

物理的 組成別 發熱量을 利用한 都市固形廢棄物 低位發熱量 推定에 關한 研究

여 운 호

인천전문대학 환경공학과

A Study on the Lower Heating Values Forecast of Municipal Solid Wastes with the Heating Values of Physical Components

Woon Ho Yeo

Department of Environmental Engineering, Junior College of Incheon

ABSTRACT

Information on the heating values of municipal solid wastes is very important in evaluating the feasibility of incineration and RDF (Refuse Derived Fuel) manufacture. This paper describes the forecasting methods about the lower heating values of municipal solid wastes. The lower heating values are forecast by the heating values of physical components. The municipal solid wastes consist of paper, food wastes, textiles, plastics, wood and rubber (contained leather). These are the physical components of municipal solid wastes.

Keywords : Physical components, municipal solid wastes, lower heating values, incineration, RDF.

I. 서 론

소각에 의한 쓰레기의 처리시 자체연소의 가능성 여부, 보조연료의 필요성 및 그 양의 추정, 소각로 본체의 설계 및 부대시설 즉, 냉각설비, 송풍기, 집진기, 여열이용을 위한 열교환 설비 등의 설계와 유지를 위해서는 쓰레기 발열량의 정확한 측정이 중요하다.

또한 종이류와 플라스틱류 등의 쓰레기가 전체 쓰레기 중에서 그 비율이 높아져감에 따라 쓰레기의 발열량은 점차 증가하고 있으며, 이는 소각시설 증설의 필요성이라는 문제점을 낳고 있는 것이 현재의 실정이다.¹⁾ 이러한 사실은 곧 쓰레기 소각시설을 설계하고 또 소각시설이 건설되어 가동할 때, 장래에도 시설보호 등의 안전한 운전을 위해서는 쓰레기의 조성과 그에 따른 발열량 예측이 절대 필요한 것으로 생각된다.

쓰레기의 발열량을 예측하는 방법은 ultimate analysis, proximate analysis, calorimeter를 이용한 측정법 등으로 나눌 수 있다.²⁾ 이러한 방법중 가장

정확한 것은 calorimeter를 이용하여 발열량을 직접 측정하는 방법이다. 그러나 이 방법은 수분 및 수소에 의하여 유발되는 응축 잠열을 보정해야 하므로 삼성분 측정 및 원소분석의 단계가 필요하며, calorimeter라는 장비가 고가라는 점, 전문적인 기술을 습득해야 한다는 단점이 있다. 이러한 문제점은 ultimate analysis에 의한 방법에서도 동일하다. 단, proximate analysis는 수분, 가연분, 회분 등의 함량만으로 발열량을 결정할 수 있으므로 상대적이지만 간단하다고 할 수 있다. 하지만 위의 세가지 방법은 공통적인 단점을 가지고 있다. 즉, 장래 쓰레기의 조성변화에 따른 발열량 변화를 예측하기 어려우며, 또 예측을 한다 하여도 그 단계가 복잡하며 예측에 필요한 기본사료를 단순한 통계치리에 의존할 수밖에 없다.

근래에 이러한 단점을 보완할 수 있는 방법으로 제시되고 있는 것이 쓰레기의 물리적 조성별 발열량을 이용한 방법이며, 이러한 방법으로 도출된 추정식중 일부는 그 타당성 및 합리성을 높이 평가받고 있다.³⁾

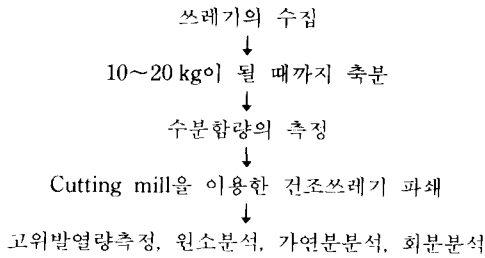


Fig. 1. Analyzing procedure of municipal solid wastes.

따라서 본 연구에서는 국내의 쓰레기질에 적합한 발열량 추정식을 확립하고자, 쓰레기의 물리적 조성별 발열량 실측값을 이용, 쓰레기의 발열량 추정식을 도출하고, 기존의 추정식과 본 연구에서 도출된 추정식을 비교함으로써 도출된 추정식의 합리성을 살펴보았다.

II. 방 법

1. 연구방법

물리적 조성별 발열량을 측정하기 위한 쓰레기 수집장소는 서울시 일원이었으며, 전체적인 조사과정은 Fig. 1과 같다.

Fig. 1의 조사과정중 시료채취, 시료의 물리적 조성별 분류, 삼성분 측정, 고위발열량 측정 및 원소 분석 등을 행하였다. 물리적 조성은 가연성 쓰레기로서 종이류, 음식물류, 목재류, 섬유류, 플라스틱류, 고무폐혁류, 기타의 7개 항목과 불연성 쓰레기로서 금속류, 초자류, 재 및 기타의 3개 항목으로 분류하였다. 삼성분 측정, 고위발열량 측정 그리고 원소 분석은 위의 물리적 조성 중에서 가연성 쓰레기로 분류되는 7개 항목에 대해서만 실시하였으며, 각각의 분석기기를 살펴보면 삼성분은 mechanical circulation oven(Yu Yu, Korea, 103~105℃)과 electric muffle furnace(Seo Bo, Korea, 850~900℃), 고위 발열량은 bomb calorimeter(Shimadzu, CA-3, Japan) 그리고 화학적 조성은 원소분석기(Cario Brba, 1108)를 사용하였다.

2. 쓰레기의 저위발열량 추정식

쓰레기의 저위발열량을 추정하는 식은 여러 가지가 제안되어 있지만, 본 연구에서 도출된 식과 비교하기 위하여 다음과 같은 식들을 사용하였다.

$$3성분 : H_1 = 45V - 6W \quad (1)$$

$$本多 : H_1 = 44.75V - 5.85W + 21.2 \quad (2)$$

$$박후원 : H_1 = 49.5V - (6 - 0.045V)W \quad (3)$$

$$Dulong : H_1 = 81C + 342.5(H - A/8) + 22.5S - 6(9H + W) \quad (4)$$

$$Steuert : H_1 = 81(C - 3A/8) + 171A/8 + 345(H - A/16) + 25S - 6(9H + W) \quad (5)$$

$$Scheuer-Kestner : H_1 = 81(C - 3A/4) + 342.5H + 22.5S + 171A/4 - 6(9H + W) \quad (6)$$

$$小林 : H_1 = 88.2R + 40.5(G + P) - 6W \quad (7)$$

$$狩林 : H_1 = 45B + 80R - 6W \quad (8)$$

$$鄒清研 : H_1 = (100 - W)/100\{38.8(P + G + T + Oc) + 50.9(Te + Ru) + 73.7R\} - 6W \quad (9)$$

여기서,

H_1 : 쓰레기 저위발열량(kcal/kg)

V : 가연분(%) G : 음식물(%)

W : 수분(%) P : 종이(%)

C : 탄소(%) B : 플라스틱외의 가연분(%)

H : 수소(%) T : 목재(%)

A : 산소(%) Oc : 기타 가연물(%)

S : 황(%) Te : 섬유(%)

R : 플라스틱(%) Ru : 고무/폐혁(%)

위의 식에서 식(1)~(3)은 proximate analysis에 의한 추정식, 식(4)~(6)은 ultimate analysis에 의한 추정식 그리고 식(7)~(9)는 물리적 조성을 이용한 추정식이다.

III. 결과 및 고찰

1. 저위발열량 추정식의 도출

가연성 쓰레기의 물리적 조성에 따른 고위발열량, 원소분석, 측정항목을 이용하여 계산된 건량기준의 저위발열량은 Table 1과 같다. Table 1을 통하여 물리적 조성에 따른 저위발열량의 범위를 살펴보면 항목에 관계없이 저위발열량의 분산정도가 컸다. 이러한 결과는 한 조성에 타조성 물질이 혼합되어 발열량 측정에 많은 영향을 준 것으로 판단되며, 또한 화석연료와 같이 균질한 시료가 아닌 쓰레기 같은 물질을 분석하는데 있어서의 어려움을 반증하고 있다고 보여진다.

쓰레기 저위발열량을 도출함에 있어 각 조성별 발열량 상수는 Table 1의 저위발열량 평균값을 이용하였다. 또 식의 간략화를 위하여 발열량이 유사한

Table 1. Heating values of municipal solid wastes with physical components

Physical component	Higher heating value (kcal/kg)	Hydrogen content (%)	Lower heating value (kcal/kg)	Lower heating value (mean)(kcal/kg)
Paper	3570~4750	6.51~ 6.90	3215~4387	3751
Food wastes	2890~5080	7.04~ 7.77	2490~4681	3764
Textiles	3800~5470	6.02~ 6.62	3711~5120	4267
Plastics	7390~9990	10.09~13.20	6761~9289	7426
Wood	3200~5350	6.39~ 7.32	2848~5136	4232
Rubber/Leather	6190~7470	11.00~12.70	4936~6830	5951

조성들을 묶음화하였는데 음식물류, 종이류, 기타 가연물 조성을 한 묶음화하여 그 상수를 37.6, 섬유, 목재류를 한 묶음화 하여 그 상수를 42.7 그리고 발열량이 전혀 다른 플라스틱류와 고무/피혁류는 산술평균치 자체를 이용, 각각 74.3, 59.5로 하였다. 여기서 기타 가연물의 발열량은 실측하지 못하였으나 종이, 음식물류와 한 묶음화해 일본의 자료를 참조해 결정하였다. 이러한 과정을 통하여 도출된 식은 아래와 같다.

$$H_1 = (100 - W) / 100 \{ 37.6(P + G + Oc) + 42.7(Te + T) + 74.3R + 59.5Ru \} - 6W \quad (10)$$

본 연구에서 도출된 식을 일본의 都清研式과 비교하면 플라스틱류와 고무/피혁류를 제외하고 본 연구에서 도출된 식의 상수가 약간씩 낮다. 또 都清研式에서는 섬유류와 고무/피혁류를 한 묶음화하였으나 본 연구에서 도출된 식은 섬유와 목재를 한 묶음화하였다는 차이가 있다.

2. 도출된 저위발열량 추정식의 검토

기존에 제안된 쓰레기 저위발열량 추정식 및 본 연구에서 도출된 저위발열량의 추정식을 이용하여 계산한 저위발열량과 bomb calorimeter를 이용하여 실측한 저위발열량과의 관계를 Fig. 2~11에 나타내었다. 그림에서 □ 기호는 본 연구에서 실측한 결과, *는 동력자원연구소, 그리고 ▲는 연세대학교의 산업기술연구소의 자료를 이용하여 추정한 발열량이다. 또 Fig. 5~7의 화학적 조성을 이용한 저위발열량 추정결과는 본 연구에서 실측한 자료만을 이용하였는데 이는 국내에서 조사된 자료의 획득이 어려웠기 때문이다.

실측치와 추정치의 관계에 대하여 1차 회기직선을 이용하여 살펴본 결과, 본 연구에서 실측한 자료만을 이용하였을 경우, 어떤 추정식도 결정계수(R²)가 0.78~0.91의 양호한 상관성을 보였다. 추정방법중 원소분석 결과에 의해 산출된 Steuert식의 추정값이

다른 방법에 의해 산출된 식 추정값의 상관성 보다 낮았지만, 결정계수가 0.78이므로 이 식도 양호한 상관성을 갖는다고 할 수 있다.

특히 계산이 용이한 3성분 추정식의 경우(Fig. 2~5)도 3가지 식의 결정계수가 동일하게 0.89라는 우수한 상관성을 보였다. 그러나 타 연구기관의 자료를 포함시킨 결과는 위의 기술내용과는 상이하게 달라졌다. Fig. 2~4 그리고 Fig. 8~11에 나타난 바와 같이 본 연구에서 도출된 식과 都清研式의 추정결과를 제외하고는 그 결정계수가 0.27~0.33으로 낮은 상관성을 보여주었다. 이러한 연구결과가 각 연구기관의 측정차이에서 발생할 가능성을 파악해 보고자 연구기관별 자료에 의한 추정치의 표시를 달리 하였다. Fig. 2~4 그리고 Fig. 8, 9에 나타나 있듯이 본 연구에서의 실측자료를 이용한 추정치(□)와 연세대학교 산업기술연구소 자료를 이용한 추정치(▲)의 경향은 대략 일치하였고, 한국동력자원연구소의 자료를 이용한 추정치(*)는 다른 경향을 보였다. 반면 Fig. 10, 11의 본 연구에서 도출된 식과 都清研式에 의한 추정치는 연구기관별 자료에 관계없이 결정계수 0.87로 높은 상관성을 나타내었다. 특히, Y절편이 본 연구에서 도출된 식의 경우 148, 都清研式의 경우 172로서 실측치와 매우 근접한 추정 결과임을 알 수 있다.

타 연구기관의 자료를 포함시켜 저위발열량을 추정하였을 경우 본 연구에서 도출된 식 및 都清研式의 추정치를 제외한 타 식들의 추정치가 이렇게 분산되는 이유를 정확히 파악하기는 어려우나 다음과 같이 두 가지로 추측된다. 첫째, 기존의 추정식은 자체의 연구자료만을 이용하여 도출된 것이므로 타 연구기관 및 타 국가의 추정식을 그대로 이용한다는 것은 많은 오차를 발생하게 된다는 점이다. 둘째, 쓰레기와 같이 그 질적인 면에서 지역별, 국가별 차이가 큰 물질의 발열량을 예측함에 있어서 추정식이 단순 할수록 추정능력은 저하된다고 판단된다(삼성분을 이용하는 추정식의 경우 변수 2~3개,

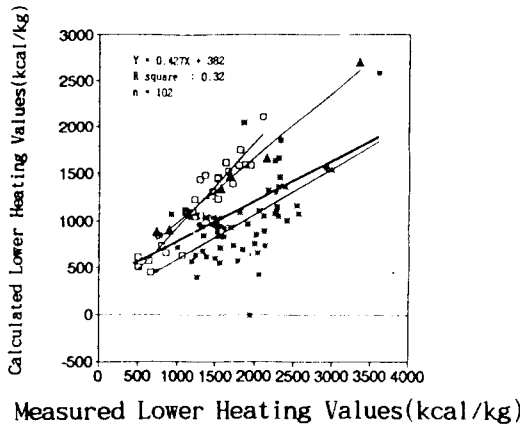


Fig. 2. Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (1)).

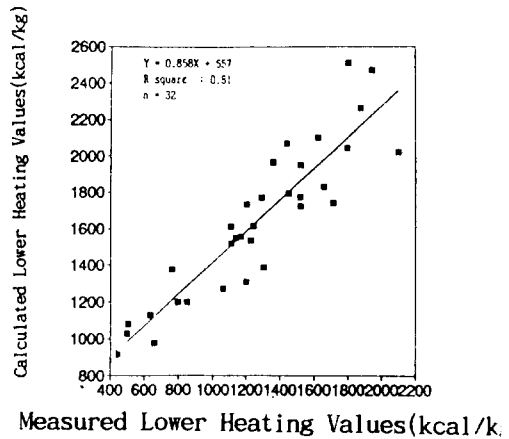


Fig. 5. Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (4)).

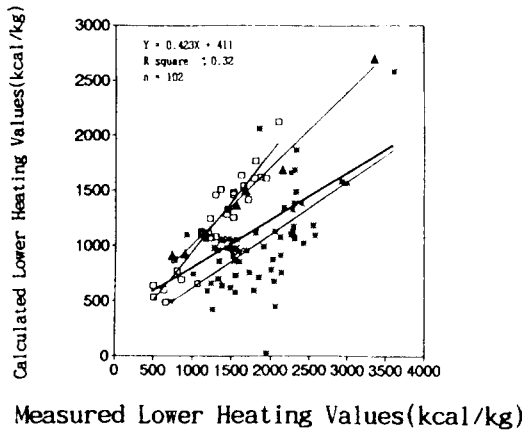


Fig. 3. Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (2)).

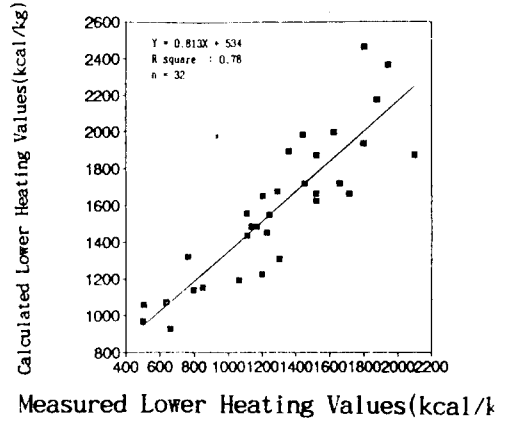


Fig. 6. Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (5)).

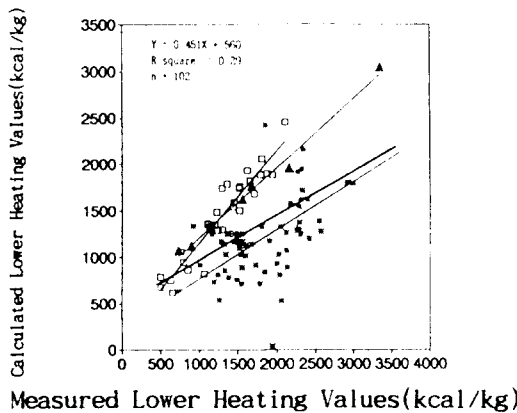


Fig. 4. Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (3)).

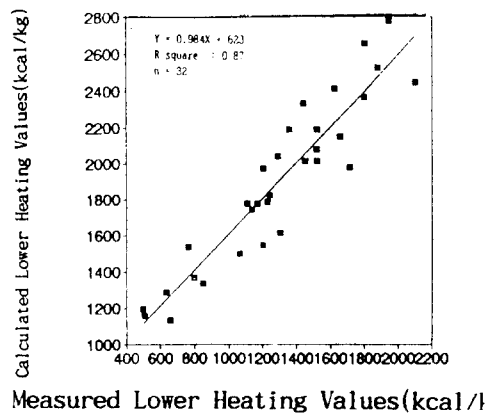


Fig. 7. Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (6)).

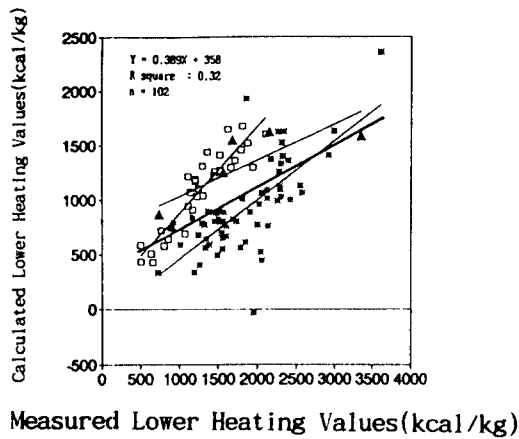


Fig. 8. Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (7)).

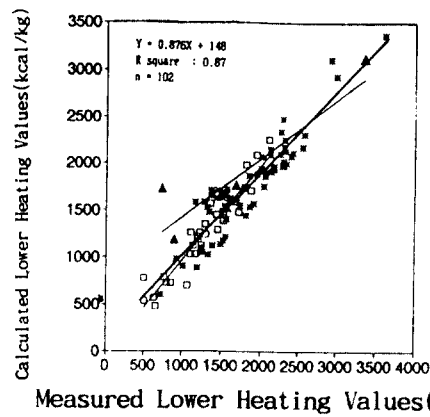


Fig. 11. Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (10)).

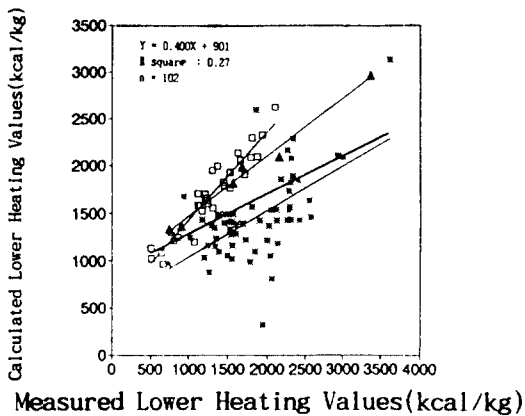


Fig. 9. Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (8)).

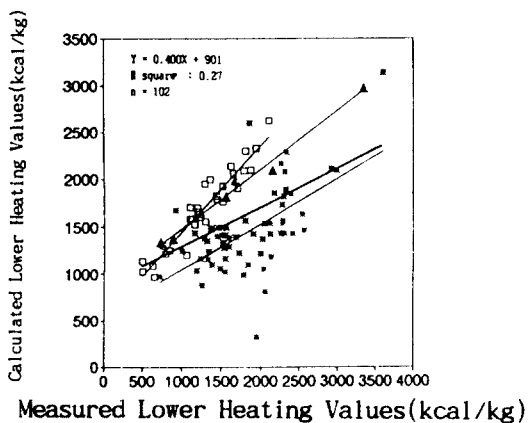


Fig. 10 Relationship between measured lower heating values and calculated lower heating values (from Eq. (9)).

小林式의 경우 변수 4개, 狩林式의 경우 변수 3개, 본 연구에서 도출된 식 및 都清研式의 경우 변수 8개).

이상의 결과에서 볼 때, 쓰레기 저위발열량 추정식을 도출함에 있어서는 타 연구기관의 타당성있는 자료도 포함, 가능한 많은 기초자료를 이용하여야 한다고 생각되며, 추정식이 다소 복잡하여도 정확한 추정을 위해서는 많은 변수를 포함시킴이 타당함을 본 연구에서 도출된 식 및 都清研式의 추정결과를 통하여 알 수 있다. 또한 都清研式 및 본 연구에서 도출된 식의 추정결과를 비교할 때 결정계수는 0.87로서 동일하나 Y절편을 통하여 살펴본 추정치와 측정치의 차이가 각각 172, 148로서 작은 차이나마 본 연구에서 도출된 식의 추정능력이 우수한 것으로 사료된다. 따라서 물리적 조성별 발열량 자료를 보다 많이 확보하여 본 연구에서 도출된 식을 수정, 보완한다면 국내 쓰레기질에 더욱 적합한 쓰레기 저위발열량 추정식이 완성될 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

국내의 쓰레기질에 적합한 저위발열량 추정식을 확립하는 기초작업으로서 쓰레기의 물리적 조성별 발열량을 측정하여 쓰레기 저위발열량 추정식을 도출한 결과, 다음과 같았다.

$$H_1 = (100 - W)/100\{37.6(P + G + Oc) + 42.7(Te + T) + 74.3R + 59.5Ru\} - 6W$$

이 식을 기존의 저위발열량 추정식과 비교한 결과, 타 연구기관의 자료를 포함시켰을 경우도 실측치와

의 상관성이 높고, 추정치와 실측치와의 차이가 근소함을 볼 때 보다 많은 물리적 조성별 발열량 자료를 확보하여 수정, 보완한다면 국내의 쓰레기질에 더욱 적합한 저위발열량 추정식이 될 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- 1) 仙台市清掃局施設課調査係：ごみ発熱量の上昇による焼却の量變動について. 調査年報, 1985.
- 2) 최의소 : 폐기물 처리와 자원화. 청각각, 398-428, 1987.
- 3) 谷川昇, 根本弘 : ごみの低位發熱量推定式の検討. 廢棄物學會 第2回 研究發表會講演論文集, 日本廢棄物學會, 1991.
- 4) 박후원, 최의소 : 도시폐기물의 성상과 생분해 정도에 따른 에너지 회수공정의 비교. 대한토목학회 논문집, 11(2), 1991.
- 5) 한국동력자원연구소 : 도시폐기물 자원조사 및 특성에 관한 연구(II). 15-68, 1990.
- 6) 이승무 : 목동지구 쓰레기소각시설 증설공사 타당성 조사를 위한 쓰레기 성분 분석 연구. 1992.