

보릿짚의 수분함량 및 수확시기가 소각시 대기오염물질 발생에 미치는 영향

고지연* · 강항원 · 이재생 · 김춘송 · 박성태 · 김복진¹⁾

작물과학원 영남농업연구소 식물환경과, ¹⁾영남대학교 자연자원대학 농학과
(2004년 4월 20일 접수, 2004년 5월 21일 수리)

The Impacts of Barley Straw Burning Having Different Moisture Contents and Harvesting Timing on Air Pollutant Emission

Jee-Yeon Ko*, Hang-Won Kang, Jae-Sang Lee, Chun-Song Kim, Seong-Tae Park and Bok-Jin Kim¹⁾ (National Institute of Crop Science, Yeongnam Agricultural Research Institute, Plant Environment Division, Milyang 627-803, Korea, ¹⁾Yeongnam University College of Natural Resources, Gyeongsan 712-749, Korea)

ABSTRACT : This study was carried out to determine impacts of burning of barley straw produced from rice-barley double cropping paddy field on air quality by investigating emissions of greenhouse gases (CO₂, CH₄ and N₂O), air pollution gases (CO, SO₂, H₂S, NH₃ and NO) and particulate matters (PM 10 and PM 2.5). When the barley straw at a rate of 4.5 t/ha was burned at open status, the emitted GHGs amounts were CO₂ 376.8 kg/10a, CH₄ 1.56 and N₂O 0.06. The amount of CO emission was the largest among air pollution gases. These results showed that the range of 45~55% of total C in barley straw was emitted as CO₂-C, followed by CO-C (6.4~5.9%) and CH₄-C (0.5~0.7%). As far as moisture content in barley straw is concerned, the higher moisture content that the barley straw contains, the larger amount of air pollution gases and the higher portion of PM 2.5 in PM 10 were emitted when it burned. In case of harvesting time of barley straw, emission amounts of greenhouse, air pollution gases and PM 2.5 portion in PM 10 had tendency to increase when earlier harvested barley straw was burned.

Key words: barley straw burning, air pollution gas, greenhouse gas, PM 10, PM 2.5.

서 론

벼-보리 이모작 재배시 발생하는 보릿짚은 노동력이 풍부하였던 예전에는 대부분 포장에서 수거되어 땔감이나 우사의 깔짚 등으로 이용되었으나 농촌인구의 고령화, 영농인구의 감소로 인한 노동력 부족으로 수거가 어려워짐에 따라 이모작 답에서 보릿짚 처리는 여러 가지 문제를 일으키고 있다.

보릿짚의 처리는 크게 소각, 토양시용, 논으로부터 제거 후 이용으로 구분할 수 있는데¹⁾ 보릿짚의 논토양 시용은 논토양으로부터 발생하는 온난화 가스의 배출량을 증가시킬 우려가 있을 뿐 아니라^{2,3)} 이양작업의 불편 및 보릿짚의 부숙에 따른 유기산과 가스발생, 질소기아 현상 등⁴⁾에 의한 벼 활착 지연 등 초기 생육저해를 초래할 수 있으므로 많은 농민들이 이를 기피하여 처리가 빠르고 쉬운 방법인 소각을 시행하는 경우가 많다. 실제 영남지역 주요 보리재배 시군 11개 203지

점을 대상으로 재배품종, 경작지 면적, 유효토심, 지형별로 보릿짚의 처리방법을 조사한 결과, 영남지역에서는 재배농가의 62%(소각 43.8%, 일부소각 18.2%)가 보릿짚을 소각하는 것으로 조사되었고, 이러한 경향은 작토층 깊이가 얇고, 경작 규모가 작고, 산록경사지나 곡간지에 위치한 농가일수록 뚜렷하였다¹⁾.

그러나 소각은 지력유지를 위한 귀중한 유기물 자원인 보릿짚을 대기로 손실시킬 뿐 아니라 소각시 발생하는 연기 속 에 들어있는 가스성분 및 입자상 물질들이 대기오염을 일으키는 하나의 원인이 된다. 따라서 이러한 농업부산물 소각이 대기환경에 미치는 영향에 대한 인식은 세계적으로 증가하고 있으며, 미국 California주는 농업부산물 소각이 대기환경 악화에 미치는 영향을 줄이고자 1992년부터 소각 사전 허가 및 소각비용지불제를 시행하여 농업부산물의 소각을 Smoke Management Guideline에 의하여 엄격하게 규제하고 있다⁵⁾.

농업부산물의 소각시 발생하는 대기오염물질에 대하여서는 Levin⁶⁾이 벼짚의 소각시 CO, hydrocarbons 및 작은 양의 NOx, SO₂가 발생한다고 하였으며, Takashi⁷⁾는 벼짚의 소각시

*연락처:
Tel: +82-55-350-1267 Fax: +82-55-353-3050
E-mail: kjeeyeon@rda.go.kr

발암성 물질중 하나인 polycyclic aromatic hydrocarbons 발생량에 벋짚의 수분함량이 미치는 영향에 대하여 보고한 바 있다. 또한 근래에는 소각연기 내 포함되어 있는 미세한 입자상 물질인 PM 10이 보건환경에 미치는 악영향에 대한 연구가 활발하여서 벋짚 소각시기에 증가한 대기 중의 PM 10농도와 어린이 천식환자수 사이의 관계에 대한 연구들이 행해지고 있다^{8,9)}.

우리나라는 산업발달이 도시의 대기환경에 미치는 영향에 대해서는 활발한 연구가 수행되어 왔으나^{10,11)} 농촌의 대기환경 및 이에 영향을 미칠 수 있는 인자들 중 하나인 보릿짚 처리방법이 대기환경에 미치는 영향에 관하여서는 연구가 부족한 실정이다.

본 연구는 벋-보리 이모작 재배시 주로 행해지는 보릿짚 처리방법인 소각을 맥종, 수분함량 및 수확시기를 달리하여 대기오염가스, 미세분진 등의 입자상 물질 및 지구온난화 가스 발생량을 조사함으로써 소각처리방법이 대기환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하고자 수행하였다.

재료 및 방법

보릿짚의 소각시 발생하는 대기오염물질 배출량에 대한 자료를 얻고자 Open chamber를 이용하여 10a 당 400 kg의 보릿짚 소각시 발생하는 온난화가스(CO₂, CH₄, N₂O), 대기오염가스(CO, SO₂, H₂S, NH₃, NO) 및 분진입자의 크기가 10 μm 이하와 2.5 μm 이하인 입자상 물질(PM 10, PM 2.5)의 발생량을 조사하였다.

Open chamber는 투명 아크릴 소재로 된 가로, 세로, 높이 30×30×100(cm) 크기의 장방체 상자로서 하단에 약 15 cm 길이의 다리가 달려있어 소각시 지면으로부터 충분히 공기가 들어갈 수 있도록 하였으며, 윗면은 여닫을 수 있는 뚜껑을 달아 소각시에는 뚜껑을 닫아서 발생한 가스를 챔버 내부에 모으고 1회 소각 후에는 뚜껑을 열어 챔버내 공기를 완전히 환기할 수 있도록 제작하였다.

소각시험의 처리는 맥종별(겉보리짚, 맥주보리짚, 밀짚), 수분함량별(0, 10, 20, 30, 40, 50%) 및 수확시기별(출수 후 30, 35, 40, 45일)로 각각의 시료를 3반복 소각하여 발생하는 가스 양을 측정하였다. 맥종별 소각시험을 실시할 때는 시료의 수분함량이 가스발생량에 미치는 영향을 최소화하고자 소각시료의 수분함량을 30%로 고정시켜 측정하였으며, 수분함량별 시험은 Takashi⁷⁾의 시험방법과 같이 보릿짚을 24시간 오븐

Table 1 Chemical properties of barley and wheat straws used in the burning experiments

Barley straw	T-C (%)	T-N (%)	Av.P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
			g/kg				
Hulled barley	51.6	0.49	1.8	25.4	3.1	1.6	1.7
Malting barley	50.8	0.58	3.0	24.2	3.5	2.1	1.3
Wheat	50.6	0.62	2.2	22.6	1.3	1.2	0.4

건조시킨 후 비닐팩에 넣어 10~50%의 처리수준별로 증류수를 첨가한 후 밀봉하여 24시간 방치함으로써 보릿짚이 수분을 완전히 흡수할 수 있도록 하였다. 수확시기별 소각시험은 동일품종의 겉보리를 출수후 일수에 따라 채취하여 소각하였다. 소각시험은 소각하는 동안 일어날 수 있는 외부공기 흐름에 의한 교란을 최소화하기 위하여 실내에서 행하였으며 시험시 실내 대기온도 23~25℃, 상대습도 45~65%사이였다.

온난화가스인 CH₄, CO₂, N₂O의 분석에는 Gas Chromatograph (Varian 3300, CH₄, CO₂: FID, N₂O: ECD)를 이용하였고, 대기오염가스인 CO, SO₂, H₂S, NH₃, NO는 dust trap이 부착된 Electro-chemical 센서식 기기(Drager Multi-warm II)를 이용하여 분석하였다. 또한 분진발생량은 piezobalance 식 중량측정식 분진 측정기(Kanomax)를 이용하여 PM 10과 PM 2.5의 미세분진량을 측정하였다.

결과 및 고찰

소각시료의 화학성

Table 1과 2는 각각 소각시험에 쓰인 맥종별 및 수확시기별 보릿짚 식물체의 화학성을 나타내었다. 맥종별로는 겉보리의 T-C 함량이 51.6 g/kg으로 맥주보리와 밀의 50.8, 50.6 g/kg보다 약간 많았으며 T-N 함량은 밀>맥주보리>겉보리의 순이었다.

수확시기별로는 출수 후 일수가 짧은 보릿짚 일수록 식물체내 수분함량 및 T-N, 유효인산 등 대부분의 화학성분 함량이 높았다.

맥종별 온난화 및 대기오염가스 발생량

맥종별로 보릿짚을 소각할 때 발생하는 온난화가스, 대기오염가스 및 분진발생량은 Table 3와 같다. 세가지 맥종의 평균 온난화가스 발생량은 CO₂ 376.8, CH₄ 1.56, N₂O 0.06 kg/10a 로서 CO₂의 발생량이 가장 많았으며 맥종별로 큰 차이는 나지 않았다. 대기오염가스 중에는 유기물의 불완전 연소시 배출되는 CO의 발생량이 28.8 kg/10a로서 가장 많았고, 대기환경 기준이 1시간당 0.15 ppm 이하로 규제되어 있는 가스인 SO₂가 1.23 kg/10a 발생하였으며, 그 외 H₂S, NH₃, NO 등의 질소 및 황 함유 유해가스도 소량 발생되었다. 농업부산물의 소각을 엄격하게 규제하고 있는 캘리포니아 ARB(Air

Table 2 Chemical properties of barley straws in the burning experiment by harvesting time

Days after heading stage	Moisture contents (%)	T-C (%)	T-N (%)	Av.P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
				g/kg				
30 days	32.8	51.6	0.54	2.8	24.4	2.8	1.4	1.1
35 days	23.3	51.4	0.48	2.8	20.8	2.6	1.7	1.6
40 days	12.9	51.4	0.46	1.9	24.1	2.4	1.4	1.0
45 days	9.5	51.3	0.42	1.7	24.1	1.7	0.9	1.3

Table 3 Emission amount of greenhouse gases and air pollutant by barley and wheat straw incineration (kg/10a)

Air pollutants		Hulled barley	Malting barley	Wheat	Means
Greenhouse gases	CO ₂	396.5±19.62 ^{a)}	327.3±22.39	406.7±27.41	376.8
	CH ₄	1.8±0.12	1.4±0.04	1.5±0.02	1.6
	N ₂ O	0.04±0.003	0.05±0.002	0.07±0.003	0.05
Air pollution gases	CO	29.9±0.39	28.7±2.00	28.7±1.08	29.1
	SO ₂	1.2±0.04	1.3±0.04	1.3±0.06	1.3
	H ₂ S	1.1±0.05	1.9±0.05	1.4±0.05	1.6
	NH ₃	0.12±0.015	0.11±0.011	0.24±0.01	0.2
particulate matters	NO	0.03±0.01	0.03±0.01	0.10±0.002	0.07
	PM 10	10.5±0.21	12.1±0.68	12.1±0.77	11.6
	PM 2.5	9.1±0.11	9.8±0.44	9.7±0.57	9.5

^{a)}Mean±S.D.

Resources Board)에서 Department of Food and Agriculture 에 제출한 자료에 따르면 볏짚의 소각시 CO 19.6 kg/10a, NOx 1.8 kg/10a가 발생된다고 보고하여 본 실험의 결과와 유사한 경향이었다⁵⁾.

보릿짚 화학성분중 가장 많은 양을 차지하고 있던 탄소와 관련된 가스의 발생량을 살펴보면 보릿짚 내 총 탄소 함량의 45~55%가 CO₂-C로, 6.4~5.9%가 CO-C, 0.5~0.7%가 CH₄-C 로 발생한 것으로 분석되었는데, 이는 Miura¹²⁾가 Open chamber를 이용하여 볏짚 소각시 발생하는 탄소관련 가스량을 분석한 결과 총탄소의 57~81%가 CO₂-C, 5~9% CO-C, CH₄-C 0.43~0.90%로 배출되었다고 보고한 것보다 CO₂-C의 발생량이 다소 적었으나 그 외 탄소관련 가스배출량은 유사한 결과를 보였다.

입자직경 10 μm 이하의 분진(PM 10)은 흔히 호흡성 분진으로 불리고 호흡시 콧속으로 들어오는 먼지의 대부분을 차지하므로 기관지 및 폐내에 흡입되어 천식과 폐암을 유발시키기도 하고¹³⁾, 돌연변이원의 하나로 작용하는 등¹⁴⁾ 인체에 미치는 영향이 큰 먼지로서 우리나라에서는 연간 평균치 80 μg/m³ 이하, 24시간 평균치 150 μg/m³ 이하로 대기환경기준을 정하여 관리하고 있는 항목이다. 보릿짚의 소각시 상당한 양의 호흡성분진이 발생하였는데 맥종별로는 맥주보릿짚 및 밀짚의 소각시 14.1 kg/10a, 겉보릿짚 11.5 kg/10a 으로서 맥주보리와 밀짚 소각시 10 μm 이하의 미세분진 발생량이 다소 많은 경향으로 나타났다. Torigoe⁹⁾는 일본 니가타현에서 1994년부터 5년 동안 대기 중의 PM 10농도와 병원에 입원한 어린이 천식환자수를 조사한 결과 양자 사이에 밀접한 관계가 있었고, PM 10농도와 천식환자수는 볏짚의 소각시기인 9~10월 사이 증가하는 것을 관찰함으로써 볏짚과 같은 고간류의 소각시 배출되는 미세분진이 대기내 PM 10농도를 증가시켜 소아천식에 영향을 미친다는 사실을 보고하였다. Jeffrey⁹⁾ 역시 미국 캘리포니아에서 1983년부터 9년 동안 볏짚의 소각과 천식환자수를 조사한 결과 가장 넓은 면적의 논이 소각된 날 발병의 상대위험률(Relative risk)이 1.23으로 가장 높았고, 소

각면적과 입원율사이에는 5% 수준에서 유의성 있는 상관성이 있었다고 보고함으로써 볏짚과 같은 농업부산물의 소각이 인체에 미치는 위험성을 제기하였다.

입자직경 2.5 μm 이하의 미세분진(PM 2.5)은 호흡성분진보다 입경이 더욱 작은 먼지로서 코나 기관지를 통해 걸러지지 않고 폐까지 들어와 허파파리에 지속적으로 축적이 일어날 수 있는 분진이다. 또한 사이즈가 작은 입자일수록 돌연변이를 일으킬 위험성이 크므로¹⁴⁾ 인체에 더욱 유해한 분진이다. 미국 캘리포니아주의 경우 2002년 대기중 PM 2.5의 농도를 연간 평균치 12 μg/m³ 이하로 규정하였으나¹⁵⁾ 우리나라는 아직 대기환경 기준이 수립되어 있지 않다. 이 미세분진은 안개나 황사 등 자연적인 요인 이외에도 화석연료의 연소나 노천소각 등 인위적 활동에 의해 많이 발생되고, 또한 SO₂, NO₂와 같은 가스상 오염물질이 황산염이나 질산염과 같은 입자상물질로 전환되어 2차적으로 생성되기도 하므로¹⁶⁾ 농업부산물의 소각시 많은 양의 분진이 발생할 가능성이 있다. 보릿짚의 소각시 발생한 PM 2.5는 PM 10의 80~86% 수준으로 분진의 대부분이 인체에 미치는 영향이 PM 10보다 더욱 유해한 PM 2.5로 이루어져 있음을 알 수 있었다. 맥종별로는 맥주보리와 밀짚소각시 겉보리보다 많은 양의 PM 2.5가 발생하였는데, 이는 맥종별 SO₂와 H₂S 가스 발생경향과 유사하여 발생한 미세분진이 가스상 물질로부터 전환된 2차적인 입자상 물질의 영향을 많이 받았기 때문이라 생각되었다.

보릿짚 수분함량별 온난화 및 대기오염가스 발생량

보릿짚의 소각시 발생하는 온난화 가스 및 대기오염가스, 분진 발생량에 수분함량이 미치는 영향을 조사하여 Table 4에 나타내었다. 보릿짚내 수분함량이 증가함에 따라 온난화가스 중 CO₂발생량은 별 차이가 없었으나 CH₄와 N₂O는 증가하는 경향이였다. 또한 유기물의 불완전 연소시 발생이 증가하는 CO, NO, SO₂ 등의 대기오염가스도 수분함량이 많을수록 증가하여서 보릿짚내 수분함량이 연소반응에 영향을 미쳤음을 알 수 있었다.

분진발생량은 PM 10의 호흡성 분진과 PM 2.5의 미세분진 모두 수분함량이 증가함에 따라 감소하는 경향이나 PM 2.5는 PM 10에 비해 발생량의 감소 정도가 크지 않아서 수분이 많을수록 상대적으로 연기속의 PM 2.5 비율이 높아졌다. 따라서 보릿짚내 수분함량이 증가할수록 소각시 CO, NO, SO₂ 등의 대기오염가스 발생량이 늘어나고, 연기내 PM 2.5 이하의 미세분진의 비중이 컸다.

소각시료내 수분함량이 가스발생에 미치는 영향에 대하여서는 Takashi⁷⁾가 수분함량을 0~30%로 달리한 볏짚의 소각시 불완전 연소시 형성되는 유해물질인 polycyclic aromatic hydrocarbons의 발생량을 조사하여 수분함량 15%일 때 배출량이 가장 적었다고 보고한 바 있다.

보릿짚 수확시기별 온난화 및 대기오염가스 발생량

Table 5는 수확시기가 다른 보릿짚의 소각시 발생하는 온

Table 4 Emission amount of greenhouse gases and air pollutant by barley straw incineration having different moisture contents (kg/10a)

Air pollutants		0%	10%	20%	30%	40%	50%
Greenhouse gases	CO ₂	416.6±4.38 ^{a)}	414.7±5.44	413.0±11.08	411.7±10.63	413.1±12.07	413.4±12.38
	CH ₄	1.66±0.08	1.66±0.04	1.71±0.03	1.80±0.04	1.94±0.05	2.23±0.20
	N ₂ O	0.07±0.002	0.07±0.006	0.08±0.005	0.08±0.004	0.08±0.002	0.08±0.001
Air pollution gases	CO	26.2±0.62	24.4±0.90	27.9±0.80	28.50±1.56	32.09±2.46	32.42±0.41
	SO ₂	1.22±0.08	1.26±0.12	1.42±0.03	1.48±0.09	1.52±0.02	1.89±0.11
	H ₂ S	1.69±0.05	1.54±0.09	1.36±0.14	1.57±0.05	1.64±0.05	1.94±0.01
	NH ₃	0.10±0.013	0.14±0.003	0.13±0.012	0.14±0.031	0.14±0.01	0.16±0.02
	NO	tr	tr	tr	0.03±0.001	0.04±0.07	0.05±0.07
particulate matters	PM 10	14.2±0.79	13.1±0.50	11.4±0.64	10.5±0.24	10.4±0.76	10.0±0.38
	PM 2.5	11.7±0.43	10.6±0.73	10.3±0.33	9.7±0.62	9.3±0.55	9.2±0.15

^{a)}Mean±S.D.

Table 5 Emission amount of greenhouse gases and air pollutant by barley straw incineration having different days after heading stage (kg/10a)

Air pollutants		Days after heading stage			
		30 days	35 days	40 days	45 days
Greenhouse gases	CO ₂	415.7±9.80 ^{a)}	388.3±14.95	400.9±23.03	335.7±21.36
	CH ₄	1.9±0.12	2.0±0.31	1.8±0.13	1.7±0.08
	N ₂ O	0.09±0.003	0.08±0.003	0.08±0.001	0.07±0.004
Air pollution gases	CO	29.0±1.93	25.2±1.36	21.5±1.01	22.3±0.076
	SO ₂	1.10±0.026	0.94±0.136	0.86±0.032	0.86±0.066
	H ₂ S	1.09±0.264	1.45±0.019	1.30±0.101	0.94±0.103
	NH ₃	0.13±0.013	0.14±0.023	0.11±0.022	0.11±0.011
	NO	0.15±0.001	0.09±0.001	0.03±0.001	0.03±0.001
particulate matters	10 μm	7.6±0.51	8.1±0.15	9.2±0.76	9.7±0.40
	2.5 μm	6.2±0.77	6.1±0.17	6.7±0.76	6.8±0.22

^{a)}Mean±S.D.

실가스, 대기오염가스 및 분진량을 나타내었다. 수확시기가 늦을수록 온난화가스 및 대기오염 가스의 발생량이 감소하는 경향이었는데 이는 소각시료의 식물체내 수분함량과 화학성의 차이에 기인한 것으로 출수 후 수확시기가 늦을수록 수분함량이 감소하여 CH₄ 등의 혐기성 온실가스 및 불완전 연소 시 많이 발생하는 CO, NO, NH₃, SO₂ 등의 대기오염가스 발생량이 줄어든 것으로 고려된다. 또한 수확시기가 늦을수록 보릿짚내 총 질소함량이 감소하는 것도 소각시 발생하는 대기오염가스량에 영향을 미쳤을 것이다. 수확적으로 알려진 출수 40일 이후의 보릿짚 소각시는 대기오염가스 발생량에 있어서 큰 차이가 없었다.

그러나 분진은 이와 반대로 수확시기가 늦은 짚을 소각할수록 발생량이 증가하였는데 이러한 경향은 분진의 입경에 따라 차이가 있어서 PM 10의 호흡성 분진은 수확시기가 늦을수록 뚜렷이 증가하였으나 PM 2.5의 미세분진 발생량은 수확시기에 따라 함량변화가 없었다. 따라서 수확적기보다 시기

가 빠른 보릿짚일수록 소각할 때 온난화 및 대기오염가스의 발생량이 많고 소각 연기 내 PM 2.5의 미세분진 비율이 높아 대기오염 유발 및 천식 및 발암성 등의 인체유해 가능성이 큰 것으로 나타났다.

요약

영남지방 벼-보리 이모작답에서 가장 널리 시행되고 있는 보릿짚 처리방법인 소각이 대기환경에 미치는 영향을 소각시 발생하는 온난화가스, 대기오염가스 및 분진발생량을 중심으로 살펴보았다.

보릿짚 소각시 온난화가스 발생량은 CO₂ 376.8, CH₄ 1.56, N₂O 0.05 kg/10a 로서 CO₂의 발생량이 가장 많았으며, 대기오염가스 중에는 유기물의 불완전 연소시 배출되는 CO발생량이 28.8 kg/10a로서 가장 많았다. 그 외 SO₂, H₂S, NH₃, NO 등의 질소 및 황 함유 유해가스도 소량 발생되었고 발생된 PM 10 분진의 대부분은 인체에 미치는 영향이 PM 10보다 큰 PM 2.5로 이루어져 있었다.

또한 수확시기가 빠르거나 수분함량이 높은 보릿짚일수록 온난화가스 및 대기오염 가스의 발생량이 증가하고 소각 연기 내 PM 10 분진중 PM 2.5의 미세분진 비중이 높았다. 수확적으로 알려진 출수 40일 이후의 보릿짚은 출수 후 40일된 보릿짚 소각시 발생하는 대기오염가스 발생량과 큰 차이가 없었다.

참고문헌

1. 고지연, 이재생, 김춘송, 강항원 (2002) 보릿짚 처리방법에 따른 대기오염 물질 발생량 구명, 영남농업시험장 시험연구보고서.
2. Yagi, K. and Minami, K. (1990) Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields, *Soil Sci. Plant Nutr.* 36, 599-610.
3. Ko, J. Y., Kang, H. W. and Park, K. B. (1996) Effects of

- water management rice straw and compost on methane emission in dry seeded rice, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* 29(3), 212-217.
4. Gotoh, S. and Onikura, Y. (1971) Organic acids in a flooded soil receiving added rice straw and their effect on the growth of rice, *Soil Sci. Plant Nutri.* 17, 1-8.
 5. California Air Resource Board (2001) Progress report on the phase-down and the 1988-2000 Pause in the Phase-down of rice straw burning in the Sacramento valley air basin, Report to the legislature, 40p.
 6. Levin, J. S. (1991) Global biomass burning, MIT Press, Cambridge, MA.
 7. Takashi, K., Xiaoxing, L. and Zuyun, H. (2001) The influence of moisture content on polycyclic aromatic hydrocarbons emission during rice straw burning, *Chemosphere-Global Change Science* 3, 117-122.
 8. Torigo, K., Hasegawa, S., Numata, O., Yazaki, S., Matsunga, M., Boku, N., Hiura, M. and Ino, H. (2000) Influence of emission from rice straw burning on bronchial asthma in children, *Pediatrics International : Official Journal of the Japan Pediatric Society* 42, 143-150.
 9. Jeffrey J., Richard, K. and Daniel, S. (1993) Rice Burning and Asthma Hospitalizations, Butte Country, California 1983-1992, *Environmental Health Perspectives*.
 10. Cha Y. J. and Lee, K. J. (1991) Relationships between air pollution by SO₂ and soluble sulphur contents in the leave and bark pH in urban forest trees, *J. Korean for Soc.* 80(3), 279-286.
 11. Hwang J. I., Joe, J. L. and Kim, Y. G. (1986) Air pollution forecasting using urban transportation planning models and air pollution dispersion models, *Kor. Soc. Atm. Envir.* 2(2), 31-40
 12. Miura Y. and Kanno T. (1997) Emission of trace gases (CO₂, CO, CH₄, and N₂O) resulting from rice straw burning, *Soil Sci. Plant Nutri.* 43, 849-854.
 13. Wolff, G. T., Korsog, P. E., Kelly, N. A. and Ferman, M. A. (1985) Relationship between Fine particulate species, gaseous pollutants and meteorological parameters in Detroit, *Atmospheric Environment* 19(8), 1341-1349
 14. Clarence, E. Chrisp and Fisher, G. L. (1980) Mutagenicity of air bone particles, *Mutation research/Review in Genetic toxicology* 76(2), 143-164.
 15. California air resources board, California ambient air quality standards, <http://www.arb.ca.gov/>.
 16. 김동술 (2001) 미세먼지 주요배출원의 정량적 추정, 미세먼지영향 및 저감 방안 전문가 토론회 proceeding.