

테르밋 반응을 이용한 페로망간 전기로 분진의 재활용에 관한 연구

하태영^a · 조영민^a · 박영구^b · 김윤채^{c,†}

경희대학교 환경과학공학과^a
강원대학교 삼척캠퍼스 환경공학과^b, 재료금속공학과^c,
(2015년 2월 9일 접수; 2015년 2월 20일 수정; 2015년 3월 25일 채택)

Recovery of manganese compounds from electric arc furnace dust by Aluminothermy Process

Tae-Young Ha^a · Young-Min Jo^a · Young-Koo Park^b · Youn-Che Kim^{c,†}

^aDepartment of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University,
Gyeonggi-Do 446-701, Korea

Departments of Environmental Engineering^b and of Materials and Metallurgical Engineering^c,
College of Engineering, Kangwon National University, Samcheok 245-711, Korea
(Received February 9, 2015; Revised February 20, 2015; Accepted March 25, 2015)

Abstract : The properties of dust collected from electric arc furnace of ferro manganese production units was investigated, and also the metallic manganese was recovered from the dust by aluminothermy process.

The ferromanganese dust collected from electric arc furnace contained about 15% of manganese oxide (Mn_3O_4) and 9% of carbon as the contaminant, and have a 5 μ m of 50% median diameter and irregular particle shape. The carbon contaminant in the dust could be reduced until about 0.1~0.5% level by roasting in the air at a temperature of 600~900C for 60minutes.

The recovery of manganese could not be carried out using only ferromanganese dust from electric arc furnace by aluminothermy process, but the ferromanganese which contained manganese of about 92% and iron of about 5% could be obtained from the mixture of ferromanganese dusts from electric arc furnace and converter. The best mixing condition of dust fixed at electric arc furnace dust / converter dust ratio of 1:9 and 2:8, and the mixing ratio of 3:7 or more could not separated the metal and slag from the reactant after aluminothermy reaction.

Keywords : Electric arc furnace dust, Aluminothermy process, Ferromanganese, Manganese oxide, Roasting

[†]Corresponding author
(E-mail: yckim@kangwon.ac.kr, ygpark@kangwon.ac.kr)

1. 서론

합금철의 일종인 페로망간은 망간 함유율이 약 75 % 이상의 철합금으로 탈산 및 탈황효과가 크기 때문에 철강산업에서는 페로실리콘, 실리콘 망간 등과 더불어 탈산제 혹은 그 합금원소로 널리 사용되고 있다. 그 제조공정은 망간 함유 광석과 코크스 등을 전기로에 장입, 환원, 용융하여 고탄소 페로망간을 제조한 다음, 이 용액상의 고탄소 페로망간을 전로에 옮겨, 산소 등을 투입한 산화성 분위기에서 탄소 등의 불순물을 제거하여 중탄소 페로망간을 제조하게 된다.

고탄소 페로망간 제조과정 중의 전기로에서는 제품의 약 1 % 분진이, 또 중탄소 페로망간은 전로에서 제품의 5~10 % 분진이 각각 발생한다 [1]. 특히 전로에서 발생하는 분진은 망간 함유량이 높기 때문에 이를 입상화하여 페로망간 제조공정에 재투입하여 망간이 회수되고 있을 뿐만 아니라 효율적인 망간 회수 방법이 제안되어왔다 [2-5].

한편 전기로에서 발생하는 고탄소 페로망간 분진은 망간 함유율이 10~30 %로 전로에서 발생한 것에 비해 낮을 뿐만 아니라 칼륨을 비롯한 다양한 유해 불순물이 존재하기 때문에 무해화 처리 후 매립하고 있는 현황이다. 그러나 이와 같은 단순 매립방법은 환경을 오염시킬 우려가 클 뿐만 아니라 페로망간 제조용 원료광의 망간 함유율이 50 % 전후인 점을 고려하면 분진 함유망간도 자원 재활용 측면에서 검토되어야 할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 전기로 분진의 망간 성분을 유용자원으로 활용하는 공정을 개발하고자 분진의 특성과 새로운 공정인 알루미늄 테르밋 반응에 의한 망간 회수방법을 제시하고자 한다. 특히 알루미늄을 환원제로 적용하는 테르밋 반응(Thermite Process)은 탄화수소를 연료로 사용하지 않기 때문에 생성되는 금속에 탄소성분의 불순물이 포함되지 않는 장점이 있다.

2. 실험방법

2.1 원료 분진의 특성

페로망간 분진의 특성과 그 회수 방안을 검토하기 위해 본 실험에서 사용된 시료는 인근 페로망간 제조공장의 전기로(electric furnace)와 전로(converter)에서 발생하는 분진을 그대로 즉 형상

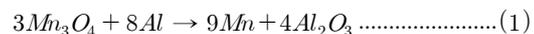
과 입도를 가공하지 않은 것을 사용하였다. 먼저 각 분진의 화학성분을 검토하기 위해 X선 형광분석기(XRF, ZSX-100e, Rigaku, Japan)를 이용한 원소 분석과 X선 회절분석기(XRD, D/Max-2500V, Rigaku, Japan)에 의한 산화물의 정량분석을 행하였다. 시료분진의 입도분포는 레이저 입도분석기인 Malvern Mastersizer (MasterE, Malvern, UK)를 이용하였으며, 분진의 입자형상 검토에 SEM(JSM-6300, JEOL Oxford, Japan)이 이용되었다. 이와 같은 방법으로 조사된 전기로 분진의 특성은 전로 분진의 그것에 비교, 검토되었다.

2.2 전기로 분진의 전처리

전기로 분진은 전로 분진에 비해 흑연 등의 불순물이 다량 함유되어 있을 뿐만 아니라 수분을 함유하고 있어 이를 제거할 목적으로 배소실험을 행하였다. 그 방법은 50 g의 전기로 분진을 알루미늄 용기에 장입하여 그 중량을 측정 후 대기 중의 600~900 °C의 각 온도에서 약 60 분간 가열한 다음, 상온까지 냉각하여 그 중량을 측정, 배소 전후의 중량감소를 측정하였다. 또 배소에 의한 흑연 불순물의 영향을 검토하기 위하여 배소분을 탄소 원소가 함유되지 않은 산화철분(Fe₂O₃)과 혼합한 혼합물로부터 Al 테르밋 반응으로 제조한 금속을 원자흡광분광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, AA-6701F, Shimadzu, Japan)에서 원소분석을 행하였다.

2.3 금속망간의 회수방법

전기로 분진에 함유된 Mn 성분을 금속망간으로 회수하는 방법은 이전의 전로 분진으로부터 망간을 회수하는 방법과 동일하게 알루미늄 테르밋법(Aluminothermy Process)을 적용하였다[1]. 즉 분진 중의 망간산화물을 알루미늄 분말의 산화반응에 의해 탈산시킬 뿐만 아니라 그 반응열에 의해 생성물이 액상이 되어 금속망간과 슬래그가 그 비중차로 분리되기 때문에 반응식 (1)과 같은 경로를 통하여 금속망간을 추출할 수 있게 된다.



2.3.1 원료 분진의 배합

전기로 분진에는 알루미늄 테르밋 반응의 대상 산화물인 Mn₃O₄ 함유율이 약 15% 이하로 극

히 적기 때문에 양호한 테르밋 반응을 기대할 수 없었다. 그러므로 전기로 분진을 Mn_3O_4 이 많은 전로 분진에 혼입시켜 망간 성분을 추출하는 방안이 검토되었다. 이를 위한 전기로 분진과 전로 분진의 배합비는 표 1과 같으며, 환원제인 Al 분말의 소요량은 식 (1)에 기인하여 반응 산화물이 모두 Mn_3O_4 분진인 것으로 가정하여 산출하였다. 실험에 사용된 전기로 분진은 800 ° C에서

약 131 g을 칭량하여 상부 내경이 약 120 mm, 하부 내경 약 50 mm, 높이 160 mm인 흑연 도가니 내에 충전한 다음, 10~15 psi로 가볍게 가압하여 충전밀도를 높였다(그림 1 참조). Al 테르밋 반응의 착화를 돕기 위해 흑연 도가니 내의 충전물 상부 중앙부에 직경 약 8 mm, 깊이 약 30 mm의 hole을 만든 다음 여기에 소량의 Mg 분말과 $KMnO_4$ 분말을 장입한 후 두께 약 1 mm, 폭 약 5 mm, 길이 100 mm의 Mg 리본을

Table 3. Quantitative phase analysis

sample	Mn_3O_4 (Langban)	MnO (Mn Oxide)	C (Graphite)	SiO_2 (Quartz low)	FeO (OH)	$MnFe_2O_4$	K_3 (MnO_4)	K_2 (Fe_2O_4)	$K_{0.5}Mn_2O_4 \cdot 1.5H_2O$	$Mn_3Mn_2Si_3O_{12}$
E.F. dust	14.9	4.4	9.5	29.0	0.7	8.7	10.7	4.5	14.8	2.9
converter dust	97.5	2.5								

약 60 분간 배소한 것을 사용하였다.

삽입한 다음, Mg 리본에 착화하여 Al 테르밋 반응이 진행되도록 하였다.

2.3.2 원료 분진의 혼합

Table 1에 표시한 전기로 분진과 전로 분진의 배합비가 되도록 각 분진을 칭량한 후 이들의 분진과 약 31g의 Al 분말을 함께 3차원 혼합기인 원통형 shaker mixer에 주입하여 10 분이상 충분히 혼합한 후, Al 테르밋 반응물로 사용하였다. 테르밋 반응의 환원제로 사용된 Al 분말은 순도 99.8 %이상의 것으로, 테르밋 반응시의 환원력을 증대시키고 착화를 용이하게 할 목적으로 원분을 200 mesh 이하로 분급하여 사용하였다[2].

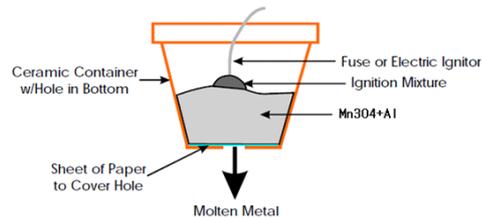


Fig. 1 Thermite reactor for powder mixture.

2.3.3 혼합물의 Al 테르밋 실험방법

전기로 분진, 전로 분진과 Al 분말의 혼합물

3. 결과 및 고찰

Table 1. Mixing condition of E.F. dust and converter dust

sample	E.F.dust(%)	Converter dust(%)	Total dust(g)	Al powder(g)
(1)	-	100	100	31.25
(2)	10	90	100	31.25
(3)	20	80	100	31.25
(4)	30	70	100	31.25
(5)	40	60	100	31.25
(6)	50	50	100	31.25

E.F. dust : Electric furnace dust

Table 2. Chemical composition of E.F. dust and converter dust

Raw material	Mn	Fe	K	Ca	Zn	Si	Mg	Total
E.F. dust	48.800	3.200	21.400	3.440	19.900	0.991	0.193	97.924
Converter dust	88.200	3.440	0.138	0.196	7.660	0.114	0.031	99.779
Fe ₂ O ₃ Powder	0.189	90.8	0.003	0.03	8.79	0.035	0.008	99.855

3.1 원료 분진의 특성

표 2에 전기로분진의 화학성분 분석결과를 전로분진과 비교하였다. 전기로분진은 망간이 48.8%로서 전로분진의 88.2%보다 적은 반면, 칼륨이 21.4%, 아연이 19.9% 포함되어 있으면서 주요 불순물로 작용한다. 즉 고철이 투입되는 전기로분진은 용선을 비롯한 철스크랩이 취급되는 전로분진에 비해 망간 함량이 적고, 칼륨과 아연 등의 불순물 함량이 많았다.

전기로 분진의 구성 원소의 존재 형태를 조사할 목적으로 분진의 XRD에 의한 정량분석 결과를 표 3에 정리하였다. 금속 원소들은 산화물 혹은 수화물 형태로 존재하였으며, 원소분석에서는 검출되지 않았던 탄소도 흑연 형태로 상당량 존재함을 알 수 있다. 망간 산화물로만 구성된 전로 분진에 비하면 다양한 종류의 화합물로 구성되어 있었다.

전기로 분진이 전로 분진에 비해 상대적으로 망간 산화물이 적고, 다른 금속 산화물이 많은 것은 페로망간을 제조 시 전기로에 투입된 원료(망간광석, 산화철, 석회석, 코크스)에 기인한 것으로 사료된다. 페로망간 제조 시 전기로의 로내 분위기는 Coke에 의한 환원성 분위기로 알려져 있으나 로상부의 외부는 약 200 °C 이하의 대기와 접하게 되므로, 로내에서 금속원소 분진들이 로상부에서 대기 중의 산소 혹은 수분들과 반응하여 산화물 혹은 수화물을 형성한 것으로 추측된다. 이에 비해 전로 분진은 로내 분위기가 산화성이기 때문에 망간 산화물이 형성되기 쉬운 분위기에 기인한 것으로 판단된다.

전기로 분진은 전로 분진에 비해 망간 산화물이 상대적으로 적을 뿐만 아니라 다른 산화물 혹은 수화물이 많기 때문에 Al 테르밋 반응이 어렵고, 또 회수할 수 있는 망간의 절대량도 적을 것으로 생각된다.

한편 분진의 크기 및 분포를 조사하기 위해 입도를 측정하여 그림 1에 도시하였다. 전기로 분

진의 입도분포는 0.01~5 μm 범위에 분포하고 있으나 0.1 μm 전후에 집중되어 있으며 중간입경(50% median diameter)은 0.24 μm 이었다. 이에 비해 전로 분진의 입도분포는 0.01~10 μm 범위에 비교적 균일하게 분포하고 있으며, 중간입경은 0.99 μm 이다 [2]. 즉 전기로 분진이 전로 분진에 비해 보다 많은 양의 미분으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

그림 2에 분진의 형상을 조사하기 위해 SEM 관찰결과를 정리하였다. 사진 [A]는 전로 분진, [B]는 전기로 분진이며 [C]는 [B]를 10배로 확대한 분진 사진이다. 전로 분진은 직경 약 10 μm 이하가 모두 구상을 알 수 있다. 이는 고탄소 페로망간의 용탕을 전기로에서 전로에 받아 불순물의 제거할 목적으로 산소를 injection하여 산화반응을 일으킨 결과 탄소 등의 불순물이 가스상으로 제거됨과 동시에 증기상의 망간이 전로 상부에서 응축된 결과, 이와 같은 구상분이 형성된 것으로 해석할 수 있다. 한편 사진 [B]의 전기로 분진은 매우 불규칙한 형상을 하고 있으나, 이를 10배로 확대한 사진 [C]에서 알 수 있듯이 미세한 구상분들이 응집되어 불규칙형상을 이루고 있음을 알 수 있다. 전기로 로내는 환원성 분위기이나 분진이 포집하는 로상부는 200 °C 이하의 고온일 뿐만 아니라 대기 중이기 때문에 Table 2에서와 같은 산화물이 형성되고 수분을 함유한 칼륨-망간계 산화물이 형성되어 응집된 결과 불규칙한 형상을 보인 것으로 생각된다.

3.2 전기로 분진의 전처리

전기로 분진은 Table 2에서와 같이 Mn₃O₄ 외의 불순물과 수화물 등을 함유하고 있기 때문에 이들을 제거하여 테르밋 반응을 향상시킬 목적으로 전기로 분진을 대기 중에서 600~900 °C의 온도범위를 조성하고, 각 온도에서 약 60 분간 가열하는 배소실험을 행하였다. 배소실험 전후의 중량변화는 Fig. 3과 같다. 이에 의하면 전기로

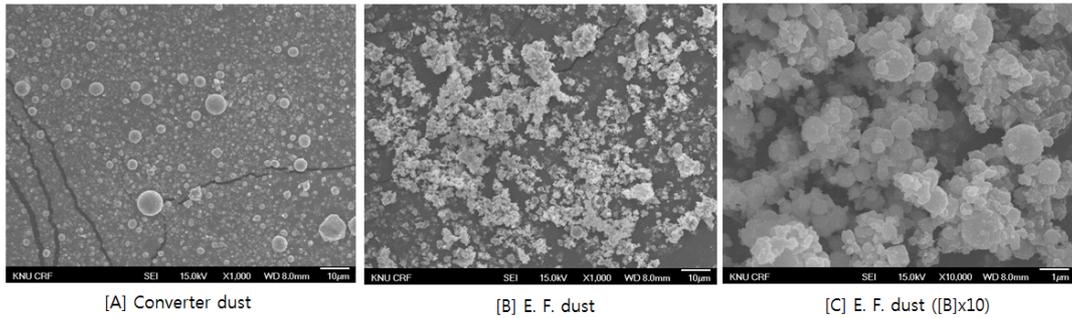


Fig. 2. Scanning electronic micrograph of converter dust (A) and E. F. dust (B, C)

분진은 배소실험에 의해 대기 중에서 9.5~12.5 % 범위의 중량감소를 나타냈고, 또 그 경향은 온도가 높을수록 현저하였다. 이는 분진에 함유된 수분, 수화물의 분해와 함유 탄소가 CO 등의 가스 형태로 제거된 결과로 생각된다.

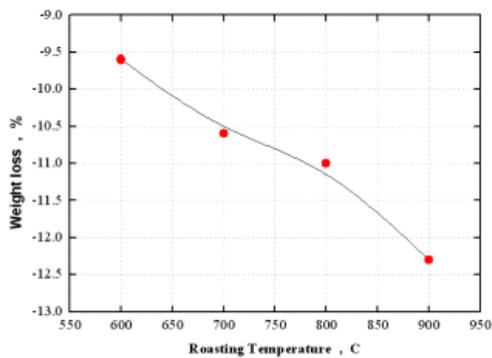


Fig. 3. The influence of roasting temperature on weight reduction of E. F. dust.

전기로 분진의 배소에 의한 탈탄 효과를 확인

하기 위해서, 600~900 ° C의 각 온도에서 약 60 분간 배소한 전기로 분진과 탄소 성분을 함유하지 않은 산화철 분말(Fe_2O_3)을 중량비로 각 50 %씩 배합한 혼합물을 Al 테르밋 반응으로 페로망간을 합성하여 원소분석을 실시한 결과를 Table 4에 정리하였다. Fe가 70~73 %, Mn이 12~13 %이고, 탄소성분의 불순물은 0.1~0.5 % 수준임을 알 수 있다. 이와같은 결과로부터 원소성분의 변화량에 대하여는 배소온도가 크게 영향을 끼치지 않은 것으로 사료되었다. 특히 C는 표 2에 표시한 배소 전의 전기로 분진의 9.5 %와 비교하면 불순물을 제거하는 데 있어서 전처리가 매우 효과적이라고 할 수 있다.

3.3 금속망간 회수

3.3.1 전기로 분진의 Al 테르밋 반응 특성

전기로 분진은 전로분진에 비해 알루미늄 테르밋 반응 시 주 대상물인 Mn_3O_4 산화물이 매우 적기 때문에 전기로 분진만으로는 양호한 결과를 얻을 수 없으므로 전로 분진과의 혼합물을 이용하였다. 전기로 분진과 전로 분진과의 혼합비에

Table 4. Chemical composition of metal ingot after Thermite for mixture of Fe_2O_3 and E.F. dust

Roasting temp.(° C)	Fe	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	Ni	Cu	V	total
600	72.10	0.35	>1.50	12.90	>0.11	>0.06	0.30	0.08	0.50	4.00	>0.2	0.04	90.28
700	72.00	0.14	>1.50	12.20	>0.11	>0.06	0.30	0.19	0.76	0.85	>0.20	0.09	86.55
800	73.30	0.21	>1.50	13.00	>0.11	>0.06	>0.30	0.127	0.425	0.507	0.13	0.05	87.76
900	70.70	0.50	>1.50	13.70	>0.11	>0.06	>0.3	0.16	0.63	0.72	>0.20	0.07	86.51

Table 5 Aluminothermite reaction of mixture of E.F dust which was roasted at 800° C for 60min and converter dust.

Sample	Electric Furnace dust (%)	Converter dust (%)	Total dust (g)	Al powder (g)	Metal (g)	Slag (g)
(1)	-	100	100	31.25	31.9	92
(2)	10	90	100	31.25	31.8	112
(3)	20	80	100	31.25	32.8	109
(4)	30	70	100	31.25	Nonseparation	
(5)	40	60	100	31.25		
(6)	50	50	100	31.25		

Table 6. Comparison of oxide formation energy

Chemical equation	ΔH_{298}° (kJ/mol)	Melting(kj), (Metal+Slag)	(A+B) ≤ 0	ΔH° (298K)
$1/3Mn_3O_4 + 4/3Al \rightarrow Mn + 2/3Al_2O_3$	-655	329	-325	$Mn_3O_4 = -311.7 \text{ kcal/mol} \cdot 4.184 \text{ j/cal} = -1387.8 \text{ kJ/mole}$ $Al_2O_3 = 400.5 \text{ kcal/mol} \cdot 4.184 \text{ j/cal} = -1675.7 \text{ kJ/mole}$

따른 테르밋 반응결과를 표 5에 정리하였다.

먼저 전로 분진의 알루미늄 테르밋 반응은 종전의 연구결과와 동일하게 양호한 페로망간 ingot을 얻을 수 있었다. 생성물의 총량이 반응물의 약 131 g보다 다소 적은 123.9 g이었으나, 이는 반응 시 비산에 기인한 것으로 생각된다. 이에 비해 전기로 분진을 전로 분진에 혼합한 혼합물은 그 혼합비 50:50까지 착화 및 테르밋 반응의 결과물을 얻을 수 있었다. 그러나 혼합비가 10:90과 20:80일 경우만 페로망간 금속을 얻을 수 있었으며, 그 이상의 혼합비에서는 금속과 슬래그의 분리가 불가능하여 페로망간 금속을 얻을 수 없었다.

분진과 Al 분말과의 혼합물이 착화되면 Al 분말의 산화로 Mn_3O_4 분진이 환원되어 금속 Mn과 산화물 Al_2O_3 가 형성되는 산화반응이 일어나게 된다. 이 경우 산화반응은 높은 열에너지를 동반하기 때문에 생성물, 즉 금속 Mn과 산화물 Al_2O_3 가 용해되어, 그 비중차로 용융 금속 Mn이 밑쪽에 가라 앉아 분리할 수 있게 된다. Mn_3O_4 산화물의 Al 테르밋 반응에 의해 금속 Mn 1몰 생성 시 반응 전후의 산화물 생성 에너지를 표 6

에 비교하였다 [2]. 이에 의하면 Al 테르밋 반응 시 655 kJ/mole의 열에너지가 발생되며, 이는 금속 Mn과 Slag Al_2O_3 를 용해할 수 있는 329 kJ/mole보다 훨씬 높은 열에너지를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 Mn_3O_4 산화물이 95% 이상인 전로 분진에 Mn_3O_4 산화물이 약 15%인 전기로 분진이 혼합되게 되면 산화물인 Mn_3O_4 가 상대적으로 적어지게 될 뿐만 아니라 전기로 분진에 함유된 고융점의 C나 SiO_2 등의 불순물은 냉각을 촉진하게 된다. 그러므로 전기로 분진의 혼합은 Al 테르밋 반응을 억제하게 되고, 이로부터 기인하는 열에너지의 감소가 일어나게 되므로 그 혼합비 30:70 이상의 혼합물에서는 금속 Mn을 분리할 수 없게 되는 것으로 해석할 수 있다.

3.3.2 알루미늄 첨가량의 영향

전기로 분진과 전로 분진의 혼합물의 혼합비 10:90과 20:80에 대해서 적정한 Al 분말의 투입량을 검토할 목적으로 표 7과 같은 혼합비에 대한 Al 테르밋 반응을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

Table 7. Effect of Al powder for reduction on aluminothermite of dust mixture

Al Powder	Dust Mixture(g)		total(g)
	E.F. dust	converter dust	
10g (9.1%)	10	90	110
	20	80	
20g (16.7%)	10	90	120
	20	80	
30g (23.1%)	10	90	130
	20	80	
40g (28.6%)	10	90	140
	20	80	

Table 8. Chemical composition of metal ingot produced by aluminothermite process

Al powder (g)	Dust mixture (g)		Chemical composition							
	E.F. dust	Converter dust	Mn	Fe	Al	Mg	Ca	K	Zn	Pb
20 (16.7%)	10	90	90.2	7.1	0.2	0.04	0.01	0.02	0.16	0.072
30 (23.1%)	10	90	92.7	5.5	0.3	0.01	0.01	0.01	0.05	0.042
40 (25.6%)	10	90	83.4	4.4	11.2	0.01	0.01	0.01	0.03	0.026
20 (16.7%)	20	80	89.9	8.1	0.9	0.02	0.02	0.02	0.13	0.069
30 (23.1%)	20	80	90.1	5.5	2.1	0.3	0.02	0.05	0.05	0.035
40 (25.6%)	20	80	85.4	4.7	8.4	0.01	0.01	0.01	0.03	0.023

Mn_3O_4 산화물인 전기로 분진과 전로 분진 혼합물 100 g에 환원제로 Al분말 10 g(9.1%)을 혼합할 경우는 착화가 어렵고 테르밋 반응을 기대할 수 없었다. 이는 Mn_3O_4 산화물의 Al 환원 반응식 (1)의 반응물 구성 비율이 Mn_3O_4 76 %, Al 24 %인 점을 고려하면 혼합시키는 알루미늄 분말량이 부족하기 때문인 것으로 추정된다.

그러나 분진 혼합물의 환원제로 Al분말 혼입량이 20 g(16.7%) 이상인 경우에는 착화 및 테르밋 반응이 양호하였으며, Al 분말 혼입량이 증가할수록 금속 회수율이 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 경향은 전기로 분진과 전로 분진의 혼합비에 관계없이 모두 동일하였으나 혼합비가 10:90인 경우는 20:80의 경우보다 높은 수준의 금속 회수율을 보였다.

3.3.3 금속망간의 화학성분

전기로 분진과 전로 분진의 혼합비 10:90, 20:80의 분진 혼합물 100 g에 환원제인 Al분말 20~40 g(16.7~28.6%)을 혼합한 테르밋 반응 생성물의 금속 망간의 화학성분을 표 8에 정리하였다.

금속망간의 주요 구성 원소는 분진 혼합비 어느 경우나 Mn 83~92 %, Fe 4~8 %, Al 0.2~8.5 % 범위를 알 수 있다. 최대 Mn 함유율은 환원제인 Al분말 첨가량 30 g(23.1%)에서 90 % 이상을, 그 이상에서는 83 % 이상으로 오히려 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 환원제로 과량의 Al분말 혼입은 테르밋 반응에 소요 여분의 Al이 금속망간에 혼입된 것으로 사료

된다. 그러므로 전기로 분진을 전로 분진에 10:90 혹은 20:80비로 혼합한 혼합물에 환원제로 Al 분말을 24 % 전후로 혼합시켜 테르밋 반응을 일으키면 Mn 함유율이 90 % 이상인 고순도의 금속망간을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

페로망간의 전기로 집진 분진을 재활용하기 위한 분진의 특성과 Al 테르밋 반응 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 페로망간의 전기로 분진은 Mn_3O_4 가 약 15 % 함유된 50 % 누적경이 약 5 μm 인 불규칙 형상분으로 구성되어 있었다.
- 2) 페로망간 전기로 분진만으로는 Al 테르밋반응을 기대할 수 없었으나, 전기로 분진을 전로 분진에 혼합한 혼합물은 양호한 순도의 페로망간 금속을 회수할 수 있었다.
- 3) 전기로 분진과 전로 분진의 혼합비 10:90과 20:80의 혼합물에 환원제로 Al분말을 약 24 % 혼합한 것은 테르밋 반응으로 Mn 함유율이 약 90 % 이상인 고순도의 페로망간을 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 산업기술혁신사업에 관한 2014년도 프로그램(20145020600770)으로 지원되었기에 이에 감사드립니다. 또한, 본 연구는 “2014년도 강원대학교 학술연구조성비”로 연구하였음.
(관리번호-220140055)

References

1. K. H. Shin, Y. J. Song, J. H. Hyeon : A study on the properties of the dusts from ferroalloy manufacture, J. of Korean Inst. of Resource Recycling , 8(3), 1999.
2. G. S. Lee, H. S. Kim, Y. J. Song : The extraction of manganese from the medium-low carbon ferromanganese dust with acid and charcoal, J. of Korean Inst. of Resource Recycling , 9(4), 2000.
3. Y. C. Kim, Y. J. Song, Y. K. Park : A study on making of high-purity ferromanganese from Mn_3O_4 waste dust, J. of Korean Oil Chemists' Soc., 28(2), 2011.
4. Y. C. Kim, Y. J. Song, Y. K. Park : Recycling of ferromanganese furnace dust collected from converter, J. of Korean Inst. of Resource Recycling , 21(3), 2012.
5. Y. C. Kim, Y. J. Song, Y. K. Park : The properties of aluminium alloy powder aluminothermy process with Mn_3O_4 waste dust, J. of Korean Oil Chemists' Soc., 30(1), 2013
6. Y. C. Kim, Y. J. Song, Y. K. Park : A study on making of high-purity ferromanganese from Mn_3O_4 waste dust, J. of Korean Oil Chemists' Soc., 28(2), 2011.
7. W. H. Cuberly et al. : Production of Aluminium Powder, Metals Handbook 9th ; Powder Metallurgy Vol. 7, p 129, ASM Materials Park, Ohio, USA(1984).
8. Terence Allen : Particle size measurement 3rd, 126, Chapman and Hall (1991).
9. L. B. Pankratz, : Thermodynamic Properties of Elements and Oxides, United States Department of the Interior Bureau of Mines, pp42, 235, 388.(1976)