



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 개발

Development of CH₄ Emission Factor
of Crop Residue Incineration

2019년 2월

세종대학교 대학원
기후변화협동과정
조 승 현

농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 개발

Development of CH₄ Emission Factor
of Crop Residue Incineration

지도교수 전 의 찬

이 논문을 공학 석사학위논문으로 제출함

2019년 2월

세종대학교 대학원

기후변화협동과정

조 승 현

조승현의 석사학위논문을 인준함

2019년 2월

심사위원장 김 하 나 (인)

심 사 위 원 조 창 상 (인)

심 사 위 원 전 의 찬 (인)

국 문 초 록

농작물 수확 후 남는 농업잔재물 중 사료나 퇴비로 사용되지 못하는 것들은 주로, 농경지에서 소각되고 있다. 농업잔재물 소각과정에서는 온실가스가 배출되고 이와 관련된 연구는 미비한 실정이다. 현재 우리나라의 농업잔재물 온실가스 배출계수는 IPCC 가이드라인의 기본값을 사용하고 있지만, 국내 농업잔재물 소각의 특성을 반영하는 배출계수 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 농업잔재물 중 소각 비율이 높은 고춧대, 들깨대, 참깨대를 대상으로 농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수를 산정하는 것과 농업잔재물 소각에 큰 영향을 미치는 수분 함유율을 고려한 농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수 개발이다.

농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수를 개발하기 위해 수확이 끝난 농경지에서 농업잔재물(고춧대, 들깨대, 참깨대)을 채취하여 분쇄한 후 분석하였다. 농업잔재물의 소각은 농업잔재물 소각 장치(EPA Method 5)를 사용하였고, 소각 중에 소각가스를 채취하여 CH_4 농도를 분석하였다. 그리고 농도분석 결과를 이용하여 농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수를 산정하였다.

소각가스의 CH_4 농도를 분석한 결과 고춧대 소각의 CH_4 농도는 14.2~54.2 ppm으로 나타났고, 들깨대 소각의 CH_4 농도는 32.1~105.3 ppm, 참깨대 소각의 CH_4 농도는 48.7~170.5 ppm으로 나타났다. 고춧대 소각의 평균 CH_4 농도는 30.88 ppm으로 농업잔재물 중 가장 낮게 나타났고, 참깨대 소각의 평균 CH_4 농도는 83.26 ppm으로 가장 높게 나타났다. 들깨대 소각의 평균 CH_4 농도는 62.23 ppm으로 나타났다.

이후 농업잔재물 소각의 CH_4 농도를 이용하여 농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수를 산정하였다. 산정 결과, 고춧대 소각의 CH_4 배출계수는

0.74~2.74 g/kg으로 나타났고 들깨대 소각의 CH₄ 배출계수는 1.73~5.36 g/kg으로 나타났다. 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수는 3.07~9.68 g/kg으로 나타났다. 고춧대 소각의 평균 CH₄ 배출계수 1.60 g/kg 으로 농업잔재물 중 가장 낮게 나타났고, 참깨대 소각의 평균 CH₄ 배출계수는 4.73 g/kg 으로 가장 높게 나타났다. 들깨대 소각의 평균 CH₄ 배출계수는 3.25 g/kg으로 나타났다.

본 연구에서는 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수의 신뢰성을 향상하기 위해 농업잔재물 소각시기에 노천에 있는 농업잔재물 수분 함유율을 측정하였고 평균 수분 함유율을 고려한 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수를 개발하였다. 노천의 고춧대 수분 함유율은 16.0~22.9 % 사이로 측정되었고, 평균 수분 함유율은 19.0 %로 나타났다. 노천의 들깨대 수분 함유율은 11.2~15.2 % 사이로 측정되었고, 들깨대 평균 수분 함유율은 12.4 %로 나타났다. 노천의 참깨대 수분 함유율은 9.1~12.1 % 사이로 측정되었고, 참깨대 수분 함유율은 10.3 %로 나타났다.

수분 함유율을 고려한 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수는 5.76 g/kg, 수분 함유율을 고려한 들깨대 소각의 CH₄ 배출계수는 3.35 g/kg, 수분 함유율을 고려한 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수는 6.99 g/kg으로 나타났다. 농업잔재물의 수분 함유율이 높아질수록 농업잔재물 소각의 CH₄ 농도와 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수가 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 개발 시 농업잔재물의 수분 함유율은 중요한 요소로 판단되고, 이렇게 개발된 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수는 국가 온실가스 인벤토리의 신뢰성을 향상에 기여할 것이다.

주요어 : 온실가스, CH₄, 농업잔재물 소각, 인벤토리, 배출계수

목 차

제1장 서 론

| | |
|-----------------------|---|
| 제1절 연구의 배경 및 목적 | 1 |
| 제2절 연구의 내용 및 범위 | 3 |

제2장 이론적 고찰

| | |
|--------------------|---|
| 제1절 농업잔재물 소각 | 5 |
| 제2절 선행연구 분석 | 7 |

제3장 연구방법

| | |
|-------------------------------------|----|
| 제1절 현장 실험방법 | 12 |
| 제2절 실험실 분석방법 | 17 |
| 제3절 분석장비의 정도관리 | 22 |
| 제4절 CH ₄ 배출계수 산정방법 | 27 |

제4장 농업잔재물의 발열량 및 특성 분석

| | |
|------------------------|----|
| 제1절 대상 농업잔재물 | 29 |
| 제2절 농업잔재물의 원소분석 | 31 |
| 제3절 농업잔재물의 공업분석 | 34 |
| 제4절 농업잔재물의 발열량분석 | 37 |

제5장 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 개발

| | |
|---|----|
| 제1절 농업잔재물 소각의 CH ₄ 배출계수 산정 | 40 |
| 제2절 수분 함유율을 고려한 CH ₄ 배출계수 개발 | 43 |
| 제3절 농업잔재물 소각의 CH ₄ 배출계수 비교 | 49 |
| 제6장 결 론 | 50 |
| 참고문헌 | 52 |
| Abstract | 55 |

표 목차

| | |
|--|----|
| <표 2-1> 주요 작물별 농업잔재물 처리 현황 | 6 |
| <표 2-2> 농업잔재물 소각 관련 국내·외 연구 | 10 |
| <표 3-2> Gas Chromatography 분석 조건 | 22 |
| <표 3-3> CH ₄ 농도분석의 반복성 평가 | 24 |
| <표 3-4> 표준시료를 이용한 원소분석기의 재현성 평가 | 25 |
| <표 3-5> 발열량분석의 반복성 평가 | 26 |
| <표 3-6> CH ₄ 배출계수 산정 워크시트 | 28 |
| <표 4-1> 작물별 농업잔재물 소각량 | 30 |
| <표 4-2> 고춧대의 원소분석 결과 | 31 |
| <표 4-3> 들깨대의 원소분석 결과 | 32 |
| <표 4-4> 참깨대의 원소분석 결과 | 32 |
| <표 4-5> 농업잔재물의 원소분석 비교 | 33 |
| <표 4-6> 고춧대의 공업분석 결과 | 34 |
| <표 4-7> 들깨대의 공업분석 결과 | 35 |
| <표 4-8> 참깨대의 공업분석 결과 | 35 |
| <표 4-9> 농업잔재물의 공업분석 비교 | 36 |
| <표 4-10> 고춧대의 발열량 분석결과 | 37 |
| <표 4-11> 들깨대의 발열량 분석결과 | 38 |
| <표 4-12> 참깨대의 발열량 분석결과 | 39 |
| <표 4-13> 농업잔재물의 발열량분석 비교 | 39 |
| <표 5-1> 고춧대 소각의 CH ₄ 배출계수 산정 결과 | 40 |
| <표 5-2> 들깨대 소각의 CH ₄ 배출계수 산정 결과 | 41 |

| | |
|--|----|
| <표 5-3> 참깻대 소각의 CH ₄ 배출계수 산정 결과 | 42 |
| <표 5-4> 노천의 고춧대 수분 함유율 | 43 |
| <표 5-5> 노천의 들깻대 수분 함유율 | 45 |
| <표 5-6> 노천의 참깻대 수분 함유율 | 47 |
| <표 5-7> 본 연구와 국내·외 농업잔재물 소각의 CH ₄ 배출계수 비교 | 49 |

그림 목차

| | |
|---|----|
| <그림 1-1> 연구 흐름도 | 4 |
| <그림 3-1> 농업잔재물 채취 | 12 |
| <그림 3-2> 농업잔재물 시료 준비 | 13 |
| <그림 3-3> 농업잔재물 소각을 위한 장치(EPA Method 5) | 14 |
| <그림 3-4> 실제 농업잔재물 소각에 사용된 장치 | 14 |
| <그림 3-5> Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography | 15 |
| <그림 3-6> 소각가스 포집장치 | 16 |
| <그림 3-7> 초정밀 다용도 수분측정기(Kern, Mrs 120-3) | 17 |
| <그림 3-8> 시료 수분 함유율 측정과정 | 18 |
| <그림 3-9> 자동원소분석기(Flash, EA1112 CHNS-O Analyzer) | 19 |
| <그림 3-10> 공업분석기(ELTRA, THERMOSTEP) | 20 |
| <그림 3-11> 자동열량분석기(Parr-6400, USA) | 21 |
| <그림 3-12> 표준시료를 이용한 CH ₄ 검량선 | 23 |
| <그림 5-1> 수분 함유량에 따른 고춧대 소각의 CH ₄ 배출계수 | 44 |
| <그림 5-2> 수분 함유율에 따른 들깨대 소각의 CH ₄ 배출계수 | 46 |
| <그림 5-3> 수분 함유율에 따른 참깨대 소각의 CH ₄ 배출계수 | 48 |

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

기후변화협약 제4조 및 12조, 교토의정서에 의해 온실가스 의무감축국은 온실가스 배출통계 작성·관리·공표 주체, 절차 및 방법에 관한 국가 인벤토리 시스템 구축, 국가 온실가스 배출량 산정 및 국가보고서 제출이 의무화되어 있다.

농업부문의 온실가스 배출량은 지구 전체 온실가스 배출량의 10~14%를 차지하며, 농업부문에서 배출되는 메탄 배출량이 전체 메탄 발생량 중 40%로 농업부문이 가장 큰 배출원으로 평가되고 있다(농업진흥청, 2010). 농경지에서의 온실가스 배출은 IPCC 가이드라인(IPCC, 1997)의 분류체계에 의해 크게 벼 재배에 의한 메탄 배출과 농경지의 아산화질소 배출, 농업잔재물 소각에 의한 온실가스 배출로 분류되며, 각종 영농활동은 다양한 경로를 통해 온실가스 배출에 관여한다.

한국환경산업기술원(2014)에 따르면 농업부문의 온실가스는 IPCC 가이드라인에 따라 축산과 경종으로 구분한다. 축산부문은 가축 장내 발효과정에서의 CH_4 배출량과 분뇨처리 과정에서의 메탄 및 N_2O 배출량으로 구분하여 산정하고 경종부문은 벼 재배과정에서의 메탄 배출량, 농경지 토양에서의 아산화질소 배출량, 농업잔재물을 소각하는 과정에서의 메탄 및 아산화질소 배출량으로 구분하여 산정한다. 한국환경산업기술원(2014)에 따르면 2011년 농업부문 온실가스 총 배출량 중 축산부문에서 배출된 온실가스 양은 9.4백만 톤 $\text{CO}_2\text{eq.}$ (43%)이고, 경종부문에서 배출된 양은 12.6백만 톤 $\text{CO}_2\text{eq.}$ (57%)이었다.

농업활동에서 많은 농업잔재물이 발생하게 되고, 별다른 체계가 구축되어 있지 않아 대부분 노천소각이 이루어지고 있다. 농업잔재물을 노천소각할 경우 NOx(질소산화물), SOx(황산화물), VOCs(휘발성유기화합물) 온실가스 등 대기 중으로 직접 배출하므로 정확한 규명 및 관리방안이 필요하다.

농업잔재물의 소각은 벼, 밀, 보리, 조와 같은 곡류의 잔재물 보다 단단한 콩대, 고춧대, 참깨대의 소각비율이 높다. 경기개발연구원(2014)에 따르면 벼짚을 제외한 대부분은 처리과정 없이 소각되는 것으로 알려져 있다. 벼짚은 대부분 원형제조기에 의해 가공한 후 사료나 축사에서 활용된다.

농작물 수확 후 남는 농업잔재물 중 사료나 퇴비로 사용되지 못하는 것들은 주로, 농경지에서 소각되고 있다. 농업잔재물 소각과정에서는 온실가스가 배출되고 이와 관련된 연구는 미비한 실정이다. 현재 우리나라의 농업잔재물 온실가스 배출계수는 IPCC 가이드라인의 기본값을 사용하고 있지만, 국내 농업잔재물 소각의 특성을 반영하는 배출계수 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 소각 비율이 높은 고춧대, 들깨대, 참깨대를 대상으로 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수를 산정하는 것과 농업잔재물 소각에 큰 영향을 미치는 수분 함유율을 고려한 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 개발을 하는 것이다. 이러한 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수는 국가 온실가스 인벤토리의 신뢰성 향상에 기여할 것이다.

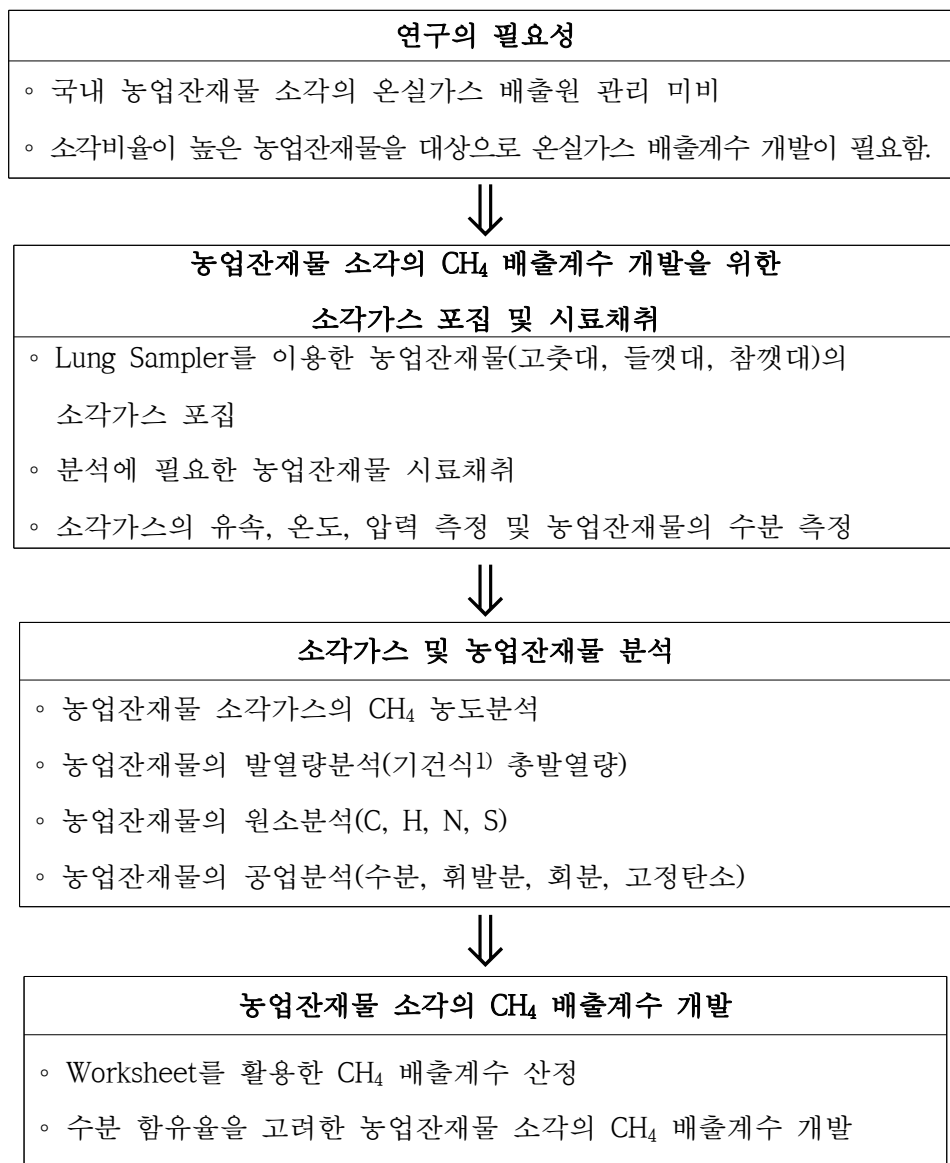
제2절 연구의 내용 및 범위

경기개발연구원(2014)에 따르면 농업잔재물의 소각은 벼, 밀, 보리, 조와 같은 곡류의 잔재물 보다 단단한 콩대, 고춧대, 참깨대의 소각비율이 높고, 별도의 방지시설 없이 대부분 소각되고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 농업잔재물 소각 비율이 높은 고춧대, 참깨대, 들깨대를 대상으로 연구를 진행하였다.

본 연구는 <그림 1-1>과 같은 절차에 따라 진행하였다. 농업잔재물 소각 발생 및 처리 현황과 농업잔재물 소각 부문 온실가스 배출량, 작물별 농업잔재물 처리방법 등을 조사하였고, 소각 비율이 높은 고춧대, 참깨대, 들깨대를 연구 대상으로 선정하였다.

현장조사에 앞서 측정 데이터의 신뢰성을 위해 CH_4 농도분석기기(GC-FID) 정도관리(QA/QC)와 농업잔재물 분석에 필요한 발열량분석 기기, 원소분석 기기, 공업분석 기기의 정도관리(QA/QC)를 수행하였다.

기기의 정도관리 후, 농업잔재물 특성을 분석하기 위해 발열량분석, 원소분석, 공업분석을 실시하였고 Lung Sampler를 이용하여 농업잔재물 소각에서 발생하는 배기가스를 Tadar bag에 포집하였다. 동시에 배출계수에 필요한 유속, 온도, 압력을 농업잔재물 소각 시 측정하였다. 포집 과정 이후에 배기가스는 GC-FID를 통해 CH_4 농도를 분석하였다. 분석 수행 후 Worksheet를 활용하여 CH_4 배출계수를 산정하였다. 산정한 배출계수는 수분 함유율에 따라 구분하여 개발하였다. 마지막으로 타 연구에서 개발된 CH_4 배출계수와 비교하고 결론을 도출하였다.



<그림 1-1> 연구 흐름도

1) 석탄을 실험실의 Oven 또는 공기 중에서 수분을 제거한 것으로 시료를 건조 장치에 넣어 실온보다 10~15 °C 높게 유지하며 공기로 건조시킨 상태를 기준으로 한 분석이다.

제2장 이론적 고찰

제1절 농업잔재물 소각

김동영(2016)에 따르면 농업잔재물이란 농업 활동으로 발생하는 폐기물로 과수가치, 추수 후의 벼짚, 고춧대, 들깨대 등이 해당된다. 농업잔재물이 발생하면 일부는 거름이 되기도 하지만, 판매되기도 하고 경지 비료나 가축 사료로 사용되기도 한다. 판매와 경지 비료, 가축사료로 사용되지 않은 것들은 농경지에서 소각하게된다.

농촌에서는 농업잔재물 소각이 주로 추수 이후에 많이 이루어진다. 반면에 수도권에는 주말농장이나 원예농장이 많이 있기 때문에 계절에 상관없이 노천소각이 행해지고 있다. 경희대학교(2008)의 연구에 따르면 농촌에서의 소각 물질은 주로 농작물 재배 이후에 방치되는 식물성 잔존물로서 이듬해의 경작을 위하여 병충해를 박멸하고, 소각잔재를 비료로 활용하고자 하는 것이 주요 목적이지만, 농업잔재물을 처리할 수 있는 마땅한 대안이 없는 현실도 농업잔재물 소각행위가 감소하지 않는 원인 가운데 하나이다. 농업잔재물 소각이 심각한 대기오염을 미치는 것으로 알려져 있지만, 일부 농업잔재물의 경우 소각 이외에 처리할 수 있는 방법이 없어서 관리가 힘들다.

고지연(2012)은 벼짚, 보릿짚, 콩대, 고춧대, 참깨대, 마늘대 등을 대상으로 농업잔재물 처리방법을 조사하였다. 벼짚은 판매와 경지에 환원되는 비율이 많았고, 소각은 0.42 %로 거의 없었다. 보릿짚은 45.80 %가 경지비료로 사용되는 비율이 많았고, 기타 처리는 8.04 %로 적게 나타났다. 콩대의 경우에는 35.50 %는 경지 비료로 사용되었고, 판매하는 비율

은 2.95 %로 적게 나타났다. 마늘대의 경우에 43.20 %로 경지에 환원되는 비율이 많았고, 고춧대, 참깨대의 경우 53.14 %, 59.80 %로 소각되는 양이 50 % 이상으로 다른 작물들에 비해 상당히 많았고, 판매는 0.56 %, 0.49 %로 적게 나타났다. 농업잔재물의 소각은 벧짚, 보릿짚보다 잔재물이 단단한 콩대, 고춧대, 참깨대의 소각비율이 각 33.87 %, 63.1 %, 59.80 %로 상당히 높게 나타나는 경향이였다(〈표 2-1〉 참조).

<표 2-1> 주요 작물별 농업잔재물 처리 현황

(단위: %)

| 구분 | 벧짚 | 보릿짚 | 콩대 | 마늘대 | 고춧대 | 참깨대 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 판매 | 35.03 | 19.44 | 2.95 | 1.25 | 0.56 | 0.49 |
| 경지 비료 | 41.59 | 45.80 | 35.50 | 43.20 | 18.03 | 20.82 |
| 가축 사료 | 20.70 | 10.38 | 14.54 | 2.95 | 1.12 | 2.95 |
| 소각 | 0.42 | 16.34 | 33.87 | 21.51 | 53.14 | 59.80 |
| 기타 | 2.26 | 8.04 | 13.14 | 31.08 | 17.14 | 15.93 |

출처: 고지연, 2012

제2절 선행연구 분석

농업잔재물 소각의 온실가스 관련 연구 살펴본 결과, 벼 재배, 농경지 토양(직접, 간접)을 대상으로 다수의 연구가 있었으나, 소각비용이 높은 고춧대, 참깨대에 대한 CH₄ 배출계수 개발 연구는 많지 않았다.

농촌진흥청(2010)에 따르면 농업부문의 온실가스 배출량은 지구 전체 온실가스 배출량의 10~14 %를 차지하고, 농업부문에서 배출되는 메탄 배출량이 전체 메탄 발생량 중 40 %로 농업이 가장 큰 배출원으로 평가되고 있다. 본 연구에서는 농업부문의 농업잔재물 소각을 대상으로 CH₄ 배출계수를 산정하였다.

농경지에서 발생하는 온실가스는 IPCC 가이드라인(IPCC, 1997)의 분류 체계에 따라 크게 벼 재배에서 발생하는 메탄, 농경지에서 배출하는 아산화질소, 그리고 농업잔재물 소각에서 나오는 메탄과 아산화질소로 분류된다. 본 연구에서는 농업잔재물 소각에서 나오는 메탄을 대상으로 하였다.

농업부문은 IPCC 가이드라인에 의해 경종과 축산으로 구분된다. 한국환경산업기술원(2014)에 따르면 축산부문은 가축 장내 발효과정에서의 메탄 배출량과 분뇨처리 과정에서의 메탄 및 아산화질소 배출량으로 구분하여 산정하고 경종부문은 벼 재배과정에서의 메탄 배출량, 농경지 토양에서의 아산화질소 배출량, 농업잔재물을 소각하는 과정에서의 메탄 및 아산화질소 배출량으로 구분하여 산정한다. 한국환경산업기술원(2014)에 따르면 2011년 농업부문 온실가스 총 배출량 중 축산부문에서 배출된 온실가스 양은 9.4백만 톤 CO₂eq.(43 %)이었고, 경종부문에서 배출된 양은 12.6백만 톤 CO₂eq.(57 %)이었다.

농업잔재물은 볏짚을 제외한 대부분은 소각되는 것으로 알려져 있다(경기연구원, 2012). 볏짚은 가공되어 축사에서 사료로 활용된다. 나머지 과수 가지치기 후 잔재물, 옥수수대, 콩대, 고춧대 등 농업잔재물은 별도

의 방지시설 없이 노천에서 대부분 소각된다.

김동영(2016)의 연구에 따르면, 작물별 농업잔재물 양과 소각비율을 적용하여 도출한 단위 면적당 작물별 평균 소각량은 특용작물²⁾이 392.9 g/m²으로 값이 가장 크게 나타났다. 다음으로 채소 290.7 g/m², 과수 273.1 g/m², 잡곡 121.0 g/m², 두류 105.7 g/m², 맥류 7.4 g/m²으로 나타났다. 특용작물의 소각량이 높은 이유는 소각비율이 높고 단위 면적당 무게가 많이 나가기 때문이다.

농촌진흥청(2013)은 농업잔재물 소각에 의한 온실가스 배출계수를 산정하였다. 연구대상은 보리짚이며 측정 항목은 CO₂, N₂O, CH₄ 이다. 연구 결과를 보면, 수분 함유율을 고려하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 수분 함유율이 30~40 % 이하 수준에서는 온실가스 발생량이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

국립농업과학원(2013)은 농업잔재물 처리방법 활동자료를 논벼, 보리짚, 참깨, 고추, 콩,마늘 등을 대상으로 조사하였다. 벧짚은 판매되거나 경지 환원 비율이 많았고, 소각은 0.42 %로 거의 없는걸로 나타났다. 보릿짚은 16.34 %가 소각되어 Ko et al.(2008)의 조사 결과인 43.9 %에 비하여 낮게 나타났다. 이는 Ko et al.(2008)의 조사 결과가 보리 재배가 많은 영남지방으로 한정된 것이고, 또한 농업잔재물 소각에 대한 부작용을 홍보하여 농민들의 생각이 많이 바뀐 것으로 판단된다. 농업잔재물의 소각은 벼, 밀, 보리, 조와 같은 곡류의 잔재물 보다 단단한 콩대, 고춧대, 참깨대의 소각비율이 각 33.87, 63.1, 59.80 %로 상당히 높게 나타나는 경향이였다.

Hayashi(2014)의 연구에서 대상은 일본 내 생산되는 밀, 보리, 벧짚이다. 측정항목은 가스성 물질과, 입자상 물질이다. 농업잔재물 소각은 일

2) 식용 이외의 특수용도에 쓰이는 농작물

본과 유사한 아시아 국가에서 많이 발생한다. 하지만, 일본을 포함하여 농업잔재물 소각 부문에 신뢰할만한 데이터가 없다. 해당논문에서는 농업잔재물 소각 배출계수 산정 시, 반드시 수분 함유율을 고려하라고 명시되어 있다.

국립농업과학원(2013)에서는 농업잔재물 소각의 온실가스 배출계수를 개발하였다. 이 연구에서는 시료의 수분 함유율이 가스발생량에 미치는 영향을 최소화하고자 Takashi(2001)의 시험방법과 같이 보릿짚을 24시간 오븐 건조시키고 비닐팩에 증류수를 첨가하고 밀봉하여 24시간 방치함으로써 보릿짚이 수분을 흡수할 수 있도록 하였다. 그러나 실제 농경지에서 소각되는 농업잔재물은 외부조건에 따라 수분 함유율이 달라지게 되므로 시료의 수분 함유율의 고려한 배출계수를 개발하였다. 본 연구는 실제 노천소각과 유사한 조건을 만들어 진행하였으며, 이는 EPA Method 5G의 규격에 준하는 챔버를 사용하였다.

본 연구에서는 농업부문에서 온실가스 발생량이 많은 CH_4 를 대상으로 정하고, 별도의 방지시설 없이 소각되는 농업잔재물 중 소각비율이 높은 고춧대, 들깨대, 참깨대를 대상으로 선정했다. 또한 농업잔재물 소각 배출계수 산정 시 반드시 필요한 수분 함유율을 고려한 CH_4 배출계수 개발연구를 진행했다.

<표 2-2> 농업잔재물 소각 관련 국내·외 연구

| 관련 연구 및 지침 | 연구 내용 |
|-----------------------|--|
| 농촌진흥청 (2010) | <ul style="list-style-type: none"> 온실가스 배출량은 지구 전체 온실가스 배출량의 10~14 %를 차지함. 농업부문에서 배출되는 메탄 배출량이 전체 메탄 발생량 중 40 %로 농업이 가장 큰 배출원으로 평가되고 있음. |
| IPCC (1997) | <ul style="list-style-type: none"> 농업지에서의 온실가스 배출은 크게 벼 재배에 의한 CH₄ 배출, 농경지에 N₂O 배출, 농업잔재물 소각에 의한 온실가스로 분류함. 영농활동은 다양한 경로를 통해 온실가스 배출에 관여함. |
| 경남연구원 (2012) | <ul style="list-style-type: none"> 벼짚은 대부분 축사에서 사료로 활용됨. 과수가지 잔재물, 옥수수대, 콩대, 고춧대 등 잔재물은 별도의 방지시설 없이 현장에서 대부분 소각함. |
| 김동영 (2016) | <ul style="list-style-type: none"> 작물별로 농업잔재물 양과 소각비율을 적용하여 도출한 단위 면적당 작물별 평균 소각량은 들깨대, 참깨대가 가장 큰 값으로 나타남. |
| 농촌진흥청 (2013) | <ul style="list-style-type: none"> 보리짚을 대상으로 CO₂, N₂O, CH₄ 배출계수를 산정함. 수분이 30~40 % 이하 수준에서는 발생량이 큰 차이가 없음. 출수 후 40일 보리짚을 소각하였을 때는 출수 후 30일 보리짚을 소각하였을 때보다 온실가스 발생량이 17 % 저감됨. |
| 국립 농업과학원 (2013) | <ul style="list-style-type: none"> 농업잔재물 처리방법을 벼, 보리, 콩, 고추, 참깨, 마늘 등을 대상으로 조사함. 콩대와 고춧대 및 참깨대의 소각비율이 높게 나타남. |

| | |
|--------------------------------|--|
| <p>국립 농업과학원 (2013)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 농업잔재물을 대상으로 소각 시 온실가스 배출계수를 개발하였음. • 시료의 수분 함유율이 가스발생량에 미치는 영향을 최소화하여 소각을 진행하였음. |
| <p>Hayashi (2014)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 일본 내 생산되는 밀, 보리, 벳짚에 대해 가스상 물질과 입자상 물질을 대상으로 연구함. • 일본을 포함하여 농업잔재물 소각 부문에 신뢰할 데이터가 없음. 농업잔재물 소각 배출계수를 산정 시, 반드시 수분을 고려하라고 명시되어있음. |

제3장 연구방법

제1절 현장 실험방법

1. 농업잔재물 시료 준비

소각실험에 필요한 농업잔재물(고춧대, 들깨대, 참깨대)은 수확이 끝난 후 6월~9월 동안 농경지에서 확보하였다(〈그림 3-1〉 참조). 농경지에서 농업잔재물을 확보한 후 소각장치 투입구 크기 및 소각 시간을 감안하여 절단 후 1 kg 씩 준비하였다(〈그림 3-2〉 참조).



화성시 향남읍 구문천리 고추밭(2018. 9. 13)

〈그림 3-1〉 농업잔재물 채취

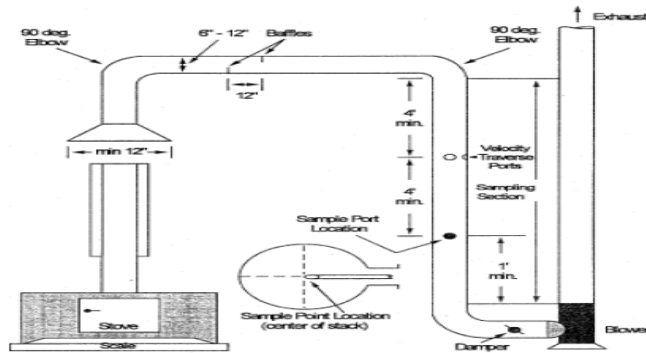


화성시 향남읍 구문천리(2018. 10. 09)

<그림 3-2> 농업잔재물 시료 준비

2. 농업잔재물 소각장치

소각에 사용되는 방법은 EPA Method 5G(US EPA, 2007)이다(그림 3-3) 참조). 실제 농업잔재물 소각에 사용된 장치의 규격(그림 3-4) 참조)은 가로 6 m, 세로 3 m, 폭 2.4 m이다. 농업잔재물 소각에서 발생하는 연기를 포집하기 위해 사용된 후드의 길이는 가로 세로 각 1.5 m로 구성되어 있으며, 덕트의 직경은 250 mm이다.



〈그림 3-3〉 농업잔재물 소각을 위한 장치(EPA Method 5)

출처: US EPA, 2017

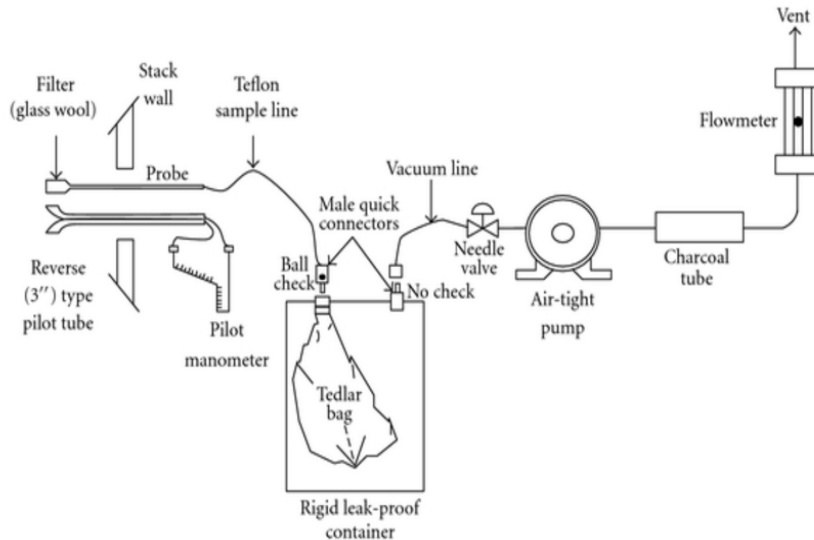


〈그림 3-4〉 실제 농업잔재물 소각에 사용된 장치

3. 소각가스 채취

소각가스 채취에 사용되는 방법은 EPA Method 18(US EPA, 2000)이다. 이 방법은 대기오염물질분석을 위한 가스시료 채취에 사용되고, 연소시설의 배기가스 중 온실가스를 분석하기 위한 기체시료 채취에도 사용된다(<그림 3-5> 참조).

소각가스 채취는 Lung sampler(ACEN, KOREA) 안쪽에 Tedlar bag(SKC, US)을 연결하고 펌프가 작동해 장비 내부를 부압으로 만들어 시료가 펌프를 거치지 않고 채취하는 방법이다. 가스시료 포집방법 중 구성 장비가 가장 간단하다. 배출가스 시료는 대표성 있는 농도측정을 위해 시료가 타기 시작할 때부터 불씨가 꺼질 때까지 10분가량 채취하였다.



<그림 3-5> Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography

출처: US EPA, 2010

소각장치로부터 배출되는 가스는 유속이 2 m/sec 이상이며, 온도는 150 ℃ 이상 이다. 또한, 소각가스는 시료 채취관에 의해 변성되지 않아야한다. 따라서 온도와 유속에 의해 변성이 일어나지 않고, 배기가스와 반응하지 않도록 스테인레스강 재질의 시료채취관을 제작하여 사용하였고, 배기가스 내 수분 제거를 목적으로 Lung sampler 앞에 임핀저와 실리카겔을 담은 흡수병을 설치하였다<그림 3-6> 참조).



화성시 향남읍 구문천리(2018. 10. 09.)

<그림 3-6> 소각가스 포집장치

제2절 실험실 분석방법

1. 수분 함유율 분석

현장에서는 충분히 마르지 않은 상태에서 농업잔재물이 소각되는 경우가 있다. 농업잔재물에 수분이 많을 경우 불완전연소를 가중시켜 입자상오염물질이 상대적으로 많이 발생한다. 농업잔재물의 배출계수 산정을 위한 시료 준비 시, Hayashi(2014)가 언급한 것처럼 수분이 반드시 고려되어야한다고 판단된다.

농업잔재물 중 주로 소각 처리하는 고춧대, 들깨대, 참깨대 대상으로 초정밀 다용도 수분측정기를 이용하여 시료에 대한 수분 함유율을 측정하였다(<그림 3-7> 참조). 측정된 시료의 수분 함유율은 농업잔재물 소각의 CH_4 배출특성 파악과 수분에 따른 농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수를 위한 자료를 사용하게 된다.



<그림 3-7> 초정밀 다용도 수분측정기(Kern, Mrs 120-3)

수분 함유율 측정은 준비한 시료 1 kg 중 3곳에서 무작위로 측정하였고, 그 후 초정밀 다용도 수분 측정기를 이용하여 수분을 총 3회 측정하였다. 3회 평균을 수분 함유율 자료로 사용하였다(<그림 3-8> 참조).



화성시 향남읍 구문천리(2018. 10. 09.)

<그림 3-8> 시료 수분 함유율 측정과정

2. 원소분석

원소분석은 시료 중의 탄소, 수소, 질소, 황 함량 등을 측정하는 방법으로 자동원소분석기(Automatic Elemental Analyzer)가 많이 사용되고 있다(<그림 3-9> 참조).

본 연구에 사용되는 자동원소분석기는 Dynamic flash combustion method가 사용되었으며, 이는 화합물내의 원소들을 각각 산화시켜 컬럼으로 분리시키고, TCD 검출기를 이용하는 방식이다. 본 연구에서는 농업잔재물의 탄소함량 및 수소함량을 측정하기 위해 자동원소분석기(Thermo Finnigan-Flash EA 1112, USA)를 사용하였고 TCD의 오븐 온도(Oven temperature)를 70 °C, 노내 온도(Furnace temperature)를 950 °C로 설정하였다. 컬럼은 길이 2 m의 ParaQ-X를 사용하였고, 운반가스(He 99.999%, MS Gas Corporation), 산소(O₂ 99.99 %, Dong Min Specialty Gases), reference가스의 유량은 각 140, 240, 100 ml/min으로 설정하였다(ASTM D 3176-89, 2002; ASTM D 3178-89, 2002).



<그림 3-9> 자동원소분석기(Flash, EA1112 CHNS-O Analyzer)

3. 공업분석

공업분석은 건식상태 시료에 포함되어 있는 고유수분(Inherent Moisture), 휘발분(Volatile Matter), 회분(Ash), 고정탄소(Fixed Carbon)를 정량적으로 분석하는 방법으로, 본 연구에서는 열중량분석기(TGA-701)를 사용하여 공업분석을 실시하였다(<그림 3-10> 참조). 공업분석에서 분석된 고유수분은 발열량분석에서 분석한 기건식 총발열량을 인수식 순발열량으로 환산하는데 사용됐다.

휘발분은 940 °C 에서 고순도 질소(99.9999 %)를 주입하여 감량되는 양을 측정하였으며, 회분(Ash)과 고정탄소는 750 °C 에 고순도 산소(99.999 %)를 주입하여 감량되는 양을 측정하였다. 시료측정 시 각 항목 당 해당 온도에서 3차례 측정한 후 변동 편차가 0.5 mg 이하일 때 까지 분석한다 (ISO 17246, 2010).



<그림 3-10> 공업분석기(ELTRA, THERMOSTEP)

4. 발열량분석

본 연구에서는 농업잔재물(고춧대, 들깨대, 참깨대)의 발열량을 측정하기 위해 Parr사의 자동열량분석기(Parr-6400, USA)를 사용하였다(〈그림 3-11〉 참조).

분석용 시료는 정밀전자저울(Mettler Toledo-AB204S, Swizerland)을 이용하여 0.0001 g까지 정량하였다. Parr사의 자동열량분석기의 원리는 측정 물질을 태우고 발생하는 열로 냉각수의 온도를 변환시켜 그 차이로 열량을 분석하는 것이다.

본 연구에서는 냉각수로 증류수를 사용하였고, 냉각수의 온도는 25 ℃로 설정하여 Isoperibolic at 25 ℃ mode로 분석하였다(ISO 1928, 2009; KS E 3707, 2001, ASTM D 2015-91, 1991). 농업잔재물의 발열량은 기건식 시료를 사용하였다.



〈그림 3-11〉 자동열량분석기(Parr-6400, USA)

제3절 분석장비의 정도관리

1. 소각가스의 CH₄ 농도 분석

가) 가스크로마토그래피 분석 조건

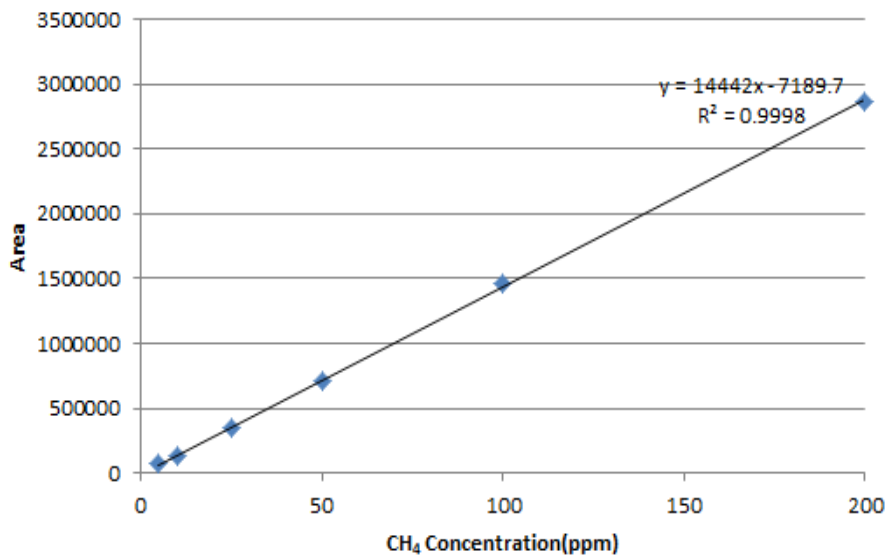
포집한 소각가스는 가스크로마토그래피법(Gas Chromatography, GC)을 이용하여 분석하였다. CH₄ 농도분석은 GC-FID(Gas Chromatography Flame Ionization Detector, FID)를 사용하였으며, 스테인레스강 소재의 Porapack Q 80/100 1m 컬럼을 사용하였고 운반가스(N₂)와 H₂, Air의 유량은 각 25 ml/min, 30 ml/min, 300 ml/min 으로 설정하였다. 오븐과 주입구, 검출기의 온도는 각 120 °C, 70 °C, 250 °C로 설정하였다(<표 3-2> 참조).

<표 3-2> Gas Chromatography 분석 조건

| Varian cp-3800 | | |
|----------------|----------------|---------------------------|
| 검출기 | | FID |
| 컬럼 | | Porapack Q 80/100 |
| 운반 가스 | | N ₂ (99.999 %) |
| 가스 유속 | N ₂ | 25 ml/min |
| | H ₂ | 30 ml/min |
| | Air | 300 ml/min |
| 온도 | 오븐 | 70 °C |
| | 주입구 | 120 °C |
| | 검출기 | 250 °C |

나) 직선성 평가

분석에 사용된 GC의 경우 사전에 직선성 평가와 반복성 평가를 통해 QA/QC를 진행하였다(<그림 3-12> 참조). 가스크로마토그래피의 CH₄ 분석을 위한 검량선은 서로 다른 5가지의 표준가스 CH₄ 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm(Rigas, Korea)를 이용하여 작성하였다. 1차 표준가스로는 50 ppm을 사용하였고, 1차 표준가스를 희석하여 2차 표준가스로 25 ppm(50 ppm 희석)을 제조하여 사용하였다. 표준시료를 사용한 검량선의 R² 값은 0.9998으로 우수한 직선성을 나타냈다.



<그림 3-12> 표준시료를 이용한 CH₄ 검량선

다) 반복성 평가

또한, 본 연구에서 사용된 가스크로마토그래피의 반복성은 표준가스를 10회 반복 분석하여 <표 3-3>에 나타내었다. 반복분석 측정값의 평균은 평균값으로 나타났다. 평균에 대한 표준편차는 10.42, 상대표준편차는 0.33 %로 우수한 반복성으로 나타났다.

<표 3-3> CH₄ 농도분석의 반복성 평가

| 반복 횟수 | Peak area |
|-----------|-----------|
| 1 | 13601 |
| 2 | 13598 |
| 3 | 13607 |
| 4 | 13615 |
| 5 | 13595 |
| 6 | 13602 |
| 7 | 13618 |
| 8 | 13621 |
| 9 | 13622 |
| 10 | 13620 |
| 평균값 | 13607 |
| 표준편차 | 10.42 |
| 상대표준편차(%) | 0.33 |

2. 원소분석 정도관리

재현성 평가는 원소분석의 표준시료 BBOT (2,5 - bis(5 - tert - butyl - benzoxazolyl) thiophene: C =72.59 %, H =6.06 %, N =6.54 %, S =7.43 %, O =7.42 %)를 사용하였다. 원소분석기의 재현성은 BBOT 표준시료의 각 원소 함량을 입력한 상태와 입력하지 않은 Unknown 상태에서 각 분석한 뒤 비교하여 평가하였다. 표준시료 분석 결과 탄소 함량은 원소 함량을 입력한 표준시료(standard)에서는 72.59 %, 입력하지 않고 분석한 시료(unknown)에서는 72.69 %로 분석되었으며, 수소 함량은 각 6.06 %, 6.01 %로 분석되었다. <표 3-4>에서처럼 절대 값의 차는 탄소 함량의 경우 0.10 %p, 수소 함량의 경우 0.05 %p로 우수한 재현성을 나타냈다.

<표 3-4> 표준시료를 이용한 원소분석기의 재현성 평가

(단위: %)

| 구분 | standard(A) | unknown(B) | 차이(%) ¹⁾ |
|----|-------------|------------|---------------------|
| C | 72.59 | 72.69 | 0.10 |
| H | 6.06 | 6.01 | 0.05 |

주: 1) 차이= B-A

3. 발열량분석 정도관리

발열량분석에 대한 신뢰성을 확보하기 위한 실험으로 반복성 평가를 실시하였다. 일정량의 표준시료(benzoic acid; 발열량 6319 ± 9 kcal/kg)를 5회 분석하여 반복성 실험을 실시한 결과 <표 3-5>과 같이 평균 발열량은 6.325 kcal/kg, 표준편차는 0.837, 상대표준편차는 0.013 %로서 우수한 반복성을 보였다.

<표 3-5> 발열량분석의 반복성 평가

| 반복 횟수 | 발열량 (kcal/kg) |
|-----------|---------------|
| 1 | 6,324 |
| 2 | 6,325 |
| 3 | 6,326 |
| 4 | 6,324 |
| 5 | 6,325 |
| 평균값 | 6,325 |
| 표준편차 | 0.837 |
| 상대표준편차(%) | 0.013 |

제4절 CH₄ 배출계수 산정방법

본 연구에서의 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수를 산정하기 위하여 식 (1)과 같이 계산하였다. 여기서, CH₄ 농도는 농업잔재물 소각가스를 GC-FID로 분석한 CH₄ 농도를 사용하였고 배출 유량의 경우 소각장치에 덕트 직경 길이와 유속을 이용해 산정하였다.

$$EmissionFactor_{CH_4} = [K \times C_{CH_4} \times Q_{min} \times 10^{-3}] / W \quad (1)$$

여기서, EF_{CH_4} = CH₄ 배출계수(g/kg)

C_{CH_4} = CH₄ 농도(ppm)

K = 16/22.4(kg/m³)

Q_{min} = 배출 유량(Sm³/min)

W = 소각량(kg/min)

농업잔재물 소각의 배출계수 산정에 사용된 worksheet는 <표 3-6>과 같다. 1단계는 GC-FID를 이용하여 분석된 농업잔재물 소각가스의 CH₄ 부피 농도를 환산식을 통해 질량 농도로 바꿔주는 단계이다. 이 때 환산식에 적용되는 분자량은 16 g, 부피는 22.4 L이다. 2단계는 농업잔재물 소각에서 발생하는 CH₄의 배출량을 산정하는 단계이다. 배출량은 유량과 농업잔재물 소각가스의 질량농도를 사용하여 산정하는데, 유량은 현장에서 측정된 덕트의 지름과 농업잔재물 소각가스의 유속, 농업잔재물의 소각시간을 통해 산정하였다. 3단계는 2단계에서 산정된 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출량을 농업잔재물 소각에 사용된 시료량으로 나누어 농업잔재물소각의 CH₄ 배출계수를 개발하였다.

<표 3-6> CH₄ 배출계수 산정 워크시트

| Step 1 (Concentration) | | | | | |
|--------------------------|----------------------|----------|---------------------------------|---|------------------------------|
| Item | Volume Concentration | | | Mass Concentration | |
| Sub-Item | C _{vol} | | | C _{mass} | |
| Unit | ppm | | | g-CH ₄ /m ³ | |
| Calculation | | | | $C_{vol} \times (16/22.4) \times 10^{-3}$ | |
| Step 2 (Emission) | | | | | |
| Item | Extraction Diameter | Velocity | Time | Flow rate | Emissions |
| Sub-Item | D | V | t | F | E |
| Unit | m | m/sec | min | Sm ³ /min | g-CH ₄ |
| Calculation | | | | $(D/2)^2 \times 3.14 \times V \times 60$ | $C_{mass} \times t \times F$ |
| Step 3 (Emission Factor) | | | | | |
| Item | Consumption | | CH ₄ Emission factor | | |
| Sub-Item | W | | EF | | |
| Unit | kg | | g-CH ₄ /kg | | |
| Calculation | | | E/W | | |

제4장 농업잔재물의 발열량 및 특성 분석

제1절 대상 농업잔재물

경기연구원(2012)에 따르면 소각되고 있는 농업잔재물은 볏짚을 제외한 대부분을 현장에서 소각하는 것으로 알려져 있다. 볏짚은 대부분 원형 제조기에 의해 사료로 가공되어 축사에서 사료로 활용된다. 나머지 과수의 잔재물이나 특용작물(땅콩, 들깨, 참깨 등)의 잔재물은 별도의 방지시설 없이 대부분 현장에서 소각된다.

김동영(2016)의 연구에 따르면, 농업잔재물의 양과 소각비율을 적용하여 산정한 단위 면적당 농업잔재물 평균 소각량은 특용작물(들깨대, 참깨대, 땅콩)이 392.9 g/m^2 , 채소 290.7 g/m^2 , 과수 273.1 g/m^2 , 잡곡 121.0 g/m^2 , 두류 105.7 g/m^2 , 맥류 7.4 g/m^2 로 나타났다(<표 4-1> 참조).

본 연구에서는 농업잔재물 중 양이 많고 소각비율이 높은 고춧대, 들깨대와 참깨대를 대상 농업잔재물로 선정하였다.

<표 4-1> 작물별 농업잔재물 소각량

(단위: g/m²)

| 종류 | | 농업잔재물 소각비율(%) | 농업잔재물 양 | 농업잔재물 소각량 | 농업잔재물 평균 소각량 |
|------|-----|---------------|---------|-----------|--------------|
| 과수 | 배 | 75.0 | 453.8 | 340.3 | 273.1 |
| | 사과 | 90.6 | 315.4 | 285.7 | |
| | 복숭아 | 72.4 | 375.3 | 271.7 | |
| | 포도 | 93.3 | 208.7 | 194.8 | |
| 두류 | 콩 | 69.2 | 152.8 | 105.7 | 105.7 |
| 맥류 | 보리짚 | 30.0 | 24.6 | 7.4 | 7.4 |
| 곡류 | 옥수수 | 31.0 | 390.2 | 121.0 | 121.0 |
| 채소 | 고추 | 90.3 | 321.9 | 290.7 | 290.7 |
| 특용작물 | 참깨 | 72.3 | 196.4 | 142.0 | 392.9 |
| | 들깨 | 91.7 | 287.4 | 263.4 | |
| | 땅콩 | 100.0 | 773.3 | 773.3 | |

출처: 김동영, 2016

제2절 농업잔재물의 원소분석

고춧대의 탄소, 수소, 질소, 황 함량을 측정하기 위해 3회 분석하였고, 고춧대의 원소분석 결과는 <표 4-2>에서 보는 바와 같다. 고춧대의 탄소 함량은 평균 40.58 %, 수소 함량은 평균 4.51 %로 분석되었다. 질소 함량은 평균 2.18 %이며, 황 함량은 최소검출한계 미만으로 나타났다.

<표 4-2> 고춧대의 원소분석 결과

(단위: %)

| 시료 | 탄소(C) | 수소(H) | 질소(N) | 황(S) |
|---------|-------|-------|-------|------|
| 고춧대_1 | 40.91 | 4.55 | 2.20 | ND |
| 고춧대_2 | 41.50 | 4.57 | 2.05 | ND |
| 고춧대_3 | 39.34 | 4.40 | 2.28 | ND |
| 평균(%) | 40.58 | 4.51 | 2.18 | ND |
| 표준편차(%) | 0.91 | 0.07 | 0.09 | ND |

들깨대의 탄소, 수소, 질소, 황 함량을 측정하기 위해 3회 분석하였고, 들깨대의 원소분석 결과는 <표 4-3>에서 보는 바와 같다. 들깨대의 탄소 함량은 평균 43.48 %, 수소 함량은 평균 4.88 %로 분석되었다. 질소 함량은 평균 3.13 %이며, 황 함량은 0.03 %로 분석되었다.

<표 4-3> 들깻대의 원소분석 결과

(단위: %)

| 시료 | 탄소(C) | 수소(H) | 질소(N) | 황(S) |
|---------|-------|-------|-------|------|
| 들깻대_1 | 43.11 | 4.74 | 3.35 | 0.03 |
| 들깻대_2 | 43.44 | 4.91 | 2.98 | 0.02 |
| 들깻대_3 | 43.89 | 5.00 | 3.04 | 0.02 |
| 평균(%) | 43.48 | 4.88 | 3.13 | 0.03 |
| 표준편차(%) | 0.32 | 0.11 | 0.16 | 0.01 |

참깻대의 탄소, 수소, 질소, 황 함량을 측정하기 위해 3회 분석하였고, 참깻대의 원소분석 결과는 <표 4-4>에서 보는 바와 같다. 참깻대의 탄소 함량은 평균 41.95 %, 수소 함량은 평균 4.83 %로 분석되었다. 질소 함량은 평균 1.15 %이며, 황 함량은 최소검출한계 미만으로 나타났다.

<표 4-4> 참깻대의 원소분석 결과

(단위: %)

| 시료 | 탄소(C) | 수소(H) | 질소(N) | 황(S) |
|---------|-------|-------|-------|------|
| 참깻대_1 | 42.05 | 4.87 | 1.19 | ND |
| 참깻대_2 | 41.86 | 4.75 | 1.12 | ND |
| 참깻대_3 | 41.96 | 4.88 | 1.12 | ND |
| 평균(%) | 41.95 | 4.83 | 1.15 | ND |
| 표준편차(%) | 0.08 | 0.06 | 0.03 | ND |

농업잔재물의 탄소, 수소, 질소, 황 함량을 비교하였으며, 그 결과는 <표 4-5>에서 보는 바와 같다. 탄소 함량은 들깨대가 43.48 %로 가장 높았고, 고춧대가 40.58 %로 낮게 나타났다. 참깨대의 탄소 함량은 41.95 %로 나타났다. 수소 함량은 큰차이가 없었으나 들깨대가 4.88 %로 가장 높았고 고춧대가 4.51 %로 가장 낮게 나타났다. 질소 함량의 경우에 조금 차이를 보였다. 들깨대가 3.13 %로 가장 높았고, 참깨대는 1.15 %로 가장 낮게 나타났다. 황 함량의 경우에 들깨대 0.03 %를 제외하고 최소검출한계 미만으로 나타났다.

<표 4-5> 농업잔재물의 원소분석 비교

(단위: %)

| 시료 | 탄소(C) | 수소(H) | 질소(N) | 황(S) |
|-------|-------|-------|-------|------|
| 고춧대 | 40.58 | 4.51 | 2.18 | ND |
| 들깨대 | 43.48 | 4.88 | 3.13 | 0.03 |
| 참깨대 | 41.95 | 4.83 | 1.15 | ND |
| 평균(%) | 42.00 | 4.74 | 2.15 | 0.01 |

제3절 농업잔재물의 공업분석

고춧대의 수분, 휘발분, 회분, 고정탄소를 측정하기 위해 총 3회 분석 하였으며, 그 결과는 <표 4-6>에서 보는 바와 같다.

고춧대의 수분은 평균 13.07 %, 휘발분은 평균 70.87 %로 분석되었다. 회분은 평균 1.46 %이며, 고정탄소는 평균 14.60 %로 분석되었다.

<표 4-6> 고춧대의 공업분석 결과

(단위: %)

| 구분 | 분석횟수 | 수분 | 휘발분 | 회분 | 고정탄소 |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|
| 고춧대 | 1 | 13.06 | 70.92 | 1.35 | 14.68 |
| | 2 | 13.10 | 70.88 | 1.30 | 14.72 |
| | 3 | 13.05 | 70.82 | 1.72 | 14.41 |
| 평균 | | 13.07 | 70.87 | 1.46 | 14.60 |
| 표준편차 | | 0.03 | 0.05 | 0.23 | 0.17 |
| 상대표준편차(%) | | 0.20 | 0.07 | 15.75 | 1.15 |

들깨대의 수분, 휘발분, 회분, 고정탄소 함량을 측정하기 위해 총 3회 분석 하였으며, 그 결과는 <표 4-7>에서 보는 바와 같다.

들깨대의 수분은 평균 16.63 %, 휘발분은 평균 66.15 %로 분석되었다. 회분은 평균 4.24 %이며, 고정탄소는 평균 12.58 %로 분석되었다.

<표 4-7> 들깻대의 공업분석 결과

(단위: %)

| 구분 | 분석횟수 | 수분 | 휘발분 | 회분 | 고정탄소 |
|-----------|------|-------|-------|------|-------|
| 들깻대 | 1 | 16.87 | 66.11 | 4.21 | 12.81 |
| | 2 | 16.78 | 66.73 | 4.23 | 12.26 |
| | 3 | 16.63 | 65.61 | 4.28 | 13.48 |
| 평균 | | 16.76 | 66.15 | 4.24 | 12.85 |
| 표준편차 | | 0.12 | 0.56 | 0.04 | 0.61 |
| 상대표준편차(%) | | 0.72 | 0.85 | 0.85 | 4.75 |

참깻대의 수분, 회분, 휘발분, 고정탄소 함량을 측정하기 위해 총 3회 분석 하였으며 결과는 <표 4-8>에서 보는 바와 같다.

참깻대의 수분은 평균 17.87 %, 휘발분은 평균 66.54 %로 분석되었다. 회분은 평균 3.15 %이며, 고정탄소는 평균 12.44 %로 분석되었다.

<표 4-8> 참깻대의 공업분석 결과

(단위: %)

| 구분 | 분석횟수 | 수분 | 휘발분 | 회분 | 고정탄소 |
|-----------|------|-------|-------|------|-------|
| 참깻대 | 1 | 17.85 | 66.24 | 3.07 | 12.84 |
| | 2 | 17.93 | 67.15 | 3.23 | 11.69 |
| | 3 | 17.83 | 66.23 | 3.14 | 12.80 |
| 평균 | | 17.87 | 66.54 | 3.15 | 12.44 |
| 표준편차 | | 0.05 | 0.53 | 0.08 | 0.65 |
| 상대표준편차(%) | | 0.30 | 0.79 | 2.55 | 5.25 |

농업잔재물의 수분, 휘발분, 회분, 고정탄소 함량을 비교하였으며, 그 결과는 <표 4-9>에서 보는 바와 같다. 농업잔재물의 수분 함량은 참깨대 17.87 %, 고춧대 13.07 %, 들깨대 16.76 %로 분석되었다. 휘발분 함량은 고춧대가 70.87 %로 가장 높았고 들깨대는 66.15 %로 가장 낮게 나타났다. 참깨대 휘발분 함량의 경우 66.54 %로 들깨대 휘발분 함량과 비슷하게 나타났다. 회분 함량의 경우에 조금 차이를 보였다. 들깨대가 4.24 %로 가장 높았고, 고춧대는 1.46 %로 낮게 분석되었다. 참깨대의 회분 함량은 3.15 %로 나타났다. 고정탄소 함량의 경우에 고춧대가 14.60 %로 가장 높았고, 들깨대와 참깨대는 12.85 %, 12.44 %로 비슷한 수준으로 나타났다.

<표 4-9> 농업잔재물의 공업분석 비교

(단위: %)

| 시료 | 수분 | 휘발분 | 회분 | 고정탄소 |
|-------|-------|-------|------|-------|
| 고춧대 | 13.07 | 70.87 | 1.46 | 14.60 |
| 들깨대 | 16.76 | 66.15 | 4.24 | 12.85 |
| 참깨대 | 17.87 | 66.54 | 3.15 | 12.44 |
| 평균(%) | 15.90 | 67.90 | 2.95 | 13.30 |

제4절 농업잔재물의 발열량분석

발열량분석기를 사용하여 고춧대의 발열량을 분석하였다. 고춧대의 발열량은 <표 4-10>에서 보는 바와 같이 4,215~4,515 kcal/kg 범위로 산정되었고, 고춧대의 발열량의 평균은 4,356 kcal/kg이었다.

<표 4-10> 고춧대의 발열량 분석결과

| 구분 | 분석횟수 | 발열량(kcal/kg) ¹⁾ |
|---------------|------|----------------------------|
| 고춧대 | 1 | 4,515 |
| | 2 | 4,372 |
| | 3 | 4,296 |
| | 4 | 4,215 |
| | 5 | 4,383 |
| 평균 | | 4,356 |
| 표준편차(kcal/kg) | | 112 |
| 상대표준편차(%) | | 3 |

주: 1) 기건식 총발열량

발열량분석기를 사용하여 들깨대의 발열량을 분석하였다. 들깨대의 발열량은 <표 4-11>에서 보는 바와 같이 3,822~3,982 kcal/kg 범위로 산정되었고, 들깨대의 발열량의 평균은 3,902 kcal/kg이었다.

<표 4-11> 들깨대의 발열량 분석결과

| 구분 | 분석횟수 | 발열량(kcal/kg) ¹⁾ |
|---------------|------|----------------------------|
| 들깨대 | 1 | 3,861 |
| | 2 | 3,894 |
| | 3 | 3,949 |
| | 4 | 3,822 |
| | 5 | 3,982 |
| 평균 | | 3,902 |
| 표준편차(kcal/kg) | | 65 |
| 상대표준편차(%) | | 2 |

주: 1) 기건식 총발열량

발열량분석기를 사용하여 참깨대의 발열량을 분석하였다. 참깨대의 발열량은 <표 4-12>에서 보는 바와 같이 4,218~4,486 kcal/kg 범위로 산정되었고, 참깨대의 발열량의 평균은 4,358 kcal/kg이었다.

<표 4-12> 참깨대의 발열량 분석결과

| 구분 | 분석횟수 | 발열량(kcal/kg) ¹⁾ |
|---------------|------|----------------------------|
| 참깨대 | 1 | 4,307 |
| | 2 | 4,486 |
| | 3 | 4,302 |
| | 4 | 4,218 |
| | 5 | 4,478 |
| 평균 | | 4,358 |
| 표준편차(kcal/kg) | | 118 |
| 상대표준편차(%) | | 3 |

주: 1) 기건식 총발열량

농업잔재물의 발열량 비교하였으며, 그 결과는 <표 4-13>에서 보는 바와 같다. 고춧대와 참깨대의 발열량은 각각, 4,356 kcal/kg과 4,358 kcal/kg으로 비슷하게 나타났으며 들깨대의 발열량은 3,902 kcal/kg으로 다소 낮게 나타났다.

<표 4-13> 농업잔재물의 발열량분석 비교

| 시료 | 발열량(kcal/kg) ¹⁾ |
|-----|----------------------------|
| 고춧대 | 4,356 |
| 들깨대 | 3,902 |
| 참깨대 | 4,358 |
| 평균 | 4,205 |

주: 1) 기건식 총발열량

제5장 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 개발

제1절 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 산정

1. 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수 산정

고춧대 소각의 CH₄ 배출계수는 <표 5-1>과 같으며, 시료의 특성에 따라 CH₄ 배출계수 범위는 0.71~2.92 g/kg 으로 나타났다. 8개의 고춧대 시료로 산정한 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수 평균은 1.22 g/kg 이며, 표준편차는 0.80 g/kg으로 나타났다.

<표 5-1> 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수 산정 결과

| 시료 | 농도 (ppm) | 배출유량 (Sm ³ /min) | 연료사용량 (kg/min) | 측정시간 (min) | 배출계수 (g/kg) |
|--------|-------------|--------------------------------|-------------------|---------------|----------------|
| 고춧대_1 | 37.2 | 7.10 | 0.1 | 10 | 1.89 |
| 고춧대_2 | 33.4 | 7.54 | 0.1 | 10 | 1.80 |
| 고춧대_3 | 25.7 | 7.54 | 0.1 | 10 | 1.38 |
| 고춧대_4 | 34.0 | 7.60 | 0.1 | 10 | 1.85 |
| 고춧대_5 | 23.2 | 7.01 | 0.1 | 10 | 1.16 |
| 고춧대_6 | 14.2 | 7.27 | 0.1 | 10 | 0.74 |
| 고춧대_7 | 25.1 | 6.95 | 0.1 | 10 | 1.25 |
| 고춧대_8 | 54.2 | 7.07 | 0.1 | 10 | 2.74 |
| 평균 | 6.35 | 7.26 | 0.1 | 10 | 1.60 |
| 표준편차 | 1.73 | 0.27 | 0.0 | 0.0 | 0.61 |
| 상대표준편차 | 27.32 | 3.65 | 0.0 | 0.0 | 37.96 |

2. 들꺠대 소각의 CH₄ 배출계수 산정

들꺠대 소각의 CH₄ 배출계수는 <표 5-2>와 같으며, 시료의 특성에 따라 CH₄ 배출계수 범위는 1.73~5.36 g/kg 으로 나타났다. 12개의 들꺠대 시료로 산정한 들꺠대 소각의 CH₄ 배출계수 평균은 3.25 g/kg 이며, 표준편차는 1.19 g/kg으로 나타났다.

<표 5-2> 들꺠대 소각의 CH₄ 배출계수 산정 결과

| 시료 | 농도 (ppm) | 배출유량 (Sm ³ /min) | 연료사용량 (kg/min) | 측정시간 (min) | 배출계수 (g/kg) |
|--------|-------------|--------------------------------|-------------------|---------------|----------------|
| 들꺠대_1 | 53.8 | 7.10 | 0.1 | 10 | 2.73 |
| 들꺠대_2 | 93.0 | 7.54 | 0.1 | 10 | 5.01 |
| 들꺠대_3 | 32.1 | 7.54 | 0.1 | 10 | 1.73 |
| 들꺠대_4 | 44.8 | 7.60 | 0.1 | 10 | 2.43 |
| 들꺠대_5 | 86.7 | 7.01 | 0.1 | 10 | 4.34 |
| 들꺠대_6 | 71.0 | 7.63 | 0.1 | 10 | 3.87 |
| 들꺠대_7 | 50.3 | 7.42 | 0.1 | 10 | 2.67 |
| 들꺠대_8 | 80.2 | 7.19 | 0.1 | 10 | 4.12 |
| 들꺠대_9 | 105.3 | 7.13 | 0.1 | 10 | 5.36 |
| 들꺠대_10 | 47.5 | 7.10 | 0.1 | 10 | 2.41 |
| 들꺠대_11 | 40.2 | 7.73 | 0.1 | 10 | 2.22 |
| 들꺠대_12 | 41.9 | 7.23 | 0.1 | 10 | 2.16 |
| 평균 | 62.23 | 7.35 | 0.1 | 10 | 3.25 |
| 표준편차 | 24.00 | 0.26 | 0.0 | 0.0 | 1.19 |
| 상대표준편차 | 36.70 | 3.58 | 0.0 | 0.0 | 35.05 |

3. 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수 산정

참깨대 소각의 CH₄ 배출계수는 <표 5-3>와 같으며, 시료의 특성에 따라 CH₄ 배출계수 범위는 2.94~9.68 g/kg 으로 나타났다. 14개의 참깨대 시료로 산정한 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수 평균은 4.73 g/kg 이며, 표준편차는 2.01 g/kg으로 나타났다.

<표 5-3> 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수 산정 결과

| 시료 | 농도 (ppm) | 배출유량 (Sm ³ /min) | 연료사용량 (kg/min) | 측정시간 (min) | 배출계수 (g/kg) |
|--------|-------------|--------------------------------|-------------------|---------------|----------------|
| 참깨대_1 | 77.9 | 7.83 | 0.1 | 10 | 4.36 |
| 참깨대_2 | 156.7 | 6.98 | 0.1 | 10 | 7.81 |
| 참깨대_3 | 68.7 | 8.16 | 0.1 | 10 | 4.00 |
| 참깨대_4 | 75.4 | 8.04 | 0.1 | 10 | 4.33 |
| 참깨대_5 | 170.5 | 7.95 | 0.1 | 10 | 9.68 |
| 참깨대_6 | 120.6 | 8.42 | 0.1 | 10 | 7.26 |
| 참깨대_7 | 51.6 | 8.34 | 0.1 | 10 | 3.07 |
| 참깨대_8 | 64.2 | 8.16 | 0.1 | 10 | 3.74 |
| 참깨대_9 | 60.1 | 8.19 | 0.1 | 10 | 3.51 |
| 참깨대_10 | 48.7 | 8.45 | 0.1 | 10 | 2.94 |
| 참깨대_11 | 64.5 | 7.95 | 0.1 | 10 | 3.66 |
| 참깨대_12 | 62.1 | 8.25 | 0.1 | 10 | 3.66 |
| 참깨대_13 | 71.2 | 7.88 | 0.1 | 10 | 4.01 |
| 참깨대_14 | 73.5 | 8.10 | 0.1 | 10 | 4.25 |
| 평균 | 83.26 | 8.05 | 0.1 | 10 | 4.73 |
| 표준편차 | 38.07 | 0.36 | 0.0 | 0.0 | 2.01 |
| 상대표준편차 | 61.41 | 4.44 | 0.0 | 0.0 | 55.84 |

제2절 수분 함유율을 고려한 CH₄ 배출계수 개발

1. 수분 함유율을 고려한 고춧대의 CH₄ 배출계수

소각에 사용되는 고춧대의 수분 함유율을 파악하고자 농업잔재물 소각 시기에 노천의 고춧대 수분 함유율을 측정하였다. 노천의 고춧대 수분 함유율 측정 결과는 <표 5-4>와 같으며, 고춧대의 4일간 수분 함유율은 16.0~22.9 % 사이로 측정되었고, 고춧대의 평균 수분 함유율은 19.0 %로 나타났다.

<표 5-4> 노천의 고춧대 수분 함유율¹⁾

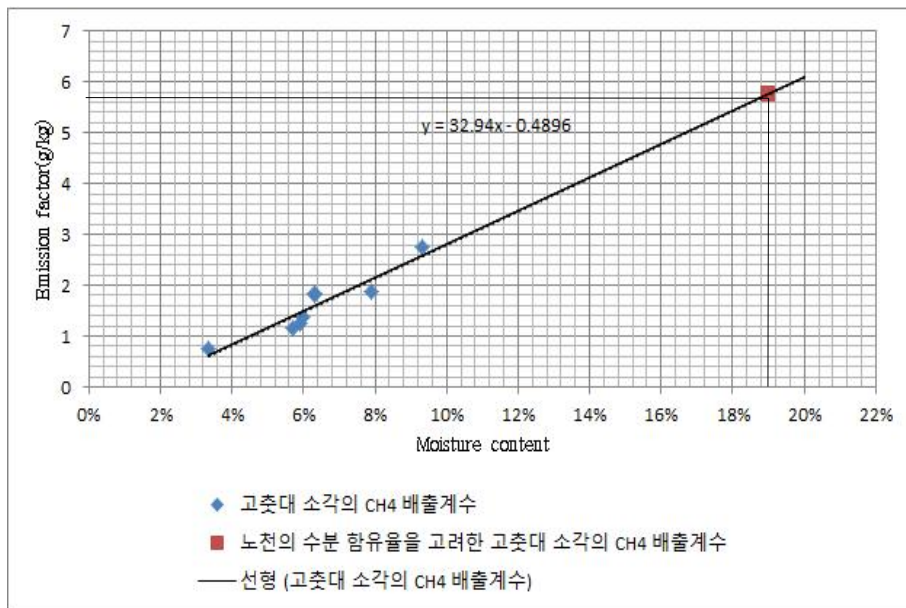
(단위: %)

| 농업잔재물 | 일시 | 수분 함유율 |
|-----------|---------------|--------|
| 고춧대 | 2017. 11. 02. | 22.9 |
| | 2017. 11. 07. | 16.3 |
| | 2017. 11. 14. | 20.9 |
| | 2017. 11. 16. | 16.0 |
| 평균 수분 함유율 | | 19.0 |

주: 1) 2017년 11월 2일부터 2017년 11월 16일까지 (주)케이에프 화성실증센터에서 측정한 자료

수분 함유율을 고려한 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수를 개발하기 위해 본 연구에서 산정한 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수를 선형 분포도(<그림 5-1> 참조)로 나타내고, <표 5-4>에서 측정한 노천의 고춧대 평균 수분 함유율을 <그림 5-1>의 1차 방정식에 적용하였다.

그 결과 노천의 수분 함유율을 고려한 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수는 5.76 g/kg으로 나타났다. 노천의 고춧대 수분 함유율은 본 연구에서 측정된 고춧대의 수분 함유율보다 높게 나타났다. 노천의 고춧대 수분 함유율을 고려한 CH₄ 배출계수(5.76 g/kg)와 본 연구에서 산정한 CH₄ 배출계수(1.6 g/kg)를 비교한 결과, 본 연구에서 산정한 CH₄ 배출계수 보다 약 4배 정도 높은 것으로 나타났다.



<그림 5-1> 수분 함유량에 따른 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수

2. 수분 함유율을 고려한 들깻대 소각의 CH₄ 배출계수

소각에 사용되는 들깻대의 수분 함유율을 파악하고자 농업잔재물 소각 시기에 노천에의 들깻대 수분 함유율을 측정하였다. 노천의 들깻대 수분 함유율 측정 결과는 <표 5-5>와 같으며, 들깻대의 4일간 수분 함유율은 11.2~15.2 % 사이로 측정되었고, 들깻대의 평균 수분 함유율은 12.4 %로 나타났다.

<표 5-5> 노천의 들깻대 수분 함유율¹⁾

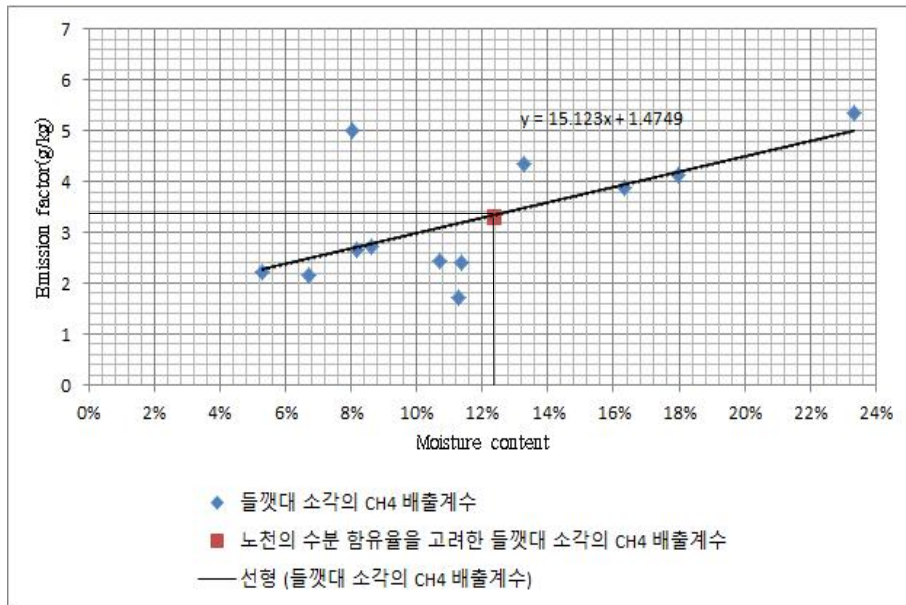
(단위: %)

| 농업잔재물 | 일시 | 수분 함유율 |
|-----------|---------------|--------|
| 들깻대 | 2017. 11. 02. | 15.2 |
| | 2017. 11. 07. | 11.5 |
| | 2017. 11. 14. | 11.2 |
| | 2017. 11. 16. | 11.7 |
| 평균 수분 함유율 | | 12.4 |

주: 1) 2017년 11월 2일부터 2017년 11월 16일까지 (주)케이에프 화성실증센터에서 측정한 자료

수분 함유율을 고려한 들갯대 소각의 CH₄ 배출계수를 개발하기 위해 본 연구에서 산정한 들갯대 소각의 CH₄ 배출계수를 선형 분포도(〈그림 5-2〉 참조)로 나타내고, 〈표 5-5〉에서 측정된 들갯대의 평균 수분 함유율을 〈그림 5-2〉의 1차 방정식에 적용하였다.

그 결과 노천의 수분 함유율을 고려한 들갯대 소각의 CH₄ 배출계수는 3.35 g/kg으로 나타났다.



〈그림 5-2〉 수분 함유량에 따른 들갯대 소각의 CH₄ 배출계수

3. 수분 함유율을 고려한 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수

소각에 사용되는 참깨대의 수분 함유율을 파악하고자 농업잔재물 소각 시기에 노천의 참깨대 수분 함유율을 측정하였다. 노천의 참깨대 수분 함유율 측정 결과는 <표 5-6>와 같으며, 참깨대의 4일간 수분 함유율은 9.1~12.1 % 사이로 측정되었고, 참깨대의 평균 수분 함유율은 10.3 %로 나타났다.

<표 5-6> 노천의 참깨대 수분 함유율¹⁾

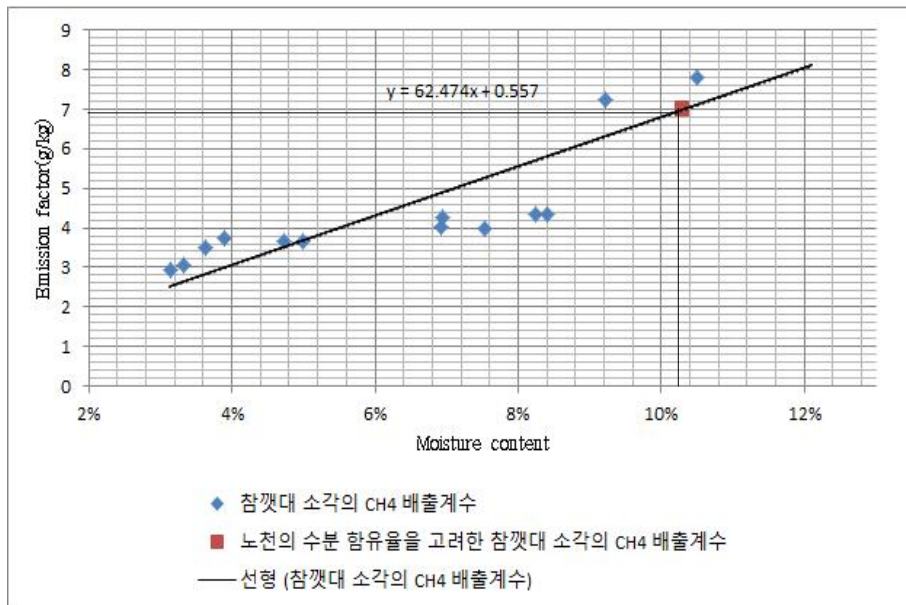
(단위: %)

| 농업잔재물 | 일시 | 수분 함유율 |
|-----------|---------------|--------|
| 참깨대 | 2017. 11. 02. | 10.0 |
| | 2017. 11. 07. | 9.1 |
| | 2017. 11. 14. | 10.0 |
| | 2017. 11. 16. | 12.1 |
| 평균 수분 함유율 | | 10.3 |

주: 1) 2017년 11월 2일부터 2017년 11월 16일까지 (주)케이에프 화성실증센터에서 측정한 자료

수분 함유율을 고려한 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수를 개발하기 위해 본 연구에서 산정한 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수를 선형 분포도(<그림 5-3> 참조)로 나타내고, <표 5-6>에서 측정된 참깨대의 평균 수분 함유율을 <그림 5-3>의 1차 방정식에 적용하였다.

그 결과 평균 수분 함유율을 고려한 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수는 6.99 g/kg으로 나타났다.



<그림 5-3> 수분 함유량에 따른 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수

제3절 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 비교

<표 5-7>에 본 연구와 국내·외 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 비교하였다. 본 연구에서 개발한 수분 함유율을 고려한 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수는 고춧대 5.76 g/kg, 들깨대 3.35 g/kg, 참깨대 6.99 g/kg으로 나타났다. 농촌진흥청(2013)이 개발한 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수는 고춧대 3.79 g/kg, 들깨대 4.02 g/kg, 참깨대 4.17 g/kg으로 본 연구에서 개발된 CH₄ 배출계수가 고춧대는 약 1.5배 높았고 들깨대는 약 0.8배 낮은 수준이었으며 참깨대는 약 1.7배 높은 값을 나타냈다.

국립농업과학원(2013)의 실험방법의 경우에 수분 함유율이 가스발생량에 미치는 영향을 최소화하기 위해 수분 함유율을 일정하게 유지한 상태에서 실험하였으므로 본 연구의 배출계수와 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 고지연(2011)이 개발한 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수는 3.80 g/kg, IPCC(2006)이 제시한 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수는 2.7 g/kg으로 나타났다.

<표 5-7> 본 연구와 국내·외 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수 비교
(단위: g/kg)

| 구분 | 고춧대 소각의 CH ₄ 배출계수 | 들깨대 소각의 CH ₄ 배출계수 | 참깨대 소각의 CH ₄ 배출계수 |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 수분 함유율을 고려한 농업잔재물 소각의 배출계수 | 5.76 | 3.35 | 6.99 |
| 국립농업과학원(2013) | 3.79 | 4.02 | 4.17 |
| 고지연(2011) | 3.80 | - | - |
| IPCC(2006) ³⁾ | 2.7 | | |

제6장 결 론

농장에서는 농작물 수확 후에 처리할 수 있는 방법이 많이 없기 때문에 농업잔재물의 소각은 발생되고 있다. 농업잔재물 소각은 온실가스를 배출하고 있지만 농업잔재물 소각의 온실가스에 대한 관련 연구는 미비한 실정이다. 기후변화에 효과적으로 대응하기 위해서는 정확한 온실가스 배출계수가 필요하다.

본 연구에서는 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수를 개발하기 위해 수확이 끝난 농경지에서 농업잔재물을 채취하여 분쇄한 후 분석하였다. 농업잔재물 소각을 위한 장치(EPA Method 5)를 사용하였고, 소각 중 소각 가스를 채취하여 농업잔재물 소각의 CH₄ 농도분석을 하였다. 그리고 농도분석 결과를 이용하여 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수를 산정하였다.

소각가스의 CH₄ 농도를 분석한 결과 고춧대 소각의 CH₄ 농도는 14.2~54.2 ppm, 들깨대 소각의 CH₄ 농도는 32.1~105.3 ppm, 참깨대 소각의 CH₄ 농도는 48.7~170.5 ppm으로 나타났다. 고춧대 소각의 평균 CH₄ 농도는 30.88 ppm으로 농업잔재물 중 가장 낮았고, 참깨대 소각의 평균 CH₄ 농도는 83.26 ppm으로 가장 높았다. 들깨대 소각의 평균 CH₄ 농도는 62.23 ppm으로 나타났다.

이후 농업잔재물 소각의 CH₄ 농도를 이용하여 농업잔재물 소각의 CH₄ 배출계수를 산정하였다. 산정한 결과, 고춧대 소각의 CH₄ 배출계수는 0.74~2.74 g/kg, 들깨대 소각의 CH₄ 배출계수는 1.73~5.36 g/kg으로 나타났다. 참깨대 소각의 CH₄ 배출계수는 3.07~9.68 g/kg으로 나타났다. 고춧대 소각의 평균 CH₄ 배출계수 1.60 g/kg 으로 농업잔재물 중 가장 낮았고, 참깨대 소각의 평균 CH₄ 배출계수는 4.73 g/kg으로 가장 높게 나타

3) 2006 IPCC 가이드라인에 제시된 농업잔재물에 대한 CH₄ 배출계수

났다. 들깻대 소각의 평균 CH_4 배출계수는 3.25 g/kg으로 나타났다.

본 연구에서는 농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수의 신뢰성을 향상하기 위해 노천의 농업잔재물 수분 함유율을 측정하였고 평균 수분 함유율을 고려한 농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수를 개발하였다. 노천의 고춧대 수분 함유율은 16.0~22.9 % 사이로 측정되었고, 평균 수분 함유율은 19.0 %로 나타났다. 노천의 들깻대 수분 함유율은 11.2~15.2 % 사이로 측정되었고, 들깻대 평균 수분 함유율은 12.4 %로 나타났다. 노천의 참깻대 수분 함유율은 9.1~12.1 % 사이로 측정되었고, 참깻대 평균 수분 함유율은 10.3 %로 나타났다.

수분 함유율을 고려한 고춧대 소각의 CH_4 배출계수는 5.76 g/kg, 수분 함유율을 고려한 들깻대 소각의 CH_4 배출계수는 3.35 g/kg, 수분 함유율을 고려한 참깻대 소각의 CH_4 배출계수는 6.99 g/kg으로 나타났다. 농업잔재물의 수분 함유율이 높아질수록 농업잔재물 소각의 CH_4 농도와 농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수가 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수 개발 시 농업잔재물의 수분 함유율은 중요한 요소로 판단되고, 이렇게 개발된 농업잔재물 소각의 CH_4 배출계수는 국가 온실가스 인벤토리의 신뢰성을 향상할 수 있는 자료가 되리라 생각한다.

참고문헌

- 경기개발연구원, 2011, 『생물성 연소에 의한 수도권 대기오염물질 배출 분석』, 수원
- 경기개발연구원, 2012, 『경기도 교외지역의 미세먼지 특성 분석 및 관리 방안』, 수원
- 경기개발연구원, 2014, 『생물성연소에 의한 대기오염 배출자료 개선기술 개발』, 세종: 환경부
- 경기연구원, 2016. 5. 9., “봄철 미세먼지 개선, 노천소각 관리가 중요하다!” 경기연구원 공식블로그,
https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=gri_blog&logNo=220704962949&categoryNo=6&proxyReferer=&proxyReferer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F
- 경희대학교, 2008, 『농어촌 폐기물 등 노천소각 현황 및 저감방안 연구』, 서울
- 고지연, 2012, “우리나라 주요 작물별 잔사 발생량 및 처리현황”, 『한국토양비료학회 학술발표회 초록집』
- 국립농업과학원, 2013, 『농경지 메탄 배출계수 개발 및 배출량 평가』, 전주: 농촌진흥청

국립환경과학원, 2014, 『생물성연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법 편람』, 인천

국립환경과학원, 2015, 『생물성연소 배출량 산정법 개선 최종보고서』, 인천

국립환경과학원, 2018, 『2015 국가 대기오염물질 배출량』, 인천

김동영, 2016, “농업잔재물 노천소각에 의한 대기오염물질 배출량 산출에 관한 연구”, 『한국대기환경학회지』, 32(2), pp.167~175.

김승진, 2013 “연탄난로의 Non-CO₂ 배출계수 개발” 석사학위 논문, 세종대학교, 서울

박성규, 2015, “농업잔재물 소각에 의한 대기오염물질의 배출 특성”, 『한국대기환경학회지』, 31(1), pp.63~71.

이대겸, 2018, “측정방법에 따른 소각시설의 CH₄ 배출계수 비교 연구” 석사학위 논문, 세종대학교, 서울

IPCC, 2006, 『2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 5: Cropland』

Kentaro Hayashi, 2014, “Trace gas and particle emissions from open burning of three cereal crop residues: Increase in residue moistness

enhances emissions of carbon monoxide, methane, and particulate organic carbon” , Atmospheric Environment, 95, pp.36-44.

Abstract

The incineration of agricultural residuals produces greenhouse gases, but the related research on greenhouse gases from agricultural residues is insufficient. Although Korea currently uses the default values for the IPCC guidelines, it needs an emission factor that reflects the characteristics of the incineration of crop residue in Korea.

In this study, the crop residue(pepper, perilla, sesame) were collected from the agricultural land after harvest to develop the CH₄ emission factor for incineration of crop residue, then grinded and analyzed.

The calculation of the CH₄ emission factor for incineration of crop residue showed that the CH₄ emission factor for incineration of the peppers was 1.60 g/kg, and the CH₄ emission factor for incineration of the perilla was 3.25 g/kg, and the CH₄ emission factor for incineration of the sesame seed was 4.73 g/kg. To improve reliability of CH₄ emission factor for incineration of crop residue after calculation, emission factors were developed considering average moisture content of incineration of agricultural products in Korea.

The CH₄ emission factor for the incineration of the pepper considering the average water content was 8.24 g/kg, the CH₄ emission factor for the incineration of the perilla considering the average water content was 3.74 g/kg, and 7.12 g/kg for the incineration of sesame considering the average water content. I think the CH₄ emission factors for these crop residue incineration will be the data that will improve the reliability of the national greenhouse gas inventory.

감사의 글

제 인생에서 2년동안의 대학원 생활은 잊을 수 없는 추억이 되었습니다. 지금까지 논문을 작성하면서 많은 분들의 도움을 받았습니다. 교수님, 가족, 연구실 선후배님들, 그리고 친구들의 많은 격려로 제가 무사히 석사과정을 마칠 수 있었던 것 같습니다.

우선, 부족한 저에게 공부할 수 있는 기회를 주시고 학문을 떠나서 세상을 살아가는데 중요한 것들을 가르쳐주신 전의찬 교수님께 감사의 말씀을 드리고 싶습니다. 교수님께서 저에게 자신이 인생의 주인이 되어 자신감 있게 살아야한다고 말씀하셨고, 부족한 저에게 항상 조언과 격려를 해주셨습니다. 이에 너무 감사드리고 교수님께서 조언해주신 말씀 잊지않고 살겠습니다. 또한, 학위논문 심사위원장으로 바쁘신 와중에 논문지도 해주신 김하나 교수님, 좋은 강의와 연구지도뿐만 아니라 인생의 선배로서 모든 질문에 답을 주시고 격려해주신 조창상 박사님께 감사드립니다.

대학원 생활을 즐겁게 할 수 있도록 도와준 우리 연구실 사람들 너무 감사드립니다. 연구실 동생들을 하나 빠짐없이 챙겨주시고 조언과 격려를 아끼지않고 해주신 기후변화센터의 버팀목 조성흠 박사님, 제 옆자리에서 많은 질문에도 짜증없이 답해주신 강성민 박사님과 홍윤정 박사님 감사합니다. 그리고 대학원 생활하면서 가족보다 같이있던 시간이 길었고, 항상 출장과 논문 작성에 필요한 힘든 실험도 함께한 우리 민욱이형 감사합니다. 지금은 연구실에 없지만 1년을 함께하며 많은 조언과 배려를 해주신 영중이형, 그리고 연구실의 기둥이 될 후배들 재호, 지윤, 준영, 성동이 대학원 생활에서 많은 것을 얻고 소중한 시간이 되시길 바랍니다.

한참 선배님들이지만 가깝게 지내면서 인생에 있어 항상 모범이 되고 동기부여해주신 시형이형, 스트레스가 많은 날 술한잔하며 위로해주신 정우형

감사합니다. 그리고 집안에서는 따뜻한 작은 아버지로, 논문 작성할 때 많은 도움을 주시고 격려해주신 조순길 박사님 감사합니다.

사랑하는 내 가족들과 친구들에게 감사를 전하고 싶습니다. 제가 하고 싶은 일은 모두 할수있게 지원해주고 본인보다 자식 걱정부터 하시는 우리 부모님, 장손이라고 저밖에 모르는 할아버지와 할머니, 아낌없는 지원 해주신 작은아버지와 작은어머니들에게 감사의 말을 전합니다. 그리고 모든 일에 모범을 보이고 인생의 롤모델 일주형, 인생을 함께 할 용훈이형, 준원이형, 규빈이형 항상 힘내라고 격려해준 진학, 영창, 경완, 상엽, 태현, 인식, 인욱, 재경이형에게 감사를 전합니다. 마지막으로, 항상 옆에서 잘할 수 있다고 위로해주며 지켜봐준 니아에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

항상 저를 믿고 응원해주신 분들과 도움을 주신 모든 분들께 진심으로 감사드리고, 앞으로 부족한 부분을 채우고 성장할 수 있도록 노력하여 멋진 사람이 되도록 하겠습니다.