

國內 非鐵金屬 스크랩 리사이클링 현황[†]

†朴馨圭* · 申熙德**

*韓國地質資源研究院, **韓國科學技術情報研究院

Current Status on the Recycling of Domestic Nonferrous Metal Scraps[†]

†Hyungkyu Park* and Heeduck Shin**

*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

**Korea Institute of Science and Tech. Information

요 약

비철금속은 종류가 많아서 비철금속 전반에 걸친 리사이클링 현황을 파악하기에는 분량이 너무 방대하기 때문에 아직까지 개별 금속에 대해서는 비철 금속 리사이클링 현황을 조사하긴 했지만 전반적으로 조사 발표된 적은 없다. 본 고에서는 상용 비철금속인 동, 연, 아연, 알루미늄, 니켈 및 마그네슘에 대하여 최근 몇 년간의 국내 수요, 생산량과 스크랩에 대한 리사이클링 현황을 조사, 발표한다.

주제어 : 상용비철금속, 수요, 공급, 스크랩, 재활용

Abstract

Since there are many kinds of non-ferrous metal, it is difficult to investigate the current status on the recycling of non-ferrous metals. Therefore, the survey is confined to some commercially important non-ferrous metals such as copper, lead, zinc, aluminum, nickel and magnesium in this article. Domestic demand and production in recent years and current status on the recycling of the scraps of these non-ferrous metals are introduced briefly here.

Key words : commercial non-ferrous metals, demand, production, scraps, recycling

1. 서 론

비철금속은 종류가 많아서 비철금속 전반에 걸친 리사이클링 현황을 파악하기에는 분량이 너무 방대하기 때문에 아직까지 개별 금속에 대해서는 비철 금속 리사이클링 현황을 조사하긴 했지만 전반적으로 조사 발표된 적은 없고, 지난 2003년 당 학회지에 상용 비철금속인 동, 아연, 연, 알루미늄 및 니켈에 관한 국내 수요 및 생산량과 리사이클링 현황이 조사 발표된 적이 있다.¹⁾ 본 고에서도 이들 5개 금속 외에 새로 마그네슘을 추가하여 최근 몇 년간의 국내 수요, 생산량과 리사이클링 현황을 조사, 발표하고자 한다.

2. 국내 수요

표 1에 주요 비철금속 일차지금의 수급동향^{2,3)}을 요약하였다. 국내 비철금속 주요 품목별 지금 생산능력은 2007년도에 전기동 585천 톤/년, 아연 683천 톤/년, 연 254천 톤/년(전기연: 180천 톤, 재생연: 74천 톤), 니켈 21천 톤/년이며, 내수 대비 국내생산량을 나타내는 국내 자급율은 전기동 71.3%, 아연과 158.8%, 연과 76.6%, 니켈 31.1% 수준이고, 알루미늄과 마그네슘 경우에는 국내에서 일차지금을 생산하지 않고 있다. 표 2에는 2006년도 국내 1차 비철금속 산업현황을 나타내었는데, 여기에는 일차지금 생산업체 외에 다수의 재생지금업체가 포함되어 있으며, 특히 알루미늄 경우에는 재생알루미늄업체와 가공업체가 대부분이다. 한국비철금속협회 자

[†] 2008년 10월 27일 접수, 2008년 12월 1일 수리

*E-mail: parkhk@kigam.re.kr

Table 1. Domestic demand and supply of major commercial non-ferrous metal ingots in recent years (unit: 1,000ton)

구분 \ 년도		2005	2006	2007	생산능력 (천톤)
전기동	내수 수출	822.5 86.1	753.0 143.6	821.3 139.6	LS-Nikko: 570 (온산:510, 장항:60) 고려아연: 20 계: 590
	계	908.6	896.6	960.9	
	생산 수입	518.4 390.2	559.1 337.5	585.9 375.0	
알루미늄	내수 수출	1182 48.4	1155.4 50.8	1112.7 77.7	일차지금: 생산없음 재생 AI: 약 20 만톤 추정 (재생 AI 생산은 미집계)
	계	1230.4	1206.3	1190.4	
	생산 수입	- 1230.4	- 1206.3	- 1190.4	
아연	내수 수출	423 315	452 295	430 340	고려아연: 430 영풍: 280 계: 710
	계	737	747	770	
	생산 수입	646 91	660 87	683 87	
연	내수 수출	359.6 47.9	326.5 40.3	332.3 37.6	고려아연: 200(전기연) 중일: 30(재생연) 상신금속: 28(") 기타: 42(") 계: 300
	계	407.6	366.8	369.9	
	생산 수입	244.5 163.1	240.7 126.1	254.6 115.3	
니켈	내수 수출	116.2 1.4	106.0 14.3	69.4 6.4	코리아니켈; 32
	계	117.6	120.3	75.8	
	생산 Ni(피) 수입	27.1 42.6	32.3 36.5	21.6 19.6	
	Fe-Ni 수입*	47.9	51.5	34.6	
마그네슘	내수 수출	15 -	20.1 -	22.8 -	일차지금: 생산없음 재생 Mg: 15,000 톤 추정 (국내생산은 재생 Mg 임)
	계	15	20.1	22.8	
	생산 수입	3 12	5 15.1	7.2 15.6	

*출처: KOTIS 및 한국비철금속협회자료

*Fe-Ni은 Ni 24%, 42% 두가지가 주이므로 Ni함량을 33%로 평균한 Ni 환산치임.

료와 생산업체의 자료에 근거하여 국내 비철금속 수요를 요약 정리하면 다음과 같다:

2.1. 전기동

국내 전기동 생산은 LS-Nikko 동제련이 2002년 5월 말 51만 톤 규모로 확장한 이래 2007년에 57만 톤을 생산하였으며, 이외 고려아연이 아연 제련 부산물로 15,000

톤 정도를 생산하고 있다. 전기동 수요는 전선산업이 포화상태에 있고 광섬유산업이 성숙단계에 진입하고 있는 상황으로서 수요의 80%는 전선업계에서 사용되고 있다. 동 가공산업도 전기·전자 및 반도체 등 수요산업의 호조로 지속적인 증가가 예상되고 있다. 전기동의 경우 국내 자금도가 71% 수준으로 국내생산이 부족하기 때문에 공급은 수요업체와의 장기 계약 공급이 주를 이루고

Table 2. Current status of primary non-ferrous metal industries in 2006

	업종	사업체수 (개)	종사자수 (명)	매출액 (백만원)	생산액 (백만원)	부가가치 (백만원)
제련·정련 및 합금	동	22	1,180	5,097,829	5,308,859	842,382
	알루미늄	128	2,853	2,195,555	2,208,038	403,992
	연, 아연	32	1,694	3,029,562	3,152,622	660,536
	기타	35	588	841,345	796,744	72,484
	소계	217	6,315	11,164,291	11,466,263	1,979,394

※출처 : 통계청 산업조사

있으며 수출은 일부에 한정되어 있다.

2.2. 연 (鉛)

연의 생산은 정광 부족상태 지속에 따른 수급조절로 전기연 생산이 소폭 감소하였다. 국내 연 생산 감소량만큼의 물량이 내수시장보다 수출시장에서 감소한 것으로 파악된다. 향후에는 국내 폐자동차에서 납축전지의 발생량이 늘어날 것으로 예상되므로 재생연의 생산량은 늘어날 것으로 전망된다.

2.3. 아연

아연생산은 고려아연과 (주)영풍의 설비확장으로 2001년 50만3천 톤을 생산한 이래 생산량이 지속적으로 증가하여 2007년에는 77만 톤 생산에 달하고 있다. 아연 국내 수요의 경우 도금강판용 수요는 지속적으로 증가하고, 컬러도금강판용 등은 아연 원단위(함유율) 감소가 다소 우려되고 있다. 아연의 경우 국내 비철금속 중에 유일하게 생산량의 절반 가까이를 수출하고 있다.

2.4. 알루미늄

알루미늄 일차지금은 전량 수입에 의존하고 있다. 알루미늄 피의 내수는 판재 및 포일 등의 수요증가와 설비증설에 따른 알루미늄 압연업체의 생산증가로 2007년 일차지금 수요가 1,190천 톤에 이르며, 다수의 재생업체에서 생산되는 재생 알루미늄지금도 20만 톤 이상으로 추정된다.

2.5. 니켈

니켈 생산은 원료인 산화니켈 공급부족으로 2003년 이래 생산량이 감소하여 2007년에는 국내 생산능력의 2/3 수준인 21,600 톤을 생산하였으며, 포스코는 물론 중국을 위시하여 세계적인 스테인레스 스틸 생산증가로 인하여 원자재인 Ni과 Fe-Ni의 공급이 부족하였고 가

격 폭등을 겪었다. 니켈은 단일금속보다 스테인레스 합금원료로 많이 사용되기 때문에 재생 니켈과 자체를 생산하기가 어려울 뿐 아니라 스테인레스를 재활용하는 경우에도 재생량을 파악하기가 어려운 점이 있다.

2.6. 마그네슘

마그네슘은 핸드폰이나 노트북 PC 케이스용으로 수요가 증가하였는데 최근에는 자동차 경량화 소재로 주목을 받고 스티어링휠, 풀리 등 부품으로 용도 개발되면서 수요가 날로 증가하고 있다. 국내에서는 마그네슘 일차지금을 생산하지 않고 전량 수입에 의존하고 있으며, 마그네슘 성형품 가공 시에 발생하는 스크랩을 재활용하여 일부 생산하고 있다. 국내 수요는 2000년대 들어서 꾸준히 증가하여 2005년 15,000 톤에서 2007년에는 22,800 톤에 이르며 향후에도 자동차 부품산업분야에서 많은 수요가 예상된다.

3. 스크랩 발생과 리사이클링 현황

비철제련업계에서의 리사이클링은 지금제조공정 및 금속제품 가공단계에서 발생하는 스크랩 등을 원료로 해서 재생지금을 생산하는 리사이클링과 폐기물부터 비철금속을 회수하는 리사이클링이 있다. 여기서는 스크랩을 원료로 하는 리사이클링 현황을 검토하였다.

3.1. 동 스크랩

국내 동 스크랩 발생량은 대략 120,000 톤으로 추정된다. 종류별로는 상동 30,000 톤, 중급 30,000 톤, 저급동 30,000 톤, 기타 30,000 톤 정도로 추정된다. 이외 동스크랩을 수입하여 재생지금을 생산하는데 스크랩 수입량은 2007년도에 220,000 톤 정도로 파악된다.³⁾

스크랩 수집업체는 약 1,000개사 정도가 있으며, 이중 규모가 다소 큰 대상(도매상)은 약 100개사로서 성

진리사이클링 22,000 톤, 비에이치산업 22,000 톤 등이 있다. 수요업체로는 LS-Nikko가 약 40,000-50,000 톤을 소비하고 있는데 제련시 냉각제로 사용하고 있으며, 동가공업체로는 풍산, 대창공업, 일진, 능원금속 등 공업용 파이프나 동박 제조업체와 봉(rod) 생산업체인 선진금속 및 중소 전선업체 등이 있다. 일부 잡피선과 저품질 합금 스크랩을 중국 등으로 수출하기도 한다.

국내에서 유통되는 동지금은 전기동과 동스크랩, 동합금 스크랩으로부터의 재생지금 세 종류로 분류할 수 있다. 전기동은 주로 전선제조, 신동품 제조에 소비되는데, 사용이 끝난 전선과 신동품은 회수되어 동 스크랩 및 동합금 스크랩이 된다. 동 스크랩은 재용해 및 정련 과정을 거쳐 신동품, 전선 제조 등으로 리사이클링되고, 동합금 스크랩은 주로 신동품, 주물 및 동제련 원료로 사용된다. 즉, 고순도일 때는 주로 전선제조에 사용되며, 반복 사용하는 과정에서 순도가 저하되어 신동품 제조, 동합금, 주물, 동제련 원료로 순차적으로 리사이클링된다. 또한, 동 제련소의 2차 원료는 대부분 통계의 대상이 되지 않은 스크랩과 제련소 배출물(제련공장내의 리사이클링)로 되어 있다.

전기동 수급자료와 스크랩 수입량을 기준으로 2007년 국내 동 리사이클링 추정치를 산출하면 다음과 같다:

- (1) 국내 발생 동스크랩량 120,000 톤/년
- (2) 수입 동스크랩량 220,000 톤/년 (KOTIS 자료)
- (3) 전기동 생산량 585,000 톤/년
- (4) (1)/(3)에 의한 리사이클링율 20.5%
- (5) {(1)+(2)}/(3)에 의한 리사이클링율 58.1%
- (6) (1)의 동 품위를 60%로 가정할 때, 국내발생 동스크랩을 사용하여 전기동으로 리사이클링한 경우의 리사이클링율은 $120,000 \times 0.6 / 585,000 \times 100 = 12.3\%$ 정도로 추정된다.

3.2. 재생연

국내 재생연 업체는 현재 8개사로 생산능력은 약 100,000 톤이며, 2005년 57,300 톤, 2006년 68,200 톤을 생산하였고, 2007년에는 74,000 톤 정도로 추정된다. 업체별로는 중일 25,000 톤, 상신금속 17,000 톤, 삼지금속공업 11,000 톤, (주)화창 10,000 톤 등으로 파악된다.

2007년도 연 생산은 254,600 톤으로서 고려아연의 전기연이 180,600 톤이고 재생연이 약 74,000 톤이므로 생산량을 기준으로 한 리사이클링 추정치는 29.1%이다 ($74,000 / 254,600 \times 100\%$). 반면에 표 1에 나타낸 바와

같이 동년의 국내 수요가 334,000 톤으로서 수요를 기준한 경우의 리사이클링율은 약 20%이다.

3.3. 아연

우리나라 아연 리사이클링에 관해서는 구체적인 통계치가 발표되지 않고 있다. 연간 60,000 톤 정도 생산되고 있는 산화아연 제조 시에 아연 드로스를 포함한 아연 스크랩을 사용하여 증류아연을 생산하고 있는 것으로 추정되는데 정확한 리사이클링 통계는 아직 보고되지 않고 있다. 또, 고려아연에서 발생한 제련잔류물을 TSL process에 의해 처리함으로써 아연 회수를 시도하고 있으나 이것 역시 구체적인 통계는 알 수 없다. 한편, 연간 30만 톤 발생되고 있는 제강분진(Zn 품위 약 20%)으로부터 아연을 회수한다면 연간 5만 톤 정도의 재생 아연을 생산할 수 있기 때문에 2007년부터 국내 업체에서 사업화를 추진하고 있으나 아직까지 리사이클링 실적이 발표되지 않고 있다.

3.4. 재생 알루미늄

알루미늄 폐캔과 같은 경우에는 EPR 대상품목이기 때문에 한국금속캔자원협회에서 리사이클링에 관한 통계를 작성함으로써 비교적 정확한 통계를 알 수가 있지만, 일반 스크랩의 경우에는 100여개 사에 이르는 중소알루미늄재생업체의 생산량을 일일이 파악하는데 어려움이 따르므로 정확한 재활용 통계를 산출하기가 어렵다. 다만 국내 알루미늄 내수와 주요 재생업체의 생산실적을 기준으로 판단하였다. 2007년도 알루미늄의 내수는 1,112,700 톤이고, 재생 지금량은 200,000 톤 정도로 추정된다. 따라서, 리사이클링율은 $18.0\% (200,000 / 1,112,700 \times 100\%)$ 정도로 추산된다.

재생 알루미늄을 생산하는 업체는 크게 알루미늄 합금과 생산업체와 제강용 탈산제업체로 구분된다. 주요 재생 알루미늄합금과 생산업체로는 삼보산업 50,000 톤, 우신금속 29,000 톤, 아진금속 23,000 톤 등이다. 제강용 탈산제업체로는 알텍스, 삼정 피엔에이가 각각 생산능력 70,000 톤, 50,000 톤 규모이고 이외 중소기업에서 만여톤을 생산하고 있는데 탈산제로의 리사이클링 성장성은 국내 제강능력과 크게 연관되어 있다.

3.5. 니켈

니켈은 대부분 스테인레스 스틸 제조시 합금원소로 사용되고 이 외에 화학 플랜트 탱크 용기 등으로 사용되기 때문에 니켈 덩어리로서의 스크랩 발생은 별로 없

는데다, 아직 국내에서 니켈만을 재생하는 업체가 없기 때문에 재활용 통계를 추정하기가 어렵다.

그러나, 니켈 함유 폐기물로부터 니켈을 회수하기 위한 기술개발과 노력이 꾸준히 진행되고 있다. 주요 니켈 함유 폐자원으로는 석유탈황 폐촉매와 Ni-Cd 폐전지 및 스테인레스 스틸 산세 폐액이나 도금폐수 처리오니 등이 있다. 이 중 Ni-Cd 폐전지 경우에는 Ni 함량이 약 55% 되는데 이를 창원 소재 (주)코바에서 연간 2,700톤을 처리하여 Ni를 Fe-Ni로 회수하여 재활용하고 있다.⁴⁾ 다른 폐자원의 경우에는 기술개발이 진행 중이지만 실적치는 아직 발표되지 않고 있다. 니켈의 재활용 현황을 파악하기 위해서는 좀 더 오랜 시간의 조사가 필요하다.

3.6. 마그네슘⁵⁾

국내에서는 마그네슘 일차지금을 거의 전량 수입에 의존하고 있는데, 재생지금의 경우에는 다이캐스팅업체 등에서 성형품 가공시에 발생하는 스크랩을 재활용하여 일부 생산하고 있다. 2007년 국내 Mg 성형업체는 약 30여 개 사로 알려져 있고, 재생마그네슘 생산업체는 (주)HMK, (주)신화, (주)CMT, KMI, (주)한국LMTech 등 5개 업체이다. 이들 재생업체의 생산능력은 약 14,000톤 정도이며 2007년에 7,200톤의 재생마그네슘을 생산하였다. 따라서, 표 1의 국내 마그네슘 수요대비 재활용율은 31.5%(7,200/22,800 x100%) 정도로 추산된다.

4. 기술현황

4.1. 동

사용이 끝난 전선과 신동품은 회수되어 동 및 동합금 스크랩이 된다. 동 스크랩은 재용해 및 정련 과정을 거쳐 신동품, 전선 제조시 원료의 일부로 리사이클링되고, 동합금 스크랩은 주로 신동품, 주물 및 동제련 원료로 사용된다. 동 또는 동합금 스크랩을 용해할 때는 대부분 반사로서 용해한다. 또한, 동 제련소에서 발생하는 스크랩, 제련소 배출물(제련공장내의 리사이클링)은 조동 생산후 정련동을 제조시에 냉각제로 정련로에 장입하게 된다.

4.2. 연

연의 수요처가 대부분 납축전지이고 그 외에도 관이나 판 또는 선 등으로서 다른 금속 성분이 적은 납 스크랩은 수거되는 전량을 리사이클링하고 있다. 특히, 폐

납축전지는 수직로와 수평로를 사용하여 국내에서도 활발히 리사이클링되고 있다. 현재 국내 재생연 업계는 국내에서 발생하는 폐납축전지나 납스크랩이 부족한 실정으로 원료를 수입하고 있는 상태이다. 리사이클링시 문제점 중 하나는 재생연 공정의 2차 부산물에 대한 안정적이고 경제적인 처리기술이 미흡한 점이다. 예를 들면 제련로의 납분진 처리문제, 배연가스의 청정처리 문제, 폐황산의 리사이클링 문제, 그리고 소규모의 폐납축전지 청정 해체공정기술 등이다. 보다 깨끗하고 경제적인 공정을 운영하기 위해서는 상기한 기술이 개발되어 친환경적인 리사이클링 기술로 운전되는 것이 바람직하다.

4.3. 아연

아연은 주 용도로 아연도강판 등 도금용이 50% 이상을 차지하기 때문에 폐기물로 배출되는 아연이 농축된 형태로 배출되지 못하고 고철을 처리하는 전기로에서 분진으로 발생된다. 이 분진은 철분과 아연 및 연이 주성분으로 단순 매립하여 왔으나, 선진국에서는 아연과 연을 회수하고 철을 제강원료로 사용하거나 또는 일반폐기물로 처리하기도 한다.

이에 대한 처리법은 Wales법이 널리 일반화되어 있으며 이외 전기로법, 플라즈마법 등 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중에서도 Wales법이 외국에서 많이 실용화되어 있고 열화배소법도 적용되고 있으나, 국내에서는 아직 전기로 분진의 처리가 이루어지지 않고 있으며 다만 시험생산으로 플라즈마법 등 몇가지 방법이 시도된 적이 있다. 그 외의 아연 스크랩은 산화아연 제조에 활용되고 있으며, 합금 스크랩은 동종업계에서 재사용되고 있다. 아연의 리사이클링에서도 아연 및 합금 스크랩은 2차 자원으로 활용되지만 공정에서 발생하는 2차 부산물 즉, 아연 dross 및 분진의 처리가 고충사항 중 하나이다. 이에 대한 효과적인 처리기술개발이 환경관리를 겸하여 필요한 실정이다.

4.4. 알루미늄

알루미늄 스크랩은 재용해하여 재생 알루미늄괴를 생산하거나 펠렛 형태의 제강용 탈산제를 제조하는데 재활용되고 있다. 재생 알루미늄 및 합금괴는 새시(sash)나 각종 기계 부품, 주물용 등으로 리사이클링되고 있는데, 규모가 큰 재생업체에서는 주로 반사로를 사용하여 스크랩을 용해하고 소규모업체에서는 도가니로를 사용하는 곳도 많다.

발생되는 형태가 뚜렷한 알루미늄 스크랩의 경우에는

수거만 되면 리사이클링에 별 문제가 없다. 알루미늄 리사이클링에서 기술개발이 필요한 사안 중 하나로는 포장용 및 간이용으로 사용되는 알루미늄 박(foil)의 리사이클링이 전혀 이루어지지 못하는 점이다. 현재는 수거가 원활하지 못하여 대부분 매립되거나 소각으로 소실되고 있는 실정이다.

4.5. 니켈

니켈은 대부분 스테인레스 스틸 제조시 합금원소로 사용되고 이 외에 화학 플랜트 탱크 용기 등으로 사용되기 때문에 니켈 덩어리로서의 스크랩 발생은 별로 없어서 스크랩으로부터 직접 니켈을 회수하기가 어렵고 오히려 Fe-Ni를 제조하는 것이 더 용이하다.

Ni-Cd 폐전지 경우에는 Ni 55%, Co 1.82%, Cd 486 ppm 정도 되는데 이를 건식, 습식 혼합하여 황산니켈로 회수하고 다시 Ni 금속으로 분리 회수할 수도 있지만, 건식처리를 위주로 하여 Fe-Ni로 직접 제조하기도 한다.

4.6. 마그네슘

마그네슘은 용융점이 650°C 정도로 비교적 낮기 때문에 용해가 잘되고 재활용이 용이한 편이나, 산화성이 강하기 때문에 용해 및 주조시에 발화되지 않도록 주의해야 한다. 따라서 용해 및 주조시에 마그네슘 용탕표면의 산화를 방지하기 위해서 염화물 또는 불화물 플럭스를 사용하거나, SF₆ 가스와 CO₂를 혼합한 보호가스를 용탕표면에 붙여주어 공기와의 접촉을 방지한다. 국내에서도 이 두가지 방법을 모두 사용하고 있다.

용해로는 단순 도가니로는 2-Pot 용해로, 격막 플럭스로 등 제조업체별로 명명된 용해로를 사용하고 있다. 제조방법은 플럭스와 스크랩을 투입 용해후 정련 플럭스 또는 차폐가스 투입, 교반에 의한 용탕균일화와 부유물 제거, Ar 버블링을 통한 탈가스처리, 합금원소 첨

가, 주조 순이다.

5. 결 론

국내 비철금속의 수요는 향후에도 증가할 것으로 전망되고 이에 따라 스크랩의 발생량도 증가할 것이다. 그러나, 아직까지도 비철 금속 리사이클링에 종사하는 업체들 간에 기술교류와 정보교환을 위한 단체가 없기 때문에 리사이클링에 관한 통계를 작성하는 데 매우 큰 어려움이 따른다. 더욱이, 비철금속의 일차 수요자가 산업제품 생산업체가 대부분이기 때문에 아직 생산자책임재활용제도(EPR)의 적용을 받지 않고 있다. 따라서, 비철금속의 리사이클링을 향상시키기 위해서라도 동, 연, 아연, 알루미늄 등 품목별로 관련단체의 설치, 운영이 우선적으로 필요하다고 사료된다.

감사의 글

이 조사 연구는 에너지관리공단 자원기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 수행된 것이며, 지면을 빌어 그 간의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 오재현, 김미성, 신희덕, 2003 : “비철금속 리사이클링 동향”, 자원리사이클링, Vol. 12, No. 4, 3-19.
2. 한국비철금속협회자료, 2007 : www.nonferrous.or.kr
3. KOTIS 자료.
4. 손정수, 2008 : “합니켈 폐기물로부터 니켈의 자원화”, ‘2008 자원비축과 환경대응 비철금속 재활용 심포지엄’ 발표집, 인천 송도 컨벤시아 (2008. 10. 23), 175-197.
5. 강민철, 김현식, 2008: ‘Mg 원료소재 제조기술 심포지엄’ 발표집, 한국지질자원연구원 (2008. 4. 16), 109-118.

朴 馨 圭

- 현재 한국지질자원연구원 책임연구원
- 당 학회지 15권 2호 참조

申 熙 德

- 현재 한국과학기술정보연구원 전문연구위원
- 당 학회지 12권 4호 참조