

PS16 (MA27) 제지류 소각시 발생하는 VOCs 농도와 소각잔사 중의 중금속 함량 분석 연구

Analysis of VOCs produced from incineration of papers and heavy metals contained in the ashes

나덕재 · 이병규

울산대학교 토목환경공학부

I. 서 론

최근 인구증가와 더불어 도시화, 산업화 및 생활수준의 향상으로 인해 가정 및 사업장 등에서 배출되는 폐기물의 발생량이 급속하게 증가함으로써 폐기물 처리에 따른 비용절감과 효율적인 폐기물 처리방법들이 중요시 되어지고 있다.

현재 우리 나라에서 폐기물 처리법으로 가장 많이 활용되고 있는 기술은 매립을 이용하는 것이다. 매립처리는 인구에 비하여 국토가 협소한 우리 나라에서는 조만간 막다른 벽에 부딪칠 것이고, 유기물이나 유해물질의 매립은 환경을 오염시킨다. 또한 NIMBY(Not In My Back Yard) 신드롬 등으로 새로운 매립장을 건설할 후보지를 발견하기도 어렵고, 매립장 건설비용도 엄청나게 높다. 또한 현재 운영 중에 있는 매립장도 거의 포화상태에 있다. 그 다음으로 고려되고 있는 소각처리는 전염병의 예방, 유해물질의 무해화, 단시간에 대량의 폐기물 감량이 가능하다는 등의 이점도 갖고 있다. 또한 중소형 사업장에서는 각종 가연성 폐기물이 다량으로 발생되고 있으며, 이들을 매립처리 방법으로 처리할 경우 큰 경제적 부담이 되고 있다. 그래서, 많은 중소사업장에서는 가연성 폐기물의 효과적인 처리를 위하여 자체적으로 소형 소각로를 운영하고 있다. 그러나, 소형 소각로에서 폐기물을 소각하여 처리할 때는 휘발성 유기화합물, 유해성 화합물, 소각재 등 많은 대기오염물이 배출되고 있다. 그럼에도 소형 소각로에 부착된 대기오염 방지시설로는 싸이클론이 전부이다. 따라서 소형 소각로 운영에서 배출된 많은 양의 대기오염물이 특별한 오염 방지시설 없이 대기 중으로 방출되고 있는 실정이다.

현재 국내에서 사업장폐기물의 성상 변화는 비교적 적은 것으로 분석되고 있다. 그러나 생활폐기물은 1997년도의 경우 가연성쓰레기가 발생량의 약 60%를 차지하고 있으며 계속 증가추세에 있다. 특히, 음식물쓰레기가 약 27%로 아직까지는 많은 부분을 차지하고 있으나 점차 감소추세에 있는 반면, 상대적으로 제지류, 플라스틱류, 목재류 등 포장 및 일회용 폐기물의 비중은 점차 증가되고 있는 추세이다. 이러한 추세는 산업이 고도로 발전될수록 계속될 것으로 전망된다.

특히, 각급 학교나 관공서, 그리고, 각종 산업 현장에서도 제지류의 사용이 꾸준히 늘어나고 있다. 이러한 제지류는 가연성이기 때문에 매립보다는 주로 소각에 의해 특히, 각종 사업장에서 보유중인 소형 소각로에 의해 처리되고 있는 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 제지류를 소형 소각로에서 소각 처리할 때는 다양한 휘발성 유기화합물들을 포함한 각종 대기오염물이 배출된다고 할 수 있다. 또 소각후 잔재물에 함유된 중금속 물질들이 대기중에 방출되거나 적절한 매립이 이루어지지 않으면 대기나 물속으로 유출되고 있다. 따라서, 제지류 소각으로 인한 대기 환경오염이 심각한 실정에 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 제지류를 소형 소각로에서 소각 처리할 때 발생하는 각종 휘발성 유기화합물에 대한 배출농도 분석과 제지류 소각잔재에서의 중금속 농도 분석을 수행하였다.

II. 연구방법

본 연구의 대상시료는 일상생활에서 다양한 용도로 사용되는 제지류를 A4용지, 신문용지, 포장용 Box 지, 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)로 분류하였고, 신문용지는 콩기름 신문과 일반 신문으로 나누어서 실험하였다. 분류된 제지 시료 각각을 30g씩 취하여 전기로 안에

냉고 상온에서 600℃까지 승온한 후 1시간을 유지시키면서, 그대 발생하는 휘발성 유기화합물 시료를 Personal sampling pump와 Tedlar air sampling Bag을 이용하여 포집하였다. 포집된 시료는 저온농축 장치를 통과시킨 후 GC-MSD를 이용하여 휘발성 유기화합물에 대한 정성 및 정량분석을 수행하였다. 소각실험이 완료된 뒤 상온으로 전기로의 온도를 낮춘 후 소각잔재를 모아서 황산대시계이터에 방치한 다음 Gravimetric 방법으로 소각재의 함량을 분석하였다. 또 소각재에 함유된 중금속은 초음파추출을 통하여 용출시킨 다음 ICP를 이용하여 중금속 성분에 대한 정성 및 정량 분석을 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 휘발성 유기화합물

본 연구를 통한 제지류의 소각에서 분석장비의 분석한계 이상으로 검출이 확인된 휘발성 유기화합물은 총 25종이었다. 같은 무게(30g)의 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 평균농도로 검출되었다. 이 외에도 인체 유해성 대기 오염물(Hazardous Air Pollutants : HAPs) 또는 발암성 물질인 Benzene, 1,2-dichloromethane, Butene 등도 상당한 농도로 검출되므로, 제지류 소각에서 발생된 휘발성 유기화합물 가스는 소각장 주변의 대기를 충분히 악화시킬 수 있다.

본 연구에서 확인된 휘발성 유기화합물의 계열로는 Furan계, Aromatic계, Aliphatic Alkene계, n-Aliphatic Alkane계, Chlorine계, Ketone계, 그리고 Aldehyde계로 분류하였다. 제지류의 소각시 가장 많은 양의 VOCs는 Furan계로서 전체 배출농도의 55.7%였고, Aromatic계 (21.0%), Aliphatic Alkene계 (18.4%), Ketone계 (2.5%)의 순으로 높은 평균농도를 나타내었다. 이처럼 Furan계 화합물의 비율이 높은 것은 제지류가 소각되면서 산소와 결합하여 안정한 오각형 고리구조의 산화물인 Furan이 많이 형성되기 때문이다. 그 다음으로 Aromatic 계의 화합물의 검출농도가 높은 것은 먼저 산화되기 전에 화학구조적으로 안정한 방향족 화합물이 형성되었기 때문으로 판단된다.

실제로는 여기에서 확인된 휘발성 유기화합물의 대부분이 대기 중의 오존 농도를 더욱 증가시키는 물질로 사용될 수 있다. 그러므로, 제지류의 소각에서 발생된 휘발성 유기 화합물은 대기 중의 오존 농도 증가나 스모그 형성의 전구체로서 상당한 역할을 하게 되어 우리의 대기 환경을 저하시킬 우려가 크다.

본 연구에서는 제지류의 분류를 용도에 따라 A4 종이류, 포장용지류(Box 용지 및 서류봉투), 신문용지류, 기타 종이류(광고지, 화장지, 종이컵)로 분류하여 휘발성 유기화합물의 계열별 평균농도를 분석하였다. 본 연구에서 분류된 제지류의 용도에 따른 휘발성 유기화합물의 계열별 농도를 그림 1에 % 비율의 그래프로 나타내었다.

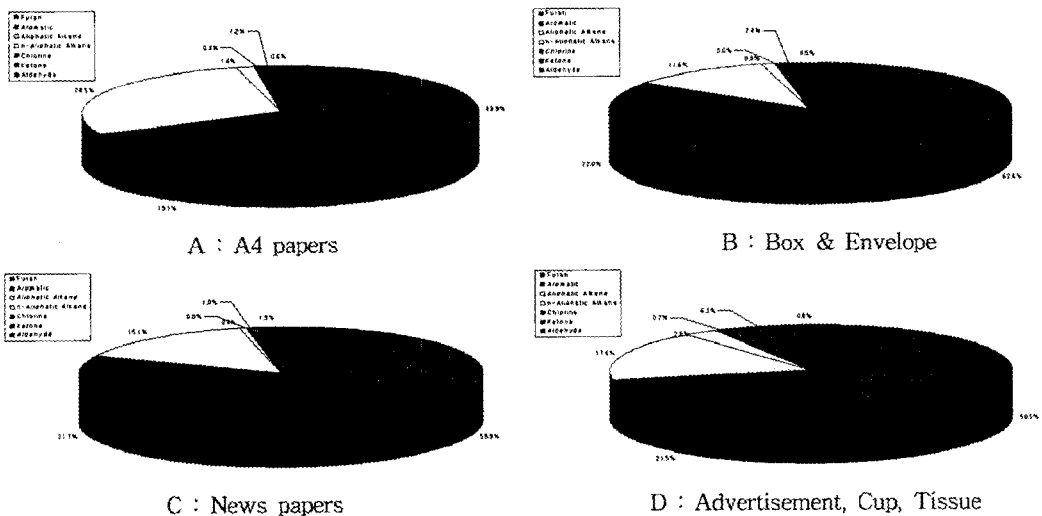


Fig 1. Concentrations of VOCs classified according to the chemical structure of various papers.

3.2 중금속

전기로에서 온도를 600℃까지 승온한 후 1시간을 유지시켰을 때 소각재의 양이 가장 많은 것은 광고지로서 7.0532g(23.5%)이나 발생되었다. 광고지의 소각재 함량이 다른 제지류보다 월등히 높은 것은 종이의 두께가 두꺼워서 효과적인 연소가 어려웠기 때문이다. 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 소각에서 평균 8.98 %의 소각재가 발생되었다.

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, As, Se, Sb 등으로서 모두 11종이었다. 이 중 Cd, Co, Se, Sb 네 종류의 중금속은 검출되지 않았다. 제지류 소각재에 포함된 중금속의 평균농도는 Fe(14.54 mg/kg), Mn(3.42 mg/kg), Zn(1.28mg/kg)의 순으로 분석되었다.