

도시고형폐기물의 특성에 관한 연구 - 중금속함유량을 중심으로 -

수질보전과

신진호·조기찬·서미연·이용민

A Study on Characteristics of Municipal Solid Waste - on Heavy Metal Concentration -

Division of water preservation

Jin Ho Shin, Gi Chan Cho, Mi Yeon Seo and Yong Min Lee

= Abstract =

This study was performed to evaluate the content of heavy metals and their contribution rates as the portion of combustable matters from municipal solid wastes generated by K and S-area in Seoul.

1. Different characteristics were not found in both of areas, but the Lead concentration of S-area where there are some semi-industrial areas was almost three times than that of K-area. Seasonal variation was not shown because the samples were measured by dry basis.
2. It seems that heavy metal existed in municipal solid wastes. As results of heavy metal concentration of combustable matters, Copper is high in papers, Mn in foods, Zn in textiles, Cd & Pb in vinyls and plastics, Cr in vinyls and plastics · leathers and rubbers · textiles.
3. The heavy metal contribution of leathers and rubbers · vinyls and plastics was significantly high, while their portion was low. Therefore the treatment of them is specially required to diminish the pollution.

서론

우리나라는 1970년대 이후, 급속한 경제성장으로 대량 생산과 대량소비문화가 확산되고 대도시의 인구집중현상과 함께 쓰레기의 양적·질적 커다란 변화가 있었다.¹⁾ 특히 서울은 면적상 전 국토의 0.6%에 불과하나 인구면

에서는 전국 인구의 24%가 생활하고 있어 대도시의 대표적 예가 된다. 실제로 1993년 서울시 1일 발생 생활폐기물의 양은 16,021 ton이었으며, 전국 발생량 대비 24.1%이고 1인당 발생량은 1.46 kg/day이었다.²⁾ 한편 쓰레기의 양적증가는 처리비용을 증대시키고 처리시설 부족난을 초래하였으며, 또한 질적변화는 환경오염의 심화요인으로 작용하고 있다. 난분해성 물질인 플라스틱류는 쓰

레기가 매립되거나 방치될 경우, 반 영구적으로 원형상태로 남게 되어 토양오염을 심화시키고 소각처리시에도 염화수소가스의 배출로 대기오염을 유발시킨다.

최근에 심각하게 대두되고 있는 건전지, 형광등 및 온도계 등에서 발생하는 수은이 악성 토양오염의 원인이 되고 소각처리를 한다고 해도 폐가스 중에 평균 0.05~0.15 mg/Nm³의 수은가스가 검출되고 있음도 주의의 사실이다.³⁾

이처럼 현재 우리 가정이나 학교, 병원 등에서 배출되는 일반 쓰레기는 각 지방자치단체에서 자체 관리하고 있으나 그에 대한 유해성은 아직 충분히 검증된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 대도시의 쓰레기에 대해 인간과 환경에 악영향을 최소화하기 위한 적절한 관리대책을 수립하는데 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 쓰레기의 중금속 함유량을 살펴보고 일반 생활쓰레기의 잠재적 유해성에 대해 중금속을 중심으로 파악하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

서울에서 하루에 발생하는 생활쓰레기를 불연물과 가연물로 분류하여 본다면, 가연물이 13,025 ton으로 전체의 81.3%를 차지²⁾하고 있으므로 성분별 조사에서는 가연물만을 대상으로 하고 94년 2월(겨울) 시료와 8월(여름) 시료로 구분하며, 쓰레기의 표본조사 대상지역으로 서울의 K구와 S구를 선택하여 그 가연물을 다시

- ① 음식물류 (Foods & vegetables, Fruits)
- ② 종이류 (Papers & cardboards)
- ③ 비닐·플라스틱류 (Vinyls and Plastics)
- ④ 섬유류 (Textiles)
- ⑤ 목재류 (Woods & Garden Wastes)
- ⑥ 가죽 고무류 (Rubbers & Leathers)
- ⑦ 기타 가연물류 (Extra combustible)

등 7성분으로 분류,⁴⁾ 조사하였다.

2. 실험방법

1) 시료의 채취

- ① 미리 10 m × 10 m의 넓은 포장시트(바닥면이 아스팔트인 경우는 바닥면을 청소한 후 그대로 사용함)가 깔려 있는 지정된 장소에 지정된 수거트럭(적화장인 경우) 혹은 콘테이너(아파트의 경우)의 쓰레기를 발생원별 2~3개 콘테이너를 섞어 혼합시료를 만든다(약 2~3톤).

② 조대쓰레기 및 음식물이 들어 있는 비닐포는 따로 분리시켜 성분별로 총량을 칭량한 후 혼합하여 최종 시료채취분율에 의거 분취한다.

③ 약 1톤 정도가 되도록 원추 4분법으로 1차 분취한다.

④ 포장된 쓰레기는 포장재를 파기하며 쏟아낸다. 원추형으로 쌓아 장소를 옮겨가며 3회 혼합시킨다.

⑤ 원추 4분법으로 1/2을 분취한 후 다시 혼합한다.⁵⁾ (3회 반복)

⑥ 40~60 kg 정도의 시료를 채취한다.

현장조사시 가장 큰 문제점은 수분변화이다. 따라서 이러한 점을 고려하여 가능한한 신속히 시료의 채취 및 운반처리를 하였으며 바닥깔개와 덮개를 사용하여 수집차의 동시반입으로 인해 조사가 지체되는 쓰레기의 수분변

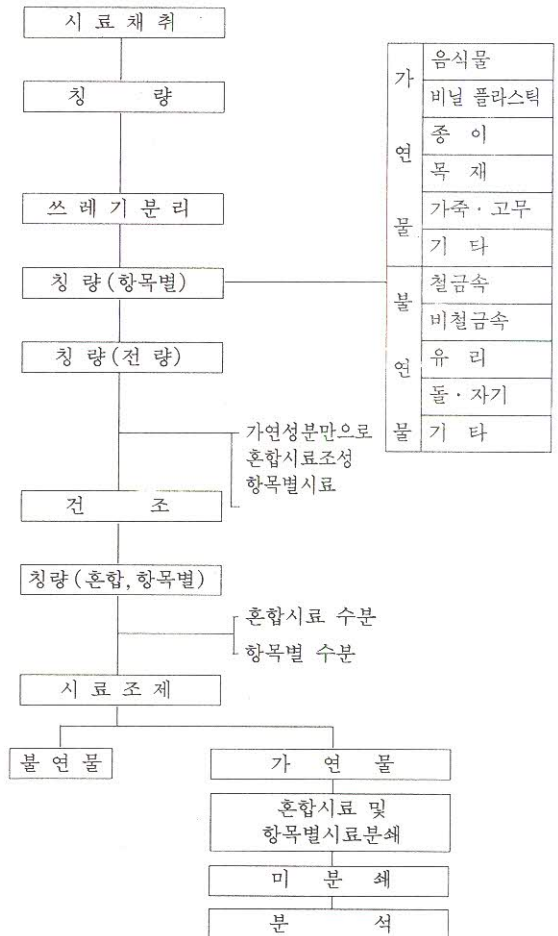


Fig. 1. Process of sampling and pretreatment for solid waste analysis.

화를 최소화시켰다. 또 물리적 조성 파악을 위한 성상분류는 현장조사가 불가능하여 채취한 시료를 밀봉하여 실험실로 운반하였다. 운반도중의 수분이동(음식물 등의 수분함량은 감소하고 타 조성의 수분함량은 증가 됨을 의미함)을 줄이기 위하여 가능한 음식물류는 분류하여 별도의 용기에 담아 운반하였다. 실험실에 운반된 쓰레기는 즉시 물리적 조성별로 분류하였으며, 분류된 쓰레기는 즉시 건조시켰다.

2) 실험방법

본 실험에 사용된 모든 시약은 유해금속측정용을 사용하였으며, 산(질산-과염소산)을 이용한 직접 분해법으로 쓰레기중의 중금속 함유량을 Atomic Absorption

Spectrophotometer (Perkin Elmer 1100-B)을 이용 측정하였다.⁶⁾

결과 및 고찰

본 실험에 들어가기에 앞서 분석하고자 하는 중금속항목과 정량범위를 정하기 위해 각 지역의 생활폐기물 종류별 발생량의 분율에 의해 혼합, 대표시료를 만들어서 함유량 실험을 한 결과는 Table 1과 같으며 상당량의 중금속이 생활쓰레기 중에 포함되어 있고 일부 항목을 제외하고는 겨울과 여름철 시료의 중금속 함량은 거의 비슷한 값을 나타내었다.

이는 시료를 건조시켜 수분의 영향을 배제시킨 결과로

Table 1. Heavy metal contents in municipal solid waste.

Areas	Items		Cu	Mn	Zn	Cd	Pb	Cr	Hg	As
	seasons									
K area	contents (mg/kg)	Winter	80.1	39.067	126.167	1.1	51.838	34.3	0.586	2.272
		Summer	72.80	34.84	258.0	3.78	57.78	16.12	-	-
S area	contents (mg/kg)	Winter	89.733	40.467	168.167	1.5	41.467	6.933	0.066	1.763
		Summer	85.80	41.34	167.20	0.36	40.90	53.54	-	-

주) '-': Except analysis

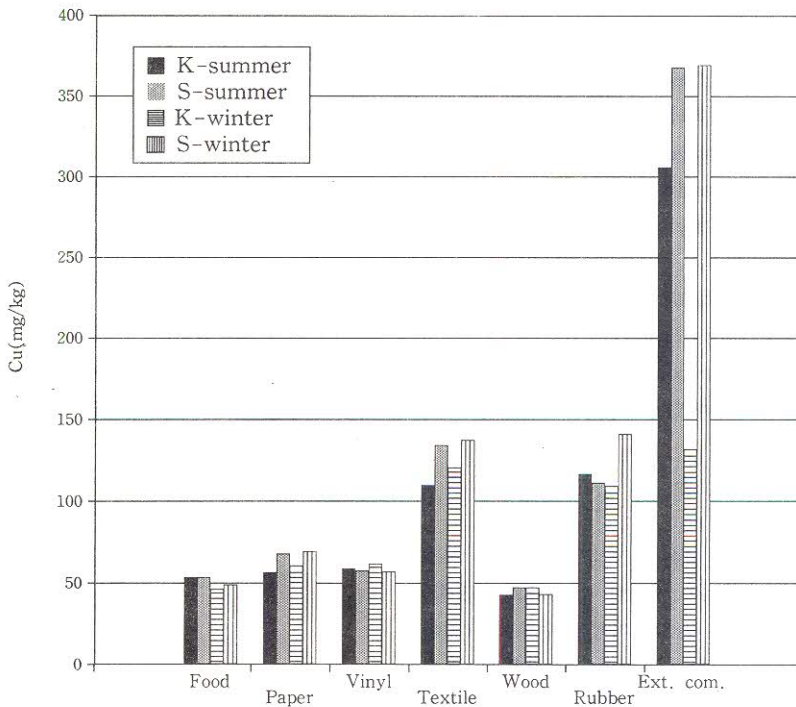


Fig. 2. Copper concentration in each combustible material.

사료되며 또한 함유량이 작은 Hg와 As를 제외한 Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, Cr의 6항목을 선택, 각 가연성분별로 분석하였다.

1. 구 리

음식물과 목재류에서 약 50 ppm으로 제일 낮은 함유량을 보여주며, 섬유류와 가죽·고무류에서 평균 130 ppm으로 다른 가연성분보다 2.2배 높은 값을 나타내는데 이는 제품에 사용되는 방부제 속에서의 Cu의 사용⁷⁾을 들 수 있다. 또한 기타 가연성분에서 최고 396.1 ppm으로 상당히 높은 수치를 나타낸다.

이것을 각 가연성분의 발생분율⁸⁾에 의거 성분별 중금속 함유량 기여도를 살펴보면 Fig. 3과 4와 같다.

일반적으로 K구와 S구가 비슷한 형태를 보이고 있으며, 음식물류가 K구에서는 36.4%로 기여도가 가장 높고 S구에서는 종이류 다음으로 많은 기여도를 나타내나 이것은 그 발생분율이 K구에서 40.2%, S구에서 33.3%로서 제일 높은데 기인하며, Cu의 경우에는 종이류에서 그 기여도가 각각 30.6%, 33.0%를 나타내는데 이는 종이류의 인쇄잉크 중에 Cu가 포함⁷⁾되어 있기 때문이다.

2. 망 간

생활쓰레기 중 망간은 비닐·플라스틱류에 13.8 ppm, 섬유류에 13.3 ppm으로 가장 적게 포함되어 있으며, 음식물류에서는 최고 83.7 ppm까지 포함되어 있고, 기타

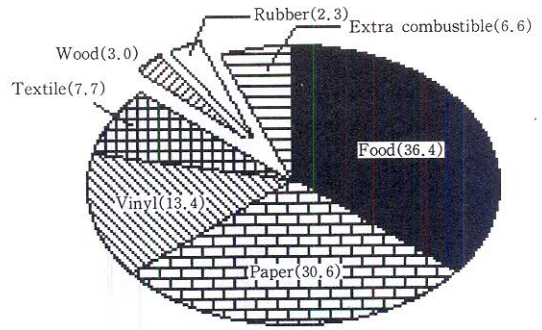


Fig. 3. The contribution rates of Copper in each combustible waste of K area.

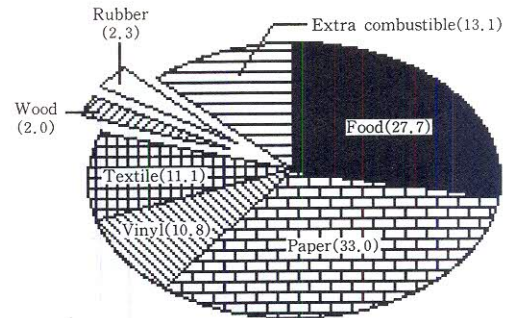


Fig. 4. The contribution rates of Copper in each combustible waste of S area.

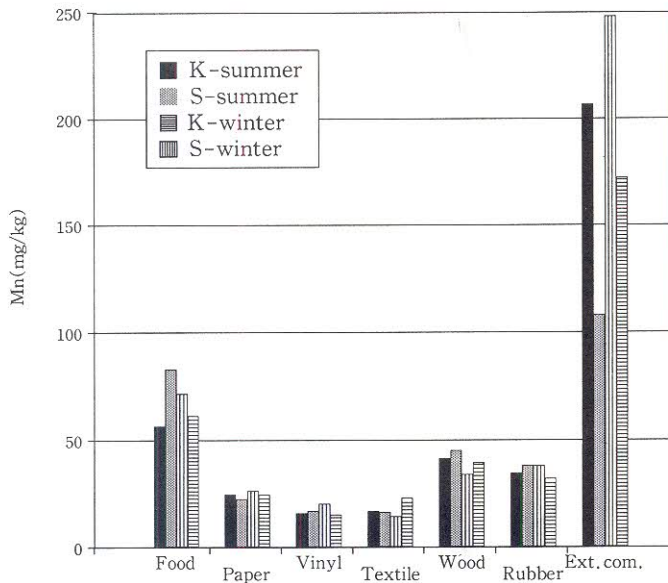


Fig. 5. Manganese concentration in each combustible material.

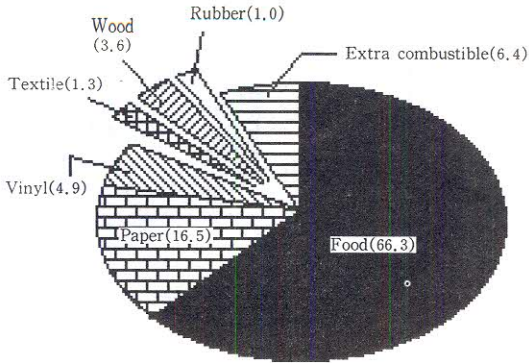


Fig. 6. The contribution rates of Manganese in each combustible waste of K area.

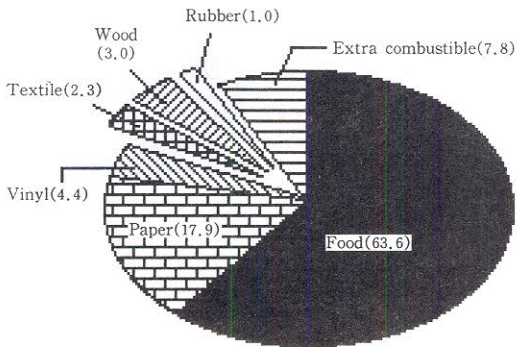


Fig. 7. The contribution rates of Manganese in each combustible waste of S area.

가연물에서 가장 높은 248.5 ppm을 나타낸다. 이것을 막대그래프로 표시하면 Fig. 5와 같다.

Mn에 있어서 그 발생분율에 의한 기여도를 살펴보면 단연 음식물류에 의한 것이 거의 70%에 육박하는 것으로 나타났다. Mn은 자연계에도 850 ppm 정도 존재⁷⁾하며 그다지 그 해독이 심하지 않지만 음식물류에 상당한 비율이 함유되어 있음을 알 수 있다.

3. 아 연

섬유류와 가죽·고무류에 加黃 促進劑⁷⁾로 Zn이 사용되며, 그 함유량이 408~922 ppm 정도로 다른 가연성분보다 7.6배 높은 값을 나타낸다.

그러나 발생분율에 의해 그 기여도를 각 가연성분별로 알아보면 Fig. 9와 10과 같다.

아연의 경우에는 다른 성분보다 섬유류에 대해 주목할 필요가 있다. 섬유류가 가연성분 중 차지하는 비율이 K구에서는 3.7%, S구에서는 5.1%에 불과하지만 그 기여도는 각각 19.9%, 23.6%를 나타낸다.

4. 카드뮴

각 가연성분 중 함유되어 있는 카드뮴의 농도는 비교적 적었다. 음식물류에 평균 0.5 ppm, 종이류에 0.25 ppm, 섬유류에 0.35 ppm, 목재류에 0.7 ppm, 기타 가연물에 1.5 ppm 정도 함유되어 있었지만 비닐·플라스틱류에 평균 7 ppm, 가죽·고무류에 5 ppm으로 다른

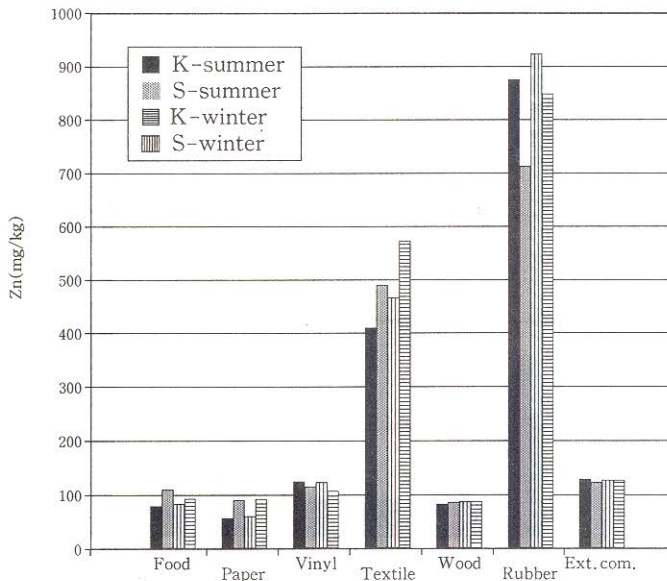


Fig. 8. Zinc concentration in each combustible material.

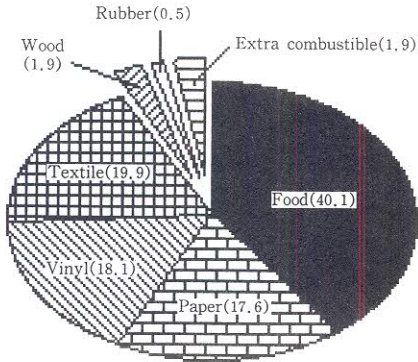


Fig. 9. The contribution rates of Zinc in each combustible waste of K area.

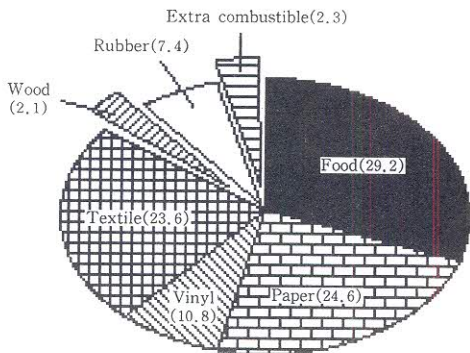


Fig. 10. The contribution rates of Zinc in each combustible waste of S area.

성분보다 10~14배 정도 높은 값을 나타낸다. 이는 카드뮴이 비닐성분에 염화비닐안정제로, 고무제품에 착색안료⁷⁾로써 사용되는 것으로 설명할 수 있으며, 각각의 가연성분에 대한 그 함유량은 Fig. 11과 같다.

이것을 발생분율에 의거 K구와 S구의 기여도를 살펴보면 Fig. 12와 13과 같으며, 비닐·플라스틱류가 전체 성분중 11.8~16.4% 밖에는 차지하지 않지만 가연성분중 카드뮴에 대한 그 기여도가 각각 68.7%, 68.5%로 높게 나타났다.

5. 납

납의 경우도 종이류에 평균 6.4 ppm, 목재류에 7.3 ppm으로 비교적 낮은 수치를 보여주고 음식물류에서 다소 높은 21.7 ppm, 섬유류에서 19.4 ppm으로 중간치를 나타낸다.

그러나 기타 가연물에서는 K구의 35 ppm보다 S구에서 훨씬 높은 90 ppm을 보여주는데 이는 S구에 도심지역에서는 보기 힘든 준공업지역이 포함되어 있어 지역적 특성을 반영¹⁰⁾한 것이다. 다음으로 주목할 만한 가연성분으로 비닐·플라스틱류와 가죽·고무류를 들 수 있는데 그 함유량은 각각 평균 98.3 ppm, 336.2 ppm으로 대단히 높은 수치를 나타낸다. 가죽·고무류에 있어서는 0.3%가 Pb로 구성되어 있는 것이다.

그러나 이것을 발생분율에 의거 보정한 후 Pb의 함유량 형태를 보면, Fig. 15와 Fig. 16과 같으며 비닐·플

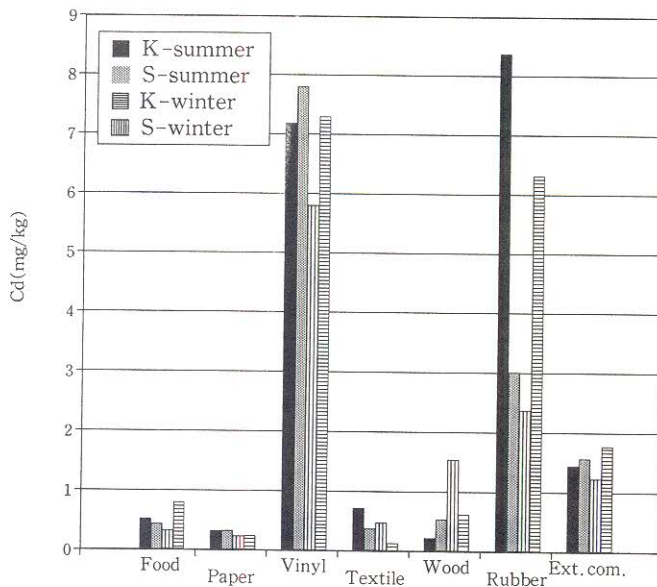


Fig. 11. Cadmium concentration in each combustible material.

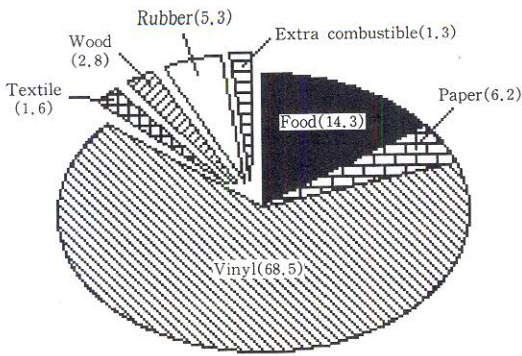


Fig. 12. The contribution rates of Cadmium in each combustible waste of K area.

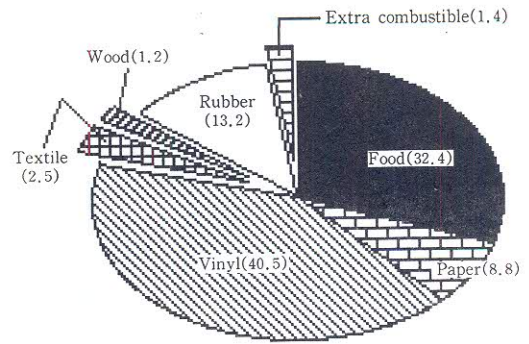


Fig. 15. The contribution rates of Lead in each combustible waste of K area.

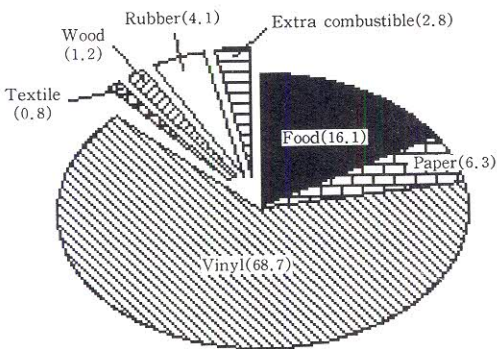


Fig. 13. The contribution rates of Cadmium in each combustible waste of S area.

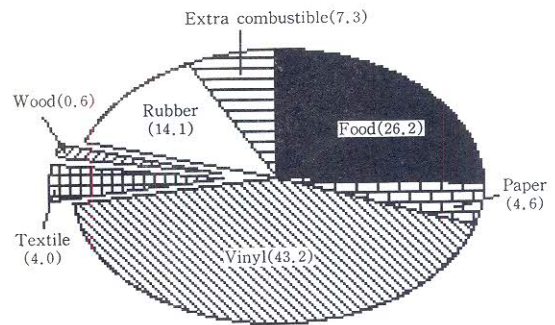


Fig. 16. The contribution rates of Lead in each combustible waste of S area.

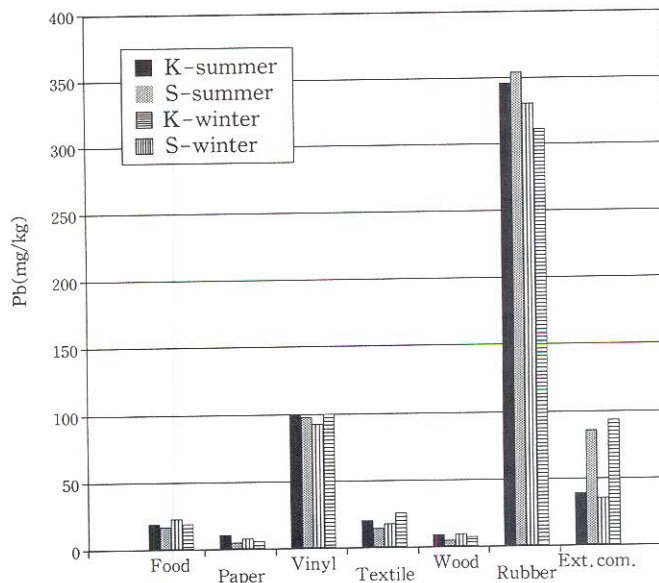


Fig. 14. Lead concentration in each combustible material.

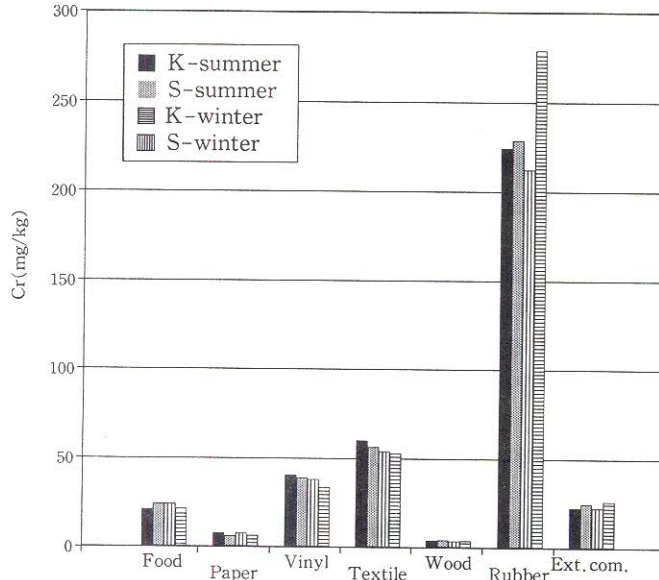


Fig. 17. Chromium concentration in each combustible material.

라스티류가 40%, 그리고 가죽·고무류가 14% 정도이다. 가죽·고무류는 전체 성분중 1.1~3.1%를 차지하는데 반해 그 중금속 함유량 중 기여도가 14%를 나타낸다는 것은 그 함유량이 대단히 높고 착색안료로써⁷⁾ Pb이 사용되는 가죽·고무류에 대한 주의가 필요하다는 것이다. 비닐·플라스틱류 역시 전체성분 중 차지하는 비율에 비해 4배나 기여도가 높음을 알 수 있다.

6. 총크롬

종이류에 5.9 ppm, 목재류에 3.5 ppm으로 아주 낮게 함유되어 있으며, 음식물류와 비닐, 섬유류에 19.4~59.4 ppm으로 구분되어 있지만 가죽·고무류에서 최고

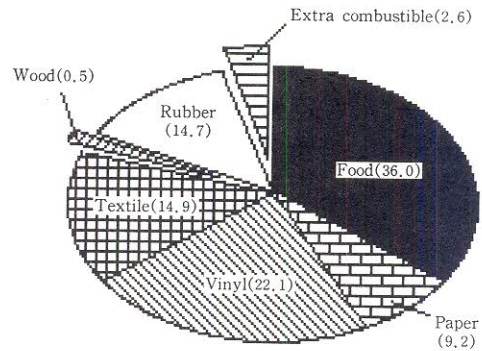


Fig. 19. The contribution rates of Chrome in each combustible waste of S area.

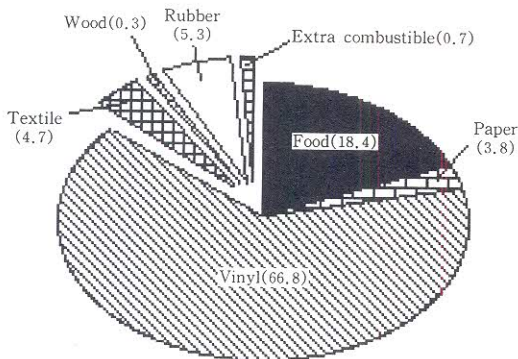


Fig. 18. The contribution rates of Chrome in each combustible waste of K area.

277.5 ppm까지 함유되어 있는 것으로 나타났다. 각각의 가연성분에 대한 함유량은 K구와 S구가 차이가 없는 것으로 보여지며, 이것에 대한 막대그래프는 Fig. 17과 같다.

또한 발생분율에 의해 원그래프를 그려보면 Fig. 18, Fig. 19와 같으며, K구에서는 역시 비닐·플라스틱류의 기여도가 66.8%인데 반하여, S구에서는 섬유류가 14.9%, 가죽·고무류가 14.7%로 상대적으로 높고 비닐·플라스틱류가 22.1%로 발생분율에 의해 다소간의 차이점을 보인다.

결 론

서울시의 K구와 S구를 대상으로 생활쓰레기에 대한 중금속의 함유량 및 각 가연성분 발생분율에 의한 기여도를 조사하였다.

그 결과로는

1. 지역간의 특성은 거의 없었으나, S구에서 도심지역에서는 보기 힘든 준공업지역이 포함되어 있어 기타가연물에서 Pb의 농도가 3배 정도 높은 값을 나타냈으며, 계절별 차이 역시 본 시료가 건조기준인 관계로 큰 차이가 없었다.
2. 생활쓰레기 중에도 중금속이 상당량 함유되어 있는 것으로 나타났으며, 각 가연성분에 대한 중금속 발생기여도를 알아본 결과 Cu에서는 종이류, Mn에서는 음식물류, Zn에서는 섬유류, Cd에서는 비닐·플라스틱류, Pb의 경우 역시 비닐·플라스틱류와 가죽·고무류, Cr에서는 비닐·플라스틱, 가죽·고무류, 섬유류가 그 전체 중금속 함유량에 대한 기여도가 컸다.
3. 가죽·고무류와 비닐·플라스틱류는 발생분율은 낮지만 중금속 발생기여도는 대단히 높으며, 이는 두 성분에 대한 특별한 관리대책을 요구한다.

참 고 문 헌

1. 한국자원재생공사 : 폐기물 처리방법별 경제성 및 환경성 비교평가, 30(1994)
2. 유기영 : 도시폐기물의 효과적 관리를 위한 요건, Seoul Development Institute Forum No. 5, 46 (1993)
3. E.M. Bulewicz, S. Kandefer, C. Jurys : Fluid bed combustion of Waste materials and difficult fuels, Proc. of the 1989 Int. Conf. on FBC, 85 (1989)
4. 도갑수, 장일영, 이성희 : 도시고형폐기물의 발생원별 관리에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 3(2):97 (1986)
5. 이승무, 이수구, 김윤식, 조창호 : 도시폐기물 소각을 위한 지역별 쓰레기 성장에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 12(1):111(1995)
6. 환경처 : 폐기물 공정시험법, 고시 제91-97호, (1991)
7. 김정현 : 폐기물 처리공학, 형설출판사, p.28(1990)
8. 이승무 外 : 도시고형폐기물 소각을 위한 쓰레기 성분분석 및 발열량 조사연구, 한국폐기물학회지 9(2): 241(1992)
9. The MERCK Index : 9930(1983)
10. 서울시립대학교 수도권연구소 : 자원회수시설건설 기본계획을 위한 폐기물 성분분석(1994)