

동의 폐자원흐름분석을 통한 자원순환 활성화 방안

이희선 · 우정훈 · *이재천*

한국환경정책 · 평가연구원, *한국지질자원연구원

The Activation Plan of Resource Circulation of Copper through Analysis of Waste Resources Circulation Flow

Hi Sun Lee, Jeong-Hun Woo and *Jae-chun Lee*

Korea Environment Institute

**Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*

요 약

기존 사례조사를 바탕으로 국내의 구리에 대한 물질흐름 분석을 Up-stream과 Down-stream으로 구분하여 실시하였으며, 2010년 기준 폐기물로 배출된 이후의 폐기-재활용 흐름에 대해서 현장조사를 통한 분석을 실시하였다. 배출 이후의 물질흐름을 배출 및 수입, 수거 및 폐기, 자원회수, 제품생산 및 수출의 4단계로 나누어 각 단계별로 분석했다. 재활용 단계에서 36.8%의 자원순환율 도출 되었고, 이를 바탕으로 각 단계별로 자원순환율을 증진시킬 수 있는 여러 방안을 제시하였다. 배출 및 수입 단계에서는 지정을 세분하여 적절한 경우 이를 폐기물 자원으로 분류할 것을 제안하였다. 이런 폐자원에 대해서 할당관세를 적용을 제안하였다. 수거 및 폐기 단계에서는 부과세 편취 해결과 입찰제도의 개선을 통한 수급 안정화 방안을 제시하였다. 자원순환단계에서는 전문적인 과제 및 분쇄 업체를 육성방안과 대기업과 중소기업간의 상생방안을 제시하였다. 제품생산 및 수출 단계에서는 현재 구리스크랩 재활용 상황에서 재활용 활성화를 위해서 폐기물 처리시설의 등록 면제 요청하고 있으나 이보다는 폐기물 처리시설로 등록을 위해서 필요한 모든 인허가를 통합적으로 처리하는 방안을 제시하였다.

주제어 : 구리 스크랩, 폐자원흐름, 물질흐름분석, 자원순환율, 할당관세

Abstract

The materials flow of copper can be analyzed into up-stream and down-stream stages based on the literature survey. Discharge and recycling stages in the down-stream have been particularly analyzed through the field survey. The waste nickel resources circulation flow may conveniently be grouped into 4 stages discharge·import, collection·disuse, resource recovery and product production·export, the resources mainly consist of copper scrap and stainless steel scrap in 2010. The resource circulation rate of 36.83% is obtained from the above flow. Various plans are therefore, suggested in each stage to increase resource circulation rate. At discharge·import stage, it is suggested to consider this kind of waste as an important resources if it is appropriately classified in detail, besides applying quota tariff to this kind of waste. At collection·disuse stage, the plan of stabilizing supply and demand is suggested through the improvement of bidding system. Resources professional cycling stage crushing and grinding

* Received : January 16, 2014 · Revised : February 17, 2014 · Accepted : February 27, 2014

*Corresponding Author : Jae-Chun Lee (E-mail : jclee@kigam.re.kr)

Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350 Korea

Tel : +82-42-868-3613 / Fax : +82-42-868-3411, 3412

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

companies foster coexistence between large and small plans and strategies were suggested. At product production·export stage, the integrated approval is suggested approval for licensing to register units as waste-treating facilities instead of exempting registration under the present condition to activate recycling industries.

Key words : Copper, Waste resources circulation flow, Material flow analysis, Resource recycling rate, Quota tariff

1. 서 론

물질흐름분석은 특정 물질의 생산과 유통 그리고 폐기가 모두 포함되어 있는 과정을 분석하는 방법으로, 기존 원료에서 제품으로 완성하기까지의 물질흐름에 대해 진행이 잘 이루어지고 있지만, 순환성(재사용, 재활용, 재제조 등) 부분에 대한 물질흐름분석은 미진한 상태이다.¹⁾

자원의 도입과 최종생산품의 생산까지의 물질흐름에 대해서는 물질흐름 연구가 체계적으로 진행되었지만 최종생산품의 활용 이후 폐기물이 배출되고 축적되며, 이것이 수집되어 재활용되는 단계의 물질흐름의 연구는 모두 전체적인 수치만을 제공하고 있다.²⁾ 국내의 선행 연구 분석 결과 상부물질흐름(Up-stream)과 하부물질흐름(Down-stream)으로 구분할 수 있으며, Up-stream은 원료 → 1차가공 → 중간제품 → 최종제품과 Down-stream은 사용축적 → 수집 → 재자원화 → 폐기로 나누어 분석하였다. 상부물질흐름은 잘 되어 있으나, 하부물질흐름(폐자원이라 명명)은 미약하여 이를 4단계 흐름으로 분류하여 현장조사를 통하여 세세하게 흐름을 파악하였다.

예일대 자료에서 전 세계 기준으로 구리 폐기물의 발생에 있어서 전자전기폐기물과 폐차에서 구리 집약도가 높은 것으로 나타났다.^{3,4)} 이 2개의 분야가 전체 폐기물 발생에서 차지하는 비중은 높지 않지만 구리의 집약도가 다른 품목들에 비해 월등히 높아서 구리 폐기물 발생 전체에서 약 70% 정도를 차지한다.⁵⁾

미국에서 실시한 구리의 물질흐름을 살펴보면 구리 채광량은 1,190 백만톤이었으며, 수입되는 양은 666 백만톤이었다. 총 중간제작과정에 투입되는 양은 3,512 백만톤이었으며, 중간제작 제품의 수입은 761 백만톤, 수출은 479 백만톤이었다. 미국의 자국 내 구리 폐기물 발생통계를 살펴보면, 전체 폐 스크랩 총 발생량은 1,920 백만톤(건설 : 563, 전자전기 : 532, 산업 : 309, 수송 : 261, 기타 : 254)이며, 발생된 총 구리 스크랩 중에서 633 백만톤이 수출되었으며 이것은 총 구리의 발생량 중에서 32% 정도를 차지한다. 또한 구리 스크랩 중에서 재활용 되지 못하는 양을 제하고 167 백만톤이 다시 생

산과정에 투입되었으며, 구리 외 생산과정에 투입되는 양이 54 백만톤이었다.⁶⁾

일본에서 실시한 구리의 물질흐름을 보면 아시아 대부분 국가들의 경우 생산 단계로 들어가는 구리원료를 자체 채굴하여 충당하는데 비해 일본은 대부분 수입에 의존한다. 또한 제작 및 제조 단계에서 생산되는 구리 제품 중 약 15% 만이 수출된다. 즉, 이는 대부분 구리 제품이 자국에서 소비됨을 의미한다. 일본의 구리 비축율이 다른 국가에 비해 높은 편이며 일본 정부는 구리 폐기물의 투기를 허락하지 않는다. 따라서 발생하는 구리 폐기물의 40%가 재활용에 이용되며, 25%가 매립되고 25%가 수출된다.^{7,8)}

일본은 중간단계에서 생산된 전해구리(cathode Cu)는 약 62% 정도가 전기 케이블에 사용되었으며, 나머지가 대부분의 구리와 황동을 생산하는데 약 38%가 사용되었다. 전체 재활용률 70% 이었고, 최종생산품 기준 WEEE의 재활용률은 100%에 가까우며, 기계 금속분야가 상대적으로 낮은 재활용률을 보였다.⁹⁾ 이처럼 미국과 일본에서도 재활용에 대한 연구가 진행되어 있지만, 하부 물질흐름에 대한 물질흐름에 관한 연구가 진행되어 있지가 않다.

구리를 포함하는 폐기물은 발생, 수거, 처리, 최종단계의 다양한 단계에서 다수의 행위자들이 다양하게 폐기물을 다루고 있음에도 불구하고 거의 연구가 진행되지 않았다. 하부 물질흐름분석은 본 연구에서는 폐자원 흐름분석으로 명명하고 이에 중점을 두고 연구를 진행하였다. 국내의 연구를 분석한 결과를 바탕으로 폐자원 흐름분석은 폐자원의 1) 수입·배출, 2) 수거·폐기, 3) 자원회수 4) 제품생산·수출의 4단계의 과정으로 크게 분류하여 진행하였다. 폐자원흐름분석은 자원순환의 실효성을 높이는데 필요한 기초정보 제공하고, 순환이용률 향상을 위한 제도개선 방안 도출 및 목표를 제시함으로써 금속물질의 자원순환성 증대에 기여할 수 있다.

2. 연구대상 및 방법

선행연구 바탕으로 국내의 구리에 대한 물질흐름 분

석을 실시하였으며, 폐자원흐름분석을 위해 실제 현장 조사를 실시하였다.

배출단계에서는 소량 다원 배출원(가정부문)과 대량 배출원(산업시설)으로 구분하였다. 또한 페스크랩이 수입되는 양 역시 배출단계에서 현황과 물질흐름으로 파악하였다. 수거단계에서는 소량 다원 배출원의 경우 너무나 다양한 종류의 스크랩이 발생하기 때문에 연구범위를 자료의 접근(활용) 가능한 범위로 축소하여, 대상 금속의 5대 가전제품과 자동차로 한정하여 대상금속의 스크랩 흐름을 추정하였으며, 대량 단종 배출원으로는 구리 스크랩 배출 비중이 높은 폐전선에서의 구리 스크랩으로 한정하였다. 자원회수 단계는 스크랩이 일정한 처리과정을 거쳐서 생산단계에 투입되는 형태로 변환되는 과정을 조사하였다. 마지막 제품생산 및 수출단계에서는 폐 스크랩 상태로 국외로 수출되는 물량과 제품으로 활용되는 스크랩의 흐름을 조사하였다.

국가통합자원관리시스템과 한국무역협회의 수출입통계 그리고 관련 협회의 통계자료를 사용하였으며, 직접 방문조사 또는 전화 인터뷰를 실시하였으며, 조사대상은 Table 1에 나타내었다.

3. 구리의 폐자원흐름분석

3.1. 배출 (수입) 단계

3.1.1. 스크랩 수출입 현황

Table 2는 2001년부터 2012년 5월까지의 구리 스크랩 수출입현황을 나타낸 것이다. 2009년을 제외하곤 2004년 이후 줄곧 20만 톤 이상을 지속적으로 수입하고 있었으며, 특히 2011년 중량으로 26만 톤, 금액으로 20억 달러 이상을 수입함으로써 금액 기준 전년대비 62% 정도 상승하였다. 한편, 2004년 급증하였던 구리 스크랩의 수출은 2010년 기점으로 크게 감소하였으며, 2011년에도 이러한 낮은 수준의 구리 스크랩의 수출 기조는 유지되고 있다.

3.1.2. 전기전자폐기물 (5대가전) 배출 현황

소량 다원의 대상금속 스크랩의 배출원으로 전자전기 폐기물이 있다. 현재 전자전기폐기물은 지자체와 재활용 사업자 그리고 물류센터 등에서 수거가 이뤄지고 지자체와 재활용 사업자들이 재활용하고 있다. 본 연구에서는 이러한 소량 다원의 스크랩 배출에 대한 연구의

Table 1. The list of survey and interviews

Phase	Personal Assistant
Collection/Disuse	L(Hwaseong city), G(Danyang-gun), K corporation(In-cheon city), K association(Seoul city)
Resource recovery/Product production	D(Siheng city), P(Seoul city), L(Seoul city), M(Daegu city), N(Seoul city), I(Ansan city), S(Seoul city), S(Namyangju city)

Table 2. Export/Import of copper scrap⁸⁾

Year	SUM(Million US \$)		Weight (Ton)		SUM(US\$/Ton)	
	Export	Import	Export	Import	Export	Import
2001	20	265	29,919	177,106	668	1,496
2002	21	274	34,017	196,451	617	1,395
2003	48	237	94,054	153,164	510	1,547
2004	130	490	167,175	205,427	778	2,385
2005	144	627	160,853	205,859	895	3,046
2006	252	1,159	201,689	205,251	1,249	5,647
2007	282	1,422	216,151	221,054	1,305	6,433
2008	273	1,427	191,500	217,008	1,426	6,576
2009	211	709	186,958	163,020	1,129	4,349
2010	166	1,298	100,090	202,898	1,659	6,397
2011	198	2,107	84,608	263,182	2,340	8,006

Table 3. Collecting amount of home appliances¹²⁾

(Unit : ton)

Division	Refrigerator	Washing machine	TV	PC	Mobile phone	Total
Total	65,890	28,381	24,501	10,282	822	129,876
Local government	11,475	264	2,250	428	30	14,447
Recycling business	4,812	3,097	1,714	9,132	514	19,269
Distribution center	49,563	25,016	20,528	719	277	96,103
Etc.	39	3	8	1.1	0	51.1

진행을 위해서 한국환경공단 Ecoas 시스템의 전자전기 폐기물 수거 및 재활용에 관련된 내부자료와 한국지질자원연구원의 전자전기폐기물 중 비철금속 함량(구리)을 토대로 물질흐름을 작성하였다.

리사이클링 센터에서 대부분의 전기전자 폐기물을 수거하고 있는 것으로 나타났다. 리사이클링 센터에서 2,518톤의 구리 스크랩을 수거하고 있었으며, 지자체에서 253톤을 수거하여 총 2,771톤의 구리 스크랩이 수거되고 있었으며, 2011년 기준으로 총 2,861톤의 구리 스크랩이 유통되고 있었다. 인터뷰를 실시한 R 금속의 경우 호남권 물류센터로부터 구리 스크랩을 구매한 후 구리 스크랩의 약 90% 정도를 수출하고 있는 것으로 나타났다.¹¹⁾

3.1.3. 폐자동차 배출 현황

자동차에서 비철금속이 차지하는 비율은 소형차 기준으로 4.9%를 차지하고 있다. Ecoas 자료에 의하면 2011년 기준으로 총 폐차 중량은 922,620톤(740,110대)으로 파쇄업체 투입량은 429,942톤이었으며, 이 중에서 비철금속이 재활용되는 양은 2,235톤이었다. 승용차 기준 구리의 중량 함유량은 1.8%로 전체 비철금속 중 36.7%로 가정하였을 때 약 820톤의 구리가 연간 재활용 된 것으로 추산된다.^{12,13)}

자동차가 폐차되는 과정에서 구리 재활용은 폐차 → 해체 재활용업체 → 파쇄 재활용 업체로 이어지는 일련의 과정속에서 이루어 진다.¹³⁾ 추출되는 비철금속의 양은 총 2,235톤으로 전체 폐차 중량 중에서 비철금속의 함유량을 4.9%로 가정했을 경우 비철금속 전체의 재활용률은 5% 남짓인 것으로 파악된다.^{12,14)}

3.1.4. 폐전선의 배출 현황

폐전선의 경우 전력선, 통신선, 광케이블 등에서 배출되고 있다. 폐전선의 경우 폐전선을 구성하는 구리, PVC, PE 모두가 재활용되고 있기 때문에 배출되는 폐

전선은 모두 재활용되는 것으로 간주되고 있다. 전체적인 폐전선 배출량에 대한 기존의 자료나 조사는 없으며, PVC가 전선에 따라 중량기준으로 30~70% 포함되어 있으며 약 15만 톤 정도가 연간 배출되어 수거되고 있다.^{15,16)}

3.2. 수거 및 폐기 단계

Table 3은 구리를 함유하고 있는 것으로 나타난 냉장고, 세탁기, 텔레비전, 개인용 컴퓨터, 이동전화 단말기를 수거하는 주체별로 수거량이 얼마인지 나타낸 것이다. 흔히 백색가전이라 불리는 가정용 대형 전자제품들의 경우 지역 물류센터(RC)를 통해서 대부분 수거되고 있었으며(냉장고 75%, 세탁기 88%, 텔레비전 83%), 정보통신 기기로 분류될 수 있는 개인용 컴퓨터와 이동전화 단말기 등은 재활용 사업자들에 의해서 대부분 수거되고 있었다(컴퓨터: 88%, 이동전화 단말기: 62%).

Table 4는 각 대상 전자제품의 대상금속 함유량을 수거량과 합산하여 대상금속별, 수거 주체별을 나타낸 것이다. 구리의 경우 냉장고(약 1,317톤)와 세탁기(1,135톤)에서 대부분의 수거량이 나오는 것으로 나타났다.^{13,14)}

구리 스크랩 유통에 있어서 가장 큰 비중을 차지하는 부분이 수거업체이며 그 중에서도 일정 규모 이상의 대규모 수거업체이다. 대규모 수거업체들은 다양한 배출원, 유통업체(중·소규모 스크랩 유통업체)들로부터 구리 스크랩을 수거하고 있는 것으로 나타났다. 즉 이들보다 규모가 작고 직접 수거하는 중소규모 수거업체 그리고 지자체와 지역 리사이클링 센터, 구리 스크랩 직접 배출업체들로부터 구리 스크랩을 수거하고 있었다.

3.3. 자원회수 단계

3.3.1. 폐기물 처리 업체¹⁷⁾

스크랩 유통업체 인터뷰를 바탕으로 구리 슬러지의 구리 함유량을 20%로 가정하고 있으며, 전체 2만 톤의

Table 4. Collecting amount of copper from home appliances (Unit : ton)

Division		Refrigerator	Washing machine	PC	Mobile phone	Total
Copper*	Total	1,317.81	1,135.27	236.49	82.24	2,771.81
	Local government	229.51	10.59	9.87	3.06	253.03
	Recycling business	96.24	123.91	210.05	51.45	481.65
	Distribution center	991.26	1,000.65	16.55	27.73	2,036.19
	Etc.	0.80	0.12	0.02	0.94	1.88

*Content (Refrigerator: 2%, Washer 4%, PC: 2.3%, Mobile phone: 10%)

구리 슬러지에서 4천 톤의 구리(순수 구리 기준)가 재활용되는 것으로 추산하였다. 수거업체(대상), 폐기물 처리업체(구리 슬러지 등), 그리고 제품 생산업체 단계로 구성된다. 금속회수 처리업체에서의 구리 스크랩 흐름을 배출된 폐기물인 구리 슬러지를 수거하여 폐기물 처리업체에서 처리한 후 발생한 스크랩을 구리 관련 제품을 생산하는 주요 생산업체들에 공급하게 된다.

3.3.2. 구리 스크랩 체련¹⁸⁾

전기동을 생산하는 구리 체련 업체(L사)로 납품되거나 다른 전처리 업체(중간 처리업체)인 G사로 넘어간다. 구리 체련업체로 유입되는 구리 스크랩의 규모를 각 부문별로 살펴보면 먼저 G사로부터 1만 톤, 국내 수거업체로부터 2만 톤, 그리고 구리 스크랩 직접 수입으로부터 1만 톤이다. 이렇게 유입된 물량은 전기동 생산에 활용되며, 생산된 전기동은 다시 동 롯데나 동판과 같은 구리 제품의 생산단계로 투입되게 된다. 대부분의 물량을 L사로 납품하는 G사의 경우 국내의 수거/유통업체로부터 5천 톤의 구리 스크랩을 받아오고 있었으며, 외국으로부터의 직접수입으로 5천 톤을 구리 스크랩을 활용하고 있었다. G사에서 일정한 중간처리과정(반제품 상태)을 거친 후 앞에서 언급한 L사로 처리된 스크랩을 유통시키고 있었다. 국내의 전기동 생산이 L사에서 대부분 이뤄지고 있으며, G사는 L사의 자회사로 운영되고 있기 때문에 국내의 전기동 생산(구리 스크랩을 활용한)으로 대부분 파악된 것으로 볼 수 있다.

3.4. 제품 생산 및 수출 단계

대규모 수거업체와 수입된 스크랩에서 원료 재활용으로 이어지는 구리 스크랩 유통 및 활용 과정은 국내 구리 스크랩 유통의 대부분을 차지하고 있다. 기존 연구사례들과 인터뷰를 통해서 국내 유통 구리 스크랩의 규모가 약 20.4만 톤, 수입되는 구리 스크랩 규모가

18.8만 톤 정도로 추산할 수 있었으며, 본 연구의 유통 과정 조사에서 약 39.2만 톤 정도의 구리 스크랩이 유통되었음을 확인하였다.

동판의 경우 대규모 수거업체들과 수입중개 업체들이 구리 스크랩을 조달하고 있다. 대표적인 P사와 I 산업이 10만 톤의 구리 수요를 가지고 있지만 모두 전기동(스크랩이 아닌 원광 사용 전기동)을 활용하는 것으로 나타났으며, 기타 동판 생산 업체들에서 전기동 2만 톤과 스크랩 3만 톤의 수요를 가진 것으로 조사됐다. 국내와 수입 스크랩의 비율은 50:50으로 국내 수거업체에서 약 15,000톤, 수입 중개업체로부터 15,000톤의 스크랩을 조달하고 있다.

동 파이프 생산업체들은 P사, L산전, P산업이 총 10만 톤의 수요 중에서 전기동 8만 톤, 스크랩 2만 톤을 활용하고 있었으며, N 기업에서 2만 5천 톤, 기타 업체들이 3만 톤의 구리 스크랩을 사용하였다. 이들 업체들의 국내 물량 수요와 수입 비중을 50:50인 것으로 나타났다. 그렇기 때문에 국내 유통업체로부터 37,500톤, 수입업체로부터 37,500톤의 물량을 받고 있었다.

동 롯데의 경우 L 전선과 D 전선이 각각 20만 톤의 대규모 구리 수요를 가지고 있지만 모두 전기동으로 조달하고 있다. M사에서 5만 톤의 전기동과 65,000톤의 구리 스크랩을 소비하고 있었으며(수입과 대규모 수거업체의 비율은 50:50), 여타 생산업체들에서 약 연간 3만 톤의 구리 스크랩이 활용되고 있었으며 수입되는 구리 스크랩을 더 많이 활용하고 있는 것으로 나타났다.

동 봉 생산은 P사와 D사, 두 기업에서 주로 이뤄지고 있었다. 이 두 업체 모두 구리 스크랩 활용 비율이 매우 높았다. D사의 경우 동봉 생산에서 85% 정도의 스크랩을 활용하고 있었으며 이중에서 폐 스크랩이 30%, 재사용 스크랩이 20%, 새로운 스크랩이 50% 정도의 비중을 차지하고 있었다. P사에서 구리 스크랩은 연간 4만 톤 정도를 소비하는데 전량 직접 수입하고 있

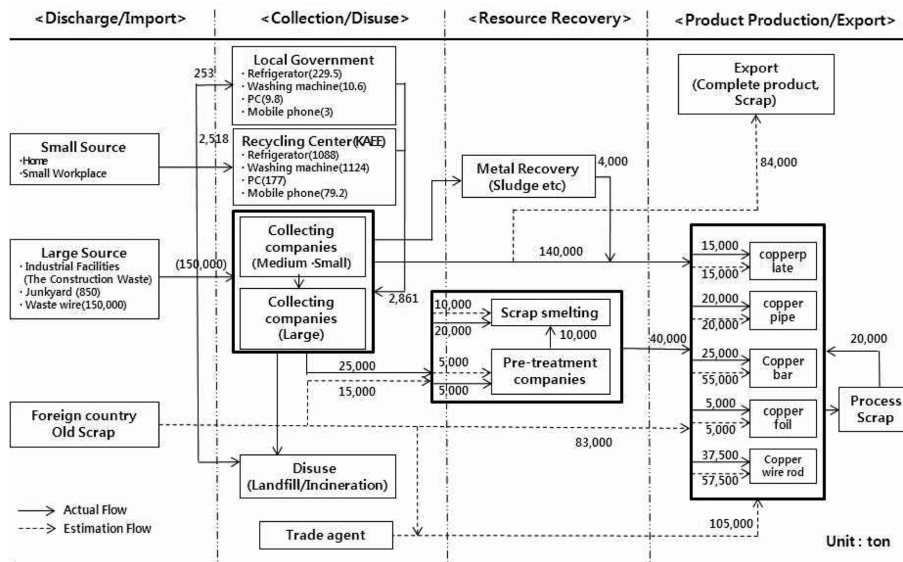


Fig 1. Waste resource circulation flow of copper scrap

있으며, D사의 경우 연간 12만 톤의 생산 중에서 약 3만 톤 정도를 폐 스크랩을 활용하고 있었다. 특이한 사항은 D사에서는 중간 제작과정에서 발생한 재사용 스크랩을 구매하여 다시 생산과정에 투입하고 있었다.

동박은 I 사와 L 산전의 독과점 구조로 전기동 1만 톤과 스크랩 1만 톤을 수요하고 있다. 수입과 국내 대규모 수거업체로부터 공급되는 물량은 비슷하였다.

3.5. 구리의 폐자원 물질흐름도

폐자원흐름분석을 위하여 각 단계별을 위해 현장조사를 실시하여, 폐자원흐름분석은 배출·수입, 수거·폐기, 자원회수 및 제품생산의 4단계로 구성하여 폐자원 흐름 분석을 수행하였다. Fig 1은 국내 구리 스크랩 재활용/재사용 단계의 유형별 구리 스크랩의 폐자원 물질흐름을 나타낸 것이다.¹⁹⁾ 현재 국내 대규모 수거업체들을 통해서 국내에서 유통되는 구리 스크랩은 약 184,000톤이며, 국외에서 유입되는 구리 스크랩은 총 203,000톤이다. 2010년 한국무역협회의 구리 스크랩 수입 총량이 202,898톤 인 것과 비교했을 때 본 연구의 흐름이 용인될 수 있는 수준에서 진행되었다 할 수 있다. 국외로 반출되는 스크랩의 양은 약 84,000톤으로 근래에 크게 감소했음을 알 수 있다. 수거업체(대규모 수거업체), 중간처리업체, 국외의 구리 스크랩의 물량이 국내 재활용(사용) 단계로 투입되는 양은 총 323,000톤이다. 이는 D사의 경우 유일하게 생산과정에서 발생하는 스크랩을

다시 구매하여 연간 20,000톤을 재사용 스크랩으로 활용한 것을 포함한 것이다.

3.6. 구리의 국내 자원순환율

자원순환율은 기존 조사 방법으로 제시되었던 “자원순환율 = 재활용량 / 자원투입총량”을 폐자원물질흐름도의 결과를 사용하여 산출하였다.²⁰⁾ 자원투입총량은 천연자원투입량과 폐자원 재활용량 및 수입량을 포함하고 수출량을 제외한 것이다. 본 연구에서는 최종제품 활용 단계로 넘어가는 물량을 자원투입총량으로 산정하였으며, 재활용량은 실제 처리업체를 거치면서 다시 생산과정으로 투입되는 물량을 기준으로 하였다. 이러한 방식의 재활용 단계에서의 자원순환율 도출은 실제 재활용 단계에서의 재활용이 어떻게 이뤄지는지를 좀 더 명확하게 보여준다. 기존 통계자료에 의하면 최종 제품활용 단계에서 사용 및 축적되는 연간 구리의 활용 총량은 824,479톤으로 나타났다. 이것을 폐기물 물질흐름분석에서 자원투입물량이 된다. 구리 스크랩이 수거업체(대규모 수거업체)에서 투입되는 14만 톤, 중간처리업체와 전기동 생산업체에서 스크랩 물량을 활용하여 투입되는 4만 톤, 그리고 수입중개업체와 직접 수입으로 최종처리업체들에게 유입되는 스크랩 수입물량 18.8만 톤과 재사용 스크랩 2만 톤에서 수출되는 84,608톤(2011년 기준)을 제외한 스크랩 양을 재활용량으로 산정하였다.

“재활용량(140,000 + 40,000 + 188,000 + 4,000+20,000 - 84,608)/자원투입총량(824,479)”

위의 분석을 바탕으로 구리 자원순환율(36.79%)이 도출되었다.

4. 자원순환율 향상 방안

폐자원 물질흐름도를 바탕으로 각 단계별로 자원순환율을 증진시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

4.1. 배출 / 수입단계

4.1.1 폐기물의 자원으로의 분류

구리의 유통과정과 최종처리과정에서 물량이 이동, 보관, 처리, 거래 과정에 있어서 폐기물 지정을 좀 더 세분하여 적용함으로써 대상 금속의 자원순환율을 제고할 수 있다. 즉, 환경적 위해가 적고, 경제성이 높으며, 산업적 활용성이 많은 경우 폐기물에서 제외하여 자원으로 분류함으로써 재활용을 제고할 수 있다.

구리 스크랩의 경우 폐기물 관리법에 의한 규제를 스크랩 유통업체들과 중간처리업체 그리고 최종처리업체 모두에서 개선되어야 할 사항으로 지적되었다. 특히 보관에 있어서 보관일수의 지정(30일 이내)과 처리기한의 설정 그리고 보관 장소와 방법 등의 규제에 대한 완화가 요청되었다.

각 폐기물 형태별(분진, 광재, 폐수처리 오니, 공정오니 등) 그리고 처리 단계별(배출, 수거, 중간처리, 최종처리, 제품생산), 환경적 위해성(높은, 보통, 낮은)의 정도, 산업의 활용도(높음, 보통, 낮음) 정도에 따라서 스크랩을 폐기물로 규제하기 보다는 자원으로 분류하여 재활용을 증진하는 것이 필요하다. 본 연구에서 수거업체로부터 스크랩을 구매하여 전처리를 하고 있는 G사와 수거업체들 그리고 전선공업협동조합의 관계자 인터뷰를 실시하였는데, 현재 환경부 내부에서 단계별 규제방안이 논의되고 있으나, 스크랩의 특성(위해성, 형태 등)까지 포함한 규제의 범위 설정이 더 타당할 것이다.

예를 들어 현재 폐기물로 취급되는 구리 스크랩 중에서 중간처리 단계 이후의 환경적 위해성이 낮고 산업의 활용도가 높은 스크랩의 특정 단계 이후에 대해서 폐기물이 아닌 자원으로 다룰 수 있도록 하는 것이 필요하다. 물론 이 경우에 폐자원이니 폐기물이니 하는 용어 보다는 새로운 용어의 작명이 필요할 것이다.

4.1.2. 폐자원의 할당관세 적용

현재 특정물품에 대하여 정부가 정한 일정 수입량까지 수입된 물품에 대하여는 저세율의 관세를 부과하고 그를 초과하여 수입되는 물품에는 고세율을 적용하는 이중관세율제도로 국내 물가를 낮추며 국내산업을 보호하기 위한 제도인 할당관세제도가 시행중이다. 『관세법 제 71조(할당관세)』에는 할당관세에 해당되는 조건을 기술하고 있다.²¹⁾

- 원활한 물자수급 또는 산업의 경쟁력 강화를 위하여 특정물품의 수입을 촉진할 필요가 있는 경우
- 수입가격이 급등한 물품 또는 이를 원재료로 한 제품의 국내가격을 안정시키기 위하여 필요한 경우
- 유사물품 간의 세율이 현저히 불균형하여 이를 시정할 필요가 있는 경우

할당관세제도가 적용되는 품목은 구리, 아연, 니켈, 알루미늄, 티타늄, 망간 등 여러 금속이 명시되어 있다. 그러나 구리와 같은 기본 금속 같은 희유금속을 일정량 함유하는 스크랩이나 폐자원에 대해서는 명시되지 않았다.

우리나라는 폐금속자원에서부터 재활용을 하기에는 물량이 많이 부족하고, 또한 국내 물량 공급에 있어서도 경쟁이 치열하기 때문에 많은 재활용 업체들이 해외로부터 물량을 수입하여 공급받고 있다. 할당관세가 적용되는 구리나 아연 등의 수입은 주로 대기업에서 행해지기 때문에 특혜는 주로 대기업에게만 돌아가게 된다. 또한 폐자원의 수입은 관세를 내야하는 데, 이 경우 1차가공후 다시 수출을 하면 세금을 환급받을 수 있어 폐자원을 다시 수출할 수밖에 없는 상황을 만들고 있다.

현재와 같이 폐금속자원에 대한 자원확보와 안정적인 공급 및 이에 대한 기술개발이 필요한 상황에서는 안정적인 물량의 확보가 중요하다. 또한 광석을 수입하여 금속을 생산하여 제품을 제조하는 것이나 금속을 수입하여 제품을 제조하는 것이나 폐금속을 수입하여 금속을 생산하여 제품을 제조하는 것이나 국내의 산업에 금속을 공급하는 것은 같은 것이다.

그러나 현재의 할당관세제도는 대기업에 일방적으로 특혜를 주는 구조이므로 재활용 중소기업을 보호하고 육성하기 위해서는 할당관세제도가 적용되는 품목에 자원 재활용을 위한 구리 같은 금속을 일정량 함유하는 폐금속자원을 추가시키는 것이 필요하다.

4.2. 수거 / 폐기단계

4.2.1. 부가세 편취 해결

물질흐름도 상의 소상과 중상에서 대규모 수거업체로

넘어가는 흐름과 대규모 수거업체에서 최종처리업체로 스크랩이 이동하는 흐름에 관한 부분이다. 부가세 편취의 해결이나 스크랩 공급을 안정화시킴으로써 유통과정에서의 구리 스크랩 자원 순환율을 제고할 수 있을 것이다. 여기에서의 자원순환을 제고는 국내의 구리 스크랩 유통구조의 신뢰성과 물량 수급의 안정성을 확보함으로써 최종처리업체에서의 수입 스크랩 물량 의존도를 낮출 수 있을 것으로 기대한다. 이러한 수입물량 의존도의 감소는 국내의 실질적인 스크랩 재활용을 상승시킬 것이다.

(1) 부가세 편취 업체의 행태^{17,22)}

일부 구리 스크랩 유통과정에서 부과세를 편취하는 업체들이 존재하며, 이들의 그릇된 행태로 기존 유통업체들과 최종처리업체에게 심대한 피해가 발생하고 있다. 부과세 편취업체들은 부과세를 납부하기 이전에 업체를 설립한 후 영업을 하는 도중에 6개월 내에 업체를 폐쇄하는 수법으로 부과세 납부를 회피하고 있다. 이들은 정상적으로 물량을 유통시키는(부과세를 납부하는) 업체들에 비해서 높은 가격을 제시해 구리 스크랩을 다량 확보한 후, 확보한 물량을 수출 혹은 최종처리업체에 넘긴 후 업체를 폐쇄함으로써 정상적으로 영업하는 수거업체들에게 물량확보의 어려움과 판매의 어려움을 그리고 이들에게서 물량을 구매한 처리업체들에게는 세무조사와 감사 등의 불이익을 발생시키고 있다. 그 후 다른이의 명의로 다시 업체를 세우는 방법으로 현재 유통과정을 지속적으로 교란시키고 있다.

부가세 편취 업체들에 대한 문제 해결을 비단 정상적인 유통업체 뿐만 아니라 대규모 수거업체 규모의 유통업체로부터 물량을 매입하는 최종처리업체에서도 강력하게 요청하고 있음을 주요 구리 소재 제품 생산업체(스크랩을 활용하는)들과 수거업체들의 인터뷰에서 확인할 수 있었다.

(2) 부가세 편취로 인해 발생하는 문제점

자원순환을 제고의 관점에서 부가세 편취 업체들이 야기할 수 있는 문제는 먼저 스크랩 유통 구조를 불안정화 시키고(정상 거래업체 물량 확보의 어려움, 편취업체들의 빈번한 업체 폐쇄 등), 거래업체(주로 최종처리업체)의 국내 물량에 대한 신뢰도를 떨어뜨려 더 고가인 수입 스크랩을 구매하게 하여 국내 스크랩 자원순환을 저해하고, 수입 스크랩의 물량을 높이는 결과를 초래한다.

(3) 부가세 납부제도의 변경

부가세 편취와 유통업체들의 수급 불균형 문제를 해결하기 위해서 우선적으로 고려할 수 있는 정책 대안은 먼저 제품생산단계의 최종처리업체들에게 부가세를 납부하게 하는 방안이다. 국내의 스크랩 물량에 대한 낮은 신뢰도로 최종처리업체들은 수입물량의 비중이 높은 것으로 인터뷰 결과 나타났다. 그렇기 때문에 부가세 납부를 구매자인 최종처리업체들이 할 수 있다면 부가세 편취문제에서 최종처리업체들은 자유로울 수 있으며, 이들이 국내 구리 스크랩 물량의 대부분을 소비하고 있음을 고려했을 때, 부가세 편취 문제가 어느 정도 해결될 수 있을 것이다.

4.2.2. 수급 안정화

국내 유통업체들에게서 유통되는 스크랩을 물량을 선호하지만 수입 스크랩의 비중이 높은 현실이다. 이것은 국내 구리 스크랩 수급이 불안정하기 때문에 대부분의 스크랩 유통업체들이 영세하여 유통시키는 스크랩 물량이 제한되어 있어서 이들 최종처리업체 입장에서 원하는 물량과 납기를 맞추기 쉽지 않다.¹⁸⁾ 그렇기 때문에 대량으로 시기를 조절할 수 있는 수입 스크랩의 활용 비중이 높은 것이다. 그리고 수입 스크랩의 경우 물류비용, 수입비용 등으로 가격이 더 높은 데도 불구하고 상기의 이유로 최종처리업체들에서 대규모로 활용되고 있다.

현재 재활용업체들은 매년 입찰을 통해 폐기물 발생처에서 물량을 공급받는다. 여러업체의 입찰을 통해 물량 공급이 이뤄지기 때문에 경쟁업체수가 많아지면 과다경쟁으로 가격이 높아지는 것이 현실이다. 그렇기 때문에 이러한 경쟁을 관리하기 위해 입찰시기는 매년 입찰에 의한 물량공급기간으로 변경하는 것을 고려할 수 있겠다.

4.3. 자원회수단계

4.3.1. 전문적인 파쇄 및 분쇄업체의 육성

폐전기 전자제품의 발생량 중 재활용 수준은 35.8%, 비철금속 및 희유금속 회수 재활용은 15% 정도이다. 선진국(미국, 일본, 독일 등)들은 산업원료로 활용되는 금속자원의 40% 이상을 폐금속 자원 순환을 통해서 확보하고 있다.²³⁾ 또한 폐금속 재활용을 위한 파쇄·분쇄는 경제적 이익이 거의 없기 때문에 이 분야를 전문적으로 하는 업체는 없다고 볼 수 있다. 이처럼 우리나라의 재활용률은 매우 저조한데 이는 적절한 선별작업을 행하지 않은 상태에서 특정한 금속의 회수를 목적으로 하는 공정에 투입됨으로써 목적금속 이외의 금속은 버려지는

결과를 초래하기 때문이다. 파쇄 및 분쇄는 그 후에 폐 금속에서 회유금속 등을 추출하기 위한 전처리로 폐 금속을 재활용하기 위한 매우 중요한 과정이다. 그러나 현재 이 공정이 전문적으로 이루어지지 않기 때문에 어느 제품을 분쇄했는지 분별하기 힘들고 여러 제품이 섞여 있기 때문에 이러한 상태에서 양이 적은 금속을 추출하는 공정이 쉽지 않으며 그 안에 함유된 금속의 양을 파악하는 것이 불가능하다. 이는 폐금속의 재활용을 어렵게 하여 효율성을 떨어뜨린다.

따라서 각 금속별 회수 효율을 높이기 위해서는 제품의 특성에 맞게 고안된 금속 종류별 분류를 위한 대규모 물리적 전처리 시스템의 구축이 필수불가결하다. 또한 현재 둘 이상의 금속이 결합되어 있는 경우 추출하지 못하는데 귀금속이나 구리 이외에 인듐, 텔레늄 등 여러 금속을 동시에 처리하기 위해서도 전처리 기술 개발이 필요하다.

그러나 이는 민간기업에서 자발적으로 선행하기에는 어려움이 많으므로 우선 정부차원에서 전문적인 파쇄·분쇄 업체를 육성하여야 한다. 이것이 이루어진다면 기업체들에서 전처리한 폐자원을 재활용 업체들에 공급하여 물량확보가 이루어진다면 재활용 활성화에 큰 도움이 될 것이다.

4.3.2. 대기업과 중소기업간의 상생관계 필요²⁴⁾

폐기물 재활용업 중 폐금속자원 재활용업은 영세기업, 중소기업 및 대기업이 함께 공존하고 있다. 그러나 영세 업체 및 중소기업은 대기업에 비해 기술적, 경제적으로 어려움이 많다. 또한 대기업들은 중간업체들을 통하여 폐제품을 사면 그만큼 비용이 비싸지기 때문에 중간업체 없이 폐자원을 직접 공급받아 물량을 확보하여 이윤을 극대화시키고자 한다. 이러한 상황에서 대기업은 중소기업을 자회사로 두거나 기존의 중소기업을 흡수하고 있어 대기업과 중소기업간 갈등이 커져가고 있다.

이러한 상황에서 폐금속의 재활용을 활성화 하려면 기존 중소 재활용업체와 최근 재활용사업에 진출한 대기업 간의 상생이 필수적이며 유기적인 역할 분담이 반드시 필요하다. 자율적으로 역할 분담이 이루어지기는 현실적으로 어렵기 때문에 이를 국가 차원에서 조정 또는 지도해야 할 필요성이 있다. 유기적인 역할 분담을 통해 폐금속자원을 처리하게 되면 서로가 상생하며 국내 재활용사업이 원활히 발전할 수 있을 것으로 사료된다.

중소기업과 대기업의 협력하에 중소기업이 물량을 대기업에 공급하고 이를 대기업에서 처리하는 hierarchy

구조는 서로 상생하는 측면에서 바람직할 것이다. 중소기업은 자금적, 설비적으로 어려움이 있기 때문에 폐자원을 1차 처리 후 해외로 수출하는 경우가 많은데 이 물량을 대기업의 생산가동 쪽으로 공급한다면 두 기업 모두에게 이득이 될 것이다. 즉, 중소기업의 경우는 폐금속자원의 수거 및 분리기술 등 물리적 전처리를 담당하고, 대기업은 기술적 난이도가 높은 금속 회수 부분을 분담해서 중소기업과 대기업이 업무를 구조화하고 각각 분업화하면 상생하며 발전할 수 있을 것이다. 중소기업 중 자체적인 회수기술을 개발하고자 하는 업체가 있을 수도 있기 때문에 중소기업의 자체개발 능력을 무산시킬 가능성에 대한 우려도 있을 수 있으나, 현 상황을 고려해 볼 때 이를 극복하면서 서로 간에 상생할 수 있는 좋은 방안이라 사료된다.

이를 위해서 대기업이 중소기업의 일부 지분에 참여하고 주주관계로서 서로 협력하는 방안을 고려할 수 있다. 종종 대기업이 중소기업을 인수 합병하기도 하는데 이는 고유한 중소기업의 기능이 상실되고 대기업 중심의 독점현상이 발생할 수 있어 업계의 균형이 깨질 수 있기 때문이다. 이를 보완하는 방안 중 하나로 일부 지분에 참여하여 서로 필요한 부분을 공유하고 각각의 업체가 가진 부분을 담당하여 협력하는 것이 두 기업 모두가 상생하는 방안일 것이다. 그러나 대부분의 중소기업 소유주(owner)가 회사 지분 전부를 소유한 것이 아닌 경우가 많아 대기업의 지분참여가 쉽지 않을 수 있으며 자유로운 업무에서 대기업에 얽매일 수도 있다. 이를 보완할 수 있는 방안을 고려해야 한다.

4.3.3. 개별물질로의 재활용률 산정

A 환경협회, B 공업협회, C공단 관계자 인터뷰 등에서 지속적으로 제기되었던 문제가 재활용률 산정에 대한 재정의가 필요하다는 것이다. 이것은 현재 최종제품이 시설로 수거되어 각기 부품별, 물질별로 분리되어 다음 단계의 처리업체에 인계되면 재활용이 된 것으로 간주되고 있다. 이러한 기준으로 접근했을 때 현재 자동차의 재활용은 중량기준으로 80% 이상이다. 하지만 이것을 개별 물질별로 접근하게 된다면 재활용률은 현저하게 낮아진다는 것이 이들 관계자들의 공통적인 의견이다. 즉, 재활용률을 증진시키기 위해서는 개별물질로서의 재활용률 산정 방법이 도입되어야 한다.

현재 재활용률을 추산하는데 있어서 구리는 비철금속으로 범주화되어 처리되고 있다. 그렇기 때문에 세부적으로 금속들의 재활용률이 어떻게 되는지 파악하는데 한

계를 가지고 있다. 물론 모든 산업에서 개별 금속별로 재활용률을 계산하는 것은 불가능하겠지만 대상연구에서는 특정 제품군(대규모 수거업체 금속의 비중이 높고, 산업적 중요도가 높은 대상인 폐전선)에 대해서 비철금속으로 범주화된 재활용률 산정이 아닌 개별물질인 구리로 범주화하여 재활용률을 산정하는 것이 타당할 것이다.

즉, 기존의 재활용률이 실제 대규모 수거업체 금속들의 자원순환의 여부를 확인하는데 있어서 명백한 한계를 가지고 있으며, 특정 제품군에 한해서 실제 자원순환의 경로와 정도를 더 세밀하게 규정하여 실제 다시 생산과정에 투입되는 물량을 확인할 수 있는 형태로 재활용 산정 기준과 자료 정리 방식의 변경이 필요하다.

4.4. 제품생산 / 수출 단계

구리 스크랩 수출입 자료의 분석 부분에서 살펴봤듯이, 구리 스크랩의 경우 2010년을 기점으로 수입이 수출물량을 압도하기 시작했으며, 문제가 되었던 폐기물의 과도한 수출에 대한 우려는 더 이상 정책적으로 크게 고려하지 않아도 될 것으로 보인다. 다시 말해서 구리 스크랩의 경우 수출입의 형태가 국내에서 재활용률이 상승하는 방향으로 변하고 있다는 것이다.

5. 결 론

이를 바탕으로 폐자원흐름분석을 위하여 현장조사를 실시하였다. 폐자원흐름분석은 배출·수입, 수거·폐기, 자원회수 및 제품생산의 4단계로 구성하여 폐자원 흐름분석을 수행하였다.

구리 물질흐름분석을 위해 국내외의 선행연구를 조사하였다.

구리는 소량 배출원에서 배출되는 스크랩의 경우 대부분 지역의 리사이클링 센터에서 수거되어 수거업체로 인계되는 과정을 거쳤으며, 대량 배출원에서 배출되는 구리 스크랩의 경우 전체 제품생산에 투입되는 국내 물동량이 약 153,000톤 정도 였으며, 이중 폐전선에서 배출되는 구리 스크랩이 약 150,000톤 정도로 대부분 폐전선에서 배출되는 것으로 추산되었다. 그리고 이렇게 배출된 전선의 구리 스크랩은 수거업체를 통해 유통되고 있는 것으로 조사되었다. 또한 국외에서 수입되는 스크랩은 약 200,000톤 규모로 조사되었다. 2008년의 구리 스크랩의 수입규모가 217,000톤, 2009년 163,000여톤, 2010년 202,000여 톤임을 감안한다면 수입되는 구리 스크랩의 물동량 역시 적절한 수준에서 조사되었다고 할

수 있다. 이렇게 수입된 스크랩은 제품 생산업체 직접수입으로 83,000톤이 생산과정에 투입되고 수입중개 업체(오퍼상)를 통해 105,000톤이 생산과정에 투입된다.

수거업체를 통해 수거된 구리 슬러지는 25,000톤이 전기동 생산에 투입되고 금속회수 과정을 거쳐서 4,000톤이 제품생산에 투입되며, 140,000톤이 바로 제품생산에 투입된다. 그 중 수거업체를 통해서 국외로 수출되는 물량은 84,000톤 인 것으로 나타났으며, 국외의 구리 스크랩의 물량이 국내 재활용단계로 투입되는 양은 총 323,000톤이다.

이러한 폐자원 물질흐름도를 바탕으로 구리의 36.8%의 자원순환율을 도출되었다. 물질흐름의 4단계에 맞춰 정책제안을 제시함으로써 금속물질의 자원순환성 증대에 기여할 것으로 기대된다.

배출 및 수입 단계에서 폐기물을 자원으로 분류하여 재활용을 제고하여야 하며, 폐금속자원에 대해서 할당 관세를 적용함으로써 중소기업에서의 재활용을 지원하여야 한다.

수거 및 폐기 단계에서는 부가세 편취해결과 수급 안정화 방안에 대하여 유통업체들의 문제에 대한 정책제안을 제시하여 제품생산단계의 최종처리업체들은 부가세를 납부하게 하는 방안을 제시하였고 수급불안정 문제 해결에 입찰시기는 매년 입찰에 의한 물량공급기간으로 변경하는 것으로 수급안정화를 위하여 일정부분 도움이 될 것이다.

자원회수단계에서는 국내 재활용업체들에 대한 재활용 제도의 강화하여 실질적으로 재활용 업체들이 사업을 잘 진행할 수 있도록 법적인 정비가 필요하며, 전문적인 파쇄 및 분쇄 업체를 육성하고 이 업체들에서 발생한 폐자원을 재활용 업체들에게 공급하여 재활용 활성화에 큰 도움이 될 것이다. 또한, 대기업과 중소기업 간의 상생관계도 필요할 것이다.

마지막으로 제품생산 및 수출 단계에서 구리 스크랩의 경우 2010년을 기점으로 수입이 수출물량을 압도하기 시작했으며, 문제가 되었던 폐기물의 과도한 수출에 대한 우려는 더 이상 정책적으로 크게 고려하지 않아도 될 것으로 보인다.

감사의 글

본 논문은 환경부 및 한국정책평가연구원의 물질흐름 분석을 통한 금속자원의 순환을 향상 방안연구에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다(2011-108).

References

1. MOTIE, 2011 : It is the whole life cycle management. MOTIE Press Releas
2. Korea-Material Flow Analysis, www.k-mfa.kr
3. Kim, B. S, Lee, J. C., Lee, K. H., 2007 : A Novel Process for Extracting Valuable Metals from Waste Electric and Electronic Scrap Using Waste Copper Slag by a High temperature Melting Method, J of Korean Inst. of Resources Recycling, 16(3), pp.27-33.
4. Kim, B. S, Lee, J. C., Jeong, J. K., 2008 : Current Status on the Pyrometallurgical Process for Recovering Precious and Valuable Metals from Waste Electrical and Electronic Equipment(WEEE) Scrap, J of Korean Inst. of Resources Recycling, 18(90), pp. 14-23.
5. World Bureau of Metal Statistics, www.world-bureau.com
6. Thomas G. Goonan, 2010 : Copper Recycling in the United States in 2004, USGS
7. J. Mater, 2003 : Cycles Waste Manag., 5, pp. 143-156
8. Kim, S. Y., Kim, Y. J., 2007 : Review of the Mineral Resources and Material Flow Analysis Related Activities in Japan, The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, Vol. 44, No. 1, pp. 77-81
9. AME, 2001 : Mineral Economics Copper
10. KITA, 2012 : Copper Import and Export of Items, http://stat.kita.net/kts/pum/gikt2020d.jsp?cond_prdt_cd=74&cond_user_init=Y
11. R. Metal Personal Assistant Interview, 2011
12. Son, J. S., 2010 : Future technology research and development-driven scrap metal recycling, KIGAM
13. Ministry of Environment, 2009 : Automotive resource recycling consultation material,
14. ECOAS SYSTEM, www.ecoas.or.kr
15. KEWIC Interview 2011
16. MB. 2010 : Metal Personal Assistant Internal Report
17. Copper Scrap Distribution Cooperatives Interview 2011
18. L., S. Personal Assistant Institute of Technology Interview 2011
19. Lee, H. S., et al., 2011 : Metal resources through Material Flow Analysis Study of the circulation rate improved, Ministry of Environment.
20. Joo, H. S., Heo, T., 2008 : The main resource productivity through Material Flow Analysis Study Resources, National Institute of Environmental Research
21. Korea Customs Service, 2012 : Customs duties assigned in the application of accordance with Article 71 of the Regulation
22. D. Personal Assistant Institute of Technology Interview 2011
23. Joint Interagency, Scrap metal recycling measures (2009)
24. Lee, H. S., Lee, M. J., Joo, H. S., Kim, K. I., 2011 : Study on Institutional and technical Supporting Plans to Activate Resource Recirculation of Rare Metals of Waste Metal Resources, Korea Environment Institute



이 희 선

- Ecole Polytechnique 금속공학 박사
- 현재 한국환경정책·평가연구원 정책연구본부 자원순환연구실 선임연구위원



우 정 훈

- 청주대학교 환경공학과 공학석사
- 현재 한국환경정책·평가연구원 정책연구본부 자원순환연구실 위촉연구위원

이 재 천

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구위원
- 당 학회지 제 10권 6호 참조