이해하기 위하여 Y축을 동일하게 설정하였다. PM<sub>10</sub> 농도는 CEC, CEC2, SK 모든 지역에서 대기화학 모델이 관측에 비해 각각 -50.8%, -27.5%, -38.7% 과소 모의하고 있으나, 두 자료의 상관성은 R= 0.53 - 0.77 범위에 분포하고 있다. SK 지역의 과소모의는 2016년 4월 및 5월 중국으로부터 유입되는 황사의 영향을 관측은 잘 포착하고 있는데 반해, 모델링에서는 황사 메커니즘을 고려하지 않았기 때문에 황사 발생을 적절히 모의하지 못한 것에 기인된 것이다. 황사는 PM<sub>10</sub> 농도에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (Chun et al., 2008).

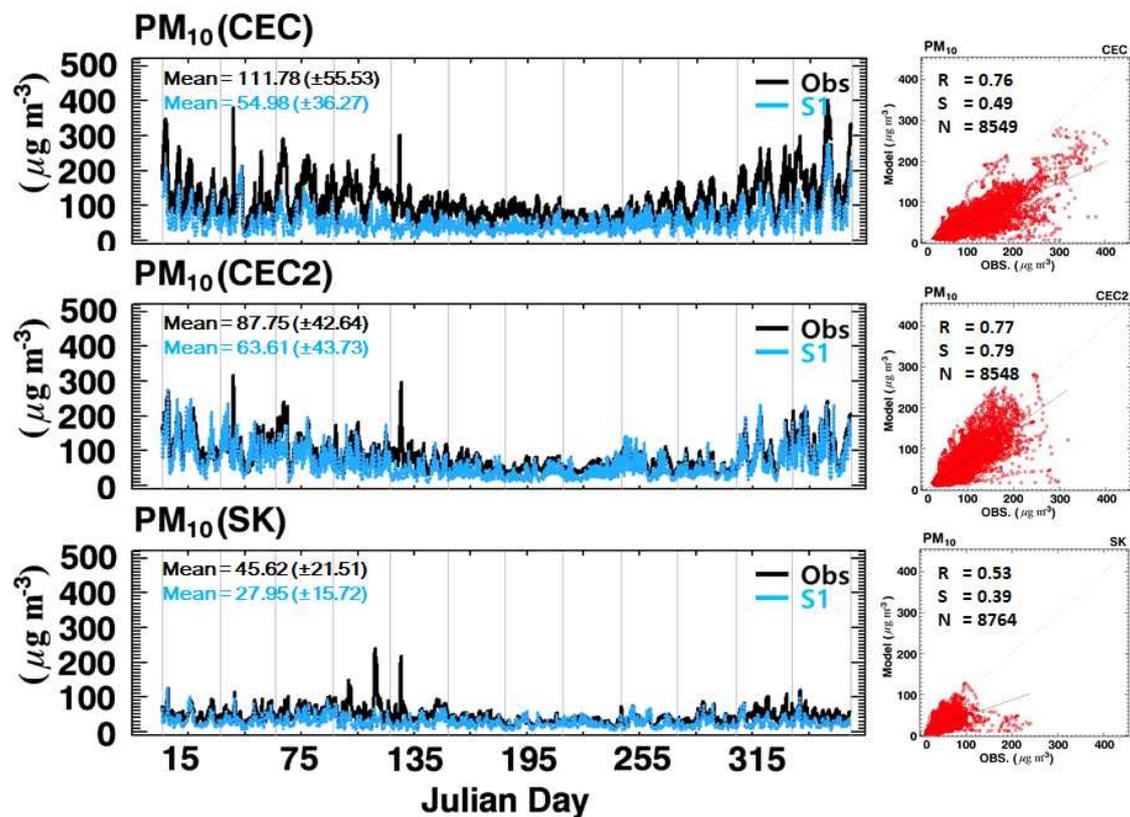


그림 53. CEC, CEC2, SK 지역에서 관측 (검정색 실선) 및 모의된 (청색 실선) PM<sub>10</sub> 농도의 시계열 및 그 산포도 분석

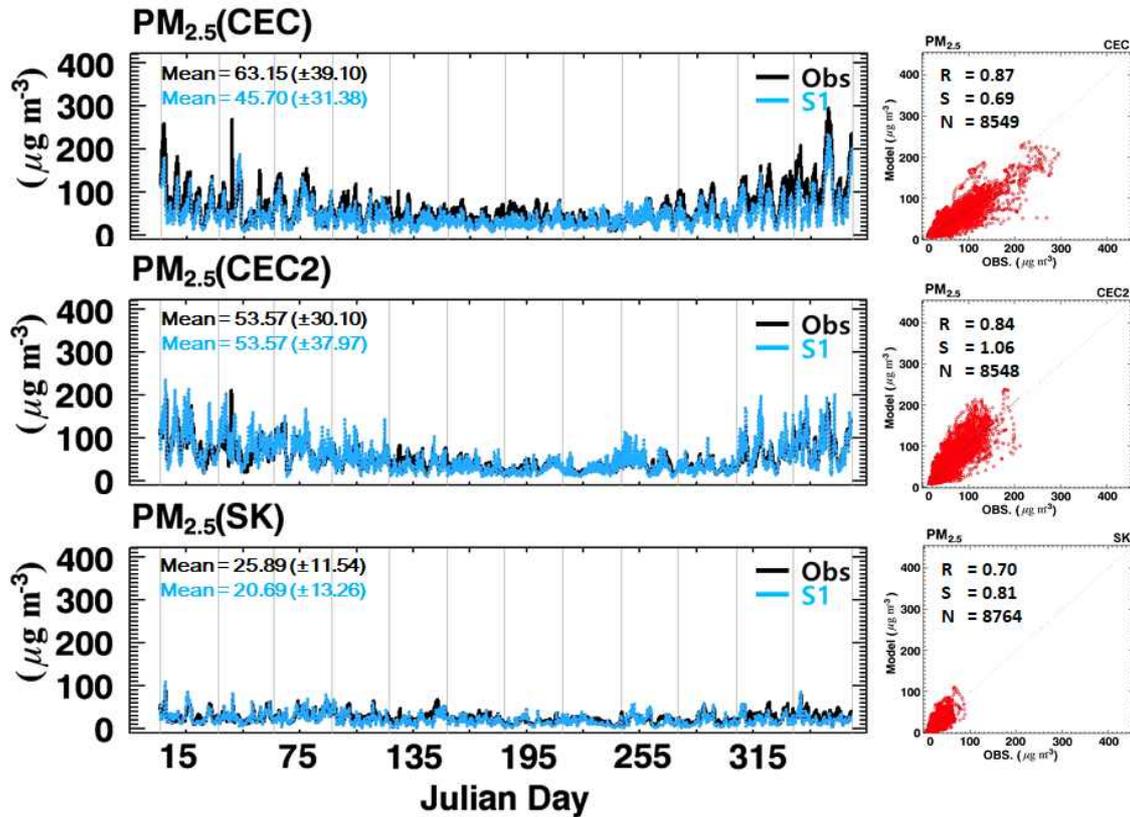


그림 54. CEC, CEC2, SK 지역에서 관측 (검정색 실선) 및 모의된 (청색 실선) PM<sub>2.5</sub> 농도의 시계열 및 그 산포도 분석

그림 54에 관측된 PM<sub>2.5</sub>의 시간에 따른 변화를 대기화학 모델이 전반적으로 잘 모의하고 있는 것으로 판단되며, 그 상관성은 CEC, CEC2, SK에서 0.87, 0.84, 0.70으로 비교적 좋은 양의 상관결과를 나타내었다. 모델 모의된 PM<sub>2.5</sub>는 관측자료와 비교하여 CEC, CEC2, SK 지역에서 동일하게 과소모의하고 있으나 (각각, -27.6%, -0.4%, -20.1%), 관측농도와의 비교 관점에서 PM<sub>2.5</sub> 농도는 PM<sub>10</sub> 농도에 비해 대부분의 통계지표, 절대차이, 상대차이, 상관성 (R), 기울기 (S) 등에서 잘 모의된 것으로 판단된다.

그림 55과 그림 56는 모델 모의된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 월 평균 농도에 대한 공간적 분포를 관측자료와 함께 표출한 것이다. PM<sub>10</sub>의 관측지점은 320개이고, PM<sub>2.5</sub>는 신규 장비가 꾸준히 도입되었기 때문에 월별로 다소 차이가 있고, 139개 - 193개이다. 그림 55에서처럼 PM<sub>10</sub>은 특히, 관측지점이 집중되어 있는 수도권에서 3월, 4월, 5월, 11월, 12월에 모델이 과소 모의하는 것이 뚜렷하게 나타난다. 이에 반해, 그림 56의 PM<sub>2.5</sub>에서는 전국적으로 모델값과 관측값이 상당히 일치하는 결과를 보인다.

그림 57은 동일한 분석방법으로 O<sub>3</sub>에 대한 시계열과 통계분석 결과를 제시한 것이다. 오존의 경우, CEC, CEC2, SK 지역에서 0.92, 0.83, 0.72 등 아주 좋은 상관성을 나타내고 있어 모델이 관측된 오존의 일변화를 상당히 모의하고 있는 것으로 판단된다. 하지만, CEC와 CEC2 지역에서 -36%, -37%로 과소 모의하고 있어, 오존 전구체인 NO<sub>x</sub>와 VOCs 배출량 (혹은 그 농도)의 불확실성과 밀접하게 연관성이 있는 것으로 추정된다.

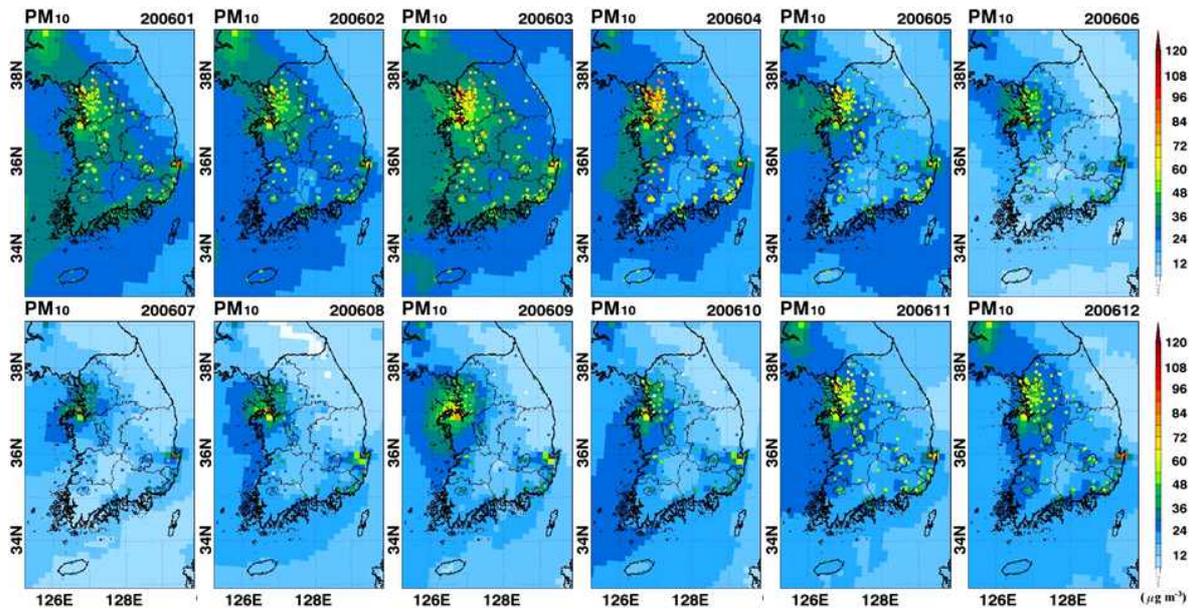


그림 55. 국내 모델모의 및 관측 (circle)된 PM<sub>10</sub>의 지표 농도의 공간분포

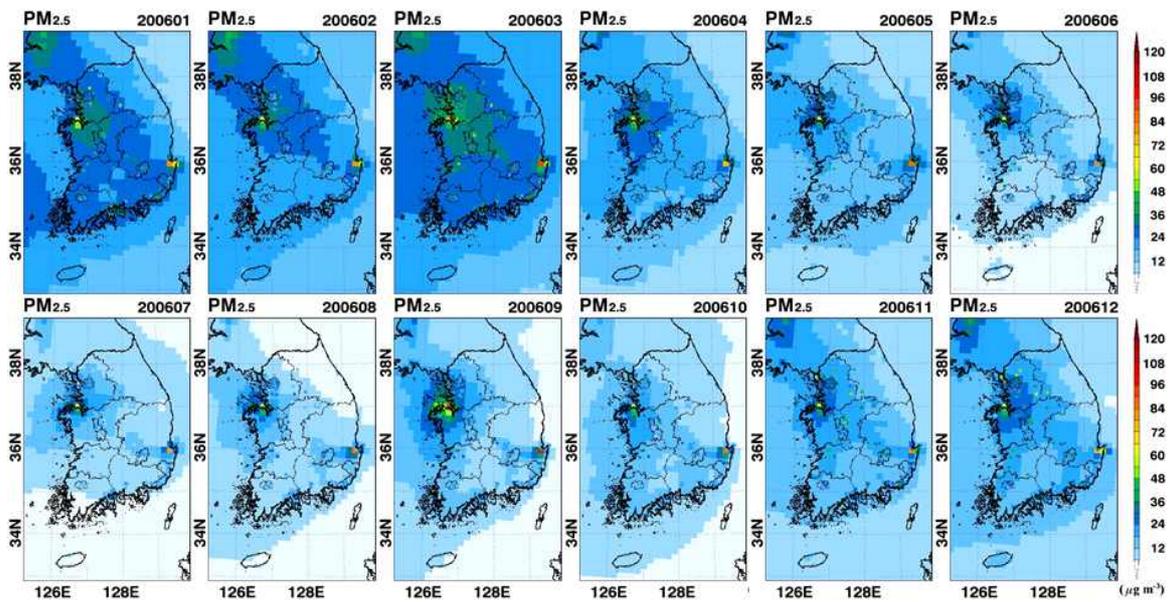


그림 56. 국내 모델모의 및 관측 (circle)된 PM<sub>2.5</sub>의 지표 농도의 공간분포

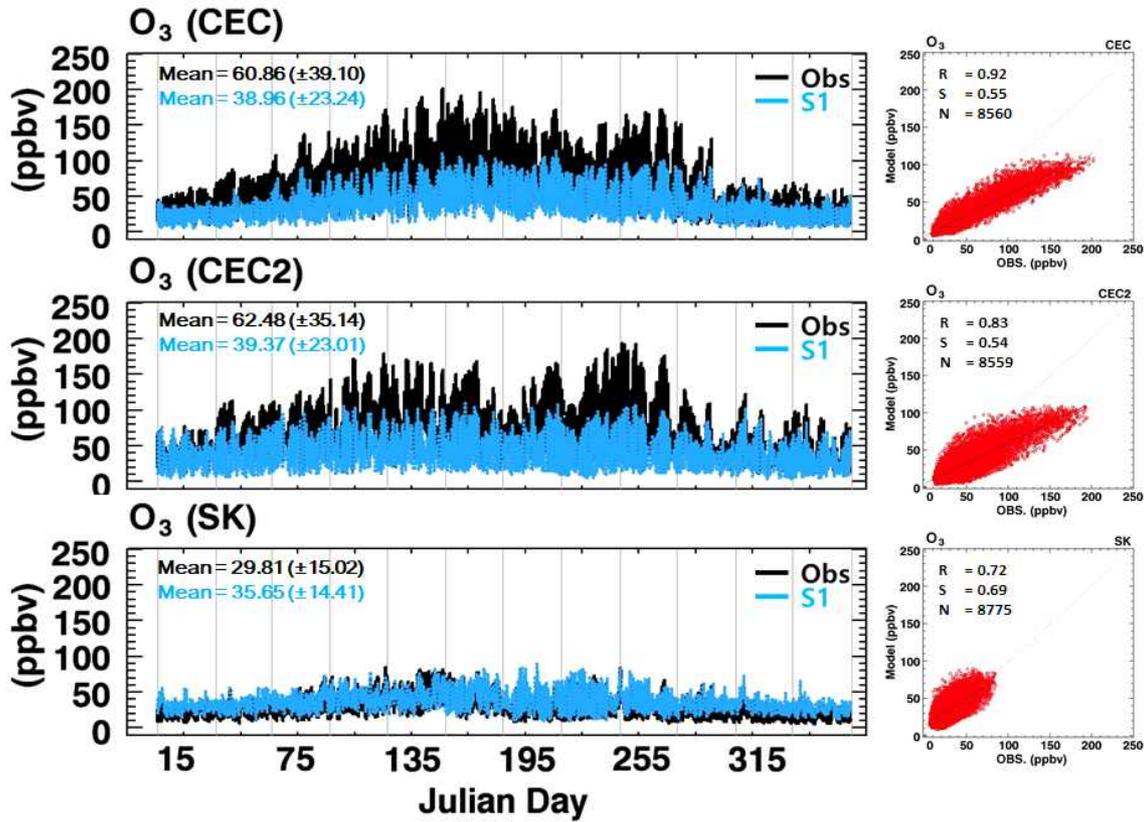


그림 57. CEC, CEC2, SK 지역에서 관측 (검정색 실선) 및 모의된 (청색 실선) O<sub>3</sub> 농도의 시계열 및 그 산포도 분석

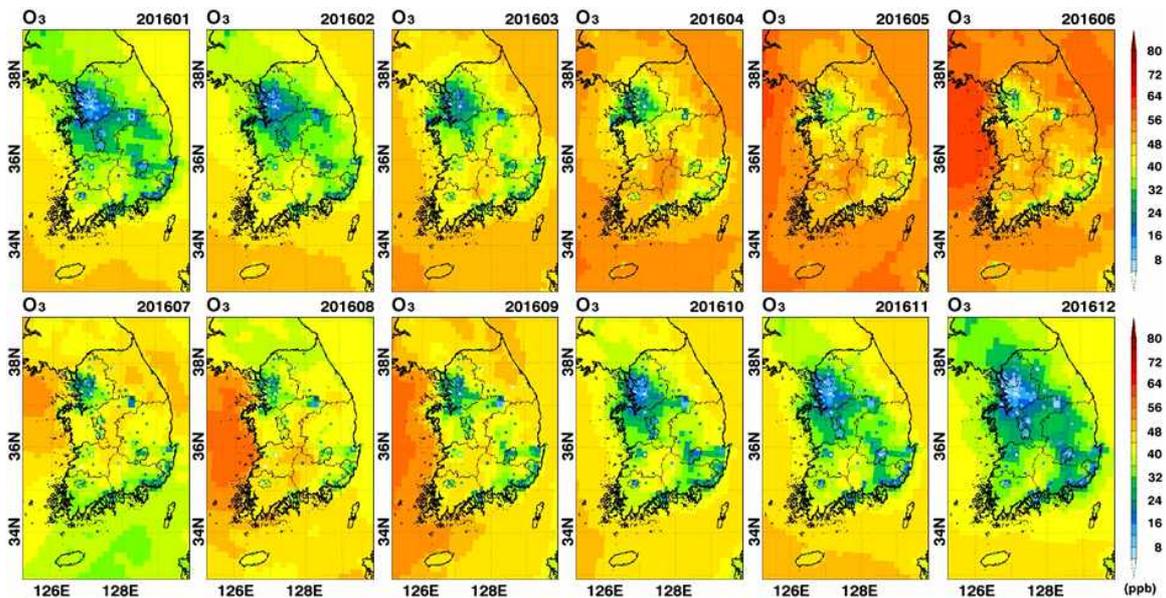


그림 58. 국내 모델모의 및 관측 (circle)된 O<sub>3</sub>의 지표 농도의 공간분포

그림 52에서 분석한 바에 따르면, 모델 모의 및 위성관측  $\text{NO}_2$  증적분 농도 상호비교에서  $\text{NO}_x$  (대부분  $\text{NO}$  형태) 배출량은 과소평가된 것으로 추정되었다. 만약, 해당 모델조건에서  $\text{NO}$  배출량이 증가되면, CEC 지역의 모델 모의된  $\text{O}_3$ 는  $\text{NO}$ 와의 titration에 의해 감소되어 관측농도와 더욱 큰 차이를 발생시키게 되므로,  $\text{NO}_x$  배출량뿐만 아니라 VOC 배출량도 밀접하게 연관된 것으로 판단된다. VOC 배출량 역시 불확실성이 높은 것으로 알려져 있다.  $\text{NO}$ 는  $\text{O}_3$ 과의 반응을 통해 1분자의 오존을 일시적으로 제거시키지만, 해당 반응을 통해 전환된  $\text{NO}_2$ 는 다시 광해리 반응을 통해 생성된  $\text{O}$ 가 산소분자와 반응을 통해  $\text{O}_3$  농도가 다시 회복된다. 하지만, VOC 배출량 증가 시, VOCs의 산화반응을 통해 생성되는  $\text{RO}_2$  혹은  $\text{HO}_2$  라디칼은  $\text{NO}$ 를  $\text{NO}_2$ 로 전환시킴으로써 오존의 소모를 제한하게 되므로, 오존 농도가 점차 증가될 수 있다.

한편, 그림 58은 모델 모의된  $\text{O}_3$ 의 월 평균 농도에 대한 공간적 분포를 관측자료와 함께 표출한 것으로, 수도권 등 주요 광역 도심권에서는 대기화학모델이 관측된 오존 농도를 대체적으로 잘 모의 (그림 58의 파란색 계열 농도)하고 있는 것으로 판단되고, 그 외 비 도심권에서는 대기화학 모델이 과대모의된 결과가 뚜렷하게 나타난다. SK 지역에서 모델모의  $\text{O}_3$ 의 농도는 편차범위 이내에서 연평균 6 ppb 정도 과대하게 모의하는 것으로 나타났다.

종합적으로 S1 조건에서 수행된 모델링의 성능은 국내 대기질에 영향을 많이 미칠 수 있는 CEC 지역에서  $\text{PM}_{10}$ 과  $\text{O}_3$  농도를 상당히 과소 모의하는 경향이 있었으나,  $\text{PM}_{2.5}$  농도는 상대적으로 더욱 좋은 모의결과를 보였다. 특히, SK 지역에서는 관측된  $\text{O}_3$  및  $\text{PM}_{2.5}$  농도자료와의 통계분석 (상관성, 절대차이 및 상대차이 등) 결과는 농업잔재물 소각에 의한 배출량이 미세먼지에 미치는 영향 파악하는데 충분한 모델 성능을 나타내는 것이라고 판단된다.

#### ④ 농업 잔재물 소각에 의한 미세먼지 영향성 분석

본 연구에서는 농업잔재물 소각 배출량이 고려되지 않은 S1 모델링과 해당 배출량이 고려된 S2 모델링으로부터 모의된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 농도자료를 이용하여 그 영향성을 파악하였다. 영향성은 식 (15)와 식 (16)의 절대차이와 상대차이 관점에서 분석하였다.

$$Absolute\ Difference\ (\mu g\ m^{-3}) = C_{S2} - C_{S1} \quad \text{식 (15)}$$

$$Relative\ Difference\ (\%) = \frac{(C_{S2} - C_{S1})}{C_{S1}} \times 100 \quad \text{식 (16)}$$

CS1: 농업잔재물 소각 배출량 고려하지 않은 PM<sub>10</sub> 혹은 PM<sub>2.5</sub> 농도

CS2: 농업잔재물 소각 배출량 고려한 PM<sub>10</sub> 혹은 PM<sub>2.5</sub> 농도

그림 59와 그림 60은 농업잔재물 소각에 의한 배출량이 함께 고려된 S2 모델링과 고려하지 않은 S1 모델링간 PM<sub>10</sub> 농도 절대차이 ( $\mu g\ m^{-3}$ ) 및 상대차이 (%)를 각각 남한지역에 시각화한 것이다. 그림 내에 표시된 Mean은 절대 및 상대차이에 대한 남한지역의 평균값이고, Max는 절대 및 상대차이에 대한 픽셀의 최대값을 의미한다. 그림 59의 절대차이에서 양의 값 (붉은색 계열)은 농업 잔재물 소각에 의해 PM<sub>10</sub>농도가 증가했음을 의미하고, 7월에 지역 평균으로 가장 낮은  $0.07\ \mu g\ m^{-3}$ 이 증가되었고, 10월에 지역 평균  $0.60\ \mu g\ m^{-3}$ 으로 가장 큰 증가를 나타내었다.

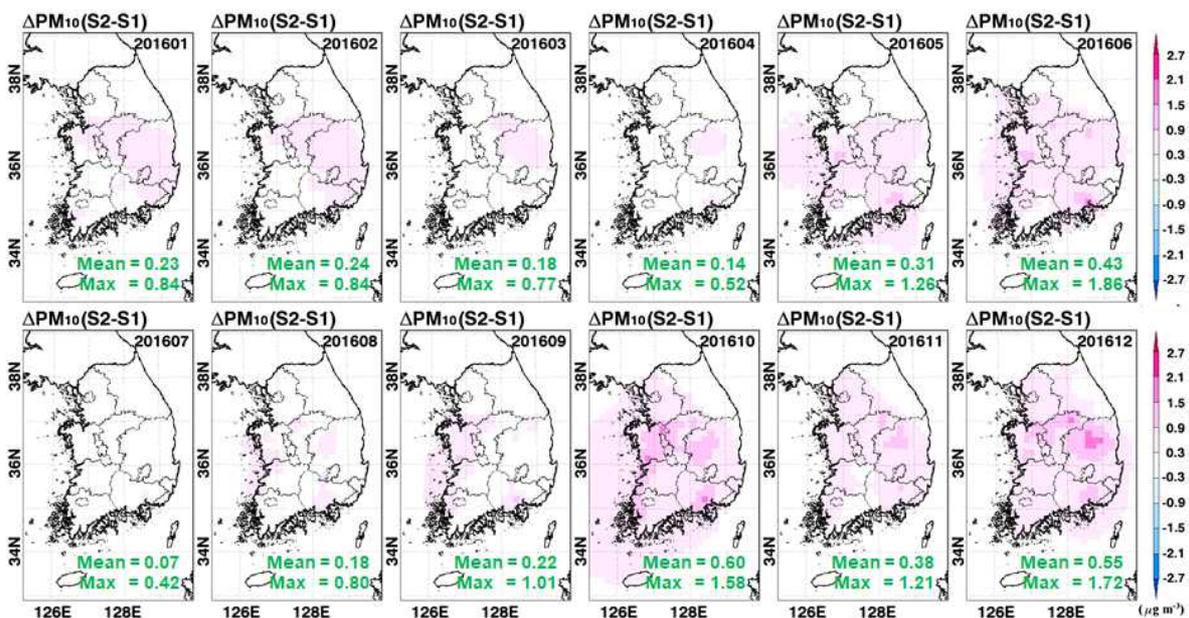


그림 59. S1 모델링과 S2 모델링으로부터 산출된 PM<sub>10</sub> 농도의 절대차이 (단위:  $\mu g\ m^{-3}$ , Mean: 절대차이에 대한 남한 지역 평균; Max: 절대차이에 대한 픽셀 최대값)

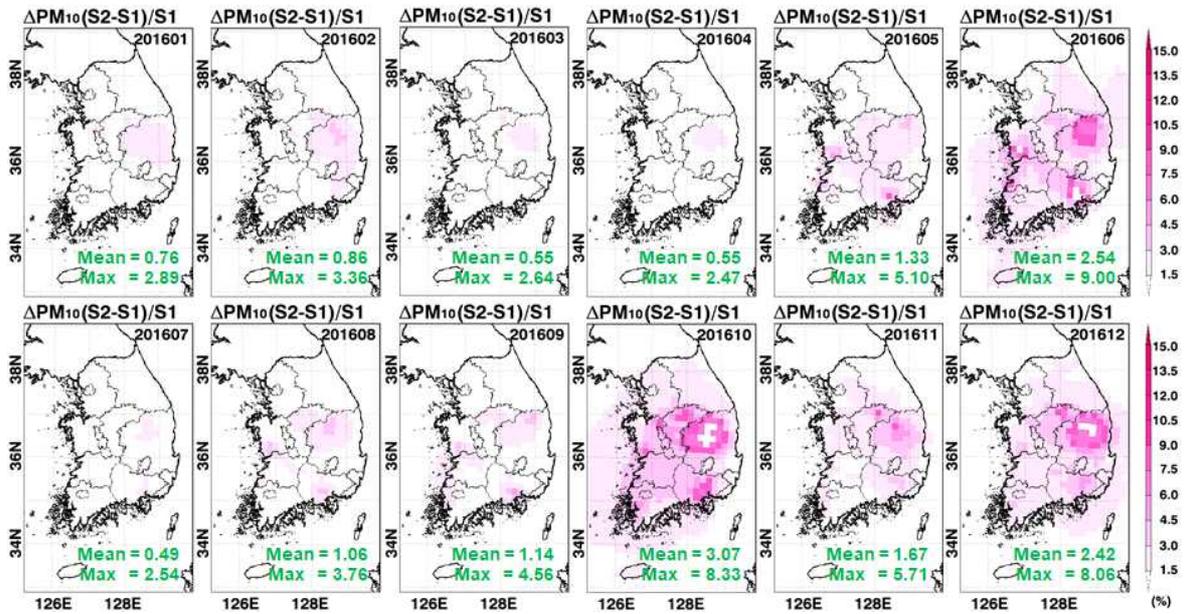


그림 60. S1 모델링과 S1 모델링으로부터 산출된 PM<sub>10</sub> 농도의 상대차이 (단위: %; Mean: 상대차이에 대한 남한 지역 평균; Max: 상대차이에 대한 픽셀 최대값)

그림 60에 상대차이 역시 동일하게 7월에 가장 낮게 0.49% 증가하고, 10월에 가장 높은 3.07% 증가하였다. 한 픽셀을 기준으로 6월에 최대 9% 증가가 발생하였다. 월 관점에서 PM<sub>10</sub>은 6월, 10월, 11월, 12월에 비교적 높은 증가를 나타내고, 공간적 관점에서, 경북 북부 (봉화, 안동, 영주, 예천, 의성), 경남 중부 (의령, 창녕, 함안 및 일부 김해 및 창원), 충북 북부 (충주), 충남 남부 (서천, 부여, 논산) 등에서 상대적으로 높은 증가를 보였다.

그림 61와 그림 62는 그림 59 및 그림 60과 각각 동일하지만 PM<sub>2.5</sub>를 대상으로 농도값 차이를 분석하였다. 절대차이는 PM<sub>10</sub>과 동일하게 7월에 가장 낮은 0.07  $\mu\text{g m}^{-3}$ 이 증가되었고, 대체적으로 6월, 10월 - 12월에 높은 증가를 나타내었고, 10월에 0.55  $\mu\text{g m}^{-3}$ 으로 가장 높은 증가를 보였다. 한 픽셀을 기준으로 경남 창원 지역에서 6월에 1.82  $\mu\text{g m}^{-3}$ 까지 증가하였다.

PM<sub>2.5</sub>의 상대차이의 경우, 절대차이와 동일하게 7월에 가장 낮은 0.68% 증가를 보였고, 10월에 가장 높은 4.33% 증가를 나타내었다. 한 픽셀을 기준으로 동일한 지점에서 12.91%까지 증가하였다. PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 절대차이 분석을 통하여, 농업잔재물 소각을 통해 증가되는 PM<sub>10</sub>의 대부분은 PM<sub>2.5</sub>의 증가에 의한 것이고, 이러한 것은 배출량의 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비율 분석과 일치한다. 예상된 바와 같이 월별 PMs의 농도 증가는 농업 잔재물 소각에 의한 배출량의 월변화에 영향을 많았다. 본 모델분석 결과에서는 농업잔재물 소각을 통해 발생된 PM<sub>10</sub>(PM<sub>2.5</sub>)이 남한 전체지역 기준으로 절대차이 0.60  $\mu\text{g m}^{-3}$  (0.55  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) 이내에서 상대차이 ~3.1% (4.3%) 이내에서 증가되었음을 확인하였다.

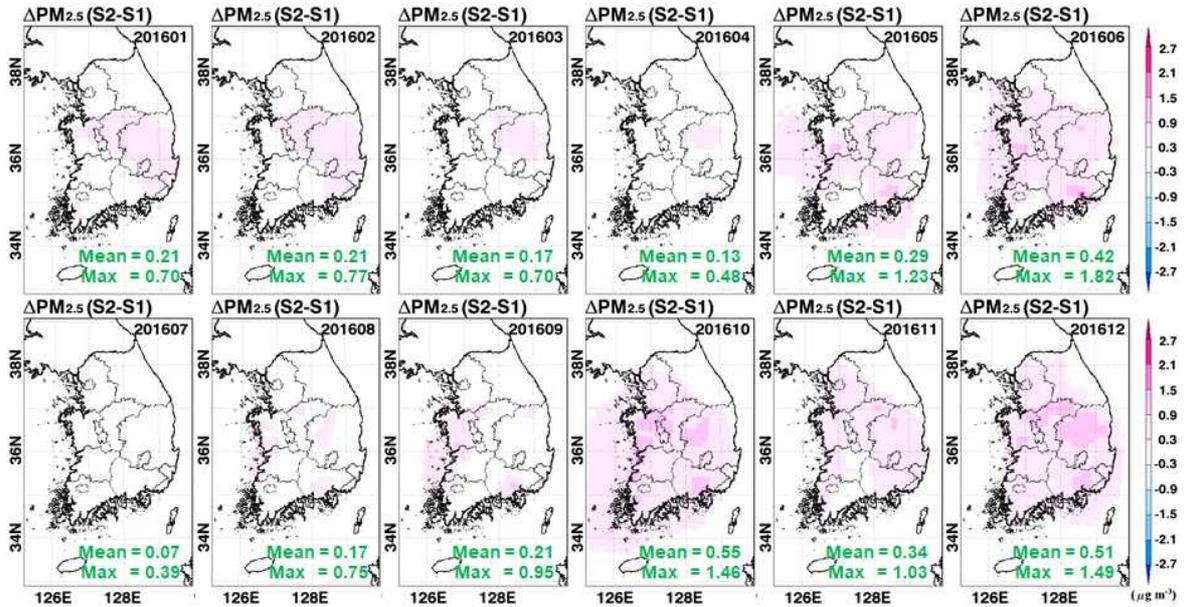


그림 61. S1 모델링과 S1 모델링으로부터 산출된 PM<sub>2.5</sub> 농도의 절대차이 (단위:  $\mu\text{g m}^{-3}$ ; Mean: 절대차이에 대한 남한 지역 평균; Max: 절대차이에 대한 픽셀 최대값)

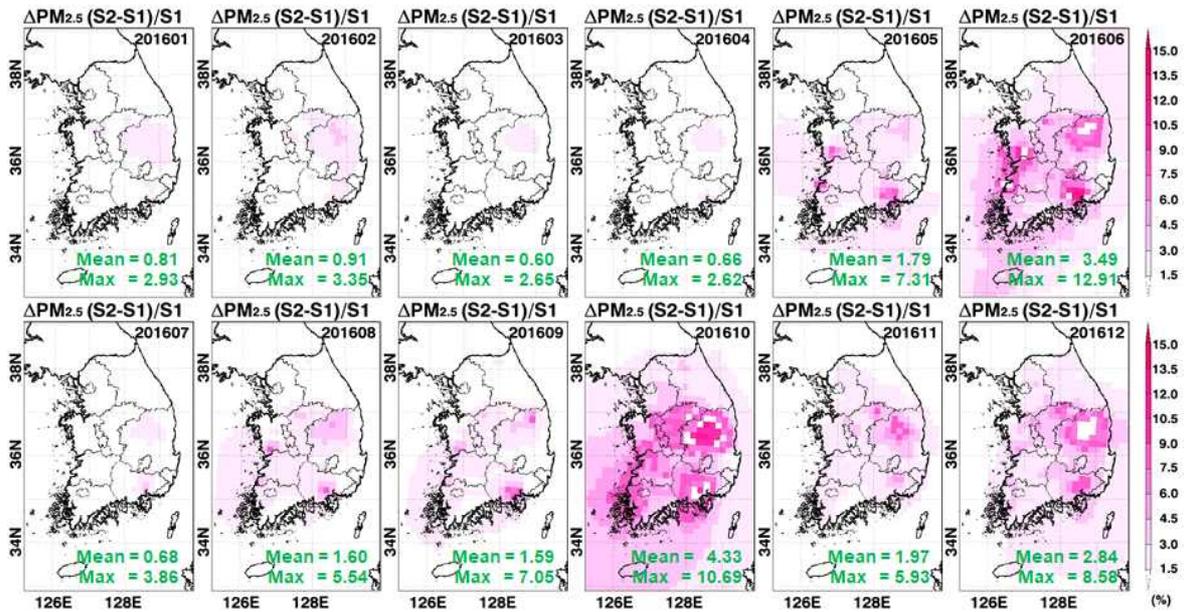


그림 62. S1 모델링과 S1 모델링으로부터 산출된 PM<sub>2.5</sub> 농도의 상대차이 (단위: %; Mean: 상대차이에 대한 남한 지역 평균; Max: 상대차이에 대한 픽셀 최대값)

## (5) 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 저감 및 관리

### ① 농업 잔재물 소각 관리

#### ○ 소각행위 방지 방안

- 농촌 생활폐기물 소각을 방지하기 위한 생활폐기물 처리 지원방안 마련 필요
  - 마을단위 소규모 생활폐기물 집하시설을 마련하여 쓰레기 분리수거를 유도
  - 노령 1가구 세대의 생활폐기물 처리를 위한 종량제봉투 무상공급 및 폐기물 처리 방법 계도 (교육 및 홍보)
  - 노천 쓰레기 소각 방지를 위한 소방 및 환경 교육 및 홍보
- 농업 잔재물 처리 및 활용기술 개발 및 보급
  - 작물 종류별 발생 잔재물의 처리 기술을 개발 및 지원 필요 : 대부분의 농가에서는 발생하는 잔재물의 처리방법이 마땅치 않아 소각하는 경우가 많음. 발작물의 경우 작물의 신속한 순환재배를 통한 농가소득 향상을 위해 발생하는 잔재물을 수거 방치 후 일정 기간 지나면 소각하는 행태가 일반적임. 따라서 작물 수확 시 발생 잔재물을 처리할 수 있는 기술을 개발하고 보급할 필요 있음.
  - 소규모 경작에 대한 잔재물 처리 지원 필요 : 설문조사 결과 제한적이기는 하나 소규모 경작의 경우 소각 비율이 통계적으로 유의한 수준에서 높게 나타났음. 이는 발생하는 잔재물의 양이 비교적 소량이며 소각이 용이하기 때문으로 판단됨. 소규모 경작에 대해서는 마을 단위 또는 협동조합 단위의 잔재물 처리 지원방안을 마련하여 보급하는 것이 효과적일 것임.
- 기술개발 지원 및 교육
  - 생활폐기물 처리, 잔재물 재활용 및 처리 등 소각행위를 방지 또는 저감하는 기술의 보급을 위해 농업인대학 등 매년 실시되는 농업기술 교육에 내용을 반영하여 계도할 필요 있음. 교육 시에는 대기오염물질 배출 등 환경오염에 대한 심각성뿐만 아니라 산불 등 화재 발생으로 인한 안전사고 발생 소방 관련 내용을 연계하여 교육효과를 높일 필요 있음.
  - 마을 단위 또는 조합 단위 기술개발 지원 및 교육체계를 마련하고 민관 합동으로 이를 지속해서 홍보 및 관리하여 유지할 필요 있음.

#### ○ 바이오매스 자원 활용기술 개발 및 상용화 방안

- 소각되는 농업 잔재물의 자원화를 위한 기술개발 및 보급 필요
  - 농업 잔재물은 농촌지역에서 발생하는 중요한 바이오매스 자원이며, 바이오매스를 이용한 에너지 자원화 등은 온실가스 저감 등 기후변화에 대응할 수 있는 중요한 분야임. 따라서 지구온난화 대비, 세계기후협약 대처를 위해 국가적 차원의 노력이 필요함

- 바이오매스 발생원 및 발생량 등에 대한 인벤토리 구축을 강화하여 자원화 기반을 마련하여야 함. 국립농업과학원에서 수행한 농촌지역 바이오매스 자원 순환 활용기술개발 연구결과를 활용하여 작성된 인벤토리 갱신 및 활용을 위한 제도적 정비가 필요함. 또한 선행연구에서 제시한 메탄생성/발효 기술의 실용화 및 상용화 기술개발을 추진하여 자원 활용기술을 적극적으로 도입할 필요가 있음.

## ② 배출량 관리를 위한 인벤토리 구축 강화

### ○ 농촌지역 활동도 자료 구축 체계화

- 활동도의 주기적 갱신 및 신뢰도 향상을 위한 설문조사 체계화 필요
  - 지역별 작물별 소각량, 소각률 및 빈도 등 배출량 산정을 위한 주요 활동도 자료는 연구과제를 통한 설문조사로 마련되고 있음. 본 연구에서 시행한 설문조사 역시 농업인을 대상으로 실시한 것으로서, 농업인 1,004명이 설문에 참여하였음. 설문 대상자는 지역별 작물별 고른 분포를 보이기에 한계가 있었으며, 따라서 전국 단위의 활동도 자료가 조사·구축되었다고 판단하기에는 무리가 있음.
  - 2014년 경기개발연구원이 구축한 소각비율에 대한 활동도와 본 연구에서 조사한 결과에는 상당한 차이가 있음. 이는 농업기술, 환경에 대한 인식수준 등 생활환경의 변화에 의한 것으로 판단됨. 통계청의 조사 결과에서도 매년 소각비율이 낮아지는 추세를 보이고 있으므로 농업 잔재물 소각에 의한 배출량 산정을 위해 주기적인 활동도 조사의 시행이 필요함.
- 활동도 조사의 체계화를 위해 아래 3가지를 제안함
  - I) 정부기관의 주관으로 정기적인 조사 시행
    - 농림축산식품부와 환경부 등 정부기관의 주관으로 정기적이고 체계적인 조사 계획을 수립하여 농촌지역의 영농 부산물 및 폐기물 소각활동에 대한 공식적인 연구자료를 마련하고 합리적인 국가정책을 수립하기 위한 기초자료로 활용할 필요가 있음
    - 농업인을 대상으로 조사를 진행해야 하는 특성을 고려하여 지역의 농업인들이 모일 수 있는 시기 및 농한기를 이용한 조사 계획 수립이 필요함
  - II) 통계청에서 실시하는 농림어업총조사에 포함하여 조사
    - 통계청에서 실시하고 있는 농림어업총조사의 조사항목에 영농 부산물 및 폐기물 소각활동에 대한 내용을 추가하여 더욱더 정확하고 체계적인 자료를 확보할 수 있는 방안 마련
  - III) 조사 샘플 수 확대를 통하여 표본의 대표성 확보
    - 이번 조사는 1천 농가를 조사하였지만, 추정의 정확성을 위해서는 보다 많은 표본이 필요
    - 지역별, 작목별, 농업인 연령을 대표할 수 있는 표본 설계를 통한 자료 수집이 필요

○ 배출계수 산정을 위한 농업 잔재물 연소시험 표준화

- 연소시험의 표준화 및 배출계수 산정 필요

- 선행연구 및 본 연구에서는 연소시험 과정의 실측으로 대기오염물질 배출계수를 산정하였음. 대기오염물질 배출은 시료의 상태(수분함량, 흙 등 이물질 함유 등) 및 연소조건(시료의 양, 연소설비, 공기주입 및 배기 조건 등)에 따라 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있음. 본 연구에서 사용한 실험실의 체계화된 연소설비 및 조건에서 실시한 결과의 재현성은 비교적 우수하였으나, 2014년 배출계수와 본 연구의 배출계수를 비교한 보리의 경우 배출계수에서 큰 차이를 보임.
- 체계적인 배출량 관리를 위해서는 연소시험의 표준화 방안을 마련하고, 이를 이용한 배출계수 생산이 필요함. 연소시험 표준화를 위해서는 노천소각 조건을 구현할 수 있는 연소설비 설계 및 제작뿐만 아니라 실제 노천소각 조건을 반영할 수 있는 시료의 채취 및 전처리 방법 마련 등도 매우 중요한 연구임.

표 111. 2014년 선행연구와 본 연구에서 제시한 보리의 배출계수 비교

보리	배출계수 (g/kg)							
	CO	NOx	SOx	VOC	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>
2014년 연구	200.58	5.21	-	105.2	85.84	53.07	35.24	0.01
본 연구	65.24	0.11	0.03	0.00	3.75	3.70	3.56	0.07

## (2) 정량적 연구개발성과

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계	2단계	계	가중치 (%)
			(2019~2020)	(2020~2021)		
전담기관 등록·기탁 지표 <sup>1)</sup>	보고서	목표(단계별)	1	1	2	
		실적(누적)	1	1	2	30
연구개발과제 특성 반영 지표 <sup>2)</sup>	정책활용	목표(단계별)	0	1	1	
		실적(누적)	1	2	3	30
	활동도	목표(단계별)	-	-	-	
		실적(누적)	-	40	40	10
	배출계수	목표(단계별)	-	-	-	
		실적(누적)	-	19	19	10
	배출량	목표(단계별)	-	-	-	
		실적(누적)	-	19	19	20
계					3	
					75	100

< 연구개발성과 성능지표 >

평가 항목 (주요성능 <sup>1)</sup> )		단위	전체 항목에서 차지하는 비중 <sup>2)</sup> (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
				보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (2019~2021)	2단계 (2020~2021)	
1	활동도 작물 수	개	30	대한민국	11	11	40		작물 종류
2	배출계 수 작물 수	개	30	대한민국	11	11	19		소각 우선순위
3	배출량 작물 수	개	40	대한민국	11	11	19		소각 우선순위

### (3) 세부 정량적 연구개발성과

#### [과학적 성과]

##### □ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호
2020	연차보고서	2020.01.19	
2021	최종보고서	2021.06.18	

#### [사회적 성과]

##### □ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	제안	농업 부산물 소각 관리 방안	농림부 농촌사회복지과	2020	연구내용 및 주요 결과를 정책 수립에 반영
2	제안	농업 부산물 소각 발생 대기오염 배출량 현황	농촌진흥청 연구운영과	2020	배출량 산정방법 및 인벤토리
3	제안	농업분야 미세먼지 발생 저감을 위한 기술로드맵	농촌진흥청	2020	농촌소각 대기오염물질 배출량 인벤토리 구축을 위한 활동도 개선 및 고도화 방안 연구기획

#### [그 밖의 성과]

1. 농촌지역 농업잔재물 소각 활동도 조사를 위한 설문조사표
2. 작물별 농업 잔재물 소각률 활동도 자료 갱신
3. 작물별 농업 잔재물 발생량 추정 방법 제시 및 잔재물 발생량 산출
4. 농업잔재물 연소시험을 위한 연소설비 설계 및 구축
5. 연소 시 대기오염물질 실시간 측정용 기술 설계 및 구축
6. 11개 작물의 농업 부산물 소각 대기오염물질 배출계수 산정
7. 농업 잔재물 소각에 의한 미세먼지 발생예측을 위한 대기질 모델링 시스템 구성
8. WRF v3.8.1 모델 구동을 통한 동아시아 지역 기상입력자료 생성
9. CMAQ 모델링에 적용되는 소각 배출량 자료 구축
10. 모델링 구현을 위한 인공위성 관측자료 및 지상 관측자료 구축

### (4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

1. 농림부 정책대응을 위한 정보 제공 :농업 잔재물 소각에 의한 미세먼지 발생에 대한 정책대응을 위해 연구내용 및 방법·주요결과 등을 설명하여 정책수립에 반영하도록 하였으며, 농림부의 대응사업을 위한 주요 내용 및 방법에 대한 기술자문을 하였음.
2. 농촌진흥청의 농축산 미세먼지 연구협의체에 연구결과 발표 : 농촌진흥청의 [농축산 미세먼지 연구협의체]에 참석하여 농업 잔재물 소각에 의한 배출량 등 연구의 주요 내용 및 결과를 발표하고 기술적 내용과 결과에 대한 심층논의를 수행하여 연구협의체의 활동에 기여함.
3. 농촌진흥청의 미세먼지 대응 후속사업 기획 : 농촌진흥청이 기획하는 미세먼지 대응 후속사업 로드맵 기획에 참여하여 농업 잔재물 소각관련 후속연구의 개요, 필요성, 세부연구내용 등을 제안하여 해당 분야의 연구개발계획 수립에 기여함.

## 나. 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별 활동도 자료의 update	○ 설문조사 설계	100
	○ 통계자료 수집	100
	○ 설문조사	100
	○ 설문조사 결과의 통계 처리	100
	○ 활동도 자료 DB화	100
○ 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 갱신	○ 연소 시험 구성 및 규격화	100
	○ 분석대상 선정	100
	○ 시료 채취	100
	○ 연소 시험	100
	○ 배출계수 산정 및 DB화	100
○ 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정	○ 배출량 산정	100
	○ 배출량 인벤토리 구축	100
○ 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)	○ 기상/대기질 모델링 입력자료 생성	100
	○ 농촌 소각 영향평가 자료구축	100
	○ 농촌 소각에 의한 PMs 산정	100
○ 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 저감 및 관리 방안	○ 저감을 위한 방안 제시	100
	○ 배출량 인벤토리 관리 방안 제시	100

## 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

### 가. 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

---

- 논문 및 학술발표 등의 성과목표를 달성하지 못하였으며, 아래와 같이 원인(사유)를 설명함
  - 코로나-19 정부의 정책 및 사회적 거리두기 준수 등의 영향으로 연구의 주요내용인 활동도 조사가 지연됨. 이로 인해 후속으로 진행될 배출계수 산정, 배출량산정, 영향평가 등의 연구수행이 일정상 연기되는 등 연구추진일정에 영향을 받음. 이를 위해 연구기간을 2개월 연장하였음.
  - 코로나-19로 인하여 국내외 학술대회 개최가 취소되거나 연기되는 등 학술활동에 상당한 영향을 받음
- 

### 나. 자체 보완활동

---

- 연구내용은 보안이 필요한 사항은 아니며,
  - 다만 설문조사과정에서 생성된 개인정보는 취득 후 사용즉시 폐기하는 등 자체보안 및 개인 정보 관련 사항을 준수함.
- 

### 다. 연구개발 과정의 성실성

---

- 설문조사는 대면으로 계획되어 2020년 초에 수행하는 것이 당초 계획이었으나, 코로나-19로 인하여 설문조사 진행에 많은 애로가 있었음. 전국 시군 또는 읍면단위에서 시행되는 농업인 기술교육의 협조를 받아 설문조사를 실시하기로 하였으나, 코로나-19로 교육이 취소 또는 연기되거나, 외부인의 참여가 금지되는 등 연구수행과정에서 수시로 문제가 발생하였음. 예로서, 강원도 지역의 교육에 참여하여 설문조사를 실시하기 위해 해당지역으로 이동하는 중에 교육이 취소되어 다시 복귀하기도 하였으며, 해당지역에 도착 시 타지역 방문자의 출입이 제한되어 설문조사를 실시하지 못하고 복귀하기도 하였음.
  - 이러한 상황에서 설문조사를 통한 활동도자료를 구축하기 위해 비대면 방식으로 연구방법을 변경하고 이를 수행하는 과정에서 상당한 시간과 노력이 소요되었음.
  - 활동도 관련 연구의 지연에도 불구하고 당초 계획한 연구내용을 차질없이 수행하여, 배출량 산정, 영향평가 등 당초의 목표를 달성하였음.
  - 예상치 못한 상황에서 대안을 마련하고 주어진 기한 내에 연구를 완료하는 등 연구개발 과정의 성실성이 매우 높다고 사료됨.
-

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

---

### ○ 농업 잔재물 소각 활동도 구축

농업 잔재물의 소각에 대한 활동도(소각비율, 소각시기 등)를 조사하였다. 총 40개의 세분류 작물을 분류하고 각각의 활동도를 조사하였다. 전국 1,002명의 농업인을 대상으로 설문조사를 실시하여 소각비율, 소각시기 등의 자료를 구축하였다. 이 자료는 작물별, 지역별로 구분된다.

작물별 농업 잔재물 발생량을 추정하는 방안을 선행연구의 문헌조사를 통해 새롭게 제안하였다. 이 방안은 작물의 생산량을 기준으로 추정하는 방식이며, 25개 작물 31개 잔재물 종류에 대한 환산계수를 보고서에 수록하여 체계적인 잔재물 발생량 추정이 가능하도록 하였다.

논바닥 및 논밭두렁의 소각에 대한 배출량을 산정하였다. 이를 위해 논바닥 등 소각량을 실측하여 제시하였으며, 통계청 자료를 활용한 두렁면적 산출방법을 제시하고 이를 활용하였다.

### ○ 농업 잔재물 소각 대기오염물질 배출계수 갱신

본 연구에서는 11개 생물성 연소 물질에 대한 배출계수를 제시하였다. 11개 작물 중 2개의 작물은 현재 CAPSS에 보완이 필요한 작물에 대한 것으로서 산정된 배출계수는 직접적으로 CAPSS에 활용 가능할 것으로 예측된다. 또한 신규 9개 물질에 대한 배출계수를 제시함으로써 CAPSS 및 농촌분야 생물성 연소 연구와 관련하여 활용할 수 있을 것으로 기대한다. 추가적으로 본 연구에서 사용한 연소 시험 방법은 기존 배출계수 산정을 위해 사용된 실험 방법을 진일보시킨 것으로서 수분 함량, 연소 방법 등에 의해 발생하는 높은 불확도를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 농업 부산물 연소에 잔류 비료 및 농약 성분이 배출계수에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 이는 향후 농촌지역 대기 환경을 관리하기 위한 추가 연구에 사용될 수 있을 것으로 판단한다.

### ○ 농업 잔재물 소각에 의한 미세먼지 발생 영향

농업 잔재물의 소각을 통해 배출된 대기오염물질은 대기층에서 물리적 화학적 반응을 통해 미세먼지 발생에 기여한다. 본 연구에서는 대기오염물질 배출량뿐만 아니라 기상모델과 대기화학모델 등을 활용한 대기질 모델 시스템을 구축하여 미세먼지 발생을 예측하고, 이 결과를 통하여 농업잔재물 소각에 의한 미세먼지 발생 영향을 평가하였다. 이러한 진일보된 연구기법은 향후 다양한 분야의 미세먼지 발생 예측기술로 활용이 가능하다. 또한 구축된 기상자료 등 모델자료들은 향후 후속연구에 기본정보로서 활용성이 매우 높다.

### ○ 국가미세먼지 배출량 자료 갱신

환경부에서 관리하는 대기오염물질 배출량의 산정방법과 관련하여 본 연구결과인 활동도와 배출계수 자료를 적용하여 신뢰도 높은 정보를 생산하는 데 크게 기여할 것이다. 좀 더 정확한 정보는 적절하며 효율적인 대기오염 저감 정책을 마련하는 데 매우 중요하다.

## 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE	1	
	비SCIE		
	계	1	
국내논문	SCIE		
	비SCIE	1	
	계	1	
특허출원	국내		
	국외		
	계		
특허등록	국내		
	국외		
	계		
인력양성	학사		
	석사		
	박사		
	계		
사업화	상품출시		
	기술이전		
	공정개발		
제품개발	시제품개발		
비임상시험 실시			
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	
		2상	
		3상	
	의료기기		
진료지침개발			
신의료기술개발			
성과홍보			
포상 및 수상실적			
정성적 성과 주요 내용		활동도 및 배출계수 등 연구결과를 CAPSS 정책자료화	

- 연구결과를 환경부 대기오염물질 배출량 산정방식 개선에 활용하여 정책에 반영되도록 함

### < 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1. 별첨자료	1) 자체평가의견서 2) 연구성과 활용계획서

# 자체평가의견서

## 1. 과제현황

		과제번호		319108-2	
사업구분	농생명산업기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	농생명산업기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	논·밭두렁 및 영농폐기물 부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향			과제유형	(기초)
연구개발기관	광주과학기술원			연구책임자	이병태
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2019.09.20. -2020.02.19	100,000		100,000
	2차년도	2020.02.20. - 2021.04.19	150,000		150,000
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
	계		250,000		250,000
참여기업					
상대국	상대국연구개발기관				

2. 평가일 : 2021.06.15

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
광주과학기술원	연구교수	이병태

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	---

## I. 연구개발실적

### 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

- 아래의 주요 연구결과 및 성과물은 우리나라 대기오염배출량 산정 및 영향평가에 매우 중요한 결과물임.
- 활동도 및 배출계수는 체계적인 방법으로 구축되어 우수성이 매우 높음
- 미세먼지 발생예측을 위해 구축한 대기질 모델링 시스템과 구축된 자료들은 결과의 우수성이 매우 높으며, 모델링에 적용된 기법은 창의적이며 파급효과가 매우 높음.
  1. 농촌지역 농업잔재물 소각 활동도 조사를 위한 설문조사표
  2. 작물별 농업 잔재물 소각비율 활동도 자료 갱신
  3. 작물별 농업 잔재물 발생량 추정 방법 제시 및 잔재물 발생량 산출
  4. 농업잔재물 연소시험을 위한 연소설비 설계 및 구축
  5. 연소 시 대기오염물질 실시간 측정용 기술 설계 및 구축
  6. 11개 작물의 농업 부산물 소각 대기오염물질 배출계수 산정
  7. 농업 잔재물 소각에 의한 미세먼지 발생예측을 위한 대기질 모델링 시스템 구성
  8. WRF v3.8.1 모델 구동을 통한 동아시아 지역 기상입력자료 생성
  9. CMAQ 모델링에 적용되는 소각 배출량 자료 구축
  10. 모델링 구현을 위한 인공위성 관측자료 및 지상 관측자료 구축

### 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

- 배출량 산정에 적용된 활동도 자료 및 배출계수, 농업 잔재물 발생량 산정방식 등은 환경부의 국가대기오염물질 배출량 산정방법으로 활용 및 갱신가능하며, 이 연구의 결과를 통해 국가대기오염물질 배출량 정보의 신뢰도를 높일 수 있을 것임.
- 연구결과물인 설문조사표는 향후 활동도 갱신을 위한 조사 및 연구에 활용될 수 있을 것임
- 연소 설비구축, 대기오염물질의 실시간 측정 등 연소시험 체계는 향후 유사한 후속연구에 중요한 참고자료가 될 것임.
- 대기화학모델을 반영한 미세먼지발생 예측 모델은 향후 유사한 분야의 대기질 예측연구에 사용될 것이며, 이 연구에서 구축된 기상정보자료 등 중요한 기초자료는 국가 미세먼지 연구로의 파급효과가 매우 높음.

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 환경부에서 관리하는 대기오염물질 배출량의 산정방법과 관련하여 본 연구결과인 활동도와 배출계수 자료를 적용하여 신뢰도 높은 정보를 생산하는 데 활용될 수 있음.
- 본 연구에서 사용한 연소 시험 방법은 기존 배출계수 산정을 위해 사용된 실험 방법을 진일보시킨 것으로서 수분 함량, 연소 방법 등에 의해 발생하는 높은 불확도를 감소시키는데 활용될 수 있음.
- 농업 부산물 연소에 잔류 비료 및 농약 성분이 배출계수에 영향을 미칠 수 있다는 연구결과를 통해 향후 농촌지역 대기 환경을 관리하기 위한 추가 연구에 참고자료로 활용될 것임.
- 대기오염물질 배출량뿐만 아니라 기상모델과 대기화학모델 등을 활용한 대기질 모델을 구축하여 미세먼지 발생을 예측하고, 이 결과를 통하여 농업잔재물 소각에 의한 미세먼지 발생 영향을 평가하였음.. 이러한 진일보된 연구기법은 향후 다양한 분야의 미세먼지 발생 예측기술로 활용이 가능하며, 또한 구축된 기상자료 등 모델자료들은 향후 후속연구에 기본 정보로서 활용성이 매우 높음.

#### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

##### ■ 등급 : 우수

- 설문조사는 대면으로 계획되어 2020년 초에 수행하는 것이 당초 계획이었으나, 코로나-19로 인하여 설문조사 진행에 많은 애로가 있었음. 전국 시군 또는 읍면단위에서 시행되는 농업인 기술교육의 협조를 받아 설문조사를 실시하기로 하였으나, 코로나-19로 교육이 취소 또는 연기되거나, 외부인의 참여가 금지되는 등 연구수행과정에서 수시로 문제가 발생하였음. 예로서, 강원도 지역의 교육에 참여하여 설문조사를 실시하기 위해 해당지역으로 이동하는 중에 교육이 취소되어 다시 복귀하기도 하였으며, 해당지역에 도착 시 타지역 방문자의 출입이 제한되어 설문조사를 실시하지 못하고 복귀하기도 하였음.
- 이러한 상황에서 설문조사를 통한 활동도자료를 구축하기 위해 비대면 방식으로 연구방법을 변경하고 이를 수행하는 과정에서 상당한 시간과 노력이 소요되었음.
- 활동도 관련 연구의 지연에도 불구하고 당초 계획한 연구내용을 차질없이 수행하여, 배출량 산정, 영향평가 등 당초의 목표를 달성하였음.
- 예상치 못한 상황에서 대안을 마련하고 주어진 기한 내에 연구를 완료하는 등 연구개발 과정의 성실성이 매우 높다고 사료됨.

#### 5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

##### ■ 등급 : 보통

- 농림부, 농촌진흥청 등 연구내용과 관련한 관계기관의 정책수립 및 정책대응을 위해 연구결과 및 기술적 사항 등에 대한 지원을 수행하였으며, 이를 통해 정책수립에 기여하였음. 또한, 농촌진흥청의 농축산 미세먼지 대응 로드맵 기획을 위해 관련분야의 후속연구를 기획하여 제안하는 등 정책 수립에 기여한 성과가 있음.
- 코로나-19로 연구수행 일정이 지연되었으며 학술발표회 등이 취소 또는 연기되는 등 사회적 상황으로 논문 및 학술발표 등의 성과는 매우 미흡하나 연구종료 후 논문 및 학술발표 등의 연구개발 성과를 충분히 달성할 수 있을 것임.

## II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
활동도 자료의 update	30	100	작물별 소각량 및 소각비율 등 배출량 산정을 위한 활동도 자료를 구축함
배출계수 갱신	20	100	11개 작물에 대한 연소시험을 통해 대기오염물질 배출계수를 구축함
배출량 산정	25	100	환경부의 배출량 산정방법을 활용하여 19개 작물의 농업 잔재물 소각에 의한 대기오염물질 배출량을 산정함
영향 평가	15	100	배출량 산정을 통해 주요 작물, 대기오염물질 등 배출특성을 평가함 대기화학모델을 활용하여 미세먼지 발생에 미치는 영향을 평가함
배출량 저감 및 관리 방안	10	100	농업 잔재물의 자원활용 방안, 쓰레기의 효율적 처리 방안, 배출량 산정을 위한 활동도 구축 방안, 배출계수 구축 고도화 방안 등을 제시함
합계	100점		

## III. 종합의견

### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 활동도자료, 배출계수, 배출량 산정 및 영향평가 등 연구개발 목표를 달성하였음.
- 활동도 자료, 배출계수 등은 환경부의 국가대기오염물질 배출량 산정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것임.
- 연구결과는 정책적 활용뿐만 아니라 관련분야의 후속연구에도 참고자료 또는 기초자료로 활용될 수 있을 것임.

### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 코로나-19로 인한 연구수행에 상당한 차질이 있었음을 평가에 고려할 필요가 있음.

### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 연구결과가 환경부의 국가대기오염물질 배출량 산정을 위한 자료로 활용될 수 있도록 전문기관 및 농림부의 역할이 중요함.
- 이를 위해 연구수행기관은 사업 종료 이후에도 지속적인 전문가 자문 및 기술지원을 수행할 것임.

#### IV. 보안성 검토

##### 1. 연구책임자의 의견

보안이 필요하지 않음

##### 2. 연구개발기관 자체의 검토결과

보안이 필요하지 않음

# 연구성과 활용계획서

## 1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	
연구과제명	논·밭두렁 및 영농폐기물 부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향		
주관연구개발기관	광주과학기술원	주관연구책임자	이병태
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타
	250,000 천원		총연구개발비 250,000 천원
연구개발기간	2019.09.20. - 2021.04.19		
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타 (후속연구)		
	<input type="checkbox"/> 미활용 (사유: )		

## 2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별 활동도 자료의 update	40개 작물에 대한 활동도 자료 구축
② 농업농촌분야 생물성 연소 관련 배출계수 갱신	11개 작물에 대한 배출계수 갱신
③ 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 산정	19개 작물 대상 대기오염물질 배출량 산정
④ 농업 잔재물 소각 시 발생하는 미세먼지의 영향 평가(모델링)	대기질 모델링 시스템 구현을 통한 미세먼지 발생예측 및 영향 평가
⑤ 농업농촌분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 저감 및 관리 방안	저감을 위한 기술개발 방안과 관리를 위한 후속연구 방안을 제시

## 3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논문				학 술 발 표	정 책 활 용	
											S C I		비 S C I	논 문 평 관 I F					
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건		
가중치														70			30		
최종 목표												1	1	3	4		1		
당해 년도 실적													1	4		1	3		
달성률 (%)																300			

#### 4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	국가대기인벤토리(CAPSS) 대상 배출원별(40개 작물) 활동도 자료 구축
②	농업농촌분야 생물성 연소 관련 11개 작물 배출계수 구축
③	농업농촌분야 생물성 연소로 인한 19개 작물 대기오염물질 배출량 산정
④	대기질모델링 시스템을 이용한 미세먼지의 영향 평가

#### 5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술									v	
②의 기술									v	
③의 기술									v	
④의 기술		v								v

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	환경부 국가대기오염물질 배출량 산정을 위한 정책자료로 활용
②의 기술	
③의 기술	

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T 평 가 비 어 기	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논문				학 술 발 표	정 책 활 용	
											SCI		비 SCI	논 문 평 가 I F					
단위	건	건	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	명	건	건	
가중치														70			30		
최종목표												1	1	3	4		3		
연구기간 달성실적																	3		
연구종료후 성과창출 계획																	1		

8. 연구결과의 기술이전조건 (해당 없음)

핵심기술명 <sup>1)</sup>			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 <sup>2)</sup>	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타( )		
이전소요기간		실용화예상시기 <sup>3)</sup>	
기술이전시 선행조건 <sup>4)</sup>			

## 참고문헌

- Boersma, K. F., Eskes, H. J., Dirksen, R. J., van der A, R. J., Veefkind, J. P., Stammes, P., Huijnen, V., Kleipool, Q. L., Sneep, M., Claas, J., Leitão, J., Richter, A., Zhou, Y., and Brunner, D.: An improved tropospheric NO<sub>2</sub> column retrieval algorithm for the Ozone Monitoring Instrument, *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 1905–1928, 2011.
- Bucsela, E. J., Celarier, E. A., Wenig, M. O., Gleason, J. F., Veefkind, J. P., Boersma, K. F., Brinksma, E. J., Algorithm for NO<sub>2</sub> vertical column retrieval from the Ozone Monitoring Instrument, *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, 44(5), 1245–1258, 2006.
- Byun, D. and Schere, K. L., Review of the Governing Equations, Computational Algorithms, and Other Components of the Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, *Appl. Mech. Rev.*, 59, 51–77, <https://doi.org/10.1115/1.2128636>, 2006.
- Chan, C. K., Yao, X., Air pollution in mega cities in China, *Atmos. Environ.*, 42, 1–42, 2008.
- Chun, Y., Cho, H. K., Chung, H. S., and Lee, M.: Historical records of Asian dust events (Hwangsa) in Korea, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 89, 823–827, 2008.
- Delgado, A. L., From photon paths to pollution plumes: better radiative transfer calculations to monitor NO<sub>x</sub> emissions with OMI and TROPOMI, PhD thesis at Wageningen University and Research, 2019.
- Han, K. M., Lee, S., Chang, L. S., and Song, C. H., A comparison study between CMAQ-simulated and OMI-retrieved NO<sub>2</sub> columns over East Asia for evaluation of NO<sub>x</sub> emission fluxes of INTEX-B, CAPSS, and REAS inventories, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 1913–1938, <https://doi.org/10.5194/acp-15-1913-2015>, 2015.
- Hong, S. and Lim, J., The WRF Single-Moment 6-Class Microphysics Scheme (WSM6). *Journal of the Korean Meteorological Society*, 42, 129–151, 2006.
- Hong, S. Y., Noh, Y., and Dudhia, J., A new vertical diffusion package with and explicit treatment of entrainment processes, *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341, 2006.
- Iacono, M. J., Delamere, J. S., Mlawer, E. J., Shephard, M. W., Clough, S. A., and Collins, W. D., Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: calculations with the AER radiative transfer models, *J. Geophys. Res.*, 113, D13103, doi:10.1029/2008JD009944, 2008.
- Kain, J. S., The Kain-Frisch convective parameterization: An update, *J. Appl. Meteor.*, 43, 170–181, 2004.
- Oak, Y. J., Park, R. J., Schroeder, J. R., Crawford, J., Blake, D. R., Weinheimer, A., Woo, J. H., Kim, S.-W., Yeo, H., Fried, A., Wisthaler, A., Brune, W. H., Evaluation of simulated O<sub>3</sub> production efficiency during the KORUS-AQ campaign: Implications for anthropogenic NO<sub>x</sub> emissions in Korea, *Elem Sci Anth*, 7, 56, doi:10.1525/elementa.394, 2019.
- Sindelarova, K., Granier, C., Bouarar, I., Guenther, A., Tilmes, S., Stavrou, T., Müller, J.-F., Kuhn, U., Stefani, P., and Knorr, W.: Global data set of biogenic VOC emissions calculated by the MEGAN model over the last 30 years, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 9317–9341, doi:10.5194/acp-14-9317-2014, 2014.
- Xie, S., Yu, T., Zhang, Y., Zeng, L., Qia, L., Tang, X., Characteristics of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub>

in ambient air during the dust storm period in Beijing, *The Science of the Total Environment* 345, 153-164, 2005.

Wiedinmyer, C., Akagi, S. K., Yokelson, R. J., Emmons, L. K., Al-Saadi, J. A., Orlando, J. J., and Soja, A. J.: The Fire INventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning, *Geosci. Model Dev.*, 4, 625-641, <https://doi.org/10.5194/gmd-4-625-2011>, 2011.

Woo, J.-H., Kim, Y., Kim, H.-K., Choi, K.-C., Eum, J.-H., Lee, J.-B., Lim, J.-H., Kim, J., Seong, M., Development of the CREATE Inventory in Support of Integrated Climate and Air Quality Modeling for Asia, *Sustainability*, 12, 7930, 2020.

Zhao, D., Chen, H., Yu, E., Luo, T.,  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ratios in eight economic regions and their relationship with meteorology in China, *Advances in Meteorology*, 2019, 5295726, 1-15, 2019.

[부록] 설문조사표

<b>영농폐기물 및 농업부산물 등 농촌소각 설문조사</b>		ID	-			
----------------------------------	--	----	---	--	--	--

안녕하십니까?  
 광주과학기술원(GIST)에서는 농업농촌에서 이루어지는 영농폐기물 및 부산물의 소각 실태조사를 실시하고 있습니다. 본 연구결과는 농업농촌에서 배출되는 폐기물의 소각에 따른 미세먼지 배출량 산정의 근거자료로 활용됩니다. 응답하신 내용은 통계법 33조에 의해 비밀이 보장됨을 약속드립니다. 바쁘시지만 성실한 답변 부탁드립니다.

주관기관: 광주과학기술원(중앙연구기기센터 이병태 교수 062-715-3315)  
 조사기관: (주)폴인사이트(장경철 연구지원 팀장, 062-374-7012)

**<연구참여 및 자료활용 동의서>**

본인은 본 연구의 취지와 내용을 이해하고 설문 참여에 동의하며 응답내용을 추후 연구자료로 활용하는데 동의합니다.

동의함                       동의하지 않음

**가. 일반적 특성**

<b>지역</b>	_____도/시 _____군/구 _____읍/면/동 _____리		
<b>동거 가족구성원</b>	본인포함 _____명	<b>성별</b>	① 남자    ② 여자
<b>연령</b>	만 _____세	<b>연락처</b> (조사확인용)	

- **작물잔사란?**  
 작물수확(주산물, 부산물)후 식용으로 쓸 수 없는 최종 나머지 부분을 말함  
 - 논벼, 보리의 경우는 벼짚, 보릿짚  
 - 콩, 고추 등의 경우는 콩대, 고춧대
- **작물잔사 처리방법**  
 - 경지비료 : 논밭에 잔사를 직접 환원하거나, 퇴비화하여 투입한 경우  
 - 사료화 : 가축사료로 사용  
 - 판매/수거 : 외부업체(기관)에 판매하거나, 따로 모아두면 외부업체(기관)에서 수거해가는 경우  
 - 소각 : 논밭에서 잔사를 소각하거나, 재래식 난방연료(아궁이)로 사용

**나. 생활폐기물 처리**

Q1. 귀하께서는 지난 1년 동안 1주일 평균 생활폐기물이 얼마나 나오니까? 약 \_\_\_\_\_Kg

Q2. 귀하께서는 생활폐기물을 어떻게 처리하십니까?

① 재활용 (    )%    ② 소각 (    )%    ③ 수거(중량제봉투사용) (    )%  
 ④ 매립 (    )%    ⑤ 기타 (    )%

Q3. 생활폐기물을 노천소각 시 1회 태우는 양은 얼마나 됩니까? \_\_\_\_\_Kg/1회

Q4. 생활폐기물을 노천소각 횟수는 대략 얼마나 됩니까? 월 \_\_\_\_\_회

**다. 농업잔재물 처리**

**라. 영농폐기물 처리**

Q1. 귀하께서 경작하는 작물 및 작물잔사 처리 방법에 관한 다음 질문에 답해주세요.

Q1. 비닐, 플라스틱 등 영농폐기물 처리방법에 관해 답해 주세요.

No	구분	재배 여부	재배면적 (단위:평)	수확후 작물잔사의 양(kg)	작물잔사 처리방법 및 비중(%)			소각시기 ___월 중	작물잔사의 영농 폐기물(비닐, 플라스틱 등) 처리				
					경지비료 (%)	시료화 (%)	편제/수기 (%)		소각 (%)	발생되는 영농 폐기물의 양(kg)	재활용/수기(%)	소각(%)	
0	예시	사과	<input checked="" type="checkbox"/>	1,250평	350kg	60%	10%	10%	20%	10월	500kg	70%	30%
1	관류	보리	<input type="checkbox"/>										
2		밀	<input type="checkbox"/>										
3		사과	<input type="checkbox"/>										
4		배	<input type="checkbox"/>										
5	과수	복숭아	<input type="checkbox"/>										
6		포도	<input type="checkbox"/>										
7		감귤	<input type="checkbox"/>										
8		감	<input type="checkbox"/>										
9		자두	<input type="checkbox"/>										
10		기타	<input type="checkbox"/>										
11	두류	콩	<input type="checkbox"/>										
12		팥	<input type="checkbox"/>										
13		녹두	<input type="checkbox"/>										
14	잡곡	기타	<input type="checkbox"/>										
15		옥수수	<input type="checkbox"/>										
16		메밀	<input type="checkbox"/>										
17	서류	기타	<input type="checkbox"/>										
18		고구마	<input type="checkbox"/>										
19		감자	<input type="checkbox"/>										

No	구분	재배 여부	재배면적 (단양평)	수확후 작물잔사의 양(kg)	작물잔사 처리방법 및 비중(%)				소각시기 — 월 중	작물잔사의 영농 폐기물(바닐, 플라스틱 등) 처리	
					경지비료 (%)	시료화 (%)	판매 /수기 (%)	소각 (%)		발생되는 영농 폐기물의 양(kg)	재활용/수거(%)
20	수박	<input type="checkbox"/>									
21	참외	<input type="checkbox"/>									
22	채소 (과채류)	딸기	<input type="checkbox"/>								
23		오이	<input type="checkbox"/>								
24		호박	<input type="checkbox"/>								
25		토마토	<input type="checkbox"/>								
26	배추	<input type="checkbox"/>									
27	채소 (엽채류)	시금치	<input type="checkbox"/>								
28		상추	<input type="checkbox"/>								
29		양배추	<input type="checkbox"/>								
30	채소 (근채류)	무	<input type="checkbox"/>								
31		고추	<input type="checkbox"/>								
32	채소 (꽃채류)	대파	<input type="checkbox"/>								
33		쪽파	<input type="checkbox"/>								
34		양파	<input type="checkbox"/>								
35		생강	<input type="checkbox"/>								
36	특용	마늘	<input type="checkbox"/>								
37		참깨	<input type="checkbox"/>								
38		들깨	<input type="checkbox"/>								
39	땅콩	<input type="checkbox"/>									
40	화훼	<input type="checkbox"/>									

**라. 논밭 소각 여부**

Q1. 지난 1년 동안 논바닥, 논두렁, 밭두렁, 논밭주변부(언덕)의 잡초제거 및 병충해 방지를 위한 소각 여부에 대해 답해 주십시오

No	구분	소각 횟수 (1년 동안)	소각시기 ____ 월 중 (모두 적어주세요)
1	논바닥	① 1회 ② 2회 ③ 3회 ④ 4회 이상 ⑤ 소각안함 ⑥ 경작안함	①( )월 ②( )월 ③( )월 ④( )월
2	논두렁	① 1회 ② 2회 ③ 3회 ④ 4회 이상 ⑤ 소각안함 ⑥ 경작안함	①( )월 ②( )월 ③( )월 ④( )월
3	밭두렁	① 1회 ② 2회 ③ 3회 ④ 4회 이상 ⑤ 소각안함 ⑥ 경작안함	①( )월 ②( )월 ③( )월 ④( )월
4	논밭주변부 (언덕 등)	① 1회 ② 2회 ③ 3회 ④ 4회 이상 ⑤ 소각안함 ⑥ 경작안함	①( )월 ②( )월 ③( )월 ④( )월

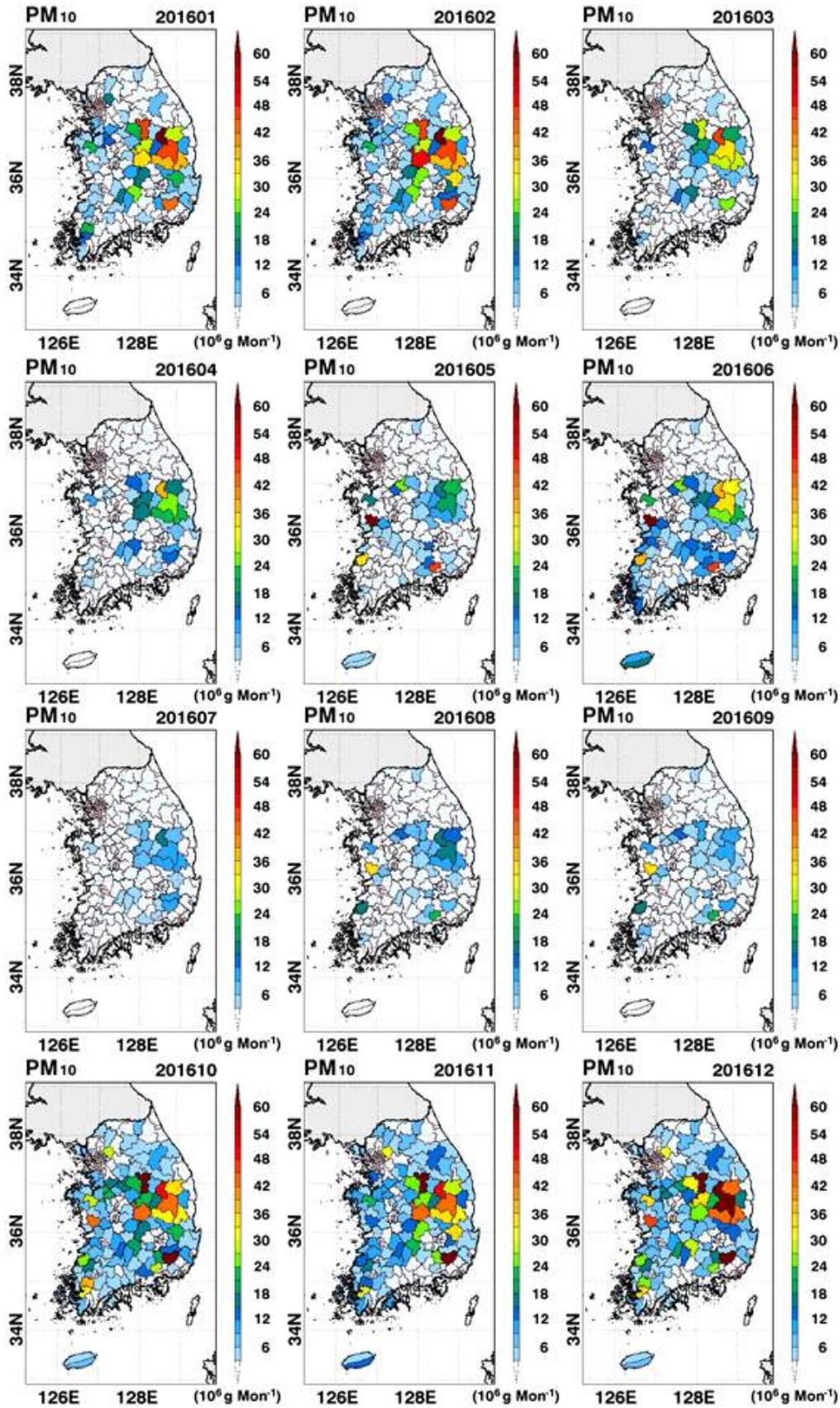


-장시간 긴 설문에 응답해 주셔서 감사합니다.-

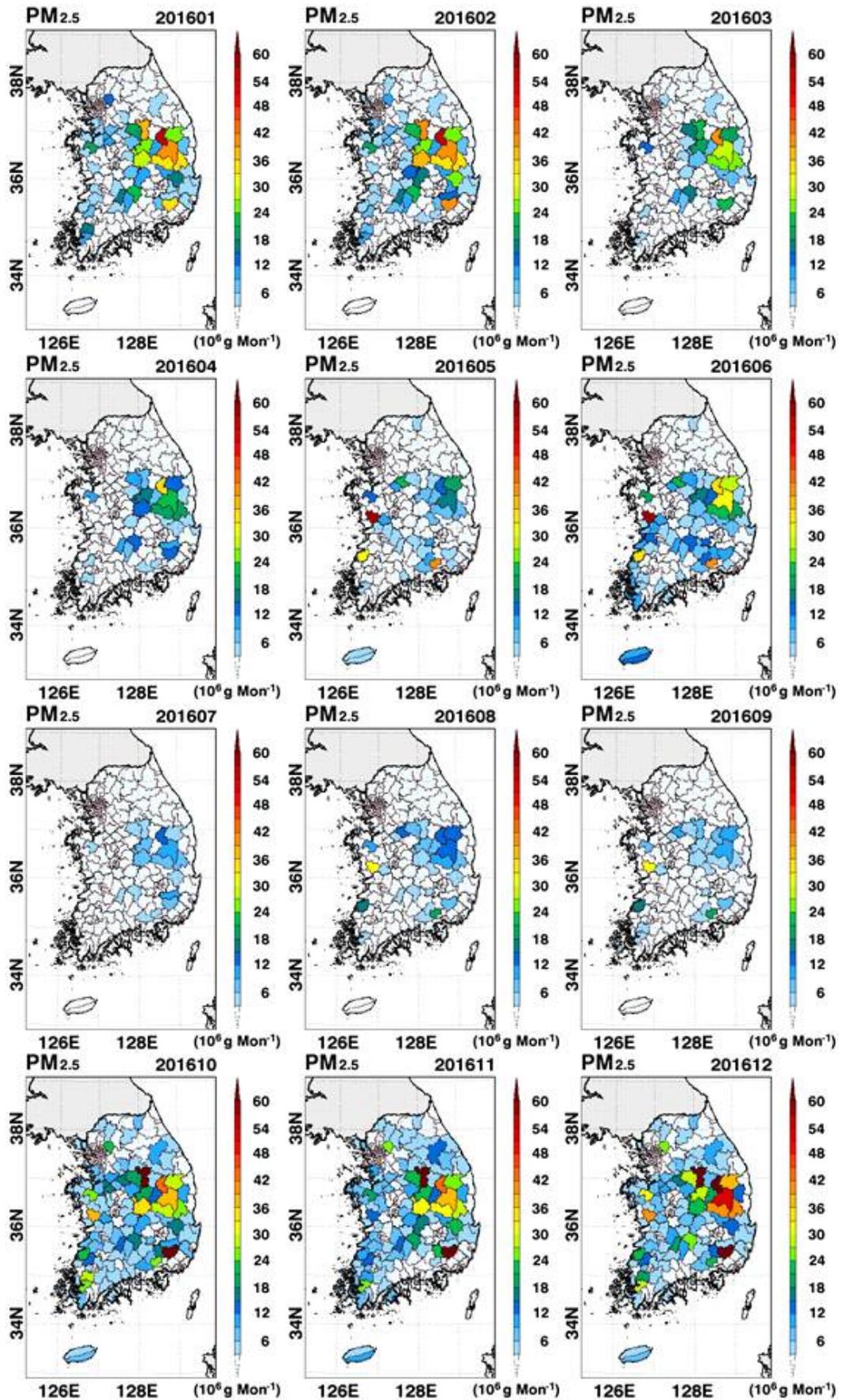
※ 출입구에 마련된 답례품 수령처에 제출해주시고 답례품 수령해 가십시오 ※

# [부록] 농업잔재물 소각에 의한 지자체별/월별 배출량

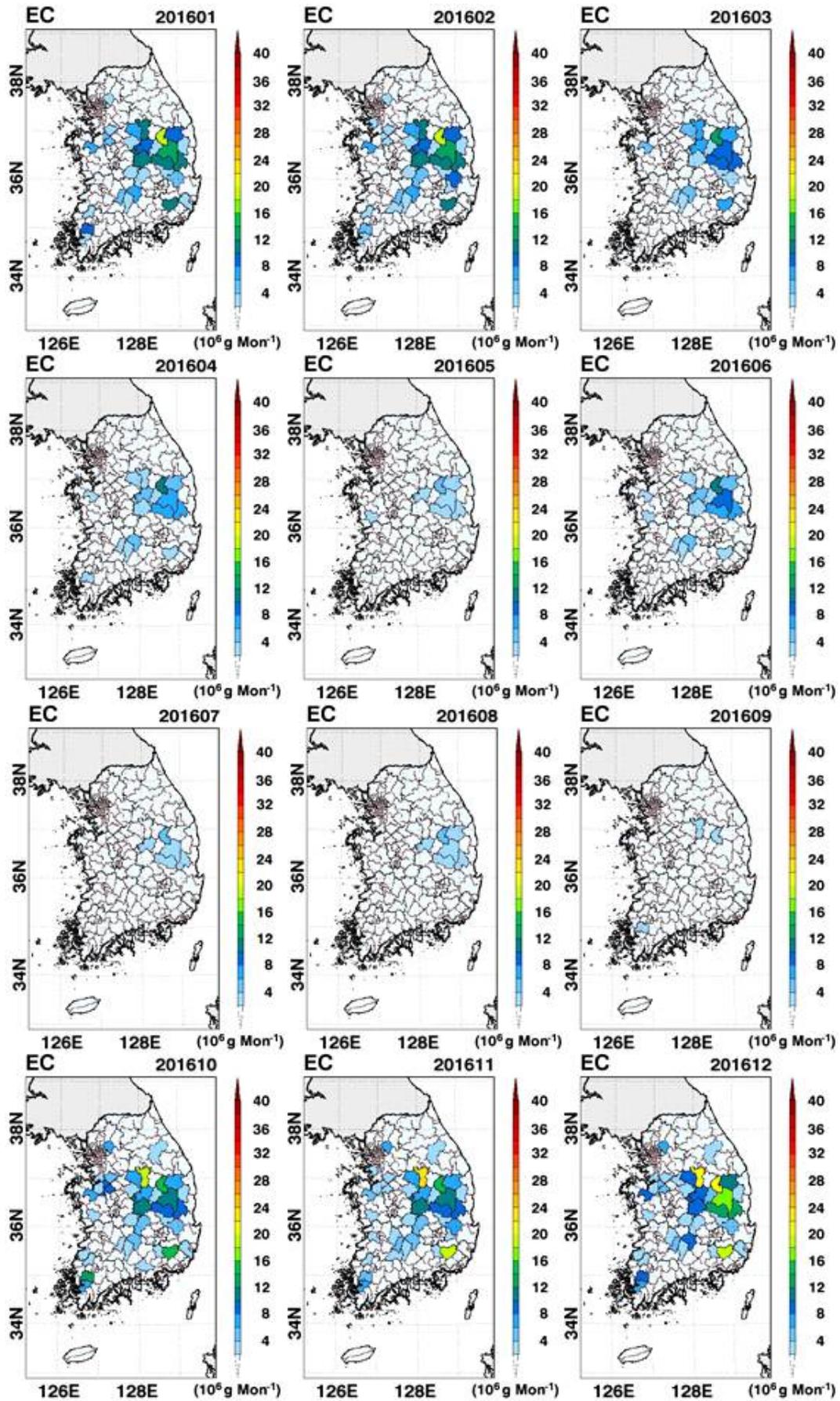
## 1. PM<sub>10</sub> (단위: 10<sup>6</sup> g month<sup>-1</sup>)



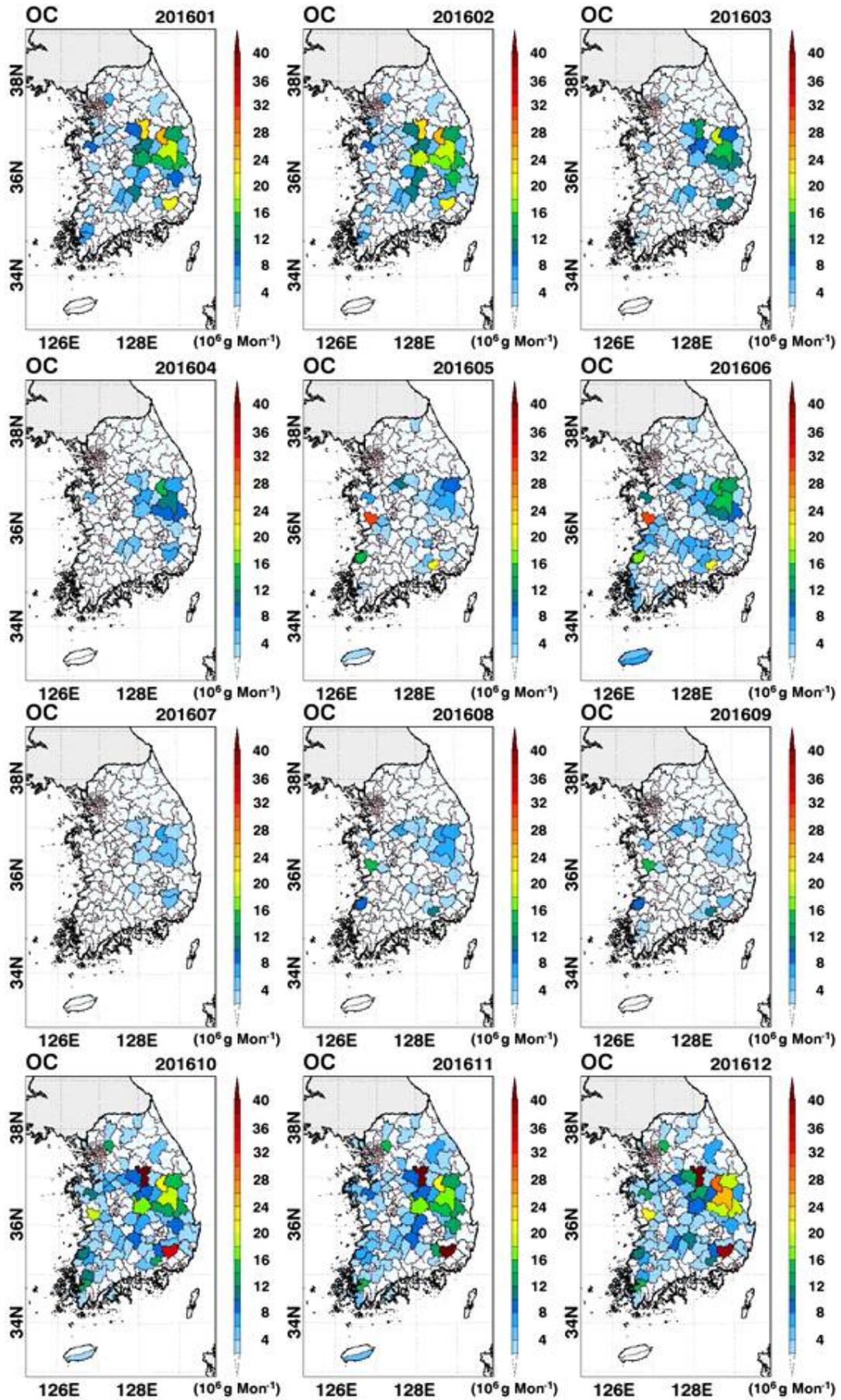
2. PM<sub>2.5</sub> (단위: 10<sup>6</sup> g month<sup>-1</sup>)



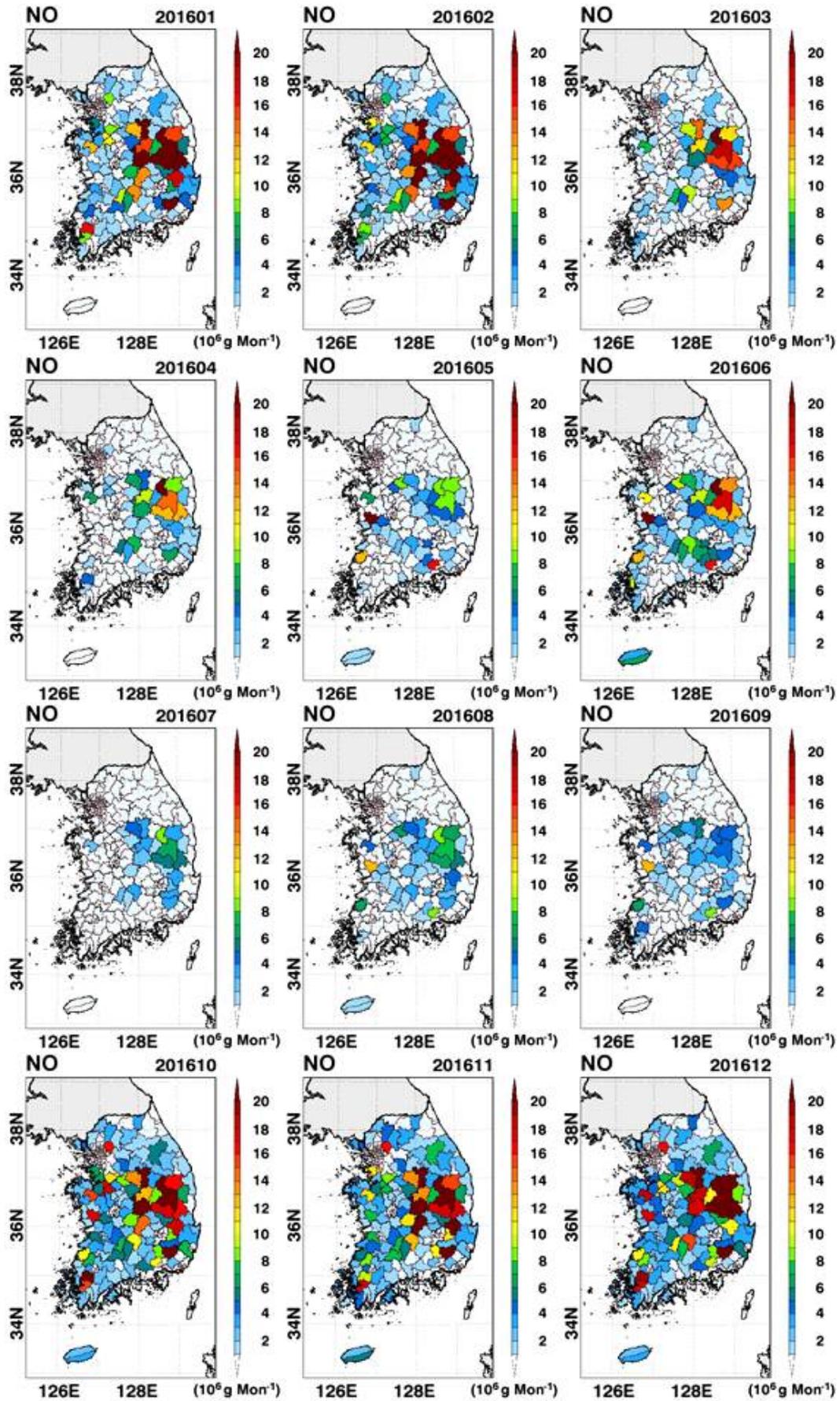
3. EC (단위:  $10^6 \text{ g month}^{-1}$ )



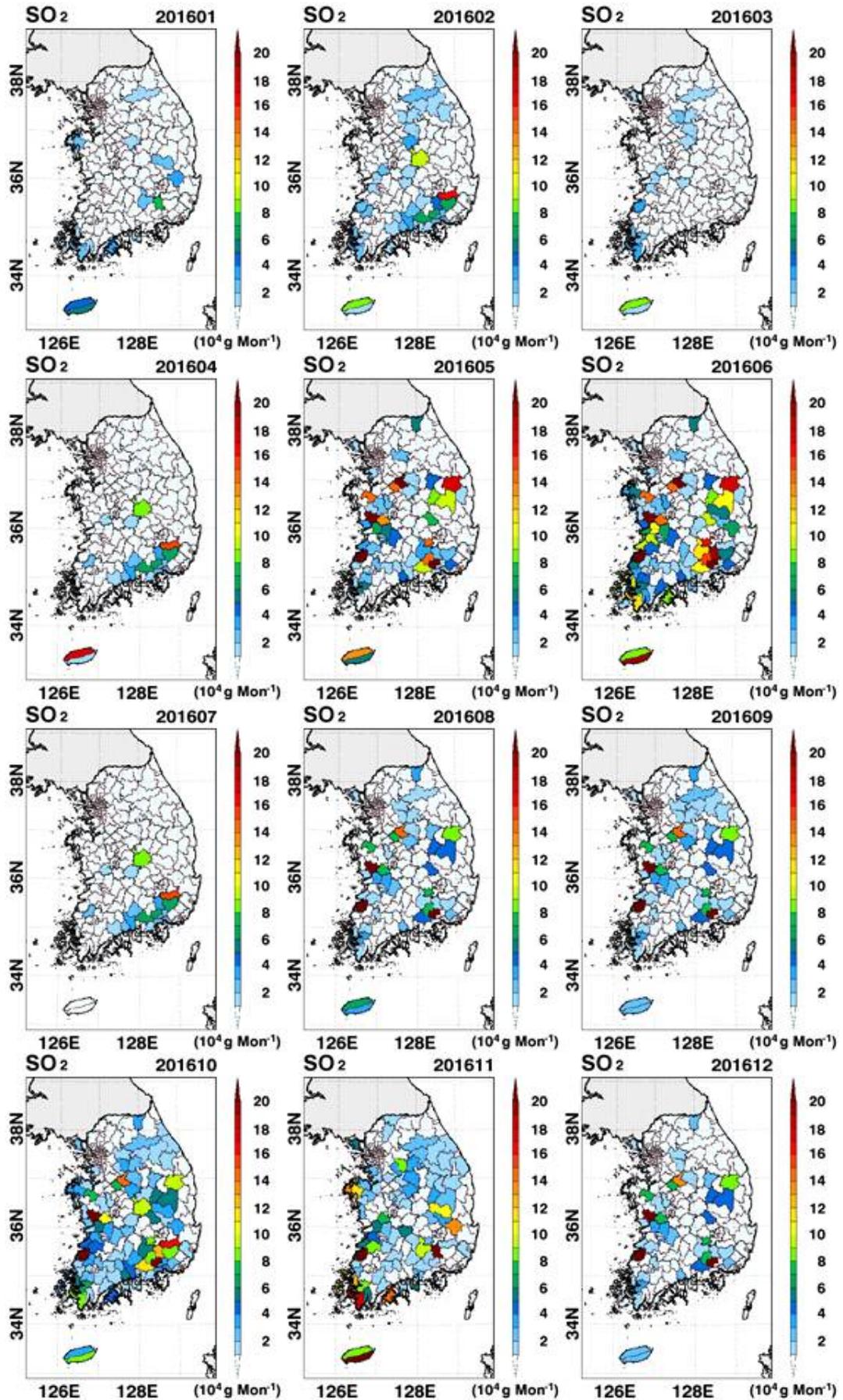
4. OC (단위:  $10^6 \text{ g month}^{-1}$ )



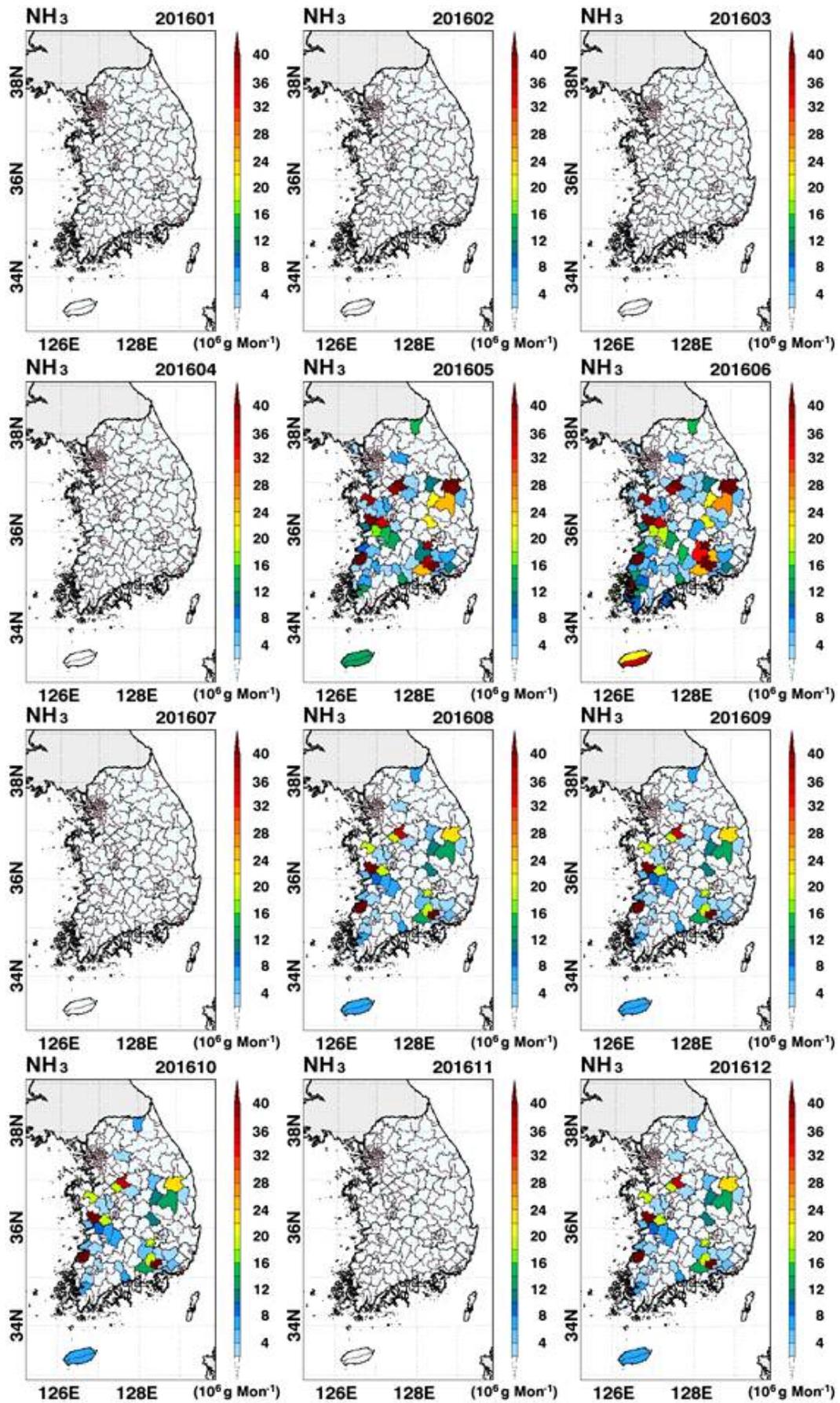
5. NO (단위:  $10^6 \text{ g month}^{-1}$ )



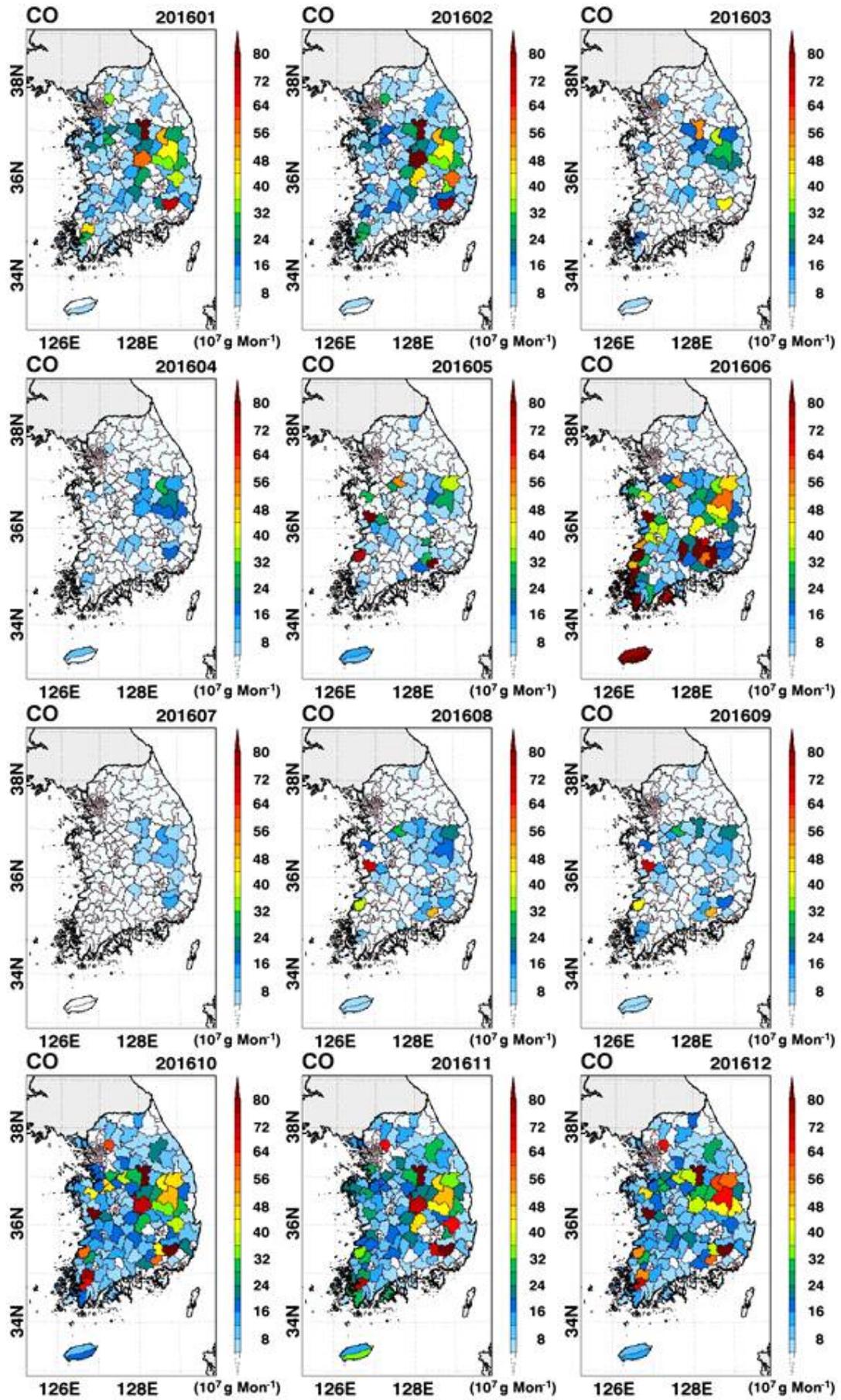
6. SO<sub>2</sub> (단위: 10<sup>4</sup> g month<sup>-1</sup>)



7. NH<sub>3</sub> (단위: 10<sup>6</sup> g month<sup>-1</sup>)



8. CO (단위:  $10^7$  g month $^{-1}$ )



## [부록] 후속연구 제안 (영농부산물 소각 대기오염 배출량 인벤토리 고도화)

### 사업명 : 영농부산물 소각으로 인한 대기오염 배출량 인벤토리 고도화

#### (1) 기본 개념 및 범위

##### <개념>

- 생물성 연소(biomass burning)는 인위적이든 자연적이든 자연계에서 일어나는 생체(biomass) 연소를 포괄적으로 말함. 생물성 연소는 일상생활에서 대기오염을 가중시키는 중요한 부문으로 농업잔재물 및 생활폐기물의 노천소각, 나무 등을 연료로 쓰는 아궁이, 화목난로와 보일러, 고기의 직화구이, 숯가마에서의 숯 굽기 등을 포함하는 배출원임.
- 영농부산물 소각이란 농촌에서 맥류, 잡곡, 두류, 서류, 채소, 특용작물, 과수 등의 잔재물 즉 바이오매스의 소각을 말함. 소각의 행태는 논,밭 등 노천에서 이루어지는 노천소각과 연료로 활용하여 소각되는 아궁이소각 등으로 구분할 수 있음.
  - 영농부산물 소각은 적절한 관리가 이루어지지 않은 채 행하여지므로 대부분 불완전연소가 수반되어 다량의 대기오염물질이 배출되며 특히 다이옥신이나 휘발성유기화합물질 등 유해물질의 발생가능성이 높음. 또한, 이러한 소각은 주로 생활환경 주변에서 이루어지므로 인체노출에 취약하여 사람에 대한 위험이 우려됨.
- 우리나라는 대기정책지원시스템(CAPSS, Clean Air Policy Support System)을 통해 대기오염이 배출에 대한 기초자료를 수집 관리하여 정책수립 및 연구수행에 필요한 정보를 제공하고 있음.
  - CAPSS는 에너지산업연소, 농업, 생물성연소 등 13개 배출원으로 구분하고 있음.
- 영농부산물 소각은 배출원 중 생물성연소에 해당하며, 면(비점)오염원으로 구분되어 관리되고 있음. 배출량 산정식은 US CARB(2006, Areawide Emissions Inventory Methodologies-Agricultural Burning)에서 제안한 아래의 식을 적용함.

농업 잔재물 소각에 의한 배출량 산정방법 (국립환경과학원)	
$E = A \times F \cdot L \times EF$	
E :	배출량 (kg/yr)
A :	경작지 면적(m <sup>2</sup> )
F·L :	Fuel loading (단위면적당 작물소각량, g/m <sup>2</sup> )
EF :	배출계수 (g/kg)

- 경작지 면적은 통계청의 자료를 활용하고 있음.
- 단위면적당 작물소각량은 “생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술 개발 연구(2011년~2014년)”에서 환경농업인을 대상으로 한 설문조사를 통해 확보한 소각비율을 적용함.
- 배출계수는 동 연구의 연소시험을 통해 산출한 배출계수값을 적용함.
- 배출량 인벤토리는 영농부산물의 소각 시 발생하는 대기오염배출량을 부산물의 종류별, 그리고 시간적 공간적으로 구분한 데이터베이스의 형태임.
  - 서류, 채소, 특용작물, 과수, 맥류, 잡곡 등으로 소분류되어 있으며, 배, 사과 등 11개 세분류되어 있음.
  - 대기오염물질은 8개(CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, VOC, NH<sub>3</sub> 등)로 구분하였음.
  - 시간배분으로는 작물별 소각 월 비율로 배분하였으며, 공간배분은 시군구 단위로 하고, 통계청에서 5년 주기로 조사되는 농업총조사 보고서의 작물별 재배면적 자료를 이용하고 있음.

##### <범위>

- 영농부산물 소각에 대한 세분류(부산물 발생 및 소각대상 작물)의 다양화 및 현실화
  - 조사대상 작물의 확대 및 대상 작물에 대한 활동도 및 배출계수 확보 방안 마련

- 활동도 구축 체계화 및 활동도 자료 최신화
  - 통계조사 자료의 활용 및 농업인 대상 설문조사 체계화를 통한 최신화
- 배출계수 개발 및 고도화를 위한 연소시설·시험 표준화 및 배출계수 개발
  - 연소시설 및 시험 표준화를 통한 배출계수 개발
- 배출량 인벤토리 구축 및 유지관리방안 마련

(2) 추진 배경 및 필요성

<추진 배경>

- CAPSS에서는 투명성, 정확성, 완전성, 정책반영 등을 배출량 인벤토리 구축의 기본원칙으로 수립하였음.
  - 영농부산물 소각에 포함된 배출원은 총 11개 작물이며 누락된 배출원이 상당할 것으로 예측됨
  - 누락된 배출원에 대해서는 배출계수가 개발되지 않았으며, 활동도 자료의 대상에 포함되지 않음
  - 실제 조건을 반영한 실측기반 배출계수의 개발은 인벤토리의 정확성에 중요한 요소임
  - 활동도는 시공간 분배자료의 해상도에 영향을 받으므로 정확한 지역별·시간별 배출량 인벤토리의 구축을 위해서는 고행도의 통계가 요구됨
- 대기오염물질 배출원에 대한 불확도평가 연구(국립환경과학원, 2019) 결과에 의하면 농업잔재물 소각 시 배출량(CO)의 불확도가 8.69에 달하여 개선이 필요한 것으로 보고됨.

<추진 필요성>

- [인벤토리의 완전성] 누락된 배출원을 파악하고 이를 추가할 필요가 있음
  - 현재 인벤토리는 11개 작물의 영농부산물만을 수록하고 있어 누락배출원이 상당함.
- [인벤토리의 정확성] 배출계수 개발을 위한 연소설비 및 시험 표준화 필요
  - 수록된 배출계수는 연소시험을 통해 실측된 것이나, 연소시험 시 노천소각 조건 및 부산물 특성 등에 따른 배출영향이 고려되지 않았으며, 따라서 연소설비 및 시험조건 등의 표준화가 되어 있지 않아 배출계수의 과대 또는 과소평가가 우려됨
  - 설문조사를 통한 소각비율 활동도 자료의 신뢰도가 낮으며, 주기적인 업데이트가 필요함. 이를 위한 활동도 구축 체계화 및 관리방안의 마련이 요구됨

(3) 국내외 기술동향

<국내>

- 국립환경과학원에서는 국내 인위적 오염원에 대한 CAPSS 배출량 인벤토리를 개발하여, 1999년부터 현재까지 CO, NOx, SO2, TSP, PM10, PM2.5 (2011년 이후), VOC, NH3에 DB 구축



- 환경부의 환경정책기반 공공기술개발사업을 통해 “생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술 개발 연구(2011년~2014년)”가 수행
  - 현재 CAPSS에 수록된 영농부산물 소각에 의한 대기오염 배출량 산정은 상기 연구에서 제시한 방법과 결과를 반영하였음
  - 국립환경과학원은 2014년 “생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법 편람”을 발간하여 배출량 산정 방식을 제시하였음
- 환경부 국립환경과학원은 2017년 “생물성 연소 배출량 산정법 개선” 연구 통해 연구 결과 생물성 연소 배출량 산정을 위해 다음 사항의 개선연구를 제시하였음.
  - 누락 물질에 대한 추가적인 연구가 필요
  - 농업잔재물에 대한 추가 배출계수 개발 필요
  - 배출계수 개발 시 시료 채취, 연소챔버 규격, 연소조건 등의 실험방법론 정립 필요
  - 활동도 자료 수집체계 수립 필요 : 통계 자료 뿐만 아니라 1:1 대면 방식에 의한 정기적인 설문 조사가 필요

<국외>

- 미국, 유럽의 경우 생물성 연소 배출량 산정법이 규격화되어 있으며, 배출물질의 산정은 CAPSS 보다 1개 적은 7개 항목으로 구성되어 있음
  - 미국 EPA의 영농부산물 소각에 의한 배출량은 아래 CARB(2006)의 산정방법을 이용
  - 배출계수는 연소 시험을 바탕으로 산정하며, 활동도 계수인 농가인구수, 폐기물 발생량, 소각비율, 경작지 면적 등은 통계 자료와 설문 조사를 통해 조사됨
  - 일본은 볏짚 및 콩대와 같은 발세분류의 잔재물을 주로 태우고 있으며, 생물성 연소에 관련한 공식적인 배출량 산정은 하지 않고 있음. 개별 연구 활동에 의한 배출량은 산정되고 있으며, 연소 방법에 따른 미세먼지, OCEC, CO, CH4 등의 발생량을 관찰하고 있음.

CARB (2006)의 농업 잔재물 소각에 의한 배출량 산정 방법	
$Emission_{ij} = Acres_j \times FL_j \times EF_{ij} \times 10^{-3}$	
Emission <sub>ij</sub>	: 세분류 j에 대한 오염물질 I의 배출량 (ton/yr)
Acres <sub>j</sub>	: 세분류 j의 경작지 면적(m <sup>2</sup> )
FL <sub>j</sub>	: 세분류 j의 단위면적당 평균 소각량 (kg/m <sup>2</sup> )
EF <sub>ij</sub>	: 세분류 j에 대한 오염물질 I의 배출계수 (g/kg)

(4) 현황 및 개선방안

<현황 및 문제점>

- 영농부산물 소각에 대한 세분류 배출원 누락됨
  - CAPSS 내 11개 세분류(작물) 배출원이 수록되어 있어 누락된 배출원이 상당함.
- 배출계수에 대한 연소 특성평가 및 표준화가 이루어지지 않음
  - 노천소각 조건을 반영한 연소시험을 통해 배출계수가 개발되지 않았으며 따라서 배출계수의 불확도가 높음
  - 누락된 배출원에 대한 배출계수 개발이 요구됨
  - 연소조건에 따른 배출특성 연구가 수행되지 않아 소각에 의한 대기오염배출 영향을 평가할 수 없음

<개선방안>

- 세분류 다양화 및 현실화
- 활동도 자료 구축 방안 체계화
- 배출계수 개발 및 고도화를 위한 연소시설 및 시험 표준화
- 배출량 인벤토리 구축 및 유지관리방안 마련

(5) 연구개발 목표 및 내용

<연구개발 목표>

- 최종목표 : 영농부산물 소각으로 인한 대기오염 배출량 인벤토리 고도화

<주요 연구내용>

- 영농부산물 소각에 대한 세분류(부산물 발생 및 소각대상 작물)의 다양화 및 현실화
  - 조사대상 작물의 확대 (화훼 등을 포함하여 현재 11개 작물을 40여개 로 확대)
  - 부산물의 발생량, 부산물의 소각처리 비율 등을 고려하여 소각량에 대한 영농부산물 대상 작물 우선 순위 산정
  - 대상 작물에 대한 활동도 및 배출계수 확보 방안 마련
- 활동도 구축 체계화 및 활동도 자료 최신화
  - 경지면적 기준의 부산물 발생량 산정방식 재검토 및 개선
  - 통계청 농업총조사 자료의 활용 방안 마련 (필요시 통계청 조사항목으로 추가 검토)
  - 소각선도도, 소각비율 등의 조사를 위한 농업인 대상 설문조사 체계화
  - 활동도 자료의 최신화
- 배출계수 개발 및 고도화를 위한 연소시설·시험 표준화 및 배출계수 개발
  - 작물별 노천소각 조건(연소시간, 작물 함수량 등) 조사
  - 노천소각 조건을 반영한 연소시험용 설비의 설계 및 제작
  - 노천소각 조건의 연소시험 조건 설정 및 시험 표준화
  - 연소시험 시 대기오염물질 측정방안 마련
  - 연소 시 유해물질 발생 특성 평가
  - 작물종류 또는 작물의 상태에 따른 연소조건과 대기오염배출 영향 평가
  - 주요 작물의 영농부산물에 대한 배출계수 개발 및 유해물질 발생 자료 구축
- 배출량 인벤토리 구축 및 유지관리방안 마련
  - 시간·공간 분배 작물별·오염물질별 배출량 인벤토리 구축
  - 배출량 산정을 위한 활동도 자료 갱신 방안 마련

## [부록] 정책활용 별첨 자료

### 1. 농업 부산물 소각 관리 방안 (주관부처 : 농림부 농촌사회복지과)

양 식	정책건의/시행		
<b>과제명</b>	논 밭두렁 및 영농폐기물부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향		
<b>건의명</b>	농업 부산물 소각 관리 방안		
<b>주관부처 (담당자)</b>	농림부 농촌사회복지과	<b>건의일자 (제출일)</b>	2020년 01월 22일
<b>시책명</b>	농업 부산물 소각 관리 방안	<b>시행일 (시행예정일)</b>	2020년 01월 22일
<b>주요내용 요약</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농림부 미세먼지 대응회의</li> <li>○ 연구내용 및 주요 결과를 정책 수립에 반영</li> </ul>		
<b>기대효과</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농업 잔재물 소각에 의한 미세먼지 발생에 대한 정책대응을 위해 정책수립에 반영</li> </ul>		
<b>증빙자료 1 (하단별첨)</b>	발표자료 첨부		
<b>증빙자료 2 (하단별첨)</b>			

# 논 밭두렁 및 영농폐기물 · 부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향



## 미세먼지; 사회적 이슈

### 1. 연구 배경

(초)미세먼지 및 오존 등 고농도 대기오염 사례 증가

- 국내 배출 대기오염물질
- 중국으로부터 월경성 대기오염물질



Severe smog episode in Jan. 2013

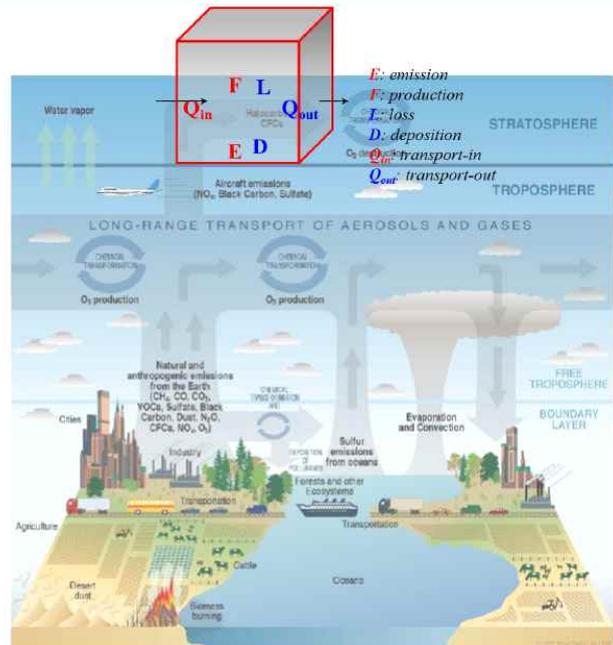
(초)미세먼지 각종 질환 증가 등 국민 건강 위협

- 1급 발암물질 (WHO 산하 국제 암연구소, IARC)
- 5 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 상승 폐암(18%) 및 조기 사망률(7%) 증가 (Raaschou-Nielsen et al., 2013; Beelen et al., 2013)



정확한 정보구축 필요

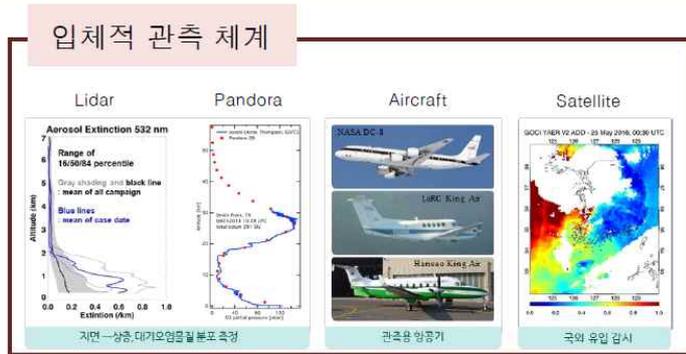
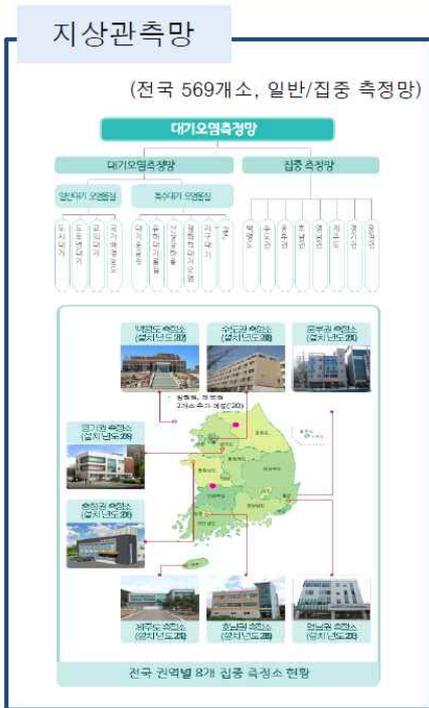
- 미세먼지 및 오존 예보제 시행 (국립환경과학원)
- 미세먼지 원인 규명 및 대응방안 마련
- 신뢰도 높은 배출원/배출량 정보 구축



Source: CCSP Strategic Plan (illustrated by Rekaewicz)

# 미세먼지 대응 체계 -1 (관측, 분석, 예보)

## 1. 연구 배경



3

# 미세먼지 대응 체계 -2 (배출원 관리)

## 1. 연구 배경



- (목 표) 체계적인 기초자료 수집·관리를 통하여 정책·연구 수행에 필요한 정보 제공
- (물 질) 9개 (CO, NOx, SOx, TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, BC, VOCs, NH<sub>3</sub>)
- (시·공) 연간/시·도, 시·군·구, 1km×1km
- (법 률) 미특법 제17조(국가미세먼지정보센터 설치·운영), 대기보전법 제 17조(배출량 및 배출원 조사)

4

# 배출량 산정 체계 (CAPSS)

## 1. 연구 배경

### 국가 미세먼지 배출원 분류

배출원 분류	오염 물질	오염 물질						Point	Non-Point
		SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	CO	VOC	NH <sub>3</sub>		
에너지산업 연소	발전소	•	•	•	•	•	•	√	
비산업 연소	주거, 공공 등	•	•	•	•	•	•	√	√
제조업 연소	사업장	•	•	•	•	•	•	√	√
생산공정		•	•	•	•	•	•	√	√
에너지 수송 및 저장	주유소, 저유소					•			√
유기용제 사용	페인트, 인쇄 등					•			√
도로이동오염원	차량, 이륜차	•	•	•	•	•	•		
비도로이동오염원	항공, 선박 등	•	•	•	•	•	•		
폐기물처리	소각, 폐수	•	•	•	•	•	•	√	√
농업	분뇨, 비료 등						•		√
기타 연오염원	산물, 화재		•	•	•	•	•		√
비산먼지	재비산, 건설 등			•					√
생물성 연소	소각, 구이 등	•	•	•	•	•	•		√

### 배출량 산정

#### 점·면 오염원 배출량 산정

- 배출량 = ∑ 배출계수 \* 활동도 \* (1 - 방지효율)
- 굴뚝상시측정사업장(TMS)
  - 사업장별 고유 배출계수를 활용한 상향식
- 농촌 소각 : 배출계수와 활동도를 활용한 상향식
 
$$E = A * FL * EF$$
  - E: 배출량(kg)
  - A: 경작지 면적 (m<sup>2</sup>)
  - FL: 단위면적당 작물 소각량(g/m<sup>2</sup>)
  - EF: 배출계수(g/kg)
- 활동도 : 통계자료, 설문자료 등을 통한 수치화
  - 경작지 면적 (국가 통계자료, 작물별)
  - 단위면적당 작물 소각량 (설문조사)
  - 소각 작물 종류, 소각 비율, 소각 빈도, 방식, 시기 등 (설문조사)
- 배출계수 : 연소시험을 통한 수치화

세분류	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	VOCs	NH <sub>3</sub>
배	238.3	8.7	-	11.3	87.7	0.01
사과	146.0	10.4	-	18.9	353.3	0.01
...	...	...	...	...	...	...

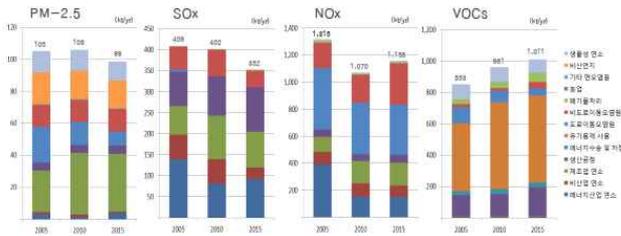
5

# 배출량 산정 체계 (CAPSS)

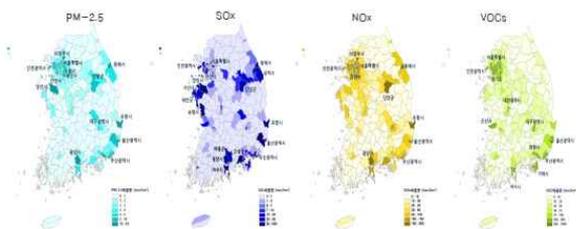
## 1. 연구 배경

### 국내 미세먼지 배출 기여율 평가

배출원별 배출량(t/km<sup>2</sup>)



지역별(임야 제외) 배출량(t/km<sup>2</sup>)



#### 미세먼지 저감 정책 수립의 기초자료로 활용

- 배출원 별 저감대책, 기술개발 등 추진
- 지역별 미세먼지 저감방안 수립
- 산업, 지역 등에 대한 미세먼지 대응 사업 추진

#### 농업분야 주요 배출원



농업 영농부산물 소각 등    농업 가축분뇨 사용 등    농업 비료 사용 등

#### 산업분야 주요 배출원



산업 생산공정 등    비도로 건설장비, 선박 등    선박 페인트 VOCs 등

6

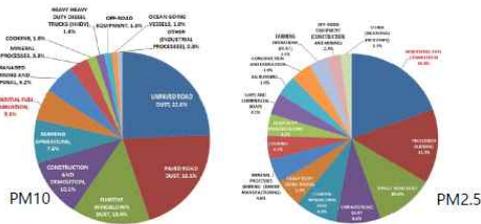
# 배출량 산정 체계 (해외 사례)

## 2. 관련기술 및 정보

### 해외 사례; 생물성 연소 배출량 산정

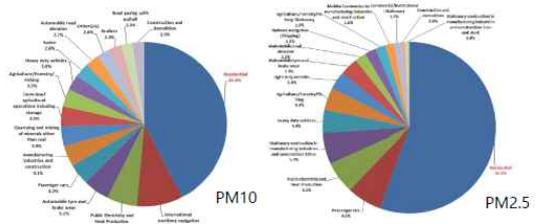
#### 미국 EPA 대기배출원 관리 체계

- 대분류 14개 배출원 및 하위 세분류
  - : 북미산업분류체계를 기본으로 표준산업분류 코드 적용
  - : 생물성연소는 별도 분류되어 있지 않음
  - : 노천소각은 폐기물 처리에 포함
  - : 농업잔재물은 폐기물 처리, 농업, 임업, 토지이용에 포함
- 캘리포니아 생물성연소 배출자료 구축
  - : PM10 배출비율 Farming operation 7.6%
  - : Food and agriculture 0.7%



#### 유럽 대기배출목록화

- EC CORINAIR를 시작으로 배출자료 체계 확립
  - : SNAR에 따른 분류체계, 11개 대분류 및 하위 세분류
  - : PM10 배출비율 Agriculture/Forest/Fishing 3.5%



#### 일본

- 생물성연소 관련 국가배출량 산정하지 않음
  - : 국내와 유사하게 볏짚, 콩대 등 농업잔재물은 주로 소각
  - : 연구활동을 통해 생물성연소의 대기오염배출 관찰
  - : 발생된 바이오매스의 재활용을 위한 연구 및 정책 추진 (80% 이상이 재활용)

7

# 생물성 연소 선행연구

## 2. 관련기술 및 정보

### 국내 선행연구

#### 경기개발연구원 (2011~14, KEITI)

“생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술 개발”

- 생물성연소 배출량 조사, 활동도 및 배출계수 개발
  - : 생활폐기물, 농업잔재물, 화목난로, 아궁이, 산불 등
- 생물성연소 배출량 산정방법 확립
- CAPSS 반영 (배출량 산정 및 DB 구축)
  - : 노천소각 배출량 (농촌 생활폐기물 소각)
  - : 농업잔재물 소각 활동도 및 11개 세분류 배출계수



<1차원 2차원> 국내 농경지역 조사에 의한 PM2.5 배출량도

#### 세종대학교 (2019, NIER)

“대기오염물질배출량 신뢰도 및 정확도 개선 연구”

- 현 CAPSS 평가(불확도) 방법 개선
- '18 CAPSS 불확도 평가 및 보완사항 도출
  - : 1위 농업분야 분뇨관리 (NH<sub>3</sub>) 불확도 40.86
  - : 11위 농업잔재물 소각 (CO) 불확도 8.69
  - : 25위 비료사용농경지 (NH<sub>3</sub>) 불확도 3.93

#### (사)한국대기환경학회 (2017, NIER)

“생물성연소 배출량 산정법 개선”

- 국내 생물성연소 미산정 배출원 발굴
- 생물성 연소 배출량 산정법 검토 및 분석
  - : 배출계수에 의한 배출량 불확도 매우 큼
  - : 농업잔재물의 경우 연소조건(수분함량, 연소방법 등)에 의한 측정 배출계수 값 영향이 크게 나타남
  - : 시료채취, 연소 조건 등에 대한 실험방법론 정립 필요
  - : 정기적 설문조사에 의한 활동도 자료수집체계 필요

8



# 연구 세부목표

## 3. 연구 목표

### 국가 CAPSS 현황

#### 영농 부산물 등 소각 CAPSS 현황

- 생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법 편람 (2014.05, 국립환경과학원)
- 2011년 8개 대기오염물질 배출량 기준
- 배출량 산정방법  $E = A * FL * EF$   
 E: 배출량(kg)  
 A: 경작지 면적 (m<sup>2</sup>)  
 FL: 단위면적당 작물 소각량(g/m<sup>2</sup>)  
 EF: 배출계수(g/kg)
- 활동도 자료 : 2011년 국가통계자료 및 설문조사 결과
- 배출계수 : 농업잔재물 11개 세분류 (연소시험 미흡)



#### 본 연구의 세부 목표

- 농업잔재물 소각에 대한 19개 배출량 산정 자료 구축 : 현재 11개 배출량 자료를 19개로 확대 구축
- 활동도 자료 갱신 : 국가 농업통계자료 (시·군·군 단위 경작지 면적) : 설문조사 (잔재물 발생량, 소각량, 소각시기 등)
- 농업잔재물 배출계수 보완 및 추가 (연소시험) : 2개 세분류는 자료 갱신(옥수수, 땅콩 배출계수 실측) : 8개 세분류 자료 추가(작물 배출계수 실측)
- \* 연소시험의 체계화 (표준화)



11

# 활동도; 국가 통계자료

## 4. 연구 수행 내용

### 국가 통계자료 (농업분야)

#### 국가 통계조사포털

- 공개자료(KOSIS, <http://kosis.kr>): 시도단위 경지면적
- 비공개 자료: 시군구 단위 작물별 경지면적 : 작물잔사 처리방법 등

\* 통계청의 원자료 제공 협조 필요

#### 조사자료의 DB 구축

- 엑셀 기반 지역별 대상항목 자료 구축
- 자료의 조사 시점 통일 (예: 2018 자료)



농림어업조사 농가조사표 (통계청)

### 농업인 대상 전국단위 심층설문조사

#### 설문조사

- 시도단위 경지면적에 따라 설문조사 수 가중치 부여
- 농업인 대상 1,000개 이상의 1:1 설문조사
- 소각량, 소각빈도, 소각시기, 소각방법 등의 행태 조사
- 지역별·경작규모별·연령별 활동도 경향 분석

### 활동도 현장조사 (논두렁 소각량)

#### 논두렁 단위면적당 소각량 현장조사

- 논외 농업잔재물 현장조사 (5필지 이상, 필지당 5구역)



12

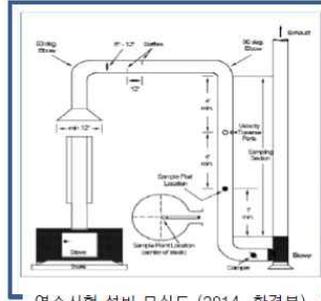
# 배출계수; 연소시험

## 4. 연구 수행 내용

### 선행연구 연소시험방법 검토

선행연구 배출계수 산정을 위한 연소시험 문제점

- 연소 설비 규격화 미비  
(연소공기 및 챔버 등 시험조건 문제)
- CAPSS 항목만 측정  
(2차 미세먼지 발생 예측 등 결과 활용도 낮음)
- 항목별 측정기기 조건 및 희석 등 고려되지 않음
- 시험조건에 의한 배출계수 불확도 높음

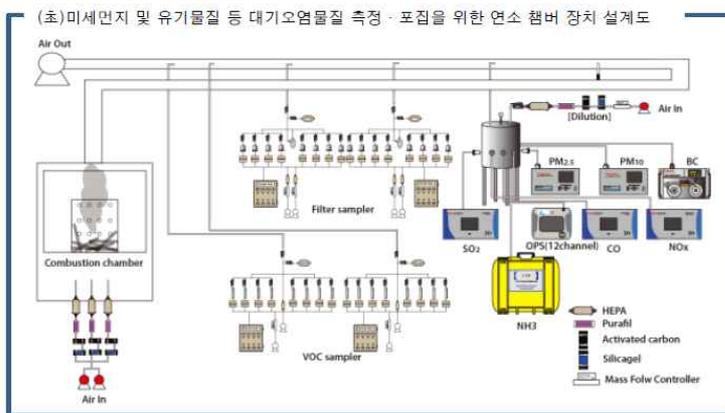


13

# 배출계수; 연소시험

## 4. 연구 수행 내용

### 연소시험 설비 구축



측정 및 분석 항목

- 가스상·입자상 총 25항목
- CAPSS 8 항목  
(SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NH<sub>3</sub>, VOCs, TSP)
- 유해 대기오염물질 PAHs 15항목
- 연향 모델링(대기화학) 추가 1항목  
OCEC-CMAQ model
- Biomass 연소 추적자 1항목  
Levoglucosan



14

# 배출계수; 연소시험

## 4. 연구 수행 내용

### 연소 및 측정

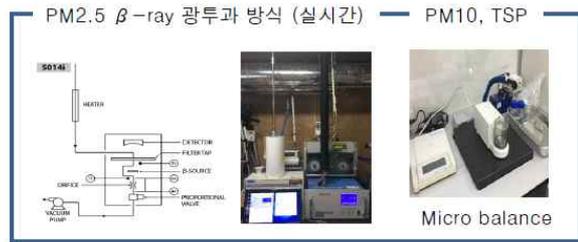
가스상 측정 (실시간)

항목	분석법
SOx	자외선형광법
NOx	화학발광법
CO	비분광적외법
NH <sub>3</sub>	Laser abs.
VOCs*	TD-GC/MS

\* 포집 측정 (TD-GC/MS)



입자상 측정 (포집 후 분석)



NH<sub>3</sub> analyzer

흡수 셀에서 Off-Axis Integrated-Cavity Output Spectroscopy (Off-Axis ICOS) 방식을 사용하여 농도를 측정

OCEC    TOC    IC (cation)    IC (anion)    GC/MS

NIOSH5040 carbon    수용성 OC    NH<sub>4</sub><sup>+</sup>    NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>    PAHs

15

# 배출계수; 연소시험

## 4. 연구 수행 내용

### 대상작물 선정

CAPSS 배출원 소분류 작물 배출계수 보완

- 옥수수, 땅콩 등 2종에 대한 CAPSS 배출계수 보완 필요 (현재 옥수수는 고추대, 땅콩은 콩의 배출계수를 적용)

8개 세분류 배출원에 대한 배출계수 산출

- 신규 세분류 농업잔재물 7종 추가
  - : 활동도 조사를 통한 작물별 전국 경작지 면적 조사
  - : 농업잔재물의 소각 형태 고려
- 논두렁(벼), 마늘, 감, 감자, 감귤, 고구마, 양파, 수박(?)
  - \* 수박은 5월 이전 잔재물 확보 여부에 따라 포함
- 보리 (수박을 대체할 세분류)
  - : CAPSS에 수록된 세분류
  - 단위면적당 작물소각량은 7.4g/m<sup>2</sup>로 비교적 낮은 배출계수(TSP, PM10, PM2.5 등) 비교적 높음
  - : 규격화된 연소시험조건에서 배출계수를 산출하여 기존 자료와 비교 필요

### 시료확보 및 건조

선정 작물의 수확시기 등을 고려하여 시료 확보

- 연소시험을 위해 작물별 3~5kg 시료 확보

시료의 건조

- 활동도에 따른 자연 건조
  - : 활동도 조사를 통해 부산물의 야적 방식 및 기간 고려
  - : 시료의 연소 전 수분 함유량 측정



16

# 배출량 인벤토리

## 4. 연구 수행 내용

### 배출량 인벤토리

EPA, AP-42 : 생활폐기물 소각에 의한 배출량 산정

$$Emission_i = P_{frac} \times W \times B_{frac} \times EF_i$$

Emission<sub>i</sub>: 생활폐기물 소각 오염물질 i의 배출량 (ton/yr)  
 P<sub>frac</sub>: 농가인구수 (인)  
 W: 1인당 폐기물 발생량  
 B<sub>frac</sub>: 농촌 소각 비율 (%)  
 EF<sub>i</sub>: 오염물질 i의 배출계수

CARB (2006) : 영농부산물 소각에 의한 배출량 산정

$$Emission_{ij} = Acres_j \times FL_j \times EF_{ij} \times 10^{-3}$$

Emission<sub>ij</sub>: 세분류 j에 대한 오염물질 i의 배출량 (ton/yr)  
 Acres<sub>j</sub>: 세분류 j의 경작지 면적(m<sup>2</sup>)  
 FL<sub>j</sub>: 세분류 j의 단위면적당 평균 소각량 (kg/m<sup>2</sup>)  
 EF<sub>ij</sub>: 세분류 j에 대한 오염물질 i의 배출계수 (g/kg)

### 배출량 인벤토리

영농소각에 의한 국가 총 배출량  
 공간배열 배출량 : 광역시도, 시·군·구 별  
 시간배열 배출량 : 1개월 단위 1~12월  
 세분류별 배출량 : 20개 세분류 배출량

### 활동도 자료 (작물별·지역별·시간별)

공간자료 : 경작지 면적, 농가인구수  
 (최신 국가 통계자료, 작물별)  
 시간자료 : 소각 시기  
 활동자료 : 소각량(빈도, 비율 등), 형태(방식)  
 단위면적당 작물 소각량  
 : 지역별, 작물별 소각량

### 배출계수 자료 (연소시험 측정자료)

생활폐기물 포함 총 20개 세분류 배출자료  
 가스상, 입자상 등 총 25항목 오염물질 자료

### 자료의 DB화 (엑셀기반)

활동도 DB (시,공,세분류)  
 배출계수 DB (세분류, 오염물질)  
 배출량 DB (총, 시,공,세분류)

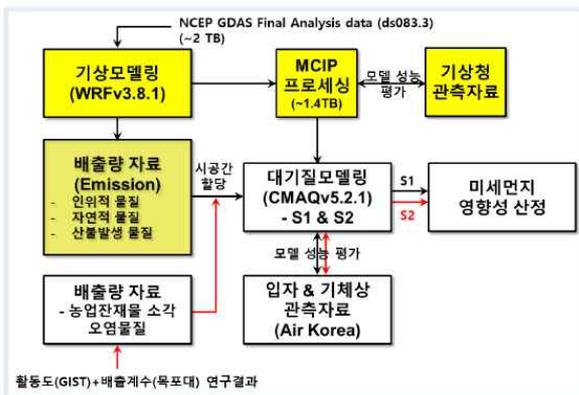
17

# 영향평가

## 4. 연구 수행 내용

### (초)미세먼지 영향성 산정

- 모델링을 통한 (초)미세먼지 영향성 산정  
 (대기 중 2차 미세먼지 발생 예측을 위한 화학모델 적용)



- 기상(WRFv3.8.1)/화학(CMAQv5.2.1) 모델링 시스템 구성 (최신버전) - 완료
- 대기질 모델 입력자료 생성  
 기상 자료 생성 - 완료  
 기상모델 성능 평가 분석 - 완료(?)  
 배출량 자료 격자 전환 및 자료 통합 (인위적/자연적/산물발생/농업잔재물 소각 배출량)
- 대기질 (화학) 모델링 구동 (예정)  
 대기질 모델 성능 평가  
 국립환경과학원 지상관측 자료 활용
- 농업잔재물 소각 (초)미세먼지 영향성 산정 (예정)

기상모델	WRFv3.8.1	<공간적 연구범위>
기상자료 (초기경계)	NCEP GDAS Final Analysis data (ds083.3) - <a href="https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.3/">https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.3/</a> - 격자간격: 0.25° - 시간간격: 6hr	
시간범위	- 2016. 01 - 12 (12 months)	
공간범위	- 100-145° E; 20-50° N - 15 x 15 km <sup>2</sup> grid resolution - 15계층 (from surface to ~95hPa) - 격자수: 273 x 204 x 15	
WRF 물리 옵션	구름미세물리 - WRF Single-moment 6-class scheme (Hong and Lim, 2006) 형성경계준 - Yonsei University PBL (YSU, Hong et al., 2006) 적운모수화 - Kain-Fritsch scheme (Kain, 2004) 단파 및 장파복사 - RRTMG Shortwave and Longwave scheme (Iacono et al., 2004) 지면모수화 - 5-Layer thermal diffusion Land Surface Model	

18

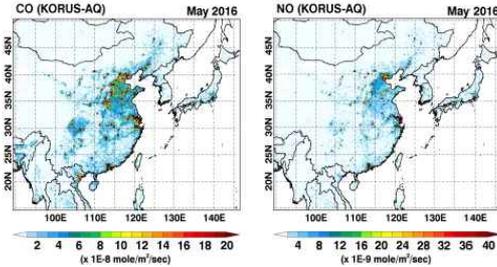
# 영향평가

## 4. 연구 수행 내용

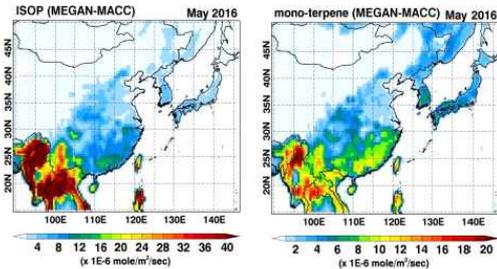
### 배출 인벤토리 입력

- CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOCs, BC, OC, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>
- 모델링 격자 공간 할당

인위적  
배출량  
(예시)

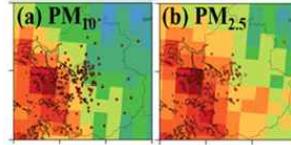


식생  
배출량  
(예시)



### 모델링 성능 검증

- **지상관측망 자료**  
: EANET망 (동아시아), Air Korea(국내)  
: PMs 및 기체상 물질 등
- 시간변화 및 공간적 분포 평가

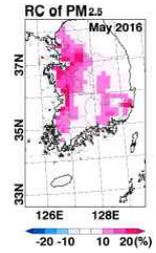


### 영농소각 영향성 산정

- 상대차이 (RC: Relative change)

$$RC(\%) = \frac{(C_w - C_{wo})}{C_{wo}} \times 100$$

C<sub>w</sub>: 영농소각 배출량 고려  
지표면 PMs 농도  
C<sub>wo</sub>: 영농소각소각 배출량 고려하지  
않은 지표면 PMs 농도



영향성 산정(예시)

19

# 연차별 성과목표

## 5. 주요 성과목표

연구 내용	중요도 (%)	1차년도 (2019년, 5개월)	2차년도 (2020년, 12개월)
활동도 자료 update	30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설문조사 설계</li> <li>• 통계자료 수집</li> <li>• 1차 설문조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2차 설문 조사</li> <li>• 설문조사 결과의 통계 처리</li> <li>• 활동도 자료 DB화</li> </ul>
배출계수 갱신	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연소 시험 구성 및 규격화</li> <li>• 분석대상 선정</li> <li>• 1차 시료 채취</li> <li>• 1차 연소 시험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2차 시료 채취</li> <li>• 2차 연소 시험</li> <li>• 배출계수 산정 및 DB화</li> </ul>
배출량 산정	25		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배출량 산정</li> <li>• 배출량 인벤토리 구축</li> </ul>
영향 평가	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기상/대기질 모델링 입력자료 생성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농촌 소각 영향평가 자료구축</li> <li>• 농촌 소각에 의한 PMs 산정</li> </ul>
배출량 저감 및 관리계획	10		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술적 저감 방안</li> <li>• 거버넌스 구축 방안</li> </ul>
최종 성과		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>국가대기인벤토리(CAPSS)</b> 영농소각 세분류 배출원 Update : 세분류 추가 및 활동도 자료 update : 세분류 배출계수 갱신, 총 20개 세분류 배출계수 제시 : 영농소각 대기오염물질 배출량 산정</li> <li>• 영농소각 시 발생하는 미세먼지의 <b>영향 평가(모델링)</b></li> <li>• 농업분야 생물성 연소로 인한 대기오염물질 배출량 <b>저감 및 관리 방안</b> 수립</li> </ul>	

20

## 향후 추진 연구 및 애로사항

### 향후 추진 연구

연소시험법 규격화(표준화) 및 농업잔재물 배출계수 갱신 연구

- 농업잔재물 배출계수 산출을 위한 연소시험 표준화(규격화)  
: 설비의 보완 및 규격화, 시험방법의 구체화 및 표준화  
: 농림부 표준, 국가표준, 세계 표준 등으로 확대하여 성과 도출
- 규격화된 설비 및 시험법을 이용한 CAPSS 수록 배출계수 갱신

농업잔재물 소각 활동도 계수 확보 방안 마련 및 자료 구축

- 통계청 농림어업조사 활용 방안 마련
- 체계적인 활동도 조사(설문조사) 방법 마련 및 인프라 구축
- 주기적 활동도 자료 갱신 방안 마련

농업관련 환경문제 대응 체계적 연구 기획 및 추진

- 미세먼지 관련 암모니아 · 농촌소각 배출량 산정 및 관리방안 수립 연구
- 대기 뿐만 아니라 수질에 대한 환경문제 대응 연구 (비료 · 축산분뇨 등은 하천수 수질의 주요 배출원)

### 애로 사항

통계청 원자료 확보 필요 (정보제공 협조요청 어려움, 농림부 지원 ?)

연소시험설비 구축 한계 (연구비, 연구기간) → 후속 연구 필요

전국단위 설문조사 한계 (연구비, 연구기간) → 후속 연구 필요

2. 농업 부산물 소각 발생 대기오염 배출량 현황 (주관부처 : 농촌진흥청 연구운영과)

양 식	정책건의/시행		
<b>과제명</b>	논 밭두렁 및 영농폐기물부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향		
<b>건의명</b>	농업 부산물 소각 발생 대기오염 배출량 현황		
<b>주관부처 (담당자)</b>	농촌진흥청 연구운영과	<b>건의일자 (제출일)</b>	2020년 11월 18일
<b>시책명</b>	농업 부산물 소각 발생 대기오염 배출량 현황	<b>시행일 (시행예정일)</b>	2020년 11월 18일
<b>주요내용 요약</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농업진흥청 “농축산 미세먼지 연구협의체” 회의</li> <li>○ 농업 잔재물 소각에 의한 배출량 등 연구의 주요 내용 및 결과 발표</li> </ul>		
<b>기대효과</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기술적 내용과 결과에 대한 심층논의를 수행하여 연구협의체의 활동에 기여</li> </ul>		
<b>증빙자료 1 (하단별첨)</b>	참석요청공문 및 발표자료 첨부		
<b>증빙자료 2 (하단별첨)</b>			



농촌진흥청

일자리가 성장이고 복지입니다

## 농촌진흥청



수신 수신자 참조  
(경유)

제목 「농축산 미세먼지 연구협의체」 제5차 회의 참석 및 발표자료 제출 요청

1. 관련: 「농축산 미세먼지 연구협의체」 제5차 회의 개최 알림(연구운영과 메모보고, 2020. 10. 30.).
2. 위와 관련하여 「농축산 미세먼지 연구협의체」 제5차 회의 발표자료(ppt)를 2020. 11. 15.(일)까지 내부메일 또는 이메일(sskang33@korea.kr)로 보내주시기 바랍니다.

- 아 래 -

- 목 적 : 미세먼지 모니터링, 농촌소각 연구현황, 결과 공유 및 현안 논의
- 일 시 : 2020. 11. 18.(수), 13:30~16:00
- 장 소 : 농촌진흥청 종합연찬과 세미나실
- 참석자 : 「농축산 미세먼지 연구협의체」 구성원 및 미세먼지 연구과제 수행자, 발표자 등
- 발표내용
  - 내부 : 새만금 및 농축산지역 미세먼지 모니터링 현황 및 계획
    - 새만금 및 농업지역 미세먼지 모니터링 : 기후변화평가과 홍성창 박사
    - 축산(양돈)지역 미세먼지 모니터링 : 축산원 축산환경과 하태환 박사
  - 외부 : 논밭두렁 및 영농폐기물, 부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향(광주과학기술원 이병태 교수)
    - ※ 외부발표자 사례금: 30만원(교통비 포함)

붙임: 농축산 미세먼지 연구협의체 제5차 회의 개최(안)-최종. 끝.

## 농촌진흥청장

수신자 국립농업과학원장(기후변화평가과장), 국립축산과학원장(축산환경과장), 광주과학기술원총장



농업연구사 강성수      농업연구관 김이현      연구운영과장 전필 2020.11.3.  
임기순

협조자

시행: 연구운영과-4587      (2020. 11. 3.)      접수

주: 54875.      전라북도 진주시 덕진구 동생당로 300, 농촌진흥청 연구정책국 / www.rda.go.kr  
연구운영과 (충동)

전화번호 063-238-0757      팩스번호 063-238-1771      / sskang33@korea.kr      / 대한민국 공개

혁신적 포용국가 구현

# 논밭두렁 및 영농폐기물·부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향



## 발표 순서

I. 연구 배경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연구의 필요성</li> <li>• 연구 목표 및 내용</li> </ul>
II. 연구 내용 및 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 활동도 조사; 설문 및 자료 조사</li> <li>• 배출계수; 연소시험</li> <li>• 영향 평가; 모델링</li> <li>• 연구 추진체계</li> </ul>
III. 주요 연구결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연구성과 요약</li> <li>• 영농 부산물 소각 배출량 결과</li> <li>• 배출량 분석; 분류(작물)별                             <ul style="list-style-type: none"> <li>; 부산물 발생량</li> <li>; 소각비율</li> <li>; 배출계수</li> </ul> </li> </ul>
IV. 연구 결과 고찰	
V. 진행 중인 연구 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼지 발생 모델링</li> </ul>
VI. 향후 연구 제언	

# 미세먼지; 사회적 이슈

연구 배경

(초)미세먼지 및 오존 등 고농도 대기오염 사례 증가

- 국내 배출 대기오염물질
- 중국으로부터 월경성 대기오염물질



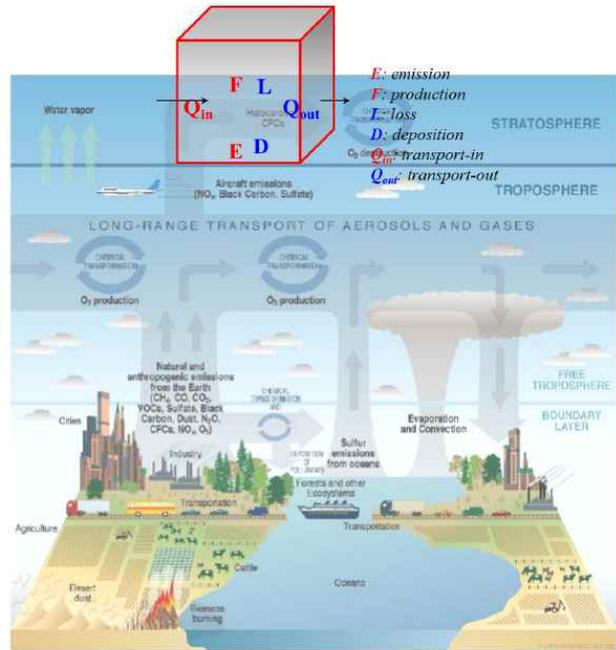
(초)미세먼지 각종 질환 증가 등 국민 건강 위협

- 1급 발암물질 (WHO 산하 국제 암연구소, IARC)
- $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  상승 폐암(18%) 및 조기 사망률(7%) 증가 (Raaschou-Nielsen et al., 2013; Beelen et al., 2013)



정확한 정보구축 필요

- 미세먼지 및 오존 예보제 시행 (국립환경과학원)
- 미세먼지 원인 규명 및 대응방안 마련
- 신뢰도 높은 배출원/배출량 정보 구축

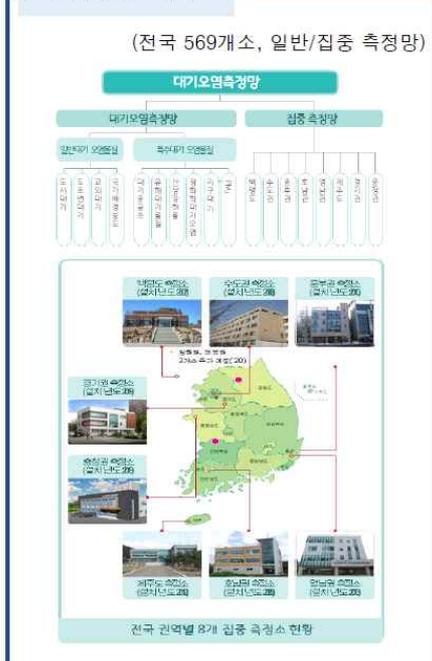


3

# 미세먼지 대응 체계 (관측, 분석, 예보)

연구 배경

## 지상관측망



## 입체적 관측 체계



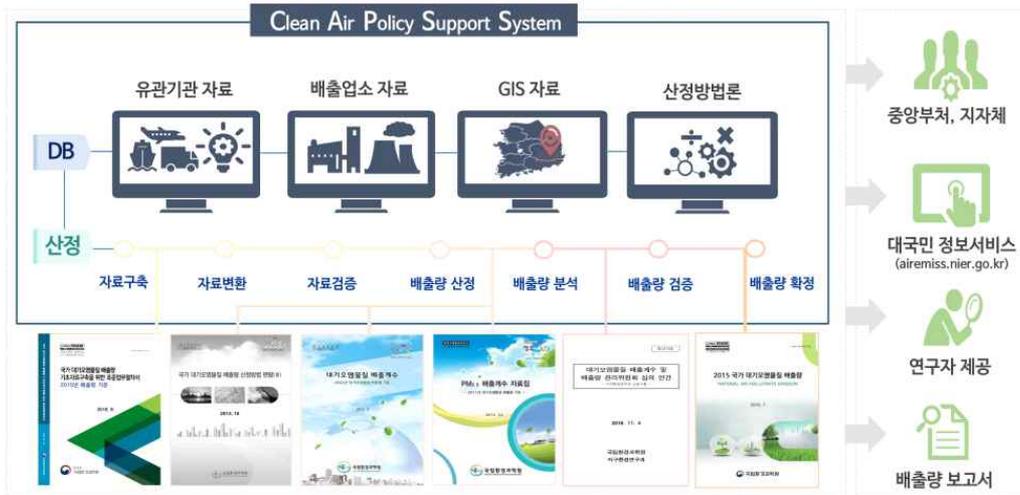
## 예보 모델 개발 및 인프라 구축



4

# 미세먼지 대응 체계 (배출량 산정)

연구 배경



- (목 표) 체계적인 기초자료 수집·관리를 통하여 정책·연구 수행에 필요한 정보 제공
- (물 질) 9개 (CO, NOx, SOx, TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, BC, VOCs, NH<sub>3</sub>)
- (시·공) 연간/시·도, 시·군·구, 1km\*1km
- (법 률) 미특법 제17조(국가미세먼지정보센터 설치·운영), 대기보전법 제 17조(배출량 및 배출원 조사)

5

# 배출량 산정 체계 (CAPSS)

연구 배경

## 국가 미세먼지 배출원 분류

배출원 분류		오염 물질						Point	Non-Point
		SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	CO	VOC	NH <sub>3</sub>		
에너지산업 연소	발전소	•	•	•	•	•	•	∨	
비산업 연소	주거, 공공 등	•	•	•	•	•	•	∨	∨
제조업 연소	사업장	•	•	•	•	•	•	∨	∨
생산공정		•	•	•	•	•	•	∨	∨
에너지 수송 및 저장	주유소, 저유소					•			∨
유기용제 사용	페인트, 인쇄 등					•			∨
도로이동오염원	차량, 이륜차	•	•	•	•	•	•		
비도로이동오염원	항공, 선박 등	•	•	•	•	•	•		
폐기물처리	소각, 폐수	•	•	•	•	•	•	∨	∨
농업	분뇨, 비료 등						•		∨
기타 연오염원	산불, 화재		•	•	•	•	•		∨
비산먼지	채비산, 건설 등			•					∨
생물성 연소	소각, 구이 등	•	•	•	•	•	•		∨

## 배출량 산정

### 점·면 오염원 배출량 산정

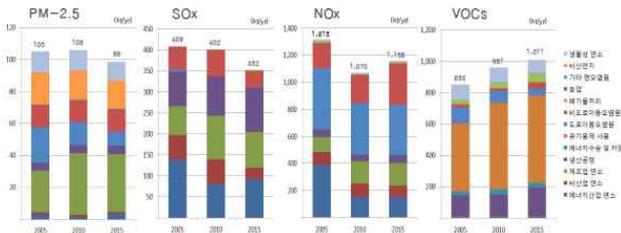
- 배출량 = ∑ 배출계수 \* 활동도 \* (1 - 방지효율)
- 굴뚝상시측정사업장(TMS)
  - : 사업장별 고유 배출계수를 활용한 상향식
- 농촌 소각 : 배출계수와 활동도를 활용한 상향식
 
$$E = A * FL * EF$$
  - E: 배출량(kg/yr)
  - A: 경작지 면적 (m<sup>2</sup>)
  - FL: 단위면적당 작물 소각량(g/m<sup>2</sup>)
  - EF: 배출계수(g/kg)
- 활동도 : 통계자료, 설문자료 등을 통한 수치화
  - : 경작지 면적 (국가 통계자료, 작물별)
  - : 단위면적당 작물 소각량 (설문조사)
  - 소각 작물 종류, 소각 비율, 소각 빈도, 방식, 시기 등 (설문조사)
- 배출계수 : 연소시험을 통한 수치화

세분류	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	VOCs	NH <sub>3</sub>
배	238.3	8.7	-	11.3	87.7	0.01
사과	146.0	10.4	-	18.9	353.3	0.01
...	...	...	...	...	...	...

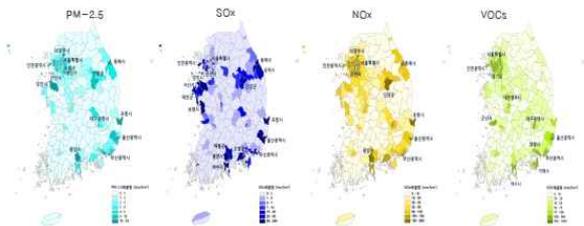
6

## 국내 미세먼지 배출 기여율 평가

배출원별 배출량(t/km<sup>2</sup>)



지역별(임야 제외) 배출량(t/km<sup>2</sup>)



### 미세먼지 저감 정책 수립의 기초자료로 활용

- 배출원 별 저감대책, 기술개발 등 추진
- 지역별 미세먼지 저감방안 수립
- 산업, 지역 등에 대한 미세먼지 대응 사업 추진

#### 농업분야 주요 배출원



#### 산업분야 주요 배출원



## 국내 선행연구

경기개발연구원 (2011~14, KEITI)

“생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술 개발”

- 생물성연소 배출량 조사, 활동도 및 배출계수 개발
  - : 생활폐기물, 농업잔재물, 화목난로, 아궁이, 산불 등
- 생물성연소 배출량 산정방법 확립
- CAPSS 반영 (배출량 산정 및 DB 구축)
  - : 노천소각 배출량 (농촌 생활폐기물 소각)
  - : 농업잔재물 소각 활동도 및 11개 세분류 배출계수

### 영농 부산물 소각 CAPSS 현황

- 영농 부산물 소각 대기오염 배출량
  - : 11개 세분류 영농 부산물 대상
  - : 대기오염물질 8개 항목 배출계수 및 배출량
- 생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법 편람 (2014.05, 국립환경과학원)
  - : 소각 배출량 산정방법, 배출계수, 활동도 자료 제시

### 영농부산물 소각에 의한 배출량, CARB (2006)

\* CARB : California Air Resources Board

배출량 = 활동도 \* 배출계수

$$Emission_j = Acres_j \times FL_j \times EF_j \times 10^{-3}$$

- Emission<sub>j</sub> : 세분류 j에 대한 오염물질 i의 배출량 (ton/yr)
- Acres<sub>j</sub> : 세분류 j의 경작지 면적(m<sup>2</sup>)
- FL<sub>j</sub> : 세분류 j의 단위면적당 평균 소각량 (kg/m<sup>2</sup>)
- EF<sub>j</sub> : 세분류 j에 대한 오염물질 i의 배출계수 (g/kg)



## 국내 선행연구

경기개발연구원 (2011~14, KEITI)

“생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술 개발”

- 생물성연소 배출량 조사, 활동도 및 배출계수 개발
  - : 생활폐기물, 농업잔재물, 화목난로, 아궁이, 산불 등
- 생물성연소 배출량 산정방법 확립
- **CAPSS 반영** (배출량 산정 및 DB 구축)
  - : 노천소각 배출량 (농촌 생활폐기물 소각)
  - : 농업잔재물 소각 활동도 및 11개 세분류 배출계수



국립환경연구원, 2015. 전국 농업잔재물 소각에 의한 PM2.5 배출량도

세종대학교 (2019, NIER)

“대기오염물질배출량 신뢰도 및 정확도 개선 연구”

- 현 CAPSS 평가(불확도) 방법 개선
- '18 CAPSS 불확도 평가 및 보완사항 도출
  - : 1위 농업분야 분뇨 (NH<sub>3</sub>) 불확도 40.86
  - : 11위 농업잔재물 소각 (CO) 불확도 8.69
  - : 25위 비료사용농경지 (NH<sub>3</sub>) 불확도 3.93

(사)한국대기환경학회 (2017, NIER)

“생물성연소 배출량 산정법 개선”

- 국내 생물성연소 미산정 배출원 발굴
- 생물성 연소 배출량 산정법 검토 및 분석
  - : 배출계수에 의한 배출량 불확도 매우 큼
  - : 농업잔재물의 경우 연소조건(수분함량, 연소방법 등)에 의한 측정 배출계수 값 영향이 크게 나타남
  - : 시료채취, 연소 조건 등에 대한 실험방법론 정립 필요
  - : 정기적 설문조사에 의한 활동도 자료수집체계 필요

# 연구의 최종 목표

## 연구목표 및 내용



# 연구 중점 사항

## 세부 연구내용

### 배출량 개선 사항

구분	(현) CAPSS	개선 사항 (본 연구)
세분류	• 11개 작물	• 작물 확대 (40개) * 논밭두렁 포함
활동도	• 2011년 자료	• 소각행태(비율, 시기 등) 갱신 • 40개 세분류 활동도 조사
배출계수	• 9개 작물	• 19개 세분류 배출계수 확보 • 연소시험 표준화

- 영농 부산물 누락 세분류 추가  
: 현재 11개 세분류 (40여개 세분류 대상 조사)
- 최신 국가통계자료로 업데이트 필요  
: 농업통계자료 (농업인수, 경작지면적, 작물재배 현황 등)
- 노천소각에 대한 **활동도 자료 업데이트 필요**  
: 소각빈도, 소각량 등
- 배출계수 갱신 필요  
: 옥수수, 땅콩 등에 대한 **실측 배출계수 필요**

### 활동도 (부산물 소각량)

부산물 소각량 : 지역별, 작물별  
 소각량 = 부산물 발생량 \* 소각비율

공간자료 : (작물별) 경작지 면적, 생산량 (최신 국가 통계자료)  
 시간자료 : 소각 시기 (월별)

### 배출계수 (단위부산물 소각당 대기배출량)

부산물 소각 시 배출되는 대기오염물질의 양  
 단위 중량당 배출량

### 자료의 DB화 (엑셀기반)

활동도 DB (시, 공, 세분류)  
 배출계수 DB (세분류, 오염물질)  
 배출량 DB (총, 시, 공, 세분류)

### 배출량 인벤토리

영농소각에 의한 국가 총 배출량  
 공간배열 배출량 : 광역시도, 시·군·구 별  
 시간배열 배출량 : 1개월 단위 1~12월  
 세분류별 배출량 : 20개 세분류 배출량

11

# 활동도 조사

## 세부 연구내용

### 국가 통계자료 (농업분야)

국가 통계포털 (KOSIS, <http://kosis.kr>)

- 농업분야 국가 통계 검색 및 자료화 (2018~2019 대상)
- 전국 행정구역별 경지면적, 작물 생산량, 경작 규모 등
- 통계청 자료 내 **작물 생산량을 통한 조사대상** 작물 선정

### 지자체 추가 자료 조사

- 시군구 단위 추가 통계자료 조사 (경지면적, 생산량 등)

### 조사자료의 DB 구축

- 엑셀 기반 지역별 대상항목 자료 구축
- 자료의 **조사 시점 통일** (예: 2018 자료)

통계청 국가통계포털(좌) 및 시군구 지자체(우) 통계자료

### 농업분야 관련 배출원 후보 목록 도출

- 논·밭, 화훼 등을 포함 40여개 세분류 배출원 후보목록
- 활동도 조사 대상 세분류 배출원으로 적용

현재 CAPSS에 11개 세분류 농업 배출원 자료 구축

순번	소분류	세분류	순번	소분류	세분류
1		논	22	채소(과채류)	수박
2		밭	23		참외
3	맥류	보리	24		딸기
4		밀	25		모이
5	과수	사과	26		호박
6		배	27		토마토
7		복숭아	28	채소(엽채류)	배추
8		포도	29		시금치
9		감귤	30		상추
10		김	31		양배추
11		자두	32	채소(근채류)	무
12		기타	33	채소(조미채소)	고추
13	두류	콩	34		파
14		팥	35		대파
15		녹두	36		쪽파
16		기타	37		양파
17	잔곡	옥수수	38		생강
18		대밀	39		마늘
19		기타	40	특용세분류	참깨
20	서류	고구마	41		들깨
21		감자	42		땅콩
			43	화훼	화훼

12

# 활동도 조사

세부 연구내용

## 농업인 대상 전국단위 심층설문조사

### 설문조사 대상 선정

- 전국 246개 행정구역(시군구) 내 농업인 대상
- 경지면적 비율에 따라 **설문조사 수 가중치** 부여
- 총 1,000개 이상의 설문조사 자료 확보

### 활동도 경향 분석 및 대표성 검증

- **소각량, 소각빈도, 소각시기, 소각방법** 등의 행태 조사
- 지역별 · 경작규모별 · 연령별 **활동도 경향** 분석
- 작물별 **주산지 집중 설문조사** 실시
- 활동도 자료의 대표성 검증  
: t-검증, F-test 등

세분류	주산지	세분류	주산지
토마토	경기, 광주	마늘	의성
포도	원주, 김천	양파	무연, 영천
고추	임실, 정월	참외	성주
수박	고창, 의령	딸기	고창, 논산
사과	장수, 정송	감귤	제주
옥수수	정선, 괴산	배추	태백,

작물별 주산지 분포 및 집중 설문 대상 (예시)

### 설문조사 설계 및 방법 체계화

- **통계조사 전문기업**을 통한 설계 및 조사방법 교육
- 설문조사표 작성 기본 원칙 준수

1. 객관적이고 과학적인 설문 문항 구성
2. 지나치게 긴 질문을 만들지 않음
3. 모호한 문장이나 어려운 용어를 사용하지 않음
4. 특정 답변을 유도하지 않도록 작성
5. 질문은 옹이한 질문, 어려운 질문, 민감한 질문 등의 순으로 작성
6. 응답자가 작성할 수 있는 정보를 내용으로 구성
7. 설문조사표 샘플 작성 후 타당성을 고려하여 수정, 보완 후 완성

- 설문조사 방법 교육 : 화법, 내용, 문구, 기록 등 사전 교육
- 예비 설문조사 시행 후 보완

활동도 심층설문 조사표 (예시)

13

# 배출계수; 연소시험

세부 연구내용

## 대상작물 선정

### CAPSS 배출원 소분류 작물 배출계수 보완

- **옥수수, 땅콩** 등 2종에 대한 CAPSS 배출계수 **보완** 필요  
(현재 옥수수는 고추대, 땅콩은 콩의 배출계수를 적용)

### 누락 세분류 배출원에 대한 배출계수 산출

- 작물별 소각량에 따른 작물에 대한 우선순위 부여  
: 활동도 조사를 통한 작물별 전국 소각량 산출  
: 단위면적당 소각량, 작물별 경작지 면적 등 고려
- **누락 세분류 배출원** 중 우선순위 상위 선정

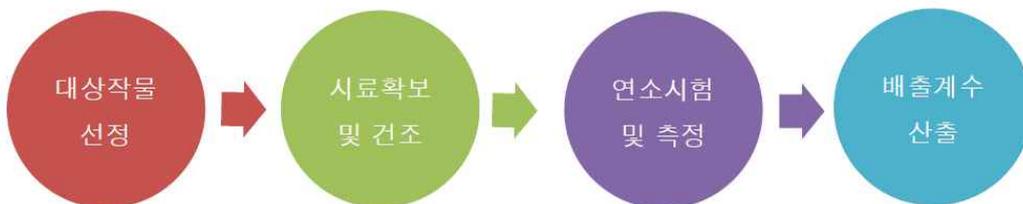
## 시료확보 및 건조

### 선정 작물의 수확시기 등을 고려하여 시료 확보

- 연소시험을 위해 **작물별 3~5kg 시료 확보**
- 예: **논, 밭두렁** 소각 1~3월, **과수** 가지치기 1~3월  
옥수수 7~8월, 고추 9~10월 등

### 연소 시험

- 건조 후 **작물별 연소**  
: 자연건조 조건에 맞는 설비 유지  
: Gas, 입자 등에 대한 대기오염물질 측정



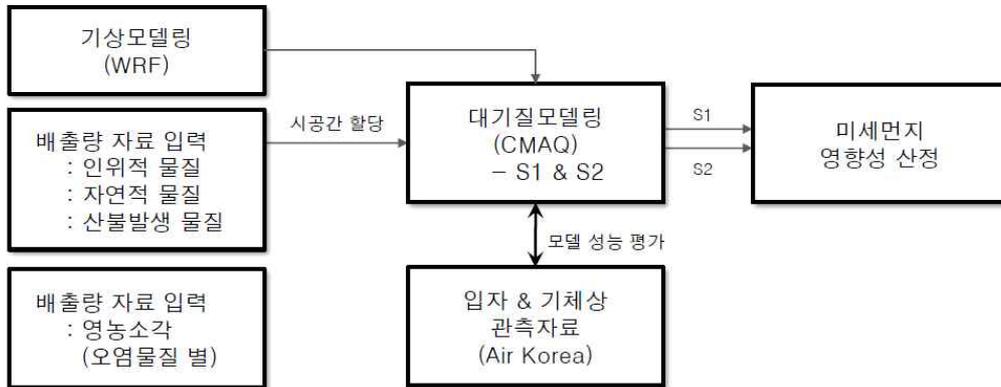
14

# 영향평가; 모델링

세부 연구내용

## (초)미세먼지 영향성 산정

- 모델링을 통한 (초)미세먼지 영향성 산정
- 대기질 모델 입력자료 생성
  - : 기상 자료 생성
  - : **배출량 자료 생성** (인위적/자연적/산불발생/영농소각 배출량)
- 대기질 모델링 구동
  - : 대기질 모델 성능 평가
  - : 국립환경과학원 지상관측 자료 활용
- (초)미세먼지 **영향성 산정**
  - : 영농부산물 등 소각 영향성



15

# 연구 추진체계

추진체계 및 연구팀 구성





**이병태(광주과학기술원)**  
 경력 현, 환경독성보건학회 이사  
 환경분석학회 정회원  
 (국립환경과학원)위해성평가 전문위원  
 논문 SCI 29건 국내 12건 특허 7건  
 학술발표 국내 54건, 국외 32건

주요 연구분야  
 • 환경오염 모니터링, 노출평가 및 위해성 평가  
 • 배출원 인벤토리 구축 및 배출량 원단위 산정



**배민석(목포대학교)**  
 경력 현, 국립목포대학교 환경공학과 교수  
 (국무조정실)미세먼지특별대위원  
 (국립환경과학원) 대기환경표준 전문위원  
 논문 SCI 57건 국내 34건 특허 3건  
 학술발표 국내 >100건, 국외 >100건

주요 연구분야  
 • 대기유해물질 분석 및 원인 분석



**한경만(광주과학기술원)**  
 경력 현, 광주과학기술원 지구환경모델링센터 연구원  
 논문 SCI 15건 국내 4건  
 학술발표 국내 12건, 국외 24건

주요 연구분야  
 • 모델 및 위성관측을 통한 배출량 정확성 평가 및 하행성 배출량 자료 산출  
 • HO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, VOCs-aerosol 대기 광화학 연구

16

### 소각 활동도

- 영농부산물 40개 세분류화 및 소각 활동도 (소각 비율, 시기 등) 자료 구축
- 영농부산물 발생량 산정 체계화 (설문조사 및 경작면적 기준 → 생산량 기준)
- 2019년 기준 영농부산물 발생 및 소각량 자료 구축 (시·도, 월 단위)
- 농업인 대상 영농부산물 소각 설문조사표 개발
- 전국단위 1,004명 농업인 대상 설문 조사 실시
- 설문결과를 활용한 영농부산물 소각 행태 평가
- 통계자료를 활용한 영농부산물 소각 비율 변화 평가 (2011~)

### 영농소각 배출계수

- 11개 영농 부산물 대기오염 배출계수 산정 (연소시험)
  - \* 총 72항목 (PM 및 구성성분, gas 성분 등)
- 연소시험 설비 설계 및 구축 (소각-포집-측정 등)
- 연소 및 측정 분석 최적화

### 미세먼지 모델링

- 동아시아 규모 (한반도 중심) 미세먼지 발생 대기 모델링 구축
- 대기화학모델 설계 및 구축
- 2016년 기준 시군구 단위 영농소각에 의한 대기오염배출 인벤토리 구축
- 영농소각에 의한 미세먼지 발생 영향 평가 (현재 진행 중)

17

# 영농 부산물 소각 배출량

## 주요 연구결과

### 본 연구결과와 CAPSS 비교

CAPSS(2017) : 환경부 대기정책지원시스템 농업부산물 소각 대기오염 2017년 배출량 자료

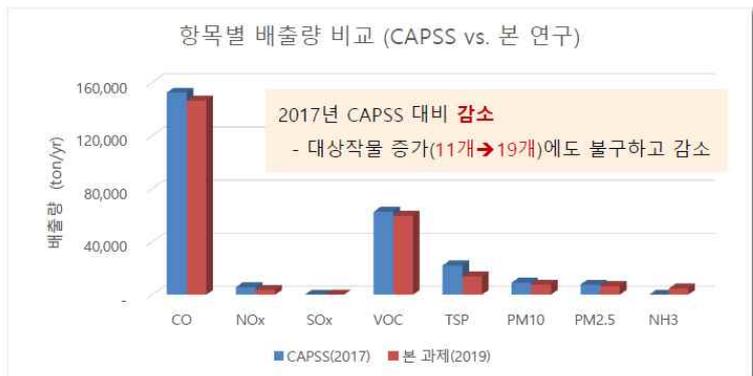
### 총 배출량 = ∑(작물별 배출량)

배출량 = 소각량 \* 배출계수

소각량 = 부산물 발생량 \* 소각비율

배출량 변화 요인 분석

- 1) 세분류 변화 (11개 → 19개)
- 2) 부산물 발생량
- 3) 소각 비율
- 4) 배출계수



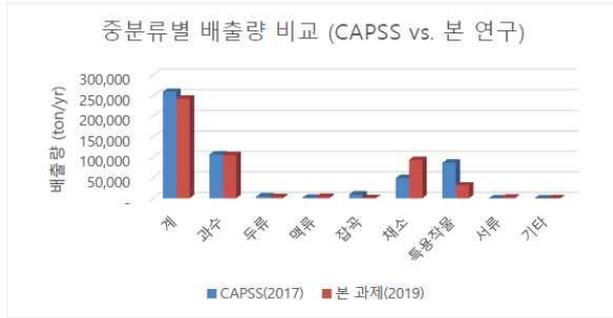
구 분	배출량 (ton/yr)									비 고
	계	CO	NOx	SOx	VOC	TSP	PM10	PM2.5	NH3	
CAPSS (2017)	259,651	152,427	5,634	-	62,729	22,079	9,150	7,627	5.1	19개 작물
본 과제 (2019)	242,837	146,414	3,724	35	59,840	13,824	7,725	6,624	4,649	11개 작물
감소율 (%)	6.5	3.9	33.90	-	4.60	37.4	15.6	13.1	-91,197	

18

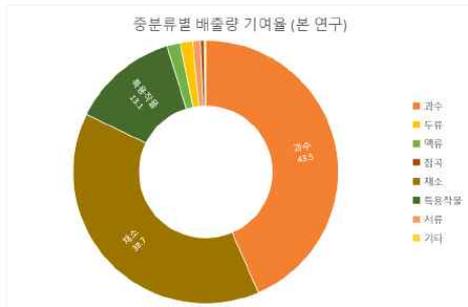
# 배출량 분석 ; 분류(작물)별

## 주요 연구결과

### 분류별 배출량



구분	본 연구	CAPSS (2017)
과수	사과, 배, 복숭아, 포도, 감, 감귤	사과, 배, 복숭아, 포도
두류	콩	콩
맥류	보리	보리
잡곡	옥수수	옥수수
채소	고추, 수박, 마늘, 양파	고추
특용	참깨, 들깨, 땅콩	참깨, 들깨, 땅콩
서류	고구마	
기타	논, 두렁	



19

# 배출량 분석 ; 부산물 발생량

## 주요 연구결과

### 작물별 부산물 발생량

배출량 = 소각량 \* 배출계수  
 소각량 = 부산물 발생량 \* 소각비율

- 평균 241% 증가 (사과 등 7개 작물 증가, 배 등 3개 작물 감소)

### 부산물 발생량 산출 방식 변경

[선행연구] 재배면적 기준 환산계수

부산물 발생량 = 재배면적 \* 환산계수

- 환산계수 : 설문조사 및 현장 실측
- \* 설문조사와 현장실측 결과 신뢰도 낮음



[본 연구] 생산량 기준 환산계수

부산물 발생량 = 생산량 \* 환산계수

- 환산계수 : 국립농업과학원 2013 연구결과
- \* "농촌지역 바이오매스 자원의 순환활용기술 개발 (2013)"



표 14. 주요 농작물의 바이오매스 환산계수와 바이오매스 순환발생량 추정

Crop	Production (t/ha)	By-product (t/ha)	Biomass conversion factor	Biomass total production (t/1000 ha/year)
Paddy rice	6,411,875	Straw 1,820 Husk 0,177	1.002	1,180.2
Upland rice	24,466	Straw 1,002 Husk 0,236	1.002	28.0
Barley	17,529	Straw 1,230 Husk 0,662	1.230	46.2
Naked barley	126,609	Straw 0,690 Husk 0,690	0.690	79.8
Two-rowed barley	82,007	Straw 0,708 Husk 0,708	0.708	57.2
Wheat	16,159	Straw 1,000 Husk 0,417	1.000	5.3
Peanut	694,592	Straw 0,850 Husk 0,850	0.850	108.8
Sweet potato	829,351	Straw 1,189 Husk 1,189	1.189	279.9
Corn	92,150	Straw 1,718 Husk 1,278	1.718	116.1
Facial mallow	1,349	Straw 1,278 Husk 1,278	1.278	2.1
Black wheat	2,545	Straw 1,000 Husk 0,417	1.000	3.3
Soybean	132,074	Straw 0,850 Husk 0,850	0.850	55.3
Red bean	5,999	Straw 1,000 Husk 0,417	1.000	6.5
String bean	1,589	Straw 0,850 Husk 0,850	0.850	2.2
Mung bean	1,589	Straw 0,850 Husk 0,850	0.850	1.7
Papaya	385,763	Straw 2,600 Husk 2,600	2.600	406.3
Sesame	19,172	Straw 5,800 Husk 5,800	5.800	112.9
Perilla seed	24,205	Straw 1,790 Husk 1,790	1.790	148.6
Peanut	5,459	Straw 0,278 Husk 0,278	0.278	13.3
Rope	1,222	Straw 6,700 Husk 6,700	6.700	5.8
Apple	470,965	Straw 1,310 Husk 1,310	1.310	932.4
Persimmon	450,521	Straw 0,270 Husk 0,270	0.270	618.7
Citrus fruit	654,413	Straw 0,888 Husk 0,888	0.888	56.0
Pine	476,745	Straw 0,655 Husk 0,655	0.655	309.8
Grape	333,596	Straw 1,562 Husk 1,562	1.562	521.1
Peach	189,064	Straw 0,367 Husk 0,367	0.367	69.4
Plum	66,748	Straw 0,383 Husk 0,383	0.383	25.6
Sum				1,716.8
Total				11,641.6

20

# 배출량 분석 ; 부산물 발생량

주요 연구결과

## 작물별 부산물 발생량

배출량 = 소각량 \* 배출계수  
 소각량 = 부산물 발생량 \* 소각비율

- 평균 241% 증가 (사과 등 7개 작물 증가, 배 등 3개 작물 감소) 2014년 환경부 연구보고서 내 부산물 발생량과 비교

구분	2014 (ton)	2019 (ton)	증가량 (ton)	증감율 (%)
배	141,436	131,680	-9,756	-6.9
사과	47,565	704,486	656,921	1,381.1
복숭아	51,773	77,197	25,424	49.1
포도	31,259	259,540	228,281	730.3
콩	118,953	105,337	-13,616	-11.4
옥수수	61,741	92,756	31,015	50.2
고추	137,046	203,939	66,893	48.8
참깨	50,375	73,817	23,442	46.5
들깨	92,416	247,712	155,296	168.0
땅콩	34,126	19,584	-14,542	-42.6
평균	76,669.0	191,604.8	114,935.8	241.3
최대	141,435.8	704,486.4	656,920.9	1,381.1
최소	31,259.1	19,583.6	-14,542.2	-42.6



21

# 배출량 분석 ; 소각비율

주요 연구결과

## 작물별 소각비율

배출량 = 소각량 \* 배출계수  
 소각량 = 부산물 발생량 \* 소각비율

2014년 환경부 연구보고서 내 소각비율과 비교

### 본 연구에서의 소각비율 변화

- 2014년 연구결과 대비 평균 75.8% 감소 (62.8~91.6% 감소)
- 농촌지역 소각 행태 감소 경향



## • 소각비율

구분	2014 (%)	2019 (%)	증가량 (%)	증감율 (%)
배	75.0	27.5	-47.5	-63.3
사과	90.6	18.2	-72.4	-79.9
복숭아	72.4	15.2	-57.2	-79.0
포도	93.3	7.8	-85.5	-91.6
콩	69.2	12.8	-56.4	-81.5
옥수수	31.0	7.4	-23.6	-76.1
고추	90.3	33.6	-56.7	-62.8
참깨	72.0	21.0	-51.0	-70.8
들깨	92.0	20.0	-72.0	-78.3
땅콩	100.0	25.6	-74.4	-74.4
평균	78.6	18.9	-59.7	-75.8
최대	100.0	33.6	-23.6	-62.8
최소	31.0	7.4	-85.5	-91.6

22

# 배출량 분석 ; 소각비율

주요 연구결과

## 작물별 소각비율 비교 검증

농림어업조사 중 작물잔사 처리 방법에 대한 통계청 마이크로데이터와 비교

- 2011~2018년 작물별 잔사처리 방법 선호도 조사
- 전반적으로 2016년까지 소각 비중이 낮아지는 추세를 보임



# 배출량 분석 ; 소각비율

주요 연구결과

## 작물별 소각비율 비교

(단위: 명, %)

작물	원경부 연구 (2014)		통계청 (2018)		본 연구 설문조사		
	사례수	소각 비율	사례수	소각 비율	사례수	소각 비율	
맥류	보리	-	-	718	14.6	29	21.0
과수	사과	-	90.6	-	-	131	18.2
	배	-	75.0	-	-	78	27.5
	복숭아	-	72.4	-	-	92	15.2
	포도	-	93.3	-	-	40	7.8
두류	콩	-	69.2	13,066	46.3	176	12.8
잡곡	옥수수	-	31.0	-	-	107	7.4
서류	고구마	-	-	8,211	6.7	119	7.1
	감자	-	-	6,852	6.3	98	9.7
채소 (과채류)	수박	-	-	545	10.3	47	16.8
	딸기	-	-	448	8.0	65	2.2
	오이	-	-	720	7.4	17	7.1
	호박	-	-	877	6.5	55	4.1
	토마토	-	-	459	7.8	39	5.9
채소(엽채류)	(가을)배추	-	-	6,089	5.9	71	1.5
채소(근채류)	(가을)무	-	-	3,799	7.5	38	6.1
채소 (조미채소)	고추	-	90.3	15,352	51.5	231	33.6
	양파	-	-	2,663	12.2	32	3.2
	마늘	-	-	6,475	21.1	111	6.0
특용	참깨	-	72.0	7,436	50.8	98	21.0
	들깨	-	92.0	-	-	109	20.0
	명품	-	100.0	-	-	27	25.6

주) 원경부 연구의 사례수는 총(합계) 1002명

25

# 배출량 분석 ; 배출계수

주요 연구결과

## 작물별 배출계수

$$\text{배출량} = \text{소각량} * \text{배출계수}$$

$$\text{소각량} = \text{부산물 발생량} * \text{소각비율}$$

구분	대상작물		배출계수 (g/kg)								비고
	세분류	중분류	CO	NOx	SOx	VOC	TSP	PM10	PM2.5	NH3	
1	고추	채소(조미채소)	206.58	4.94	-	40.25	25.96	9.71	7.94	-	CAPSS
2	들깨	특용작물	296.19	8.59	-	54.24	67.45	25.45	21.40	0.01	CAPSS
3	배	과수	238.31	8.74	-	87.74	29.46	11.28	8.45	0.01	CAPSS
4	복숭아	과수	277.22	15.02	-	61.58	32.41	11.21	9.47	0.01	CAPSS
5	사과	과수	146.04	10.36	-	353.29	22.91	18.85	16.77	0.01	CAPSS
6	참깨	특용작물	237.11	6.47	-	109.47	59.56	16.31	13.78	-	CAPSS
7	콩	두류	184.38	7.17	-	27.36	30.01	11.97	10.11	0.02	CAPSS
8	포도	과수	304.48	14.44	-	154.58	34.45	14.78	9.51	0.01	CAPSS
9	땅콩	특용작물	256.04	1.33	0.27	0.01	15.02	10.90	8.89	0.17	갱신
10	보리	맥류	65.24	0.11	0.03	0.00	3.75	3.70	3.56	0.07	갱신
11	옥수수	잡곡	134.62	0.62	0.21	0.02	5.25	5.15	5.09	0.13	갱신
12	감	과수	121.87	1.99	0.26	0.01	15.89	15.56	13.01	0.16	신규
13	감귤	과수	180.66	1.11	0.39	0.00	0.60	0.58	0.56	0.14	신규
14	고구마	서류	121.99	0.72	0.18	0.00	0.52	0.52	0.47	0.41	신규
15	논(논벼)	기타	158.12	0.32	0.41	0.01	12.58	12.48	11.69	0.32	신규
16	논밭 (두렁)	기타	88.92	0.60	0.04	0.00	17.92	16.54	11.12	0.23	신규
17	마늘	채소(조미채소)	153.97	0.40	0.14	0.00	4.92	3.98	3.34	0.15	신규
18	수박	채소(과채류)	257.07	4.20	0.13	0.02	12.42	11.57	10.47	36.04	신규
19	양파	채소(조미채소)	374.48	1.00	0.01	0.00	0.98	0.94	0.83	4.90	신규

26

# 배출량 분석 ; 배출계수

주요 연구결과

## 배출계수 비교 ; 갱신된 세분류 작물에 대해

- 옥수수 : CAPSS에는 고추대 배출계수를 적용 → 옥수수대 연소시험으로 직접 산출

옥수수	배출계수 (g/kg)							
	CO	NOx	SOx	VOC	TSP	PM10	PM2.5	NH3
CAPSS	206.58	4.94	-	40.25	25.96	9.71	7.94	-
본 연구	134.62	0.62	0.21	0.02	5.25	5.15	5.09	0.13

- 땅콩 : CAPSS에는 콩 배출계수를 적용 → 땅콩 줄기 연소시험으로 직접 산출

땅콩	배출계수 (g/kg)							
	CO	NOx	SOx	VOC	TSP	PM10	PM2.5	NH3
CAPSS	184.38	7.17	-	27.36	30.01	11.97	10.11	0.02
본 연구	256.04	1.33	0.27	0.01	15.02	10.90	8.89	0.17

27

# 배출량 분석 ; 배출계수

주요 연구결과

## 배출계수 비교 ; 갱신된 세분류 작물에 대해

- 보리 : CAPSS에 보리대 연소 배출계수 수록 → 연소방법 비교를 위해 재실험

보리	배출계수 (g/kg)							
	CO	NOx	SOx	VOC	TSP	PM10	PM2.5	NH3
CAPSS	200.58	5.21	-	105.2	85.84	53.07	35.24	0.01
본 연구	65.24	0.11	0.03	0.00	3.75	3.70	3.56	0.07
국외 자료	83.33	2.31	0.05	6.80		6.21	5.90	

### 2014년 환경부 연구의 연소 설비 및 시험



28

# 배출량 분석 ; 배출계수

주요 연구결과

## 배출계수 비교 ; 연소 설비 체계화

본 연구에서는 연소 체임버를 설계, 제작하여 생물성 연소 실험을 수행

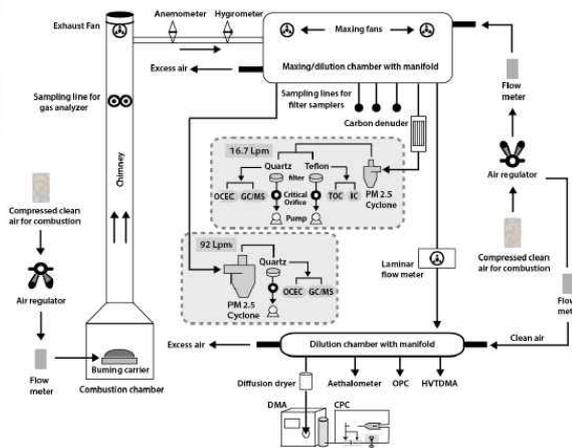
- 연소 체임버는 연소실, 배연 시스템, 가스 희석 장치, 필터 및 TD 포집장치, 실시간 가스 측정장비로 구성



연소 배연 시스템



연소로



<연소 실험 장치 모식도 및 설치 현황>



필터 및 TD 포집 장치



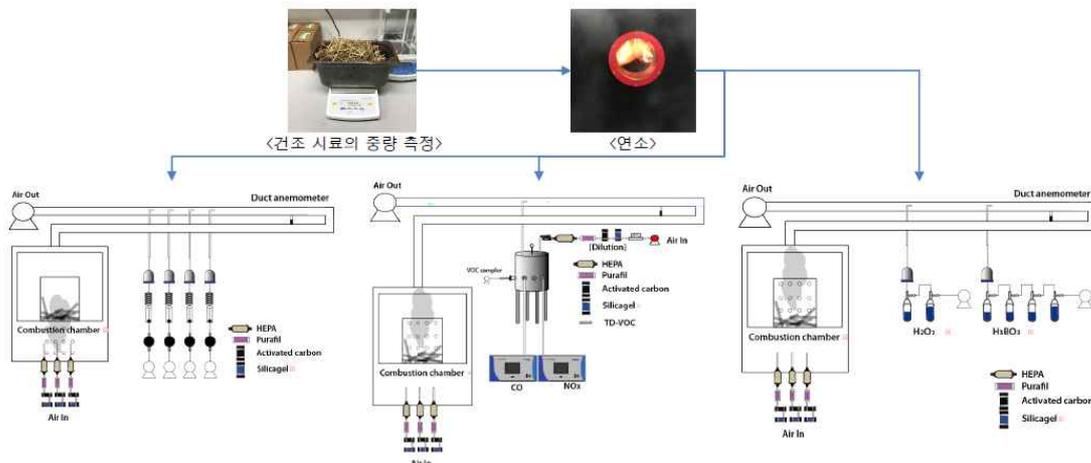
실시간 가스 분석 장비

# 배출량 분석 ; 배출계수

주요 연구결과

## 배출계수 비교 ; 연소 시험 체계화

연소 체임버를 이용한 실험 절차



- 연소 배연 가스 유량 측정
  - 연소 중량 대비 발생 가스 총량 측정
- 필터 및 분석용 VOCs 포집
  - PM mass, OC/EC, 중금속, VOCs, ions, PAHs 등 분석
- 습식 분석용 시료 포집
  - NH<sub>3</sub> 및 SOx 측정

1. 영농 부산물 소각에 의한 대기오염물질 배출량은 2017년 CAPSS 대비 약 6% 감소  
: 배출량 산정 세분류는 11개에서 19개로 확대
2. 영농 부산물의 소각 비율(소각 행태)은 크게 감소  
: 작물별 평균 75.8% (62.8~91.6%) 감소
3. 과수 > 채소 > 특용작물의 순으로 배출량 높음  
: 과수 중 사과 >> 배 > 포도 순  
: 채소 중 수박 > 양파 > 고추 순

### 연구의 우수성

- 영농 부산물 소각 세분류 확대 (19개로 확대)
- 활동도 조사 체계화 : 설문조사, 부산물 발생량 산정방법 등
- 배출계수 : 3개 세분류 갱신, 8개 세분류 추가
- 연소시험 설비 및 시험, 측정법 체계화
- 대기 중 미세먼지 발생 모델링 개발 및 적용

31

### 목표

- 모델링을 통한 농촌 소각활동의 (초)미세먼지 영향성 산정

### 연구내용

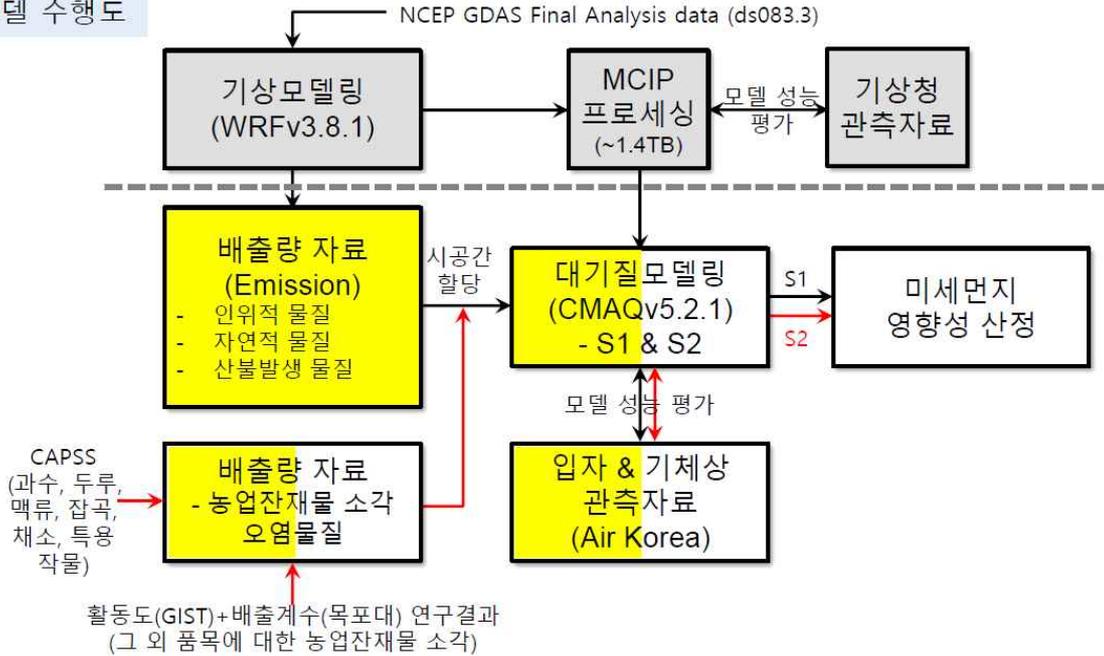
- 기상(WRFv3.8.1)/화학(CMAQv5.2.1) 모델링 시스템 구성
- 대기질 모델 입력자료 생성
  - 기상 자료 생성
  - 기상모델 성능 평가 분석
  - 배출량 자료 격자 전환 및 자료 통합  
(인위적/자연적/산불발생/농업잔재물 소각 배출량)
- 대기질(화학) 모델링 구동
  - 대기질 모델 성능 평가
  - 국립환경과학원 지상관측 자료 활용
- (초)미세먼지 영향성 산정
  - 농업잔재물 소각 영향성

32

# 미세먼지 발생 모델링

진행 중인 연구 내용

## 모델 수행도



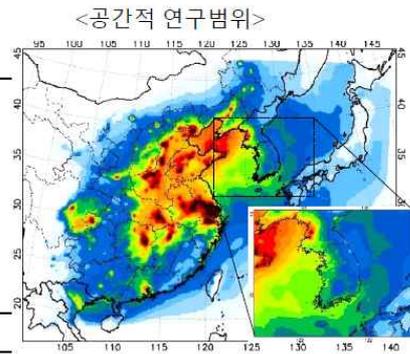
33

# 미세먼지 발생 모델링

진행 중인 연구 내용

## 기상/대기화학 모델링

Model	WRFv3.8.1 (기상) / US EPA Models-3 CMAQ v5.2.1 (대기화학)
기상자료 (초기경계)	NCEP GDAS Final Analysis data (ds083.3) - <a href="https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.3/">https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.3/</a> - 시공간 간격: 0.25° / 6hr
배출량	인위적 배출원 - KORUS v5 (Woo et al.) - CAPSS 2016 (CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , VOCs) 자연적 배출원 - MEGAN MACC (Sindelarova et al., 2014) 산불발생 배출원 - FINN v1.5 from NCAR (Wiedinmyer et al., 2011)
시간범위	- 2016. 01 - 12 (12 months)
공간범위	- 100-145° E; 20-50° N - 15 x 15 km <sup>2</sup> grid resolution - 27개층 (from surface to ~95hPa), 격자수: 273 x 204 x 27
화학 및 에어로솔 모듈	- 화학메커니즘: SAPRC-07 메커니즘 - 에어로솔 계산: AERO6 모듈



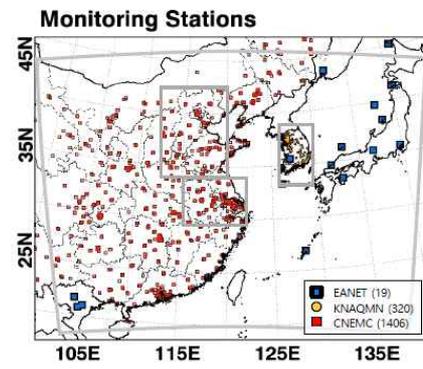
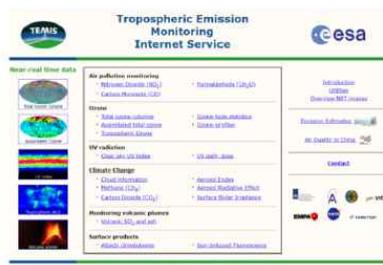
34

# 미세먼지 발생 모델링

진행 중인 연구 내용

## 기상/대기화학 모델링

- 지상관측
  - 입자상 (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 및 기체상 물질 (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>)
  - 중국: China Environmental Monitoring Stations (<http://beijingair.sinaapp.com>, ~1400 stations)
  - 한국: Air Korea (<https://www.airkorea.or.kr/index>, 320 stations)
  - 동아시아: EANET monitoring stations (<https://www.eanet.asia/>, 19 stations)
- 위성관측
  - OMI 센서: NO<sub>2</sub> columns (QA4ECV 알고리즘)



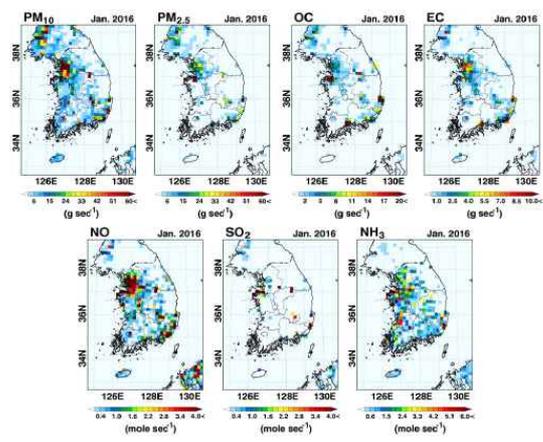
35

# 미세먼지 발생 모델링

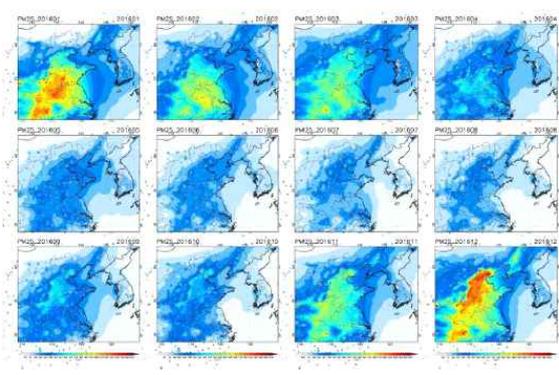
진행 중인 연구 내용

## 기상/대기화학 모델링

- CAPSS (농업분야 제외) + MEGAN MACC + FINN (≈ CAPSS)



- 공간분포 (PM<sub>2.5</sub>)



36

## 향후 연구 제언

### 1. 활동도 (소각 행태) 조사체계 구축 연구

- : 주기적인 활동도 조사 체계 구축 및 실행
- : 설문조사 패널 구성 및 운영 (지역별, 작물별 패널 확대)
- : 조사 방법 개선 및 체계화 (온/오프라인 방식 조사체계)
- : 설문 조사표 등 개선

### 2. 배출계수 개선을 위한 연소시험 표준화 및 연소 특성 평가 연구

- : 노천소각 등 실제 소각조건에 맞는 연소시험 설비 및 방법 표준화
- : 작물 종류, 작물 상태(수분, 비료 및 토양 오염 등)에 따른 연소 및 배출 특성 평가

### 3. 세분류에 대한 배출계수 갱신

- : CAPSS 수록 배출계수 갱신 (CAPSS 수록된 세분류 배출계수 8종)
- : 배출계수 세분류 확대 (화훼 등 누락 세분류)

3. 농업분야 미세먼지 발생 저감을 위한 기술로드맵 (주관부처 : 농촌진흥청)

양 식	정책건의/시행		
<b>과제명</b>	논 밭두렁 및 영농폐기물부산물 소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향		
<b>건의명</b>	농업분야 미세먼지 발생 저감을 위한 기술로드맵		
<b>주관부처 (담당자)</b>	농촌진흥청	<b>건의일자 (제출일)</b>	2020년 11월 30일
<b>시책명</b>	농업 부산물 소각 발생 대기오염 배출량 현황	<b>시행일 (시행예정일)</b>	2020년 11월 30일
<b>주요내용 요약</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농업분야 미세먼지 저감 연구개발 로드맵 작성</li> <li>○ 농촌소각 대기오염물질 배출량 인벤토리 구축을 위한 활동도 개선 및 고도화 방안 연구기획</li> </ul>		
<b>기대효과</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농촌진흥청이 기획하는 미세먼지 대응 후속사업 로드맵 기획에 참여하여 농업 잔재물 소각관련 후속연구의 개요, 필요성, 세부연구내용 등을 제안하여 해당 분야의 연구개발계획 수립에 기여함</li> </ul>		
<b>증빙자료 1 (하단별첨)</b>	제출한 후속연구제안 첨부		
<b>증빙자료 2 (하단별첨)</b>			

# 후속연구 제안 (영농부산물 소각 대기오염 배출량 인벤토리 고도화)

## 사업명 : 영농부산물 소각으로 인한 대기오염 배출량 인벤토리 고도화

### (1) 기본 개념 및 범위

#### <개념>

- 생물성 연소(biomass burning)는 인위적이든 자연적이든 자연계에서 일어나는 생체(biomass) 연소를 포괄적으로 말함. 생물성 연소는 일상생활에서 대기오염을 가중시키는 중요한 부문으로 농업잔재물 및 생활폐기물의 노천소각, 나무 등을 연료로 쓰는 아궁이, 화목난로와 보일러, 고기의 직화구이, 숯가마에서의 숯 굽기 등을 포함하는 배출원임.
- 영농부산물 소각이란 농촌에서 맥류, 잡곡, 두류, 서류, 채소, 특용작물, 과수 등의 잔재물 즉 바이오매스의 소각을 말함. 소각의 행태는 논,밭 등 노천에서 이루어지는 노천소각과 연료로 활용하여 소각되는 아궁이소각 등으로 구분할 수 있음.
  - 영농부산물 소각은 적절한 관리가 이루어지지 않은 채 행하여지므로 대부분 불완전연소가 수반되어 다량의 대기오염물질이 배출되며 특히 다이옥신이나 휘발성유기화합물질 등 유해물질의 발생가능성이 높음. 또한, 이러한 소각은 주로 생활환경 주변에서 이루어지므로 인체노출에 취약하여 사람에 대한 위해가 우려됨.
- 우리나라는 대기정책지원시스템(CAPSS, Clean Air Policy Support System)을 통해 대기오염이 배출에 대한 기초자료를 수집 관리하여 정책수립 및 연구수행에 필요한 정보를 제공하고 있음.
  - CAPSS는 에너지산업연소, 농업, 생물성연소 등 13개 배출원으로 구분하고 있음.
- 영농부산물 소각은 배출원 중 생물성연소에 해당하며, 면(비점)오염원으로 구분되어 관리되고 있음. 배출량 산정식은 US CARB(2006, Areawide Emissions Inventory Methodologies-Agricultural Burning)에서 제안한 아래의 식을 적용함.

농업 잔재물 소각에 의한 배출량 산정방법 (국립환경과학원)	
$E = A \times F \cdot L \times EF$	
E :	배출량 (kg/yr)
A :	경작지 면적(m <sup>2</sup> )
F·L :	Fuel loading (단위면적당 작물소각량. g/m <sup>2</sup> )
EF :	배출계수 (g/kg)

- 경작지 면적은 통계청의 자료를 활용하고 있음.
- 단위면적당 작물소각량은 “생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술 개발 연구(2011년~2014년)”에서 환경농업인을 대상으로 한 설문조사를 통해 확보한 소각비율을 적용함.
- 배출계수는 동 연구의 연소시험을 통해 산출한 배출계수값을 적용함.
- 배출량 인벤토리는 영농부산물의 소각 시 발생하는 대기오염배출량을 부산물의 종류별, 그리고 시간적 공간적으로 구분한 데이터베이스의 형태임.
  - 서류, 채소, 특용작물, 과수, 맥류, 잡곡 등으로 소분류되어 있으며, 배, 사과 등 11개 세분류되어 있음.
  - 대기오염물질은 8개(CO, NOx, SOx, TSP, PM10, PM2.5, VOC, NH3 등)로 구분하였음.
  - 시간배분으로는 작물별 소각 월 비율로 배분하였으며, 공간배분은 시군구 단위로 하고, 통계청에서 5년 주기로 조사되는 농업총조사 보고서의 작물별 재배면적 자료를 이용하고 있음.

#### <범위>

- 영농부산물 소각에 대한 세분류(부산물 발생 및 소각대상 작물)의 다양화 및 현실화
  - 조사대상 작물의 확대 및 대상 작물에 대한 활동도 및 배출계수 확보 방안 마련
- 활동도 구축 체계화 및 활동도 자료 최신화

- 통계조사 자료의 활용 및 농업인 대상 설문조사 체계화를 통한 최신화
- 배출계수 개발 및 고도화를 위한 연소시설·시험 표준화 및 배출계수 개발
  - 연소시설 및 시험 표준화를 통한 배출계수 개발
- 배출량 인벤토리 구축 및 유지관리방안 마련

(2) 추진 배경 및 필요성

<추진 배경>

- CAPSS에서는 투명성, 정확성, 완전성, 정책반영 등을 배출량 인벤토리 구축의 기본원칙으로 수립하였음.
  - 영농부산물 소각에 포함된 배출원은 총 11개 작물이며 누락된 배출원이 상당할 것으로 예측됨
  - 누락된 배출원에 대해서는 배출계수가 개발되지 않았으며, 활동도 자료의 대상에 포함되지 않음
  - 실제 조건을 반영한 실측기반 배출계수의 개발은 인벤토리의 정확성에 중요한 요소임
  - 활동도는 시공간 분배자료의 해상도에 영향을 받으므로 정확한 지역별·시간별 배출량 인벤토리의 구축을 위해서는 고행도의 통계가 요구됨
- 대기오염물질 배출원에 대한 불확도평가 연구(국립환경과학원, 2019) 결과에 의하면 농업잔재물 소각 시 배출량(CO)의 불확도가 8.69에 달하여 개선이 필요한 것으로 보고됨.

<추진 필요성>

- [인벤토리의 완전성] 누락된 배출원을 파악하고 이를 추가할 필요가 있음
  - 현재 인벤토리는 11개 작물의 영농부산물만을 수록하고 있어 누락배출원이 상당함.
- [인벤토리의 정확성] 배출계수 개발을 위한 연소설비 및 시험 표준화 필요
  - 수록된 배출계수는 연소시험을 통해 실측된 것이나, 연소시험 시 노천소각 조건 및 부산물 특성 등에 따른 배출영향이 고려되지 않았으며, 따라서 연소설비 및 시험조건 등의 표준화가 되어 있지 않아 배출계수의 과대 또는 과소평가가 우려됨
  - 설문조사를 통한 소각비율 활동도 자료의 신뢰도가 낮으며, 주기적인 업데이트가 필요함. 이를 위한 활동도 구축 체계화 및 관리방안의 마련이 요구됨

(3) 국내외 기술동향

<국내>

- 국립환경과학원에서는 국내 인위적 오염원에 대한 CAPSS 배출량 인벤토리를 개발하여, 1999년부터 현재까지 CO, NOx, SO2, TSP, PM10, PM2.5 (2011년 이후), VOC, NH3에 DB 구축



- 환경부의 환경정책기반 공공기술개발사업을 통해 “생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술

개발 연구(2011년~2014년)”가 수행

- 현재 CAPSS에 수록된 영농부산물 소각에 의한 대기오염 배출량 산정은 상기 연구에서 제시한 방법과 결과를 반영하였음
- 국립환경과학원은 2014년 “생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법 편람”을 발간하여 배출량 산정 방식을 제시하였음
- 환경부 국립환경과학원은 2017년 “생물성 연소 배출량 산정법 개선” 연구 통해 연구 결과 생물성 연소 배출량 산정을 위해 다음 사항의 개선연구를 제시하였음.
  - 누락 물질에 대한 추가적인 연구가 필요
  - 농업잔재물에 대한 추가 배출계수 개발 필요
  - 배출계수 개발 시 시료 채취, 연소챔버 규격, 연소조건 등의 실험방법론 정립 필요
  - 활동도 자료 수집체계 수립 필요 : 통계 자료 뿐만 아니라 1:1 대면 방식에 의한 정기적인 설문 조사가 필요

<국외>

- 미국, 유럽의 경우 생물성 연소 배출량 산정법이 규격화되어 있으며, 배출물질의 산정은 CAPSS 보다 1개 적은 7개 항목으로 구성되어 있음
  - 미국 EPA의 영농부산물 소각에 의한 배출량은 아래 CARB(2006)의 산정방법을 이용
  - 배출계수는 연소 시험을 바탕으로 산정하며, 활동도 계수인 농가인구수, 폐기물 발생량, 소각비율, 경작지 면적 등은 통계 자료와 설문 조사를 통해 조사됨
  - 일본은 볏짚 및 콩대와 같은 발세분류의 잔재물을 주로 태우고 있으며, 생물성 연소에 관련한 공식적인 배출량 산정은 하지 않고 있음. 개별 연구 활동에 의한 배출량은 산정되고 있으며, 연소 방법에 따른 미세먼지, OCEC, CO, CH4 등의 발생량을 관찰하고 있음.

CARB (2006)의 농업 잔재물 소각에 의한 배출량 산정 방법	
$Emission_{ij} = Acres_j \times FL_j \times EF_{ij} \times 10^{-3}$	
Emission <sub>ij</sub>	: 세분류 j에 대한 오염물질 I의 배출량 (ton/yr)
Acres <sub>j</sub>	: 세분류 j의 경작지 면적(m <sup>2</sup> )
FL <sub>j</sub>	: 세분류 j의 단위면적당 평균 소각량 (kg/m <sup>2</sup> )
EF <sub>ij</sub>	: 세분류 j에 대한 오염물질 I의 배출계수 (g/kg)

(4) 현황 및 개선방안

<현황 및 문제점>

- 영농부산물 소각에 대한 세분류 배출원 누락됨
  - CAPSS 내 11개 세분류(작물) 배출원이 수록되어 있어 누락된 배출원이 상당함.
- 배출계수에 대한 연소 특성평가 및 표준화가 이루어지지 않음
  - 노천소각 조건을 반영한 연소시험을 통해 배출계수가 개발되지 않았으며 따라서 배출계수의 불확도가 높음
  - 누락된 배출원에 대한 배출계수 개발이 요구됨
  - 연소조건에 따른 배출특성 연구가 수행되지 않아 소각에 의한 대기오염배출 영향을 평가할 수 없음

<개선방안>

- 세분류 다양화 및 현실화
- 활동도 자료 구축 방안 체계화
- 배출계수 개발 및 고도화를 위한 연소시설 및 시험 표준화
- 배출량 인벤토리 구축 및 유지관리방안 마련

(5) 연구개발 목표 및 내용

<연구개발 목표>

- 최종목표 : 영농부산물 소각으로 인한 대기오염 배출량 인벤토리 고도화

<주요 연구내용>

- 영농부산물 소각에 대한 세분류(부산물 발생 및 소각대상 작물)의 다양화 및 현실화
  - 조사대상 작물의 확대 (화훼 등을 포함하여 현재 11개 작물을 40여개 로 확대)
  - 부산물의 발생량, 부산물의 소각처리 비율 등을 고려하여 소각량에 대한 영농부산물 대상 작물 우선 순위 산정
  - 대상 작물에 대한 활동도 및 배출계수 확보 방안 마련
- 활동도 구축 체계화 및 활동도 자료 최신화
  - 경지면적 기준의 부산물 발생량 산정방식 재검토 및 개선
  - 통계청 농업총조사 자료의 활용 방안 마련 (필요시 통계청 조사항목으로 추가 검토)
  - 소각선도도, 소각비율 등의 조사를 위한 농업인 대상 설문조사 체계화
  - 활동도 자료의 최신화
- 배출계수 개발 및 고도화를 위한 연소시설·시험 표준화 및 배출계수 개발
  - 작물별 노천소각 조건(연소시간, 작물 함수량 등) 조사
  - 노천소각 조건을 반영한 연소시험용 설비의 설계 및 제작
  - 노천소각 조건의 연소시험 조건 설정 및 시험 표준화
  - 연소시험 시 대기오염물질 측정방안 마련
  - 연소 시 유해물질 발생 특성 평가
  - 작물종류 또는 작물의 상태에 따른 연소조건과 대기오염배출 영향 평가
  - 주요 작물의 영농부산물에 대한 배출계수 개발 및 유해물질 발생 자료 구축
- 배출량 인벤토리 구축 및 유지관리방안 마련
  - 시간·공간 분배 작물별·오염물질별 배출량 인벤토리 구축
  - 배출량 산정을 위한 활동도 자료 갱신 방안 마련

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업 ‘논·밭두렁 및 영농폐기물부산물소각 등 농촌 소각활동이 미세먼지 배출량에 미치는 영향’ 연구개발과제 최종 보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.