

## 플라즈마법에 의한 전기로제강분진 처리기술

윤 기 병

인천대학교 재료공학과

### 1. 서 론

고철을 주원료로 사용하여 강을 생산하는 전기로제강법에서는 용융공정중에 장입고철중의 약 1~2 Wt% 정도의 분진이 발생하며, 이 분진을 다른 종류의 분진과 구별해서 "전기로제강분진(Electric Arc Furnace Dusts)"이라고 한다. 이 분진은 현재 거의 전량 매립에 의하여 폐기 처분되고 있다. 그러나 이 분진은 Pb, Cd, Cr 등의 인체 및 환경에 유해한 중금속 성분들을 함유하고 있어 매립에 의한 폐기처분시 시간이 경과함에 따라 유해성분들이 용출되어 지하수나 주위환경을 오염시킬 우려가 있으며 또한 마이크로 또는 서브마이크론 단위의 아주 미세한 입자들로 구성되어 있기 때문에 야적 또는 운송과정에서 대기오염의 공해문제도 발생시킬 수 있다.

특히 산업발달에 따라 조강생산량이 증가하고 전기로제강의 주원료인 고철 중의 비철함량이 점점 높아지는 추세에 비추어 볼때 향후 전기로제강분진에 의한 환경오염 문제는 더욱 심각히 대두될 전망이다. 이러한 환경오염 문제 때문에 미국 등 선진국에서는 이미 1970년대 부터 환경보존을 위해 이 분진을 유해 폐기물로 분류하여 불용화처리 후 매립해 하였으며, 1980년대 이후 매립에 대한 규제조건은 더욱 강화되고 있어, 매립 이외의 다양한 분진처리기술이 연구, 개발 되고 있으며 그중 일부는 이미 삼업화 공장이 건설되어 가동되고 있다. 국내의 경우도 이 분진은 특정폐기물로 분류되어 현재 제한된 특정지역에 불용화처리 후 매립, 폐기토록 하고 있으나 제한된 처리능력, 처리단가의 상승, 공장야적량의 증가등의 문제점들이 발생하고 있어 분진의 새로운 처리기술에 관한 관심이 크게 증가하고 있다. 국내 · 외적으로 처리기술에 관한 관심이 급증하고 있는 또 다른 이유는 자원의 재활용 측면으로써 분진 중에 상당량 함유되어 있는 Zn, Pb, 등의 유가금속을 회수함으로써 폐자원의 제자원화를 기대할 수 있다는 것이다.

선진국과는 달리 아직 국내에는 불용화처리 후 매립 이외의 분진처리기술 개발이나 처리경험이 전무한 실정이므로 본 고에서는 선진국에서 연구, 개발된 전기로제강분진

처리기술을 소개하고, 기술의 문제점과 해결방안등에 대하여 논하고자 한다.

### 2. 전기로제강분진의 특성

전기로제강분진은 여러종류의 산화물과 웨라이트들로 구성되어 있는 물리적, 화학적으로 복잡한 미세한 입자들이 응집된 것으로, 탄소강 제조시 발생하는 분진의 전형적인 화학조성 분석치가 Table 1 에 나타나있다.

이러한 분진들의 화학조성은 주원료인 고철의 조성에 주로 영향을 받으며 노의 크기, 화학반응, 집진시스템 등과 같은 다른 요인들에는 거의 관계가 없다. 최근에는 강의 부식을 방지하기 위하여 비철을 코팅한 강의 사용이 증가함에 따라 분진의 Zn, Pb 함량도 증가하는 추세이다. 분진입자들은 일반적으로 구형이며  $10\mu\text{m} \sim 0.1\mu\text{m}$  범위 정도의 크기를 갖으나 대부분이  $1\mu\text{m}$  이하이다. 이 분진입자들 중 약 25% 정도 (6~60% 까지 변할 수 있음)는 자성을 나타내며 이러한 자성물질은 격자상수가  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 나  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  와 거의 유사한 스피넬 구조를 갖는다. 일반적으로 분진입자 크기가 작아질수록 스피넬 구조보다는 ZnO의 양이 증가하는 것으로 보고되고 있다. Zn 과 마찬가지로 Pb도 큰 입자 내의 작은 구역에 또는 응집된 입자들 내에 조그만 입자들로 존재하며 특히 Fe 함량이 높은 입자들의 표면에 주로 분포되나 Zn과는 달리 스피넬 구조 안으로 들어가지는 않는다.

### 3. 국내 현황

국내 전기로제강분진의 발생량은 Table 2 에 나타난 국내 전기로제강 업체별 고철소비량의 약 1.5 wt%로 추정할 수 있으며 '91년도에 약 12만톤, '92년도에 14만톤, '93년도에 18만톤 정도로 연간 수만 톤씩 증가하여 왔다. 또한 2,000년에는 전기로제강용 고철소비량이 약 1,900만톤에 달할 것으로 예상되어 제강분진 발생량은 약 30만톤에 이를 것으로 추정된다. 현재 국내에서 발생하는 전기로제강분진

**Table 1.** 전기로제강분진의 화학조성

Constituent	Content (wt%)
ZnO	13~30 (typically 18~26)
Fe	28~38
Pb	1.15~6 (usually 1)
CaO	4~14 (typically 4)
Mn	4~5
Mg	2
Cl	0.8 ~1.5 can reach 2
F	1.3 max.
Cd	0.004
Cr	<0.025

**Table 2.** 국내 전기로제강용 고철소비량 및 제강분진 발생량 현황(단위 : 천 T)

구분	년도			
	'91	'92	'93	2000
고철소비량	8,158	9,185	11,970	18,889
분진발생량(추정)	120	140	180	290

전량은 폐기물처리업체에 위탁하여 매립하거나 제강사 자체적으로 화학적 불용화처리 후 매립하고 있다.

#### 4. 처리방법

전기로제강분진을 처리하는 방법은 분진 중에 포함되어 있는 유가자원을 회수하지 않고 처리하는 방법과 유가자원 회수가 따르는 처리방법으로 크게 나누어 볼 수 있다.

##### 4.1. 유가자원을 회수하지 않고 처리하는 방법

유가자원을 회수하지 않고 전기로제강분진을 처리하는 방법으로는 화학적 안정화처리 후 매립하는 방법 또는 Beneficial use 방법 등을 들 수 있다. 화학적 안정화처리의 일반적 방법은 분진과 값싼 시약 및 석회를 섞고 물을 첨가하여 장시간 유지함으로써 복잡한 수화반응을 일으켜 불침투성 고형화 시키는 방법이다. Beneficial use 방법은 다른 물질에 분진을 일부 첨가시켜 그 물질을 유용하게 사용하는 방법으로써, 그 대표적인 예로는 비료에 Zn 첨가제로 분

진을 일부 섞어 사용하는 것과 길 포장용 자갈 사용시 미분의 석회석 대신에 분진으로 일부 대체하는 것 등이 제안되고 있으나 그 사용 가능성은 매우 제한될 수 밖에 없다. 이러한 방법들은 안정성, 유가자원 회수 및 공해문제 해결 등의 여러 측면에서 볼 때 미흡하거나 불완전하기 때문에 중, 단기 해결 방안으로 간주되고 있다.

##### 4.2. 유가자원을 회수하는 처리방법

분진으로부터 유가자원을 회수하는 처리방법은 경제적인 면에서 볼 때 분진 중에 유가금속함량이 높은 경우에 선택할 수 있으며 전기로제강분진의 경우 Zn 함량이 최소한 15% 이상은 되어야 한다고 알려져있다. 이러한 처리방법은 다음과 같이 구분하여 볼 수 있다.

##### 가) 유가금속 농축을 위한 분진 재순환 (Recycling to Upgrade : RTU)

전기로제강 분진 중의 Zn 함량을 증가시키기 위한 방법 중의 하나는 분진을 전기로제강 공정으로 재투입하는 방법이 있으며 이러한 공정을 RTU 공정 이라고 부른다. 응집된 분진과 고철을 함께 전기로에 투입하여 용융하는 경우에 발생하는 분진의 중금속 함량은 고철 만을 용융할 때 발생하는 분진보다 더 높게되며 이 중금속 함량의 증가는 장입된 고철 및 분진의 량과 조성에 따라 결정된다. 만일, 고철이 용융된 후 용강 안으로 분진을 투입할 경우에는 분진투입 후 발생하는 분진은 거의 중금속들 만의 fume 으로 구성되어 Zn 함량이 매우 높은 분진을 얻게 된다. 이러한 RTU 공정은 과거 US steel, Bethlehem steel, Armco사, 캐나다의 LASCO steel등에서 시험되었으나, 비경제적인 뿐 만 아니라 분진 투입형태 및 시기, 분진 재순환에 따른 강질의 저하 등에 관한 기술적 문제도 해결되지 못하였고 아울러 공정 중의 Zn에 대한 물질정산도 정확히 얻을 수 없는 어려움 등의 많은 문제점이 있다

##### 나) 유가금속을 선택, 제한적으로 처리 회수하는 방법

이 방법은 분진 중의 일부 성분들을 선택적 및 제한적으로 분리, 회수 또는 제거하고자 하는 처리방법으로써 크게 습식법과 건식법으로 나눌 수 있다. 습식법의 경우는 황화배소 또는 염화배소한 후 침출하는 법 등이 있으며 건식법의 경우는 주로 환원, 휘발의 원리를 이용하고 있다.

##### 다) Fe 까지 회수하는 처리방법

이 방법은 Fe를 고상으로 회수하는 방법과 액상으로 회수하는 방법으로 구분할 수 있다.

##### (1) Fe 를 고상으로 회수하는 방법

Zn, Cd, Pb 및 Fe 산화물들의 공통적인 특성은 고온에서 CO 나 H<sub>2</sub> 가스 및 고체 C 에 의하여 금속으로 환원된다는 것이다. 열역학적 계산에 의하면 1100°C 이상의 온도에서는 Zn 의 환원 및 휘발과 동시에 또는 연속해서 Fe 산화물의 고상환원이 일어난다. 이와같은 원리를 이용하여 분진을 처리하는 대표적인 방법이 로타리 킬른로를 사용하는 WAELZ법이다. 이 법의 장점은 사용원료에 대한 제한이 적다는 것이며 처리 후 얻는 산물은 약 60% 정도의 Zn을 함유하므로 Zn smelter 에서 Zn 금속으로 처리하기에 적당한 원료로 사용될 수 있다. 따라서 이 방법은 현재까지 미국, 일본, 독일등 세계적으로 Zn을 함유하는 모든 물질에 대하여 시험되어 왔으며 기술성, 경제성 조건이 잘 알려져 있다.

그러나 이 방법은 경제성과 열효율 측면에서 볼때 처리 규모가 대단히 커야만 하는 점과 아울러 처리후 얻어지는 산물의 Zn 함량은 높지만 Zn 금속을 얻기 위한 처리를 위해서 반드시 제거해야 되는 Cl을 약 5% 이상 함유하는 치명적인 문제점이 있다. 또한 클링커 내에 존재하게 되는 고상의 환원철분은 철분의 분리회수 어려움 및 Cu, S 등의 불순물 오염문제 때문에 제강원료로 사용하는 것은 심각히 제한되고 있다. 현재 전통적인 로타리 킬른법의 보완, 개선을 위해 일본 Himeji 사의 HTR 법, Sumitomo 사의 이중 킬른로의 사용, 미국 New Jersey Zinc 사의 수직건류장치부착 방법 등이 제안, 시도되고 있다. 로타리 킬른법 외에도 electrothermic shaft furnace 를 사용하는 St. Joe 법도 있으나 이 법은 분진으로부터 Prime Western Grade 의 Zn 금속을 회수할 가능성이 있는 반면에 상업적 경제성을 유지하기 위해서는 분진 중의 Zn 함량이 최소한 40% 이상은 되어야 하며 아울러 Pb 등의 불순물 함량은 상당히 적어야 되는 제한을 갖는다.

(2) Fe를 액상으로 회수하는 처리방법

전기로제강분진에 C를 첨가하여 고온에서 처리하면 Zn 증기와 액상의 Fe를 얻을 수 있다. 고상환원에 비해서 액상으로 얻어지는 Fe 는 슬래그와 분리가 용이하므로 만약에 Cu, S등의 불순물이 상당히 낮다면 회수되는 금속 Fe는 재활용이 가능하다. 이 처리방법의 대표적인 방법으로는 Cupola법 및 플라즈마법을 들 수 있다. Cupola법은 타르를 섞은 분진을 브리켓으로 만들어 코크스 및 고철과 함께 Cupola에 장입하여 smelting 하는 방법이다. 코크스는 용융 및 smelting 반응을 위하여 필요한 열의 공급원이며 타르 중의 C는 분진산화물의 환원제로 작용한다. 플라즈마법은 고집적 에너지를 갖는 고온의 플라즈마를 사용하여 분진과 C의 혼합물을 용융, 환원, 휘발하여 유가금속을 회수하는 방법이며 이 방법에 대해서는 뒤에서 다시 논하기로 한다.

전기로제강분진의 적절한 처리공정은 다음과 같은 조건

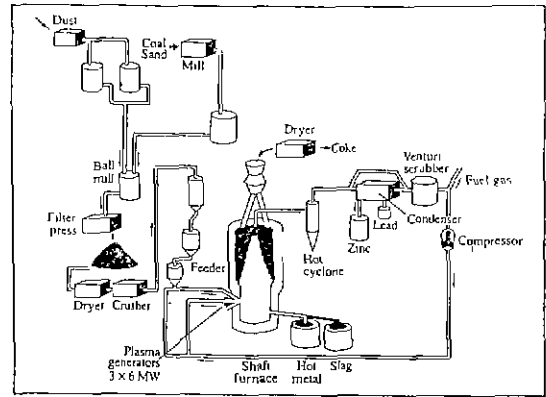


Fig. 1. PLASMA DUST법의 공정개략도

을 만족시켜야 한다.

- 처리비가 경제적이어야 한다.
- 투자비가 낮아야 한다.
- 처리용량의 제한이 적어야 한다.
- 처리 후 남은 잔사는 무해하여야 한다.

전기로제강분진은 일반적으로 Zn 외의 유가금속 함량이 낮고 Cl, F 등의 불순물을 다소 함유함으로써 현재까지는 위의 조건을 모두 만족하는 처리공정을 찾기는 어려우며 좀더 개선된 공정에 관한 기술개발 시도가 계속되고 있다.

5 상업화 플라즈마 공정

플라즈마법에 의한 제강분진 처리기술은 국외에서 최근에 상업화된 가장 신기술로서 분진 처리시 공해발생의 문제가 적고 분진 중에 함유된 유가금속도 회수, 재활용할 수 있는 장점이 있어 제강업계의 관심을 끌고 있다.

5.1. PLASMA DUST 법

이 방법은 스웨덴의 SKF Steel Engineering 사에 의하여 1970년대 부터 연구개발이 시도되어 1984년에 상업화 공장이 완성, 가동되기 시작한 방법으로 non-transfer type의 플라즈마 토치를 사용하여 샤프트로 내에서 분진을 용융, 환원시켜 유가금속을 회수하고 무해 슬래그를 만드는 방법이다. Fig. 1은 PLASMA DUST 법의 공정개략도를 나타내고 있다.

용융환원로는 샤프트로로써 내화재로 내부가 라이닝되어 있으며 외부는 수냉된다. 이 샤프트로의 내부는 피상의 코크스로 채워져 있다. 반응물들의 용융, 환원 및 금속성분 (Zn, Pb, Cd 등)들의 휘발에 필요한 에너지는 샤프트로 하단부의 풍구에 대칭적으로 위치하는 3개의 플라즈마 제너레이터에

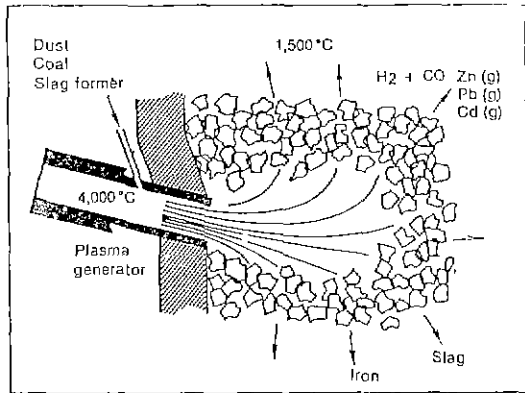


Fig. 2. 용융환원구역

의하여 공급된다. 플라즈마 가스는 반응 중에 생성된 가스(CO 및 H<sub>2</sub> 혼합가스)를 순환시켜 사용하고 있으며 이 가스는 플라즈마 제너레이터 내부에서 약 4~5 kwh/m<sup>3</sup>(STP) 정도의 에너지를 받는다. 이 플라즈마 가스의 온도는 제너레이터 내부에서 15,000~20,000 °C 정도의 고온이며 제너레이터를 통과한 후에는 3,000~5,000°C 정도이다. 이 고온의 가스는 분진, 환원제(coal), flux(SiO<sub>2</sub>) 등이 적정량 혼합된 feed 와 함께 풍구를 통하여 코크스로 채워진 노 내부로 분사된다. 이와같이 플라즈마 가스가 분사되면 풍구의 전방부분의 코크스는 없어져 동공이 형성되고 이 구역이 용융환원 반응구역이 된다.(Fig. 2)

feed 는 고온의 플라즈마 가스에 의하여 급격히 가열되어 용융, 환원이 시작되고 부분적으로 환원된 용액방울들은 동공 주위의 코크스에 떨어져 완전한 환원 및 슬래그 형성이 일어난다.

이때 반응속도는 매우 빠르고 반응구역 내에 물질들이 존재하는 시간은 2분 이하이다. 따라서 반응구역 및 반응로 내에 feed 들이 축적되는 것이 방지될 수 있다. feed 중에 혼합되었던 coal 분말들은 고온의 플라즈마 가스 내에서 코크스화하여 동공 주위의 코크스 벽으로 떨어지게 되며 미환원 용액을 환원시킨다. 실제로 환원반응에 소모되는 환원제의 50~70%는 Coal 분말이다. 이러한 효과에 의하여 노 내에 투입하는 코크스 소모량도 적어지고 피상의 코크스 사용에 의하여 가스의 통기율도 유지된다. 코크스 켈럼 내에 동공 형성에 의한 반응구역을 갖는 것은 매우 높은 환원 및 효율적인 열 이용을 얻을 수 있는 장점이 있다. 노 내에 있는 코크스 켈럼 상부는 노 내로 부터 휘발, 방출되는 가스의 필터 기능을 수행하며 또한 노 상부에서 공급되는 코크스를 위한 열교환기 역할을 한다. 분진의 용융, 환원중에 Zn, Pb, Cd 등의 금속성분들은 증기상으로 휘발되어 발

생가스 (CO, H<sub>2</sub>)와 함께 노 밖으로 배출되는데 이 배출가스의 온도는 1100~1200°C 정도이다. 이 가스는 hot cyclone 으로 들어가 가스 중에 포함되어 있는 고체입자가 제거된 후 Zn 응축시스템으로 들어간다. 응축시스템은 가스상의 Zn, Pb, Cd 등을 미세한 Pb 용액방울에 냉각, 응축시키는 원리를 이용하고 있다. 냉각 및 응축 매체로 사용되는 액상의 Pb 는 460 °C의 온도로 노즐을 통해 수직냉각켈럼의 위에서 아래로 분사되고 미세한 크기의 액상방울로 되어 켈럼 아래에서 올라오는 1100 °C 온도의 가스상과 만나게 된다. 가스상은 액상의 Pb 방울에 의하여 약 500°C로 급냉되며 증기상의 금속은 액상의 Pb 용액방울 표면에 응축된다. 액상의 금속으로 회수된 Zn 과 Pb 는 450 °C 온도로 일정하게 유지되는 분리로에서 물리적으로 분리를 일으키며, 분리 회수된 Pb는 460 °C로 재가열된 후 수직냉각켈럼으로 재순환된다. 또한 회수된 Zn 금속은 "Prime Western Grade"의 순도를 가지며 잉고트로 주로 판매된다. 이와같이 회수되는 Zn 및 Pb 외에 Pb 용액 표면에 떠다니는 미세한 입자 형태의 dross 가 회수되는데 이 dross 는 주로 Zn과 Pb 이며 SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Coke, Fe 등이 일부 포함되어 있다. 이 dross 는 Pb 를 분리시킨 후 원료에 재순환, 투입한다. 분진 원료 중에 함유되어 휘발되었던 Cl의 일부분은 Zn Cl<sub>2</sub> 를 형성하여 분리되어 아연공장으로 보내진다. 또한 냉각, 분리과정에서 소량의 "hard zinc (약 4~8% Fe 를 갖는 Zn 합금)"가 생성. 회수되는데 이 hard zinc는 샤프트로 상부의 코크스 장입구로 보내져서 코크스와 함께 노 내로 직접 재투입된다.

Zn 응축공정을 통과한 배출가스의 온도는 약 500°C 정도이며 이 가스는 3단계 벤츄리스크러버로 들어가 물로 청정되며 이 가스는 1 m<sup>3</sup>(STP) 당의 고체 입자량이 10~20 mg 정도이고 가스조성은 75~80% CO 및 20~25% H<sub>2</sub> 이며 약 3 kwh/m<sup>3</sup>(STP) 정도의 열량을 가지고 있다. 전체 가스량의 질량경도는 공정으로 재순환되어 플라즈마 가스로 사용되며 나머지 절반은 지역난방용 온수공급 보일러로 보내진다. 분진 처리공정 중의 가스상에 포함된 K, Na, Cl, F 등은 벤츄리스크러버에서 사용된 물로 들어가게 되므로 이의 축적을 피하기 위하여 순환수의 약 5% 정도를 매순환마다 새로운 물로 교체한다. 분진 처리공정의 온도가 매우 높고 강력한 환원분위기에서 공정이 진행되기 때문에 CN 가스가 생성되며 이 CN 가스는 벤츄리스크러버 물속에 용해되어 약 1000 ppm 정도의 CN 농도를 나타낸다. 이 CN 의 제거는 우선 벤츄리스크러버 물의 pH를 황산을 이용하여 약 2정도로 낮춘 후 스트리퍼켈럼에서 공기를 불어 넣어 산화, 제거한다. 이러한 처리 후에 물 속에 남아 있는 CN 의 농도는 약 5 ppm 이하로 낮아지며 이 물을 다시 과염소산으로 처

리하면 CN 의 농도는 0.5 ppm 이하로 떨어진다. CN을 포함하고 있는 공기는 보일러로 보내진 반응가스의 연소에 사용됨으로써 모든 CN 을 완전히 산화시켜 제거할 수 있다. CN 이 제거된 물을 다시 pH 11로 만들어 잔유금속성분을 석출, 응집시켜 제거하여 원료혼합 처리공정으로 재순환, 투입한다. 이 물을 다시 CaCl<sub>2</sub>로 처리하여 물 속에 용해되어 있는 F를 CaF<sub>2</sub>로 석출, 제거한다.

**5.2. Tetronics 법**

Tetronics법은 영국의 Tetronics Research & Development Co. Ltd. 에서 개발, 시험 되었으며 현재 Multiserv International Ltd. 를 통하여 보급되고 있다. 이 처리법은 transferred 아크 플라즈마를 사용하여 노내에 장입된 슬래그로 열을 전달하면서 분진과 C를 슬래그 위에 공급함으로써 분진 중의 산화물을 고온에서 환원, 용융시켜 Zn, Cd 등의 금속을 휘발시키고 Fe, Cr, Ni, Mo 등은 금속상태의 합금으로 회수하는 방법이다. Fig. 3은 Tetronics법의 공정개략도를 보여주고 있다.

플라즈마 flame 은 분진산화물의 용융환원, 휘발 및 금속

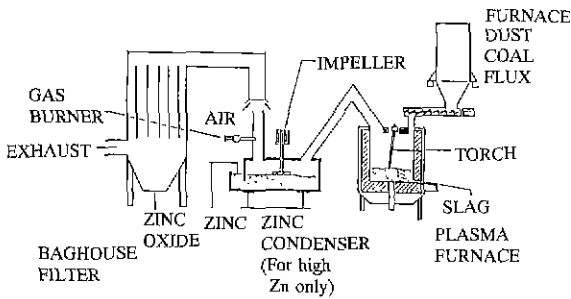


Fig. 3. Tetronics법의 공정개략도

의 용융에 필요한 열에너지를 공급하며 슬래그를 유동, 순환시키는 역할을 한다. 분진과 C가 슬래그 위로 공급되면 우선 분진을 구성하는 금속산화물들은 슬래그에 용해되고 이 용해된 산화물들은 슬래그가 유동, 순환하는 과정 중에 슬래그 표면에서 C나 CO 가스에 의하여 금속상태로 환원된다. 이때 생성된 금속성분들 중에서 증기압이 큰 Zn이나 Cd 등의 금속들은 증기상태로 슬래그 표면 위로 휘발되며, 증기압이 작은 Fe, Ni, Cr, Mo 등의 용융 금속들은 슬래그와의 비중 차이에 의하여 슬래그 밑으로 가라앉게 되어 합금으로 회수된다. 전기로제강분진을 이 방법으로 처리할 경우에는 경제성을 고려해 볼때 다음과 같은 두가지 종류의 처리공정을 생각할 수 있다.

(1) Selective reduction 공정

이 공정은 FeO는 슬래그 중에 남기고 Zn 산화물(및 Cd, Pb 산화물)만 선별적으로 환원하는 공정으로 Fe 는 금속으로 회수되지 않는다.

(2) Total reduction 공정

Fe를 포함한 모든 금속산화물을 금속으로 환원하는 공정이다.

Selective reduction 공정은 전력 및 환원제의 소모량이 적고 배출가스량도 적으므로 경제적인 공정이지만 슬래그 중의 FeO 함량이 높아 노벽 내화제의 침식 및 마모가 심하여 노벽을 통한 에너지 손실 및 잦은 노의 개수가 필요한 단점이 있다. 또한 노내의 낮은 온도(약 950°C 이하) 때문에 가스 중의 CO<sub>2</sub> 함량비가 높아 Zn 금속증기의 재산화가 일어나 Zn 금속 회수율이 낮아진다. Total reduction 공정은 전력, 환원제 등의 소모가 크고 배출가스량도 많은 단점이 있으나 금속상태로의 Zn 회수율은 증가한다.실제적인 조업에서의 최적처리조건은 이 두 공정의 중간조건 정도에서 얻

Table 3. 전기로제강분진의 처리산물 화학조성 (wt%)

Zn 금속		Fe 금속		슬래그	
Zn	98.5	C	4~6	CaO	32~36
Pb	1.0 ~ 1.1	Cr	0.6 ~ 1.5	SiO <sub>2</sub>	32~38
Cd	0.06~0.085	Ni	0.4 ~ 1.1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5~8
Fe	0.02~0.03	Mo	0.1 ~ 0.4	MgO	8~14
Sn	0.03	Mn	2~3.5	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.001~ 0.016
Cu	0.05	P	0.25 ~ 0.49	Fe	0.5 ~ 4.0
		S	0.020~0.080	Cr	0.2 ~ 1.2
		Cu	0.4 ~ 0.7	Ni	0.02 ~ 0.1
		Si	0.2 ~ 1.9	Mo	<0.01 ~ 0.05
		Ti	0.04 ~ 0.15	Cu	0.001~ 0.150
		V	0.02 ~ 0.05	Mn	2.0 ~ 6.5
		Fe	balance	P	0.02 ~ 0.10
				S	0.6 ~ 1.5

어지며 이러한 조건에서 금속상태로의 Zn 회수율은 약 70% 정도로 보고되고 있으며 현재 이 회수율을 80~85% 까지 올리려는 연구가 진행중에 있다. 원활한 smelting 반응을 위해서는 염기도(CaO : SiO<sub>2</sub>)가 1.0~1.2 정도인 유동성이 좋은 슬래그를 만들 필요가 있으며 이를 위해 분진에 적당한 flux를 첨가시켜야 한다. 노내온도는 약 1,500°C 부근으로 조절되며 1,600°C 이상의 고온조업에서는 실리콘, 마그네슘, 알루미늄 등의 성분들이 휘발성이 큰 금속 또는 준산화물 상태로 생성되는 정도가 증가하게 되어 전력소모가 크고 응축, 회수되는 Zn 금속의 순도가 저하되는 나쁜 결과를 초래하게 되므로 이러한 고온 조업은 피해야 한다.

플라즈마법의 에너지효율은 70~80% 정도로 보고되고 있고 전기로제강분진 1톤을 처리시 전력소비량은 1,600~2,000 kwh이다. Table 3은 플라즈마법에 의하여 전기로제강분진을 처리하였을 때 얻어지는 산물(Zn 금속, Fe 금속, 슬래그)들의 일반적인 화학성분을 보여주고 있다. Zn 금속은 "Prime Western Grade"의 순도를 가지며 잉고트로 주조, 판매된다.

## 6. 플라즈마법의 장점 및 문제점

플라즈마법에 의하여 전기로제강분진을 처리할 때의 장점은 다음과 같다.

- (1) Feed의 준비과정이 간단하고 처리공정이 단순하다.
- (2) 고온조업이므로 무해슬래그를 생성한다.
- (3) 밀폐된 시스템에서 조업하므로 2차 공해발생이 없다.
- (4) 유가금속성분을 금속상태로 회수, 활용할 수 있다.
- (5) 지속적인 운전경험이 있다.

플라즈마법에 의한 분진처리기술은 이와 같은 여러 장점들을 갖지만 한편으로는 다음과 같은 기술적, 경제적 문제점들이 지적되고 있어 국내에서는 아직 상업화처리공장이

건설되고 있지 못한 실정이다.

(1) 분진처리에 요구되는 전력소모량이 1,600~2,000 kwh/T Dust 정도로 매우 크다.

(2) 플라즈마 노내 발생가스 중의 Zn 증기 함량이 낮아 Zn 응축조에서의 Zn 금속 회수율이 70% 정도로 낮다. 금속으로 회수되지 못한 Zn 증기는 재산화되어 원료로 재투입되므로 전력소모량이 증가된다.

(3) 분진중의 Fe성분에 의하여 Zn 응축조에서 Hard Zinc가 생성됨으로써 응축조업이 어렵고 Hard Zinc는 원료로 재투입되기 때문에 전력소모량이 증가된다.

(4) Zn 응축조에서 회수되는 Zn 금속의 순도는 약 98% 정도이며 Pb, Cd, Fe, Sn, Cu 등의 불순물을 다량 함유하고 있다. 따라서 Zn 금속의 활용용도가 불확실하며 판매가격이 낮고 수요의 불안정이 우려된다.

(5) 분진처리량에 상당하는 대용량의 플라즈마 공장건설이 필요하다.

## 7. 결 론

플라즈마법은 국외에서 최근에 상업화된 제강분진 처리 기술로써 많은 장점을 가지고 있지만 앞서 지적한 여러 단점들 때문에 아직 국내에서 상업화가 이루어질 수 있는 경제적이고 효율적인 공정으로 채택되지 못하고 있다. 플라즈마법의 효율성, 경제성을 높이기 위하여는 이러한 단점들을 해결하는 방안들이 강구되어야 한다. 단점들의 대부분은 분진을 직접 플라즈마 공정의 원료로 사용하기 때문에 발생되고 있으므로 향후 적절하고 경제적인 분진 전처리를 통하여 순도가 높은 조산화 아연을 회수하여 플라즈마 공정의 원료로 사용하면 단점들의 많은 부분이 해결될 수 있을 것으로 기대된다.