

논문

# 대기오염물질 배출량 산정을 위한 국내 농업잔재물 소각량 추정 Estimation of Fuel Loadings of Domestic Agricultural Crop Residues to Determine the Air Pollutants Emissions

유근배, 이병태<sup>1,\*</sup>, 한경만<sup>2</sup>, 김현수<sup>2</sup>, 임형문<sup>3</sup>, 송명기<sup>4</sup>, 배민석<sup>4</sup>  
광주과학기술원 환경분석센터, <sup>1</sup>광주과학기술원 중앙연구기기센터  
<sup>2</sup>광주과학기술원 지구환경공학부, <sup>3</sup>(주)폴인사이트, <sup>4</sup>목포대학교 환경공학과

Keun-Bae Yu, Byung-Tae Lee<sup>1,\*</sup>, Kyung-Man Han<sup>2</sup>, Hyun-Soo Kim<sup>2</sup>,  
Hyung-Moon Yim<sup>3</sup>, Myoung-Ki Song<sup>4</sup>, Min-Suk Bae<sup>4</sup>  
Environmental Analysis Center, Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju,  
Republic of Korea

<sup>1</sup>Central Research Facilities, Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju, Republic of Korea

<sup>2</sup>School of Earth Sciences and Environmental Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju, Republic of Korea

<sup>3</sup>Polinsight Co., Ltd., Gwangju, Republic of Korea

<sup>4</sup>Department of Environmental Engineering, Mokpo National University, Muan, Republic of Korea

접수일 2022년 3월 21일  
수정일 2022년 4월 20일  
채택일 2022년 5월 16일

Received 21 March 2022  
Revised 20 April 2022  
Accepted 16 May 2022

\*Corresponding author  
Tel : +82-(0)62-715-3315  
E-mail : btlee@gist.ac.kr

**Abstract** Open burning of agricultural residues is one of the significant sources of air pollution. The quantification of air pollutants emissions by open burning requires the fuel loadings calculated from the biomass and the crop's burning ratio that indicates the mass fraction of crop residues incinerated to the total crop residues. The survey of 1,004 domestic farmers in 2020 found that the burning ratio was 13.6%, and the compost recycling was 73.5%. The burning ratio varied from region and crop. The burning ratio in Gyeonggi-do was the highest at 31.7%, followed by Chungcheongbuk-do at 21.6%, Jeollabuk-do at 19.1%, and Gyeongsangnam-do at 15.5%. The pepper's burning ratio was 33.6%, followed by pear at 27.5%, peanut at 25.6%, and barley at 21.0%. Compared to 2014, the burning ratio decreased significantly. The average burning ratio of ten crops dropped by 71.6%, and particularly that of fruit trees' residue such as pear, apple, peach, and grape decreased by 78.5%. The biomass conversion factors to the annual crop yields provided by Statistics Korea reasonably presented the annual mass of agricultural crop residues. Finally, the fuel loadings at the agricultural open burning for twenty residues were estimated by multiplying the burning ratios by the mass of agricultural crop residues. As of 2019, the fuel loading of apples was the highest at 128,217 ton/yr, and those of pepper and barley were 68,523 ton/yr and 51,661 ton/yr, respectively. Open burning of agricultural crop residues is one of the long-standing treatment ways. However, to reduce the emission of air pollutants, it is most effective to promote recycling, such as compost or livestock feed.

**Key words:** Crop residue, Fuel loading, Biomass burning, Air pollutant emission

## 1. 서론

국내 대기환경의 오염원은 국내 발생 및 배출과 외부에서 유입되는 월경성 대기오염으로 나뉜다. 미세먼지의 농도 증가는 폐암 발생 및 조기 사망률을 높이는 악영향이 있는 것으로 알려져 있다(Beelen *et al.*,

2014; Puett *et al.*, 2014; Brook *et al.*, 2010). 미세먼지를 감축하고 관리하기 위해서는 미세먼지 발생에 대한 정확한 정보구축이 필요하다. 이를 위해 환경부는 미세먼지 예보제를 시행하고 있으며 미세먼지 발생원인 규명과 대응 방안 마련을 위해 배출원과 배출량 정보를 구축하고 있다. 국가미세먼지정보센터는 배출량

정보구축의 방안으로 주요 배출원을 분류하고 배출원 별 각각의 배출량을 산정하는 대기정책지원시스템 (CAPSS, Clean Air Policy Support System)을 운영 중이다. CAPSS는 대기오염 배출원을 13개 대분류로 구분하고 있으며, 생물성 연소는 고기나 생선 구이, 노천 소각, 농업잔재물 소각, 목재 난로 또는 보일러, 아궁이, 숯가마에서 대기로 배출되는 오염물질을 포함한다.

농업잔재물은 생물성 부산물인 고춧대, 벚짚, 과수의 가지 등을 말하며, 퇴비로 재활용되거나 연료소각 또는 단순 소각 등으로 처리된다(Park *et al.*, 2011). 농업잔재물 소각은 주로 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 등 온실가스뿐만 아니라 PM<sub>10</sub>, 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>) 등을 배출하여 대기오염물질 주요 배출원으로 분류된다(Seo, 2011; Ko *et al.*, 2008). 농업잔재물의 소각은 대기오염물질의 직접적 배출뿐만 아니라 미세먼지 2차 생성에 미치는 영향 또한 매우 크다(Seo, 2014). 농업잔재물의 소각이 대기오염에 미치는 영향은 탄소계에 에어로졸의 배출 특성 연구를 통해 평가된 바 있다(Jung *et al.*, 2014). 벼 수확기에 대기 중 유기탄소(Organic carbon)와 원소탄소(Elemental carbon)의 45±12%와 12±7.3%가 바이오매스 연소로부터 발생하며, 이것이 대기 중 유기탄소의 가장 큰 발생원임이 알려진 바 있다. 우리나라뿐만 아니라 대만(Kanabkaew and Oanh, 2011), 중국(Zhang *et al.*, 2019), 베트남(Lasko and Vadrevu, 2018), 인도(Sahu *et al.*, 2021) 등 아시아 국가에서도 농업잔재물의 노천 소각으로 다량의 대기오염물질이 대기 중으로 배출되고 있다고 보고한 바 있으며, 배출량 산정을 위한 인벤토리 구축 연구를 통해 대기오염 관리방안을 마련하고 있다.

농업잔재물의 대기오염 배출량은 미국 CARB (2006)에서 제안한 방법을 참고하여 국내 개발 배출계수와 활동도를 적용한다. 배출계수는 단위 중량당 대기오염물질 배출량으로 표현되며 농업잔재물의 연소시험을 통해 구한다(Kim *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2015; Seo, 2011). 활동도는 작물별 농업잔재물 소각량

이며 농업잔재물 발생량, 소각률, 소각 시기 등을 수치로 나타낸 값이다. 활동도는 배출계수와 달리 재배면적 또는 작물 생산량, 잔재물 처리 방식, 공간 또는 시간 등 다양한 요인에 의해 결정된다. 활동도는 산정된 배출량의 불확실성에 큰 영향을 미치므로 체계적인 조사와 함께 주기적인 갱신이 요구된다. 우리나라 농업잔재물 소각을 통한 대기오염물질 배출량 산정 연구는 2014년 한국환경산업기술원의 연구사업을 통해 경기개발연구원이 수행한 바 있다. 이 연구는 농업인을 대상으로 한 설문조사를 통해 농업잔재물 발생량 및 소각량, 소각 시기 등에 대한 활동도 자료를 개발하였다(Kim *et al.*, 2016). 또한 농업잔재물의 연소시험을 통해 고춧대, 보릿대 등 9개 세분류 농업잔재물에 대한 배출계수를 산정하여 이를 CAPSS에 적용한 바 있다(Park *et al.*, 2015). 선행 연구에서 제시된 활동도 자료는 2011~12년 설문조사를 통해 개발된 것이므로 이후 농업 기술 및 잔재물 처리 방식의 변화에 따라 갱신할 필요가 있다.

본 연구에서는 농업잔재물 소각에 대한 활동도를 조사하였다. 지역별 농업인을 대상으로 한 설문조사를 통해 작물별 농업잔재물 소각률 및 소각 시기 등을 파악하였으며, 통계청의 농업통계자료를 활용하여 작물별 농업잔재물 발생량을 산출하였다. 이를 통해 작물별, 지역별, 시기별 농업잔재물 소각량을 추정하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 농업인 대상 설문조사

농업잔재물 소각에 대한 설문조사를 위해 단위 면적당 농업잔재물 발생량 및 소각률, 소각 시기(월 단위) 파악을 목적으로 조사표를 작성하였다(부록 참조). 통계청의 시도 단위 경작지 면적을 기준으로 지역별로 설문 대상 수를 배분하였다. 특별시와 광역시는 경작지 면적이 타 시도에 비해 매우 낮으므로 설문조사 대상에서 제외하였다. 설문조사표는 일반사항과

농업잔재물 처리로 구성하였다. 일반사항에는 지역, 가족 구성원 등의 내용이 있다. 농업잔재물 처리 항목에는 작물별 처리 방법으로 작물 종류, 재배면적, 수확 후 잔재물 양, 처리 방법별 농업잔재물 처리 비율, 소각 시기 등을 포함하였다. 설문조사에서 가장 중요한 항목은 세분류 농작물별 발생 잔재물의 소각률이다. 이를 위해 설문조사에서는 농작물을 40개로 세분류하여 제시하였으며, 농업인별로 재배하는 작물을 선택하고 작물별 재배면적과 수확 후 잔재물의 양을 기록하게 하였다. 작물별 잔재물의 처리 방법을 경지 비료, 사료화, 판매/수거, 소각 등 4가지로 구분하여 각각의 방법으로 처리하는 잔재물 양을 작물별로 발생하는 잔재물의 양에 대한 비율로 기록하게 하였다. 조사 결과는 산술평균하여 작물별 소각률로 나타내었다.

조사는 2020년 1월부터 2020년 8월까지 각 지역 농업기술센터 농업인 대학, 지역별 작물연구회, 새해 농업인 실용 교육 등 지역별 농업교육 프로그램 참여자를 대상으로 1차 조사, 보완조사, 조사 결과 종합 검토 등 3단계로 수행하였다. 조사방식은 대면 방식과 우편, 온라인 조사 등 비대면 방식을 병행하였다. 대면조사는 전국 14개 지역 총 515명의 농업인을 대상으로 2020년 1월~6월에 실시하였다. 설문조사는 설문지 사전 배포, 조사 취지와 설문지 작성 방법 설명, 설문지 작성 및 제출, 조사원 설문지 검토 등의 순으로 현장 진행하였다. 대면조사 후 설문지를 검토하여 누락 또는 오기 등 보완사항이 발생하는 경우 전화 등의 방법으로 수정 보완하였다. 우편조사는 전국 16개 지역 425명 대상으로 2020년 6~8월에 실시하였으며, 온라인 조사는 전국 5개 지역 64명을 대상으로 2020년 8월에 실시하였다. 우편조사와 온라인 조사의 신뢰도를 높이기 위하여 결과 검토 및 필요시 전화를 이용하여 보완하였다.

조사를 통해 수집된 자료는 코딩 및 data cleaning 과정을 거친 후 통계분석 프로그램을 이용하여 빈도 분석, 교차분석, 기술통계분석 등을 실시하였다. 조사 결과를 이용하여 작물 및 시도별 차이를 분석하였다.

## 2.2 통계청 자료 확보 및 처리

작물별 생산량, 경작면적 등 농림산업과 관련된 국가통계자료는 통계청의 국가통계포털 (KOSIS, <https://kosis.kr/>)을 통해 확보하였다. 확보된 자료는 연도별, 작물별, 지역별로 구분하였다. 농림업조사사의 작물별 잔재물 처리 방법에 대한 통계 자료는 통계청의 마이크로데이터 원격접근 서비스(MDIS, <https://mdis.kostat.go.kr/>)를 통해 확보하였다. 조사자료를 확보한 후 통계처리 프로그램(SPSS)으로 세분류 작물별 잔재물 처리 행태의 지역별/연도별 추이를 분석하였다.

## 3. 연구 결과

### 3.1 조사 응답자 특성

농업잔재물 소각에 대한 농업인 대상 활동도 설문조사의 응답자는 총 1,004명이었다(표 1). 성별로 보면 남성이 702명, 여성이 289명으로 남성이 여성보다 약 2.4배 높았다. 연령대로 보면 60대가 374명으로 가장 많고 50대가 261명, 40대가 238명이었다. 60대 이상 고령자가 전체의 50%를 차지하였으며, 70대 이상은 128명이었다. 지역별 응답자 분포를 보면 전남의 응답자가 267명으로 전체의 26.6%였으며 경북은 204명(20.3%)이었고 이후 충북, 강원, 제주 순으로 응답이 많았다.

### 3.2 농업잔재물 처리 형태 결과

농업잔재물의 처리 형태를 경지 비료, 사료화, 판매, 소각, 기타로 구분하여 조사하였다(표 2). 설문의 세분류 농작물에서 발생하는 농업잔재물에 대해 최소 1개 이상의 잔재물 처리에 응답한 유효응답자는 989명이었다. 응답자는 경우에 따라 2개 이상의 세분류 농작물에 응답하였고, 이때 모든 응답 수는 총 2,142개로 유효응답자별 평균 2.71개/인이었다. 응답 결과를 살펴보면 발생하는 농업잔재물의 73.5%는 경지 비료로 처리되었으며, 13.6%는 소각처리되었다. 사료화와

판매는 각각 6.5%, 4.8%로 나타났다.

지역별 농업잔재물 처리행태는 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 경기지역은 소각률이 31.7%, 충북 21.6%, 전북 19.1%, 경남 15.5%로 나타나 전국 평균을 상회하였으며, 나머지 지역은 평균을 밑돌았다. 소각률이 5.0%로 가장 낮은 제주지역은 경지 비료화

84.0%, 사료화가 10.3%로 재이용률이 94.3%로 높게 나타났다.

### 3.3 세분류 작물별 농업잔재물 소각률 및 소각 시기

농업잔재물 처리 행태는 작물분류별로 통계적으로 유의한 수준에서 다르게 나타났다(그림 1). 세부적으로 살펴보면, 특용작물로부터 발생하는 농업잔재물의 소각률이 21.0%로 가장 높았으며, 조미채소가 20.2%였고, 맥류는 16.5%, 과수는 14.4%로 평균을 상회하였다. 소각률이 높은 작물은 작물 수확 이후 줄기류가 잔재물로 발생하는 밭작물이었으며, 엽채류는 소각률이 2.7%로 가장 낮게 나타나 잔재물의 형태에 따라 달라짐을 알 수 있었다.

농업작물 40개 세분류의 처리 방법별 잔재물 처리 비율을 표 3에 나타내었다. 가장 높은 소각률을 차지하는 작물은 고추였으며, 발생하는 농업잔재물의 33.6%가 소각되었다. 배에서 발생하는 농업잔재물의 27.5%가 소각처리되고 있으며, 땅콩이 25.6%, 보리가 21.0%의 순으로 높게 조사되었다. 특용작물인 참깨, 들깨, 땅콩의 농업잔재물 소각률은 모두 20%를 상회하는 것으로 조사되었다. 고추와 수박(16.8%)을 제외한 채소류의 농업잔재물 소각률은 10% 미만으로 나타났다. 과수의 경우 배를 비롯하여 사과(16.2%), 복숭아(15.2%) 등이 비교적 높은 소각률을 나타내었다.

**Table 1.** Characteristics of respondents to the survey on the agricultural crop residues.

		No. of respondent	Fraction (%)
Total		1,004	-
Gender	Male	702	69.9
	Female	289	28.8
	Unknown	13	1.3
Age group (years)	< 49	238	23.7
	50~59	261	26.0
	60~69	374	37.3
	> 70	128	12.7
	Unknown	3	0.3
Region	Gyeonggi-do	76	7.6
	Gangwon-do	91	9.1
	Chungcheongbuk-do	97	9.7
	Chungcheongnam-do	40	4.0
	Jeollabuk-do	82	8.2
	Jeollanam-do	267	26.6
	Gyeongsangbuk-do	204	20.3
	Gyeongsangnam-do	60	6.0
	Jeju-do	87	8.7

**Table 2.** Treatments of agricultural crop residues by region.

	No. of response	Treatments (%)				
		Compost	Livestock feed	Sale/collect	Burning	Others
Total	2,142	73.5	6.5	5.9	13.6	0.5
Gyeonggi-do	190	54.7	8.8	4.8	31.7	0.0
Gangwon-do	211	76.0	8.8	2.5	12.5	0.2
Chungcheongbuk-do	204	67.4	7.2	2.7	21.6	1.1
Chungcheongnam-do	125	77.9	10.5	3.3	7.0	1.3
Jeollabuk-do	116	72.3	3.4	5.2	19.1	0.0
Jeollanam-do	675	78.5	2.8	7.4	10.8	0.6
Gyeongsangbuk-do	379	75.4	4.5	10.9	8.7	0.6
Gyeongsangnam-do	111	59.4	20.9	4.0	15.5	0.3
Jeju-do	131	84.0	10.3	0.7	5.0	0.0

**Table 3.** Treatments of agricultural crop residues by crops.

Crops		No. of response	Treatment (%)				
			Compost	Livestock feed	Sale/collect	Burning	Others
Barley	Barley	29	53.1	20.0	5.9	21.0	0.0
	Wheat	9	75.0	25.0	0.0	0.0	0.0
Fruit trees	Apple	131	59.1	4.9	16.7	18.2	1.1
	Pear	78	59.8	2.4	9.4	27.5	1.0
	Peach	92	72.4	5.4	5.8	15.2	1.2
	Grape	40	82.3	4.8	5.1	7.8	0.0
	Citrus	67	89.1	1.6	1.3	7.9	0.0
	Persimmon	49	89.2	2.1	5.2	3.5	0.0
	Plum	60	81.1	3.8	6.0	9.1	0.0
	Others	61	70.9	12.6	1.9	13.7	0.4
Pulses	Soybean	176	69.9	14.1	3.1	12.8	0.0
	Red bean	28	78.6	5.7	3.6	12.1	0.0
	Mung bean	8	80.0	0.0	0.0	20.0	0.0
	Others	5	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0
Minor grains	Corn	107	71.6	16.4	4.1	7.4	0.5
	Buckwheat	2	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Others	8	57.1	28.6	0.0	14.3	0.0
Potatoes	Sweet potato	119	71.5	17.2	4.2	7.1	0.0
	Potato	98	79.6	7.0	3.3	9.7	0.5
Fruit vegetables	Water melon	47	73.6	0.0	9.5	16.8	0.0
	Oriental melon	23	83.5	4.3	3.5	8.7	0.0
	Strawberry	65	88.4	4.3	5.1	2.2	0.0
	Cucumber	17	78.8	8.8	5.3	7.1	0.0
	Pumpkin	55	82.9	3.8	9.2	4.1	0.0
	Tomato	39	90.5	0.3	3.3	5.9	0.0
Leafy vegetables	Korean cabbage	71	80.3	13.0	5.2	1.5	0.0
	Spinach	12	68.3	0.0	15.8	8.3	7.5
	Lettuce	22	91.9	8.1	0.0	0.0	0.0
	Cabbage	11	81.8	0.0	9.1	9.1	0.0
Root vegetable	Radish	38	71.2	10.3	9.7	6.1	2.7
Seasonings	Pepper	231	58.5	2.6	4.6	33.6	0.6
	Welsh onion	22	80.0	4.5	0.0	6.8	4.1
	Green onion	19	80.6	8.3	5.6	0.0	0.0
	Onion	32	85.5	0.0	11.3	3.2	0.0
	Ginger	14	87.1	0.0	12.9	0.0	0.0
	Garlic	111	83.7	0.5	9.8	6.0	0.0
Specials	Sesame	98	69.2	2.5	7.3	21.0	0.0
	Perilla	109	74.2	2.4	3.3	20.0	0.1
	Peanut	27	67.2	4.0	3.2	25.6	0.0
Flower	Flower	21	86.1	2.8	0.0	11.1	0.0

발작물인 콩, 팔, 녹두 역시 소각률이 높았으며, 고구마와 감자는 각각 7.1%, 9.7%의 소각률을 보였다. 화

훼에서 발생하는 농업잔재물의 소각률은 11.1%로 조사되었다. 밀, 두류 기타, 메밀, 상추, 쪽파, 생강 등의

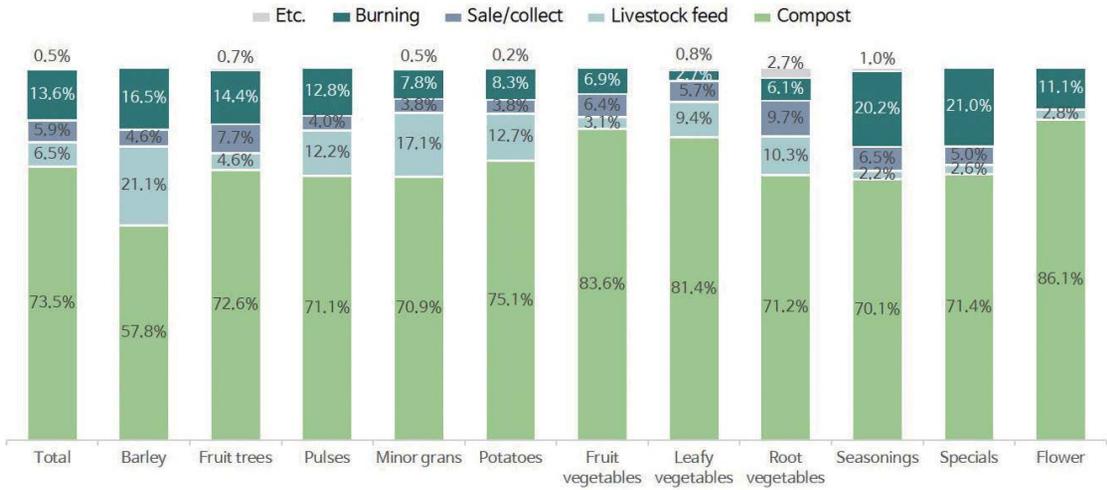


Fig. 1. Agricultural crop residues disposal by crops.

작물에서 발생하는 농업잔재물은 소각되지 않는 것으로 조사되었다.

농업잔재물의 소각 시기를 조사하여 시기별 비율을 표에 나타내었다(표 4). 농업잔재물 소각은 잔재물 발생 시기와 연관되어 있다. 과수의 경우 1~3월에 집중적으로 잔재물이 발생하며 맥류와 서류 등은 4~6월, 그리고 미국 등 다른 부산물은 9, 10월에 집중적으로 발생한다고 보고된 바 있다(Park et al., 2011). 농업잔재물 소각은 10월부터 이듬해 초까지 소각이 주로 이루어지는 것으로 조사되었다. 보리는 수확 이후 6월에 가장 빈번하게 소각되는 것으로 조사되었다. 과수는 종류에 따라 가지치기 작업의 시기에 따라 소각 시기가 달라짐을 알 수 있었다. 사과와 연중 가지치기가 이루어져 소각 역시 연중 발생하는 것으로 조사되었으며, 특히 사과 수확 이후인 10월부터 이듬해 4월까지 소각되는 양이 가장 많았다. 대표적 두류인 콩과 팥, 특용작물인 참깨, 들깨, 땅콩 역시 가을 수확 이후 10월부터 이듬해 초까지 소각이 이루어지며, 옥수수는 여름철 수확 이후부터 겨울철까지 소각되는 것으로 조사되었고, 고구마는 8~12월, 고추는 10월부터 이듬해 2월에 주로 소각되었다. 채소류는 소각률이 비교적 낮으며 소각 시기도 수확 이후로 집중되어 있

었다. 이는 발작물 수확 이후 다른 작물의 연속재배를 위해 밭을 빠르게 정리하기 때문으로 사료된다.

### 3.4 통계청 농림어업조사의 농업잔재물 처리 방법 분석

통계청 농림어업조사는 농업잔재물 처리 방법을 판매, 경지 비료, 가축 사료, 소각, 기타 등으로 분류하고 이 중 주된 처리 방법이 무엇인지를 선택하도록 하는 방식으로 조사한다. 그러므로 통계청의 조사는 농업잔재물의 처리 방법에 대한 선호도라고 볼 수 있다. 통계청 자료를 통해 2011년부터 2018년까지의 농업잔재물 처리 방식 중 소각처리 선호도 변화를 살펴본다(그림 2). 2011년부터 조사된 작물은 전반적으로 2016년까지 소각처리 선호도가 낮아지는 추세를 보였다. 양파는 2011년부터 2014년까지 20% 내외의 선호도를 보이다가 2016년 15.1%, 2017년 10.5%로 낮아졌고, 2018년에 12.2%로 약간 상승하였다. 고추, 참깨, 콩은 2016년까지 소각처리 선호도가 꾸준히 낮아졌으며, 2017년에는 소각처리 선호도가 2014년도 수준 이상으로 다시 높아졌고, 2018년에는 2017년과 비슷한 수준을 유지하였다. 마늘은 2011년부터 2014년까지 28% 내외의 수준을 보이다가 2016년 20.2%, 2017

**Table 4.** The monthly burning proportion of agricultural crop residues by crops.

Crops		Burning proportion (%)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Barley	Barley	-	-	-	-	-	85.7	-	-	-	14.3	-	-
	Wheat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fruit trees	Apple	13.3	13.3	10.0	8.3	3.3	8.3	3.3	3.3	1.7	10.0	10.0	15.0
	Pear	19.0	9.5	-	4.8	-	-	-	-	4.8	31.0	9.5	21.4
	Peach	5.6	22.1	5.6	-	-	-	11.1	16.7	11.1	11.1	-	16.7
	Grape	16.7	33.3	-	-	-	-	-	-	-	16.7	33.3	-
	Citrus	7.7	15.4	15.4	30.7	15.4	-	-	7.7	-	-	7.7	-
	Persimmon	-	25.0	-	25.0	-	-	25.0	-	-	25.0	-	-
	Plum	-	20.0	-	40.0	-	-	-	20.0	-	-	-	20.0
	Others	9.1	9.1	9.1	-	-	-	-	9.1	9.1	9.1	18.2	27.3
Pulses	Soybean	5.9	2.9	2.9	-	-	-	-	-	-	20.6	41.2	26.5
	Red bean	14.3	-	-	-	-	-	-	-	-	28.6	42.8	14.3
	Mung bean	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minor grains	Corn	9.1	18.2	9.1	-	-	-	-	9.1	18.2	18.2	18.2	-
	Buckwheat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50.0	50.0	-
Potatoes	Sweet potato	-	6.3	12.4	-	-	-	-	6.3	6.3	18.7	43.7	6.3
	Potato	-	-	12.5	-	-	25.0	-	-	-	25.0	37.5	-
Fruit vegetables	Water melon	-	-	-	-	25.0	25.0	-	12.5	12.5	12.5	-	12.5
	Oriental melon	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-
	Strawberry	-	-	-	-	49.9	16.7	-	16.7	-	-	16.7	-
	Cucumber	-	-	-	-	-	-	-	-	50.0	50.0	-	-
	Pumpkin	-	-	-	-	-	50.0	-	-	-	50.0	-	-
	Tomato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50.0	50.0	-
Leafy vegetables	Kor. cabbage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Spinach	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lettuce	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cabbage	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
Root vegetable	Radish	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-
Seasonings	Pepper	10.3	10.3	5.7	1.2	-	-	1.2	1.2	2.3	19.5	25.3	23.0
	Welsh onion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-
	Green onion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Onion	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
	Ginger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Garlic	12.5	-	-	-	-	25.0	-	-	-	12.5	50.0	-
Specials	Sesame	4.5	9.1	9.1	-	-	-	-	9.1	4.5	13.6	31.8	18.3
	Perilla	-	8.3	8.3	-	-	-	-	-	-	20.8	33.4	29.2
	Peanut	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.0	80.0	-
Flower	Flower	25.0	-	-	25	-	-	-	-	-	-	50.0	

년 21.8%로 조사되었고 2018년에는 1.1%로 감소하였다. 보리는 2011년 23.3%에서 2012년 16.8%로 감소하

였다가 2014년까지 비슷한 수준을 유지했으며, 2016년에는 7.4%로 감소한 뒤 2017년 21.8%, 2018년

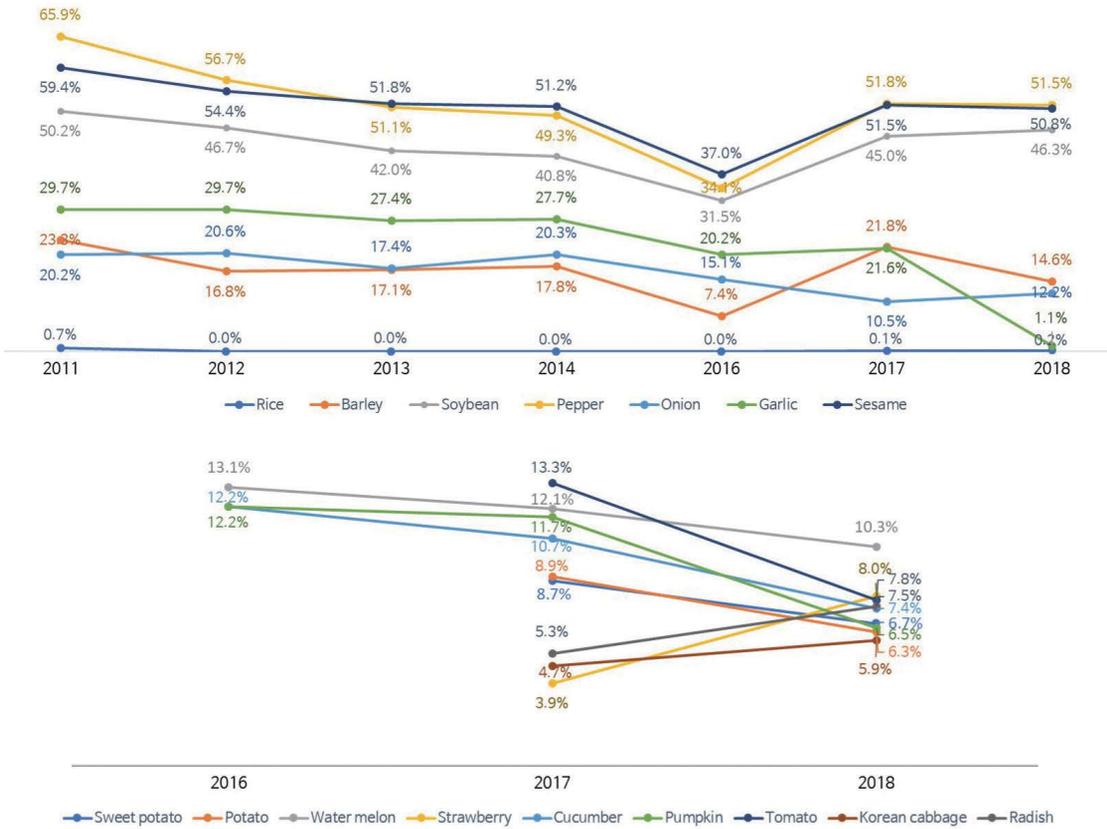


Fig. 2. Changes in the preference for the burning of agricultural crop residues by year according to the Statistics Korea's Agriculture, Forestry and Fisheries Survey.

14.6%로 조사되었다. 2016년부터 조사된 작물은 수박, 호박, 오이이며, 2018년까지 꾸준히 감소하였다. 2017년부터 조사된 작물 중 토마토와 고구마, 감자는 2017년 대비 2018년에 낮아졌다. 가을무, 가을배추, 딸기는 2017년 대비 2018년에 높아졌다.

### 3.5 농업잔재물 소각처리 선호도 및 선행 연구 소각률과 비교

통계청 농림어업조사의 농업잔재물 처리 방법 중 소각처리 선호도 조사 결과와 본 연구에서 구한 작물별 농업잔재물 중 소각처리되는 양을 나타내는 소각률을 비교하였다. 본 연구와 통계청 조사의 방식은 설문 문항에 차이가 있다. 두 조사의 구체적 문항은 다

르지만, 작물별 소각처리 선호도와 소각률의 비교를 통해 연구 결과의 신뢰도를 간접적으로 살펴볼 수 있다.

그림 3에 나타난 것처럼, 15개 작물의 비교 결과 대체로 두 조사의 선호도와 소각률은 유사한 것을 알 수 있다. 고추의 경우 통계청 조사에서 소각처리 선호도는 51.5%였으며 본 연구의 고추에서 발생하는 농업잔재물 중 소각처리되는 양 즉 소각률은 33.6%였고, 고구마, 감자, 수박, 딸기, 오이, 호박, 토마토, 배추, 무 등에서 작물별 결과는 유사한 경향을 보임을 알 수 있었다.

2014년 한국환경산업기술원이 경기개발연구원을 통해 수행한 작물별 농업잔재물 소각률 연구의 조사

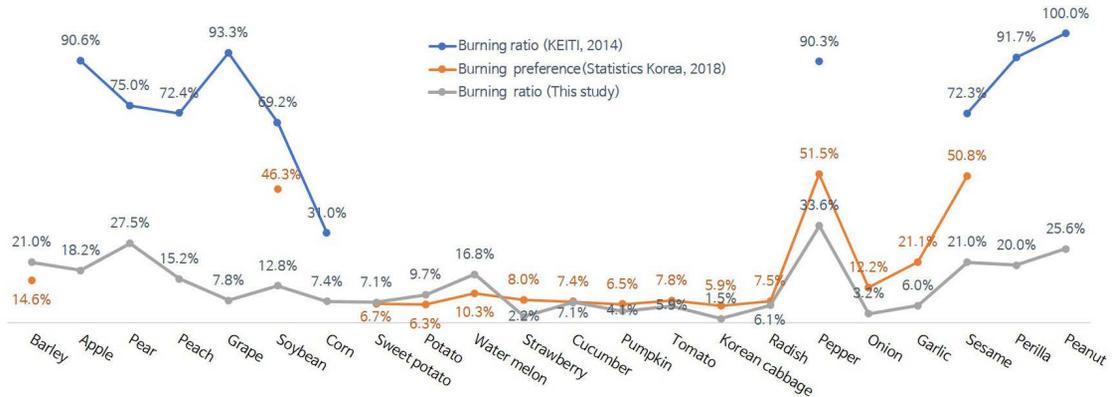


Fig. 3. Comparison of the preferences for burning with the burning ratios of agricultural residues.

Table 5. Comparison of the treatment of agricultural crop residues according to the scale of cultivated land of soybean, pepper, and sesame.

		No. of respondent	Compost		Livestock feed		Sale/collect		Burning		Others	
			%	F-test	%	F-test	%	F-test	%	F-test	%	F-test
Soybean	Large	77	73.4	0.354	16.8	3.483	3.0	0.056	6.9	20.248*	0.0	-
	Small	93	67.1		12.0		3.2		17.7		0.0	
Pepper	Large	101	54.0	1.669	2.2	0.707	5.2	0.327	37.6	1.859	0.9	1.666
	Small	120	62.0		3.0		4.2		30.5		0.4	
Sesame	Large	29	66.2	1.183	3.4	0.748	13.1	9.811	17.2	1.205	0.0	-
	Small	64	70.6		2.0		4.7		22.7		0.0	

\*p < 0.5

방법 및 설문 문항은 본 연구와 같은 것으로, 10개 농업잔재물의 소각률을 제시하였다(Kim et al., 2016). 본 연구의 설문조사는 2020년에 수행된 것으로서 두 연구 결과를 비교하여 소각행태의 변화를 분석해 볼 수 있다. 2014년 연구 결과에 비해 10개 작물의 농업잔재물 소각률은 평균 71.4%가 감소하였다. 과수 중에서 사과 90.6%에서 18.2%로 낮아졌으며, 배는 75.0%에서 27.5%, 복숭아는 72.4%에서 15.2%, 포도는 93.3%에서 7.8%로 감소하였다. 밭작물 중에서 고추는 90.3%에서 33.6%로, 땅콩은 100.0%에서 25.6%로, 들깨는 91.7%에서 20.0%, 참깨는 72.3%에서 21.0%, 옥수수는 31.0%에서 7.4%로 감소하였고 곡류인 보리는 30.0%에서 21.0%로 감소하였다.

### 3.6 경작 규모별 농업잔재물 처리 형태 비교

농업잔재물의 처리 형태가 경작의 규모에 영향을 받는지를 살펴보기 위해 콩, 고추, 참깨를 대상으로 농업잔재물 처리 형태를 재배면적 규모로 구분하여 비교하였다. 통계청 자료를 기반으로 각 세분류 작물별 재배면적의 증감률을 계산하였으며, 증감률보다 큰 경우를 대규모 경작으로 구분하였고 증감률보다 작으면 소규모 경작으로 하였다. 콩의 재배면적 증감률은 500평, 고추와 참깨는 200평이었다.

콩의 경우 재배면적 규모에 따라 소각률이 통계적으로 유의하게 다를 수 있었다. 대규모 경작의 경우 평균 6.9%의 소각률을 나타냈지만, 소규모 경작의 경우 17.7%로 상대적으로 높게 나타나 경작의 구

모가 작을수록 소각률이 더 높았다. 고추는 대규모 경작의 경우 소각률이 37.6%로서 소규모 경작(30.5%)에 비해 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 수준의 차이는 아니었다. 참깨는 대규모 경작의 경우 17.2%, 소규모 경작은 22.7%의 소각률을 보이는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

### 3.7 농업잔재물 발생량 추정 방안

농업잔재물 발생량은 작물별 생산량 기준 잔재물 발생률 적용 방법 식 (1)을 활용하였다. 2012년 농촌진흥청은 농업 생산활동에서 발생하는 바이오매스의 양을 추정하기 위해 작물별 바이오매스 환산계수(잔재물 발생률)를 제시한 바 있으며, 본 연구에서는 제시된 환산계수 및 식을 이용하여 작물별 농업잔재물 발생량을 추정하였다. 이때 적용되는 잔재물 발생률은 작물별 생산량을 기준으로 한 것으로서, 해당연도의 작물별 생산량을 통해 잔재물의 발생량을 파악할 수 있다.

$$CR_i = CY_i \times cf_i \quad (1)$$

$CR_i$ : 작물  $i$ 의 잔재물 발생량 (ton)

$CY_i$ : 작물  $i$ 의 생산량 (ton)

$cf_i$ : 작물  $i$ 의 생산량당 바이오매스 환산계수 (ton/ton)

농업잔재물 소각에 의한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 환경부의 선행 연구(KEITI, 2014)에서는 농업인 대상 설문조사를 통해 발생하는 농업잔재물의 양을 추정하거나 필요시 현장에서 즉시 무게를 달아 결과에 반영하였다. 본 연구에서도 농업인에게 해당 사항을 설명하고 발생하는 잔재물의 양을 무게 단위로 추정하여 설문지에 기록하게 하였다. 이 과정에서 농업인들은 발생하는 잔재물 무게 추정이 모호하며 무게 측정 경험이 없어 해당 설문 내용에 대한 응답이 원활히 진행되지 않았다. 설문 결과로 확보된 작물별 발생량은 응답률이 낮을 뿐만 아니라 재배면적 단위로 환산 시 응답 간의 편차도 매우 크게 나타났다. Kim *et al.* (2016)의 연구에서는 농업잔재물 발생량에 대해 필요한 경우 저울을 사용하여 즉시 무게를 달아

**Table 6.** Conversion factors of agricultural crop residues by crop.

Crops	Residues	Conversion factor	
		Production-based* (ton/ton)	Area-based** (ton/ha)
Apple	Branch	1.316	
Barley	Haulm	1.230	
Citrus	Branch	0.088	
Corn	Straw	1.189	
Grape	Branch	1.562	
Mung bean	Stalk	1.092	
Peach	Branch	0.367	
Peanut	Stem	1.780	
Pear	Branch	0.656	
Pepper	Stem	2.600	
Perilla	Stem	6.140	
Persimmon	Branch	0.270	
Plum	Branch	0.383	
Potato	Haulm	0.180	
Red bean	Stalk	1.079	
Rice paddy	Straw		0.027
Ridge (paddy)	Weed		0.027
Sesame	Stem	5.800	
Soybean	Stalk	1.000	
Sweet potato	Haulm	0.850	

\*: collected from Park *et al.*, 2011, \*\*: estimated in this study

농업잔재물의 양을 측정하여 결과에 반영하였거나 농업인을 대상으로 한 직접 면담을 통해 도출하였다고 밝히고 있다. 다만, 직접 양을 측정한 작물의 종류와 사례 수 등 구체적인 연구 결과는 제시하고 있지 않아 그 결과의 구체성과 신뢰성은 평가할 수 없다. 본 연구에서는 직접 양을 측정하는 것은 작물별로 잔재물 발생 시기가 달라 수행할 수 없었으며, 선행 연구에서도 일부 작물에 대해서만 직접 양을 측정하였을 것으로 추정된다. 잔재물 발생량에 대해 설문조사 또는 직접 측정 등 수행 방법의 불확실성이 매우 높았으며, 따라서 체계적이고 합리적인 발생량 추정 방식이 필요하였다.

농촌진흥청은 농촌지역에서 발생하는 바이오매스 발생량을 조사하기 위해 5년 평균 총생산량을 기준으로 단위 면적당 부산물 생산량, 총 재배면적에 단위 면적당 부산물 발생률, 그리고 시험포장 조사 결과를 바탕으로 한 바이오매스 환산계수를 비교 검토한 바

있다. 연구 결과 포장조사를 통한 바이오매스 환산계수를 이용하되, 재배면적을 이용한 방법보다 생산량을 고려한 농업부산물 바이오매스 산정이 적절함을 밝히고 있다.

벼를 재배하는 논인 경우 논바닥 또는 논두렁을 소각으로 인한 대기오염물질 배출이 발생한다. 소각량 산정을 위해서는 논바닥과 두렁에 남아있는 잔재물의 양을 추정하여야 한다. 앞서 제시한 잔재물 발생률 방식으로 산출한 벼의 농업잔재물 발생량은 벧짚과 왕겨 전체의 양에 대한 것이므로 실제로 논바닥 소각으로 처리되는 양과는 다르다. 본 연구에서는 벼 수확 이후 논바닥과 두렁에 남아있는 소각 가능한 잔재물의 양을 실측 조사하였다. 2020년 1~3월 전라남도 장성군 진원면 일대 5개 농경지를 대상으로 각각 5개의 1 m×1 m 격자별 논바닥에 남아있는 잔재물 무게를 실측한 후 면적 기준 평균값으로 계산하였다. 실측으로 구한 값은 0.027 ton/ha이며, 이는 재배면적을 기준으로 한 논바닥의 잔재물 발생률이다. 논바닥의 면적은 통계청의 연도별 논 재배면적 자료를 활용하였으며, 두렁 면적은 경작 가능 면적의 규반계 합계를 적용하였다. 규반이란 경지 구획이 경계로서 구획의 형상을 표시하는 두렁을 말하며 논에서는 물의 통로로 사용되는 물리적 공간이다. 통계청에서는 규반계합계를 두렁 면적으로 제공하고 있다.

$$CR_{paddy} = A_{paddy} \times cf_{paddy} \quad (2)$$

$CR_{paddy}$ : 논바닥의 잔재물 발생량 (ton)

$A_{paddy}$ : 논 면적 (ha)

$cf_{paddy}$ : 논바닥의 면적당 잔재물 발생률 (ton/ha)

### 3.8 농업잔재물 소각량 산출

농업잔재물 발생량 추정 환산계수가 확보된 20개 세분류에 대한 농업잔재물 소각량을 산출하였다. 설문조사를 통해 확보한 작물별 잔재물의 소각률과 농업잔재물 발생량을 이용하여 아래의 식을 통해 계산하는 방식을 적용하였다.

$$M_{i,burning} = CR_i \times r_{i,burning} \quad (3)$$

$M_{i,burning}$ : 작물  $i$ 의 잔재물 소각량 (ton)

$CR_i$ : 작물  $i$ 의 잔재물 발생량 (ton)

$r_{i,burning}$ : 작물  $i$ 의 잔재물 소각률

2019년 기준 통계청의 작물별 생산량 자료를 활용하여 작물별 지역별 농업잔재물 발생량을 추정한 후 작물별 소각률을 곱하여 농업잔재물 소각량을 산출하였다(표 7). 2019년의 작물별 연간 소각량은 사과가 128,217 ton/yr로 가장 많았으며 고추와 보리가 각각 68,523 ton/yr, 51,661 ton/yr로 많았다. 논 주변부의 두렁에 해당하는 규반계합계 면적을 적용하여 산출한 논두렁 소각량은 8.3 ton/yr로 가장 낮았으며, 논바닥은 2,640 ton/yr이었다. 지역별로 살펴보면, 경북이 140,703 ton/yr로 가장 많았으며, 이어서 전남이 65,699 ton/yr, 전북이 60,536 ton/yr, 충남이 41,972 ton/yr의 순이었다. 지역별 소각량은 각 지역의 작물별 재배 특성이 잘 반영되어 있다. 경북과 경남, 충북지역은 20개 작물 중에서 사과에서 발생하는 잔재물의 소각량이 가장 많았으며 전남과 전북은 보리의 소각량이 가장 많았다. 제주도의 총 소각량은 7,597 ton/yr이었으며, 이 중 감귤이 4,372 ton/yr로 가장 많았다.

## 4. 결 론

농업잔재물 소각의 대기오염 배출량 산정을 위해 활동도 자료인 작물별 소각률, 소각 시기, 소각량을 산정하였다. 작물별 소각률과 소각 시기는 전국 1,004명의 농업인을 대상으로 2020년 설문조사를 실시하여 산정하였다. 소각량은 농업잔재물 발생량에 소각률을 곱하는 방식을 적용하였다. 작물별 농업잔재물 발생량은 작물별 생산량을 기준으로 한 환산계수를 적용하였다. 제시된 작물별 소각률, 소각 시기 등의 활동도는 2020년 자료이다. 소각량은 2019년 기준 결과이며, 통계청의 2019년 작물별 생산량 자료를 활용한 것이다.

본 연구는 배출량 산정을 위해 세 가지의 가장 뚜렷한 연구 결과를 제시하고 있다. 첫째, 2020년 수행한 연구를 통해 2014년 기준의 작물별 농업잔재물 소

**Table 7.** Fuel loadings of agricultural crop residues by region in 2019.

Crops	Fuel loadings (ton/yr)																	Sum
	BS	CB	CN	DG	DJ	GB	GG	GJ	GN	GW	IC	JB	JJ	JN	SE	SJ	UL	
Apple	13	12,545	5,794	91	22	80,975	407	8	14,882	2,512	21	9,585	-	1,310	-	47	4.6	128,217
Barley	12	68	264	308	-	1,348	57	636	4,779	156	28	18,531	2,327	23,148	-	-	-	51,661
Citrus	-	-	-	-	-	0.1	0.9	-	-	-	-	-	4,372	4.9	-	-	-	4,378
Corn	42	1,861	71	9.4	11	359	685	6.4	486	2,494	52	142	50	540	1.2	6.9	46	6,864
Grape	1.6	1,658	1,013	85	208	10,772	3,448	30	612	299	234	1,374	7.4	399	0.4	102	1.5	20,244
Mung bean	0.2	12	47	-	-	19	26	0.2	8.3	16	0.9	19	11	294	-	0.7	0.9	455
Peach	4.3	3,094	179	141	25	5,895	403	55	272	236	5.6	766	0.2	345	-	308	5.4	11,734
Peanut	6.8	546	695	29	8.7	1,268	422	6.4	311	203	83	964	1.4	434	0.5	14	23	5,014
Pear	116	1,479	9,489	40	460	3,857	5,967	99	946	556	272	2,762	2.0	9,125	52	289	703	36,212
Pepper	169	6,895	6,860	201	128	16,411	5,549	149	4,669	5,059	684	11,055	106	9,970	17	321	280	68,523
Perilla	26	6,786	9,332	142	334	6,380	6,632	157	2,929	5,633	343	6,838	7.4	3,392	7.4	352	253	49,542
Persimmon	27	203	286	89	6.5	5,213	32	164	4,665	112	2.8	682	21	2,976	0.4	0.2	198	14,678
Plume	0.7	102	3.3	34	6.8	1,521	7.2	0.3	64	7.7	0.5	8.6	-	20	-	1.1	4.5	1,780
Potato	16	571	1,121	29	27	1,391	896	16	890	3,901	65	608	340	1,068	2	19	42	11,002
Red bean	0.8	40	44	0.5	-	68	32	1.7	33	145	1.0	90	0.3	278	-	0.4	2.1	736
Rice paddy	8.4	120	478	10	3.9	353	277	18	239	104	37	406	-	557	0.4	14	14	2,640
Ridge (Paddy)	0.2	-	0.6	2.5	-	1.0	0.6	-	0.2	0.6	-	0.3	-	2.2	-	-	0.1	8.3
Sesame	24	1,447	1,290	84	39	3,190	999	108	1,942	396	62	1,831	269	3,698	1.2	61	61	15,502
Soybean	22	1,214	2,896	31	23	593	1,138	11	503	2,040	29	1,503	-	2,413	7.7	1,013	45	13,483
Sweet potato	66	1,144	2,111	33	38	1,090	2,939	81	781	437	432	3,371	84	5,725	4.7	48	40	18,425
Sum	557	39,784	41,972	1,358	1,341	140,703	29,917	1,549	39,011	24,305	2,351	60,536	7,597	65,699	95	2,597	1,725	461,098

BS: Busan, CB: Chungcheongbuk-do, CN: Chungcheongnam-do, DG: Daegu, DJ: Deajeon, GB: Gyeongsangbuk-do, GG: Gyeonggi-do, GJ: Gwangju, GN: Gyeongsangnam-do, GW: Gangwon-do, IC: Incheon, JB: Jeollabuk-do, JJ: Jeju, JN: Jeollanam-do, SE: Seoul, SJ: Sejong, UL: Ulsan

각률을 최신자료로 갱신하였다. 2020년 발생하는 전체 농업잔재물 중 13.6%가 소각처리된 것으로 조사되었다. 10개 세분류에 대해 2014년 연구 결과와 비교하면 소각률이 평균 71.6% 감소하였으며, 특히 과수인 배, 복숭아, 사과, 포도 등의 소각률 감소는 평균 78.5%였다. 이러한 소각률 감소는 농업 기술의 발달과 사회환경의 변화 등에서 그 원인을 찾을 수 있다. 그동안 농업잔재물(부산물)의 자원화를 위한 농업 기술 개발 및 활용 사업을 통해 농업잔재물의 자원화 사업의 효과가 나타나고 있으며, 특히 과수 전정 작업 시 가지의 파쇄 지원 등이 대표적인 사업이다. 아울러, 겨울 및 봄철 농촌 소각으로 인한 화재 발생을 예방하기 위한 불법 소각 방지 홍보와 소각으로 인한 대기오염 발생 등 환경에 대한 지속적 계도 및 교육도 상당한 영향을 주는 것으로 평가할 수 있다. 농업 기술 지원 및 관련 교육이 지속해서 시행되고 있으므로 향후 농업잔재물의 소각은 꾸준히 감소할 것으로 예상된다. 따라서 주기적인 조사를 통해 소각률을 최신화하여 대기오염 정책에 반영할 필요가 있다. 연구 결과에서는 통계청의 농림어업조사 작물잔사 처리 방법에 대한 조사 결과와 본 연구의 소각률 결과의 유사성을 확인하였다. 통계청의 농림어업조사 역시 농업인을 대상으로 한 설문조사 방식으로 수행되므로 이 조사를 통해 활동도인 소각률의 변화를 관찰할 수 있을 것이다.

두 번째로, 기존 연구에서 제시한 10개 세분류 작물을 총 40개 작물로 확대하여 소각률 및 소각 시기 등의 활동도를 산정하였다. 이러한 세분류 작물의 확대를 통해 농업잔재물의 소각행태를 구체적으로 파악하여 대기오염배출량을 감소시키기 위한 효과적인 관리 방안 마련에 활용할 수 있다.

세 번째로, 작물별 생산량을 활용한 농업잔재물 발생량 산정방식을 활용하였다. 농업잔재물 발생량의 합리적 추정은 소각량의 불확실성을 감소시키는 주요 요인이다. 기존의 연구에서는 농업인 대상 설문조사 또는 일부 현장 계측을 통해 발생량을 산정하였다. 이러한 방식은 조사범위의 한계로 인해 결과의 신뢰도가 낮을 뿐만 아니라 매년 농업 재배면적 또는 생산량

변화가 고려되지 않아 인벤토리 구축의 방식으로 적합하지 않다. 본 연구에서는 농촌진흥청의 연구에서 제시한 작물별 생산량 기준 바이오매스 발생량 산정 방법을 활용하였다. 이 방법을 활용하면 통계청의 작물별 생산량 자료를 이용하여 매년 작물별·지역별 농업잔재물 발생량을 산정할 수 있다.

농업생산의 측면에서 농업잔재물은 생산의 방해 요인이다. 발작물 또는 보리는 수확 이후 다른 발작물 또는 벼를 재배하여 경지의 생산성을 높이게 되며, 이때 밭이나 논에 남아있는 농업잔재물은 작물의 재배를 방해하므로 노천 소각을 통해 빠르게 처리하는 것이 지금까지의 행태였다. 발작물 중 배추나 양파의 잔재물은 수분함량이 높아 소각이 쉽지 않고 발생량이 많지 않으므로 신속한 작물 재배를 위해 밭갈이를 하는 방법으로 잔재물을 처리하였다. 농업잔재물의 자원화 촉진은 소각을 억제하는 좋은 방안이다. 과수의 경우 가지치기 이후 발생하는 잔재물을 현장에서 파쇄하여 현장에서 경지 비료로 처리하거나 옥수수, 고추 등 현장에서 즉시 파쇄가 어려운 잔재물은 수거하여 경지 비료 또는 사료로 자원화하는 기술 개발 및 지원을 통해 농업잔재물 소각에 의한 대기오염물질 배출량을 줄일 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원(과제번호: 319108-2)으로 수행되었습니다. 농업인 대상 설문조사를 수행하신 ㈜폴인사이트의 장경철, 이찬미님께 감사드립니다.

## References

- Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z.J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Wolf, K., Samoli, E., Fischer, P., Nieuwenhuijsen, M., Vineis, P., Xun, W.W., Katsou-

- yanni, K., Dimakopoulou, K., Oudin, A., Forsberg, B., Modig, L., Havulinna, A.S., Lanki, T., Turunen, A., Oftedal, B., Nystad, W., Nafstad, P., De Faire, U., Pedersen, N.L., Östenson, C.G., Fratiglioni, L., Penell, J., Korek, M., Pershagen, G., Eriksen, K.T., Overvad, K., Ellermann, T., Eeftens, M., Peeters, P.H., Meliefste, K., Wang, M., Bueno-de-Mesquita, B., Sugiri, D., Krämer, U., Heinrich, J., de Hoogh, K., Key, T., Peters, A., Hampel, R., Concin, H., Nagel, G., Ineichen, A., Schaffner, E., Probst-Hensch, N., Künzli, N., Schindler, C., Schikowski, T., Adam, M., Phuleria, H., Vilier, A., Clavel-Chapelon, F., Declercq, C., Grioni, S., Krogh, V., Tsai, M.Y., Ricceri, F., Sacerdote, C., Galassi, C., Migliore, E., Ranzi, A., Cesaroni, G., Badaloni, C., Forastiere, F., Tamayo, I., Amiano, P., Dorronsoro, M., Katsoulis, M., Trichopoulou, A., Brunekreef, B., Hoek, G. (2014) Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project, *The Lancet*, 383(9919), 785-795. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)62158-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62158-3)
- Brook, R.D., Rajagopalan, S., Pope, C.A. III, Brook, J.R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A.V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R.V., Mittleman, M.A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S.C. Jr, Whitsett, L., Kaufman, J.D. (2010) Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association, *Circulation*, 121(21), 2331-2378. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbce1>
- California Air Resources Board (CARB) (2006) Emission inventory methodology-San Joaquin valley unified air pollution control district: Agricultural burning.
- Jung, J., Lee, S., Kim, H., Kim, D., Lee, H., Oh, S. (2014) Quantitative determination of the biomass-burning contribution to atmospheric carbonaceous aerosols in Daejeon, Korea, during the rice-harvest period, *Atmospheric Environment*, 89, 642-650. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.010>
- Kanabkaew, T., Kim Oanh, N.T. (2011) Development of Spatial and Temporal Emission Inventory for Crop Residue Field Burning, *Environmental Modeling & Assessment*, 16(5), 453-464. <https://doi.org/10.1007/s10666-010-9244-0>
- Kim, D.Y., Choi, M.A., Han, Y.H., Park S.K. (2016) A study on estimation of air pollutants emission from agricultural waste burning, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 32(2), 167-175. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2016.32.2.167>
- Ko, J.Y., Lee, J.S., Jung, K.Y., Choi, Y.D., Eamos, E.P., Yun, E.S., Kang, H.W., Park, S.T. (2008) Effects of barley straw management practices on greenhouse gases (GHGs) emission during rice cultivation in rice barley double cropping system, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 41(1), 65-73. <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02041372>
- Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI) (2014) Improvement of air pollution emission data by biomass burning.
- Lasko, K., Vadrevu, K. (2018) Improved rice residue burning emissions estimates: Accounting for practice-specific emission factors in air pollution assessments of Vietnam, *Environmental Pollution*, 236, 795-806. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.098>
- Park, S.K., Hong, Y.S., Kim, D., Kim, D.Y., Jang, Y.K. (2015) Emission of air pollutants from agricultural crop residues burning, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 31(1), 63-71. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2015.31.1.063>
- Park, W.K., Park, N.B., Shin, J.D., Hong, S.G., Kwon, S.I. (2011) Estimation of biomass resource conversion factor and potential production in agricultural sector, *Korean Journal of Environment Agriculture*, 30(3), 252-260. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2011.30.3.252>
- Puett, R.C., Hart, J.E., Yanosky, J.D., Spiegelman, D., Wang, M., Fisher, J.A., Hong, B., Laden, F. (2014) Particulate matter air pollution exposure, distance to road, and incident lung cancer in the nurses' health study cohort, *Environmental Health Perspectives*, 122(9), 926-932. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307490>
- Rural Development Administration (RDA) (2012) Establishment and assessment of biomass inventory for bioenergy.
- Sahu, S.K., Mangaraj, P., Beig, G., Samal, A., Chinmay, P., Dash, S., Tyagi, B. (2021) Quantifying the high resolution seasonal emission of air pollutants from crop residue burning in India, *Environmental Pollution*, 286, 117165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117165>
- Seo, Y.H. (2011) Estimation of emission factor of PM<sub>10</sub> and determination of PAH in PM<sub>10</sub> particles collected from biomass burning, rice straw, *Journal of Korea Society of Environmental Administration*, 17(2), 95-103. <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01805179>
- Seo, Y.H. (2014) Source profile of PM<sub>10</sub> emitted upon agricultural biomass combustion, *Journal of Korea Society of Environmental Administration*, 20(1), 1-7. <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02488885>
- Statistics Korea, Korean Statistical Information Service. <https://kosis.kr/>

Statistics Korea, Microdata Integrated Service. <https://mdis.kostat.go.kr/>

Zhang, X., Lu, Y., Wang, Q., Qian, X. (2019) A high-resolution inventory of air pollutant emissions from crop residue burning in China, *Atmospheric Environment*, 213, 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.06.009>

### Authors Information

유근배 (광주과학기술원 환경분석센터 선임연구원)  
(goodfish@gist.ac.kr)

이병태 (광주과학기술원 중앙연구기기센터 연구교수)  
(bilee@gist.ac.kr)

한경만 (광주과학기술원 지구환경공학부 연구교수)  
(goodfish@gist.ac.kr)

김현수 (광주과학기술원 지구환경공학부 연구교수)  
(goodfish@gist.ac.kr)

임형문 (주폴인사이트 대표이사) (goodfish@gist.ac.kr)

송명기 (국립목포대학교 환경공학과 연구교수)  
(msong@mnu.ac.kr)

배민석 (국립목포대학교 환경공학과 교수)  
(minsbae@mnu.ac.kr)

## Supplementary Materials

## 영농폐기물 및 농업부산물 등 농촌소각 설문조사

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)

## &lt;연구참여 및 자료활용 동의서&gt;

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

동의함       동의하지 않음

## 가. 일반적 특성

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

Q1. 귀하께서 경작하는 작물 및 작물잔사 처리방법에 관한 다음 질문에 답해주세요.

### 라. 영농폐기물 처리

Q1. 비닐, 플라스틱 등 영농폐기물 처리방법에 관해 답해주세요.

No	구분		재배 여부	재배면적 (단위: 평)	수확후 작물잔사의 양(kg)	작물잔사 처리방법 및 비중(%)				소각시기 월 중	작물잔사 외 영농폐기물(비닐, 플라스틱 등) 처리		
						경지비료 (%)	사료화 (%)	판매/수거 (%)	소각 (%)		발생되는 영농 폐기물의 양(kg)	폐기물처리비중	
												재활용/수거(%)	소각(%)
0	예시	사과	<input checked="" type="checkbox"/>	1,250 평	350 kg	60%	10%	10%	20%	10월	500 kg	70%	30%
1	맥류	보리	<input type="checkbox"/>										
2		밀	<input type="checkbox"/>										
3	과수	사과	<input type="checkbox"/>										
4		배	<input type="checkbox"/>										
5		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		기타_____	<input type="checkbox"/>										
15	잡곡	옥수수	<input type="checkbox"/>										
16		메밀	<input type="checkbox"/>										
17		기타_____	<input type="checkbox"/>										
18	서류	고구마	<input type="checkbox"/>										
19		감자	<input type="checkbox"/>										

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

**라. 논밭 소각 여부**

Q1. 지난 1년 동안 논바닥, 논두렁, 밭두렁, 논밭 주변부(언덕)의 잡초제거 및 병충해 방지를 위한 소각 여부에 대해 답해주십시오.

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	논밭 주변부(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. -