

## 국내 폐목재 특성분석을 통한 등급화 평가

김정대 · 박준석\* · 도인환\*\* · 홍수열\*\*\* · 오길중\*\*\*\* · 정다위\*\*\*\* · 윤정인\*\*\*\* · 배재근†,\*\*\*

한림성심대학 보건환경과 · \*강원대학교 환경방재공학과 · \*\*서울산업대학교 환경공학과

\*\*\*자원순환사회연대 · \*\*\*\*국립환경과학원 자원순환과

(2008년 6월 23일 접수, 2008년 10월 27일 채택)

## Evaluation of Grade-Classification of Wood Waste in Korea by Characteristic Analysis

Joung-Dae Kim · Joon-Seok Park\* · In-Hwan Do\*\* · Soo-Youl Hong\*\*\*

Gil-Jong Oh\*\*\*\* · David Chung\*\*\*\* · Jung-In Yoon\*\*\*\* · Chae-Gun Phae†,\*\*\*

Department of Health and Environment, Hallym College

\*Department of Environmental Disaster Prevention Engineering, Kangwon National University

\*\*Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Technology

\*\*\*Korea Zero Waste Movement Network · \*\*\*\*National Institute of Environmental, Research Resource Recirculation Division

**ABSTRACT** : This research was performed to analyze the characteristics of wood wastes from origin and to suggest grade-classification for them. Korean proximate analysis was conducted, and heating value, heavy metals and Cl concentrations were analyzed for grade-classification. Wood wastes were sampled from forest, living, construction and demolition, and industrial areas with origin. Moisture content of most wood wastes was ranged in 5~10%. VS (volatile solids) and ash contents of them showed >95% and <5%, respectively. Most wood wastes except wood for growing mushroom permitted the standard (low heating value  $\geq 3,500$  kcal/kg) for refuse-derived fuel. CCA (Cr, Cu, As) concentration of wood wastes used in bench, wasted fishing boat, and railroad crosstie was higher than that of the other ones. Cl content showed approximately 1.3% in wood box for fish and  $\leq 0.2\%$  in the other wood wastes. Cl content of all wood wasted used in this research permitted the standard ( $Cl \leq 0.2\%$ , dry weight basis) for refuse-derived fuel. If the wood wastes were classified in 3-grade, plywoods would be in 2nd grade, and MDF (medium density fiber), wooden bench, painted electric wire drum, wasted fishing boat, and railroad crosstie be in 3rd grade.

**Key Words** : Wood Waste, Characteristic Analysis, Grade-Classification, CCA (Cr, Cu, As)

**요약** : 본 연구는 폐목재 발생원별 삼성분, 발열량, 그리고 중금속 및 Cl 함량을 분석하여 폐목재 특성을 평가함으로써 향후 폐목재 등급화를 위한 품질근거 기준을 마련하는데 필요한 기초자료를 제시하고자 하였다. 임목부산물, 생활계폐목재, 건설폐목재, 그리고 사업장폐목재의 4가지로 분류한 폐목재에서 수분함량은 대부분 5~10%를 나타내었으며, 이를 수분함량을 제외한 건조기준으로 환산하였을 때 가연분함량은 95% 이상이었고, 회분함량은 5% 이하를 나타내었다. 폐목재는 수분함량이 55%로 높았던 버섯재배폐목을 제외하고는 ‘건설폐기물의 재활용촉진에관한법률’의 고�형연료제품의 품질기준 중 발열량 기준(저위발열량  $\geq 3,500$  kcal/kg)을 만족하였다. CCA (Cr, Cu, As)로 처리된 벤치목, 폐선박, 철도침목 등 방부목에서 CCA가 매우 높게 나타나 방부목의 사용과 관리, 폐기처분에 대한 엄격한 관리가 필요한 것으로 나타났다. Cl 함량은 목재 어(魚)상자에서만 약 1.3%로 가장 높게 나타났고 나머지 폐목재 및 재활용제품에서는 0.2% 이하의 낮은 값을 보였으나 고�형연료제품의 염소함량 품질기준 (건조기준 2 wt.%)을 모두 만족시켰다. 발생원별 폐목재를 유해물질 함유량을 기준으로 3등급화할 경우 대부분의 폐목재가 1등급에 해당하였으며, 합판류, MDF (medium density fiber), 표면도색된 전선드럼은 2등급에 해당하였다. 3등급에 해당하는 폐목재는 벤치목, 재활용공장목재분진, 폐선박과 철도침목으로 나타났다.

**주제어** : 폐목재, 특성분석, 등급화, CCA (Cr, Cu, As)

### 1. 서론

오늘날 급속한 산업화를 거쳐 오면서 화석에너지 소비증가로 주요 에너지원인 화석연료가 고갈되어 가고 고유가 시대가 도래함에 따라 세계 여러 나라들은 자국의 에너지 확보에 촉각을 곤두세우고 있다. 우리나라는 2005년 현재

국민 1인당 목재소비량은  $0.6 \text{ m}^3/\text{인}$ 이고, 목재자급율은 8.6%로 목재 대부분이 수입에 의존하고 있어 해외의존도가 매우 높다.<sup>1)</sup> 이에 따라 국내에서도 에너지원 및 물질재 활용 자원으로서 폐목재에 대한 인식이 크게 변화하고 있다. 에너지 절약 및 자원의 효율적인 이용이라는 관점에서 보면 활용 가능한 자원의 재이용은 시급히 해결해야 할 과제이다.<sup>2)</sup> 2005년 2월부터 기후변화협약에 의한 교토의정서가 정식 발효되면서, 카본뉴트럴 작용으로 인한 CO<sub>2</sub> 흡수

† Corresponding author  
E-mail: phae@snut.ac.kr  
Tel: 02-970-6617

Fax: 02-971-5776

저장원인 목재자원의 순환이용은 더욱 중요한 의미를 갖게 되었고 폐목재의 적절한 재활용 및 에너지 이용에 대한 관심이 증가되고 있다.

이처럼 폐목재의 높은 가치에도 불구하고 폐목재의 무분별한 사용은 여러 가지 문제점을 유발할 수 있다. 폐목재를 목재칩으로 만든 후 새로운 제품을 만드는 물질재활용에서는 품질기준을 준수하여 제조하여야 제품가치가 있기 때문에 재활용업체에서는 적합한 품질의 폐목재만을 원료로 사용하고 있는 실정이다. 그러나 폐목재를 이용한 성형탄(착화탄 및 열탄)의 제조와 무분별한 불법소각 등으로 인한 많은 문제점들이 보고되고 있어 이에 대한 적절한 관리가 시급하다. 2006년 국정감사에서 유해물질을 함유한 폐목재를 원료로 숯제품을 제조할 경우 다량의 중금속이 숯에 농축될 뿐만 아니라 숯 연소시에도 대기중으로 배출된다고 발표되었다.<sup>3)</sup> 이 보고서에 의하면 목탄제품 20개를 대상으로 중금속 함유량을 조사한 결과 폐목재를 원료로 제조한 성형탄 11개 제품에서 다량의 납(21~830 mg/kg)과 카드뮴(1~13 mg/kg)이 검출되었다. 또한 성형탄 2개 시료를 대상으로 연소실험을 한 결과 연소가스에서 각각 납이 123.4와 24.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 카드뮴이 24.0과 4.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 검출되었다. 함상이 등<sup>4)</sup>의 연구에서는 폐목재 소각시설의 다이옥신 농도가 일반 혼합폐기물 소각시설 보다 30배 정도 높다고 하였다. Samaras 등<sup>5)</sup>은 CCA(Cr, Cu, As) 방부목의 혼합소각은 중금속 촉매작용으로 CCA 방부목의 혼합없이 소각하였을 때 보다 약 20배 고농도의 PCDDs/DFs가 배출된다고 하였으며, 저온영역에서의 소각이 고농도 PCDDs/DFs (Polychlorinated dibenzodioxins/Polychlorinated dibenzofurans) 배출의 한 원인이라고 하였다. 이는 CCA 방부목 등의 불법소각시 더 큰 문제점을 유발할 수 있음을 시사하는 부분이다.

폐목재의 재활용은 국가적 차원에서 권장하여야 할 사항이나 환경적으로 문제점을 야기하지 않도록 적절한 관리 시스템을 구축하여야 할 것이다. 이를 위해서는 폐목재의 발생원에 따른 등급화를 구축하여 등급에 따른 적정 폐목재 활용방안이 유도될 수 있도록 하여야 한다.

본 연구에서는 폐목재를 발생원에 따라 분류하고 각 발생원별 폐목재의 삼성분, 발열량, 그리고 중금속 및 Cl 함량을 분석하여 폐목재 특성을 평가함으로써 향후 폐목재 등급화를 위한 품질근거 기준을 마련하는데 필요한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 폐목재 분류

폐목재 특성분석에 앞서 발생특성에 따라 폐목재를 임목부산물, 생활계폐목재, 사업장폐목재, 그리고 건설폐목재의 4가지로 대별하였다. 임목부산물은 임지에서 벌목, 산림작업 후 발생하는 뿌리, 가지 등 잔재물 등이 포함되며, 임지 밖으로 반출되지 아니하고 임지 내에 방치되어 있는 잔재

물이다. 현행 폐기물관리법<sup>6)</sup>에서는 임목부산물을 임지 밖으로 반출하여 연료용으로 사용할 경우 폐기물 처리시설 이외의 장소에서 연료용으로 사용이 가능하도록 허용하고 있다. 임목부산물을 임지 밖으로 반출할 경우 폐기물로 해석하지만 환경적 위해성이 크지 않으므로 폐기물로 엄격하게 관리하고 있지는 않다. 그렇지만 임목부산물은 재활용 가치가 매우 높은 자원이기 때문에 본 연구에서는 폐기물관리법상의 폐목재와 함께 다루었다. 생활계폐목재는 생활폐기물로 분류되는 폐목재(생활폐목재)와 사업장생활계 폐기물로 분류되는 폐목재를 통칭하며, 나무젓가락, 벤치, 나무포장상자, 가구류, 나무액자들, 버섯재배목, 인삼지주목 등이 포함된다. 건설폐목재는 건축물의 신축 및 해체 과정에서 발생하는 폐목재로써 건축 및 토목공사에서 사용되는 토류판, 거푸집, 합판류, 비계목, 받침목과 해체시 발생하는 내외장재, 장식용 마감재 등이 해당된다. 사업장 폐목재는 사업장배출시설계의 폐기물 배출사업장에서 배출되거나 물류유통 과정에서 발생하는 폐목재로써 수피, 톱밥, 제재부산물, 가구/악기제조 부산물, 목재분진, 파렛트, 목재포장박스, 전선드럼, 철도침목, 폐선박 등이 포함된다.

### 2.2. 시료채취

앞 절에서 4가지로 분류된 폐목재를 임목부산물 2종, 생활계폐목재 8종, 건설폐목재 7종, 그리고 사업장계 15종으로 세분화하였다(Table 1). 시료채취를 위하여 국내 최대 규모의 폐목재 재활용업체인 인천소재 A사로 유입되는 폐목재를 대상으로 선택하였으며, 폐목재가 적재된 장소에서 폐목재 발생원 및 종류에 따라 채취하였다. A사에서 채취하지 못한 버섯재배목, 어(魚)상자, 철도침목, 폐선박 등은 인삼재배지, 수산물시장, 철도역사, 조선소에서 채취하였다. 폐기물공정시험법<sup>7)</sup>에서 규정하고 있는 시료채취 방법에 준하는 대표적인 시료를 채취하기 위해 원추사분법으로 수 회에 걸쳐 혼합 분취한 후 최종적으로 분석시료를 채취하였다. 폐목재는 각 발생원별로 분류 및 구분이 용이하도록 임목부산물(Forest)은 'F', 생활계폐목재(Living)는 'L', 건설폐목재(Construction/Demolition)는 'C', 그리고 사업장폐목재(Industry)는 'I'의 영문이니셜을 부여하였다(Table 1). 또한 재활용된 후 폐목재의 환경유해성 등을 검토하기 위하여 재활용 제품(연료제품 2종, 목재제품 4종) 6종도 채취하여 분석하였으며, RP (recycled product)라는 영문이니셜을 부여하였다(Table 1).

### 2.3. 분석방법

채취된 시료는 밀봉 후 운반하여 즉시 수분을 측정하고, 수분측정 후 건조된 시료를 볼밀(Pulverisette6, Germany)을 이용하여 0.5 mm 이하로 미분쇄한 후 휘발성고형물(volatile solids) 및 회분, 발열량, 중금속 및 Cl 분석에 사용하였다. 삼성분은 폐기물공정시험방법에 따라 분석하였다. 발열량은 단열열량계(Parr 6100, USA)를 이용하였으며, 중금속 함유량 시험은 질산-과염소산으로 전처리한 후 ICP-

**Table 1.** Origin and kind of wood wastes used

| Origin                    | Kind                               | Legend | Origin           | Kind  | Legend |
|---------------------------|------------------------------------|--------|------------------|---|--------|
| Forest                    | root, branch                       | F1     | Industry         | Furniture or musical instrument factory (lumber)  | I3     |
|                           | stem                               | F2     |                  | Furniture or musical instrument factory (plywood) | I4     |
| Living                    | prop wood                          | L1     |                  | Furniture or musical instrument factory (MDF)     | I5     |
|                           | wood for growing mushroom          | L2     |                  | Pallet (lumber)                                   | I6     |
|                           | furniture (lumber)                 | L3     |                  | Pallet (plywood)                                  | I7     |
|                           | furniture (plywood)                | L4     |                  | Pallet (MDF)                                      | I8     |
|                           | furniture (MDF)                    | L5     |                  | wood box for packing (lumber)                     | I9     |
|                           | trimming branch                    | L6     |                  | wood box for packing (plywood)                    | I10    |
|                           | bench                              | L7     |                  | wood box for packing (MDF)                        | I11    |
|                           | wood box for fish                  | L8     |                  | electric wire drum without painting               | I12    |
| Construction & demolition | construction (wooden staff)        | C1     |                  | electric wire drum with painting                  | I13    |
|                           | construction (plywood)             | C2     |                  | wasted fishing boat                               | I14    |
|                           | demolition (lumber)                | C3     |                  | railroad crosstie                                 | I15    |
|                           | demolition (furniture)             | C4     |                  | derived fuel for igniting                         | RP1    |
|                           | Pallet (lumber)                    | C5     |                  | derived fuel for burning                          | RP2    |
|                           | Pallet (plywood)                   | C6     | lumber           | RP3   |        |
|                           | Pallet (MDF)                       | C7     | plywood          | RP4   |        |
| Industry                  | by-product from lumbermill         | I1     | Recycled product | PB  | RP5    |
|                           | wood powder from recycling factory | I2     |                  | MDF   | RP6    |

PB : particle board, MDF : medium density fiber

AES(Vista-Pro, Australia)로 분석하였고, 수은은 별도의 시료를 전처리 없이 수은분석기(Milestone, DMA-80, USA)로 분석하였다. 염소분석은 법적 규정시험방법이 없으나

가능한 표준화된 방법에 따르고자 미국재료시험협회시험법(ASTM D2361-02)을 이용하였다. 시료분석은 3회 이상의 평균값을 이용하여 정리하는 것을 원칙으로 하였다.

**Table 2.** Korean proximate analysis

| Origin   | Sample | Wet basis (%) |       |      | Dry basis (%) |      | Origin   | Sample           | Wet basis (%) |       |       | Dry basis (%) |       |       |
|----------|--------|---------------|-------|------|---------------|------|----------|------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|          |        | Mois.         | VS    | Ash  | VS            | Ash  |          |                  | Mois.         | VS    | Ash   | VS            | Ash   |       |
| Forest   | N1     | 8.25          | 89.93 | 1.82 | 98.02         | 1.98 | Industry | I3               | 9.90          | 89.45 | 0.65  | 99.28         | 0.72  |       |
|          | N2     | 15.17         | 84.23 | 0.60 | 99.29         | 0.71 |          | I4               | 7.69          | 91.01 | 1.29  | 98.60         | 1.40  |       |
| Living   | L1     | 10.90         | 88.78 | 0.31 | 99.65         | 0.35 |          | I5               | 5.73          | 93.72 | 0.55  | 99.42         | 0.58  |       |
|          | L2     | 55.26         | 43.71 | 1.02 | 97.71         | 2.29 |          | I6               | 9.87          | 89.35 | 0.78  | 99.13         | 0.87  |       |
|          | L3     | 8.45          | 91.18 | 0.36 | 99.61         | 0.39 |          | I7               | 7.92          | 90.46 | 1.62  | 98.24         | 1.76  |       |
|          | L4     | 6.78          | 92.06 | 1.16 | 98.75         | 1.25 |          | I8               | 4.68          | 94.61 | 0.71  | 99.26         | 0.74  |       |
|          | L5     | 5.59          | 93.69 | 0.72 | 99.23         | 0.77 |          | I9               | 12.11         | 87.30 | 0.60  | 99.32         | 0.68  |       |
|          | L6     | 9.54          | 86.25 | 4.21 | 95.34         | 4.66 |          | I10              | 6.56          | 92.27 | 1.17  | 98.75         | 1.25  |       |
|          | L7     | 8.71          | 90.66 | 0.63 | 99.32         | 0.68 |          | I11              | 5.63          | 93.88 | 0.49  | 99.48         | 0.52  |       |
|          | L8     | 7.84          | 85.95 | 6.21 | 93.26         | 6.74 |          | I12              | 12.09         | 87.47 | 0.45  | 99.49         | 0.51  |       |
| C&D      | C1     | 7.58          | 91.87 | 0.54 | 99.41         | 0.59 |          | I13              | 10.57         | 88.73 | 0.70  | 99.22         | 0.78  |       |
|          | C2     | 7.87          | 90.38 | 1.75 | 98.10         | 1.90 |          | I14              | 24.65         | 70.51 | 4.84  | 93.58         | 6.42  |       |
|          | C3     | 6.70          | 92.69 | 0.60 | 99.35         | 0.65 |          | I15              | 12.97         | 85.07 | 1.96  | 97.75         | 2.25  |       |
|          | C4     | 14.60         | 84.27 | 1.14 | 98.67         | 1.33 |          | Recycled product | RP1           | 3.07  | 66.96 | 29.97         | 69.08 | 30.92 |
|          | C5     | 9.35          | 90.09 | 0.56 | 99.38         | 0.62 |          |                  | RP2           | 3.94  | 69.69 | 26.37         | 72.55 | 27.45 |
|          | C6     | 7.80          | 90.60 | 1.59 | 98.27         | 1.73 | RP3      |                  | 31.32         | 67.50 | 1.19  | 98.27         | 1.73  |       |
|          | C7     | 7.10          | 92.34 | 0.56 | 99.40         | 0.60 | RP4      |                  | 10.24         | 81.29 | 8.47  | 90.56         | 9.44  |       |
| Industry | I1     | 9.65          | 89.70 | 0.65 | 99.28         | 0.72 | RP5      |                  | 5.27          | 82.45 | 12.29 | 87.03         | 12.97 |       |
|          | I2     | 8.83          | 85.50 | 5.67 | 93.78         | 6.22 | RP6      |                  | 4.55          | 89.31 | 6.14  | 93.57         | 6.43  |       |

Mois. : Moisture, VS : Volatile Solids, C&D : Construction & Demolition

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 삼성분

발생원별 폐목재의 삼성분을 Table 2에 나타내었다. 수분함량은 대부분 5~10%를 나타내었으며, MDF(medium density fiber)가 약 5~7%, 합판이 7~8%, 원목 및 제재부산물 등은 8~13%를 나타내었다. 폐선박(I15)과 버섯재배 폐목(L2)은 사용용도 특성상 다른 폐목재에 비하여 높은 약 25%와 55%의 수분함량을 나타내었다. 시료채취 당시 폐선박은 소규모 조선소의 한 장소에서 덮개시설 없이 해체 및 보관이 이루어지고 있었고, 버섯재배 폐목은 지름 15 cm 이상의 참나무로 표고버섯 재배후 폐기되어 젖은 상태로 방치되어 있는 폐목재를 수거하여 사용하였다. 재활용 연료제품인 착화탄(RP1)과 열탄(RP2)은 약 3~4%로 수분함량이 낮았다. 재활용 목재제품인 원목(RP3), 합판(RP4), PB(particle board)(RP5), MDF(RP6)는 5~32%로 다양하였는데, 원목이 31%로 가장 높고 MDF가 5%로 가장 낮게 나타났다. 이는 목재재료나 생산제품 가공과정에서의 공정 및 첨가물 등에 따라 다르게 나타나는 것으로 생각된다. 전체적으로 수분함량은 발생원 보다는 목재의 사용소재와 용도 및 발생형태에 따라서 차이가 더 크게 나타나는 것으로 판단된다. 습윤기준일 때 최종생성물의 경우 휘발성 고형물(VS, volatile solids) 함량은 대개 84% 이상이었으며, 회분은 6% 이하였다. 함수율이 높은 폐선박(I14)과 버섯

재배폐목(L2)의 경우 VS 함량은 각각 70.5%와 43.7%로 상대적으로 낮은 값을 보였다. 재활용 연료제품인 착화탄(RP1)과 열탄(RP2)의 경우 수분함량이 약 3%로 낮았음에도 불구하고 VS 함량은 각각 약 67%와 70%로 낮았다. 이는 착화탄과 열탄 제조시 목질 성분으로만 제조하는 것이 아니라 일정량의 석탄 성분과 기타 무기성물질을 혼합하게 되는데 이 물질의 회분함량이 목질 성분보다 높기 때문으로 판단된다. 또한, 목재제품의 경우 수분함량에서는 다양한 값을 보인 반면에 습윤기준 가연분에서는 원목을 제외하고 81~89%로 비슷한 값을 나타냈으며 원목에서 68%로 다소 낮은 값을 보였다. 그러나, 회분의 경우 1%로 상당히 낮은 원목과 비교하여 가공목재제품에서의 회분은 최대 12%를 나타냈으며 이들 중 PB(RP5)가 가장 높게 나타났다. 이는 목재가공과정에서 다양한 물질이 첨가되어 연소효율을 떨어뜨렸기 때문이라 판단된다.

건조기준으로 환산할 경우 수분의 영향 없이 건조시료 상태에서의 VS 및 회분 함량을 쉽게 비교할 수 있다. 건조기준 VS 함량은 대체적으로 95% 이상이었고, 회분함량은 5% 이하였다. 회분의 양이 비교적 많이 남아있는 항목으로는 가로수 전지목(L6)이 4.7%, 사업장의 재활용가공공장목재분진(I2)이 6.2%, 목재상자 중 여상자(L8)가 6.7%, 폐선박(I14)이 6.4%를 나타내었다. 재활용제품 중 연료제품과 목재제품의 건조기준 가연분함량은 각각 69~73%와 87~98%, 회분함량은 27~31%와 2~13%의 분포를 보였다.

**Table 3.** Heating values of wood waste used

| Origin   | Sample | Heating value by caloremeter (kcal/kg) |                 |                 | Origin   | Sample           | Heating value by caloremeter (kcal/kg) |                 |                 |       |
|----------|--------|--|-----------------|-----------------|----------|------------------|--|-----------------|-----------------|-------|
|          |        | HHV (dry basis)                        | HHV (wet basis) | LHV (wet basis) |          |                  | HHV (dry basis)                        | HHV (wet basis) | LHV (wet basis) |       |
| Forest   | F1     | 4,890                                  | 4,398           | 3,992           | Industry | I3               | 6,553                                  | 5,861           | 5,487           |       |
|          | F2     | 5,571                                  | 4,693           | 4,248           |          | I4               | 5,584                                  | 5,993           | 5,653           |       |
| Living   | L1     | 6,587                                  | 5,848           | 5,439           |          | I5               | 6,371                                  | 5,970           | 5,636           |       |
|          | L2     | 6,436                                  | 2,813           | 2,174           |          | I6               | 6,438                                  | 5,752           | 5,383           |       |
|          | L3     | 6,614                                  | 6,031           | 5,599           |          | I7               | 6,246                                  | 5,650           | 5,306           |       |
|          | L4     | 6,234                                  | 5,739           | 5,364           |          | I8               | 6,220                                  | 5,885           | 5,557           |       |
|          | L5     | 6,329                                  | 5,930           | 5,562           |          | I9               | 6,145                                  | 5,364           | 4,984           |       |
|          | L6     | 6,056                                  | 5,224           | 4,837           |          | I10              | 5,600                                  | 5,167           | 4,786           |       |
|          | L7     | 6,475                                  | 5,870           | 5,473           |          | I11              | 6,406                                  | 6,014           | 5,588           |       |
|          | L8     | 4,904                                  | 4,215           | 3,879           |          | I12              | 6,585                                  | 5,760           | 5,308           |       |
| C&D      | C1     | 6,318                                  | 5,805           | 5,426           |          | I13              | 6,066                                  | 5,382           | 4,978           |       |
|          | C2     | 6,312                                  | 5,705           | 5,344           |          | I14              | 6,413                                  | 4,522           | 4,001           |       |
|          | C3     | 6,421                                  | 5,952           | 5,592           |          | I15              | 7,096                                  | 6,037           | 5,588           |       |
|          | C4     | 5,772                                  | 4,864           | 4,414           |          | Recycled product | RP1                                    | 7,578           | 4,334           | 4,185 |
|          | C5     | 6,433                                  | 5,796           | 5,390           |          |                  | RP2                                    | 5,990           | 4,175           | 4,013 |
|          | C6     | 6,910                                  | 6,260           | 5,902           | RP3      |                  | 4,689                                  | 3,165           | 2,592           |       |
|          | C7     | 6,567                                  | 6,064           | 5,695           | RP4      |                  | 6,517                                  | 5,297           | 4,875           |       |
| Industry | I1     | 5,938                                  | 5,326           | 4,940           | RP5      |                  | 6,647                                  | 5,480           | 5,125           |       |
|          | I2     | 5,950                                  | 5,088           | 4,746           | RP6      |                  | 7,306                                  | 6,525           | 6,181           |       |

HHV : High Heating Value, LHV : Low Heating Value, C&D : Construction & Demolition

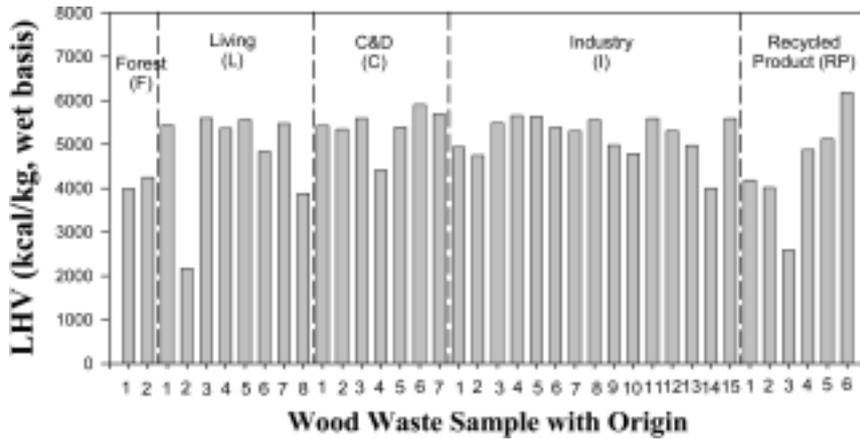


Fig. 1. LHV (low heating value) of wood wastes and recycled products with origin.

3.2. 발열량

단열열량계로 측정된 폐목재의 건조발열량과 고위 및 저위 발열량을 Table 3에 나타내었다. 건조발열량은 임목부산물(F code)이 4,890~5,571 kcal/kg, 생활계폐목재(L code)가 4,904~6,614 kcal/kg, 건설폐목재(C code)는 5,772~6,910 kcal/kg, 그리고 사업장폐목재(I code)는 5,584~7,096 kcal/kg의 범위를 보였다. 건조발열량은 임목부산물보다 다소 낮은 발열량을 나타내었으나 기타 발생원에서는 유사하게 약 6,000 kcal/kg 정도의 높은 발열량을 나타내었다. 세부 항목별 건조발열량에서는 철도침목(I15)이 다른 폐목재보다 다소 높은 발열량(7,096 kcal/kg)을 나타내었는데 이는 철도침목의 방부처리시 사용되었던 방부제와 방수를 위한 오일 등의 영향 때문인 것으로 생각된다.

저위발열량은 임목부산물(F code)이 3,992~4,248 kcal/kg, 생활계폐목재(L code)가 2,174~5,599 kcal/kg, 건설폐목재(C code)는 4,414~9,902 kcal/kg, 그리고 사업장폐목재(I code)는 4,001~5,653 kcal/kg의 범위를 보였다(Table 3과 Fig. 1). 버섯재배폐목(L2)이 가장 낮은 저위발열량(2,174 kcal/kg)을 나타내었는데 이는 앞의 삼성분에서 볼 수 있듯이 버섯재배폐목의 수분함량이 55%로 다른 폐목재에 비하여 매우 높았기 때문이다. ‘자원의절약과재활용촉진에관한법률’ 시행규칙 [별표7]에는 고품연료제품의 품질기준에 저위 발열량이 3,500 kcal/kg 이상일 것으로 규정되어 있다.<sup>8)</sup> 본 연구결과의 저위발열량만을 살펴보면, 수분함량이 55%로 높았던 버섯재배폐목(L2)을 제외하고는 모두 고품연료제품의 발열량 기준을 만족하는 것으로 나타났기 때문에 폐목재를 이용한 고품연료제품의 직접 가공도 가능할 것으로 판단되었다.

한편, 재활용 연료제품(RP1, RP2)의 건조발열량은 약 6,000~7,600 kcal/kg으로 폐목재(약 4,900~7,100 kcal/kg)와 비슷하였다(Table 3과 Fig. 1). 저위발열량은 약 4,100 kcal/kg로 일부 항목을 제외한 폐목재의 범위보다 다소 낮게 나타났는데 이는 착화탄과 열탄의 경우 수분함량(3.5% 정도)보다는 제품제조시 첨가되는 기타 무기성 물질 때문에 발열량이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 재활용 목재제품(RP3~

RP6)의 발열량에서는 원목(RP3)을 제외하고 나머지 가공 목재제품에서 건조발열량이 약 6,500 kcal/kg 내외로 폐목재의 범위에 해당하였고, 저위발열량은 약 5,500 kcal/kg 내외로 폐목재 발열량의 높은 범위에 해당하였다. 원목(RP3)은 이들 가공목재제품보다 건조고위발열량이 약 4,700 kcal/kg, 습윤저위발열량이 약 2,600 kcal/kg으로 낮게 나타났다. 원목(RP3)의 낮은 저위발열량은 앞의 수분함량 결과에 나타났듯이 원목의 수분함량이 높았기 때문인 것으로 사료된다(Table 2 참조).

3.3. 중금속 및 염소

앞에서 제시된 폐목재와 재활용제품의 발열량 분석자료는 폐목재의 열적 재활용시 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나, 이들의 열적 재활용시 발열량 이외에 기타 건강 및 환경유해성에 관한 검토도 이루어져야 할 것이다.

폐목재의 경우 그 용도가 물질원료, 연료, 에너지회수 등의 용도로 사용되기 때문에 중금속 용출결과보다는 함유량결과가 더 합리적이라 판단되어 용출시험은 고려하지 않았으며, 함유량시험에 대해서만 검토하였다. 폐목재의 중금속함유량을 Table 4에 나타내었으며, 특히 CCA 함량은 Fig. 2에도 제시하였다. Pb는 약 0.8~90 mg/kg으로 다양한 농도 값을 나타내었으나 전선드럼-표면도색 원목(I13)에서 573 mg/kg으로 가장 높은 농도를 보였다. Cu는 생활계의 벤치목과 사업장계의 폐선박(I14)에서 약 400 mg/kg으로 다른 폐목재에 비하여 매우 높게 나타났지만, 또 다른 방부목인 철도침목(I15)에서는 다른 폐목재와 비슷한 5.3 mg/kg을 보였다. Cd는 0.05~36.51 mg/kg의 범위를 보였으며, 이들 중 사업장계 전선드럼-원목(I12)과 목재박스포장재-MDF(I11)에서 각각 36.5와 22.1 mg/kg로 비교적 높게 나타났고, 총 Cr은 생활계의 벤치목이 709 mg/kg로 가장 높은 값을 보였고, 그 다음으로 생활계의 폐가구-원목(L3)과 사업장계의 전선드럼-표면도색 원목(I13)이 각각 96과 148 mg/kg으로 비교적 높은 값을 보였다. As는 대부분이 5 mg/kg 이하였으나, 벤치목(L7)만 480 mg/kg으로 매

**Table 4.** Heavy metals and Cl concentrations, and recycling grade of wood waste used

| Origin           | Sample | Heavy metals (mg/kg, dry weight basis) |        |        |       |       |        |         |       | Cl (%) | Grade for Recycling |
|------------------|--------|--|--------|--------|-------|-------|--------|---------|-------|--------|---------------------|
|                  |        | Pb                                     | Zn     | Cu     | Ni    | Cd    | Cr     | As      | Hg    |        |                     |
| Forest           | F1     | 6.92                                   | 47.57  | 5.06   | 5.47  | 0.58  | 10.67  | 0.066   | ND    | 0.027  | 1                   |
|                  | F2     | 3.56                                   | 51.53  | 3.17   | 20.89 | 0.63  | 29.26  | 0.069   | 0.613 | 0.01   | 1                   |
| Living           | L1     | 1.08                                   | 11.63  | 1.16   | 3.78  | 0.05  | 5.72   | 1.122   | 0.073 | 0.013  | 1                   |
|                  | L2     | 12.00                                  | 53.01  | 10.91  | 25.54 | 0.50  | 51.24  | 1.287   | 0.469 | ND     | 1                   |
|                  | L3     | 3.49                                   | 35.30  | 4.99   | 48.34 | 0.15  | 96.00  | 0.105   | 0.399 | 0.034  | 1                   |
|                  | L4     | 7.38                                   | 35.26  | 4.10   | 5.82  | 0.06  | 10.60  | 0.077   | 0.681 | 0.007  | 2                   |
|                  | L5     | 42.13                                  | 34.76  | 1.74   | 7.57  | 1.35  | 20.42  | 0.061   | 0.307 | 0.159  | 2                   |
|                  | L6     | 6.01                                   | 88.29  | 4.70   | 6.94  | 0.31  | 10.67  | 0.095   | 0.387 | 0.002  | 1                   |
|                  | L7     | 31.20                                  | 44.39  | 402.02 | 7.76  | 0.19  | 709.16 | 479.622 | 0.137 | 0.063  | 3                   |
|                  | L8     | 40.68                                  | 45.28  | 14.42  | 15.15 | 0.31  | 26.34  | 0.717   | 0.130 | 1.257  | 1                   |
| C&D              | C1     | 2.065                                  | 29.89  | 2.97   | 4.39  | 0.06  | 7.62   | 0.428   | ND    | 0.194  | 1                   |
|                  | C2     | 11.08                                  | 41.02  | 2.69   | 3.64  | 9.36  | 8.35   | 0.126   | 0.081 | 0.151  | 2                   |
|                  | C3     | 6.99                                   | 28.56  | 7.24   | 5.37  | 0.26  | 8.87   | 0.113   | 2.149 | ND     | 1                   |
|                  | C4     | 74.68                                  | 134.73 | 3.95   | 4.12  | 0.16  | 18.99  | 0.075   | 0.328 | 0.038  | 2                   |
|                  | C5     | 2.18                                   | 44.83  | 3.30   | 8.36  | 0.15  | 11.35  | 0.063   | 0.436 | 0.015  | 1                   |
|                  | C6     | 8.84                                   | 33.46  | 4.08   | 5.31  | 1.43  | 8.20   | 0.108   | 0.098 | 0.172  | 2                   |
|                  | C7     | 3.11                                   | 19.18  | 3.76   | 6.59  | 0.12  | 8.68   | 0.062   | 0.102 | 0.002  | 2                   |
| Industry         | I1     | 1.59                                   | 40.74  | 4.52   | 47.24 | 0.06  | 14.40  | 0.063   | 0.553 | 0.001  | 1                   |
|                  | I2     | 45.77                                  | 62.71  | 16.88  | 17.90 | 0.29  | 33.60  | 1.224   | 0.296 | 0.079  | 3                   |
|                  | I3     | 5.38                                   | 44.13  | 10.70  | 15.09 | 0.17  | 19.39  | 0.067   | 0.616 | 0.006  | 1                   |
|                  | I4     | 4.26                                   | 46.93  | 2.79   | 9.12  | 0.02  | 13.25  | 0.069   | 0.119 | 0.144  | 2                   |
|                  | I5     | 25.10                                  | 30.45  | 4.22   | 10.30 | 0.33  | 19.87  | 0.069   | 0.027 | 0.022  | 2                   |
|                  | I6     | 4.11                                   | 44.15  | 3.89   | 20.90 | 0.15  | 29.70  | 0.088   | 0.338 | ND     | 1                   |
|                  | I7     | 7.94                                   | 22.98  | 4.69   | 13.56 | 3.45  | 19.82  | 0.123   | 0.201 | 0.064  | 2                   |
|                  | I8     | 46.94                                  | 37.81  | 2.90   | 14.84 | 15.37 | 23.62  | 0.063   | 0.965 | 0.001  | 2                   |
|                  | I9     | 2.26                                   | 48.59  | 4.36   | 19.98 | 0.26  | 25.14  | 0.069   | 0.939 | 0.056  | 1                   |
|                  | I10    | 3.15                                   | 36.90  | 5.65   | 11.51 | 0.07  | 15.85  | 0.063   | 0.118 | 0.090  | 2                   |
|                  | I11    | 0.84                                   | 16.10  | 0.99   | 11.40 | 22.10 | 14.21  | 0.064   | 0.540 | 0.047  | 2                   |
|                  | I12    | 2.90                                   | 37.15  | 1.45   | 14.22 | 36.51 | 19.28  | 0.194   | 0.722 | 0.005  | 1                   |
|                  | I13    | 573.18                                 | 42.76  | 4.74   | 16.39 | 5.33  | 148.27 | ND      | 0.101 | 0.001  | 2                   |
|                  | I14    | 89.85                                  | 293.22 | 408.31 | 27.81 | 1.38  | 43.10  | 0.072   | 0.597 | 0.195  | 3                   |
|                  | I15    | 6.90                                   | 28.32  | 5.89   | 25.87 | 0.17  | 33.67  | 2.979   | 0.621 | 0.014  | 3                   |
| Recycled product | RP1    | 345.80                                 | 5678.7 | 248.68 | 43.04 | 5.53  | 105.90 | 5.692   | 0.583 | 0.006  | -                   |
|                  | RP2    | 131.90                                 | 387.52 | 156.52 | 20.93 | 3.17  | 25.60  | 2.522   | 0.109 | 0.009  | -                   |
|                  | RP3    | 0.13                                   | ND     | ND     | 8.61  | ND    | 11.59  | ND      | 0.116 | ND     | -                   |
|                  | RP4    | 5.72                                   | ND     | ND     | 5.37  | ND    | 6.32   | ND      | 0.142 | 0.003  | -                   |
|                  | RP5    | 24.88                                  | 152.48 | 6.88   | 30.97 | 0.44  | 45.29  | ND      | 0.499 | 0.165  | -                   |
|                  | RP6    | 3.09                                   | ND     | 2.31   | 5.02  | ND    | 7.95   | ND      | 0.084 | 0.050  | -                   |

C&D : Construction & Demolition, ND : Not Detected

우 높은 농도를 보여 CCA(Chrome, Copper, Arsenic: 크롬-구리-비소)로 방부처리된 폐목재임이 확인되었다. 윤희명 등<sup>9)</sup>은 CCA-폐목재를 태운 소각재 내의 유해중금속 함량이 도시생활계 폐기물 소각재에 비해 Cu는 4~15배, Cr은 약 20~100배, As는 약 600~4,000배의 높은 농도를 보인하고 하므로써 소각시 CCA-폐목재에 대한 심각성을 제시하였다. Hg은 해체시 발생하는 건축폐목재 원목(C3)이

2.149 mg/kg인 것을 제외하면 불검출~0.965 mg/kg의 농도를 나타내었다. CCA로 처리된 목재로 지은 통나무 구조물과 방음벽 주변 토양의 CCA 농도를 분석한 결과 구조물에 인접한 토양에서 크롬, 구리 및 비소(CCA)의 농도는 배경 토양보다 높게 나타났으며, 3년 된 구조물에 인접한 표토의 농도는 8년 된 구조물에서의 농도보다 높게 나타났다.<sup>10)</sup>

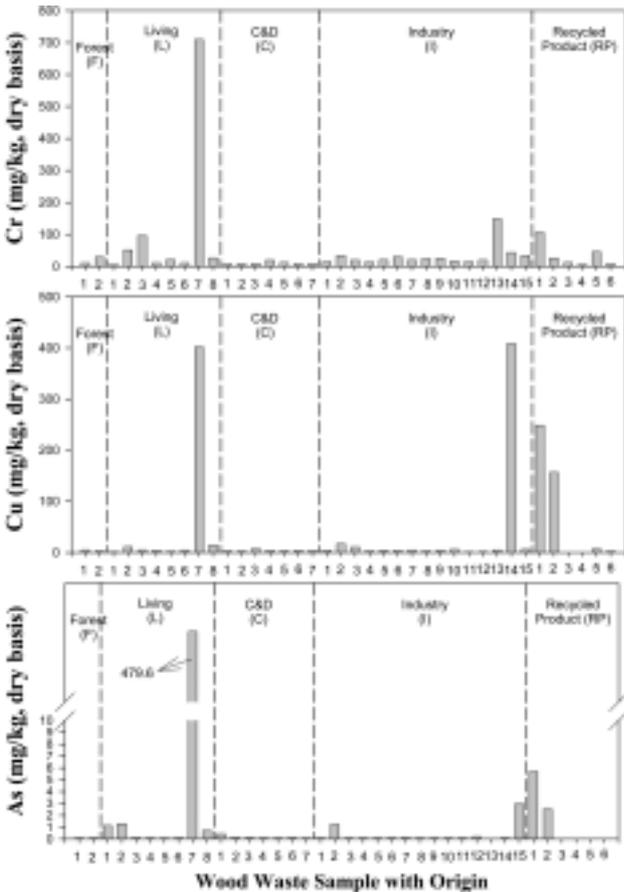


Fig. 2. CCA (Cr, Cu, As) metal concentrations of wood wastes and recycled products with origin.

재활용 연료제품인 착화탄(RP1)과 열탄(RP2)에서 다른 폐목재들과 비교하여 모든 중금속에서 수 배~수백 배(Pb 132~346, Cu 157~249, Cd 3.2~5.5, Cr 26~106, As 2.5~5.7 mg/kg)가 높게 나타났으며, 재활용 목재제품에서는 PB (RP5)를 제외하고는 비교적 낮은 중금속 농도를 보였다 (Table 4). PB 목재제품(RP5)에서는 Pb이 25, Zn 152, Ni 31, Cr 45 mg/kg으로 비교적 높은 농도를 나타내었다.

중금속함유량 결과를 종합적으로 평가해 보면, 폐목재의 경우 CCA로 처리된 벤치목(L7), 폐선박(I14), 철도침목(I15) 등 방부목에서 Cr, Cu, As가 매우 높게 나타나 방부목의 사용과 관리, 폐기처분에 대한 엄격한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 또한, 생활계의 폐가구-원목(L3), 건설계의 해체 폐목재(C3, C4), 사업장계의 목재박스포장재-MDF(I11), 전선드럼-원목(I12), 전선드럼-표면도색 원목(I13)이 특별 폐목재관리 대상물질로 고려되어야 할 것으로 판단된다. 특히, 전선드럼-표면도색 원목(I13)의 경우 Cr과 Pb가 비교적 높은 함량을 보여 특별 관리가 요구된다. 한편, 재활용 연료제품(RP1, RP2)에서는 거의 모든 중금속이 비교적 높은 농도로 나타나 이에 대한 대책이 필요한 것으로 나타났다. 재활용 목재제품 중 PB(RP5)에서도 중금속함유량이 폐목재에 비해 상대적으로 다소 높게 나타나 이에 대한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

염소는 소각 및 열병합 발전과 같은 열적처리에서 다이옥신 및 염화수소가스(HCl)를 생성할 수 있다. 문동호 등<sup>11)</sup>은 폐목재 소각시 가정폐기물의 소각시보다 다이옥신류가 약 2.3배, Co-PCBs가 약 6배 높게 배출된다고 하였으며, 함상이 등<sup>4)</sup>은 PB 및 MDF를 저온에서 소각시 폐놀계열의 접착제가 PCDDs/DFs 전구물질로 변환될 가능성이 있다고 하였다. 본 연구에서는 미국재료시험협회시험법에 의한 함유량시험 분석결과 목재어상자(L8)에서만 염소함량이 약 1.3%로 가장 높게 나타났고 나머지 폐목재 및 재활용 제품의 염소함량은 0.2% 이하로 낮은 값을 보였다(Table 4). 발생원별로 보면, 임목부산물은 0.01~0.03%, 생활계폐목재는 불검출~1.26%, 건설계폐목재는 불검출~0.19%, 사업장계폐목재는 불검출~0.14%의 범위를 보였다. 또한, 재활용 목재제품에서는 MDF가 0.17%로 가장 높은 것을 제외하고 모두 0.01%의 낮은 염소함량을 보였다. 본 결과를 우리나라 ‘자원의절약과재활용촉진에관한법률’ 시행규칙 [별표7]의 고형연료제품의 품질기준 중 염소함량(건조기준 2 wt.%)과 비교하였을 때 모두 이 기준을 만족하였다.<sup>8)</sup>

함상이 등<sup>4)</sup>은 가구류와 같은 폐목재를 저온영역에서 소각할 경우 PB나 MDF 등 폐놀계열의 접착제 성분이 완전히 분해되지 않고, PCDDs/DFs 전구물질의 형태로 변형이 가능하다고 하였다. 또한 목재의 보호와 수명연장을 위해 CCA로 약제처리한 방부목은 PCDDs/DFs 재합성 과정에서 촉매역할을 하는 것으로 알려진 중금속을 함유하고 있기 때문에 이러한 폐목재가 소각될 경우 다량의 다이옥신을 배출할 가능성이 매우 높다고 하였다. 실제로 7개의 폐목재 소각시설과 43개의 일반 혼합폐기물 소각시설의 다이옥신 배출농도를 측정한 연구결과를 보면, 폐목재 소각시설에서 다이옥신이 다량으로 배출되고 있음을 확인할 수 있다. 폐목재 소각시설에서 측정된 다이옥신 농도는 5.983~518.250 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>(평균 128.53 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>)이었던 반면, 일반 혼합폐기물 소각시설에서는 0.062~434.413 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>(평균 33.105 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>)으로 폐목재 소각시설에서 30배 정도가 고농도로 측정되었다.<sup>4)</sup>

함상이 등<sup>4)</sup>이 발표한 결과를 좀 더 인용하면 다음과 같다. 2004년 8월에 개정된 폐기물관리법 [별표8]에 따르면 2006년 1월 1일부터 시간당 처리능력이 25 kg~<2톤인 소각시설의 경우 다이옥신 배출기준이 40 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>으로 적용을 받으며, 이를 적용할 경우 7개의 폐목재 소각시설 중 5개 시설이 초과하므로 소각시설에 대한 조치가 필요하다고 하였다. 기준치를 초과하는 5개 시설 중 4개 시설은 가구류 위주의 생활계 폐목재를 소각하는 시설이며, 나머지 1개 시설은 사업장계 폐목재를 소각하는 시설이었다. 생활계폐목재를 소각하는 4개 시설의 경우 폐가구류 위주로 소각하나 배출되는 PCDDs/DFs 농도는 57 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup> 이상으로 고농도가 측정되었다. 그러나 Skodras 등<sup>12)</sup>에 의하면 600℃ 이상에서 MDF 소각시 약 70 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>으로 측정되어 함 등<sup>4)</sup>의 연구에서의 평균 128.53 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>에 비해 낮은 농도로 측정되었다. 이는 MDF만을 소각

할 때 MDF 제작에 사용되는 접착제의 질소에 의해 PCDDs/DFs의 합성을 방해하기 때문이라고 한다. 그러나 선정된 생활계폐목재 소각시설의 경우 실제 소각시설 가동시 폐가구류의 페인트와 같은 불순물과 사업장에서 배출되는 폐목재가 구분없이 혼합되어 소각되고 있었다. Samaras 등<sup>5)</sup>은 CCA 방부목의 혼합소각은 중금속 축매작용으로 CCA 방부목의 혼합없이 소각하였을 때 보다 약 20배 고농도의 PCDDs/DFs가 배출된다고 하였다. 또한 CCA 방부목의 혼합뿐만 아니라 저온영역에서의 소각이 고농도 PCDDs/DFs 배출의 한 원인이라고 하였다.

### 3.4. 폐목재 등급화

폐목재 재활용 시스템이 잘 구축되어 있는 독일의 예를 살펴보고 본 연구의 폐목재 특성분석을 근거로 국내의 폐목재 등급화 방안에 대하여 살펴보았다. 폐목재 등급화관리를 위해서는 배출현장 및 지도점검 기관에서 폐목재를 등급별로 분류할 수 있는 쉬운 기준 제시가 필요하다.<sup>13)</sup>

독일은 폐목재를 효율적으로 관리하기 위하여 2002년 8월 15일 폐목재 관리명령(이하 명령)을 공포하였다. 명령에서는 순환폐기물법에서 규정하고 있는 폐기물 정의에 해당하는 목재를 폐목재로 정의하고 있으며, 금속 등 다른 물질과 결합되어 있는 폐기물의 경우에도 주요 구성이 목재로 되어 있을 경우(총부피기준 50% 이상) 폐목재로 분류하고 있다.<sup>14)</sup> 폐목재의 등급을 유해물질 함유에 따라 4등급으로 나누어 순수목재는 A I, 접착제 및 페인트 등으로 처리된 목재는 A II, 할로겐족 유기화합물이 코팅되어 있는 목재는 A III, 그리고 방부제 및 기타 유해물질을 함유한 경우(PCBs 오염폐목재는 등급지정 대상에서 제외되며, 처리기준에 따라 처리하여야 함)에는 A IV 등급으로 분류하였다. 등급판정과 관련하여 명령 Annex III에서는 배출원별 배출유형을 고려하여 등급을 지정하고 있으며, 특별한 경우가 아니면 해당 등급대로 관리한다. 예외적인 경우 다른 등급으로 관리할 수 있는데, 그럴 경우 그 사유를 관리대장에 기재하여야 한다.

1일 0.3톤 혹은 누적부피 1 m<sup>3</sup> 이상의 폐목재, PCBs 함유 폐목재, 방부폐목재가 발생하는 경우 폐목재 발생원 및 종류에 따라, 폐목재 등급에 따라 분리하여 기록하고, 배출, 선별, 보관하도록 하며, 폐목재 유통 시에는 반드시 해당 등급을 기재한 후 거래하도록 한다. 등급판정을 명확하게 내리기 힘들 경우에는 낮은 등급으로 우선 판정하고, 여러 등급의 폐목재가 혼합되어 있을 경우에도 낮은 등급의 폐목재로 분류한다. 방부목이라는 의심이 들 경우에도 4등급으로 분류한다. 폐목재 재활용 시설에는 등급판정을 내릴 수 있는 훈련받은 직원이 있어야 하며, 시설 내에 훈련 매뉴얼이 있어야 한다. 폐목재 처리와 관련하여 재활용을 우선하고, 재활용이 힘든 폐목재는 소각시키도록 한다. 에너지 회수의 경우 연방환경보호법(The Federal Immission Control Act) 및 이 법에 근거한 명령(ordinance)의 규정을 준수하도록 한다.

독일은 목재칩 가공원료로 반입되는 폐목재에 대해서 엄격하게 관리하고 있는데, 1~2등급 폐목재는 사용이 가능하고, 3등급 폐목재의 경우에는 할로겐족 유기화합물 코팅제 등이 제거된 경우에 한하여 사용이 가능하도록 허용하고 있다. 4등급 폐목재는 사용을 금지하고 있다. 목재칩 가공업체는 가공 과정 중에 방부목 함유 여부 및 중금속 함유여부를 판단하기 위한 500톤을 모집단으로 하여 표본조사(수은과 PCBs는 제외)를 해야 한다. 검사결과 방부목이 함유되었거나 기준치 이상의 중금속이 함유된 폐목재가 있을 경우 모집단이 되는 폐목재 전부를 A IV등급으로 판정한다. 특별감시폐기물로 분류되는 폐목재는 폐기물 목록 명령(Waste List Ordinance)에 따라 분류하고, 유해폐목재가 혼합되어 있을 경우 전체를 유해폐목재로 분류한다.

독일의 폐목재 등급화와 본 연구의 폐목재 특성분석 결과를 바탕으로 우리나라 폐목재의 등급화 방안에 대하여 검토하였다. 2가지 등급화 방안을 검토해 볼 수 있는데 제 1안은 3등급화하여 원목상태 그대로이거나 기계적 가공처리만 거친 순수목재로 사용 중에 유해물질에 오염되지 아니한 폐목재는 1등급으로, 가공·처리·사용과정에서 접착제, 페인트, 기름, 콘크리트 등의 물질이 사용되었거나 이에 오염된 폐목재(단, 할로겐족 유기화합물이나 방부제가 사용된 폐목재는 제외)는 2등급으로, 그리고 1~2등급에 해당되지 아니한 폐목재 및 가공·처리·사용과정에서 할로겐족 유기화합물이나 방부제가 사용되었거나 이에 오염된 폐목재 및 목재고형연료제품의 유해물질 함유기준을 초과하는 폐목재는 3등급으로 분류하는 것이다. 제 2안은 4등급화하여 1등급과 2등급 기준은 제 1안과 동일하게 하되, 제 1안의 3등급을 두 개로 나누어 가공·처리·사용과정에서 할로겐족 유기화합물이 사용되었거나 이에 오염된 폐목재(단, 방부제가 사용된 폐목재는 제외)는 3등급으로 하고, 가공·처리·사용과정에서 방부제가 사용되었거나 이에 오염된 폐목재 및 목재고형연료제품의 유해물질 함유기준을 초과하는 폐목재는 4등급으로 분류하는 것이다. 또한 3등급화이든 4등급화이든 폐목재의 등급화를 정착시키기 위해서는 폐목재 및 목재고형연료제품의 유해물질 함유기준을 명확히 설정하여야 할 필요가 있다.

독일의 경우 4등급 폐목재는 재생목재제품의 원료로 사용이 불가능하도록 규제하고 있으며, 3등급 폐목재의 경우 코팅제 등을 제거할 경우에 사용이 가능하도록 하고 있다. 즉, 할로겐족 유기화합물질로 처리된 표면을 제거하지 않는다면 3등급과 4등급의 분류의 차별성이 없다고 볼 수 있다. 그러나 국내의 폐목재 관리여건상 할로겐족유기화합물이 사용되었거나 이에 오염된 폐목재의 양은 많지 않다. 실제 페인트 업체를 대상으로 현장 탐문조사한 결과 할로겐이 함유된 페인트는 용도의 대부분이 금속제품을 대상으로 하고 있고, 목재제품에는 할로겐함유 페인트가 사용되지 않는 것으로 나타났다. 따라서 할로겐이 함유된 폐목재의 양이 소량이고 현장에서 할로겐족유기화합물이 사

용되었거나 이에 오염된 폐목재와 방부폐목재의 구별이 용이하지 않은 점을 감안할 때 제 1안의 방안이 더 타당할 것으로 판단된다. 폐목재 등급화에 따른 재활용 용도에서 1등급은 모든 활용처에 사용할 수 있고, 2등급은 인체나 환경에 영향을 미치지 않는 범위에서 재생목재제품 원료, 연료화, 에너지화 시설 등에 사용될 수 있으며, 3등급은 대기오염방지설비가 완비된 에너지회수 시설에서의 사용이 가능할 것이다.

폐목재 재활용에서는 기본적으로 자원순환이 최대한 이루어질 수 있도록 원형물질 이용을 최우선으로 하고 그 다음은 연료 및 에너지화하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 본 연구에서의 폐목재 특성분석 결과를 제 1안에 대하여 등급화하여 Table 4에 나타내었다. 이 등급화 방안은 국내 폐목재 재활용 활성화를 위한 참조자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 대부분의 폐목재가 1등급에 해당하였으며, 합판류(L4, C2, C6, I4, I7, I10), MDF(L5, C7, I5, I8, I11), 포면도색된 전선드럼(I13)은 2등급에 해당하였다. 3등급에 해당하는 폐목재는 벤치목(L7), 재활용공장목재분진(I2), 폐선박(I14)과 철도침목(I15)으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구는 폐목재 발생원별 삼성분, 발열량, 그리고 중금속 및 CI 함량을 분석하여 폐목재 특성을 평가함으로써 향후 폐목재 등급화를 위한 품질근거 기준을 마련하는데 필요한 기초자료를 제시하고자 하였으며, 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 4가지로 대분류한 발생원의 폐목재에서 수분함량은 대부분 5~10%를 나타내었으며, 이를 수분함량을 제외한 건조기준으로 환산하였을 때 가연분함량은 95% 이상이었으며, 회분함량은 5% 이하를 나타내었다.

2) 폐목재는 수분함량이 55%로 높았던 버섯재배폐목을 제외하고는 ‘건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률’ [별표7]의 고품질연료제품의 품질기준 중 발열량 기준(저위발열량  $\geq 3,500$  kcal/kg)을 만족하였다.

3) CCA로 처리된 벤치목, 폐선박, 철도침목 등 방부목에서 Cr, Cu, As가 매우 높게 나타나 방부목의 사용과 관리, 폐기처분에 대한 엄격한 관리가 필요한 것으로 나타났다.

4) CI 함량은 목재 어(魚)상자에서만 약 1.3%로 가장 높게 나타났고 나머지 폐목재 및 재활용제품에서는 0.2% 이하의 낮은 값을 보였으나 고품질연료제품의 염소함량 품질기준(건조기준 2 wt.%)을 모두 만족시켰다.

5) 발생원별 폐목재를 3등급화할 경우 대부분의 폐목재가 1등급에 해당하였으며, 합판류(L4, C2, C6, I4, I7, I10), MDF(L5, C7, I5, I8, I11), 포면도색된 전선드럼(I13)은 2등급에 해당하였다. 3등급에 해당하는 폐목재는 벤치목(L7), 재활용공장목재분진(I2), 폐선박(I14)과 철도침목(I15)으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. 환경부·산림청, “폐목재의 재자원화 현황 및 향후 대책,” 폐목재 재활용 활성화를 위한 심포지엄 자료집, 15~44(2007).
2. 이종영, “폐목재의 재활용에 대하여,” 대한토목학회지, **46**(12), 33~41(1998).
3. 안홍준, “폐목재 재활용 촉진방안 연구,” 환경부 국정감사 정책자료집, 7~8(2006).
4. 함상이, 최기인, 김희중, 서동준, 이동훈, “폐목재 소각 시설에서 배출되는 PCDDs/DFs의 이성체 분포특성에 관한 연구,” 한국폐기물학회, 추계학술연구회발표집, 483~486(2005).
5. Samaras, P., Skodras, G., Sakellaropoulos, G. P., Blumenstock, M., Schramm, K. W., Kettrup, A., “Toxic emissions during co-combustion of biomass-waste wood-lignite blends in an industrial boiler,” *Chemosphere*, **43**, 751~755(2001).
6. 환경부, 폐기물관리법(2008).
7. 환경부, 폐기물공정시험법(2004).
8. 환경부, 자원의절약과재활용촉진에관한법률(2007).
9. 윤현명, 강희석, 장용철, 장혜진, “CCA-방부처리목재 조각재료로부터의 비소, 크롬 및 구리의 용출특성에 관한 연구,” 한국폐기물학회, 춘계학술연구발표논문집, 487~490(2005).
10. 김희갑, 송병열, 구진희, “CCA 처리 목재로 지은 세계의 통나무 구조물과 방음벽 주변 토양에서 크로, 구리 및 비소의 공간적 분포,” *지하수토양환경*, **13**(2), 12~20(2008).
11. 문동호, 황태웅, 박금정, 이상원, 주창한, 옥근, “건축폐목재 및 가정폐기물의 비관리 연소공정에서 배출되는 PCDD/DFs 및 Co-PCBs의 배출계수 산정,” *한국폐기물학회지*, **24**(1), 29~35(2007).
12. Skodras, G., Grammelis, P., Samaras, P., Vourliotis, P., Kakaras, E., Sakellaropoulos, G. P., “Emission monitoring during coal waste wood co-combustion in an industrial steam boiler,” *Fuel*, **81**, 547~554(2002).
13. Krook, J., Mårtensson, A., Eklund, M., Libiseller, C., “Swedish recovered wood waste: linking regulation and contamination,” *Waste Management*, **28**, 638~648(2008).
14. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, “Fourth ordinance for the implementation of the federal immission control act (ordinance on installations requiring a permit-4.BImSch V),” the Bundesregierung, Germany(2002).