

대기-P10 600°C에서의 제지류 소각시 발생하는 VOCs 농도와 소각잔사중의 중금속 함량 분석 연구

이병규*, 조정범

울산대학교 지구환경시스템공학부

1. 서 론

2000년 현재 매립, 소각, 그리고 재활용 방법에 의하여 처리되는 생활쓰레기의 비율은 각각 48.1%, 12.0%, 39.9%이다. 생활쓰레기중 가연성쓰레기가 발생량의 약 60.2%나 차지하고 있지만, 소각 처리율은 국토사정이 유사한 일본에 비하여 매우 낮다. 따라서, 국토면적이 좁은 우리나라의 현실에 비추어 이렇게 낮은 소각에 의한 처리 비율은 점점 늘어날 것으로 예상되고 있다. 제지류는 단위 무게에 대한 부피비율이 다른 쓰레기보다 상대적으로 커서 매립장 공간을 많이 차지하고 대부분의 제지류가 가연성이기 때문에, 매립공간이 부족한 우리나라에서는 매립보다는 재활용이나 소각에 의해 주로 처리되고 있다. 얼마전 까지만 해도 각종 관공서 및 많은 사업장에서 보유중인 대기오염 방지시설이 거의 부착되지 않은 소형 소각로나 노천 소각에 의해 상당한 양의 제지류가 처리되어왔거나 되고 있다. 또 앞으로도 제지류의 사용량과 소각 처리비율은 계속적으로 늘어날 가능성이 크기 때문에, 제지류의 소각처리에 의한 대기오염 부하량은 아주 클 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 제지류의 소각처리에 의한 대기오염물 부하와 관련된 연구는 거의 없는 실정이다. 제지류는 여러 가지의 사용 목적에 따라 여러 가지 과정으로 표백, 코팅, 또는 피복(비닐, 아크릴, 유화제) 처리되어 생산되고, 사용 후에는 잉크나 카본, 또는 각종 인쇄액이 묻어있다. 따라서 이러한 제지류의 소각 처리에서는 각종 휘발성 유기화합물, 유해성 화합물, 소각재 등 다양한 대기오염물이 배출되고 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 소각로에서 제지류를 소각 처리할 때 발생하는 각종 휘발성 유기화합물에 대한 배출농도 분석과 제지류 소각잔재에서의 중금속 농도 분석을 수행하였다.

2. 연구방법

본 연구에서 사용된 제지류 시료는 일상생활에서 다양한 용도로 사용되는 제지류를 A4용지, 신문용지, 포장용 Box지, 서류봉투, 일회용 종이컵, 화장지로 분류하였다. A4용지로는 사용하지 않은 것(이하 A4 새종이), 잉크젯 프린트 된 것(이하 A4 잉크젯), 레이저 프린트 된 것(이하 A4레이저)으로 분류하였고, 신문용지는 콩기름 신문과 일반 신문으로 분류하여 제지류 소각시 발생하는 휘발성 유기화합물과 소각잔재에서 중금속의 농도를 분석하였다. 제지류 30g을 Muffle Furnace를 이용하여 압축공기 공급하에서 600°C 까지 승온한 다음 약 2시간 정도 소각하면서 공기시료 펌프와 Air Bag을 이용하여 휘발성 유기화합물 시료를 포집하고 GC-MS로 성분과 농도를 분석하였다. 또 소각 후 남은

Bottom Ash에 포함된 중금속성분을 초음파 추출기를 용출하여 ICP로 그 성분과 농도를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 휘발성 유기화합물

본 연구를 통한 제지류의 소각에서 분석한계 이상으로 검출이 확인된 휘발성 유기화합물은 총 25종이었다. 같은 무게의 제지류를 동일한 조건에서 소각시 가장 높은 농도로 검출되는 화합물은 2-methyl furan으로 평균농도가 6,167ppb의 농도였다. 또한, benzene (1,976ppb), 2-methyl 1-propene (1,202ppb), toluene (552ppb), 1-Butene (526ppb) 등도 높은 농도로 검출되었다. 제지류의 소각에서 발생하는 휘발성 유기화합물 중 가장 많은 양이 발생하는 Furan 계열은 48.9 ~ 62.6%의 비율을 차지하였는데 특히, 포장용지류에서 가장 높은 비율을 보였다. 또 Aromatic 계열의 경우 포장용지류에서는 22.0%로 가장 높은 비율을 보였고, 반면에 A4 종이류에서는 19.1%로 상대적으로 낮은 비율을 보였다. Aliphatic Alkene 계열은 A4 종이류에서 28%나 될 정도로 특히 많이 배출되었고, 포장용지류, 신문용지류, 기타 종이류에서도 각각 11.6, 15.1, 17.4%의 비율을 보였다. 제지류의 소각에서 Chlorine 계열의 휘발성 유기화합물은 포장용지류와 신문용지류에서는 검출되지 않았지만 A4종이류 및 기타 종이류에서는 낮은 농도로 검출되었다.

3.2 소각재 함량

본 연구에서는 실험시 각각의 종이(제지) 시료 30g을 취하여 소각실험을 행하였다. 전기로에서 온도를 600℃까지 승온한 후 1시간을 유지시켰을 때 소각재의 양이 가장 많은 것은 광고지로서 7.0532g이었는데, 이는 소각된 종이시료 무게의 약 23.5%나 될 정도로 높은 비율의 소각재 시료가 발생하였다. 이렇게 광고지의 소각재 함량이 다른 제지류보다 월등히 높은 것은 종이의 두께가 상대적으로 두꺼웠기 때문이다. 즉 종이두께가 상대적으로 두꺼워 다른 종이류에 비하여 효과적인 소각이 이루어지지 않았음을 나타낸다. 또한 상대적으로 소각이 어려운 재질의 종이가 광고지에 사용되었을 것으로 추정된다. A4 종이류의 소각재 함량은 약 13 ~ 14% 정도였고, 신문용지류의 경우 5 ~ 9%의 소각재가 생성되었다. 종이컵과 화장지의 소각재 함량은 2% 정도였고, 연구대상 제지류의 소각에서 소각재의 함량이 가장 적은 것은 서류봉투로서 1% 이하만이 소각잔사로 남았다. 본 연구에서 이용된 제지류의 평균 소각잔재 백분율은 8.98 % 이었다.

3.3 소각재 중의 중금속 평균농도

본 연구에서 사용된 제지류를 소각한 후 남은 소각잔사를 초음파 추출의 전처리를 거쳐 ICP로 분석하여 중금속의 존재 여부를 확인한 것은 Zn, Pb, Cd, Ni, Co, Cr, Mn, Fe, Al, As, Se, Sb 등으로서 모두 12종이었다. 이 중 Cd, Co, Se, Sb 네 종류의 중금속은 이번 제지류의 소각잔사 연구에서는 검출되지 않았다. 제지류 소각잔사에서 금속의 평균배출농도는 Al(463.98 mg/kg), Fe(14.54 mg/kg), Mn(3.42 mg/kg), Zn(1.28mg/kg)의

순으로 높게 분석되었다. 특히, Al은 A4 종이류에서는 낮은 농도로 검출되었으나, 나머지 종이류에서 157 ~ 1,311 mg/kg의 농도로 높은 값으로 분석되었다. 이렇게 Al의 함량이 높게 나타난 것은 사용중에, 혹은 사용후 폐기되는 과정에서 흙이나 먼지에 많이 노출되었기 때문으로 추정된다.