

일본의 금속 리사이클링 현황(I) (Fe, Cu, Pb에 대하여)

권 호 영* · 小川修**

Ho-Young, Kwon · Osamu, Ogawa

광석으로부터 생산된 금속의 양은 문명이 시작되고부터 1750년대까지 전세계에서 약 2500만ton정도가 생산되었다고 추정되고 있다.

그러나 Fig. 1에서 보이는 것처럼 1980년대에는 그 생산량이 1년간에 약 5억8천만ton이 되었고, 실제로 10년간에 약 58억ton이 소비되기에 이르렀다. 그러나 금속자원은 무한히 있는 것이 아니고, 채굴(採掘)기술에도 한계가 있기 때문에 머지않아 금속자원은 고갈해 버릴 것이다. 금속자원이 앞으로 어느정도 기간까지 채굴이 가능할까 하는 것은 납이 22년, 아연이 41년, 구리가 53년, 철, 알루미늄이 230년정도라고 추정되고 있다. 새로운 거대한 광맥이라도 발견된다면 이런 DATA는 다소 바뀔 수도 있겠으나, 앞으로 발전도상국들의 적극적인 경제활동으로 이러한 금속자원은 더욱 많이 사용될 것이며, 따라서 이와같은 예상은 더욱 단축될 것이다. 그러므로 가능한 한 금속 리사이클링에 의해서 이러한 수요에 대응할 수 밖에 없을 것이다. 우선 일반적으로 발생하는 금속 스크랩의 발생원을 살펴보면 첫째, 금속의 제련 공정에서 발생하는 중간 생성물 또는 찌꺼기(殘渣) 등이며, 지금까지는 경제

적인 측면에서 그대로 폐기(廢棄)처리되었지만, 앞으로는 지금까지 폐기되었던 것 중에서 다시 새로운 유가물(有價物)을 회수하거나, 또는 환경오염 방지를 위하여 무해화(無害化)처리를 해야 할 것이다. 철강의 예로 보면 철강 DUST의 처리는 회수와 무해화의 양쪽을 모두 병행처리한다.

둘째, 금속을 가공하는 공정에서 발생하는 산업 폐기물 또는 SCRAP 등이며 이때 발생하는 산업 폐기물의 대부분은 유해하고, 회수하는 목적보다는 무해화를 하는 목적으로 처리를 하는 경우가 많다. 그러나, 이런 종류의 폐기물 및 스크랩은 독성이 알고 있는 것 이상으로 다량 또는 집중적으로 포함하고 있기 때문에 우선적으로 처리해야 될 리사이클링의 대상이다. 셋째, 금속을 사용한 후의 일반 폐기물 및 스크랩 등이며 도시 쓰레기 및 여러가지 스크랩 등을 포함한 이른바 도시 광산형의 리사이클링원(原)으로서, 이미 사용되었던 음료수 캔이나 가전 제품, 폐차 등을 예로 들 수 있다. 그러나 실제적인 의미로 도시광산(都市鑛山)이라고 부르기 위해서는 다음 3가지 조건을 만족해야 할 필요가 있다. 첫째, 폐기물 중금속 농도가 높은 것들이

* 충남전문대학 산업안전과

舊: 日本 東京大學 工學部 金屬工學科 素材工學研究室 客員研究員

** 日本 東京大學 工學部 金屬工學科

모여 있는 곳. 둘째, 금속을 분리된 상태로 회수할 수 있는 곳. 셋째, 계속적으로 일정량 이상을 회수할 수 있는 곳. 그렇지만 실제로 도시 쓰레기가 어떤 형태로 버려지고 있는가를 Table 1에 나타내었다. 1985년 일본에 있어서 도시 쓰레기 중에 금속류가 점유하고 있는 비율은 1.4%이었다. 다른 나라들과 비교해서 금속이 점유하고 있는 비율이 낮은 것은 일본내에서 쓰레기의 분리 수집이 잘 진행되고 있다는 것을 의미한다. 도시 쓰레기 중의 금속류가 1.4%라고 하는 숫자는 작다고 볼 수 있지만 1985년 일본에서의 총 도시 쓰레기량은 4300만 ton이기 때문에 금속류의 양을 환산하면 60만ton이 된다. 일본의 구리 생산량이 연간 100만ton에 못 미친다는 것을 생각하면 여러종류의 금속이 섞여있는 60만ton은 대단한 양이라고 볼 수 있다. 그렇지만 쓰레기로 되어버린 1.4%의 금속류를 회수한다는 것은 불가능한 일이기 때문에 어떻게 해서든 쓰레기가 되기 전에 회수하지 않으면 안될 것이다. 현

재 일본에서는 어느 정도의 금속이 회수되고 있는가를 1989년의 통계에서 살펴보면 철이 28%, 구리 44%, 납, 아연, 알루미늄이 30%정도, 기타 회유 금속들은 대부분 수%이하이다. 금속은 생산된 해에 바로 폐기물로 되는 것이 아니고 축적된 물건의 양도 많기 때문에 위의 숫자는 다소 유동적이라고 볼 수 있다. 본 기술보고에서는 우선 일본의 철 및 구리, 납 쓰레기에 대해서 서술하기로 한다.

1. 철

일본의 철강 축적량은 1965년에 1.9억ton이었으나 1989년에는 9.1억ton이 되었다. 각국의 철강 축적량과 인구 한명에 대한 축적량을 비교하여 Table 2에 보였다. 철쓰레기의 회수는 옛부터 행하여져 왔으며, 일본의 철쓰레기 발생율은 최근 10년간 철강 축적량의 2.2~2.6%정도이다. 1988년을 예로 살펴보면 일본의 총 철강 축적량은 8.7억ton이고 그중 철쓰레기 발생량은 0.22억ton(약 2.5%)이다. 여기에 가정에서 발생하는 철쓰레기와 수입 철쓰레기(백수십만ton)를 더하면 약 0.43억ton이 된다.

철쓰레기를 크게 2가지로 분류하면

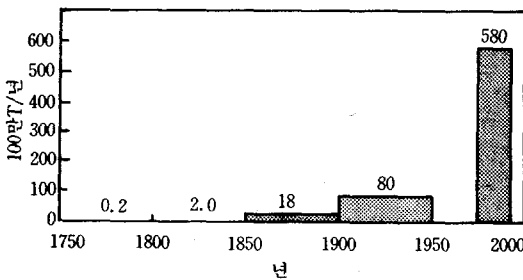


Fig. 1 광석으로부터 생산된 금속량의 추이

Table 2 각국의 철강 축적량 (1985)

국 가	총량(억t)	t/人	국 가	총량(억t)	t/人
미 국	30	13	영 국	3.8	7
일 본	8.2	8	프 랑 스	3.7	7
서 독	6.9	10	이탈리아	3.0	5.5

Table 1 도시쓰레기의 조성(%) (1985)

국 가	종이류	플라스틱류	유리류	금속류	기 타
캐나다	36.5	4.7	6.6	6.6	45.7
미 국	34.7	6.7	9.0	8.8	40.8
일 본	38.3	7.7	1.3	1.4	51.3
호 주(1980)	26.0	6.1	15.1	7.0	45.8
프랑스	27.5	4.5	7.5	6.5	54.0
서 독	17.9	5.4	9.2	3.2	64.3
이탈리아	22.3	7.2	6.2	3.1	61.6
네델란드	22.8	6.8	7.2	3.4	59.8
스페인	15.0	6.0	6.0	2.5	70.5
스웨덴(1980)	43.0	10.0	5.0	6.0	36.2
스위스(1980)	30.0	13.0	9.0	6.0	42.0
영 국(1980)	29.0	7.0	10.0	8.0	46.0

(1) 경량 철쓰레기

캔류, 자동차, 가전제품, 철판 등의 박판 제품 등에서 회수되며, 밀도가 낮고, 화학 성분이 복잡하다. 또한 유리, 플라스틱 등도 혼입되어 있기 때문에 그다지 규격이 엄격하지않은 보통강재에 리사이클링되어 사용되며 철쓰레기의 3/4를 점유하고 있다.

(2) 중량 철쓰레기

산업용 기계, 토목제품, 철골 건조물 등에서 회수한 것으로, 밀도가 높고, 화학 성분이 비교적 간

단한 양질의 철쓰레기이다. 하지만 철 리사이클링의 기본적인 과정은 경량 철쓰레기로부터의 처리하고 할 수 있다.

철 리사이클링의 순서를 살펴보면
첫째, 폐기물의 수집.

중량 철쓰레기의 회수율은 비교적 높으며, 경량 철쓰레기의 회수율은 전반적으로 낮다. 그중에서도 사무용 기기, 자동차, 자전거 등은 회수율이 비교적 높은 편이라고 말할 수 있으나 가전제품, 캔류, 완구류 등은 회수율이 낮아서 그대로 쓰레기로 되어 버리는 경우가 많다. 현재 일본에서 캔류는 1년에 110억개(약 100만ton)가 생산되며 이중에서 약 40%정도가 회수되고 있다.

둘째, 폐기물의 분쇄

여기에서 분쇄라는 의미는 절단이라고 말하기보다는 두들겨 부순다라는 의미가 좋을 것이다. 일본에서 분쇄기는 150대정도 있으며 평균 860마력이고 그 중에서는 2000마력의 것도 있으며 이 분쇄기는 직경 75mm의 환봉이나 두께 25mm의 두꺼운 강판의 처리도 가능하다. 빠른 공기의 흐름에 의해서 중량물과 경량물(프라스틱, 유리, 종이 등)을 분리시키고 수 10mm이하의 것으로 분쇄한 후 자력에 의한 선별 등에 의해서 철류와 비철류를 분리 농축한다.

셋째, 용해(溶解), 정련(精鍊)

최근 고로(高爐)에서의 선철의 생산량이 전로강(轉爐鋼)의 생산량을 앞지르는 상황이기 때문에 대부분은 전기로에서 처리한다. 현재 철쓰레기의 발생량 증대에 대비하여 새로운 용해법도 여러곳에서 연구되고 있는 중이다. 한편 자동차를 비롯해서 철쓰레기 중에 혼입하는 불순물의 종류와 양이 증가하는 경향이 있으며, 그중에는 현재의 기술로써 제거가 불가능한 것도 있다. 현 상태에서는 철쓰레기

를 회수할 때 되도록이면 불순물이 혼입되지 않도록 하는 것과 선철이나 양질의 철을 혼합시키므로 해서 규격내에까지 품질을 올리는데 있다.

Table 3은 현재 철강 공정에서 불순물 원소의 기술적인 제거 가능성을 나타낸 것이다.

2. 구리

구리는 오래전부터 회수가 잘 되어 오던 금속으로 1989년 일본에서의 구리의 총 소비량(전선, 주물, 기타 동제품 등)은 약 270만ton이었으며, 이 중 약 44%(120만ton)가 리사이클링에 의해 공급되었다. 구리 제련소에서의 스크랩과 구리 가공공정에서 발생하는 스크랩은 거의 100%리사이클링되고 있으나 금속 쓰레기 중에서의 구리 리사이클링율은 명확하지 않다. 그렇지만 일반적인 통계로부터 추정하고 환산하면 구리의 총 소비량에서 점유하는 스크랩의 비율은 약 50%정도가 된다.

(1) 구리 리사이클링의 문제점

과거와는 다르게 현재의 구리 제품은 품질이 다양해지고 또한 제품 중에 점유하는 구리의 비율이 매년 감소하고 있으며, 여기에 더더욱 인건비가 올라 구리 회수에 드는 비용이 많이 들게 되었다.

(2) 일본의 구리 리사이클링 기술

일본에서의 구리 리사이클링 처리는 거의가 구리 제련소에서 행하여지고 있다. 그 이유는

첫째, 수분이 많이 함유된 슬러지 상태나 분말 상태라도 구리 정광(精鑛)과 혼합해서 처리될 수 있기 때문이다.

둘째, 구리의 품위가 비교적 높은 고체상태의 것은 구리 전로(轉爐)에서 바로 처리할 수 있다.

셋째, 가연성의 이물질이나 금속 불순물의 분리 및 농축에 대응할 수 있다.

넷째, 다른 회수 방법에 비교해서 회수 비용이 적게 든다.

구리 제련소이외에서 회수 방법을 살펴보면

① 日本鑛業의 리사이클링로(爐)는 반사로 타입으로 중금속, 도금 슬러지, 프린트 기판 쓰레기, 폐수 찌꺼기, 그의 다른 산업 폐기물들을 처리하고, 유가금속은 matte로써, 유해금속은 불용

Table 3 철강공정에서 불순물원소의 기술적인 제거가능성

야금반응으로 제거가 용이	S.P.O 鋼種에 따라서는 C. Al. Si. Mn
진공하에서 제거가 용이	Zn, Pb, H, Bi 鋼種에 따라서는 N
현재의 기술로 제거가 곤란	Cu, Sn, As, Sb, Cd, Ni 鋼種에 따라서는 Cr, Ti, Co, Mo

성의 슬러그에 고정하여 시멘트 원료로 재자원화한다.

- ② 후루가와(古河) 기계금속 회사에서는 전로를 개량한 용해로를 사용하며 구리분말이나 금, 은을 함유한 가스, 기타 산업 폐기물 슬러지를 처리한다.
- ③ 저온 분쇄법은 금속의 저온 취성(脆性)을 이용해서 금속 스크랩을 저온에서 분쇄하여 각종 소재를 물리적으로 고순도로 분리, 농축하는 방법으로 앞으로 이 방법에 의한 회수 기술이 크게 기대되고 있으며 많은 연구 중에 있다.
- ④ 구리를 함유한 용액으로부터의 분리는 철분에 의해서 침전(세멘테이션 : 고형화)시켜서 직접 구리의 분말상태 제품으로 하거나 또는 제련소에 보내어 처리한다. 일반적으로 구리의 품위가 15%(보통 광산에서 채굴되는 광석보다 더 고품위이지만 물리적, 화학적 형태가 매우 복잡)이하의 폐기물은 현재의 기술로는 경제적으로 처리가 어렵기 때문에 매립함으로써 처리하지만 이 처리기술이 문제가 있기 때문에 결국 앞으로 구리 제련소에서 처리하지 않으면 안될 것으로 사료된다.

3. 납

일본 국내에서 1989년의 납 수요를 살펴보면 새

로 생산된 납(新납)이 약 30만ton(62%가 밧테리에 사용)이고 재생납이 약 11만ton(89%가 밧테리에 사용)이며 총 수요의 69%가 밧테리에 사용되고 있다. 그 외의 납 용도는 무기 약품(新납 사용)이나 뿔납, 판이나 판 등에 사용된다. 납의 총 수요에서 점유하고 있는 재생납의 비율은 약 27% 정도이며 생산된 납 중에서 재생납으로서 회수되는 비율은 약 45% 정도이다.

(1) 납 리사이클링의 현상

대부분은 중소기업에 의해서 처리되고 일부만이 규모가 큰 납 제련소에서 처리한다. 이전에는 오래된 수도납관이나 화학공장에서 사용되었던 납관이나 납판 및 잠수함의 축전지 등이 주원료이었으나, 현재는 자동차 폐 축전지가 90% 이상을 점유하고 있다. 자동차에 사용되는 납 축전지는 1970년대 중반까지는 +극 및 -극도 Pb-Sb합금이었으며 재생납으로서 Sb도 리사이클링 되었으나, 현재는 +극에 Pb-Sb합금, -극에 Pb-Ca합금을 사용하는 형식이 주류가 되어 가고 있는 중이기 때문에 -극에 대해서는 신납 밖에 사용되고 있지 않다.

(2) 일본에서의 리사이클링

- ① 밧테리처리 전용 공장에서의 처리방법(Fig. 2 참조)

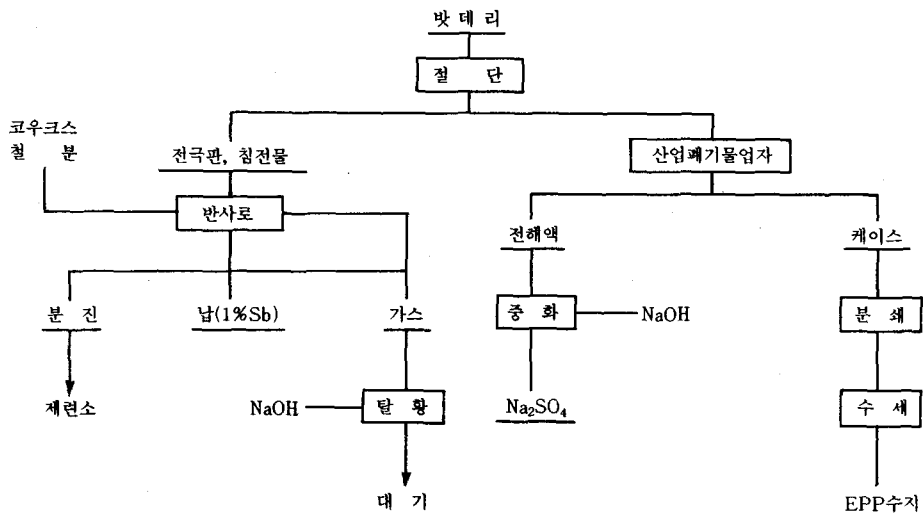


Fig. 2 밧테리 처리 전용공장의 공정

② 납 제련소에서의 처리방법

경우에 따라서는 납 축전지의 전해액만 빼낸 채로 케이스와 함께 용광로에서 처리하며 이때 납축전지의 케이스가 연료가 된다. 그러나 대량으로 처리하기 위해서는 우선 분쇄한 다음 소재를 적당히 분리하여 처리한다.

I. S. P(Imperial Smdting Process)¹⁾에서는 납, 아연의 스크랩을 포함해서 찌꺼기, 슬러지 및 분진 등의 거의 모든 폐기물의 처리가 가능하기 때문에

앞으로 유망한 처리 프로세스라고 평가되고 있다. 지금 단계에서의 일본에서 납 스크랩 처리 능력은 한계점에 도달한 상태이지만 전지의 생산은 계속 증대하고 있다. 따라서 납 제련소에서의 전지 스크랩의 새로운 처리 기술은 개발하여 그 처리 능력을 증대시키는 것에 대해 많은 연구 중이다.

주 1) I. S. P(Imperial Smdting Process) : 영국의 임페이알 회사가 발명한 아연 및 납의 용광로에 의한 제련법