

## 전기로법에 의한 전기로 분진 처리

반 봉 찬

순천대학교 공과대학 금속공학과

Bong-Chan Ban

Department of Metallurgical Engineering, Suncheon National  
University, Suncheon 540-742

### 1. 서 론

국내에서는 전기로 제강 생산이 매년 증가하여 전기로 제강분진이 연간 약 10만톤 이상 발생하고 있으며, 이의 대규모 처리가 큰 문제로 대두되고 있다. 현재 국내에서는 제강분진은 매립되거나, 전기로 분진이 아닌 경우에는 일부 처리하여 시멘트원료로 사용하고 있으나, 처리비용의 증가와 공해문제가 매우 심각한 상태이다. 현재 국내 전기로 제강공장에서 나오는 제강분진에는 15~25% Zn, 3~4% Pb, 4~6% Cl 등이 함유되어 있으나, 아직 그 처리 방법이 뚜렷히 제시되지 않아, 이것의 처리가 큰 문제로 되어 왔으며 최근에는 환경오염에 대한 인식의 고양 뿐만 아니라 매립지 문제로 인해 발생하는 여러가지 문제를 해결해야할 시점에 있다.

국내 제철산업의 폐기물인 전기로 분진처리에 관한 연구는 전기로 분진의 ferrite 의 환원성 측면과 불순물인 Zn, Pb 등의 습식법에 대한 연구가 이론적 차원에서 산발적으로 이루어져 왔다. 지금까지 국내에서는 제강분진의 처리방법으로 Walz공법 연구가 있었고, 최근 발표된 플라즈마 용융 환원법은 고온의 에너지를 이용하여 Zn, Pb, 등을 분리할 수 있으나 실제제업에 있어서는 많은 양의 제강분진 처리를 위한 플라즈마 설비대형화등, 수반되는 여러가지 어려움이 있어 아직 공업화되지 못하고 국내에서도 실험실 규모에 머무르고 있다. 또한 제강분진에 CO 가스를 주입하여 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 Fe로 환원하고, 환원된 Fe는 ZnO와 반응하여 Zn을 환원휘발시켜 회수하는 가스환원법이 있지만 실제제업에는 적용되지 못하고 있다. 또한 submerged-injection smelting process를 이용하여 제강분진에 포함된 비철금속을 제거·회수하여 아연 제련공장의 원료로 사용토록 하고 잔여성분은 슬래그로 만들어 시멘트등의 원료로 활용할 수 있는 방법이 연구되기도 하였다.

지금까지 플라즈마 공법이 실험실적으로 연구단계에 있어 이의 장점만이 주장되어 왔으나 플라즈마 공법의 경우, 공업적 규모의 처리시설을 감안하면 대형 플라즈마 토치와 출력기에 대한 기술적 문제와 고가의 처리비용으로 인해 향후에도 기술개발과 활용이 용이하지 않을 것으로 예상된다<sup>1-6)</sup>.

그러나 1980년도부터 연구되어 1990년도에 국내 철강업계에 도입된 DC아크로를 사용한 분진처리. 가능성은 여타 어느방법보다도 더욱 실용성 및 경제성을 가지며 또한 습식처리에 의해 발생하는 2차적 공해의 문제점을 해결할 수도 있다는 점에서 현재 세계적으로 연구되었던 전기로법에 의한 제강분진 처리기술을 검토하였고 특히 hollow 전극을 이용한 DC 아크로법에 대한 자세한 연구를 설명하였다.

### 2. 전기아크로를 이용한 분진처리법

#### 2.1. Nisshin 법(스테인레스강 분진)

Nisshin Steel Co.는 폐기물의 처리와 회수를 위한 완전하고 종합적인 공정을 개발하여 1975년 3월에 폐기물을 2500 t/m 처리 능력으로 가동하기 시작하였다. Table 1은 처리공정으로 투입되는 재료의 양과 분석치를 나타냈다. 수분을 포함한 폐기물은 여과되고 건조되어 건식분진과 밀스케일과 혼합된다. 그후 혼합산물은 브리켓트화시킨다. 생브리켓트는 건조시켜 침지 아크로에 코크스와 함께 장입하여 금속을 회수하고 선철을 주로하여 제강공정으로 되돌린다(Fig. 1참조). Table 2는 공정에 의해 회수된 금속의 양을 나타냈다.

#### 2.2. INMETCO법(스테인레스강분진)<sup>7,8,9)</sup>

Inmetco(International Metals Reclamation Co.)는 스테인

레스강 분진과 그의 폐기물에서 Ni, Cr, Mo 및 Fe를 회수하기 위한 공정을 개발해왔다.

이 설비는 1978년에 시작되었고 제강공장폐기물 50 ktpa의 용량을 가지고 있다. 일반적으로 폐기물은 슬러지, 슬러리, swarf, grindings와 분진이다. 폐기물을 모아 석탄과 코크스 분진과 혼합하여 펠릿화시키고 부분적으로 rotary hearth에서 환원한다. 열간소결 펠릿은 최종환원과 용융이 완료되는 6MVA 침치아크로에 장입한다. 용선은 주조되어 제강공정으로 다시 보내진다(Fig 2).

기술적 사양은 다음과 같이 요약된다.

Inco, Canada : International Metal  
Reclamation Co(Inmetco)  
; Ellwood  
City, Pa. USA. : Mannesmann-Demag  
Hüttentechnik(licence)

- 1) 공법의 도해 : Fig. 2참조
- 2) 필요한 설비 : Fig 2참조
- 3) 개발 현황

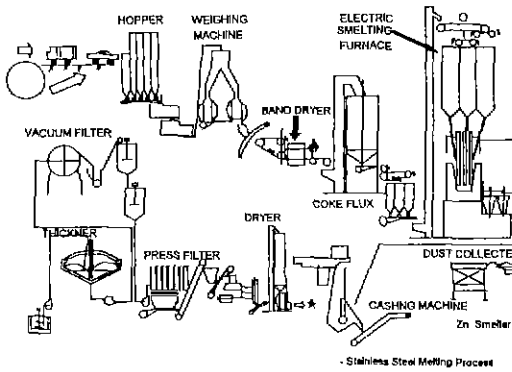


Fig. 1. The Nisshin process-new recycling system for plant wastes

실험실적 개발

Inmetco, Ellwood City, Pa, USA: Mannesmann 개발연구소.  
실험설비

장소: 캐나다의 몬타리오 Inco사의 연구센터

① 설비 크기

- a) 회전 hearth (rotary hearth kiln): 외경 4.6 m, 폭 1.0 m
- b) 전기 용해로: 직경 1.9 m, power 0.8 MVA

② 공장용량: 500 kg/h 생펠릿

4) 조업 설비

위치: Inmetco, Ellwood City, Pa., USA

① 설비 크기

- a) 회전 hearth로: hearth 직경 16.7 m, 회전 hearth 4.3 m
- b) 전기로: 용기 직경 6.4 m, power 6.3 MVA

② 공장용량

47,000 t/a 분진, 34,000 t/a, DRI(Cr/Ni), 25,000 t/a, 합금선철

③ 조업방법: 연속식

④ 가동일: 330 d/a

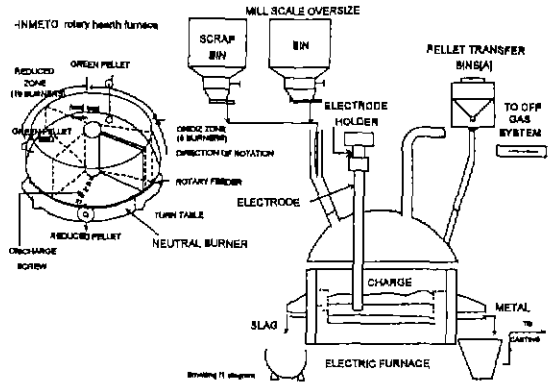


Fig. 2. Inmetco Process.

Table 1. Amount of feed and analysis of wastes (average%)

t/mth dry	Fe total	Cr total	Ni total	Mn total	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn
EAF Dust 380	41.6	10.9	2.4	1.4	8.9	3.6	4.5	0.3	1.5
Converter Dust 360									
Pickling Sludge 780									
Others 30									

Table 2. Recovered metals (average%)

Quantity t/mth	Fe	Cr	Ni	Mn	C	Si
870	71.5	13.7	4.0	2.1	5.5	1.0

⑤ 최대 생산 가능성: 60.000 t/a

DRI, hearth쪽 → power조정

4-1) 분진 장입

하기의 분진폐기물은 Inmetco 회전로에서 처리되어진다:

- a) 제선, 제강시 발생하거나 이 재료 가공시 발생하는 전체폐기물
- b) Ni을 함유한 폐기물을 가지고 생산되는 stainless강 제조시 나오는 Ni-Cr을 함유한 분진.
- c) 스테인레스강 생산시 발생하는 Zn-Pb 함유 필터 분진. 분진 장입률을 위한 조업 요구조건 펠릿화가 잘 되어야 한다. 분진은 환원제와 혼합되고 회전로에 장입시 가열하거나 경화시킬 필요가 없는 단단한 자기 환원성 생펠릿화시킨다.

4-2) 사용원료: 환원제, 시약, 연료(석탄, 코크스등 고체 연료) 환원제는 펠릿화시킬 수 있는 정도의 크기를 가져야 한다.

4-3) 조업변수

- a) 조업온도 : 조업온도는 경우에 따라 다르나 동상 1100~1350°C범위임
- b) 조업압력 : 대기압 배기가스의 온도는 900~1150°C이고, 양은 4000~4500 m<sup>3</sup>/t, 분진은 100 kg/t 발생한다.

5) 산물

5-1) 회전 hearth로

- a) 금속화율이 높고 중금속이 없는 해면철.
- b) 분진의 Zn/Pb함량에 따라 고농축된 ZnO/PbO - 2차 분진 농축물.
- c) 생산물의 화학조성. 해면철의 철함유량은 74~79%이다.

(용선로용 해면철)

Fe	74%	MgO	1%
SiO <sub>2</sub>	5%	C	7%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2%	S	0.4%
CaO	6%	금속화율>90%	

(고로, 전로, 전기로 용해면철)

Fe	79%	MgO	1%
SiO <sub>2</sub>	5%	C	1.5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2%	S	0.3%
CaO	6%	금속화율>90%	

- d) 스테인레스강 Cr-Ni 함유 분진의 Fe함량은 50%이고,

Cr	10%	Ni	5%
C	6%	S	0.4%
MgO	1%	SiO <sub>2</sub>	7%

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4% CaO 3%  
e) 다량의 Zn/Pb를 함유한 전기로 가스의 필터 분진 - 해면철 -

Fe	42%	MgO	8%
SiO <sub>2</sub>	8%	C	1.5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3%	S	0.5%
CaO	6%	금속화율>90%이하	

- ZnO/PbO - 분진정광 -

Zn	65%	Pb	10%
----	-----	----	-----

6) 환원을 혹은 산화율

Inmetco - 회전로내에서 분진의 열적처리가 이루어질때 산화철 90%, 산화 니켈 100%, 산화크롬 5%이 금속화 된다. Zn/Pb를 함유한 잔사물이 99%까지의 Zn과 80%의 Pb로 환원되면 산화물로 축적된다.

a) 산물의 후처리:

- 제선, 제강시 발생하는 해면철은 전기제강로에 가열 장입이 가능
- 가열 브리켓트화 시킨후 고로나 전로, 아크로에서 사용된다.

b) Cr/Ni을 함유한 스테인레스강의 분진 :

Ni	8-10%,	Cr	13-15%
C	3-4%,	S	<0.04%

회 수 율

선 철	2차분철
Fe 98%	Zn 99%
Ni 99%	Pb 80%
Cr 94%	Cd 100%
(Mo 92%)	
(Co 97%)	

생산물의 사용: 제선용 해면철과 금속제련용 2차 전조 분진 ton당 필요한 소비량 200~260 kg Cfix/t(해면철)이고, 이것은 125~175 kg C<sub>m</sub>/t(분진)에 해당된다. 7%C의 해면철 경우 총 에너지는 16 75GJ/t(해면철)

7) 전기에너지

분쇄 건조비에 따라 다름

12.5 - 18.8 kwh/ton 해면철

증기 - 없음

산소 - 없음

◎ 냉각수 : 폐쇄회로 냉각수 3%

◎ 내화물 : 주로 내화물을 열적 부하, 기계적 부하 없음

◎ 연속적 조업 : 1978년 이후 1회 내화물 보완

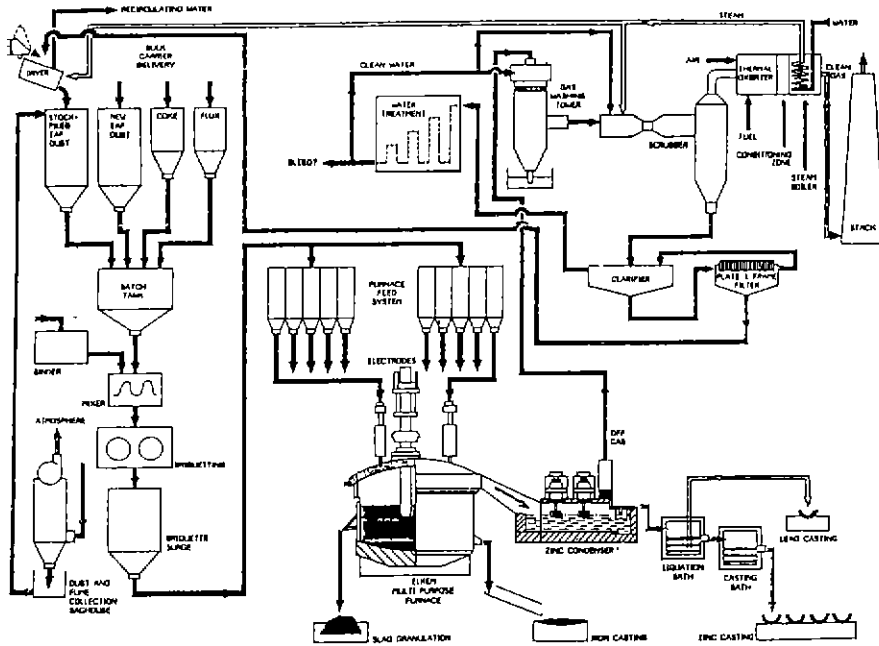


Fig. 3. Elkem HTMR flow chart.

- ◎ 다른 재료 : 없음
- ◎ 생산 인력비 : 0.25 - 0.375 h/t
- ◎ 유지보수 : 투자비 3%/년

8) 전체 투자 비용 : 년 23만톤 처리 하기 위한 투자비용은 용해단계를 제외하고 recuperator와 제진설비를 가진 회전hearth 비용 . 약 160억원(약 40 Mil, DM) (1987)

9) 기타 주요 사항

- 조업상의 난점 : 특별한 어려움 없음
- 공법의 응용성 : 철광석의 직접환원과 크롬광석의 예비환원에 응용된다.

**2.3. Elkem 법**

Elkem Multi - purpose Furnace(EMPF)는 기본적 반응기이며 EAF분진을 포함한 고체폐기물처리의 기본적 반응기이며 2차 금속회수가 열쇠이다.

주요기술적현신은 a) 금속 기화를 위한 가스밀폐디자인. b) 내화물 제한을 생략하는 고온매체 냉각응고 라이닝이다. 공법의 산물은 Zn와 다른 금속상 및 불활성의 침출되지 않는 슬래그이다.

Fig. 3에서 그 개략적인 공정이 표시되어 있다.

1989년 미국 Illinois, Alton 의 Laclede steel에서 40000 t/y, 700 t/y양으로 시작하여 1991년 하반기인 건설 초기에 화

재를 일으켰으며 1992년후 조업개시 하고자하였으나 1993년 2월 2일 공식적으로 폐쇄되었다.

**3. HES system을 이용한 전기로내에서의 분진 처리**

**3.1. 실험결과**

**3.1.1. 철강산업에서의 분진의 조성**

철강잔재물은 특정폐기물로 구별되며 그들의 화학적 조성 때문에 예비처리 없이는 폐기될수 없다. 제련과정을 통해 이들 유가금속을 얻을 수 있기 때문 뿐만 아니라 폐기물의 열적처리는 광범위하고 환경적으로 큰 문제가 없이 유기독성물(예 : 디옥신, 퓨란)의 중화가 가능할 뿐만아니라 유가물질의 제련과 잔류 극독성 오염물질의 불활성화가 가능하다.

침지형 아크노는 분진이 hollow전극을 통해 비산되지않고 예비처리없이 다시 장입되는 HES(Hollow Electrode Smelting System)인 최신 개발된 장비설비를 통해 적절한 온도조정이 가능하기 때문에 이러한 분진의 처리에 이상적이다. 이 내용은 Mannsman - Demag Hütentechnik(MDH) 와 RWTH Aachen의 전기로금연구소의 공동시험으로 이루어진 전기로제강 공정에서 발생하는 높은 함량의 Zn과 Pb를 포함한 필터분진등을 EAF에서 처리한 내용을 설명한

**Table 3.** Composition of flue dusts of the iron and steel industry.

Element		Blast furnace	Converter	Electric furnace	Stainless steel route
Dust/Sludge	kg/t	8~10	12~26	10~15	10~15
C	%	20~30	0.5~2.0	0.3~1.5	0.3~0.6
Fe	%	25~35	55~65	25~40	25~40
Zn	%	0.1 ~5.0	1~6	10~35	2~4
Pb	%	0.05~1	0.5~1.5	2~6	0.5~1.0
Cu	%	0.01	0.01	0.1~0.3	0.2
Ni	%	-	-	-	3~5
Cr	%	-	-	-	10~15
Mo	%	-	-	-	1~2
Amount obtained in Germany per year ( $\pm 10\%$ )	10 <sup>3</sup> t	600	325	75	16

것이다.

### 3.2. 철강산업분진의 처리법

철강산업에서의 서로다른 공정관계에서 여러품위의 분진이 얻어진다.

환경적·경제적 측면에서의 중요 원소는 주로 Pb, Zn, 염화물(chlorides)과 알칼리이며 회수가 가능한 미량원소 등이다. 분진의 값은 Zn과 Pb의 현 시가에 의해서 결정될뿐만 아니라 적은 농도이지만 바람직하지 않은 동반원소(Cd, Hg, As, Alkalies 혹은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl, F 등). 재료의 주변적인 요소(예 : 폐기물의 물리적 성질)에 의해 결정된다.

Table 3 은 독일에서의 이들 분진의 평균조성이다.

철강공업에 있어서의 Pb와 Zn을 함유한 분진처리에 관한 여러가지 방법이 있다. 그들중 몇개가 Table 4 에 표시되었다. 순환하는 유동층과 Inmetco 회전로법은 Zn 함량이 낮은 물질의 처리로 잘 알려져 있다. 플라즈마(Scandust)는 채용되거나 FeCrNi 예비합금생산의 주로 사용된다.

이들 처리법에 의하여 생산되는 높은 함량의 Pb, Zn을 가진 물질의 처리에 이용된 방법은 Imperial Smelting 법과 고정 muffle법이다. 두가지 경우에 있어서의 Zn은 낮은 알칼리/염화물 물질로부터 추출되며 분사식 농축조에 있어서의 그들을 따로따로 제거한 후에 추출한다. 고정 muffle 경우 IS법보다 장입되는 재료의 순도가 훨씬 높아야 한다. 두가지 방법 모두 다 높은 조입 및 투자비를 가진 재료준비 설비가 필요하다.

임자화된 물질의 직접처리가 불가능하다. Zn을 포함한 평균품위를 가진 재료의 처리는 주로 회전노에서 행해지나

hollow전극을 통한 장입되는 플라즈마노나 전기로에서 가능하다. 이상의 방법은 부분적으로 경제적인 근거 아래에서 서로다른 Pb/Zn함량의 물질에 적당하다.

hollow전극만이 미세한 분진의 예비처리가 필요하지 않다.

대단히 미세한 필터 분진이 호퍼로 부터 스크류 콘베이어를 통해 이동되어 후연전극의 구멍에 설치된 장입튜브로 공급된다. 이 시스템은 두개의 공기로 작용하는 슬라이딩게이트와 장입물의 게제 설비로 되어 있다.

이들 게이트를 통해 장입물이 hollow전극을 통과하여 용융욕으로 들어가게 된다. 이 장입 시스템은 분진손실을 최소화 시키며 반응에 참여하는 물질을 직접 최대 에너지 밀도를 가진 끝 아래의 영역에 직접 장입된다. 이것은 높은 비용용 효과를 의미한다. hollow전극의 구멍은 정화용 가스에 의하여 항상 열린 상태이다. 주입되는 정화용 가스는 다스 간 슬래그욕을 격렬하게 교반하며 이것은 주입된 가스용적에 의존한다. 사용된 전기아크로는 4290 A<sub>Max</sub> 혹은 110V<sub>Max</sub> 와 최대 350 KW전력을 가진 교류 혹은 직류 아크로이다. 아크로는 수냉의 Mannesmann-Demag형 기저전극이 설치되어있다. 노의 라이닝은 크롬마그네사이트로 되어있다.

비교적 많은량의 슬래그로인해 생기는 내화물의 마손은 노피에 이중냉각자켓을 사용하므로 최소화 시킬 수 있다.

이 냉각장치는 슬래그가 크롬마그네사이트 벽돌의 근처에서 응고하도록 하는데 충분할정도로 효과적이며 이로인해 self-protection에 달성된다. 노피는 두개의 tap hole로 이루어져있고, 낮은 tap hole은 노의 바닥과 같은 위치에 있으며 두번째 tap hole은 400 mm 높이며 슬래그노치로서 사용된다.

슬래그표면의 환원분위기를 유지하기 위해서와 방사에 의한 열손실을 최소화시키기 위해서 슬래그는 코크스의 얇은 층으로 덮혀있을 뿐이다.

Table 5는 전통적인 침지형 아크로와 hollow전극을 통한 장입장치를 갖는 침지형 아크로 사이의 비교를 보여주고 있다. 노의 배출가스는 노지붕의 hollow전극통로를 통하여 배출되며 사이크론을 통한 1차 청정장치를 통과하며 뒤이어 냉각후 140 m<sup>3</sup>필터 면적을 갖는 백(bag)필터를 통하여 보내진다. 최종 정정은 역류 venturi scrubber에서 이루어진다. Fig. 6는 IME의 전체 노설비를 설명하고 있다.

**3.3. HES 시스템을 가진 침지형 아크로에 있어서의 분진의 처리**

3.3.1. 파일럿플랜트

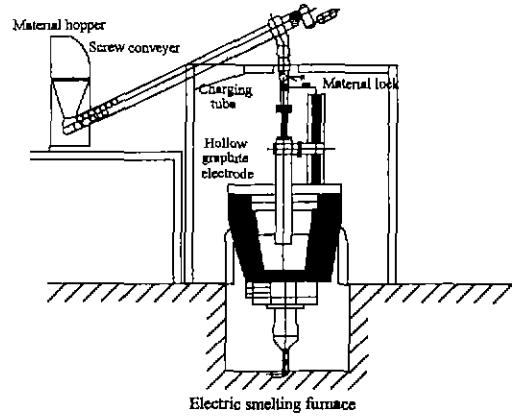
Fig. 5에 Mannesmann Demag AG Huttentechnik에 의해 개발된 hollow전극 장입시스템을 장착한 RWTH Aachen의 Institut für Metallhüttenwesen und Elektrometallurgie의 파일럿 설비노를 나타내었다.

**Table 5.** Comparison of submerged arc furnaces with and without a hollow electrode.

	Conventional arc furnace	Arc furnace with hollow electrode
Material is fed	on the bath surface	into the slag
Coke is fed	on the bath	into the bath
Dust amount	high	low
Bath agitation	low	largely controllable
Smelting capacity	limited	high
Radiation loss	covered bath	bath covered with coke

**3.4. 시험보완**

노내의 금속속을 형성시키기 위하여 철침과 철스크랩을 용해하여 시작하였다. 그후에 고로슬래그를 필터분진이 취입될수 있도록 하는 초기 슬래그를 형성하기 위하여 사용하였다. hollow전극의 질소가스purging이 시작되었고 purging장치는 장입 트부의 막힘이나 불음을 의미한다. 철강분진, 환원제, 슬래그 형성제등 여러가지 양으로 구성된 장입물이 노안으로 장입되었다. 비록 미세화기는 하였으나 hollow전극을 통하여 슬래그표면으로 장입하기가 용이하였으며 따라서 침기된 이동가스가 필요하지 않다는 사실이 발견되었다. 실험을 계속하므로써 슬래그층이 증가하였다. 동시에 슬래그안의 전극침부는 더욱 깊게 되었으며 어떠한 장입이나 용융문제가 발생하지 않았다. 전압의 변화, 따라서 전력 투입량의 변화는 전극의 침지가 깊어지므로써 노의 작업이 원활하게 되므로써 감소하였다. 슬래그표면이 약 500 mm깊



**Fig. 4.** Pilot arc furnace installation with HES System at IME.

**Table 4.** Methods of zinc bearing flue dust treatment.

Zn content of input material	low (≤10%)	medium (15-30%)	high (≥40%)	Pretreatment of material	
Circulating fluidised bed	++	-	-	no	1)
	++	-	-	yes	1)
Rotrary tube	(+)	+	+ )	yes/no	1)
Conventional arc furnace	-	+	+ )	no	1)
Electric furnace with HES	(+)	+	+ )	no	2)
Plasma furnace	+	+	+ )	no/yes	1)
Imperial smelting process	-	-	++ )	Yes	1)
Stationary muffle	-	-	++ )	yes	1)

1): production plant, 2): pilot plant ( ) : only after previous alkaly chloride elimination

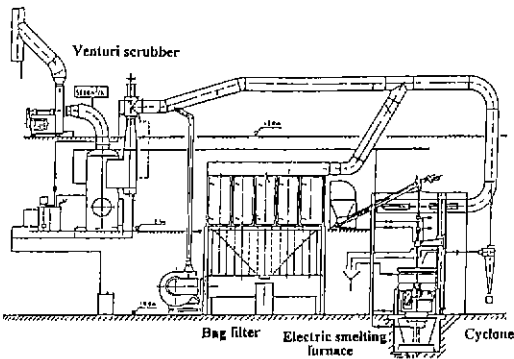


Fig 5. Pilot arc furnace installation with HES System at IME.

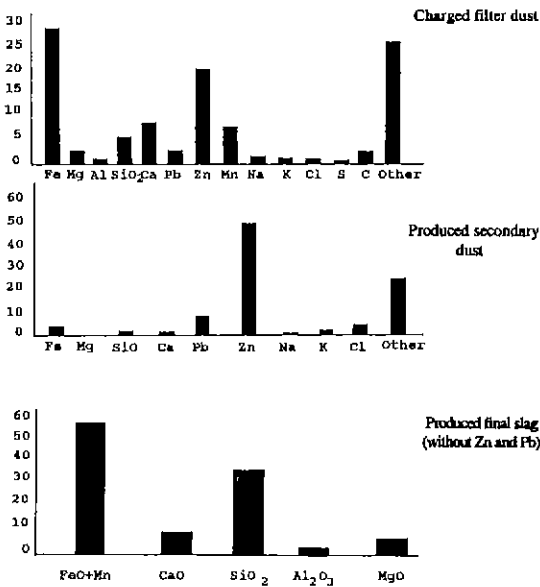


Fig. 6. Average composition of charged material and the products of HES trials at IME, RWTH Aachen.

이가 되었을때 상부tap hole을 개방하여 약 100 mm의 슬래그가 배출되도록 하였다. hole을 다시 막고 슬래그의 높이가 500 mm될때까지 공정을 계속하였다. 이 과정은 실험주기의 길이와 장입속도에 따라 여러번 반복하였다.

하부 tap hole은 실험최종순간직전에 개방되었으며 노는 완전하게 비워졌다. 11회의 실험을 통하여 실험변수(예 : 환원제첨가, 장입율, 온도, 슬래그처리)를 변화시켰다.

노내에서의 슬래그 후처리는 질소에 의한 교환과 질소에 의한 슬래그속으로 분진코스의 취입 혹은 FeSi75첨가에 의해서 영향을 받았다.

### 3.5. 실험결과

Table 6. Composition of produced final slags(Without Zn or Pb)

Analysed	FeO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MnO
	%	%	%	%	%	%
Minimum	35.5	3.4	1.2	25.2	6.3	5.3
Maximum	45.2	6.3	2.9	31.5	7.3	8.8
Standardised	Fei+Mn	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Total
	%	%	%	%	%	%
Minimum	53.1	4.7	1.6	35.2	8.8	100.0
Maximum	52.9	6.7	3.2	33.8	7.8	100.0

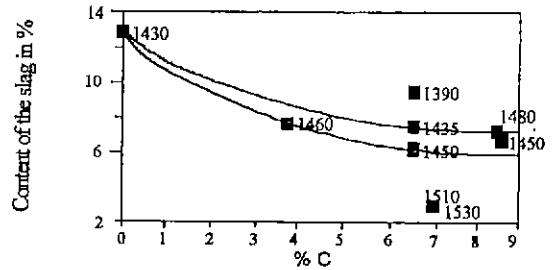


Fig. 7. Zinc content of the slag as function of the amount of added coke and the melt temperature after charging end.

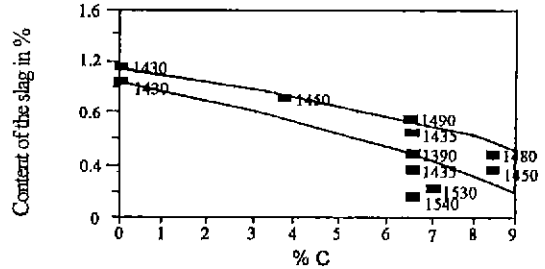


Fig. 8. Lead content of the slag as function of the amount of added coke and the melt temperature after charging end.

노장입물로 사용된 제강필터분진은 29%Fe, 19%Zn, 2% Pb를 포함하고 있으며 주로 산화물의 형태로 되어있고 약 4%알카리와 염소를 포함하고 있다. 시료는 건조되어있고 입자상이며 대단히 미세하다. 생성된 2차 분진은 산화물과 염화물의 형태로 67% Zn과 Pb까지 포함하고 있다. 평균염화물의 양은 3~4%였다. 2차분진의 평균분석치는 Fig. 6에서 볼수있다.

물질량수지를 보면 이미 실험의 첫시리즈에서 Zn은 82%, Pb는 90% 까지 2차 분진내에서 얻을수 있다. hollow

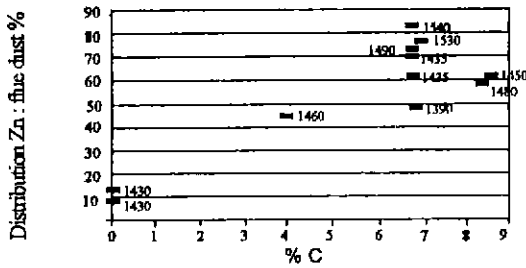


Fig. 9. Zinc yield in the secondary flue dust as a function of the amount of added coke and the melt temperature.

적극을 통한 장입시의 평균분진손실은 분명히 1%이하이다.

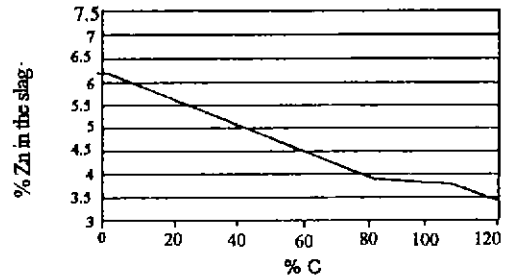
알카리와 염화물의 분리된 제거후에, 예를 들면 액상의 침출에 의해 생산된 분진은 Zn과 Pb의 건식제련의 유용한 원료로 사용될 수 있다. 생성된 olivine슬래그의 밀도는  $\rho=3.8 \text{ g/cm}^3$ 이다. 평균 분석치는 Table 6에서 볼수있다.

슬래그중의 중금속 함량은 0.1%Pb와 2.0%Zn의 수준으로 감소될 수 있다. 알루미늄과 마그네슘의 수치는 용해된 어느정도의 양의 내화물에 의해 영향을 받는다. 실험 조건에 따라 소량의 금속성분이 실험동안에 형성되었다. 금속상이 노저에 축적되었고 수냉노저전극위에 금속판을 형성하였다.

여러번 실험후에 이러한 금속판은 용해되고 분리되어 배출되었다. 이처럼 그것은 여러번의 용융실험의 산물이며 따라서 개개의 실험에 정량적으로 측정할수가 없었다. 실험변수설정에 따라 야금학적 결과가 크게 결정되었다. 슬래그내의 Zn과 Pb의 잔류물은 첨가된 환원제의 양, 슬래그온도, 슬래그후처리의 방법 및 시간에 따라 의존하였다. 처리하지 않는 슬래그의 Zn과 Pb함량은 Fig. 7과 8에 장입된 코크스의 양의 함수로서 표시되었으며 평균슬래그 온도는 측정의 각점에 표시되어있다. 환원제의 양과 슬래그온도가 증가하므로써 더욱더 많은 Zn산화물이 환원되었다. Zn의 환원은 비교적 많은 양의 환원제에 비해서 보다 높은 온도에서 오히려 양호하였다. 만족스런 잔류 Zn의 양은 약 1500°C슬래그 온도에서의 이러한 실험동안에 달성될 수 있다. Pb의 상황은 Fig. 8에 나타나 있다.

온도는 어떤 큰영향을 미치지 못한다. Fig. 9는 슬래그와 2차필터분진사이의 Zn의 분배를 보여준다. 분배계수에 대한 환원제양의 영향과 비교적 높은 온도의 영향은 분명하다. Pb의 회수는 온도나 환원제의 양에 뚜렷하게 의존하지는 않는다.

환원은 탄소양과 목의 온도에 의해 결정된다. 따라서 충분히 높은 용강온도와 충분한 탄소공급을 얻는것이 필요하다.



Minute after charging end

Fig. 10. Change in zinc concentration in the slag during the post-treatment phase of selected tests

다. 충분히 투입된 탄소가 있고 탄소가 즉시 혹은 충분히 용탕과 반응하지 않는다면, 그것은 목의 상부에 뜨게되고 슬래그내의 금속산화물과 낮은 속도로 반응한다. 따라서 코크스의 층은 시험 종기에 목의 표면에서 볼수있다. 장입후 교반가스가 취입되며 떠있는 코크스층은 산성슬래그와 혼합시킨다. 따라서 부가적인 환원이 이루어진다. 최종환원은 부가적인 환원제(코크스혹은 FeSi75)투입을 통해서 증진될 수 있다. Fig. 10은 몇가지 시험동안 Zn농도의 시간에 따른 진행에서 슬래그의 최종환원에 대한 후 처리영향을 보여준다. Zn농도에서의 감소는 4%Zn수준까지 일정속도로 진행한다. 그것으로부터 유사 차(order)의 반응율이 나올수 있다. 교반은 분명히 환원과정에 영향을 미친다.

FeSi75를 시험동안의 후처리시간의 약110분정도후에 추가적인 환원제(슬래그양의 약 1%)로 장입하였다. 그후 Zn함량은 대단히 떨어진다.

폭선의 모양은 환원반응의 평형이 시험의 말기에도 도달하지 않았음을 보여준다. 슬래그는 장입 Na의 80~90%가 부화되며 K는 50~60%가 부화된다. 이것은 K의 휘발이 Na의 휘발보다 빠르다는 사실을 보여준다. 슬래그내에는 염소를 발견할수 없었다. 따라서 완전한 휘발을 가정할 수 있다.

3.6. 결과의 확인과 전망

반공업적아크로에서의 용융실험은 Zn과 Pb가 풍부한 철강산업 분진이 hollow전극을 통해 장입을 위해 설치된 전기로내에서 성공적으로 처리될 수 있다. 대단히 미세한 필터분진과 환원제가 예비처리하지 않고 hollow전극을 통해 용탕속으로 직접 장입될수 있다. 분진의 형태로의 손실은 1%이하이다. 생산물은 65%이상의 Zn과 Pb를 가진 2차분진과 중금속함량이 낮은 슬래그이다. 분진은 장입Zn의 80%가 부화되었고, 장입Pb의 90%, 염화물과 일부의 알카



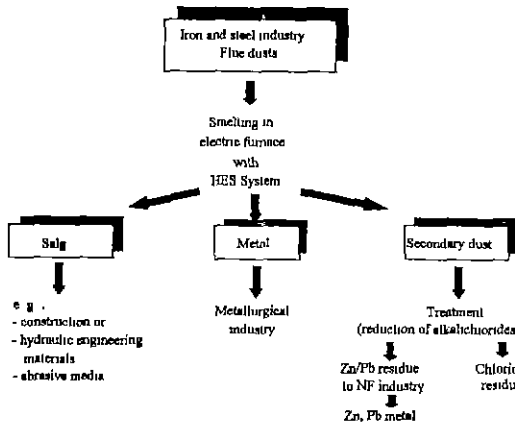


Fig. 11. Treatment of flue dusts arising in iron and steel industry.

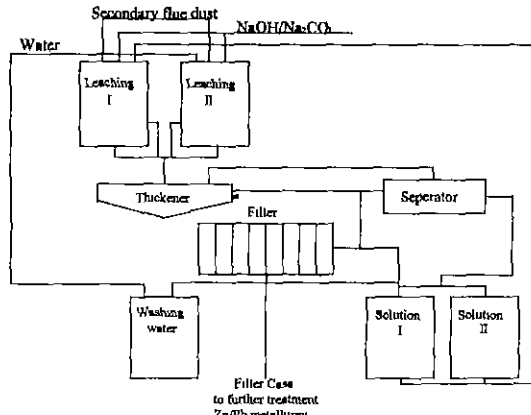


Fig. 12. Concept for treatment of secondary flue dusts.

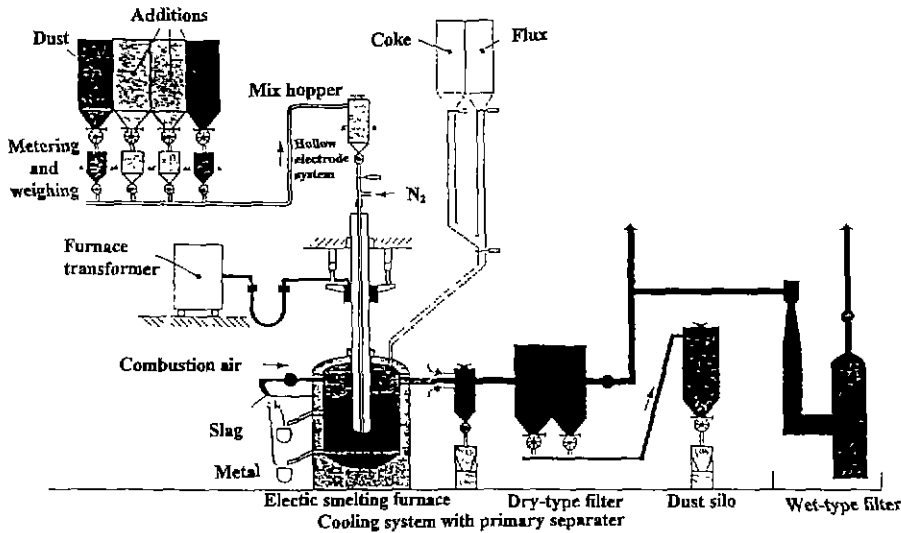


Fig. 13. Production plant for the treatment of dusts arising in iron and steel industry.

리가 포함되어 있다. 생산된 슬래그에서의 중금속의 양은 1500°C이상의 용탕온도에서 0.1% Pb와 2% Zn아래의 수준으로 감소한다. 따라서 슬래그는 예를 들면 건축자재로 쓰이는 유용한 재료가 된다.

Fig. 11은 다른 생산품인 슬래그, 금속2차분진의 사용가능성을 분명히 해준다.

슬래그는 granule화든지 레이들에서 주조된다. SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>과 같은 통상적인 첨가물에 의해 조성이 변화할 수 있고 이러한 종류의 슬래그는 많은 수의 가능한 용도를 가지고 있다고 생각된다.

이러한 슬래그내에 많은 중금속이 포함되어 있지않기 때문에 환경적으로 적합하게 폐기되거나 저장할수 있다. 이공정에 가해진 C의 함량에 의료하여 Fe, Vi, Cr과 Cu와 같은

금속이 환원되고 노저에 쌓일수도 있다. 포집된 2차 분진은 Zn과 Pb의 건식제련을 위해 Zn과 Pb제련소의 원료로써 사용될수 있는 유가의 제품을 나타낸다. Cl의 함량은 줄이기 위해 특별한 예비처리가 필요하다. Fig. 12는 HES시스템을 가진 완전한 생산공장을 나타내고 있다. 이것은 장입시스템을 가진 원료저장소, hollow전극, 전기로와 폐가스 정화시스템이 포함되어있다.

노를 빠져나가는 폐가스는 디옥신이나 퓨란의 재결합을 방지하기 위하여 급속히 냉각된다. 분진함량이 대단히 낮기 때문에 폐가스에서의 고체물질은 백필터에서 포집되는 비교적 농도가 높은 중금속 산화물로 구성되어 있다.

사용된 장입재료에 따라 가스 포집은 Se, TI과 Hg과 같은 미량원소뿐만아니라 SO<sub>2</sub>, HCl, F, Cl과 HF과 같은 시스

템이 뒤따른다.

이 공정의 HES시스템의 주요장점은 아래와 같이 요약된다 :

- 장입분진의 비용이 많이 드는 펠릿화나 브리켓트화가 필요없음(용탕에 직접장입).
  - 문제물체(분진)의 판매가능한 생산품을 나타내는 독성이 없는 슬래그로서의 전환.
  - 동력 그리드문제와 플리커효과나 상부조화파가 없음 (용융은 저항법을 이용하며, open아크가 아님).
  - 열에너지의 최대효율로의 이용.  
(최대 에너지농도의 영역에서 투입된 장입물)
  - 폐가스는 처리후에 유효하게 저가에 이용됨.
  - 폐가스와 함께 어떠한 분진도 발생하지 않음.
  - 노가스내에서 유해한 물질(예 : 푸란, 디옥신)이 파괴됨.
  - 다른 공정조작에 비해 이시스템은 유연성이 있음(철가제/정화가스).
  - 합금화된 선철과 2차분진내의 유사 합금원소의 회수가 가능.
- 일반적으로 hollow전극을 이용한 용해는 슬래그의 저항

열을 이용하기 때문에 비교적 소음이 없는 공정이다.

HES시스템은 가스가 세지 않으며 분진 방출이 없고 이로써 작업하는 사람에게 어떤 해도 끼치지않는 것을 의미한다.

### 참고문헌

1. W.E. Schwabe and C.G. Robinson : Iron and Steelmaker, 5 (1978).
2. B.Strohmeier : Iron and Steelmaker, May(1982).
3. W.Fettweis Fachberichte Hüttenpraxis Metallweitereverarbeitung, (1984)22.
4. S.E.Stenkvisst : Steel Times, 10(1985) 480.
5. H.Eßmann and D.Grünberg : Stahl und Eisen, 103(1983) 133.
6. R.H.Aiken : U S.patent 816142(1906).
- 7 R.H. Hanewald Iron and Steel Engineer, March (1985) 62.
8. R.H. Hanewald and D.E. Dombrowski, : Iron Steel Eng. 62, No. 3,(1985) 62.
9. R. Todd Grant,et.al. : Stahl und Eisen 103, No. 9,(1983) 411