

廢망간電池 / 알칼리망간電池 資源化를 위한 物理的 處理

孫廷秀 · 安鍾寬 · *朴庚鎬 · 全好錫

韓國地質資源研究院 資源活用研究部

Physical Treatment for Reclaiming Spent Carbon-Zinc and Alkaline MnO₂ batteries

Sohn Jeong-Soo, Ahn Jong-Gwan, *Park Kyoung-Ho and Jeon Ho-Seok

Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, Minerals and Materials Processing Division

요 약

폐망간전지 및 폐알칼리망간전지를 자원화하기 위한 전처리 공정으로 폐전지의 분쇄 및 자력선별 특성을 살펴보았다. 분쇄는 타발형 증속분쇄기를 사용하였으며 분쇄시 알칼리망간전지보다는 망간전지의 단체분리가 잘 이루어짐을 알 수 있었다. 분쇄산물의 자력선별 결과 자성체 대부분은 8 mesh 이상의 조립산물에 분포하였다. 따라서 폐망간전지, 폐알칼리망간전지 1톤을 분쇄하고 이 분쇄산물을 8 mesh로 체질한 뒤 8 mesh 이상의 조립산물만을 자력선별하면 철 함량이 각각 94%, 88%인 자성체를 214 kg, 235 kg 분리할 수 있음을 알 수 있다.

주제어: 폐망간전지, 폐알칼리망간전지, 자원화, 분쇄, 자력선별

ABSTRACT

Characteristics of crushing and magnetic separation on the spent batteries, were investigated for reclaiming spent carbon-zinc and alkaline manganese dioxide batteries. Crushing of carbon zinc battery was easier than that of alkaline MnO₂ battery using impact type crusher with rotary blades. Most of magnetic products were distributed in the range of +8 mesh size. With crushing 1 ton of spent carbon-zinc and alkaline MnO₂ batteries respectively, magnetic separation of 8 mesh oversize particles, we can get 214 kg and 235 kg of magnetic products which is composed of 94% and 88% of Fe.

Key words: Spent carbon zinc battery, Spent alkaline MnO₂ battery, Reclaiming, Crushing, Magnetic separation

1. 서 론

망간, 아연, 철, 및 니켈 등을 포함하고 있는 망간전지 및 알칼리망간전지는 국내에서 연간 약 5억 개, 15,000톤 이상이 사용되며 금액기준으로 보면 98년도에 약 2천억원의 시장규모를 보이는 것으로 추정된다. 폐전지의 발생량에 관한 통계는 보고되고 있지 않으나 사용량만큼의 폐전지가 발생하는 것으로 추정할 수 있다.¹⁾

폐망간전지 및 폐알칼리망간전지 일반 톤을 재활용하

는 경우, 망간 1,700톤 및 아연 2,000톤 이상을 회수할 수 있어, 현재 전량 수입되는 망간과 국내자급도가 2.7%인 아연의 수입대체 효과를 기대할 수 있다. 또한 폐전지의 재활용을 통하여 쓰레기 발생량 감소에 기여하고 폐전지로 인한 환경오염을 방지할 수 있다. Table 1은 최근 4년 간의 연도별 일차전지 생산량, 출하량, 재고량, 내수 및 수출량 등을 나타낸 것이다.²⁾ 폐전지의 발생량 계산에는 Table 1의 내수량에 추가하여 수입되는 건전지의 양과 가전제품이나 완구 및 시계 등의 완제품에 포함되어 수입되는 건전지의 양도 포함되어야 하므로 연간 약 5억 개 이상의 폐전지가 발생한다고 생각할 수 있다.

* 2001년 4월 2일 접수, 2001년 5월 15일 수리

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

Table 1. Quantities of Production, Shipment, Inventory, Domestic and Export on the Primary Battery. (unit : each)

year	production quantity	shipment quantity	inventory quantity	domestic quantity	export quantity
1996	695,939,000	714,205,000	9,308,000	481,146,000	233,059,000
1997	637,853,000	644,487,000	10,549,000	388,675,000	255,812,000
1998	653,999,000	652,035,000	19,701,000	365,465,000	286,570,000
1999	647,917,000	664,942,000	11,363,000	360,354,000	304,588,000
2000	599,661,000	608,550,000	8,632,000	315,695,000	292,855,000

망간전지 및 알칼리망간 전지에는 금속성분으로 철, 망간 및 아연 등이 약 25%, 20% 및 20% 정도 함유되어 있고, 기타 탄소 및 전해액 등이 포함되어 있다. 폐전지로부터 이러한 유가금속을 회수하는 기술은 크게 건식법과 습식법으로 나눌 수 있다. 일본 스미토모 중공업에서는 1000°C 이상에서 아연을 휘발, 증류하여 아연을 회수하고 잔사를 페로망간 원료로 이용하는 건식 공정을 개발하였으나 이 공정은 폐전지를 물리적으로 선별하지 않아 생산비용이 많이 소요되고 저급의 아연 및 망간 화합물이 생산되므로 경제성이 낮은 단점이 있다. 또한 스위스의 Recymet에서는 함수는 폐전지로부터 수분을 분리시킨 뒤 잔사를 물리적·화학적으로 처리하고 망간, 아연 및 기타 금속들을 전기화학적으로 회수하는 기술을 개발하였으나 지금도 처리비용을 낮추기 위한 연구가 계속되고 있다.³⁾

전지는 금속과 비금속이 혼합되어 있으므로 유가금속의 자원화를 위해서는 물리적 선별공정을 통하여 유가금속을 성분별로 분리, 농축하는 것이 필요하다. 회수된 폐망간전지 및 폐알칼리망간전지를 분쇄하여 입단별로 분리한 뒤, 자력선별을 통하여 철 성분과 아연, 망간이 농축된 비자성 물질로 분리하게 되면 철 스크랩은 철강산업의 원료로 판매가 가능하고 망간 및 아연 화합물을 제조하기 위한 침출공정에 투입되는 원료의 품위가 높아지고 처리할 물량이 줄어드는 효과를 기대할 수 있다. 그러나 지금까지의 연구에서는 혼합 폐전지로부터 전지 종류별로 선별하는 연구만이 일부 진행되었을 뿐 종류별로 분리된 폐전지를 대상으로 분쇄, 자력선별 등의 단위공정에 대한 자세한 연구결과가 발표된 것이 없는 실정이다.^{4,5)}

따라서 본 연구에서는 폐전지 자원화를 위한 물리적 선별공정을 확립하기 위한 기초연구로서 폐망간전지 및 폐알칼리망간전지에 대한 분쇄 특성 및 자력선별에 관한 연구를 수행하였다.

2. 시료 및 실험 방법

2.1. 시 료

시료는 2000년도 서울시 일부 구청에서 시범회사업으로 수거한 폐전지를 사용하였으며 이때 수거된 폐전지에는 망간전지와 알칼리망간전지가 각각 58%, 32%를 차지하였다. 망간전지 및 알칼리망간 전지는 Table 2에 나타난 바와 같이 외장 케이스, 양극, 음극 및 전해질로 구성되어 있으며 회수대상이 되는 물질은 철, 아연 및 망간으로 망간전지는 각각의 금속이 25%, 20%, 20%로 이루어져 있으며 알칼리망간전지에는 각 금속성분이 25%, 15%, 30% 포함되어 있다고 한다.⁶⁾

2.2. 실험 방법

폐전지를 분쇄한 후, 8 mesh에서 65 mesh 사이의 체를 사용하여 분쇄산물의 입도분포를 조사하였으며 이때 각 입단별로 구성성분의 분포도 함께 분석하였다. 폐망간전지 및 폐알칼리망간전지 각각에 대하여 분쇄산물을 대상으로 자력선별을 행한 뒤 입단별 자성체와 비자성체의 분포를 조사하였으며 또한 각각의 구성성분을 분석하여 자력선별법으로 철 성분의 분리, 농축이 가능한지를 살펴보았다.

폐전지의 분쇄는 타발형 중속분쇄기를 사용하였으며 회전날 하부에 $\phi 10, 15$ 및 20 mm의 공경을 갖는 망을 설치

Table 2. Chemical compositions of primary batteries

Battery	Anode	Electrolyte	Cathode	Volt.(V)	Case
Carbon-Zinc Battery	Zn(Hg,Pb,Cd)	NH ₄ Cl · ZnCl ₂	MnO ₂	1.5	Steel(Fe,Sn)
Alkaline MnO ₂ battery	Zn(Hg,Pb,Cd)	KOH or NaOH	MnO ₂	1.5	Steel(Fe,Ni)

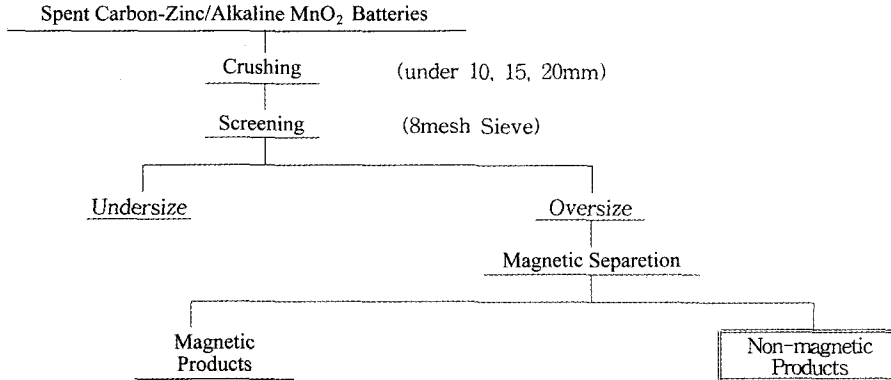


Fig. 1. Flowsheet of physical treatment for spent battery recycling.

Table 3. Size distribution of crushed carbon-zinc battery particles

Screen size Mesh	10φ		15φ		20φ	
	g	%	g	%	g	%
+8	237.77	32.2	295.53	40.6	377.84	49.5
8/14	40.63	5.7	32.12	4.4	32.20	4.3
14/20	106.78	14.7	86.49	11.9	82.01	10.7
20/28	48.6	6.7	41.19	5.7	36.31	4.8
28/35	32.76	4.5	27.77	3.8	24.57	3.2
35/48	75.39	10.4	64.70	8.9	56.81	7.4
48/65	46.96	6.4	42.45	5.8	35.91	4.7
-65	141	19.4	137.6	18.9	117.01	15.4
total	725.89	100	727.85	100	762.66	100

치하여 분쇄산물이 이 공경보다 작게 분쇄되어 배출되도록 하였다. 본 실험에 사용된 자력선별기는 영구자석과 이송 벨트로 구성되어 있어 자성체와 비자성체로 분리되도록 하였다. 분쇄산물 및 자력선별 산물은 각 크기별로 일정량의 시료를 채취한 뒤 왕수에 용해하여 용해성분을 ICP로 분석하고, 미용해부분은 여과하여 XRD분석하였다.

Fig. 1 은 본 연구의 물리적 처리 공정도로 분쇄산물을 체질한 뒤 +8 mesh 산물만을 자력선별하여 자성체인 철 성분과 비자성체로 분리하는 공정을 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분쇄 및 입도분리

폐망간전지를 분쇄한 뒤 분쇄산물을 체질하여 +8~

-65까지 8단계로 입도분리한 결과를 Table 3 에 나타내었다. 분쇄기 하부에 설치된 망의 공경을 10, 15 및 20 mm로 변화시키면서 실험한 결과 분쇄산물이 통과하는 망의 공경이 클수록 +8 mesh 산물의 양이 증가함을 알 수 있었다. 또한 분쇄산물의 육안관찰 결과 망의 공경에 관계없이 외장 케이스와 내부 분말간의 단체분리가 잘 일어났으므로 분쇄효율을 고려할 때 폐망간전지의 분쇄에는 망의 공경이 가장 큰 φ20 mm 망을 사용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

Fig. 2 는 폐망간전지 분쇄산물의 입단별 금속성분 구성비율을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 +8 mesh의 조립산물에서는 아연이 전체의 45%를 차지하고 있는데 이는 망간전지의 경우 +극으로 사용되는 아연이 분말이 아닌 판상으로 되어 있기 때문이다. 또한 전지 케이스의 구성성분인 철이 조립산물의 약 15%를

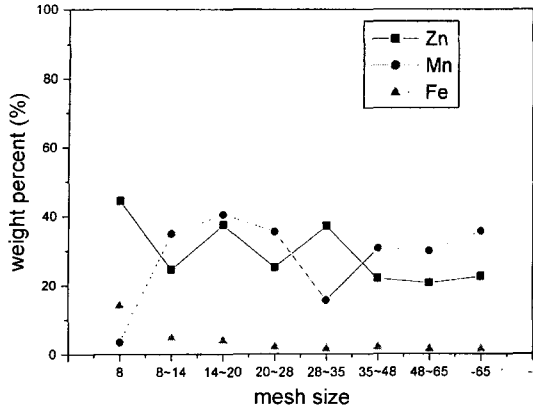


Fig. 2. Variation of metal components at each particle size range of crushed carbon-zinc battery.

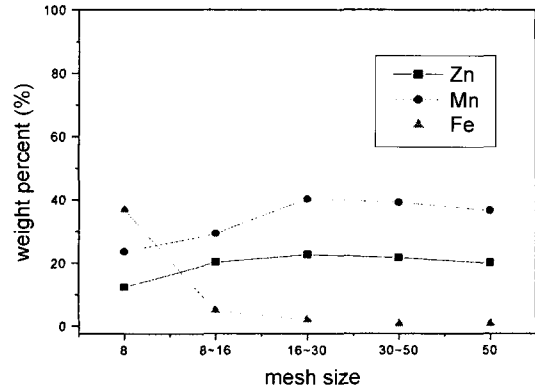


Fig. 3. Variation of metal components at each particle size range of crushed alkaline manganese battery.

차지하고 있으므로 분쇄과정에서 조립산물은 판상인 전지 케이스와 아연판이 파쇄된 상태로 존재하며 일부 분말들이 이에 흡착되어 있음을 알 수 있다. -8 mesh의 미립산물에서는 주 구성성분이 망간과 아연으로 나타났는데 이는 망간의 경우 이산화망간 분말이 사용되었기 때문이며 아연은 아연금속이 반응하여 산화아연으로 되었기 때문이다. 이에 반하여 Fe 성분은 미립산물에서 차지하는 비중이 아주 작음을 알 수 있다. 따라서 폐전지 내의 망간은 모두 분말의 형태로 존재하기 때문에 망간이 적게 분포하고 있는 +8 mesh의 조립산물을 자력 선별하면 자성체로 철을 회수하고 비자성체로 아연을 분리할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 4는 폐알칼리망간전지를 분쇄한 뒤 분쇄산물을 체질하여 +8~65까지 8단계로 입도분리한 결과를 나타

낸 것이다. 폐망간전지의 경우와 유사하게 분쇄산물이 통과하는 망의 공경이 클수록 8 mesh 이상의 조립산물 양이 증가함을 알 수 있었다. 그러나 분쇄산물의 육안 관찰 결과 망의 공경이 $\phi 15$ mm, 20 mm 망을 사용하였을 때 전지 케이스가 완전히 분쇄되지 않고 그 내부에 분말들이 포함되는 것이 관찰되었으므로 폐알칼리망간전지의 분쇄에는 분쇄기 하부 망의 공경이 $\phi 10$ mm 인 망을 사용하여 충분한 분쇄와 단체분리가 이루어지도록 해야한다.

Fig. 3은 폐알칼리망간전지 분쇄산물을 입단별로 분리한 후 각 입단별 금속성분의 구성비율을 나타낸 것이다. +8 mesh 산물에서는 철이 36%로 가장 많은 양을 차지하고 있으며 망간, 아연의 순으로 되어 있는데 이는 망간전지와 달리 아연극이 아연판으로 되어 있지 않

Table 4. Size distribution of crushed alkaline manganese dioxide battery particles

Screen size / Mesh	10 ϕ		15 ϕ		20 ϕ	
	g	%	g	%	g	%
+8	207.88	27.2	289.74	40	305.16	41.8
8/14	61.96	8.1	56.23	7.8	43.40	6
14/20	174.43	22.9	149.68	20.6	127.40	17.5
20/28	75.96	10	58.31	8	52.41	7.2
28/35	44.42	5.8	31.73	4.4	31.59	4.3
35/48	87.35	11.5	60.58	8.4	67.36	9.3
48/65	43.41	5.7	29.31	4	37.72	5.2
-65	67.30	8.8	49.66	6.8	62.80	8.6
total	762.71	100	725.24	100	727.84	100

Table 5. Results of magnetic separation on the crushed carbon-zinc battery particles

mesh	Magnetic component			Non-magnetic component		
	weight(g)	wt%	total %	weight(g)	wt%	total %
+8	2,969	94.7	21.4	3,307	30.7	23.8
-8/16	94	3.0	0.7	1,028	9.6	7.4
-16/30	22	0.7	0.2	1,521	14.2	11.0
-30/50	20	0.6	0.1	1,429	13.3	10.3
-50	31	1.0	0.2	3,464	32.2	25.0
total	3,136	100	22.6	10,749	100.0	77.4

고 아연분말로 이루어졌기 때문이다. 전체 범위에서 망간의 함량이 아연의 함량보다 일정한 차이를 나타내며 높게 나타났는데 이는 알칼리망간전지의 원 조성인 망간 30%, 아연 15%인 것과 같은 경향을 나타낸 것이다. 또한 +8 mesh의 조립산물에서 망간과 아연의 함량이 높게 나타났는데 이는 분쇄과정에서 전해액과 분말들이 혼합되어 조립산물 쪽으로 이동된 것으로 생각된다. 따라서 자력선별을 통하여 철 스크랩과 아연, 망간의 비자성체를 분리하기 위해서는 철 스크랩 자성산물에 비자성체 분말이 혼합되지 않도록 건조 및 분말의 탈착작업을 행해야 한다.

3.2. 자력선별

자력선별기를 이용하여 철 성분 및 비철금속성분을 분리하기 위한 실험으로 폐망간전지 분쇄시료를 +8, -8/16, -16/30, -30/50 및 -50으로 체질한 후, 자력선별한 결과를 Table 5 에 나타내었다. Table 5 에서 보면, 자성체의 95%가 8 mesh 이상의 조립산물이었으며 육안관찰 결과 대부분 전지 케이스의 분쇄산물로 이루어졌음을 알 수 있었다. 또한 8 mesh 이하의 미립산물 중 자성체는 전체 중량의 1.2%에 불과하므로 분쇄산물을 8 mesh로 체질하여 분리한 뒤 +8 mesh 조립산물만을 자력선별하면 자성체인 철 성분만을 선택적으로 분리, 농축할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 4 와 Fig. 5 는 폐망간전지 분쇄산물을 자력선별한 뒤 자성체, 비자성체의 입단별 금속성분의 조성을 나타낸 것이다. 자성체의 경우 조립산물에서는 망간, 아연 등의 불순물 함량이 각각 1% 이하를 나타내었지만 미립산물 일수록 비자성체인 망간, 아연 분말의 혼입이 증가함을 알 수 있었다. 따라서 입도별 분리를 행하지 않고 전체 분쇄산물을 대상으로 자력선별하는 경우에는 자성체내의 망간, 아연의 혼입을 방지하기 위한 추가공

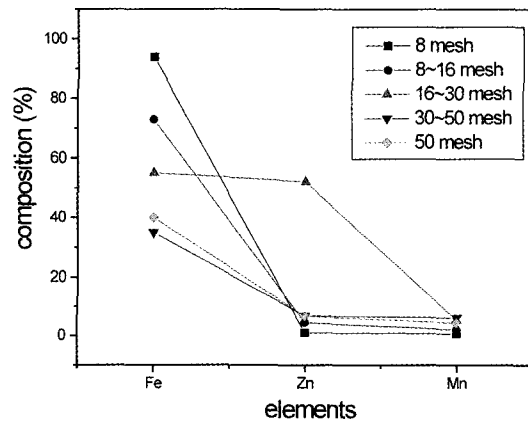


Fig. 4. Variation of metal components in the magnetic products at each particle size range of crushed carbon-zinc batteries.

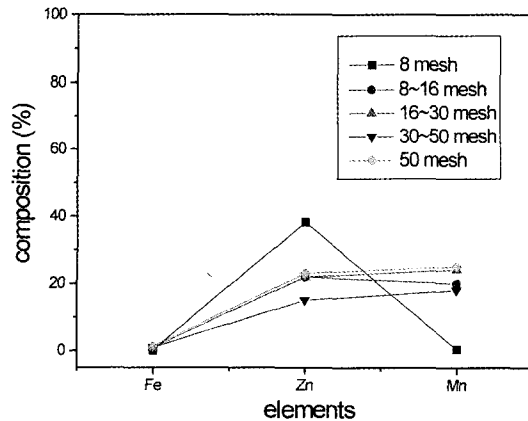


Fig. 5. Variation of metal components in the non-magnetic products at each particle size range of crushed carbon-zinc batteries.

정이 필요하다. 비자성체의 경우 +8 mesh 조립산물에서는 아연의 함량이 가장 높게 나타났는데 앞서 설명한

Table 6. Results of magnetic separation on the crushed alkaline MnO₂ battery particles

mesh	Magnetic component			Non-magnetic component		
	weight(g)	wt%	total %	weight(g)	wt%	total %
+8	3,442	84.1	23.5	1,312	12.5	9.0
-8/16	222	5.4	1.5	1,654	15.7	11.3
-16/30	128	3.1	0.9	2,716	25.8	18.6
-30/50	111	2.7	0.8	2,252	21.4	15.4
-50	192	4.7	1.3	2,596	24.7	17.8
total	4,095	100.0	28.0	10,530	100.0	72.0

바와 같이 망간전지의 경우에는 아연이 판재형태로 사용되었기 때문이며 미립의 비자성체에서는 망간과 아연의 비율이 비슷하게 나타났으며 철의 함량은 1% 이하를 나타내었다. 따라서 폐망간전지 1 톤을 분쇄하고 이 분쇄산물을 8 mesh로 체질한 뒤 +8 mesh 조립산물만을 자력선별하면 Fe 함량이 95 wt%인 자성체를 214 kg 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Table 6은 폐알칼리망간전지 분쇄시료를 +8, -8/16, -16/30, -30/50 및 -50으로 체질한 후, 자력선별한 결과를 나타낸 것이다. 폐망간전지의 자력선별 특성과 유사하지만 자성체의 84%가 8 mesh 이상의 조립산물로 나타나 미립산물이 자성체에서 차지하고 있는 양이 높게 나타났는데 이는 알칼리망간전지의 경우 분쇄과정에 사용된 분쇄기 하부에 설치된 망의 공경이 망간전지의 경우와 다르기 때문이다.

비자성체 중 8 mesh 이상의 조립산물이 전체의 9%를 차지하고 있는데 이것은 알칼리망간전지 내에는 비자성체인 망간, 아연 및 탄소 등이 분말로 사용되었지만 분쇄과정 중에서 전해액과 아연분말이 발열반응하면서 응집이 이루어졌기 때문이다. 아연은 알칼리용액에서 수소기체를 발생하면서 다음 식(1)과 같이 반응이 이루어진다고 하며 이때 생성된 Zn(OH)₄²⁻는 용해도 이상의 농도가 되면 Zn(OH)₂ 또는 ZnO로 되어 석출되므로⁷⁾ 이 과정에서 망간, 아연 및 탄소간의 응집이 이루어진 것으로 생각된다.

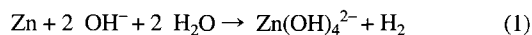
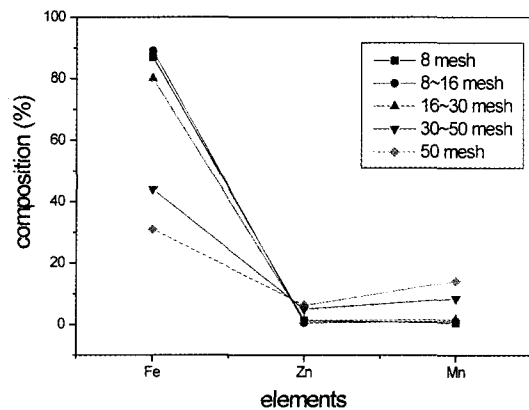
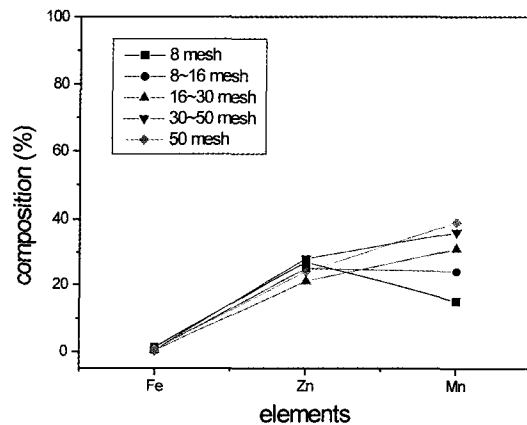


Fig. 6 과 Fig. 7 은 폐알칼리망간전지 분쇄산물을 자력선별한 뒤 자성체, 비자성체의 입단별 금속성분의 조성을 나타낸 것이다. 자성체의 경우 8 mesh 이상의 조립산물에서 아연의 함량이 1.3%로 망간전지의 경우에

**Fig. 6.** Variation of metal components in the magnetic products at each particle size range of crushed alkaline MnO₂ batteries.**Fig. 7.** Variation of metal components in the non-magnetic products at each particle size range of crushed alkaline MnO₂ batteries.

비해 높게 나타났고 철의 함량이 88%로 망간전지에 비해 낮게 나타났는데 이는 앞의 반응으로 인해 아연과

혹연 등이 분쇄과정 중에 철 스크랩에도 응집되기 때문이다. 비자성체의 경우 +8 mesh 조립산물에서 망간전지와 같이 아연의 함량이 높게 나타났는데 이는 앞서 설명한 바와 같이 알칼리망간전지에서 아연이 분말로 사용되었지만 아연과 전해액의 발열반응과 응집이 이루어져 망간에 비해 높은 함량을 나타내는 것으로 생각된다. 8 mesh 이하의 미립산물에서는 이와는 반대로 망간의 함량이 높게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 폐알칼리망간전지 1 톤을 분쇄하고 이 분쇄산물을 8 mesh로 체질한 뒤 +8 mesh 조립산물만을 자력선별하면 Fe 함량이 88 wt%인 자성체를 235 kg 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

1. 폐망간전지의 분쇄실험 결과, 분쇄기 하부 망의 공경에 관계없이 단체분리가 가능하였으나, 폐알칼리망간전지의 경우에는 분쇄기 하부 망의 공경이 $\phi 20$ mm인 경우에는 건전지 case의 일부가 분쇄되지 않은 채로 남아 있었으며 $\phi 10$ mm의 공경을 갖는 망을 사용해야 효율적인 단체분리가 일어남을 알 수 있었다.
2. 폐망간전지를 자력선별한 결과, -8 mesh 미립산물은 대부분이 비자성체로 분리되었으며 자성체는 분쇄산물 전체의 1% 정도에 불과하므로 +8 mesh 입자만을 자력선별하는 것이 타당함을 알 수 있었다. 본 물리적 처리공정을 이용하면 폐망간전지 1톤으로부터 Fe함량이 94%인 자성체 214 kg을 분리, 농축할 수 있음을 알 수 있다.
3. 폐알칼리망간전지를 분쇄하는 과정에서 아연분말과 전해액 간의 발열반응이 진행되어 일부 분말들이 응집되는 현상이 관찰되었으며 폐알칼리망간전지 1톤을 분쇄하고 이 분쇄산물을 8 mesh로 체질한 뒤 +8 mesh 조립산물만을 자력선별하면 Fe 함량이 88 wt%인 자성체를 235 kg 회수할 수 있음을 알 수 있다.

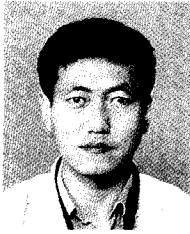
4. 망간 및 아연이 농축된 분쇄산물만을 침출과정에 투입하기 위하여 폐망간전지 및 폐알칼리망간전지를 본 연구에서와 같이 분쇄, 자력선별하면 철 성분이 90% 내외인 자성체를 21.4~23.5% 정도 제거시킨 정제산물을 얻을 수 있으므로 망간 및 아연을 자원화하는 공정의 경제성을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 21세기 프론티어사업인 산업폐기물재활용기술개발사업(과제명 : 폐전지로부터 유가금속 회수 및 소재화 기술개발)의 일환으로 수행되었으며 연구비를 지원하여 주신 산업폐기물재활용사업단에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이화영, 조병원 : "폐전지의 리사이클링 처리기술 현황", 공업화학 전망, 3(2), 23-31 (2000).
2. 통계청 : "생산품별 생산, 출하, 재고 내수수출량-축전지 및 일차전지 제조업-건전지", http://www.nso.go.kr/cgi-bin/sws_999.cgi (2001).
3. 손정수 : "리사이클링백서, 1.3 폐건전지의 리사이클링", 한국자원리사이클링학회, 95-100 (1999).
4. S. Ferlay : "Zimaval Technology for Recycling of Batteries and Other Complex Zinc Bearing Materials", Proceedings of Fourth International Symposium on Recycling Metals and Engineered Materials, edited by D. L. Stewart et.,al, 613-623, Pittsburgh, Oct. 22-25, 2000, TMS, Printed in USA (2000).
5. N. J. Waston : "Battery Sorting and Recycling : The European Metals Industry Approach", Proceedings of 11th International Seminar on Battery Waste Management, edited by S. P. Wolsky, Florida, Nov. 1-3, 1999, printed in USA (1999).
6. T. White : "Status of consumer battery recycling in Singapore", ITE Letters on Batteries, New Technologies & Medicine, 1(4), 518-525 (2000).
7. 남중우 역 : "전지와 에너지", 현대의 전기화학, 81, 청문각, 서울 (1995).



孫 廷 秀

- 1985년 서울대학교 자원공학과 학사
- 1987년 서울대학교 자원공학과 석사
- 1992년 서울대학교 자원공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원재활용 사업단 선임연구원



安 鍾 寬

- 1987년 고려대학교 금속공학과 학사
- 1991년 고려대학교 금속공학과 석사
- 1996년 고려대학교 금속공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용 연구부 Post-doc



朴 庚 鎬

- 1976년 연세대학교 금속공학과 학사
- 1979년 연세대학교 금속공학과 석사
- 1987년 호주 Monash Univ. 화학공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원재활용 사업단 책임연구원



全 好 錫

- 1988년 강원대학교 자원공학과 학사
- 1990년 강원대학교 대학원 석사
- 1994년 강원대학교 대학원 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용 연구부 선임연구원