

페로망간 集塵粉의 再活用に 관한 研究[†]

[†]金胤彩 · 宋泳俊 · 朴永九*

江原大學校 三陟캠퍼스 材料金屬工學科
*江原大學校 三陟캠퍼스 環境工學科

Recycling of Ferro-manganese Furnace Dust Collected from Converter

[†]Youn-Che Kim, Young-Jun Song, and Young-Koo Park*

Department of Materials and Metallurgical Engineering, Kangwon National University Samcheok Campus

*Department of Environmental Engineering, Kangwon National University Samcheok Campus

요 약

이전의 연구에서는 Mn_3O_4 분진으로부터 고순도 페로망간을 얻기 위해, Al 테르밋법이 검토되었다. 그 결과는 Mn 함유율이 약 93% 이상이고, KS D3712 규격 이하의 낮은 C, P, S의 불순물을 함유한 고순도 페로망간을 얻을 수 있음 보여주었다. 본 연구에서는 제조 코스트가 Al 분말보다 저렴한 Si 분말이 Mn_3O_4 분진의 테르밋 반응법의 환원제로 검토되었다. 그 결과 환원제로 Si 분말을 단독으로 첨가할 경우는 착화가 불안정하여 테르밋 반응이 일어나지 않았으나, 환원제로 Si 분말과 Al 분말을 동시에 첨가할 경우는 C, P, S의 불순물 함유율이 매우 낮은 고순도 페로망간을 얻을 수 있었다.

주제어 : Mn_3O_4 분진, 페로망간, Al 테르밋법, 망간 재활용.

Abstract

In order to make high-purity ferro-manganese from Mn_3O_4 dust, the application of aluminothermy process to the reduction of Mn_3O_4 dust was investigated in previous work. The result showed the fact that can be obtained high purity ferro-manganese which have over about 93% of manganese content and lower impurities such as C, P, S than those of KS D3712 specification. The addition of silicon powder instead of aluminum powder was investigated as reductant in the thermite reaction process of Mn_3O_4 dust in this work because its production cost is lower than that of aluminum powder. In case of addition of silicon powder only as reductant, the experimental result showed the unstable ignition and no thermite reaction of mixture, but in case of simultaneous addition of silicon and aluminum powders as reductant, showed the fact that can be obtained high purity ferro-manganese which have much low content of impurities such as C, P, S component.

Key words : Mn_3O_4 dust, Ferro-manganese, Aluminothermy process, Mn recycling.

1. 서 론

페로망간 집진분은 페로망간 제조공정 중의 전기로와 전로에서 발생하는 분진을 집진한 것으로 특히 전로에서 발생한 것은 Mn_3O_4 가 약 90%인 고순도 Mn 산화물(이하 Mn_3O_4 분진)인 관계로 이의 재활용에 관한 연

구가 수행되어 그 일부가 자성재료용과 안료용의 원료 분말로 사용되고 있으나,¹⁻³⁾ 그 대부분은 10~30 mm의 크기로 괴상화한 후, 망간 광석과 함께 전기로에 투입하여 고탄소 페로망간의 Mn 소스로 사용되고 있는 것이 현황이다.

한편 페로망간은 Mn 함유율이 약 75% 이상인 Fe 합금으로서 탈산 및 탈황효과가 크기 때문에 철강산업에서는 알루미늄, 페로실리콘, 실리콘망간 등과 더불어 널리 사용되는 합금철의 일종이나⁴⁾ 철강재료 특성에 약

[†] 2012년 2월 7일 접수, 2012년 3월 23일 1차수정
2012년 4월 9일 수리

*E-mail: yckim@kangwon.ac.kr

영향을 미치는 C, S, P 등의 불순물 성분도 상당량 함유되어 있으므로 KS규격으로 이들을 규제하여 그 품질을 보증하고 있을 뿐만 아니라⁵⁾, 특히 C 성분은 제품 특성에 미치는 영향이 크기 때문에 그 함유량에 따라 고탄소, 중탄소 및 저탄소 페로망간으로 구분하여 관리하고 있다.⁶⁾

근년 철강재료 및 그 부품도 사용 환경이 가혹하여지고 있어, 고급강, 특수강 및 스테인리스 등의 수요 확대와 더불어 그 특성을 향상시키기 위해서, C, P, S 등의 불순물 함량이 현재 사용되고 있는 저탄소 페로망간 수준 이상의 고순도 페로망간이 요구되고 있으나, 코크스와 탄소전극을 사용하는 전기로법에서는 한계가 있기 때문에, 고가일 뿐만 아니라 환경적으로 공해발생이 많은 고순도 전해망간이 수입, 사용되고 있다.⁷⁾

따라서 철강재료 특성에 악영향을 미치는 C, S, P 등의 불순물 함량이 매우 낮은 Mn₃O₄ 분진으로부터 현재 사용되고 있는 저탄소 페로망간 수준이상의 고순도 페로망간을 제조할 수 있는 방법이 검토되었다.⁸⁾ 즉⁹⁾ Mn₃O₄ 분진에 Al 테르밋법 (Aluminothermy Process)를 적용한 결과 고순도 페로망간 제조가 가능함을 확인하였다. 그러나 Al 테르밋법에서 환원제로 사용되는 Al 분말은 그 반응성을 향상시키기 위해 통상 200 mesh(70 μm) 이하의 미분이 주로 사용되고 있으나¹⁰⁾ 매우 고가로 제조원가의 상승 요인으로 작용하였다.

그러므로 본 연구에서는 페로망간 제조 공정 중에서 발생하는 Mn₃O₄ 분진으로부터 고순도 페로망간을 제조할 수 있는 Al 테르밋법의 제조원가를 낮출 목적으로, Al 분말보다 가격적으로 저렴할 뿐만 아니라 제조가 용이한 Si 분말을 환원제로 이용한 테르밋 반응 즉 Si 테르밋법의 적용 가능성을 검토하였다.

2. 실험방법

2.1. 원료분말의 특성

Mn₃O₄ 분진은 Table 1에 표시한바와 같이 페로망간 제조공정 중의 전기로와 전로에서 발생하나 본 실험에서는 Mn₃O₄ 함유율이 높은 즉 전로에서 발생한 것을

Table 1. Chemical composition of Mn₃O₄ dust (wt%)

	Mn	Fe	Al	Mg	Ca	K	Zn	Pb
Converter	89.5	5.8	0.1	0.4	2.9	-	0.3	0.3
E. F.	34.5	1.0	3.0	4.0	3.4	32.3	16.1	3.3

사용하였으며, 그 형상 및 크기는 Fig. 1과 같이 구형으로 약 5 μm 이하의 미분이었다. 한편 환원제인 Al 분말은 Table 2에서와 같이 순도가 약 99.8%이었으며, 형상은 불규칙적인 구형 분말로 입도는 Fig. 2에 도시한바와 같이 +80mesh의 조분이 약 78%이었기 때문에 -200mesh의 미분으로 분급하여 사용하였다. 이는 Al 분말의 비표면적을 증대시켜 테르밋 반응시의 착화를 용이하게 하고 환원력을 증대시키기 위함이었다. Si 분

Table 2. Chemical composition of Al powder (wt%)

Al	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ti
99.860	0.002	0.031	0.001	0.002	0.094	0.001	0.004

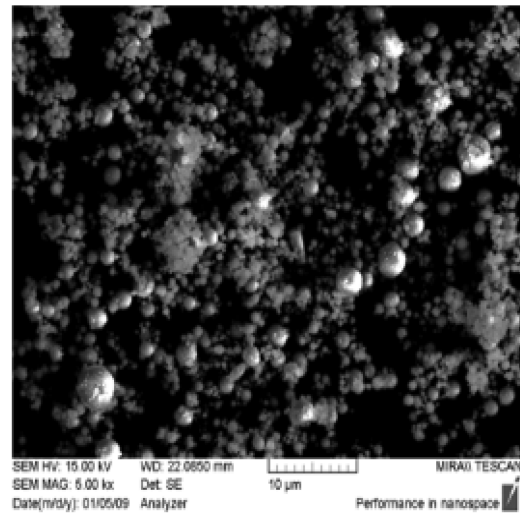


Fig. 1. Scanning electron micrograph of Mn₃O₄ dust.

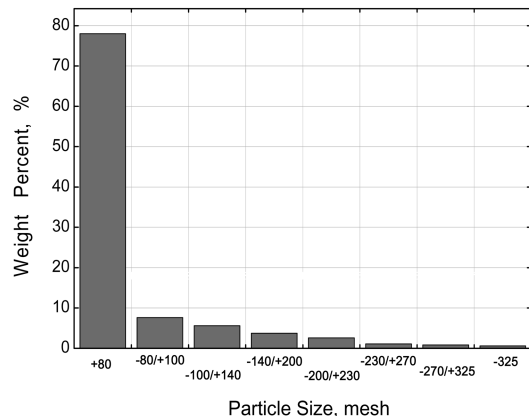


Fig. 2. Particle size distribution of Al powder.

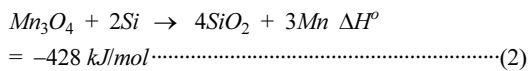
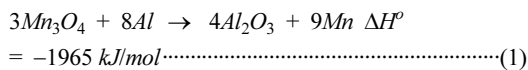
Table 3. Mixing condition of raw powders

No.	Composition(wt%)	Metal Oxide (g)		Reductant (g)	
		Mn ₃ O ₄	Al	Si	
1	Mn ₃ O ₄ -24%Al	152	48	0	
2	Mn ₃ O ₄ -19%Al-5%Si	152	38	10	
3	Mn ₃ O ₄ -14%Al-10%Si	152	28	20	
4	Mn ₃ O ₄ -9%Al-15%Si	152	18	30	
5	Mn ₃ O ₄ -4%Al-20%Si	152	8	40	
6	Mn ₃ O ₄ -2%Al-22%Si	152	4	44	
7	Mn ₃ O ₄ -20%Si	152	0	40	

말은 다음과 같은 방법으로 조제하였다. 즉, 순도 약 97.0%이고 직경이 70~100 mm인 Si 잉곳을 Jaw 크러셔에서 약 10 mm 전후의 크기로 파쇄한 다음, 이것을 룯드밀에서 200 mesh(70 μm) 이하로 분쇄하여 사용하였다.

2.2. 원료분말의 혼합

Mn₃O₄ 분진과 환원제인 Al 분말과 Si 분말과의 혼합비는 다음의 반응식 (1) 및 (2)에 기초한 중량비로 혼합하였다. 즉 원료분말의 혼합비는 Table 3에 표시한 각 조성이 되도록 Mn₃O₄ 분진 152 g과 환원제 48 g을 각각 칭량하여 진동 혼합기(Turbula Type T2F)에서 약 30분간 균일하게 혼합하여 약 200 g을 테르밋 반응 실험에 사용하였다. 이 경우, 환원제로 Al 분말과 Si 분말을 단독으로 첨가할 경우는 48 g과 40 g이 Mn₃O₄ 분진에 각각 혼합되었으나, 환원제로 Al 분말과 Si 분말을 동시에 첨가할 경우는 혼합분말의 총 질량은 48 g로 일정하나 Al 분말과 Si 분말의 혼합비를 달리하여 테르밋 반응에 미치는 특성을 검토하였다.



2.3. 혼합물의 Si 테르밋 반응 실험방법

Mn₃O₄ 분진과 환원제인 Si 분말과 Al 분말의 혼합물은 상부 내경 약 120 mm, 하부 내경 약 50 mm, 높이 약 160 mm의 원통형 흑연 도가니의 밑바닥 중심부에 직경 약 15 mm의 구멍이 뚫린 용기 내에 충전되었

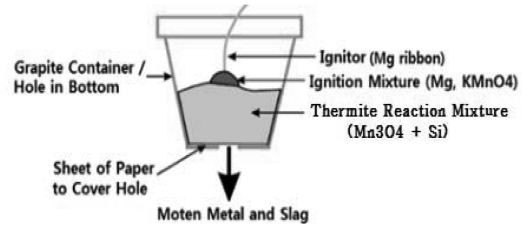


Fig. 3. Schematic representation for thermite reaction of mixture consist of Mn₃O₄ dust and Si powder.

다. 혼합물을 충전하기 전에 미리 용기 내의 밑바닥에 종이를 깔아 혼합물이 밑으로 흘러 나오지 않도록 하였다. 이러한 방법으로 약 200 g의 혼합물을 충전한 다음, 착화를 돕기 위해 충전된 혼합물의 상면 중앙부에 소량의 Mg 분말과 KMnO₄ 분말을 넣은 후 Mg 리본을 뽑아 착화할 수 있도록 하였다. 또 테르밋 반응에 의해 생성된 용융물이 용기 하부의 구멍을 통해 밑으로 흘러 나와 채집할 수 있도록, 혼합물이 충전된 용기를 동일한 형상 크기의 용기 위에 얹어 놓았다. 테르밋 반응용 혼합물의 충전 상태를 Fig. 3에 도시하였다. 이러한 방법으로 작성된 시료는 금속과 슬래그의 비중차로 분리된 금속의 회수율, 화학성분, XRD 등을 분석하여 Al 테르밋 반응 결과와 비교, 검토하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. Si 테르밋 반응

Mn₃O₄ 분진에 환원제로 Si 분말과 Al 분말을 동시에 혼합시킨 테르밋 반응 생성물을 Table 4 정리하였으며, 또 환원제로 Si 분말과 Al 분말을 각각 단독으로 혼합시킨 생성물의 경우도 함께 표시하였다.

테르밋 반응 생성물의 질량은 Mn이 주성분인 금속과 슬래그를 각각 분리하여 직접 칭량하는 방법으로 산출하였으며, Mn 회수율은 편의상 식 (3)에 기초한 장입물 중의 Mn 질량에 대한 생성물 중의 Mn 질량비로 표시하였다.

$$\begin{aligned} &\text{장입물 중 Mn(g)} \\ &= [\text{테르밋 반응 혼합물(반응물)중의 Mn}_3\text{O}_4 \text{ 질량(g)}] \times \\ & \quad [\text{Mn}_3\text{O}_4 \text{ 순도} = 89\%] \times \\ & \quad [\text{Mn}_3\text{O}_4 \text{의 Mn 함유율} = 72\%] \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

그 예로 Table 4 중 No. 1 경우의 Mn 회수율(%)은 먼저 계산상의 장입물 중 Mn은 152 g × 0.89 × 0.72 =

Table 4. Recovery of product in thermite reaction

No	Composition	Products(g)			Mn recovery(wt%)	Reactants (g)
		Metal(Mn)	Slag	Metal+ Slag		
1	Mn ₃ O ₄ -24%Al	84	110	194	78.0	200
2	Mn ₃ O ₄ -19%Al-5%Si	81	118	200	72.4	200
3	Mn ₃ O ₄ -14%Al-10%Si	81	119	200	67.2	200
4	Mn ₃ O ₄ -9%Al-15%Si	71	115	186	57.1	196
5	Mn ₃ O ₄ -4%Al-20%Si	40	157	197	30.1	198
6	Mn ₃ O ₄ -2%Al-22%Si	10	190	200	-	200
7	Mn ₃ O ₄ -20%Si	-	-	186	-	191

Table 5. Comparison of exothermic reaction energy of reactants

Chemical equation	$\Delta H_{298^\circ\text{C}}$ (kJ/mole)	Melting(kj), (Metal + Slag)	(A+B) ≤ 0	$\Delta H^\circ_f(298\text{ K})$
$1/3\text{Mn}_3\text{O}_4 + 4/3\text{Al} \rightarrow \text{Mn} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$	-655	329	-325	Mn ₃ O ₄ = -331.7 kca/mol*4.184 j/cal = -1387.8 kJ/mole Al ₂ O ₃ = -40.5 kcal/mole*4.184 j/cal = -1675.7 kJ/mole
$1/3\text{Mn}_3\text{O}_4 + 2/3\text{Si} \rightarrow \text{Mn} + 2/3\text{SiO}_2$	-143	163	20	Mn ₃ O ₄ = -331.7 kca/mol*4.184 j/cal = -1387.8 kJ/mole SiO ₂ = -217.27 kcal/mol*4.184 j/cal = -909.1 kJ/mole

Table 6. Oxidant effect on ignition and thermite reaction

No.	Composition (wt%)	Oxide (g)	Reductant (g)	Oxidant (g)	Ignition state
		Mn ₃ O ₄	Si	NaClO ₃	
1	Mn ₃ O ₄ -30%Si	70	30	30	◎
2	Mn ₃ O ₄ -30%Si	70	30	10	○
3	Mn ₃ O ₄ -30%Si	70	30	5	△
4	Mn ₃ O ₄ -30%Si	70	30	2.5	▲

Ignition and propagation of thermite reaction

◎ : Severe, ○ : Strong, △ : Moderate, ▲ : weak

97.4 g이고, 생성된 Mn은 실측 금속 생성물 84 g X 0.927(Table 7의 Mn 함유율 92.7%) = 76.0 g임으로, Mn 회수율(%)은 [생성된 Mn 질량 / 장입물 중 Mn 질량] × 100% = 76.0(g)/97.4(g) × 100% = 78.0% 이다.

Table 4에 표시한 Si 테르밋 반응의 환원제로 Si 분말을 단독 혹은 Al 분말과 동시에 첨가한 경우의 회수율은 어느 경우나 Al 테르밋 반응의 회수율 78.0% 이하로 감소하였다. 또 그 감소 경향은 Table 3의 환원제로 혼합된 Si 분말 함유량이 증가할수록 심할 뿐만 아니라 금속과 슬래그와의 분리도 매우 어려웠다. 더욱이 환원제로 Si 분말이 단독으로 혼합될 경우에는 반응물의 착화가 어렵고 테르밋 반응도 매우 불안정하였다. 이와 같이 환원제로 Si 분말을 사용한 경우가 Al 분말만을 사용한 경우에 비해 테르밋 반응이 불안정하고 회

수율이 낮은 것은 다음과 같이 해석된다. Table 5는 Mn₃O₄ 분진의 Al 및 Si 테르밋 반응 시 반응물과 생성물의 에너지 차를 비교한 것이다.¹¹⁾ Mn₃O₄ 분진의 Si 테르밋 반응의 경우 반응물과 생성물의 에너지 차는 -143 kJ/mol로 Al 테르밋 반응의 -655 kJ/mol의 약 1/4 수준 이하로 낮을 뿐만 아니라, 생성물을 액상으로 금속과 슬래그를 분리하기 위해서는 이들을 융점 이상으로 가열에 요하는 에너지를 고려할 경우 Si 테르밋 반응의 경우는 20 kJ/mol로 Al 테르밋 반응의 -325 kJ/mol에 비해 매우 낮기 때문에 테르밋 반응이 불안정하고 생성물의 금속과 슬래그 분리가 어려웠던 것으로 사료된다. 따라서 Si 테르밋 반응시의 반응열을 증대시키기 위해 환원제로 사용한 Si 분말에 Al 분말의 혼합시키는 방법이 검토되었다.

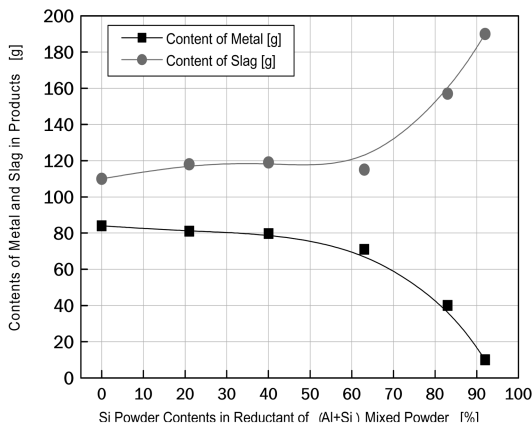


Fig. 4. Effect of Si powder content in (Al+Si) powder mixture on metal and slag recovery.

Fig. 4는 Mn₃O₄ 분진의 환원제로 Si 분말과 Al 분말의 혼합물을 사용할 경우의 테르밋 반응 생성물에 미치는 Si 분말 함유율의 영향을 도시한 것이다. 환원제로 Al 분말만을 사용하였을 경우의 반응 생성물은 금속이 약 84 g, 슬래그가 약 110 g으로 그 총 질량은 194 g이었다. 이에 비해 Si 분말과 Al 분말의 혼합물을 사용하였을 경우의 반응 생성물은 혼합물 중에 Si 분말 함유율이 증가함에 따라 생성물 중에 금속 량은 감소하고 슬래그 량은 증가하였으나 그 총 질량은 186 g~200 g으로 큰 변화가 없었다. 또 생성물 중에 금속 량이 감소하고 슬래그 량이 증가하는 경향은 Si 분말과 Al 분말의 혼합물 중에 Si 분말 혼입율(%)이 증가할수록 현저하였으며, Al 분말 4 g에 Si 분말 44 g (환원제의 약 96%)을 환원제로 사용한 경우는 생성물 중에 금속 량은 약 10 g까지 감소한 반면에 슬래그 량은 약 190 g까지 증가하였으며 슬래그 중에는 직경 약 3 mm 이하의 구형 금속이 혼재되어 있었다. 이는 환원제로 사용한 혼합물 중에 Si 분말 혼입율이 증가함에 따라 테르밋 반응에 기인한 발열량이 Al 분말만을 사용한 경우

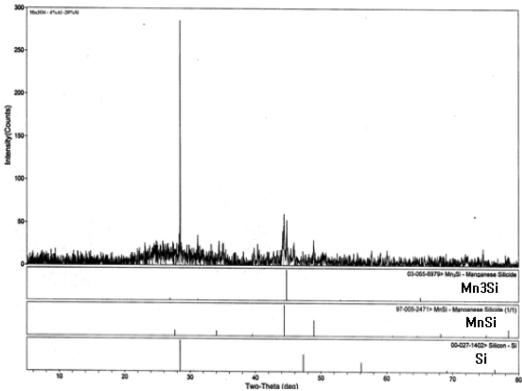


Fig. 5. X-ray analysis for products made by poor Si thermite reaction.

의 그것에 비해 낮기 때문에 금속과 슬래그의 액상분리가 불충분하여 슬래그 중에 금속 생성물이 잔존한 결과 슬래그 량이 증가한 것으로 해석된다.

Table 6은 환원제로 Si 분말만을 Mn₃O₄ 분진에 혼합한 경우, 즉 테르밋 반응이 불안정하고 이에 기인한 발열량이 생성물의 금속과 슬래그의 액상분리가 기대할 수 없는 경우이나, Mn₃O₄ 분진의 환원제 역할을 기대할 수 없는 NaClO₃를 첨가한 결과 그 산화열에 의해 착화 및 테르밋 반응이 양호하였을 뿐만 아니라 생성물의 액상분리도 용이하였다.

Table 4의 시료번호 1~5번의 금속 생성물을 XRF 원소 분석한 결과를 Table 7에 정리하였다. 환원제로 Al 분말만을 사용한 경우는 C, S, P 불순물 함유율이 0.15% 이하로 매우 낮은 반면, Mn은 92.7%로 높은 함유율을 보였다. 이에 비해 환원제로 Si 분말과 Al 분말의 혼합물을 사용한 경우는 혼합물 중의 Si 분말 혼입율이 증가함에 따라 C, S, P의 불순물 함유율은 큰 변화가 없었으나, Mn 함유율이 92.7%에서 73.2%까지 감소한 반면에 Si 함유율은 0.91%에서 18.8%까지 증가하는 경향을 보였다. Fig. 5는 Mn 함유율이 가장 낮

Table 7. Chemical composition of metal products (wt%)

No	Composition	Mn	Fe	C	S	P	Si	Al	Total
1	Mn ₃ O ₄ -24%Al	92.70	3.21	0.15	0.04	0.03	0.91	2.46	99.49
2	Mn ₃ O ₄ -19%Al-5%Si	87.00	3.08	0.14	0.03	0.04	5.97	2.94	99.19
3	Mn ₃ O ₄ -14%Al-10%Si	80.80	3.10	0.11	0.02	0.03	12.40	2.63	99.09
4	Mn ₃ O ₄ -9%Al-15%Si	78.30	2.72	0.10	0.01	0.06	16.10	1.86	99.15
5	Mn ₃ O ₄ -4%Al-20%Si	73.20	2.86	0.14	0.01	0.03	18.80	3.87	98.90

은 시료번호 5번 시료의 XRD 분석결과로 Si은 Mn과의 금속간 화합물로 존재하였다. Mn_3O_4 분진의 환원제로 첨가한 Si 분말이 Mn과의 금속간화합물을 형성한 원인은 불분명하나 Si 테르밋 반응으로 생성된 Mn이 반응 전의 Si 분말과 우선적으로 결합한 것으로 추론되며 이는 Si 테르밋 반응에 의한 환원력과 반응열 저하로 금속 생성물을 감소시키는 한 원인으로 생각된다. 한편 Fe 성분은 2.72~3.10%의 범위로 그 유입원은 Table 1에 표시한 원료 분말의 화학성분으로부터 Mn_3O_4 분진으로 추정된다. 즉 Mn_3O_4 분진 중에 산화물 형태로 존재한 약 5.8% Fe가 테르밋 반응에 의해 환원, 유입된 것으로 해석된다. Fe는 특별히 KS규격에서 규제 대상이 되는 성분은 아닐 뿐만 아니라, Mn이 주성분인 페로망간의 용도가 Fe를 주성분으로 하는 철강 혹은 특수강 제조에 사용되고, 또한 Mn의 제습 붕괴를 억제하는 효과가 크다는 점에서 유효 성분이기 때문에 페로망간에는 10% 내외로 함유시켜 사용되고 있다.¹²⁾

4. 결 론

페로망간 제조과정 중에 발생하는 Mn_3O_4 분진으로부터 고순도 페로망간을 얻기 위한 Si 테르밋 실험결과를 요약, 정리하면 다음과 같다.

1) Mn_3O_4 분진에 환원제로 Si 분말을 단독 첨가한 경우의 테르밋 반응은 착화가 어렵고 반응이 불안정하여 충분한 발열량을 얻을 수 없어 금속망간을 효율적으로 회수 할 수 없었다.

2) Mn_3O_4 분진에 환원제로 Si 분말과 Al 분말을 동시에 첨가할 경우는 반응물의 착화 및 안정한 테르밋 반응을 일으켜 C, P, S의 불순물이 낮은 고순도 페로망간을 얻을 수 있었으며, 그 회수율은 Si-Al 환원제 중에 Al 함량이 낮을수록 감소하였다.

3) Mn_3O_4 분진에 환원제로 Si 분말과 Al 분말을 동시에 첨가한 테르밋 반응에 의해 생성된 금속생성물 중의 Mn 함유율은 최대 약 87%였으나 Si-Al 혼합분말 중의 Si 함량이 증가할수록 감소하였다.

4) 실험결과를 종합하면 Mn_3O_4 분진으로부터 고순도의 페로망간을 얻기 위한 테르밋 반응용 환원제로 Si-Al 혼합분말을 사용하면 Mn 함유율 87%인 페로망간을 금속 회수율 83% 이상으로 회수할 수 있다. 이는 고가의 Al 분말 사용을 억제할 수 있어 제조원가 절감에 유리하다고 할 수 있다.

참고문헌

1. K. H. Shin, Y. J. Song, and H. Hyeon, 1999 : A study on the properties of the dusts from ferroalloy manufacture, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, **8**(3), pp. 9-16.
2. G. S. Lee, H. S. Kim, and Y. J. Song, 2000 : The extraction of manganese from the medium-low carbon ferromanganese dust with nitric acid and charcoal, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, **9**(4), pp. 44-49.
3. Y. K. Cho, Y. J. Song, and G. S. Lee, 2003 : Refinement of the manganese nitrate solution prepared by leaching the reduced ferromanganese dust with nitric acid, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, **12**(1), pp. 33-40.
4. William F. Smith, 1993 : "Chapter 4 Alloy Steel", Structure and Properties of Engineering Alloys, Second Edition, pp141-142, McGRAW-Hill, New York, USA.
5. KS D3712
6. 草川隆次, 安藤卓雄, 相馬胤和, 1979 : "第2編 Ferro-alloy 製造", 新版 鐵鋼技術講座 第1卷 製銑製鋼法, 日本鐵鋼協會編, pp. 161-,164, 地人圖書, 東京, 日本.
7. Posco weekly, 2009년 7월 2일 : Construction of high purity ferromanganese factory, p. 4.
8. Y. C. Kim, Y. J. Song, and Y. K. Park, 2011 : "A study on making of high-purity ferro-manganese from Mn_3O_4 waste dust", J. of Korean Oil Chemists' Soc., **28**(2), pp. 135-139.
9. H. Goldschmidt, The Journal of the Society of Chemical Industry, **6**(17), 543(1989).
10. W. H. Cubberly et al., 1984 : "Production of aluminium powder", Metals handbook vol. 7, pp. 129-130, ASM materials park, Ohio, USA.
11. L. B. Pankratz, 1976 : Thermodynamic Properties of Elements and Oxides, United States Department of the Interior Bureau of Mines, pp. 42, 235, 388.
12. 田邊伊佐雄, 豊田敏夫, 今野尙雄, 1959 : 低鐵高炭素フェロマンガンの崩現象について, 日本金屬學會, **5**, pp. 272-279.

金胤彩



- 전남대학교 금속공학과 학사
- 일본 와세다대학 금속공학과 석사
- 일본 와세다대학 금속공학과 박사
- 동부제강 (주) 기술연구소 부장
- 현재 강원대학교 재료금속공학과 교수

宋 泳 俊

- 현재 강원대학교 재료금속공학과 부교수
- 당 학회지 제19권 2호 참조



朴 永 九

- 서울산업대학교 화학공학과 학사
- 홍익대학교 화학공학과 석사
- 홍익대학교 화학공학과 박사
- 현재 강원대학교 환경공학과 교수

《광 고》 본 學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

- * EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원
(The 2th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
- * 자원리사이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
- * 학회지 합본집 I~VIII 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)
(I: 통권 제1호~제10호, II: 통권 제11호~제20호, III: 통권 제21호~제30호, IV: 통권 제31~제40호, V: 통권 제41호~제50호, VI: 통권 제51호~제62호, VII: 통권 제63호~제74호, VIII: 통권 제75호~제86호)
- * 한·일자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
- * 한·미자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
- * 자원리사이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
- * '97 미주 자원재활용기술실태조사(1997년) 107쪽, 價格 : 15,000원
- * 日本의 리사이클링 産業(1998년 1월) 395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文知社
- * EARTH 2001 Proceeding (2001) 788쪽, 價格 : 100,000원
(The 6th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
- * 오재현의 자동차 리사이클링기행(2003년 2월) 312쪽, 價格 : 20,000원, 발행처-MJ미디어
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 1999년) 440쪽, 價格 : 15,000원, 발행처-文知社
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2004년) 578쪽, 價格 : 27,000원, 발행처-淸文閣
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2009년) 592쪽, 價格 : 30,000원, 발행처-淸文閣
- * EARTH 2009 Proceeding (2009) 911쪽, 價格 : 100,000원
(The 10th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)