한국환경보건학회지, 제33권 제1호(2007)
Kor. J. Env. Hlth., Vol. 33, No. 1, pp 30~35(2007)

농업폐기물 소각에 따른 대기오염 실태 및 위해성 평가

김문현 · 양원호*†
대구대학교 환경공학과, *대구가톨릭대학교 산업보건학과

Risk Assessment and Air Pollution by the Open Burning of Agricultural Waste and Residues

Moon Hyeon Kim · Won Ho Yang*†
Department of Environmental Engineering, Daegu University
**Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu*
(Received July 25, 2006/Accepted February 3, 2007)

ABSTRACT

Waste policies with waste metering system and recycling in 1995 have contributed to the reduction of solid waste generation. Now rural areas as well as urban areas produce less amount of solid wastes in terms of per capita. However most policies in relation to waste issue have been concentrated in urban areas. Large portion of agricultural waste in rural region are being illegally treated such as open incineration or burned out on the road. In this study, we assessed the atmospheric air quality and health risk by illegal open incineration in rural region. In case of benzene level, worst concentration during illegal open incineration was 0.23 ppm and cancer risk by exposure was estimated to 2.29×10^{-3}.

Keywords: agricultural waste, incineration, risk assessment

I. 서 론

지난 90년대 이후 효율적인 폐기물 관리를 위한 정책적 관심과 노력은 1995년 전국적으로 실시된 쓰레기 종량제 및 재활용 강화 정책으로 도시지역의 생활폐기물 발생이 과거에 비해 현저한 감소를 나타내었다. 그러나 대부분의 폐기물 정책은 도시 및 공단지역을 대상으로 한 것이었고, 정책효과와 문제점에 관한 연구 역시 도시 및 공단지역의 주 대상이 되어 왔다.[1] 농촌지역의 폐기물 문제에 있어서는 정부의 정책적 처방이나 자치단체의 재정 및 인력 현황, 주민들의 의식 등에 있어서 도시지역과는 사뭇 대비된다. 현재까지 농촌지역의 특성을 고려한 폐기물 관리방안이 체계적으로 이루어지지 못하고 있으며, 심지어는 기본적 통계도 미비하다.

최근 환경부에서는 이러한 문제를 인식하여 농어촌지역에 2004년까지 112개소의 농어촌 폐기물종합처리시설을 추진하여 76개소(1,823천 m^2)를 완공하고 36개소(1,101천 m^2)는 공사 중이거나 설계 등을 준비하고 있다. 농어촌 폐기물종합처리시설 설치사업에 대하여는 농어촌특별회계에서 개소 당 15억 원씩 정액으로 국고보조하고 있는 것으로 나타났으나 여전히 효과적인 정책적 대안은 부족한 상태이다.[2]

2002년 환경부 폐기물통계조사에 따르면 서울시와 광역시를 제외한 전국의 모든 일반시와 군 지역의 폐기물 처리방법은 시 지역의 경우 배출폐기물의 평균 51.5%가 매립되고 있고, 재활용이 38.8%, 소각이 9.8%를 차지하고 있다.[3] 군 지역의 경우도 매립 50%, 재활용 39.5%, 소각이 10.5%로 시 지역과 비슷하다. 그러나 지역별로는 상당한 차이를 보이고 있다. 하지만 농촌폐기물의 문제점은 대부분의 농촌지역에서는 가연성 폐기물의 상당부분을 들판이나 노지 등지에서 소각한다는 것이다. 특히 종이류, 비닐류, 플라스틱류 등의 소각은 제 2차 오염, 즉 대기오염을 야기할 수 있기 때문에 문제가 된다.[4] 이와 같은 노지소각이 특정지역에서 특정시기에 집중적으로 이루어질 때, 발생원으로부터 주거지역으로 확산된 대기오염물질이 거주민의 건강에 어느 정도 영향을 줄 수 있는가 하는 문제 또한

†Corresponding author : Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu
Tel: 82-53-850-3739, Fax: 82-53-850-3739
E-mail : whyang@cu.ac.kr

매우 중요하다.[5]

이러한 문제점을 바탕으로 경상북도 'A' 지자체의 농업폐기물을 대상으로 가을철 10월에 노지 소각에 따른 대기오염실태를 진단하고, 향후 효율적인 농촌 폐기물 처리를 위한 정책적 방안을 모색하는 데 본 연구의 초점을 두고자 하였다.[6] 본 연구에서는 농업폐기물의 노지소각 과정에서 발생될 것으로 예상되는 대기오염물질을 대상으로 노지소각 전후에 각각 측정하여 소각에 의해 발생된 대기오염 물질을 정량화 하고자 하였다. 또한 측정 분석된 대기오염물질의 농도를 이용하여 위해성평가 모델에 적용하여 소각에 의하여 야기되어진 악영향을 추정하였다. 이 결과는 해당 지자체가 관내의 대기질 개선을 위한 최선의 대책을 수립할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

II. 연구방법

1. 대상지역 및 측정장소

'A' 지자체는 과채류 시설재배 지역으로 2004년 12월을 기준으로 면적은 임야 417.04 km^2, 농경지 133.71 km^2, 기타 65.44 km^2 정도이며, 인구는 18,709 세대 47,731명이다. 이중 7,486 세대 19,787명이 농림업에 종사하였다. 과채류 시설재배 면적에 근거한 추정 발생량은 대략 5,480톤/년 및 15.0톤/일에 해당된다. 농산물의 수확이 끝나는 10월 초순부터 11월 초순까지 마른 과채류 넝쿨, 폐비닐 등을 노지에서 집중 소각하고 있어 주변 생활지역의 대기오염이 새로운 환경문제로 부각되고 있었다. 측정 장소는 2곳을 선정하였으며, 그 중 대기확산이 상대적으로 어렵고 교통량이 적은 그리고 노지소각이 있는 건물의 3층 옥상을 A 지역, 대기확산이 상대적으로 쉽고 교통량이 많은 중심가의 관청 3층 옥상을 B 지역으로 하였다. A 지역과 B 지역의 이격거리는 대략 1 km이었다.

2. 대상 대기오염물질 및 측정방법

대기오염도 조사를 위한 실측대상물질로는 우리나라의 대기환경기준물질들 중에서 미세먼지(PM_{10}), 이산화질소(NO_2), 이산화황(SO_2) 그리고 휘발성 유기화합물(Benzene, Toluene)을 선정하였다. 측정대상 대기오염물질들의 월별 농도변화를 일정주기로 측정·분석한 자료와 측정대상지역의 측정당일 온도, 습도, 풍향, 풍속 등과 같은 기상자료의 일부는 해당 지자체 내의 농업기술개발센터로부터 입수하여 대기오염 실측자료 분석에 활용하였다.

측정 및 분석은 대기오염공정시험법에 기준하여 대상

Table 1. Sampling and analysis of target pollutants in this study

Target	Sampling and analysis	Sampling time
Nitrogen dioxide (NO_2)	Passive sampler → UV·VIS Spectrophotometer	24 hrs
Sulfur dioxide (SO_2)	Pararosaniline method → UV·VIS Spectrophotometer	8 hrs
VOCs (Benzene, Toluene)	Passive sampler → GC	24 hr
Fine particle (PM_{10})	MiniVol → Microbalance	24 hrs

오염물질별로 적합한 시료채취방법을 적용하되, 측정지점수를 고려한 적정 채취법 사용하였다(Table 1). 실측대상지역으로 선정된 지역의 대기오염 실태를 반영할 수 있는 대기오염물질들에 대하여 농업폐기물의 노지소각이 없는 시기와 소각이 집중적으로 이루어지는 시기에 정해진 기간 동안 수동식 시료채취기 등과 같은 여러 시료채취방법을 사용하여 대기 중에서 채취한 후 실험실에서 해당 오염물질의 분석 및 정량에 적합한 방법으로 분석하였다.[7,8]

대상 대기오염물질 측정기간은 노지소각이 집중적으로 이루어지는 10월과 11월을 중심으로 9월 3회, 10월 4회, 11월 3회, 12월 2회 측정하였다. 소각이 주로 금요일과 토요일에 이루어지는 점을 고려하여 본 연구에서는 측정요일을 금요일로 정하여 수행하였다. 측정은 A 지역과 B 지역에서 각각 동시에 측정하였고 측정 후 바로 연구실로 이동하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 대기오염도 변화추이

측정기간 동안 A 지역의 PM_{10}의 평균 농도는 132.5 (±129.1) $\mu g/m^3$, B 지역은 113.1(±77.6) $\mu g/m^3$을 Fig. 1에 나타내었다. 특히 집중 소각이 이루어지는 10월~11월까지의 PM_{10}의 농도는 90~440 $\mu g/m^3$의 범위이었고, 평균은 A 지역과 B 지역이 각각 193.0 (±140.2) $\mu g/m^3$과 137.7(±80.8) $\mu g/m^3$으로 A 지역의 경우 환경부 대기환경기준의 연간평균치(70 $\mu g/m^3$)와 24시간 평균치(150 $\mu g/m^3$)를 초과하고 있었다. 이러한 결과는 가을철 시설재배 농가의 수확이 종료된 후에 농산폐기물을 노지 소각하는 과정에서 주로 발생되었기 때문으로 판단된다. 소각이 비교적 적은 시기인 겨울철 B 지역의 PM_{10} 농도가 더 높게 나타나는 것은 교통량의 차이에서 야기되는 것으로 보여진다. A 및 B 지역 모두 9월부터 12월까지는 연평균 대기환경기준을 초과하여, 해당 지자체에서는 소각 집중시기에 야기되는

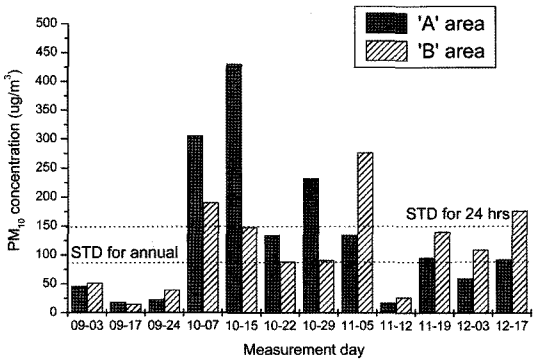

Fig. 1. Variation trend of PM_{10} concentrations.

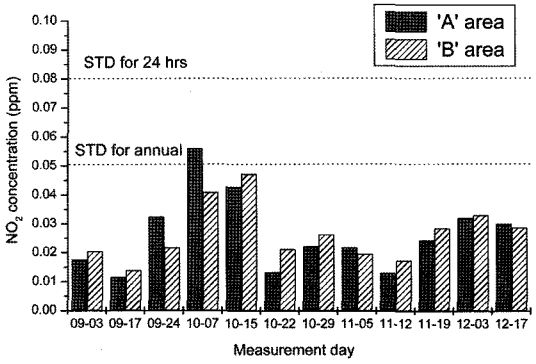

Fig. 2. Variation trend of NO_2 concentrations.

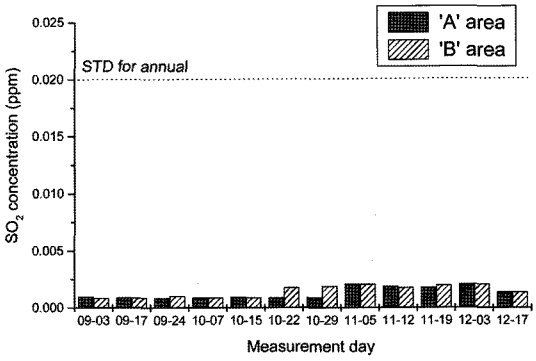

Fig. 3. Variation trend of SO_2 concentrations.

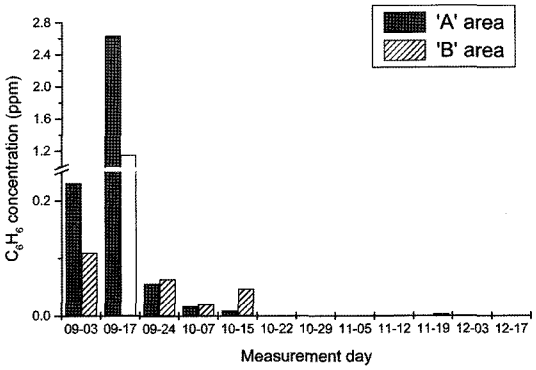

Fig. 4. Variation trend of C_6H_6 concentrations.

PM_{10}에 의한 대기오염뿐만 아니라 겨울철의 대기질도 개선하기 위한 노력이 추가적으로 필요한 것으로 나타났다.

PM_{10}과 동시에 측정된 NO_2 농도를 Fig. 2에 나타내었다. 측정 전체 기간 동안에 A, B 두 지역 모두 전반적으로 대기환경기준 24시간 평균치보다 매우 낮고 연간평균치보다도 낮은 NO_2 농도값을 유지하였다. 측정기간 중 평균 NO_2 농도는 A 지역이 25.8(±13.1) ppb, B 지역이 26.7(±9.9) ppb를 나타내었고, 집중소각이 있는 10월과 11월의 평균 NO_2 농도는 A 지역이 27.7(±16.0) ppb, B 지역이 28.8(±11.3) ppb를 나타내었다. 10월 9일(A 지역: 56.1 ppb, B 지역: 40.9 ppb), 10월 16일(A 지역: 42.8 ppb, B 지역: 47.3 ppb)의 경우를 제외하면 A 지역 및 B 지역 모두 비슷한 NO_2 농도값을 나타내어 노지소각에 따른 NO_2 발생은 적은 것으로 판단할 수 있지만, 소각에 따른 고농도 노출 가능성을 나타내고 있다.

실측지역 두 곳의 대기 중 SO_2 농도는 대기환경기준 24시간 평균치인 0.05 ppm 뿐만 아니라 연간 평균치인 0.02 ppm보다도 훨씬 낮은 값을 나타내었다(Fig. 3 참조). 측정기간 동안 평균 SO_2 농도는 A, B 지역 모두 1.5(±0.5) ppb이었고, 집중소각이 있는 10월과 11월의 평균 SO_2 농도는 A, B 지역 모두 1.6(±0.5) ppb으로 지역간 차이는 나타나지 않았다. 소각이 집중적으로 이루어지고 있는 10월과 11월의 농도는 소각이 비교적 적은 9월과 12월의 농도값에 비해 A, B 지역 모두 약 1.3배 높게 나타났다.

벤젠(C_6H_6) 측정 결과를 살펴보면 9월 18일 측정의 경우에 A 및 B 지역에서 각각 2.6과 1.2 ppm이 측정되었으며, 이것은 측정시 주변에서 차선 도색작업이 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다(Fig. 4 참조). 이 결과를 제외하고, 9월 초부터 10월까지 0.02~0.23 ppm 정도의 C_6H_6이 대기 중에 존재하는 것으로 나타났고, 10월 하순 이후로 A 지역에서는 C_6H_6이 불검출 되었으며, B 지역에서 2회에 0.001 및 0.004 ppm이 검출되었다. 10월 초부터 11월까지 농산폐기물의 집중소각이 있는 시기로 본다면, 상대적으로 노지소각이 적은 9월에도 관측되는 되는 것으로 미루어 집중적인 노지소각과의 연관성은 낮은 것으로 추정할 수 있다. 하지만 다음의 톨루엔(C_7H_8) 결과를 고려하면 9월 폐비닐

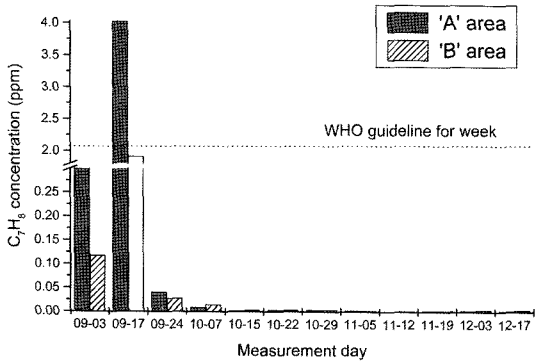

Fig. 5. Variation trend of C_6H_7 concentrations.

계통의 소각에 따른 유기화합물의 발생 가능성을 나타낸다.[9]

A 및 B 지역의 톨루엔 측정 농도 결과는 10월 15일 측정결과 외에는 C_6H_6의 농도 변화 추이와 일치하였다. 일반적으로 대기 중에 C_7H_8의 농도는 C_6H_6의 농도보다 높으므로 측정 전 기간 동안에 검출되었으며, 측정기간 동안 A 및 B 지역의 평균 농도는 0.034 (±0.091) ppm 및 0.017(±0.034) ppm이었다(Fig. 5 참조). 차선 도색작업이 있었던 9월 18일 농도 결과를 제외하면 9월 4일에 측정된 A 지역의 최고 농도값은 0.31 ppm을 나타내어 벤젠의 결과와 같이 페비닐 등의 소각이 그 영향요인으로 판단한다.[9]

2. 위해성평가

미세분진 노출에 따른 제기된 건강영향의 종류는 주로 호흡기계질환과 심혈관계질환으로써 이들 질환으로 인한 사망자수 증가, 병원 방문 및 입원율 증가, 소아 천식발작으로 인한 응급환자 급증, 폐기능 저하 등을 야기할 수 있다. 대기분진의 인체위해는 주로 천식과 같은 호흡기관련 질환 발생과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있으나 최근의 역학적 연구를 보면 심혈관계 질환 발생과 저체중아나 조기출산과 같은 생식관련 이상뿐만 아니라 암위해 영향이 있는 것으로 보고되고 있다.[8] 본 연구에서 소각시 최악의 경우(worst-case) 10월 15~16일의 A 지역 430.7 μg/m^{3}과 B 지역 148.3 μg/m^3, 가장 낮았던 9월 24일~25일의 A 지역 15.0 μg/m^{3}과 B 지역 39.6 μg/m^3 PM_{10} 농도가 10 μg/m^{3}씩 증가시 급성 사망률(acute mortality)가 0.6% 증가한다고 보고한 Schuhmacher 등의 결과를 고려할 때, 소각시 PM_{10} 노출에 따른 위해도가 매우 높을 것으로 추정된다.[9] 또한 Cerna 등은 메타분석(meta-analysis)을 이용하여 최소한의 PM_{10} 건강영향 가능 농도를 사망률 100 μg/m^3, 기침 등의 증상 75 μg/m^3, 질병율 100 μg/m^{3}으로 제시하였으며, 본 연구대상 지역에서 소각시 A 지역 뿐만 아니라 B 지역도 PM_{10} 노출에 따른 건강영향 가능성을 충분히 제시하였다.[10]

이산화질소(NO_2)의 경우 A 지역과 B 지역의 NO_2 농도값은 소각에 따른 결과를 고려하여 최악(worst-case)의 경우(10월 7일~8일)인 A 지역 0.0561 ppm과 B 지역 0.0409 ppm, 그리고 제일 낮았던 9월의 1회 측정값인 A 지역 0.0176 ppm와 B 지역 0.0204 ppm를 이용하였다. 인체노출평가는 미국 환경보호청(EPA)에서 제공하는 노출량 수식을 이용하여 평균 일일노출량(Average Daily Dose: ADD)을 산출하였다.[13]

$$ADD(\text{mg/kg}\cdot\text{day}) = \frac{Total\ Potential\ Dose\ (\text{ug})}{BW(\text{kg}) \times AT(\text{day}) \times 1000}$$

여기서, 총 노출량 = 공기 중 NO_2 농도(ug/m^3)×호흡률(20 m^3/day)×노출기간(70 years), BW = 체중(60 kg), AT = 평균시간(days) (비발암성에 대한 AT = 노출기간)

계산된 ADD 값은 RfD(reference dose)와 비교하여 '1'을 초과하는 경우에는 유해영향이 발생할 가능성을 나타낸다. ADD와 RFD를 이용하여 다음과 같이 HQ(hazard quotient)를 구할 수 있다.[14]

$$HQ = \frac{ADD(\text{mg/kg} - \text{day})}{Reference\ dose\ (\text{mg/kg} - \text{day})}$$

결과를 고려할 때 소각시 측정된 최악의 경우 A 지역은 건강영향이 있을 것으로 나타났다. 또한 B 지역은 HQ 값이 1을 초과하지 않았으나, 비소각시에 비해서 상대적으로 증가한 값을 나타내고 있다.

벤젠의 발암위해도는 임의의 농도로 오염된 대기에 평생 노출되며 생활할 경우의 인체 노출량(LADD: lifetime average daily dose, 일생동안 일일 평균 노출량)은 오염농도를 나타내며, 일일 호흡률, 체중, 노출빈

Table 2. Risk assessment of exposure to NO_2

Item	Location	NO_2 conc. (ppm)	ADD	HQ
Normal (Sep. 3)	A	0.0176 (36.1 ug/m^3)	0.004	0.12
	B	0.0204 (41.9 ug/m^3)	0.005	0.15
Worst-case (Oct. 7)	A	0.0561 (115.2 ug/m^3)	0.034	1.03 >1
	B	0.0409 (84.0 ug/m^3)	0.025	0.76

Table 3. Risk assessment of exposure to benzene

	Location	Conc. (ppm)	LADD	Cancer risk
Normal (Sep. 3)	A	0.0 (0.0 mg/m^3)	N.A.	N.A.
	B	0.0 (0.0 ug/m^3)	N.A.	N.A.
Worst-case (Dec. 17)	A	0.23 (0.80 mg/m^3)	0.00011	2.29×10^{-3}
	B	0.11 (0.38 mg/m^3)	0.00013	1.09×10^{-3}

도, 노출기간 4개월, 기대수명 등을 고려하여 산출하였다. A 지역과 B 지역의 벤젠(C_6H_6) 농도값은 소각에 따른 결과를 고려하여 최악의 경우(9월 3일)인 A 지역의 0.23 ppm과 B 지역 0.11 ppm, 그리고 소각이 없을시 제일 낮았던 12월 측정값의 A 지역 0.0 ppm와 B 지역 0.0 ppm를 이용하였다. 벤젠은 역학연구를 통해 인체 발암성 물질로 분류되므로 본 연구에서는 IRIS(Integrated Risk Information System) 자료에 제시된 발암력((0.029 mg/kg/day)$^{-1}$)을 인용하였다.[11] 발암물질로 오염된 대기에 평생 노출되어 생활함으로 인해 발생될 초과 발암위해도는 인체 노출량(mg/kg/day)에 발암력((mg/kg/day)$^{-1}$)을 곱하여 구하거나, 대기 오염도(μg/m^3)에 단위 위해도((μg/m^3)$^{-1}$)를 적용하였다. 벤젠 노출에 따른 초과 발암위해도에서 권고기준은 미국 EPA에서는 백만명당 1명(1×10^{-6})의 초과발암위해도를 발생되는 수준으로 보고 있다. 위의 결과를 고려할 때 소각시 측정된 최악의 경우 A 지역뿐만 아니라 B 지역에서도 건강영향(발암가능성)의 가능성이 있는 것으로 판단된다.

톨루엔의 농도값은 소각에 따른 결과를 고려하여 최악의 경우(10월 7일~10월 8일)인 A 지역 0.0091 ppm과 B 지역 0.0152 ppm, 그리고 소각이 없을시 제일 낮았던 11월의 12회 측정값인 A 지역 0.0027 ppm와 B 지역 0.0040 ppm를 이용하였다. 현 오염수준을 평생동안의 기준노출량은 미국 EPA의 IRIS에서 제공하는 톨루엔의 흡입 참고용량은 0.4 mg/m^{3}이다. 본 연구에서는 참고용량의 단위를 아만성 일일 노출량의 단위와 일치시키기 위해 단위를 전환하여 기준노출량 0.13 mg/kg-day으로 산출하였다. 소각시 측정된 최악의 경우 A 지역은 물론 B 지역에서도 건강영향은 없는 것으로 나타났지만, 다소 위해성 증가가 있는 것으로 나타났다.

Table 4. Risk assessment of exposure to toluene

	Location	Conc. (ppm)	ADD	HQ
Normal (Dec. 17)	A	0.0027 (11.1 mg/m^3)	0.004	0.031
	B	0.0040 (16.4 ug/m^3)	0.005	0.038
Worst-case (Oct. 7)	A	0.0091 (37.4 mg/m^3)	0.013	0.1
	B	0.0152 (62.4 mg/m^3)	0.021	0.162

V. 결 론

농업폐기물의 처리는 도시지역과 상이하며 특히 농촌 폐기물의 불법 소각은 2차 오염인 대기오염을 발생시켜 해당지역 거주민의 건강영향을 야기할 수 있다. 본 연구는 농업폐기물의 노지소각에 따른 대기오염 유발여부, 건강영향 예측, 지역 환경개선 및 지역민 생활환경 보전을 위한 적정 대책 수립 등을 위하여 수행되었다. 농업폐기물 특히 과채류 시설재배 폐기물의 소각이 집중되는 시기와 없는 시기에 대기오염 측정한 결과, 소각이 이루어지고 있는 A 지역은 소각집중기간에 농도가 증가하고 있었고, 대조지역(B 지역)에서는 그러한 현상이 두드러지지 않았다. 또한 소각집중기간이 아닌 9월에 유기화합물인 벤젠과 톨루엔의 농도가 높게 측정되어 폐비닐 계통의 소각 가능성을 나타내었다. 특히 벤젠 농도의 증가는 암발생 위해를 2.29×10^{-3}까지 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 불법 소각에 따른 철저한 관리가 요망되며 동시에 농촌 폐기물의 적정 관리 및 처리 방안으로 고려해 볼 수 있는 것은 소각, 사료화 및 퇴비화하는 방안을 상정해 볼 수 있었다.

참고문헌

1. 윤의영 : 농촌쓰레기 관리실태와 해결 방안 연구. 한국농촌지도학회지, **10**(2), 239-249, 2003.
2. 환경부 : 환경백서, 2005.
3. 환경부 : 전국폐기물통계조사, 2002.
4. 환경정책평가연구원 : 환경정책연구 - 농업용 폐비닐의 농가처리 및 수거제도 개선방안. **2**(1), 51-76, 2003.
5. Glorenneca, P., Zmiroub, D. and Barda, D. : Public health benefits of compliance with current E.U. emissions standards for municipal waste incinerators: A health risk assessment with the CalTox multimedia exposure model. *Environment International*, **31**(5), 693-701, 2005.
6. 최경호, 박석환, 정문식 : 톱밥, 볏짚, 왕겨 및 신문지를 이용한 돈분의 퇴비화. 한국환경위생학회지, **21**(1), 56-67, 1995.

7. Son, B., Breysse, P. and Yang, W. : Volatile organic compounds in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea. *Environment International*, **29**(1), 79-85, 2003.
8. 김대원, 김문현, 양원호 : 차량 운전자의 공기오염물질 노출 및 차량용 공기정화기에 의한 제어. 한국환경보건학회, **30**(5), 481-486, 2004.
9. Wey, M. Y., Liu, K. Y., Yu, W. J., Lin, C. L. and Chang, F. Y. : Influences of chlorine content on emission HCl and organic compounds in waste incineration using fluidized beds. *Waste Management*, In press, 2007.
10. Ruchirawat, M., Settachan, D., Navasumrit, P., Tuntawiroon, J. and Autrup, H. : Assessment of potential cancer risk in children exposed to urban air pollution in Bangkok, Thailand. *Toxicology Letters*, **168**, 200-209, 2007.
11. Schuhmacher, M., Jose, J. L., Domingo, L. and Garreta, J. : Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood. *Environmental Research*, **95**(2), 198-206, 2004.
12. Cerna, M., Jelinek, R., Janoutova J., Kotovec, F., Bene, I. and Leixner, M. : Risk assessment of the common air pollutants in Teplice, Czech Republic. *Toxicology Letters*, **96-97**(1), 203-208, 1998.
13. http://www.epa.gov/IRIS/
14. 김영희, 양원호, 손부순 : 신축 주택의 톨루엔 발생량 모델을 이용한 건강위해성 평가. 한국환경보건학회지, **32**(5), 398-403, 2006.