

製鐵所 轉爐 dust로부터 鐵粉末 回收에 關한 研究

金美星 · 吳在賢 · 金台東*

延世大學校 金屬工學科

*産業科學技術研究所

Recovery of α -iron from converter dust in a steelmaking factory

Mi-Sung Kim, Jae-hyun Oh and Tae-Dong Kim*

Dept. of Metallurgical Eng., Yonsei Univ.

*RIST

요 약

本 研究에서는 製鐵所에서 發生하는 轉爐 dust를 使用하여 沈降법(분급)에 의한 鐵 및 鐵酸化合物을 分離하여 高純度の 鐵粉末을 回收 하였으며, 아래와 같은 結論을 얻었다.

가. 轉爐 dust의 物性

1) 浦項의 1製鋼, 2製鋼 C/F(Clarifier) dust, 光陽의 E/C(Evaporation cooler), E/P(Electrostatic precipitator) dust, 中國鋼鐵公司(C.S.C) OM(Clarifier underflow) dust는 全鐵粉이 63~72%로 높고, Metal Fe 가 21~50% 含有되어 있으며, 기타 酸化合物은 CaO, MgO, Al_2O_3 , SiO_2 등이 있다.

2) 浦項의 1製鋼, 2製鋼 C/F dust, 光陽의 E/C, E/P dust, 中國鋼鐵公司(C.S.C), OM(clarifier underflow)dust 粒子的 形狀은 鐵粒이 주로 구형으로 응고된 모양이었으며, 일반적으로는 鐵粒의 외각부는 magnetite, hematite 등으로 酸化가 進行되어 있다.

3) 轉爐 dust들에 대한 X-ray 回折分析結果, 浦項의 1製鋼, 2製鋼 C/F dust, 光陽의 E/C, E/P dust는 α -Fe, FeO(wustite)가 主成分으로 存在하며 그 밖에 Fe_3O_4 (magnetite), Fe_2O_3 , CaO가 소량으로 存在하고 있었으며, 中國鋼鐵公司(C.S.C) OM(underflow) dust는 α -Fe, α - Fe_2O_3 , graphite가 主成分으로 存在하며, 그 밖에 Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , ZnO이 소량으로 存在하고 있었다.

4) 純粋한 純鐵粉末과 轉爐 dust를 構成하고 있는 純鐵은 磨鍊에 따른 粒子的 粉碎보다는 磨鍊시 球形의 粒子가 소성변형으로 인해 flake형상으로 변하여 체질입도분석시 粒度的 증가를 초래하였으며, 반면 鐵酸化合物은 磨鍊에 따른 粒子的 미세화가 發生함을 볼 수 있었다.

나. 鐵粉末 回收 實驗

1) 光陽의 dust를 40분간 磨鍊하여 沈降(분급)實驗을 행했을 때 Fe 99.17% 品位의 鐵粉末을 37.8% 回收할 수 있었다.

2) 浦項의 C/F dust를 40분간 磨鍊하여 沈降(분급)實驗을 행했을 때 Fe 98.38% 品位의 鐵粉末을 44.42% 回收할 수 있었다.

3) 70 gauss 자석을 使用하여 磁力選別을 행했을 때 +65-200 mesh 사이에서 Fe品位 98% 이상의 鐵粉末을 回收 할 수 있으나 回收율(14%)이 낮다.

ABSTRACT

In this study, we investigated the grinding and sedimentation(elutriation) process of the dusts for the effective separation of high purity iron and iron oxides. For characterization of the dust, particle size distribution and chemical composition, were examined.

The results obtained in this study may be summarized as follows :

1. The converter CF(clarifier) dust of the Pohang 1st, 2nd steel making factory and EC(Evaporation Cooler), EP(Electrostatic precipitator) dust of the Kwangyang 2nd steel making factory are composed α -Fe(21~50%), FeO(wustite), Fe_3O_4 (magnetite), Fe_2O_3 , CaO, Al_2O_3 , SiO_2 , and etc.

2. Pure iron has ductile characteristic in nature, particle size of the pure iron increase by increasing the grinding time. On the other hand, it is conformed that both particles of hematite and magnetite become

- less than 325 mesh after 10 minutes grinding.
3. By applying the elutriation technique for the EC dust of the Kwangyang 2nd steel making factory, the iron powder of high content more than 99.17% of pure Fe was recovered with 37.8% yield at grinding time for 40 minutes.
 4. By applying the elutriation technique for the CF dust of the Pohang 2nd steel making factory, the iron powder of high content more than 98.38% of pure Fe was recovered with 44.42% yield at grinding time for 40 minutes.
 5. When magnetic separation was performed using plastic bonding magnet of 70 gauss, more than 98% Fe grade of iron powder was recovered in the size range +65-200 mesh but the recovery of it was low.

1. 緒 論

現在 國內에서는 浦項 및 光陽製鐵所 등에서는 轉爐 操業에 의하여 製鋼공정이 이루어지고 있으며, 操業시 轉爐의 로구로부터 막대한 양의 dust가 排出되고 있다. 이 양은 浦項製鐵所의 경우 약 20만톤/년, 光陽製鐵所 1製鋼의 경우 약 10만톤/년에 이르고 있다. 製鐵所의 轉爐 dust는 α -Fe, Fe_3O_4 와 FeO 그 밖의 약간의 酸化物로서 構成되어 있으며, 넓은 범위의 粒度分布를 갖는 粉末이다.

現在 dust는 시멘트의 原料나 브리케팅(briquetting)공정을 거친후 轉爐의 냉각제로 使用될 뿐 대부분 폐기되고 있다.

本 研究내용은 다음과 같다.

- (1) 化學分析, 粒度分析, 粒子形態 觀察, X-선 回折分析, EPMA(Electron Probe Micro Analysis) 分析 등을 통하여 dust에 대한 物理 化學的인 特性 조사
- (2) dust의 磨鑲特性
- (3) 沈降법(분급)에 의한 鐵 및 鐵酸化物의 分離 回收
- (4) 弱磁場하에서의 鐵 및 鐵酸化物의 分離 可能性 檢討

2. 鐵鋼轉爐 dust의 物性

2.1. 轉爐에서 dust의 形成 및 種類

가) 轉爐에서의 dust의 形成¹⁾

Dust의 發生기구에 대해서는 Fe 등 金屬의 증발할 때와 기포의 탕면 이탈에 따른 鐵粒이 비산할 때 dust가 생성된다는 설이 있다. 轉爐作業에서 生成되는 Brown Fume은 가스가 鐵과 같은 액체 金屬(liquid metal)의 표면과 접촉할 때 金屬 vapor가 가스상으로 전환되어 發生되며 이것이 공기와 접촉되면 酸化되어 鐵酸化物 粒子로 응축된다.

Brown fume의 가장 중요한 構成物質은 鐵로서 이것의

酸化상태는 열이력과 주위 분위기에 따른 oxidation potential에 의해 決定된다. 투입 酸素의 양이 배가스중의 CO가스를 연소 시키는데 필요한 양과 동등하거나 혹은 그 이상일 때는 hematite는 약 1100~1400℃ 이하에서 안정한 상이다. 이때 fume은 보통 붉은갈색(raddish-brown)을 나타낸다. 공기량이 더 적은 경우에는 마그네 타이트(magnetite), wüstite 혹은 金屬鐵(metallic iron)이 생성된다. 이런 경우에는 fume은 검은갈색을 띄게된다.

나) 轉爐 dust 試料의 種類²⁾

浦項製鐵所, 光陽製鐵所는 배가스 및 dust의 集塵方式이 각각 다르며, 그에 따른 dust의 종류도 다르다.

浦項製鐵所 1,2製鋼과 光陽製鐵所 2製鋼의 배가스 및 dust의 集塵設備는 OG(Oxygen Converter Gas Recovery) system을 채택하고 있다.

배가스의 發生량은 통상 lance로부터 취입되는 O_2 량의 2배이며 CO 가스 10% 이상, dust 함유율은 약 120 g/Nm³을 포함하고 있다. 약 1450℃의 고온 가스를 75℃까지 냉각하고 dust가 약 30 mg/Nm³ 이상 되도록 集塵한 후 청정 가스를 방산한다.

Fig. 1은 浦項製鐵所의 dust 集塵설비를 나타낸 것이다. 浦項製鐵所의 dust 種類와 發生량은 다음과 같다.

- 1) C/F(Clarifier)dust : 集塵된 dust중 +60 μ m 粒度의 것을 분급 포집한 것이며, 發生량은 1.9만 ton/year이다.
- 2) 슬러지(sludge) : C/F에서 -60 μ m의 것을 thickener, filter press에서 處理한 것이며, 發生량은 17.3만 ton/year이다.

光陽製鐵所 1製鋼의 배가스 및 dust 集塵설비는 LT (Lurgi Thyssen)-Dry system으로 乾式方法을 채택하고 있다.³⁾

光陽製鐵所 dust의 종류와 發生량은 다음과 같다.

1) E.C(Evaporation Cooler) dust

고압 원심 펌프로부터 공급된 물이 배가스중에 직접 취입되어 이 물이 기화되면서 가스 온도를 떨어뜨리게

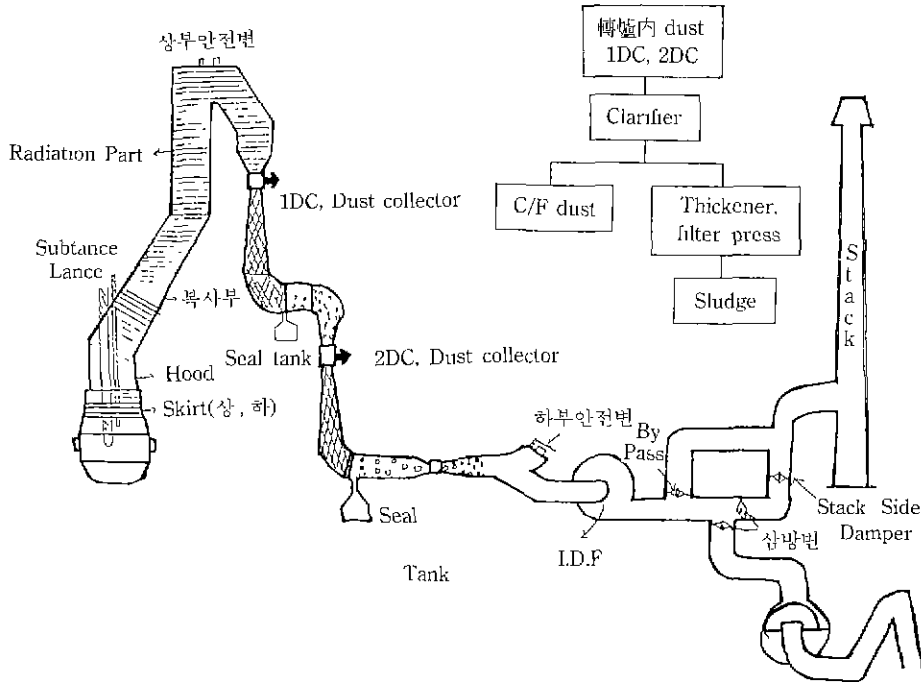


Fig. 1. The dust collection system and sampling sites.
(From Pohang steel making factory)

된다. 이 곳을 통과한 가스온도는 약 180°C이며 물 사용량은 15 Nm/heat이다. 이때 dust 발생량은 3.9만 ton/year이다.

2) E.P(Electrostatic Precipitator) dust

E.P는 평행으로 배열된 集塵電極으로 構成되어 있으며 이 電極등이 배가스가 지나가는 통로를 형성한다. 통로의 중앙부에 하전된 電極이 위치하며 전압이 걸리면 가스 중에 포함된 dust가 수집전극으로 이동하여 교착된다. 교착된 dust는 일정 간격으로 hammering하여 떨어뜨리고 dust collector로 수집되어 briquetting설비로 이송된다. 이때 發生되는 dust의 양은 5.8만 ton/year이다.

Fig. 2는 光陽製鐵所의 dust 集塵설비를 나타낸 그림이다.

3. 試料 및 實驗方法

3.1. 試料

轉爐 dust의 物性を 調查하기 위해서 使用한 試料는 濕式集塵法(Oxygen gas recovery system)으로 回收한 浦項製鐵所, 中國鋼鐵公司(C.S.C)의 dust와 乾式集塵法(IT system)으로 回收한 光陽製鐵所의 dust를 각각 使用하였다. 그리고 dust의 磨鍊特性을 調查하기 위해서 使用한 試料는 스웨덴 호젠니사 純鐵粉末과 純粹한 he-

matite(太平洋 金屬提供), magnetite(강원도 양양군産)를 각각 使用하였으며, 鐵粉未 分離回收 實驗에 使用한 試料는 浦項製鐵所 2製鋼의 C/F dust, 光陽製鐵所 2製鋼의 EC dust를 각각 使用하였다.

3.2. 轉爐 dust의 物性調查

가) X선 回折分析

轉爐 dust를 構成하는 전반적인 조성을 조사하기 위하여, X선 回折分析機(日本 Regaku사, 290612A14)를 使用하였다. Fe target을 使用하였으며, scan range는 20°~90°였으며, Scan speed는 2°/min였다.

나) EPMA 分析

本 研究에서는 EPMA(JEOL사, Super Probe 733)를 使用하여 각 point別로 成分分析을 行하였다. 여기서 얻어진 結果는 X선 分析結果와 比較하였으며 이를 통하여 各상의 種類와 dust를 構成하고 있는 이들 상의 分布形態를 確認하였다.

다) Dust의 磨鍊特性

本 實驗에서 轉爐 dust의 磨鍊特性을 살피보기 위해서 직접 製成한 attritor(직경8 cm × 높이13 cm)를 使用하여 粉碎하였으며, 粉碎는 attritor tank 에 stainless steel ball 과 粉末을 먼저 넣고 물을 불과 粉末이 충분히 잠기도록

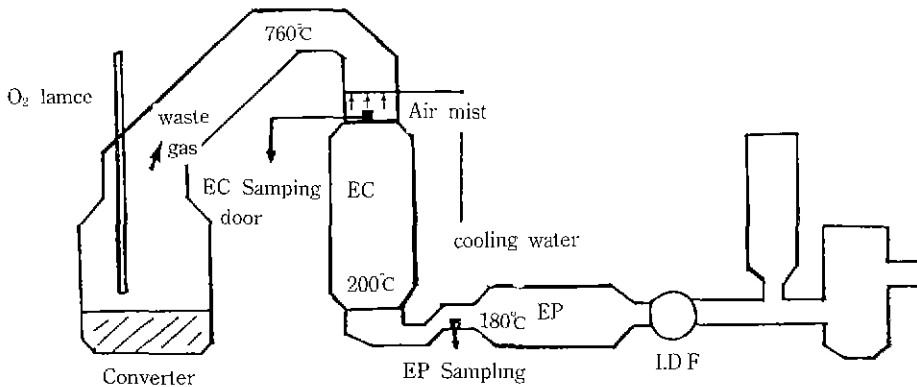


Fig. 2. The dust collection system and sampling site.
(From Kwangyang steel making factory)

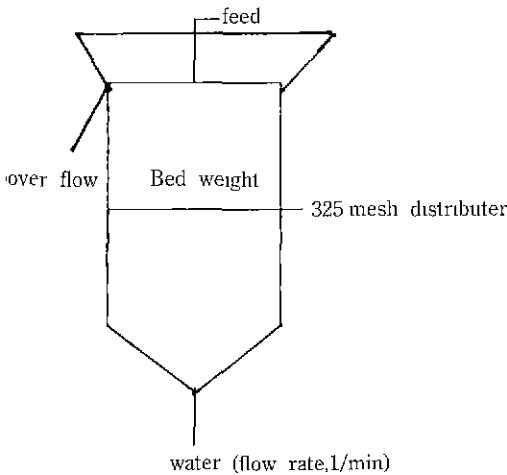


Fig. 3. Simple model of the elutriation apparatus.

채운후 粉碎 하였다. 이때 試料, 물, steel ball의 비는 1 : 1 : 2이며 attritor 교반기의 回轉速度는 440 rpm 이었다.

라) 沈降(분급)實驗

沈降實驗에서 轉爐 dust중 鐵 및 酸化鐵을 分離하여 高純度의 鐵粉末을 回收하기 위해서 粉碎된 試料를 elutriation 裝置에 급광하였으며, 그 裝置는 Fig. 3과 같다.

마) 磁力選別 實驗(Magnetic separation)

純鐵과 酸化鐵을 分離하기 위해서 弱磁場 하에서 磁力選別實驗을 行하였으며, 그때 사용한 磁石의 자磁치는 70, 160, 280, 600, 800 gauss 였다.

4. 實驗結果 및 考察

4.1. 轉爐 dust의 物性⁴⁾

가) 轉爐 dust의 組成

Table 1은 浦項製鐵所 1製鋼, 2製鋼 C/F dust, C/F sludge, B/F dust, 光陽의 EC, EP dust, 中國鋼鐵公司(C.S.C)의 OM(clarifier underflow) dust, OF(clarifier overflow) dust의 化學分析 結果이다.

이때 dust의 全鐵粉이 63~72%였으며, Metal Fe가 21~50% 含有되어 있고, 酸化物로는 주로 CaO, MgO, Al₂O₃, SiO₂ 등이 있다. 단 中國 鋼鐵公司(C.S.C) OM dust는 浦項의 1製鋼, 2製鋼 C/F dust, 光陽의 E/C, E/P dust에 비해 炭素成分이(14.60%) 많이 含有되어 있었다.

나) 轉爐 dust의 粒度分析

Table 2는 浦項의 1製鋼, 2製鋼 C/F dust, C/F sludge, B/F dust, 光陽의 E/C, E/P dust, 中國 鋼鐵公司(C.S.C) OM dust, OF dust의 粒度分析 結果이다.

浦項의 1製鋼, 2製鋼 C/F dust, 光陽의 E/C, E/P dust, 中國의 OM dust는 粒子가 粗大함을 알 수 있었으며, 반면 浦項의 1製鋼, 2製鋼 sludge, 光陽의 E/P dust, 中國의 OF(Clarifier overflow) dust는 粒子가 미세함을 알 수 있었다.

다) 轉爐 Dust의 X선 回折分析

Fig. 4는 浦項의 2製鋼 C/F dust, sludge, B/F(Bag filter) dust의 X선 回折分析 그림이다.

이때 C/F dust, sludge는 α-Fe, FeO(wüstite)가 主成分으로 存在하며 그밖에 Fe₃O₄(magnetite), Fe₂O₃, CaO가 소량으로 存在함을 알 수 있었다. 그리고 B/F dust는 CaO, Fe₃O₄, α-Fe₂O₃, graphite가 主構成物質로 存在하고 있었다. 光陽 dust의 X-ray 回折分析結果 E/C dust에는 α-Fe, FeO(wüstite)가 主成分으로 存在하며

Table 1. The chemical composition of steel converter dusts.

Sample Name		Weight, %							
		Total Fe	Metal Fe	FeO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	C
Pohang	1D, OG-C/F dust	71.66	22.79	56.43	7.21	1.1	0.34	3.04	0.72
	1D, C/F-sludge	68.00	7.03	78.35	4.90	0.92	0.29	0.29	0.9
	1D, OG-B/F dust	44.54	1.58	8.71	11.70	4.81	0.37	0.37	2.88
	2D, OG-C/F dust	71.91	49.90	90.78	11.14	1.83	0.47	0.47	1.08
	2D, C/F-sludge	63.86	7.26	81.82	8.29	2.30	0.23	0.23	1.14
	2D, OG-B/F dust	55.81	1.21	10.06	5.16	0.95	0.49	0.49	4.00
Kwangyang	E/C dust	69.86	48.93	25.88	15.86	2.87	0.99	3.78	0.68
	E/P(B) dust	68.52	21.65	48.12	7.83	1.44	0.31	1.32	0.43
	E/P(R) dust	63.56	11.43	27.56	9.40	1.35	0.27	1.30	0.69
CSC	OF dust	63.27	5.38	72.2	8.07	0.74	0.31	0.31	3.85
	OM dust	63.27	21.62	21.9	6.22	0.75	1.33	1.33	14.6

*1D, OG-C/F dust : 포항제철소 1제강 Clarifer dust
 1D, C/F-sludge : 포항제철소 1제강 Clarifer sludge
 1D, OG-B/F dust : 포항제철소 1제강 Bag filter dust
 2D, OG-C/F dust : 포항제철소 2제강 Clarifer dust
 2D, C/F-sludge : 포항제철소 2제강 Clarifer sludge
 2D, OG-B/F dust : 포항제철소 2제강 Bag filter dust
 OF dust : 중국강철공사 clarifier overflow
 OM dust : 중국강철공사 clarifier underflow

Table 2. Size distribution of steel converter dusts.

Sample Name		Particle size (mesh)					
		+ 65	65/100	100/200	200/270	270/325	- 325
Pohang	1D, OG-C/F dust	50.42	19.60	25.80	2.0 %	1.00	0.30
	1D, C/F-sludge	9.84	4.59	7.51	4.78%	3.02	70.26
	1D, OG-B/F dust	27.67	7.98	15.60	3.39%	7.10	37.90
	2D, OG-C/F dust	32.22	29.59	29.59	3.27%	2.26	3.08
	2D, C/F-sludge	10.27	9.04	9.04	3.29%	2.05	69.82
	2D, OG-B/F dust	6.06	11.12	11.12	5.51%	6.72	65.31
Kwangyang	E/C dust	62.04	12.55	12.55	1.95%	1.36	6.38
	E/P(B) dust	5.00	13.40	13.40	2.8 %	7.00	64.40
	E/P(R) dust	9.20	26.10	26.10	6.2 %	5.50	41.00
CSC	OF dust	6.68	8.53	8.53	4.45%	4.27	72.73
	OM dust	29.00	35.10	35.10	8.97%	4.03	3.90

그 밖에 Fe₃O₄, Fe₂O₃, CaO가 소량으로 존재하고 있었다.

E/P(Black) dust에는 Fe₃O₄, α-Fe, FeO(wustite)가 주成分으로 존재하며 α-Fe₂O₃, CaO 등이 소량으로 존재함을 알 수 있었다.

Fig 5는 光陽製鐵所 dust들에 대한 X-ray 회折 分析 Chart이다.

Table 3은 中國鋼鐵公司(C.S.C) dust의 粒度分析에 따른 X-ray 회折 分析 結果 산물이다.

이때 OM dust는 α-Fe, α-Fe₂O₃, graphite가 主成分으로 존재하며, 그밖에 Fe₃O₄, Fe₂O₃, ZnO 이 소량으로 존재하고 있었다.

라) 轉爐 dust의 EPMA 分析

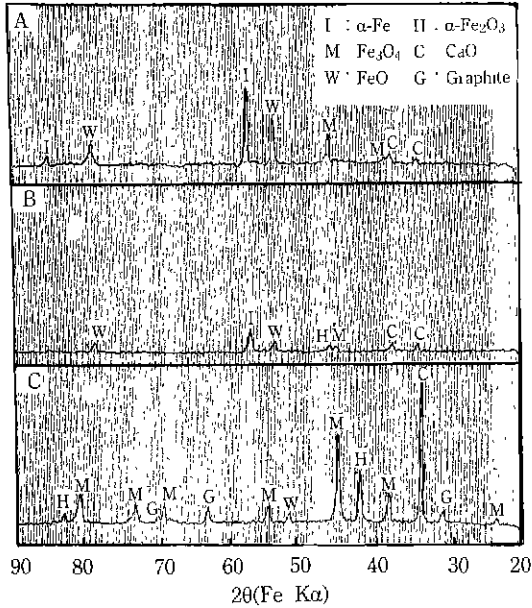


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of steel converter dust.
(From Pohang steel making factory)
(A) 2D, OG-C/F dust (B) 2D, OG-sludge C) 2D, OG-B/F dust

Fig. 6, 7, 8은 浦項의 2製鋼 dust, 光陽의 dust, 中國 鋼鐵公司(C.S.C)dust들에 대한 광학현미경 사진이다.

이때 光陽 dust의 부위에 따라 EPMA 분석을 행하였으며, 분석結果는 Table 4와 같다.

Fig. 7의 광학현미경사진과 EPMA 분석結果 구형의

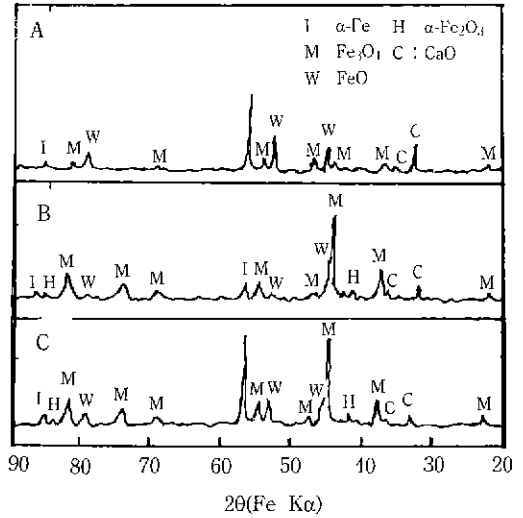


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of steel converter dust.
(From Kwangyang steel making factory)
(A) LD, E/C dust (B) LD, E/P(Black) dust (C) LD, E/P(Red) dust

Metal Fe 粒子주위에 鐵酸化合物이 둘러싸여 있음을 알 수 있었으며, 상기 組織 寫眞中 point 1은 Metal Fe 99.99%, point 2는 Iron oxides 94.02%, point 3은 Iron oxides 91.24%, CaO 1.09%가 存在함을 確認하였다. 이는 X-ray 回折分析 結果와 一致 하였다.

이는 鐵粒이 주로 球形으로 凝固된 모양이었으며, 産業科學技術研究所 제천연구실 報告書⁵⁾에 의하면 일반적

Table 3. The material composition of the C.S.C converter dusts according to the different particle size analyzed by XRD.

Particle size(mesh)		materials
OF dust (clarifier overflow)	+65	Graphite, α-Fe, SiO ₂
	65/100	α-Fe ₂ O ₃ , ZnO, α-Fe, Graphite
	100/200	α-Fe ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , α-Fe, ZnO, Grapite
	200/270	α-Fe ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO, Fe ₃ O ₄ , α-Fe, ZnO
	270/325	α-Fe ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO ₄ , Fe ₃ O ₄ , α-Fe, ZnO
	-325	α-Fe ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO ₃ , Fe ₃ O ₄ , α-Fe, ZnO
OM dust (clarifier underflow)	+65	FeO, α-Fe, Fe ₂ O ₃ , Graphite
	65/100	FeO, α-Fe, Fe ₂ O ₃ , Graphite
	100/200	FeO, α-Fe, Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , Graphite, α-Fe ₂ O ₃
	200/270	FeO, α-Fe, Fe ₂ O ₃ , Graphite
	270/325	Fe ₂ O ₃ , Graphite, ZnO
-325	α-Fe, Fe ₂ O ₃	

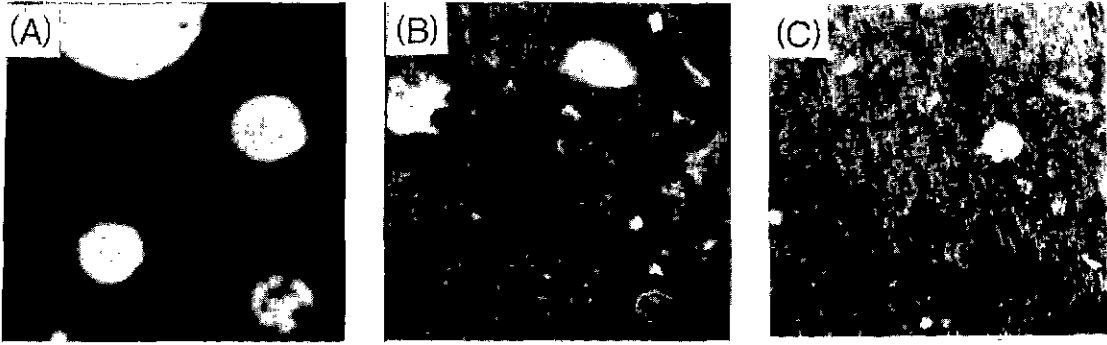


Fig. 6. Micrographs of the Pohang steel converter dusts.(x 50)
(A) C/F dust (B) C/F-sludge (C) B/F dust

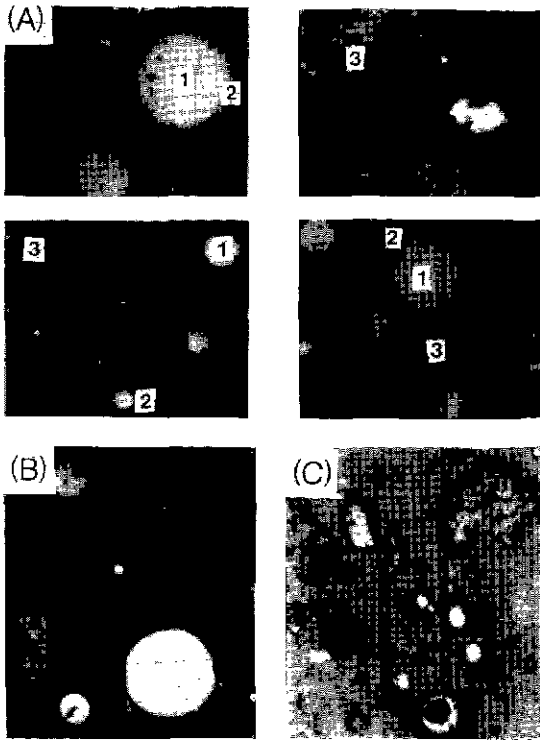


Fig. 7. Micrographs of the Kwangyang steel converter dusts.(X50)
(A) E/C dust (B) E/P(Black) dust (C) E/P(Red) dust

으로는 鐵粒의 外殼部는 magnetite 및 hematite로 酸化가 進行되어 있는데, 一部粒子的 外殼部는 그 주변의 Ca成 分物質과 反應하여 칼슘케라이트계의 조직을 形成하기도 하였으며, 구상의 鐵粒들이 서로 凝集된 集積物로 觀察 되었다. 또한 다공성의 粒子도 觀察되었는데 이는 dust가

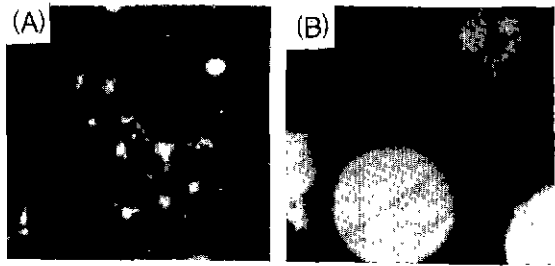


Fig. 8. Micrographs of the C.S.C steel converter dusts.
(A) OF(clarifier overflow) dust
(B) OM(clarifier underflow) dust

응고될 때 粒子내에 存在하는 氣泡으로 인하여 내부공극을 갖기 때문이다.

4.2. 轉爐 Dust의 磨鐵特性

가) 純鐵粉末의 磨鐵特性

Table 5는 純鐵粉末(스웨덴 호겐니사)을 가지고 磨鐵 時間(grinding time)에 따른 粒度分布를 나타낸 것이다. 이때 磨鐵時間이 증가함에 따라 純鐵粒子 形상이 球形 →flake의 형태로 증가해짐을 Fig. 9의 현미경 사진에서 볼 수 있었다.

이는 純鐵粉末이 소성변형으로 인하여 變化한 粒子의 形상이 체질입도분석시 입도가 增加하는 結果를 나타냈다.

나) 酸化鐵의 磨鐵特性

Table 6과 7은 純粹한 酸化鐵(Hematite, Magnetite)를 가지고 磨鐵時間에 따른 粒度 分布를 나타낸 것이다.

이때 Hematite, Magnetite는 磨鐵時間 10분일때 모든 粒子가 -325 mesh가 되어 쉽게 미세해짐을 알 수 있었다.

Table 4. EPMA of the Kwangyang steel converter dusts.

	Element	Concentrate(%)	Number of Atom	
Point 1	Metal Fe(α -Fe)	99.99%		
Point 2	SiO ₂	0.04%	Si	0.002
	TiO ₂	0.00%	Ti	0.000
	Al ₂ O ₃	1.11%	Al	0.065
	Iron Oxide	94.02%	Fe	3.978
	MnO	0.31%	Mn	0.013
	MgO	0.01%	Mg	0.001
	CaO	0.14%	Ca	0.007
	Na ₂ O	0.00%	Na	0.000
Point 3	K ₂ O	0.00%	K	0.000
	SiO ₂	0.30%	Si	0.002
	TiO ₂	0.00%	Ti	0.000
	Al ₂ O ₃	0.78%	Al	0.065
	Iron Oxide	91.24%	Fe	3.978
	MnO	0.62%	Mn	0.013
	MgO	0.32%	Mg	0.001
	CaO	1.09%	Ca	0.007
Na ₂ O	0.00%	Na	0.000	
K ₂ O	0.01%	K	0.000	

Table 5. Particle size distribution of the pure iron powder as a function of grinding time.

Grinding time (min)	Particle size(mesh)					
	+65	65/100	100/200	200/270	270/325	-325
0		14.9 %	48.52%	13.66%	7.01%	15.70%
10		6.39%	48.34%	11.79%	9.34%	24.17%
20		9.02%	46.3%	13.89%	9.5 %	21.29%
30		9.15%	47.87%	13.02%	9.9 %	20.06%
40		9.16%	60.61%	11.1 %	7.1 %	13.01%
60	2.95%	12.6%	46.58%	11.20%	7.11%	19.56%
80	3.03%	13.84%	44.05%	11.32%	7.22%	20.43%
100	9.36%	19.06%	32.06%	11.09%	7.12%	21.32%

다) Dust의 磨鑛特性

Table 8은 磨鑛時間에 따른 dust의 粒度 分布를 나타낸 것이다.

이때 光陽製鐵所 dust를 使用 했으며, 轉爐 dust의 경우 磨鑛하지 않았을 때는 純鐵粒子 주위에 鐵酸化合物이 둘러싸여 있음을 볼 수가 있었으며(Fig. 7참조), 10분동안 磨鑛했을 때 純鐵과 鐵酸化合物이 서로 分離됨을 알 수 있었다.

그리고 轉爐 dust를 構成하고 있는 鐵과 鐵酸化合物의

경우 磨鑛에 따른 粒子의 粉碎特性에 차이가 있음을 알 수 있었으며, Fig. 10의 顯微鏡 寫眞에서 볼 수 있듯이 磨鑛時間이 증가함에 따라 純鐵(스웨덴 호겐니사)粒子와 마찬가지로 dust 純鐵粒子의 형상도 구형-flake의 形상으로 변하여 堆積입도분석시 粒度가 증가함을 보였다.

즉, 純粹한 純鐵粉末과 轉爐 dust를 構成하고 있는 純鐵은 磨鑛에 따른 입자의 분쇄보다는 磨鑛시 球形의 粒子가 소성변형으로 인해 flake형상으로 변하여 堆積 입도분석시 粒度의 증가를 초래하였으며, 반면 鐵酸化

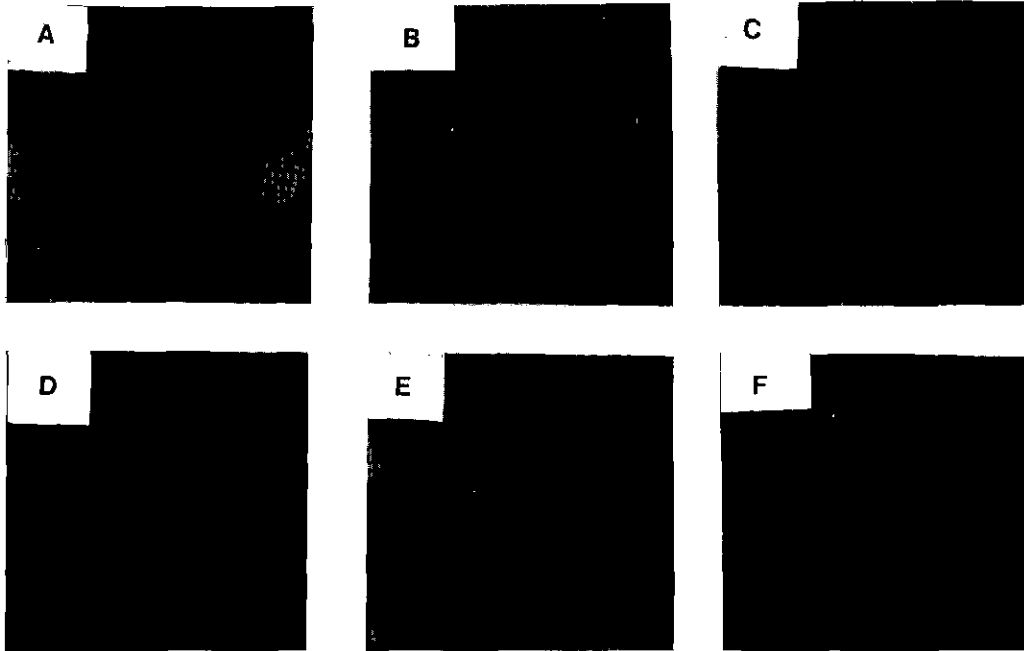


Fig. 9. Micrographs of the pure iron powder as a function of grinding time.(x 50)
 (A) 0 min (B) 10 min (C) 20 min (D) 30 min (E) 40 min (F) 60 min

Table 6. Particle size distribution of the hematite as a function of grinding time

Grinding time (min)	Particle size(mesh)					
	+ 65	65/100	100/200	200/270	270/325	- 325
0	16.1%	11.50%	23.75%	9.6%	5.96%	33.19%
10	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Table 7. Particle size distribution of the magnetite as a function of grinding time.

Grinding time (min)	Particle size(mesh)					
	+ 65	65/100	100/200	200/270	270/325	- 325
0	2.34%	5.05%	40.86%	6.61%	2.33%	42.8%
10	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Table 8. Particle size distribution of the Kwangyang steel converter dust as a function of grinding time.

Grinding time (min)	Particle size(mesh)					
	+ 65	65/100	100/200	200/270	270/325	- 325
0	62.04%	15.72%	12.55%	1.95%	1.36%	6.38%
10	24.61%	13.75%	20.95%	4.88%	4.32%	32.48%
20	20.50%	12.23%	17.04%	3.46%	3.46%	42.31%
30	17.42%	12.78%	17.08%	3.62%	4.3%	44.80%
40	17.20%	8.93%	15.22%	2.43%	2.43%	53.69%
60	17.25%	13.36%	14.84%	7.24%	5.57%	41.9%

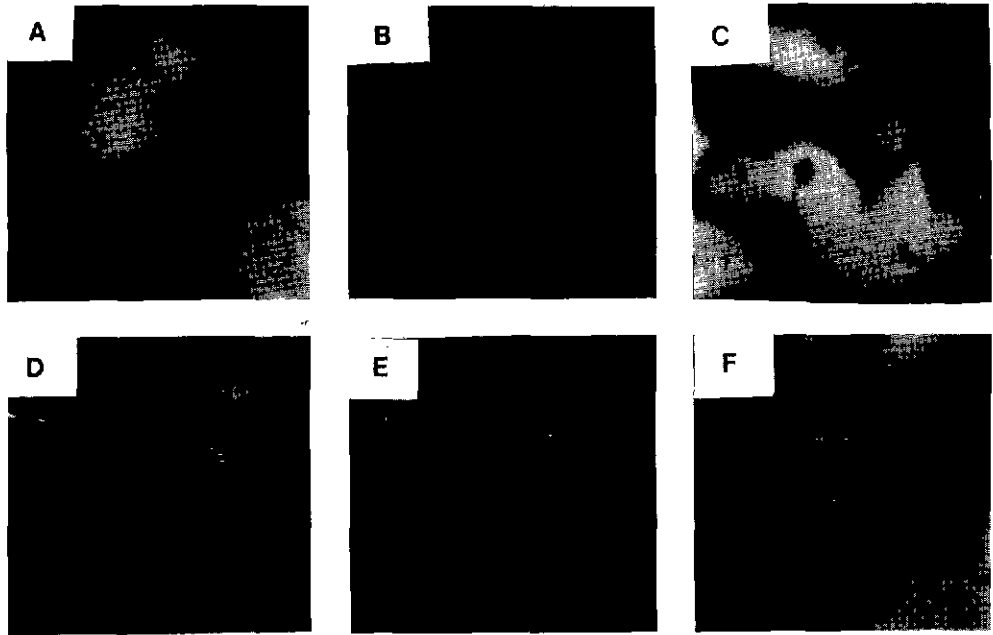


Fig. 10. Micrographs of the Kwangyang steel dust as a function of grinding time. (x 50)
 (A) 0 min (B) 10 min (C) 20 min (D) 30 min (E) 40 min (F) 60 min

Table 9. Fe content of the Kwangyang steel converter dust as a function of grinding time. () Recovery

Grinding time (min)	Particle size(mesh)					
	+65	65/100	100/200	200/270	270/325	-325
0	72.02%	83.40%	78.32%	71.45%	66.75%	55.94%
10	97.71%	95.88%	78.14%	58.94%	54.28%	49.14%
20	97.92% (20)	95.99%	93.33%	74.74%	66.00%	50.71%
30	99.15%	98.53% (30)	94.56%	77.25%	63.84%	52.72%
40	99.74%	98.99%	98.46% (40)	94.29%	85.86%	52.43%
60	99.59%	99.42%	98.76%	98.62%	98.28%	59.67%

물은 磨鑪에 따른 粒子의 미세화가 發生함을 볼 수 있었다.

Table 9는 轉爐 dust E/C를 attritor에서 磨鑪하고 磨鑪時間別 산물을 査질하여 磨鑪時間別 粒度別 鐵品位와 分布率을 算出한 것이다⁷⁾.

이때 20분 磨鑪했을 때 Fe 品位 97.92% 鐵粉末을 20% 回收할 수 있었고 30분 磨鑪하는 Fe 品位 98.53% 이상의 鐵粉末을 30% 回收할 수 있었으며, 40분 磨鑪했을 때는 Fe 品位 98.46% 鐵粉末을 40% 回收할 수 있음을 보여

주고 있다.

4.3. 鐵粉末 回收 實驗

가) Elutriation에 의한 鐵粉末 回收^{9,10)}

轉爐 dust를 構成하고 있는 純鐵粉末을 Elutriation 實驗裝置(Fig. 3)를 使用하여 回收 하였다.

轉爐 dust를 아트리터에서 磨鑪하고 磨鑪時間別 산물의 운전조건을 적절히 조절한 Elutriation 實驗裝置에 投入하여 實驗을 行하였다.

Table 10. Fe content and recovery of Elutriation products as a function of grinding time.(Pohang steel dust)

*O : Overflow, -200 mesh
*B : Underflow, +200 mesh

Grinding time	Recovery, %	Fe, %
10	O : 42.53%	49.56%
	B : 57.47%	97.58%
20	O : 51.72%	50.10%
	B : 48.28%	97.96%
30	O : 54.29%	50.34%
	O : 45.70%	98.23%
40	O : 55.58%	53.21%
	B : 44.42%	98.38%
60	O : 58.82%	55.28%
	B : 41.18%	98.89%

Table 11. Fe content and recovery of Elutriation products as a function of grinding time.(Kwangyang steel dust)

*O : Overflow, -200 mesh
*B : Underflow, +200 mesh

Grinding time	Recovery, %	Fe, %
10	O : 56.71%	48.83%
	B : 43.29%	98.81%
20	O : 56.82%	50.95%
	B : 43.18%	98.94%
30	O : 61.89%	51.35%
	O : 38.11%	98.96%
40	O : 62.21%	54.88%
	B : 37.80%	99.17%
60	O : 66.27%	59.26%
	B : 33.74%	99.20%

Table 12. Fe content and recovery of the Kwangyang steel dust as a function of magnetic field.

Gauss		Particle size(mesh)					
		+65	65/100	100/200	200/270	270/325	-325
70	wt, %	2.0	2.0	10.2	32.7	34.0	2.3
	Fe, %	97.9	98.0	98.9	96.9	95.0	71.9
160	wt, %	98.0	98.0	89.9	65.3	60.0	65.2
	Fe, %	95.6	98.0	97.0	95.3	92.3	49.9
280	wt, %	0	0	0	0	0	4.3
	Fe, %	0	0	0	0	0	47.1
600	wt, %	0	0	0	0	2.0	8.7
	Fe, %	0	0	0	0	50.6	44.6
800	wt, %	0	0	0	0	0	6.5
	Fe, %	0	0	0	0	0	41.8
1000	wt, %	0	0	0	2.0	4.0	13.0
	Fe, %	0	0	0	32.2	36.1	37.4

Table 10은 浦項製鐵所 2製鋼 C/F dust 처리산물의 Fe品位와 分布率을 나타낸 것이다. C/F dust를 40분간 磨鍊 하였을 때 Fe 98.38% 품위의 鐵粉末을 44.42% 回收할 수 있었다.

한편 光陽製鐵所 dust의 磨鍊時間에 따른 처리산물의 Fe品位와 分布率을 Table 11에 나타내었다. 이 Table에서 轉爐 dust를 40분간 磨鍊 하였을 때 Fe 99.17% 품위의 鐵粉末을 37.8% 回收할 수 있었다.

나) 약자장하에서의 磁力選別 實驗
鐵粉末의 경우 ferromagnetic 物質로서 Fe₂O₃(magne-

tite)와 같은 鐵酸化合物(Ferrimagnetic material)에 비해 磁氣的 性質이 우수하다.

따라서 本 研究에서는 약자장하에서의 磁力選別에 의해 鐵粉末과 鐵酸化合物의 分離 回收가 가능한가 檢討하였다.

Table 12는 光陽의 E/C dust를 아트리티어에서 30분 동안 磨鍊한 다음 粒度別로 hand peaking으로 磁力選別 實驗을 행한 結果이다.

이때 70 gauss 자석을 使用하여 +65-200 mesh 사 이에서 Fe品位 98% 이상의 鐵粉末을 回收 하였으나

回收率(14%)이 낮았다.

5. 結 論

가. 轉爐 dust의 物性

1) 浦項의 1製鋼, 2製鋼 C/F(Clarifier) dust, 光陽의 E/C(Evaporation cooler), E/P(Electrostatic precipitator) dust, 中國鋼鐵公司(C.S.C) OM(Clarifier underflow) dust는 全鐵粉이 63~72%로 높고, Metal Fe가 21~50% 함유되어 있으며, 기타 酸化物로는 CaO, MgO, Al₂O₃, SiO₂ 등이 있다.

2) 浦項의 1製鋼, 2製鋼 C/F dust, 光陽의 E/C, E/P dust, 中國鋼鐵公司(C.S.C), OM(clarifier underflow)dust 粒子的 형상은 鐵粒이 주로 구형으로 응고된 모양이 있으며, 일반적으로는 鐵粒의 외각부는 magnetite, hematite 등으로 酸化가 進行되어 있다.

3) 轉爐 dust들에 대한 X-ray 回折分析結果, 浦項의 1製鋼, 2製鋼 C/F dust, 光陽의 E/C, E/P dust는 α -Fe, FeO(wustite)가 主成分으로 存在하며 그밖에 Fe₃O₄ (magnetite), Fe₂O₃, CaO가 소량으로 存在하고 있었으며, 中國鋼鐵公司(C.S.C) OM(underflow) dust는 α -Fe₂O₃, graphite가 主成分으로 存在하며, 그 밖에 Fe₃O₄, Fe₂O₃, ZnO이 소량으로 存在하고 있었다.

4) 純粹한 純鐵粉末과 轉爐 dust를 構成하고 있는 純鐵은 磨鑛에 따른 입자의 분쇄 보다는 磨鑛시 球形의 粒子가 소성변형으로 인해 flake 형상으로 변하여 체질 입도분석시 粒度の 증가를 초래하였으며, 반면 鐵酸化物은 磨鑛에 따른 粒子的 미세화가 發生함을 볼 수 있었다.

나. 鐵粉末 回收 實驗

1) 光陽의 dust를 40분간 磨鑛하여 沈降(분급)實驗을 行했을 때 Fe 99.17% 品位의 鐵粉末을 37.8% 回收할 수 있었다.

2) 浦項의 C/F dust를 40분간 磨鑛하여 沈降(분급)實

驗을 行했을 때 Fe 98.38% 品位의 鐵粉末을 44.42% 回收할 수 있었다.

3) 70 gauss 자석을 使用하여 磁力選別을 行했을 때 +65-200 mesh 사이에서 Fe品位 98% 이상의 鐵粉末을 回收 할 수 있으나 回收율(14%)이 낮다.

6. 附 記

本 研究는 浦項製鐵(주)의 研究費에 의해 進行된 것이다. 또 試料 採取 및 化學分析 등 RIST의 여러분들의 도움을 받았다. 두루두루 謝儀를 표하는 바이다

參考文獻

1. 浦項製鐵(주), 産業科學技術研究所, 製鐵研究부: "製鐵 반응공학", (1988, 12)
2. 浦項製鐵(주), 産業科學技術研究所: "LD converter에 의한 steel making process로부터 集堆되는 dust", p. 7-12, (1991)
3. 潘奉贊: "Dust의 再活用 및 高附加價値化의 開發研究", 産業科學技術研究所 研究 報告서, p. 1-6, (1990)
4. 金美星, 崔宗壽, 吳在賢: "製鐵所 轉爐 dust의 物性에 關하여", 韓國資源리사이클링 學會 1992년도 秋季學術大會抄錄集, p. 3-4, (1992)
5. 浦項製鐵(주), 産業科學技術研究所, 製選研究室: "光陽製鐵所 Dust 種類의 物性 調査" (1992)
6. 金玟暉, 金美星, 金 晚, 吳在賢: "鐵鋼 轉爐 dust를 利川한 Sr-ferrite의 製造 및 磁氣의 特性에 關하여", 大韓金屬學會 1992년도 春季學術發表大會 抄錄集, (1992)
7. J.H. Oh, M.S. Kim: "Recovery of α -iron and iron oxides from converter dust in a steel making factory", Interantional Conference on the Recycling of Metals. Proceedings, p. 117-124, (1992)
8. S. Singh: "Flocculation Kinetics and Equipment", 출판사 미상
9. Spielman, L.A. and Cukor, P.M., J.: *Colloid & Interface Sci.*, 1973, 51, 43.
10. A.M. Gaudin: "Principles of mineral dressing", McGraw Hill, (1938)