

소규모 도시의 생활폐기물 발생특성 -동해시를 중심으로-

Characteristics of Municipal Solid Wastes Generation in a Small City -For Donghae City-

김 승 호* 원 철 희** 김 병 옥*** 임 재 명****
Kim, Seung-Ho Won, Chul-Hee Kim, Byoung-Ug Rim, Jay-Myoung

Abstract

This research was performed to investigate the generation and physico-chemical characteristics of municipal solid wastes. The results were as follows: i) The generation rate and bulk density were 0.157 kg/cap/d and 147.8 g/L in residential zone, respectively. In non-residential zone, the generation and bulk density were 1.71 kg/cap/d and 85.6 g/L, respectively. Consequently, bulk density of non-residential zone was lower than that of residential zone. ii) The wastes consisted of 90% of combustibles and 10% of incombustibles in residential zone. And the wastes from non-residential zone was composed 85% of combustibles and 15% of incombustibles. iii) Water content was estimated at 47~50% in residential zone and restaurants. In non-residential zone, except restaurants, water content was in the range of 10~30%. Ash content was nearly 10% in overall zone.

키워드: 발생량, 겉보기밀도, 함수비, 회분

Keywords: Generation rate, Bulk density, Water content, Ash content

1. 서론

인간의 생활수준이 향상되고 산업이 발달함에 따라 생활쓰레기는 필연적으로 발생되며 생활양식, 소득수준, 지역특성 그리고 계절변화 등에 따라 발생량 및 성상이 다양하게 나타난다.

어느 지역에서 발생하는 쓰레기의 발생량 및 물리·화학적 특성은 쓰레기의 적정 관리체계 수립 및 효율적인 최종처리시설의 설계, 운영 및 소요장비의 선정 그리고 자원회수를 위한 재활용 등의 정책결정을 위해 파악해야 할 중요한 요소이다.[1][2] 그러나 지금까지 이러한 구체적인 조사연구가 수행된 예가 적고 단편적인 조사 및 분석에 그치는 경우가 많았다. 이에 본 연구에서는 동해시를 대상으로 주거형태와 업종별 쓰레기 배출특성을 보다 상세하게 조사하여 차이점과 유사점을 비교·분석함으로써 발생하는 생활쓰레기를 효율적으로 처리·처분하는데 필

요한 정책 수립시 기초자료로 제시하고 발생하는 쓰레기가 환경질에 미치는 영향을 최소화 할 수 있도록 하고자 하였다.

2. 조사 방법

2.1 조사기간 및 조사대상지역

동해시에서 발생하는 생활폐기물의 물리·화학적 특성을 조사하기 위하여 봄(2002. 4. 30 ~ 5. 2), 여름(2002. 8. 13 ~ 8. 16), 가을(2001. 10. 31 ~ 11. 1), 겨울(2002. 2. 4 ~ 2. 6)별로 각 1회씩 조사를 실시하였다.

또한, 계절별 발생하는 생활폐기물은 가정부문(아파트, 연립주택, 다세대주택, 단독주택)과 비가정부문(음식점, 공장, 상가, 관공서, 숙박업)으로 구분하였으며, 동해시내 중심가를 포함한 외곽지역 및 면 단위 지역도 조사대상지역에 포함하여 수행하였다.

2.2 발생량 조사 및 분석방법

생활폐기물의 발생량은 1차 조사(설문 조사)와 2차 조사(발생 특성 조사)로 나누어 실시하였다. 1차 조사는 가정이나 사업장을 직접 방문하여 가정주부나 사원들을 대상으로 설문지를 배포하여 교육수준,

* 삼척대학교 환경공학과 교수, 공학박사
** 강원대학교 환경공학과 박사과정
*** 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터, Post-Doc.
**** 강원대학교 환경공학과 교수, 공학박사

가죽구성원수, 쓰레기 배출일수, 월 평균 소득 등을 조사하였으며, 2차 조사에서는 종량제 봉투를 수거하여 겉보기 밀도, 성분별 함량의 물리적 특성과 함수비, 화학적 조성 등의 배출 특성을 조사하였다.

생활폐기물의 겉보기 밀도는 종량제 봉투내 총무게를 측정된 후 봉투의 부피로 나누어 계산하였다. 성분별 함량은 가연성 성분(음식물, 종이, 나무, 고무, 피혁, 플라스틱, 섬유, 가연성 기타)과 불연성 성분으로 구분하였으며, 불연성 성분은 다시 9종류(금속, 유리, 유리의 초자, 토사, 회분, 침출액, 건전지, 건설폐기물, 불연성 기타)로 구분하여 무게의 비율(%)로 산출하였다.

함수비는 일정량의 쓰레기를 건조기에서 105±5℃로 2시간 건조시킨 후 데시케이터에서 항량이 될 때까지 방냉하여 초기 쓰레기 무게에 대한 수분함량을 백분율로 산정하였으며, 회분은 수분함량 측정 후 건조시료를 2mm이하로 분쇄하여 800~900℃의 전기로에서 연소시켜 남은 회분의 양으로 산정하였다. 또한, 가연분은 수분과 회분 함량을 제외한 나머지량으로 산출하였다.

원소분석과 같은 화학적성분 분석은 소각시 쓰레기의 성상을 파악하는데 중요한 자료가 되며, 발열량은 소각로의 설계와 운영시 중요한 인자로 고려되고 있다. 쓰레기의 화학적 성분을 분석하기 위하여 원소분석기(PERKIN ELMER 2400 II CHNS/O)를 이용하여 C, H, O, N, S의 5가지 성분을 분석하였다. 건조시료를 미세한 분말상태로 분쇄한 후 시험직전 다시 건조하여 수분함유로 인한 오차를 최대한 감소시켰으며, 분석에 이용한 시료의 양은 약 1.5~2mg이었다. 원소분석기는 Combustion Temp.는 974℃, Reduction Temp.는 501℃, Detector Oven은 82.4℃ Pressure는 240.1 mmHg, Detector는 9366 CNTS로 운전하였다.

3. 조사 결과 및 고찰

3.1 가정부문의 발생특성

표 1에는 가정부문 생활폐기물의 발생원단위(kg/cap/d) 및 겉보기 밀도, 가연성 및 불연성 물질의 성분별 함량을 계절 및 주거형태별로 제시하였다.

1인 1일당 발생량은 계절에 따라 봄 0.121, 여름 0.082, 가을 0.334, 겨울 0.089kg으로 나타났으며, 평균 발생원단위는 0.157kg/cap/d로서 기 보고된[3][4] 0.22~0.5kg/cap/d과는 많은 차이가 나는 것으로 조사되었다. 이는 지역적 특성과 조사기간의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 겉보기 밀도는 평균 147.8g/L로서 윤과 박[5]이 보고한 157.5g/L와 유사하였고, 가을철에 281.6 g/L로 가장 높게 나타났으며, 여름철에 81.8 g/L로 가장 낮게 조사되어 계절별로 매우 큰 차이를 보였다.

계절별 가연성 성분 함량은 봄 89.4%, 여름 82.1%, 가을 98.0%, 겨울 94.0%로 나타났으며, 음식물은 각각 31.1%, 47.5%, 71.6%, 13.6%로서 가을철은 환경부[3] 통계자료의 전국 평균치인 39.4%보다 높게 나타났으며, 겨울철은 상대적으로 매우 낮은 것으로 조사되었다.

불연성 성분은 발생량의 약 10%를 차지하고 있었으며, 계절별로 발생 성분과 함량은 매우 불규칙한 것으로 조사되었다. 특히 봄, 가을, 겨울에는 금속, 유리, 유리의 초자 등이 전체의 93~97%로 매우 높은 비중을 차지한 반면, 여름에는 폐기물내에 다량의 건전지 등으로 인해 약 77%만을 포함하고 있는 것으로 조사되었다.

그림 1에는 주거형태별 발생원단위를 계절별로 따라 제시하였다. 단독주택의 발생원단위는 계절별로 0.091~0.236kg/cap/d(평균 0.136)으로 나타났으며, 아파트, 연립주택, 다세대 주택은 각각 0.061~0.450(평균 0.173), 0.129~0.277(0.180), 0.073~0.292(0.140)kg/cap/d로 조사되었다. 평균값으로는 연립주택의 발생원단위가 0.180kg/cap/d로 가장 높게 나타났으나, 계절별 주거형태에 따른 발생원단위는 봄철의 경우 연립주택이 0.277kg/cap/d, 여름철은 연립주택이 0.129kg/cap/d, 가을철에는 아파트가 0.450kg/cap/d, 겨울철에는 단독주택이 0.112 kg/cap/d로 발생량의 변화가 심한 것으로 조사되었다.

주거형태별 겉보기 밀도는(그림 2) 단독주택의 경우 135.7g/L, 아파트는 178.3g/L, 연립주택은 169.3g/L, 다세대 주택은 107.9g/L로서 아파트와 연립주택에서 배출되는 생활폐기물의 겉보기 밀도가 다세대 주택이나 단독주택의 겉보기 밀도보다 상대적으로 높은 것으로 조사되었다. 한편, 이를 전국폐기물 통계조사 자료[6]인 단독주택 230g/L, 아파트 240g/L, 연립주택 222g/L와 비교해보면 매우 낮은 수치로 조사되었다. 계절별로는 봄, 여름 겨울에는 주거형태에 따라 겉보기 밀도의 차이가 거의 없었으나, 가을에는 주거형태에 따라 차이가 많이 발생하였다. 이와 같이 주거형태에 따라 발생원단위 및 겉보기 밀도의 차이가 발생하는 것은 각 가정의 소득 및 생활수준의 차이 등에 기인하는 것으로 사료된다.

그림 3에는 생활폐기물의 계절 및 주거형태에 따른 물리적 조성을 나타내었다. 계절에 따라 가연성 성분의 함량은 82.1~98.0%으로 변화하였으며, 음식물과 종이류가 발생량의 59.3~87.1%로서 계절에 따라 많은 차이를 보였다. 특히, 음식물은 13.6~71.6%로 차이가 매우 심하였는데, 이는 음식물의 분리수거를 제대로 실시하지 않음으로 인하여 남은 잔반을 종량제 봉투에 직접 투입하고 있기 때문에 그 차이가 큰 것으로 사료된다.

한편, 주거형태에 따른 물리적 함량 역시 음식물과 종이류가 대부분을 차지하고 있으며, 음식물은 38.9~62.7%로 변화가 심하였으나, 종이는 20.2~28.4%로 주거형태에 따라 유사한 발생량을 나타내었다(그림 4).

표 1. 가정부분 생활폐물의 물리적 특성

구분	계절				주거형태			
	봄	여름	가을	겨울	단독주택	아파트	연립주택	다세대주택
발생원단위 (kg/cap/d)	0.121	0.082	0.334	0.089	0.136	0.173	0.180	0.140
겉보기밀도(g/L)	103.6	81.8	281.6	124.3	135.7	178.3	169.3	107.9
가연성(wt%)	89.4	82.1	98.0	94.0	94.0	94.0	84.9	88.9
음식물	31.1	47.5	71.6	13.6	51.3	45.9	38.9	62.7
종이	37.1	18.1	15.5	45.7	24.9	28.4	25.0	20.2
나무	2.4	2.3	0.1	0.3	0.8	1.3	1.1	0.2
고무	0.5	0.4	-	0.1	0.1	0.5	0.3	-
가죽	0.6	0.4	-	0.1	0.1	0.6	-	-
플라스틱	16.5	12.2	5.8	21.5	11.6	12.4	14.5	4.1
섬유	0.9	0.5	1.7	2.8	1.7	1.6	0.4	1.0
가연성 기타	0.4	0.6	3.3	10.0	3.5	3.4	4.7	0.7
불연성(wt%)	10.6	17.9	2.0	6.0	6.0	6.0	15.1	11.1
금속	23.8	61.5	10.8	28.5	28.1	36.9	41.9	33.0
유리	72.3	27.2	59.0	58.9	47.1	33.4	52.1	61.1
유리의 초자	2.9	1.6	-	-	12.1	17.2	-	-
토사	-	-	22.5	3.5	-	-	-	-
회분	-	-	1.8	-	0.1	-	-	-
침출액	0.4	0.2	0.1	0.1	0.4	-	-	-
건전지	-	5.0	4.9	7.1	9.5	11.7	0.6	-
건설폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-
불연성 기타	0.5	4.5	1.0	2.0	2.6	0.8	5.4	5.9

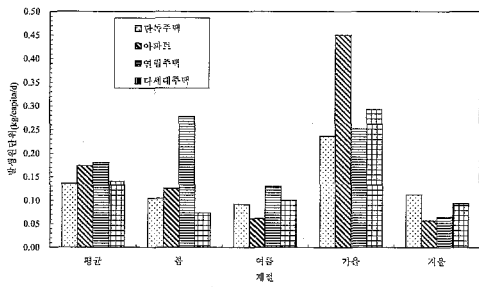


그림 1. 계절에 따른 주거형태별 발생원단위

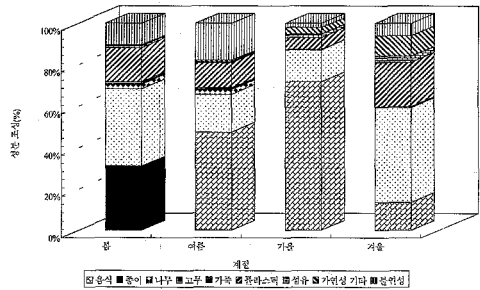


그림 3. 계절별 물리적 조성(가정부분)

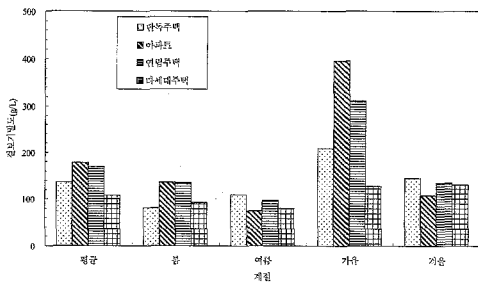


그림 2. 계절에 따른 주거형태별 겉보기밀도

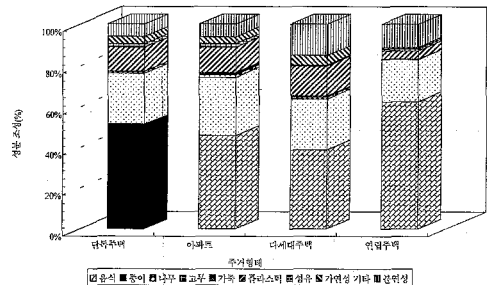


그림 4. 주거형태별 물리적 조성(가정부분)

표 2. 비가정부문 생활폐기물의 물리적 특성

구분	계절				업종				
	봄	여름	가을	겨울	음식점	공장	상가	공공행정	숙박업
발생량(kg/d)	0.92	1.00	2.39	2.54	2.47	1.19	0.60	1.17	3.13
겉보기 밀도(g/L)	64.5	39.1	112.8	126.2	130.7	83.9	89.5	68.2	55.9
가연성(wt%)	87.0	79.8	82.6	91.4	90.1	82.0	90.9	77.3	77.4
음식	14.8	25.6	0.6	24.4	39.7	0.7	5.1	1.3	3.5
종이	46.6	32.3	39.9	35.1	21.2	40.4	48.8	60.9	26.3
나무	2.1	5.3	1.2	1.0	1.7	5.2	1.3	1.1	0.5
고무	3.8	0.9	0.6	0.5	1.7	1.5	2.1	0.1	-
가죽	0.3	-	-	-	0.2	-	-	-	-
플라스틱	15.8	13.3	17.3	17.5	11.6	22.2	21.5	10.3	31.7
섬유	3.3	1.5	4.3	3.0	4.2	3.6	2.0	1.1	6.7
가연성 기타	0.3	1.0	18.7	10.0	9.8	8.2	10.2	2.5	8.8
불연성(wt%)	13.0	20.2	17.4	8.6	9.9	18.0	9.1	22.7	22.6
금속	25.4	63.0	14.4	29.7	43.6	44.3	27.1	17.3	7.7
유리	70.5	24.1	74.5	57.4	47.3	53.6	43.3	77.2	29.4
유리의 초자	3.1	1.8	-	-	2.7	-	-	1.3	-
토사	-	-	0.3	0.6	0.4	-	-	-	62.9
회분	-	-	2.5	-	2.8	-	-	-	-
침출액	0.4	0.2	0.2	0.1	0.7	-	-	0.1	-
건진지	-	5.8	6.8	7.4	0.5	2.1	26.2	0.8	0.1
건설폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-
불연성 기타	0.6	5.2	1.2	1.8	2.0	-	3.4	3.2	0.1

3.2 비가정부문의 발생특성

표 2에는 비가정부문 생활폐기물의 발생량(kg/d) 및 겉보기 밀도, 가연성 및 불연성 물질의 성분별 함량을 계절 및 업종별로 제시하였다.

비가정부문의 경우 방문하는 고객의 수가 일정하지 않은 관제로 발생원단위(kg/cap/d)는 산정하지 않고 1일 기준의 발생량을 산정하였다. 평균 발생량은 1.71kg/d로서 계절에 따라 각각 0.92, 1.00, 2.39, 2.54kg/d의 발생량을 보였으며, 계절별로 매우 큰 차이를 보였다. 한편, 업종별 발생량은 숙박시설이 3.13kg/day로 가장 높았으며, 음식점은 2.47 kg/day, 공장은 1.19kg/day, 공공행정은 1.17kg/day 그리고 일반 소매 상가에서는 0.60kg/day로 가장 낮게 나타났다. 이는 공장의 경우 주로 금속과 연관된 지역을 대상으로 조사하였기 때문에 대부분의 폐기물은 재활용품으로 수집되고 있었으며, 공공행정 시설은 자체적으로 쓰레기의 분리수거를 실시하고 있기 때문에 종량제 봉투에 수거되는 양은 매우 적어 이와 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다.

조사기간 동안의 평균 겉보기 밀도는 85.6g/L로 조사되었으며, 계절별로는 봄 64.5g/L, 여름 39.1g/L, 가을 112.8g/L, 그리고 겨울 126.2g/L로서 계절에 따라 매우 큰 차이를 보였다. 업종별 겉보기 밀도는 음식점에서 130.7g/L로 가장 높았으며, 숙

박시설에서 가장 낮은 55.9g/L로 가정부문의 평균 147.8g/L에 비하여 매우 낮게 나타났다.

그림 5에는 계절별 업종에 따른 발생량을 제시하였다. 봄과 여름철은 발생량의 비가 다소 유사하였으나 가을철은 숙박업이 다른 업종에 비하여 매우 높았으며, 겨울철은 음식점과 숙박업이 매우 높은 것으로 조사되었다.

겉보기 밀도는 음식점에서 높게 나타났으며, 특히 겨울철 음식점에서 가장 높은 수치를 나타내었다(그림 6).

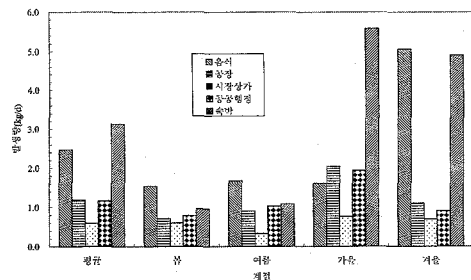


그림 5. 계절에 따른 업종별 생활폐기물 발생량

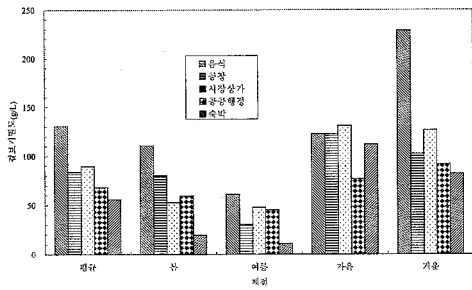


그림 6. 계절에 따른 업종별 생활폐기물의 결보기밀도

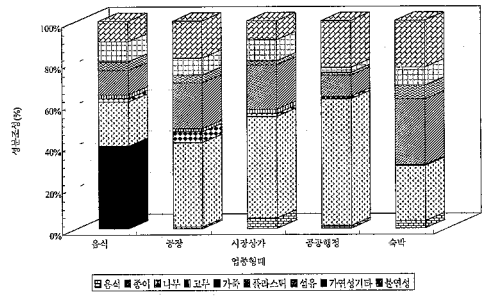


그림 8. 업종별 생활폐기물의 물리적 조성 (비가정부분)

그림 7에는 계절별 성분함량을 나타내었으며, 그림 8에는 업종별 성분함량을 제시하였다. 가연성 물질은 약 85%로서 폐기물의 성분은 음식물, 종이, 플라스틱이 대부분을 차지하고 있으며, 가정부분에 비하여 비가정부분의 특징은 전체에서 음식물이 차지하는 비율이 0.6~25.6%로 매우 낮다는 것이다. 특히, 업종에 따라서는 음식점을 제외한 대부분의 업종에서 5% 이하의 낮은 함량을 보이는 것으로 조사되었다.

불연성 물질은 평균적으로 약 15%를 차지하고 있으며, 금속과 유리가 대부분을 차지하였다. 특히 하계 음식점에서도 금속과 유리 성분이 많은 것으로 조사되었는데 이는 병뚜껑과 깨진 유리 조각 등이 많이 포함되어 배출된 결과에 기인된다. 또한, 숙박 시설의 경우 금속의 함량이 적는데 비하여 토사류가 전체의 62.9%로 매우 높게 나타났는데, 이는 청소 등을 한 후 나오는 모래나 흙 등을 종량제 봉투에 직접 투입하여 배출된 결과로 사료된다.

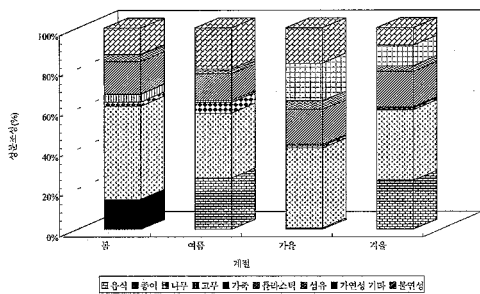


그림 7. 계절별 생활폐기물의 물리적 조성 (비가정부분)

3.3 화학적 성상

생활폐기물의 화학적 성상은 마지막 조사기간(2002. 8. 13 ~ 8. 16)에 한하여 1회를 실시하였다.

삼성분 분석결과를 보면 용도에 따라 많은 차이를 보였으며, 수분의 경우 단독주택, 공동주택(아파트, 연립주택, 다세대주택), 음식점에서 약 47~50%의 범위로써 윤과 박[5]이 보고한 39~57%의 범위와 유사한 것으로 조사되었으며, 그 외 지역에서는 10.2~30.2%로 낮게 나타났다. 이는 주택지역이나 음식점의 경우 발생하는 생활폐기물의 성분중 음식물류의 수분에 기인하는 것으로 판단되며, 이들 지역에서 발생하는 생활폐기물의 처분시 발생원으로부터 가능한 수분을 제거하여 배출하는 노력이 필요할 것으로 판단된다. 회분의 경우 배출원에 따라 차이는 거의 없었으며, 전체적으로 10.0~11.3%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 가연분의 함량은 단독주택 및 공동주택은 약 40~43%로 나타났으며, 공장, 시장상가, 공공행정, 숙박업 등은 58.5~79.8%의 높은 함량을 보이는 것으로 나타났다. 특히 공공행정은 가장 높은 79.8%의 가연분을 함유한 것으로 나타났는데, 이는 발생하는 생활폐기물의 약 60%가 종이인 관계로 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

표 4에는 생활폐기물의 화학적 조성결과와 발열량 분석결과를 나타내었다. 생활폐기물의 화학적 조성의 경우 탄소(C)는 44.5~49.2%로 유사하게 나타났다. 이는 발생하는 생활폐기물 중 가연성 성분의 대부분을 음식물류와 종이류 등이 차지하는 것에 기인되는 것으로 판단된다. 건조고위발열량의 경우 4,583~5,324 kcal/kg의 범위로 조사되었으며, 습윤저위발열량은 1,423~3,254 kcal/kg으로 많은 차이가 나는 것으로 조사되었다. 이는 각 생활폐기물이 함유하고 있는 음식물의 종류와 수분의 함량이 달라 나타난 결과로 사료된다.

표 3. 조사지점에 따른 삼성분 분석결과

구분	단독주택	아파트	연립주택	다세대주택	음식점	공장	시장상가	공공행정	숙박업
수분(%)	48.9	49.3	47.2	47.8	51.3	23.4	30.2	10.2	22.1
회분(%)	10.8	11.2	10.3	10.1	10.9	11.2	11.3	10.0	10.4
가연분(%)	40.3	39.5	42.5	42.1	37.8	65.4	58.5	79.8	67.5

표 4. 조사지점에 따른 화학적 조성 및 발열량

Item	Chemical composition(wt%) [#]					FS	Caloric value(kcal/kg) [#]	
	C	H	O [#]	N	S		HHV [*]	LHV ^{**}
단독주택	48.6	8.7	28.9	1.9	1.1	10.8	5,218	1,423
Apartment	47.2	8.3	30.3	2.0	1.0	11.2	5,039	1,358
연립주택	48.6	8.4	29.8	1.8	1.1	10.3	5,127	1,442
다세대주택	45.8	8.5	32.7	2.0	0.9	10.1	5,324	1,526
음식업	49.2	7.8	29.2	1.9	1.0	10.9	4,938	1,395
공장	48.3	7.9	30.2	1.6	0.8	11.2	4,583	2,869
시장상가	45.6	7.5	33.2	1.5	0.9	11.3	4,826	3,254
공공행정	44.5	8.0	35.4	1.3	0.8	10.0	4,722	3,028
숙박업	47.2	7.7	32.7	1.0	1.0	10.4	4,669	3,124

화학적 조성과 발열량은 가연성 폐기물만으로 산출하였음.

O성분은 100%-(C+H+N+S+회분)로 산출하였음.

* 건조고위발열량(HHV) : 단열열량계에 의한 직접 측정

** 습윤저위발열량(LHV) : 건조고위발열량과 원소 분석치에 의한 산출

4. 결론

1. 생활폐기물 가정부문(단독주택, 아파트, 연립주택, 다세대주택)의 평균 발생량과 결보기 밀도는 0.157 kg/cap/d, 147.8 g/L로 조사되었으며, 비가정부문(음식점, 상가, 공장, 공공행정, 숙박업)의 발생량과 결보기 밀도는 각각 1.71 kg/cap/d와 85.6 g/L로서 결보기 밀도의 경우 가정부문에 비하여 매우 낮은 것으로 조사되었다.

2. 성분별 조성은 가정부문의 경우 약 90%의 가연성 물질과 10%의 불연성 물질로 구성되어 있으며, 비가정부문의 경우 85%의 가연성 물질과 15%의 비가연성 물질로 이루어진 것으로 조사되었다.

3. 삼성분 중 수분함량은 가정부문과 음식점에서 약 47~50%의 높은 함유비를 보였으며, 그 외 조사지점에서는 약 10~30%인 것으로 조사되었다. 또한, 각 조사지점에서 회분은 약 10%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] 구자공, 쓰레기의 질적특성 및 처리방법에 관한 연구, 한국환경과학연구협회, 1990.
- [2] Wilson, D. C., Waste Management, Planning, Evaluation, Technologies, Clarendon Press, Oxford, 1981.
- [3] 환경부, 2001 전국 생활폐기물 발생 및 처리현황, 2002.
- [4] 허관, 문옥란, 왕승호, "순천시의 생활폐기물 발생량 예측 및 재활용시설의 용량산정에 관한 연구", 폐기물자원화, Vol. 9, No. 4, pp. 125~134, 2001,
- [5] 윤성윤, 박소영, "군단위지역에서 배출된 생활폐기물의 물리·화학적 조성 분석에 관한 연구", 한국폐기물학회지, Vol. 14, No. 4, pp. 367~373, 1997.
- [6] 환경부, '96 전국폐기물통계조사, 1997.