

울산시 생활폐기물 배출량 및 특성조사에 관한 연구

박홍석 · 이상윤
토목공학과

<요 약>

본 연구에서는 울산시 소각시설의 설계에 필요한 기초자료를 도출하기 위하여 처리대상이 되는 생활계 폐기물의 발생량, 물리적 및 화학적 특성을 조사하였다. 연구기간동안 매립장으로 1 일 평균 반입량은 629.5톤으로 수거인구 752,864명을 고려하면 배출원단위는 0.84 kg/인·일 이었다.

울산시의 매립지로 운반되는 폐기물의 적재밀도는 일반차가 평균 217.8 kg/m³이었으며 압축차가평균 382.1 kg/m³ 이었다.

울산시의 일반폐기물의 성상은 유기성 64.5%, 무기성 35.5%이었으며 가연분의 삼성분은 수분 48.3%, 가연분 44.9%, 회분 6.8%이었고 총폐기물에 대한 저위발열량은 1496-1949 kcal/kg으로 평균 1731 kcal/kg이었다.

A Study on the Generation and Composition of Municipal Solid Waste in Ulsan

Park, Hung-Suck · Lee, Sang-Yoon
Dept. of Civil Engineering

<Abstract>

The quantity and the characteristic of municipal solid wastes(MSWs) generated in Ulsan were investigated to collect the basic design data for solid waste incineration facilities by conventional composite sampling method at landfills. The average daily

* 본 연구는 주)해강의 연구비 지원에 의해 수행되었음

quantity of MSWs transported to the landfills was 629.5 ton and the population of Ulsan was 752,864. Thus the unit generation rate of MSWs was estimated to be about 0.84 kg/cap · day.

The specific loading weight of MSWs transported by general truck was 217.8 kg/m³ while that of compact truck was 382.1 kg/m³. The organic and inorganic portion of collected MSWs were 64.5 and 35.5% respectively. The composition of combustible municipal solid waste was moisture 48.3%, combustible 44.9% and residual 6.8%. The low heating value of solid waste as discarded was in th range of 1496-1949 kcal/kg and average was 1731 kcal/kg.

1. 서 론

경제성장과 생활수준의 향상으로 생활폐기물의 발생량은 증가하고 폐기물의 성상도 다양해졌으나 94년 현재 전국적으로 발생한 생활폐기물은 11.5%만 재활용되고, 86.1%는 매립처분, 2.4%는 소각처리되는 것으로 나타나 아직도 대부분의 생활폐기물이 매립처분에 의존하고 있는 실정이다. 울산시의 경우도 급격한 산업화와 도시화로 발생하는 막대한 양의 생활폐기물을 처리하기 위해 남구 삼산동 13-6번지(여천동 1268-2번지)일원 426,334 m²의 저습지에 가용용적 2,984,338 m³(평균 매립고 7m)로 조성하여 1981년부터 1994년 3월 31일까지 생활폐기물을 전량 매립처분하였다.

그러나 1995년 1월 1일부로 울산군과의 통합으로 폐기물 관리구역이 크게 증대하였으므로 현재와 같이 발생폐기물을 전량 매립에 의존할 경우 향후 10년을 목표로 1994년 4월부터 가동중인 상암매립장의 사용기간이 크게 단축될 것으로 판단된다.

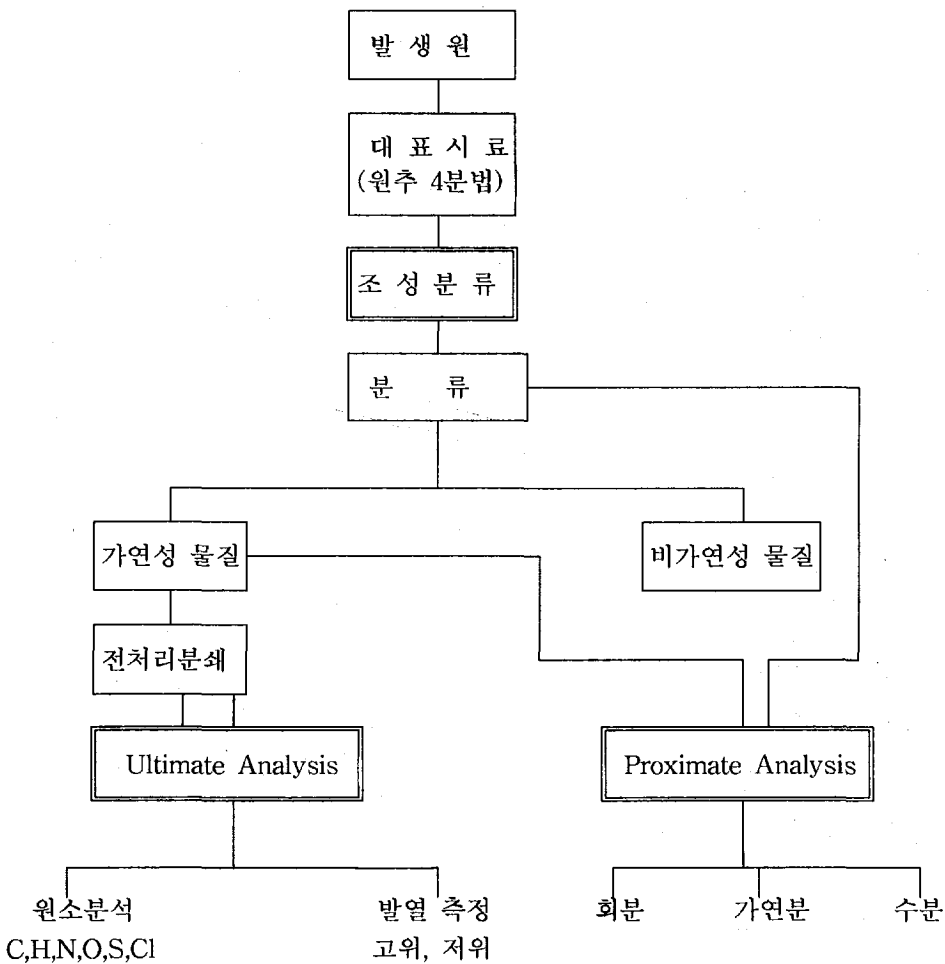
따라서 재활용 강화, 중간처리 다변화 및 처리율 증대 등 국가 폐기물정책에 부응하면서 1995년 1월부터 전국적으로 실시되는 쓰레기종량제하에서 가동중인 매립장을 최대한 이용할 수 있는 종합적인 폐기물 대책이 시급하다고 할 수 있다.

하지만 울산시의 경우 규모는 광역시이면서 행정능력은 일반시에 해당되므로 광역시나 광역시의 자치구에서 실시되고 있는 폐기물 성상조사가 거의 이루어지지 않아 향후 폐기물 관리를 위해 이 분야의 체계적인 자료가 매우 부족한 실정이다. 특히 울산은 공단도시라는 특성 때문에 기존 다른 도시의 자료를 사용하기도 어려움이 있으므로 울산에서 직접조사된 자료의 데이터화는 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구는 현재 울산시가 정부의 폐기물 정책에 부응하고 지역사회의 폐기물 문제에 효과적으로 대처하기 위하여 추진하고 있는 폐기물 소각시설의 설계에 필요한 기초자료를 도출하기 위한 연구였다. 따라서 본 연구에서는 현재 매립장에 버려지고 있는 처리대상이 되는 폐기물의 발생량, 배출특성을 조사하고 물리적, 화학적 조성 등을 실험적으로 연구 및 분석하였다.

2. 조사 및 분석방법

폐기물의 발생량을 조사하는 방법으로는 차량수의 계수법, 직접계근법, 물질수지법 및 Model 식을 이용하는 방법이 있으나 직접계근법이 가장 신뢰도가 큰 방법이다. 본 연구에서는 매립장으로 반입되는 폐기물의 직접계근에 의하여 울산지역의 생활폐기물 발생량과 발생원단위를 조사하였다. 매립장으로 반입되는 폐기물은 지역, 용도지역별로 단독주택, 공동주택, 상업지역 및 공장지역으로 구분하여 매립장에서 원추사분법에 의하여 대표시료를 추출하여 연구하였다. 본 연구의 조사기간은 94년 10월부터 95년 4월까지였으며 폐기물 조사 흐름도는 그림 1과 같다.



[그림 1] 울산시 생활폐기물의 성상조사 흐름도

1) 성상분류

울산시의 생활폐기물조성 조사방법은 매립장에서 혼합추출시료 조사방법(Composit Sampling)을 이용하였다. 매립장에서 혼합추출시료에 의한 조사를 실시하면서 발생원에 따른 영향을 파악하기 위하여 공동주택, 단독주택, 공장지역, 상업지역으로 구분하여 조사하였다. 성상조사 방법은 시료채취일 전후 3일간 강우가 없는 맑은 날을 무작위로 선정하여 4 개지역에서 반입되는 수거차량중 임의로 1 대를 선정하여 실시하였다. 성상분류는 매립지 현장에서 대형 깔판(6m × 5m)를 이용하여 수거차량 도착 즉시 500 kg 정도를 분취하여 원추사분법으로 분리하였다. 조성은 아래와 같은 가연분 5 개항목(음식물류, 종이류, 비닐플라스틱류, 섬유류, 기타), 불연분 4 개항목(금속류, 유리·초자류, 연탄재, 기타) 등 총 9 개 항목으로 분류하여 중량을 측정하였다.

2) 화학적 성상조사

생활폐기물의 화학적 특성은 폐기물 처리시설의 설계, 소요장비의 선정 및 운영 그리고 자원회수 및 재활용시 파악해야 할 중요한 요소중의 하나이다. 생활폐기물의 화학적 특성은 크게 Proximate Analysis와 Ultimate Analysis로 나누어 분석할 수 있다. 본 연구에서는 소각시설의 설계에 필요한 기초자료를 도출하기 위해 Proximate Analysis로써 삼성분인 수분, 가연분, 불연분과 Ultimate Analysis로써 원소분석(Fison사 EA 1108)과 열량분석(LECO사 모델 AC-300)을 실시하였다. 분석과정은 그림 1에서와 같이 현장에서 조성분류된 시료를 이용하여 분석흐름도에 따라 분석하였다.

(1) Proximate Analysis

① 수분

삼성분중 수분은 폐기물 처리시설의 설계시 고려해야할 중요한 요소이다. 즉 매립시설에서는 폐기물의 압착정도에 따라, 유기성 폐기물의 경우는 수분함량에 따라 생분해반응에 큰 영향을 미치며, 소각 처리의 경우에 폐기물의 수분 함량은 처리 시설 설계시 결정적인 인자로 작용하게 된다.

울산시의 생활쓰레기의 수분함량은 다음 방법에 의해 측정하였다. 특성별로 분류한 각각의 시료를 105°C로 유지된 건조기에 넣고 3일간 유지시킨 다음 4시간 간격으로 무게를 측정하여 함량이 될 때까지 건조함으로써 수분함량을 측정하였다. 각 성상별로 분류한 시료의 건조무게를 (b)라 하고 건조전 각 성상별 시료의 습량기준 무게를 (a)라 하면 각 성분의 수분함량은 (2.1)식을 이용하여 구하여졌다.

$$Wz (\%) = \frac{(a - b)}{a} \times 100 \quad (2.1)$$

폐기물의 전체 수분함량은 (2.2)식을 이용하여 계산하였다.

$$W_T (\%) = \frac{\sum_{i=0}^5 P_{Wi} \times W_i}{P_W} \quad (2.2)$$

여기서, W_T : 전체 폐기물 수분 함량
 P_{Wi} : 각 성분별 조성비(%)
 W_i : 각 성분별 수분 함량(%)

② 가연분 및 회분 함량

수분함량을 구한 후 시료 특성별로 가연성과 비가연성 시료로 구분하여 각각의 점유비율을 정하였다. 가연성 시료는 음식물류, 종이류, 나무류, 섬유류와 비닐·플라스틱류로 구분하고, 비가연성은 금속·알루미늄 및 도자기류 등으로 구분하였다. 회분 측정은 수분측정 후 가연성 폐기물 시료를 분쇄기 및 질삭기를 사용하여 2mm이하로 분쇄한 후 일정량을 칭량하여 전기로내에서 800-900°C로 3시간 작열시키고 향온으로 냉각시켜 향량이 될 때까지 반복하여 측정하였으며 다음의 식을 이용하여 가연분 및 회분을 구하였다.

각 성분의 회분은 (2.3식)으로 구하였다.

$$(A_i, \%) = \frac{\text{강열후의 각시료의 중량 (g)}}{\text{강열전의 각시료의 중량 (g)}} \times 100 \quad (2.3)$$

가연성 건조 폐기물의 회분 함량(Ash dry:Ad)은 식(2.2)와 같이 각 조성을 가중하여 구하였으며, 습량폐기물의 회분은 식(2.4)와 같이 수분을 보정하여 구하였다.

$$(A_{W_i}, \%) = Ad \times \frac{100 - W}{100} \quad (2.4)$$

폐기물 전체에 대한 가연분은 아래의 (2.5)식을 이용하였다.

$$\text{가연분}(\%) = 100 - \text{수분}(W, \%) - \text{생폐기물 회분}(A_w, \%) \quad (2.5)$$

(2) Ultimate Analysis

① 원소분석

시료의 원소분석을 통하여 각 시료가 가지고 있는 생분해성 및 연료화의 가능성을 추측할 수 있으며 나아가 발열량을 간접적으로 계산할 수 있기 때문에 폐기물의 최종처리시설 선정시 원소분석은 중요한 자료중의 하나이다. 본 연구는 울산시 폐기물 소각시설 타당성 조사의 일환으로 실시되었으므로 원소분석대상 폐기물을 매립장 반입 쓰레기에 대하여 실시하며 실제 상황에 근접하도록 하였다. 폐기물의 원소성분 분석항목은 대개 탄소(C), 수소(H), 질소(N), 산소(O), 황(S)으로서, CHNOS자동분석 장치에 의해서 수행되었으며

FISONS사 EA 1108 원소분석기를 사용하였다. 특히 폐기물의 소각시에 다이옥신을 유발시킬 수 있는 염소(Cl)에 대하여 KIST 특성분석센터에 의뢰하여 조사하였다.

② 발열량

발열량은 통상 고위발열량(총발열량)과 저위발열량(진발열량)으로 구분한다. 고위발열량은 연료가 연소될 때 총 발열량을 연소가스 중의 수증기 응축잠열까지 포함한 발열량으로서 단열열량계(Bomb Calorimeter)로 측정된 값이며, 저위발열량은 고위발열량으로부터 수증기의 응축잠열을 뺀 것으로 소각로 설계의 기준이 되고 있다. 폐기물의 저위발열량을 측정하는데는 추정식에 의한 방법, 단열열량계에 의한 방법, 원소분석에 의한 방법 등이 있으며 본 연구에서 실측을 위해 사용한 단열 열량계는 LECO 사의 모델 AC-300 이었다.

3. 결과 및 고찰

1) 매립장 반입폐기물량 및 원단위

1994년 10월부터 1995년 4월까지 울산시 성암매립장에 반입된 생활계 폐기물의 월간 반입량은 그림 2와 같으며 주간반입현황은 그림 3에 나타내었다. 그림 2에 나타나 있듯이 폐기물 반입량은 10월에는 24389.6톤이었으며 11월에는 18158.5톤으로 나타나 종량제가 실시되면서 계절적인 요인이 없다고 한다면 반입폐기물량이 약 25.5%정도 적게 나타나 종량제의 효과가 매우 크다는 것을 수치적으로 보여주고 있다. 그림 3은 요일별 폐기물 반입량을 나타낸 것으로 반입량이 주초와 주말에 높은 형상을 보여주고 있는데 이러한 자료는 폐기물 수집을 위한 배차계획시 또는 소각시설의 폐기물 저장조 설계시 이를 고려되어야 한다.

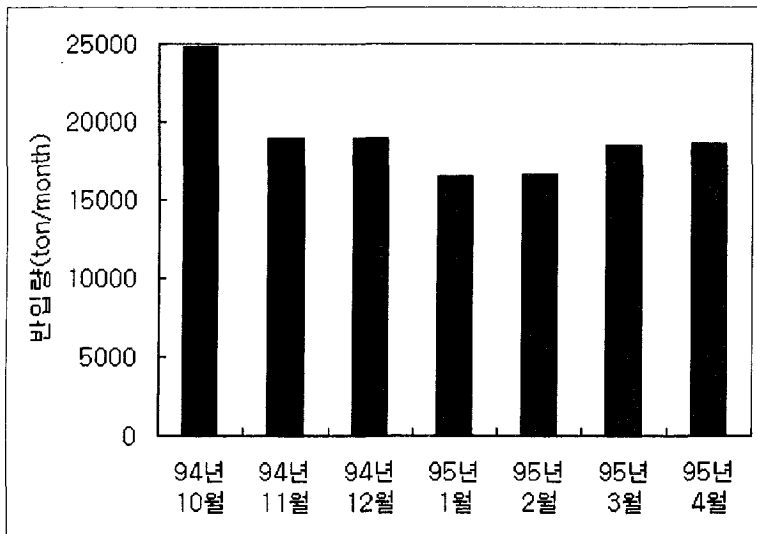


그림 2. 울산시 생활폐기물의 월별 발생량

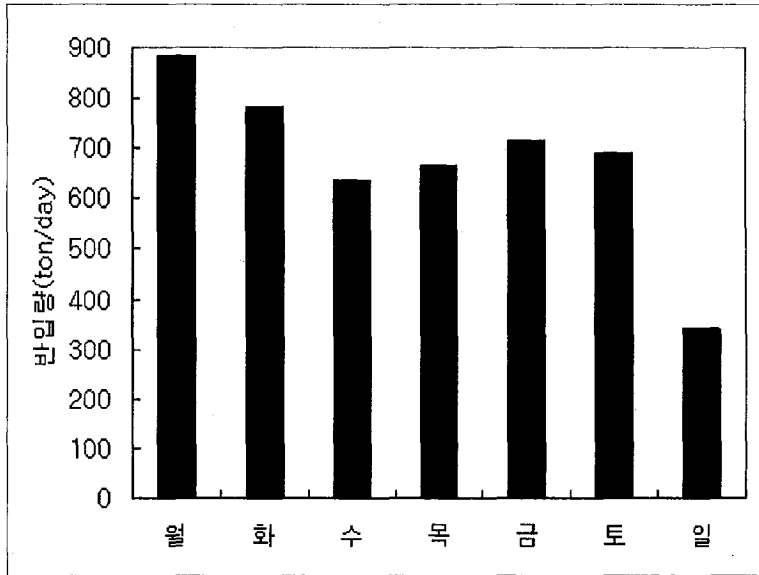


그림 3. 울산시 성암매립장의 주간반입 현황

연구 당시 매립지로 반입되는 지역별의 용도지구별 발생비율을 파악하기 위하여 3 회에 걸쳐 발생비율을 추정하였는데 표 1에 결과를 정리하였다. 표 1에 나타난 바와 같이 울산시의 매립장 반입 쓰레기는 단독주택 35.9%, 공동주택 29.8%, 공장지역 15.8%, 상업지역 18.5%로 나타났다.

표 1 울산시 성암매립장의 지역별 배출 비율

| | 회수 | 남 구 | 중 구 | 동 구 | 합 계 | 발생율(%) | 평균 |
|------|----|-------|-------|-------|--------|--------|------|
| 단독주택 | 1 | 72.62 | 53.30 | 41.31 | 167.23 | 37.2 | 35.9 |
| | 2 | 83.37 | 32.46 | 37.10 | 152.93 | 29.2 | |
| | 3 | 61.86 | 74.15 | 45.52 | 181.53 | 42.8 | |
| 공동주택 | 1 | 68.22 | 30.30 | 40.04 | 138.56 | 30.8 | 29.8 |
| | 2 | 64.49 | 39.15 | 49.62 | 153.26 | 29.3 | |
| | 3 | 71.96 | 21.45 | 30.45 | 123.86 | 29.2 | |
| 공장지역 | 1 | 26.52 | 31.28 | 23.64 | 81.45 | 18.1 | 15.8 |
| | 2 | 43.88 | 44.03 | 23.64 | 111.55 | 21.3 | |
| | 3 | 9.18 | 20.79 | - | 27.71 | 6.5 | |
| 상업지역 | 1 | 30.54 | 19.58 | 12.65 | 62.68 | 13.9 | 18.5 |
| | 2 | 57.59 | 21.02 | 28.84 | 105.45 | 20.2 | |
| | 3 | 36.43 | 34.90 | 19.74 | 91.07 | 21.5 | |

연구기간중 매립장으로 반입된 폐기물은 생활계 폐기물 외에도 건설폐재류가 반입되고 있으므로 성암 매립장으로 반입되는 폐기물을 종량제 실시전과 후로 구분하여 배출원단위를 산출한 것을 표 2에 나타나 있으며 건설폐재류를 포함하지 않을 경우 1 일 평균 반입량은 629.5 톤으로 수거인구 752,864명을 고려하면 원단위는 0.84 kg/인·일이 된다.

같은 기간 단독주택 4개소 공동주택 4개소에 대하여 단위가정에서 조사한 결과를 보면 단독주택의 경우 0.21 - 0.82 kg/인·일 이었으며 평균 0.41 kg/인·일이다. 공동주택의 발생량의 경우 0.26 - 0.51 kg/인·일 이었고 평균 0.37 kg/인·일으로 타지역의 조사결과와 유사한 경향을 보여주고 있다. 그럼에도 가정만을 중심으로 조사한 원단위는 상업지역이나 공공시설에서 발생하는 폐기물을 포함하지 못하여 전체 발생량의 약 1/2 정도에 머무르고 있어 단위 가정조사를 통한 시설설계시에는 이점이 충분히 고려되어야 한다.

표 2 울산시 성암매립장 반입 폐기물을 이용한 원단위 추정치

| 총계 (수거인구: 752,864 인) | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| 종량제 실시 전 | | | | 종량제 실시 후 | | | |
| 생활폐기물 (건설폐재류 미포함) | | 생활폐기물 (건설폐재류 포함) | | 생활폐기물 (건설폐재류 미포함) | | 생활폐기물 (건설폐재류 포함) | |
| 1 일 반입량 (단위:톤) | 원단위 (kg/인·일) | 1 일 반입량 (단위:톤) | 원단위 (kg/인·일) | 1 일 반입량 (단위:톤) | 원단위 (kg/인·일) | 1 일 반입량 (단위:톤) | 원단위 (kg/인·일) |
| 740.3 | 0.98 | 921.7 | 1.22 | 629.5 | 0.84 | 941.9 | 1.25 |

3) 울산시 생활폐기물의 물리적 특성분석

① 반입폐기물 밀도

폐기물의 밀도는 폐기물의 수거 및 운송에 많은 영향을 미치는 중요한 물리적 성질로서 폐기물의 조성 성분, 수분, 폐기물 성분의 크기에 따라 다르고 발생원과 계절에 따라서도 달라진다. 본 연구에서는 매립장으로 반입되는 수거차에 적재된 밀도를 대상으로 조사 하였으며 1995년 4월 4일 하루동안 매립지로 들어온 전 차량에 대하여 조사하였다. 현재 울산시의 폐기물 운반에는 8톤($5.5 \times 2.45 \times 1.72 \text{ m}^3$) 및 4.5톤($3.14 \times 2.4 \times 1.73 \text{ m}^3$, $3.67 \times 1.97 \times 1.34 \text{ m}^3$, $3.4 \times 2.4 \times 1.9 \text{ m}^3$ 등 3 종) 및 소형($3.12 \times 1.8 \times 1.27 \text{ m}^3$)의 일반트럭과 대형($3.8 \times 1.9 \times 1.69 \text{ m}^3$), 중형($3.4 \times 1.4 \times 1.74 \text{ m}^3$), 소형($3.4 \times 1.7 \times 1.3 \text{ m}^3$)의 3 종류의 압축차가 사용되고 있으며 본 연구에서는 울산시 매립장으로 반입되는 모든 차량을 대상으로 각 차량별 및 전체 폐기물의 밀도를 측정하였다.

4) 울산시 생활폐기물의 물리·화학적 특성

울산시의 매립장으로 반입되는 폐기물의 일반 삼성분에 대한 조사결과는 표 4에 나타내었고 가연성 폐기물 삼성분은 표 5에 나타내었다. 표 4에서 보는 바와 같이 헛수가 증가하면서 수분함량은 감소하여 지역발생비율을 고려한 울산대표치는 1차 47.0%에서 3차 39.1%로 감소하였다. 이는 계절적인 요인과 종량제의 정착에 따른 효과로 판단된다. 가연분은 1차 37.3%에서 3차 41.2%로 증가하였으나 불연분의 양도 1차 15.3%에서 3차 17.7%로 함께 증가하였다.

표 4에 나타난 울산 대표 생활폐기물 가연분의 삼성분은 (수분 48.3%, 가연분 44.9%, 회분 6.8%)로 최근 조사된 진주시의 삼성분(수분 47.6%, 가연분 40.6%, 회분 11.8%) 및 서울시 강남지역의 (수분 45.1%, 가연분 39.7%, 회분 15.2%)에 비교하였을때 가연분의 함량과 수분함량은 높고 회분함량은 낮은 것으로 나타났다.

표 4 울산시 매립장에 반입되는 생활 폐기물 일반 삼성분 측정치

| 지역 | 항목 | % | | | |
|------|--------|------|------|------|------|
| | | 1차 | 2차 | 3차 | 평균 |
| 공장지역 | 수분(W) | 33.5 | 25.3 | 12.8 | 23.9 |
| | 가연분(B) | 33.8 | 55.1 | 70.5 | 53.1 |
| | 불연분 | 32.7 | 19.6 | 16.7 | 23.0 |
| 공동주택 | 수분(W) | 53.1 | 41.2 | 28.2 | 40.8 |
| | 가연분(B) | 32.7 | 33.3 | 37.8 | 34.6 |
| | 불연분 | 14.2 | 25.5 | 34.0 | 24.6 |
| 단독주택 | 수분(W) | 49.1 | 59.8 | 49.9 | 52.9 |
| | 가연분(B) | 44.2 | 29.3 | 33.0 | 35.5 |
| | 불연분 | 6.7 | 10.9 | 17.1 | 11.6 |
| 상업지역 | 수분(W) | 45.2 | 41.1 | 40.4 | 42.2 |
| | 가연분(B) | 36.4 | 44.7 | 53.2 | 44.8 |
| | 불연분 | 18.4 | 14.2 | 6.4 | 13.0 |
| 울산대표 | 수분(W) | 47.0 | 43.2 | 39.1 | 43.1 |
| | 가연분(B) | 37.7 | 39.1 | 41.2 | 39.3 |
| | 불연분 | 15.3 | 17.7 | 19.7 | 17.6 |

[불연분(%)= 생활폐기물의 불연분(%) + 가연분의 회분(%)]

(1차 : '94년 10월 29일, 2차 : '95년 1월 10일, 3차 : '95년 3월 4일)

표 5 울산시 매립장에 반입되는 가연성 폐기물 삼성분 측정치

| 지 역 | 항 목 | % | | | |
|---------|--------|------|------|------|------|
| | | 1차 | 2 차 | 3 차 | 평균 |
| 공 장 지 역 | 수 분(W) | 47.1 | 33.9 | 14.1 | 31.7 |
| | 가연분(B) | 48.5 | 62.6 | 72.6 | 61.2 |
| | 회 분 | 4.4 | 3.5 | 13.3 | 7.07 |
| 공 동 주 택 | 수 분(W) | 57.9 | 49.3 | 36.4 | 47.9 |
| | 가연분(B) | 35.9 | 45.6 | 49.4 | 43.6 |
| | 회 분 | 6.1 | 5.1 | 14.2 | 8.5 |
| 단 독 주 택 | 수 분(W) | 50.5 | 64.3 | 54.6 | 56.5 |
| | 가연분(B) | 45.5 | 31.0 | 36.7 | 37.7 |
| | 회 분 | 4.0 | 4.7 | 8.7 | 5.8 |
| 상 업 지 역 | 수 분(W) | 52.0 | 43.7 | 46.5 | 47.4 |
| | 가연분(B) | 42.3 | 50.1 | 48.1 | 46.8 |
| | 회 분 | 5.6 | 6.2 | 5.4 | 5.7 |
| 울 산 대 표 | 수 분(W) | 52.4 | 49.3 | 44.9 | 48.8 |
| | 가연분(B) | 42.6 | 45.9 | 45.2 | 44.6 |
| | 회 분 | 5.0 | 4.8 | 9.9 | 6.6 |

[가연분(%)= 100 - 수분(%) - 회분(%)]

(1차 : '94년 10월 29일, 2차 : '95년 1월 10일, 3차 : '95년 3월 4일)

표 6은 가연성 폐기물의 건기준 원소비율을 나타내었고 표 7은 가연성 폐기물의 습기 기준 원소 비율을 나타내었다. 원소 대표치는 각 지역에 반입비율을 고려하여 추정한 식으로 건기준으로 C의 비율은 48.26%이고 Cl은 0.1%이며, 습기준으로 C는 25.04%, Cl은 0.05%로 나타났다.

표 6 울산시 매립장에 반입되는 가연성 폐기물 원소분석 측정치
(단위: wt%, drysis)

| 지역구분 | 원소 회수 | C | H | N | O | S | Cl | Ash |
|------|----------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 공동주택 | 1차 | 54.07 | 8.59 | 2.81 | 26.05 | 0.12 | 0.17 | 8.18 |
| | 2차 | 48.30 | 7.61 | 2.44 | 33.22 | 0.16 | 0.09 | 8.19 |
| | 3차 | 51.21 | 8.28 | 3.09 | 30.38 | 0.01 | 0.18 | 6.85 |
| | 평균 | 51.19 | 8.16 | 2.78 | 29.88 | 0.10 | 0.15 | 7.74 |
| 단독주택 | 1차 | 40.89 | 9.15 | 2.06 | 30.25 | 0.14 | 0.12 | 17.40 |
| | 2차 | 32.62 | 6.60 | 2.06 | 34.81 | 0.11 | 0.10 | 23.70 |
| | 3차 | 48.66 | 7.35 | 3.04 | 36.67 | 0.00 | 0.05 | 4.23 |
| | 평균 | 40.72 | 7.70 | 2.39 | 33.91 | 0.08 | 0.09 | 15.11 |
| 공장지역 | 1차 | 45.89 | 6.75 | 2.59 | 34.97 | 0.23 | 0.03 | 9.54 |
| | 2차 | 55.57 | 8.12 | 2.23 | 23.48 | 0.08 | 0.11 | 10.41 |
| | 3차 | 53.70 | 7.87 | 2.19 | 24.25 | 0.07 | 0.05 | 11.87 |
| | 평균 | 51.72 | 7.58 | 2.34 | 27.57 | 0.13 | 0.06 | 10.61 |
| 상업지역 | 1차 | 57.69 | 8.82 | 2.04 | 25.00 | 0.14 | 0.08 | 6.23 |
| | 2차 | 54.43 | 8.06 | 2.23 | 27.08 | 0.09 | 0.07 | 8.06 |
| | 3차 | 50.20 | 7.85 | 3.67 | 35.28 | 0.004 | 0.08 | 2.93 |
| | 평균 | 54.11 | 8.24 | 2.65 | 29.12 | 0.08 | 0.08 | 5.74 |
| 울산대표 | 1차 | 48.19 | 8.50 | 2.38 | 29.08 | 0.15 | 0.11 | 11.58 |
| | 2차 | 46.54 | 7.52 | 2.24 | 30.36 | 0.11 | 0.09 | 13.14 |
| | 3차 | 50.06 | 7.76 | 3.13 | 33.73 | 0.01 | 0.09 | 5.21 |
| | 평균 | 48.26 | 7.93 | 2.59 | 31.06 | 0.09 | 0.10 | 9.98 |

표 7 울산시 매립장에 반입되는 가연성 폐기물 원소분석 측정치
(단위 : wt %, wet basis)

| 원소 | | C | H | N | O | S | Cl | Ash |
|------|----|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| | | 지역구분 | 회수 | | | | | |
| 공동주택 | 1차 | 22.76 | 3.62 | 1.18 | 10.97 | 0.05 | 0.07 | 3.44 |
| | 2차 | 24.49 | 3.86 | 1.24 | 16.84 | 0.08 | 0.05 | 4.15 |
| | 3차 | 32.57 | 5.27 | 1.97 | 19.32 | 0.01 | 0.11 | 4.36 |
| | 평균 | 26.61 | 4.25 | 1.46 | 15.71 | 0.05 | 0.08 | 3.98 |
| 단독주택 | 1차 | 20.24 | 4.53 | 1.02 | 14.97 | 0.07 | 0.06 | 8.61 |
| | 2차 | 11.65 | 2.36 | 0.74 | 12.43 | 0.04 | 0.04 | 8.46 |
| | 3차 | 22.09 | 3.34 | 1.38 | 16.65 | 0.00 | 0.02 | 1.92 |
| | 평균 | 17.99 | 3.41 | 1.05 | 14.68 | 0.04 | 0.04 | 6.33 |
| 공장지역 | 1차 | 24.28 | 3.57 | 1.37 | 18.50 | 0.12 | 0.02 | 5.05 |
| | 2차 | 36.73 | 5.37 | 1.47 | 15.52 | 0.05 | 0.07 | 6.88 |
| | 3차 | 46.13 | 6.76 | 1.88 | 20.83 | 0.06 | 0.04 | 10.20 |
| | 평균 | 35.71 | 5.23 | 1.58 | 18.28 | 0.08 | 0.04 | 7.37 |
| 상업지역 | 1차 | 27.69 | 4.23 | 0.98 | 12.00 | 0.07 | 0.04 | 2.99 |
| | 2차 | 30.64 | 4.54 | 1.26 | 15.24 | 0.05 | 0.04 | 4.54 |
| | 3차 | 26.85 | 4.20 | 1.96 | 18.87 | 0.00 | 0.04 | 1.57 |
| | 평균 | 28.40 | 4.32 | 1.40 | 15.37 | 0.04 | 0.04 | 3.03 |
| 울산대표 | 1차 | 22.78 | 4.03 | 1.13 | 13.96 | 0.07 | 0.05 | 11.58 |
| | 2차 | 24.61 | 3.88 | 1.15 | 14.95 | 0.06 | 0.05 | 13.14 |
| | 3차 | 27.74 | 4.31 | 1.71 | 18.18 | 0.01 | 0.06 | 5.21 |
| | 평균 | 25.04 | 4.07 | 1.33 | 15.70 | 0.05 | 0.05 | 9.98 |

표 8 울산시 쓰레기의 계절별 가연성 폐기물의 습량기준 저위발열량 실측 및 예측치
(단위 : kcal/kg)

| 구 분 | 봄 | 여 름 | 가 을 | 겨 울 |
|-------------------|-------|-----------|-------|-------|
| 울산시 ('94) | 2,427 | 1,605(예측) | 1,766 | 2,112 |
| 대전시 ('92) | 1,769 | 1,418 | 1,888 | 1,926 |
| 서울 강남('93-'94) | 2,118 | 1,888 | 2,101 | 2,120 |

저위발열량을 구하는 방법은 1) 실측에 의하여 구하는 방법, 2) 삼성분 분석치로부터 구하는 방법, 3) 물리조성치로부터 구하는 방법, 4) 원소분석치에 의하여 구하는 방법이 있으며 물리화학적 조성에 의하여 구하는 저위발열량식이 있으나, 본 논문에서는 매립장으로 반입되는 실제 시료를 대상으로 소각로의 설계 기준이 되는 저위발열량을 측정된 값에 대하여만 정리하였다. 울산시 생활폐기물의 총폐기물에 대한 저위발열량은 1496-1949 kcal/kg이었으며 평균 1731 kcal/kg이다. 표 8은 울산시 쓰레기의 지역별 발생비율을 고려한 가연성쓰레기의 계절별 습량기준 저위발열량을 최근 조사된 타도시의 수치와 비교하여 나타낸 것이다. 이 표에 나타난 바와같이 울산시의 쓰레기 발열량은 대전시에 비하여 높고 서울시 강남보다는 약간 낮은 수치를 나타내고 있다. 이는 울산시 가연성 폐기물의 발열량이 공동주택은 1795 kcal/kg(배출비율 35.9%), 단독주택은 1757 kcal/kg(배출비율 29.8%)로, 대전시의 평균치인 1736 kcal/kg와 비슷한 값을 보여주고 있으나 배출비율 15.8%인 공장지역은 2594 kcal/kg, 배출비율이 18.5%인 상업지역은 2656 kcal/kg로 높게 나타나 이들지역에서 배출된 고열량의 폐기물이 전체 폐기물의 발열량에 영향을 미쳤기 때문으로 사료된다. 특히 울산은 공단지역으로 상가지역의 폐기물은 다른 도시와 유사한 양상을 보여준다고 하더라도 발열량이 높은 공장지역의 사무실 및 생활쓰레기가 전체 배출비율의 15.8%를 차지하고 있어 이부분 만큼 폐기물의 발열량이 증가된 것으로 공단을 포함한 울산지역의 특성이라 할 수 있다. 폐기물의 성상측면에서 비교하면 울산시의 가연성 폐기물 삼성분은 수분 48.3%, 가연분 44.9%, 회분 6.8%이었으며, 서울시 강남지역은 수분 45.1%, 가연분 49.9%, 회분 5% 이었고, 대전시는 수분 52%, 가연분 43%, 회분 5.7%으로 쓰레기의 질적 특성도 가연분은 대전보다는 높고 수분은 대전보다 낮아 발열량이 대전시보다는 크게 나타남을 알 수 있다. 그러나 서울강남보다는 수분함량이 높고 가연분함량이 낮아 서울 강남보다는 발열량이 낮을 것으로 예측할 수 있다. 그러나 봄의 경우 2,427 kcal/kg으로 서울 강남보다 높게 나타나 있는데, 이는 계절적인 영향과 종량제 실시에 따른 일시적인 영향으로 사료된다.

강 호 등은 대전시의 폐기물 특성조사에서 연탄사용의 감소, 분리수거의 향상, 생활수준의 향상 및 재활용율의 증가에 의한 폐기물의 질적 향상이 이루어진다고 할 경우, 폐기물의 발열량은 점진적으로 증가하여 100 - 800 kcal/kg 정도 증가할 것으로 예측하고 있

다. 도갑수 등도 서울 강남의 폐기물 발열량 예측('93-'94)에서 폐기물의 퇴비화와 재활용이 조사당시보다 각각 10%씩 증가할 경우 발열량이 약 250 kcal/kg정도 증가하는 것으로 추정하고 있다. 그러나 조사당시 보다 퇴비화 20%, 재활용 40% 증가하면 현 수준의 열량으로 유지할 것으로 예측하였다.

그러나 폐기물의 소각은 현재 종량제를 실시하고 있는 상황에서 매립처분되는 폐기물에 대하여 실시하여야 하므로 소각로 설계시 가연분에 대한 수치보다는 폐기물 전체에 대한 발열량 수치인 1496-1949 kcal/kg을 이용하는 것이 바람직하며, 따라서 기준발열량은 평균치인 1700 kcal/kg정도로 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 울산시에서 추진중인 소각시설의 설계에 필요한 기초자료를 도출하기 위하여 실시하였으며 정리된 결과를 바탕으로 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1) 울산시의 매립장 반입량을 기준으로한 생활폐기물 배출원단위는 0.84 kg/인·일이나 건설폐재류를 포함하면 1.25 kg/인·일로 나타나 매립장에 건설폐재류의 반입이 매우 큰 것으로 나타났다.

2) 울산시의 매립지로 운반되는 폐기물의 적재밀도는 일반차가 평균 217.8 kg/m³ 이었으며 압축차가 평균 382.1 kg/m³ 이었다.

3) 울산시의 일반폐기물의 성상은 유기성 64.5%, 무기성 35.5% 이었으며, 가연분의 산 성분은 수분 48.3%, 가연분 44.9%, 회분 6.8%이었고, 총폐기물에 대한 저위발열량은 1496-1949 kcal/kg으로 평균 1731kcal/kg이었다.

참 고 문 헌

- 1) 이승무·박진원·심정섭, “都市 固形廢棄物의 發生量과 組成成分의 將來豫測에 관한 研究”, 한국폐기물학회지, 1988
- 2) 민병덕·이수구·이승무, “도시 폐기물 소각에 있어서 쓰레기 발생량 및 열정산에 의한 발열량 비교 조사 연구”, 한국폐기물학회지, 1993
- 3) 강 호·김동훈, “大田直轄市 一般廢棄物의 質의特性 및 處理方案에 關한 研究 報告書” 대전직할시, 1992
- 4) 박승조·배성근, “都市쓰레기 發熱量의 推算”, 한국폐기물학회지, 1986
- 5) 유기영·유명진·이동훈, “도시쓰레기 질의 변화가 저위 발열량에 미치는 영향”, 한국폐기물학회지, 1994
- 6) 김현수·이승무, “아파트 團地에서 排出되는 都市廢棄物의 成分調査 研究” 한국폐기물학회지, 1984

- 7) 도갑수 · 장일영 · 이승희, “도시 고형 폐기물의 발생원 관리에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 1986
- 8) 강 호 · 이진홍 · 홍성수 · 김명란 · 장미숙, “도시 고형폐기물의 배출원에 따른 물리화학적 특성연구”, 한국폐기물학회지, 1994
- 9) Tchobanoglous.G · Theisen.H · Vigil.S.A, “Integrated Solid Waste Management”, McGraw -Hill. Inc. 1993
- 10) 강 호 · 이진홍 · 김명란 · 홍지숙, “단위가정 조사방법에 의한 도시 고형폐기물의 원 단위 배출량및 성상에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 1994
- 11) 진주시 일반폐기물 소각시설 설치공사 환경영향 평가서, 진주시, 1995