

큐포라 용해기술의 최근의 진보

박익민*, 최정철**, 남태운***

Recent Development in Cupola Melting Technology

I. M. Park*, J. C. Choi** and T. W. Nam***

1. 서 언

큐포라에 의한 주철의 용해는 경제성이 우수하고 연속출탕이 가능하고 주철재질에서 일관성이 있는 등의 장점이 인정되어, 현재에도 주철주물 생산량의 1/2 이상이 큐포라에서 용해되고 있다.

최근에는 큐포라 조업시간의 장기화, 고온의 송풍온도를 얻기 위한 새로운 열교환기의 개발, 플라즈마 토치의 이용, 코크스를 사용하지 않는 큐포라의 실용화 등의 큐포라 구조 및 조업법에 있어서의 진보가 이루어지고 있어, 본 자료에서는 이에 대해 소개한다.

2. 큐포라의 장기조업의 실현

큐포라 조업의 최대의 난점은 매 조업종료후의 노보수 및 다음 조업을 위한 준비에 노력과 자재를 소비해야 하는 것이다. 주조공업은 용해로에서 얻어진 용탕을 주형에 주입하여 제품을 만드는 것을 목적으로 하고 있고 주형을 만드는 공정과의 연관관계의 면에서 용광로(고로)처럼 장기간 연속해서 출탕을 계속하는 것은 어렵고, 장시간 연속조업을 행하는 경우에도 대부분은 1일 조업 종료후 爐底를 열지 않고 야간 수시간 동안 休止해서 다음날 조업을 재개하는 방식(banking 조업)이 채택된다. 처음에는 수일간 조업을 계속하고 주말에 노보수를 행하는 조업 사이클이었지만, 점차적으로 이 기간은 수주간에서 수개월로 길어지게 되었다. 장기간 조업을 계속하는 큐포

라를 long campaign cupola로 부르지만, 노저 탕류부 및 출탕구, 출재구에 어떤 내화물을 사용할 것인가, 休止중 용탕 및 地金を 노내에 남길 것인가 아닌가(코크스만을 남기는 방식을 cokes banking, 코크스와 地金を 모두 남기는 방식을 full banking, 노저에 용탕까지 남기는 경우를 metal-cokes banking이라 부르고 있다), 休止후 조업을 재개한 경우 충분한 고온의 용탕을 얻기 위한 대책 등 노의 구조, 내화물, 조업법에 있어서 여러가지의 연구가 필요하다. 예를 들어 매일 수시간 休止할 때는 그 직전에 코크스를 공급해서 코크스 베드 높이를 조정하고 송풍해서 노내의 용탕을 고온으로 유지시키는 metal-cokes baking을 행하고, 주말에는 용탕 및 슬래그를 추출해서, 베드 코크스만을 남기는 cokes banking 방식을 택하는 두가지 방식을 병용해서 장기간 조업하는 예가 있다. 더욱이 조업기간을 연장하는 경우에는 큐포라내에 용탕이 잔류하는 wet type 구조의 爐底보다 용탕 및 슬래그를 항상 노밖으로 배출하는 dry type으로 하는 것이 탕류부에서 내화재와 슬래그 및 용탕과의 접촉시간이 짧아져서 내화재의 수명연장에 유리하다. (주)아이신 Takaoka는 dry type의 노저, 두께 70mm의 노저의 Al₂O₃-SiC-C계 ramming재가 100mm 정도 잔류하고 있는 것을 확인해서, 종래 50회/년 행해진 노보수작업을 2회/년으로 줄이고 6개월의 장기간 조업에 성공하고 있다.

* 부산대학교 금속공학과
** 아주대학교 재료공학과
*** 한양대학교 금속재료공학과

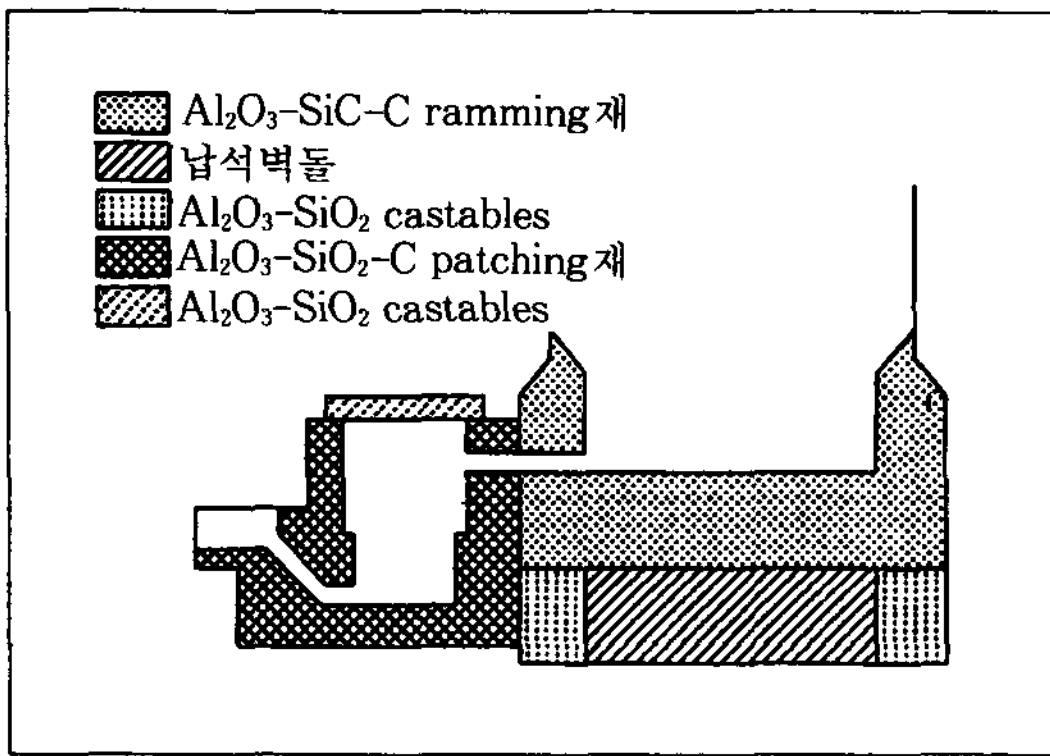


그림 1. Dry type 노저구조와 내화재료의 구성에

3. 세라믹 펠레트를 열매체로 하는 송풍예열용 열교환기의 사용

鋼管을 통해 복사 및 대류현상으로 열교환을 시키는 방식에서는 대부분의 경우 장치의 수명 및 보수의 관점에서 고려하면, 큐포라의 배기가스의 일부는 탈출해서 열교환기내의 온도를 낮추게 하여 우구에서의 송풍온도를 600°C 정도 이하로 유지하게 된다. 그러나 더욱 송풍온도를 상승시키는 경우 그림 2와 같이 충분히 그 효과가 기대된다.

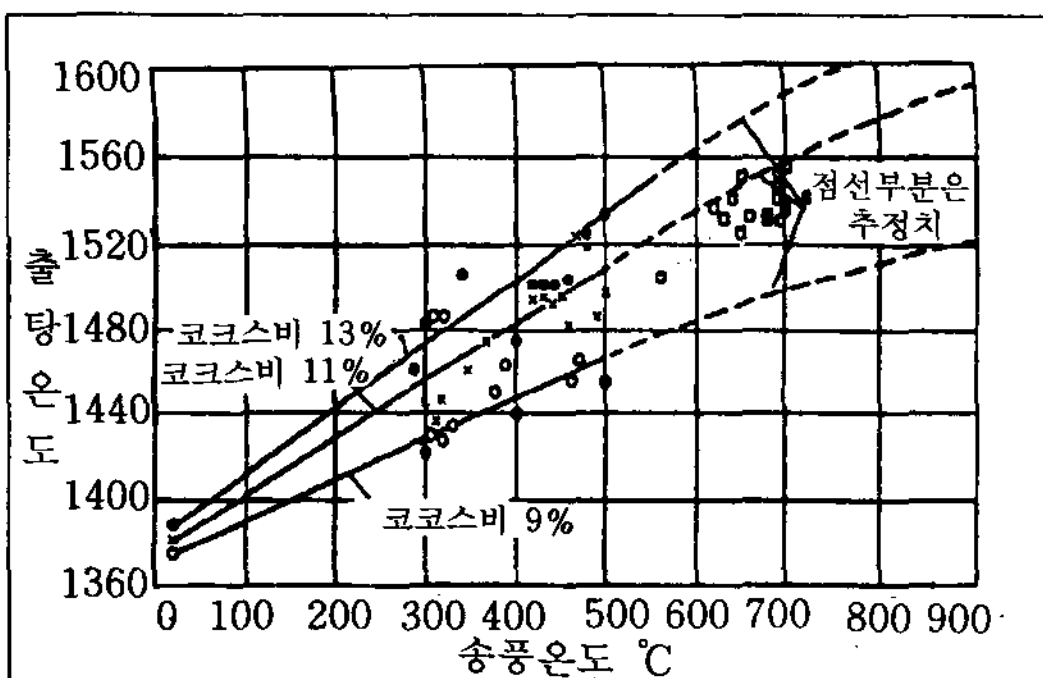


그림 2. 송풍온도를 변화시킨 경우의 출탕온도 및 코크스비

세라믹입자를 열매체로 이용하면 복잡한 형상의 제품에서도 균일하게 가열할 수 있는 장점이 있어 최근 열처리공정에서는 알루미나입자 등을 분위기 가스로 유동시키는 유동층 열처리가 실

용화되고 있다. 큐포라 송풍예열용 열교환기에 세라믹입자를 이용하는 시도는 1976년경부터 미국 Econotherm사에서 개발에 착수하여 독일 KGT사는 이것을 조합한 큐포라 시스템을 완성했다. 열교환기의 구조는 그림 3에 나타나듯이 배기가스 중의 CO를 연소시키는 연소실, 펠레트에 축열시키는 가스 section, 고온의 펠레트의 열을 송풍공기에 흡수시키는 wind section 및 펠레트를 다시 가스 section으로 보내는 반송장치로 되어 있다. 반송장치에서 爐頂으로 보내진 펠레트는 수개의 단의 有孔 stainless steel제 분배격자(grate)의 망목구조를 통해 균일하게 분포되면서 가스 section내에 낙하해서, 그동안에 연소실에서 보내진 고온의 배기가스로 가열되어 축열되고 wind section으로 들어간다.

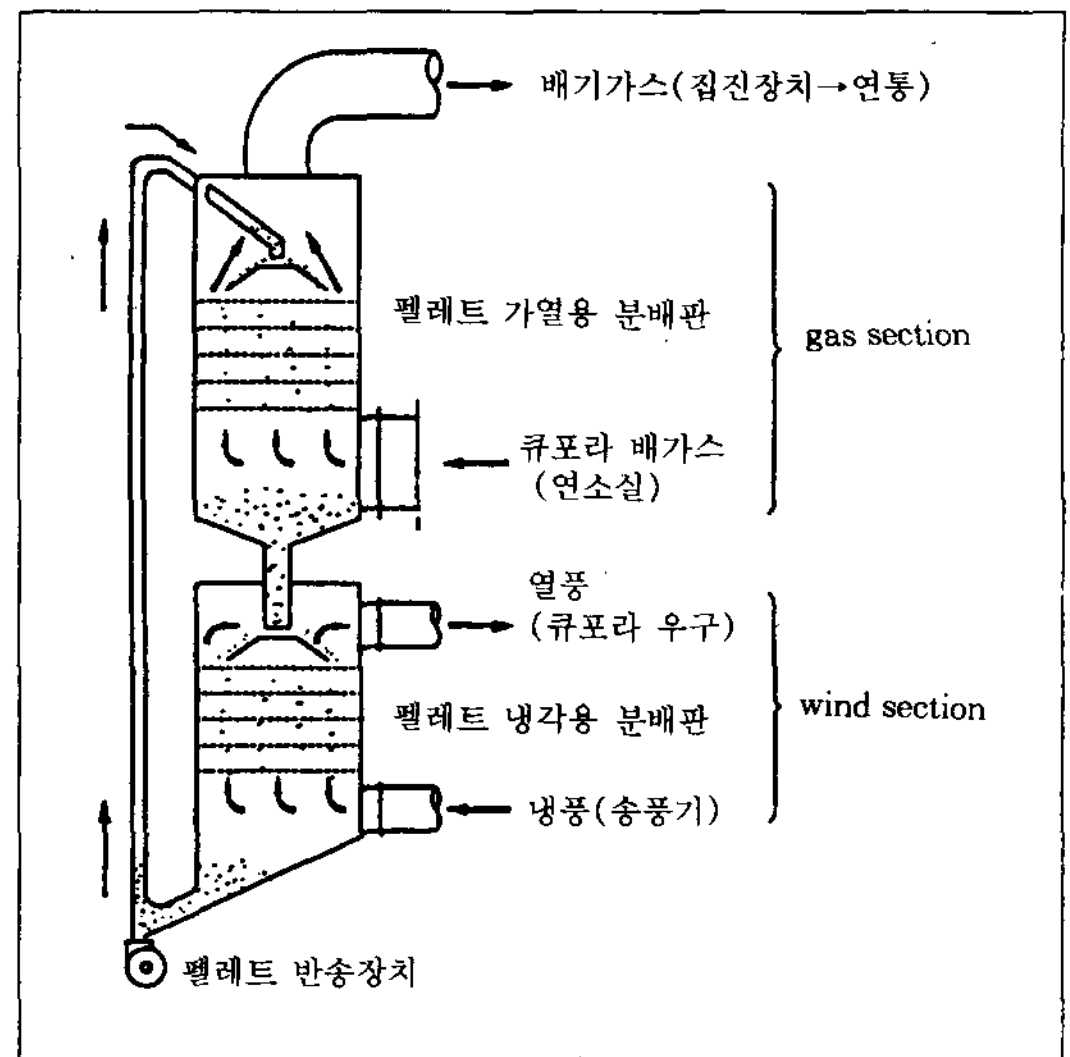


그림 3. 세라믹 펠레트를 열매체로 하는 열교환기의 구조

여기에도 분배격자가 여러 단 설치되어 있어 축열된 펠레트는 이 격자의 망목구조를 통해 낙하하고, 밑에서부터 취입되는 냉풍을 가열한다. 가열된 고온의 공기는 우구에서 노내로 보내어져, 열을 뺀 펠레트는 하부에 모여져 다시 가스 section으로 보내어지고, 가열, 축열과 냉풍에 의한 열교환을 반복한다. 큐포라의 배기가스는 펠레트를 가열해서 송풍을 예열한 후 다시 열회수되어 집진후 대기중에 분산된다. 이 시스템의 예

는 그림 4에 나타내었다.

가스 및 wind section은 원통형으로 내경은 12t/h 큐포라용으로 약 1800mm, 38t/h 큐포라에서는 약 2800mm이고, 사용 펠레트는 Al₂O₃ 85~90%에 소량의 SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃를 포함하고 입경은 1~2mm 정도, 송풍온도는 우구에서 600~800°C로 된다.

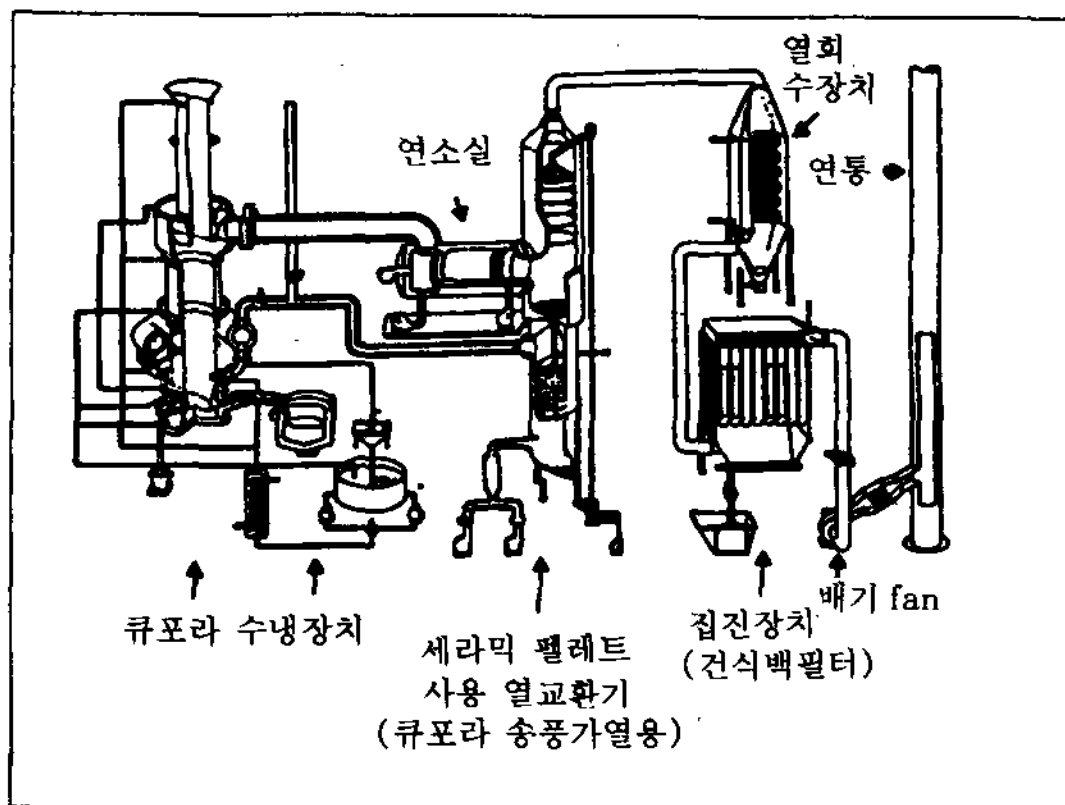


그림 4. 세라믹 펠레트를 열매체로 하는 열교환기를 조합한 큐포라 용해 시스템

4. 플라즈마 큐포라의 개발

최근 plasma torch가 산업기술에 본격적으로 응용되기 시작하고 있지만, 미국의 General Motors사와 프랑스의 Automobiles Peugeot사에서는 플라즈마 기술을 cupola에 적용을 실현시켰다.

미국에서는 1983년경부터 Westinghouse Electric사, Modern Equipment사, GM사가 협력하여 개발착수하여, 1989년 Ohio주 Defiance에 있는 GM사의 Central Foundry Division에서 20~30t/h의 실제 큐포라를 가동시켰다. 프랑스에서는 1986년경부터 Peugeot사가 Aerospatiale사 및 Electricire de France사와 협동하여 개발을 진행시켜, Dompierre 교외의 Peugeot사 Sept Fons 공장의 20t/h 큐포라에 플라즈마 토치를 부착시켜 실제 조업을 행하고 있다. GM사에서는 그림 5와 같이 플라즈마 토치를 직접 노체 우구부에 부착시켜, 큐포라 배기가스 중의 dust의 재순환철,

切粉(chip) 등의 취입장치를 만들었고, Peugeot사에서는 그림 6처럼 우구앞의 송풍관에 플라즈마 토치를 조합한 방식을 채택하고 있다.

이들 두 회사에서의 실적에서 보고된 플라즈마 큐포라의 이점을 열거하면

1) 용해속도 및 출탕온도의 상승

GM사는 용해속도가 50~60% 증가한다고 보고하고 있고, Peugeot사에서는 조업도중 플라즈마 토치를 작동시키면 3~4분 후부터 급속히 용해속도 및 용탕온도가 상승하는 것을 지적하고 있다.

2) 切粉 및 鋼屑의 다량배합 가능

GM사는 油分 등을 제거하여 건조시킨 절분을 地金 총중량의 75%까지 우구에서 압입하는 것이 가능하다고 보고하고 있고, Peugeot사에서도 강철의 10% 증가, 선철의 10% 감소를 이룰 수 있고 양사 모두에서 이러한 경제적 효과는 아주 크다고 보고하고 있다.

3) 송풍량 감소에 따른 이점

GM사에서는 송풍량이 통상의 큐포라의 1/3 정도로 낮출 수 있기 때문에 보내저항이 적어지고 배기가스량도 감소한다고 보고하고 있다. 또한 노내의 환원성이 증가하여(CO/CO₂=5), 규소의 회수율이 증가하고, 우구에서 규사를 송입해도 환원되어 규소첨가의 역할을 한다고 보고하고 있다.

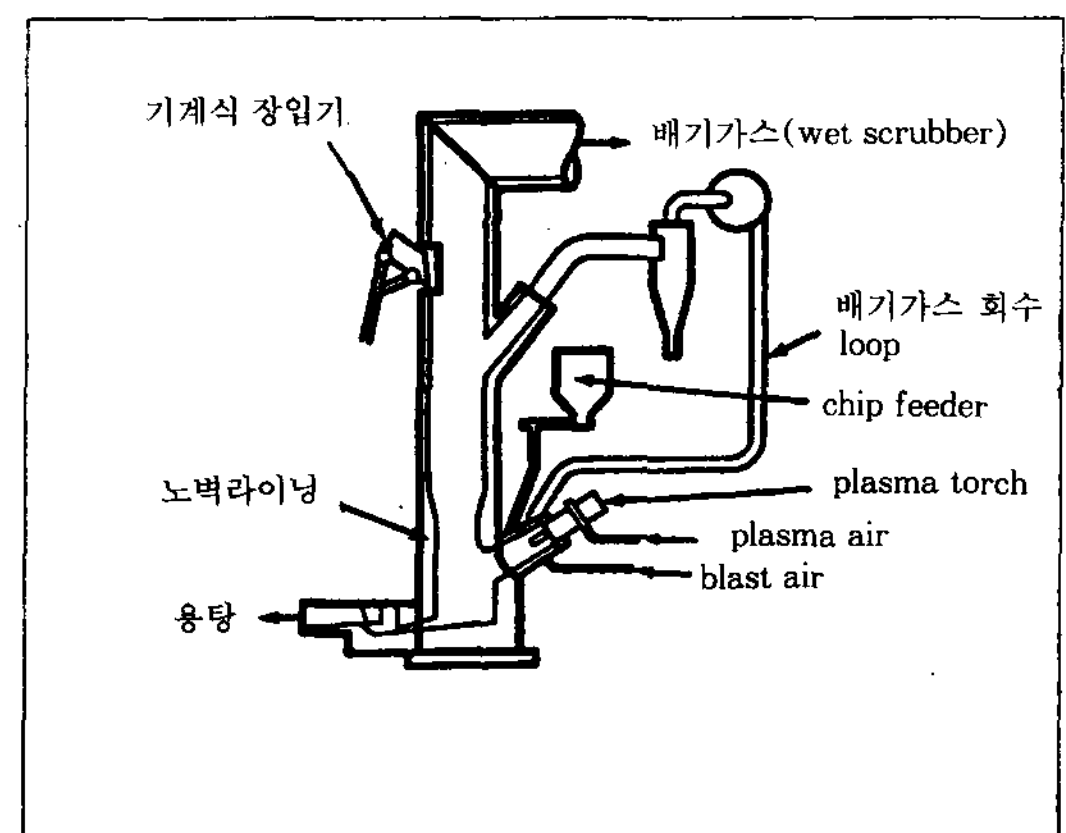


그림 5. GM사의 플라즈마 큐포라

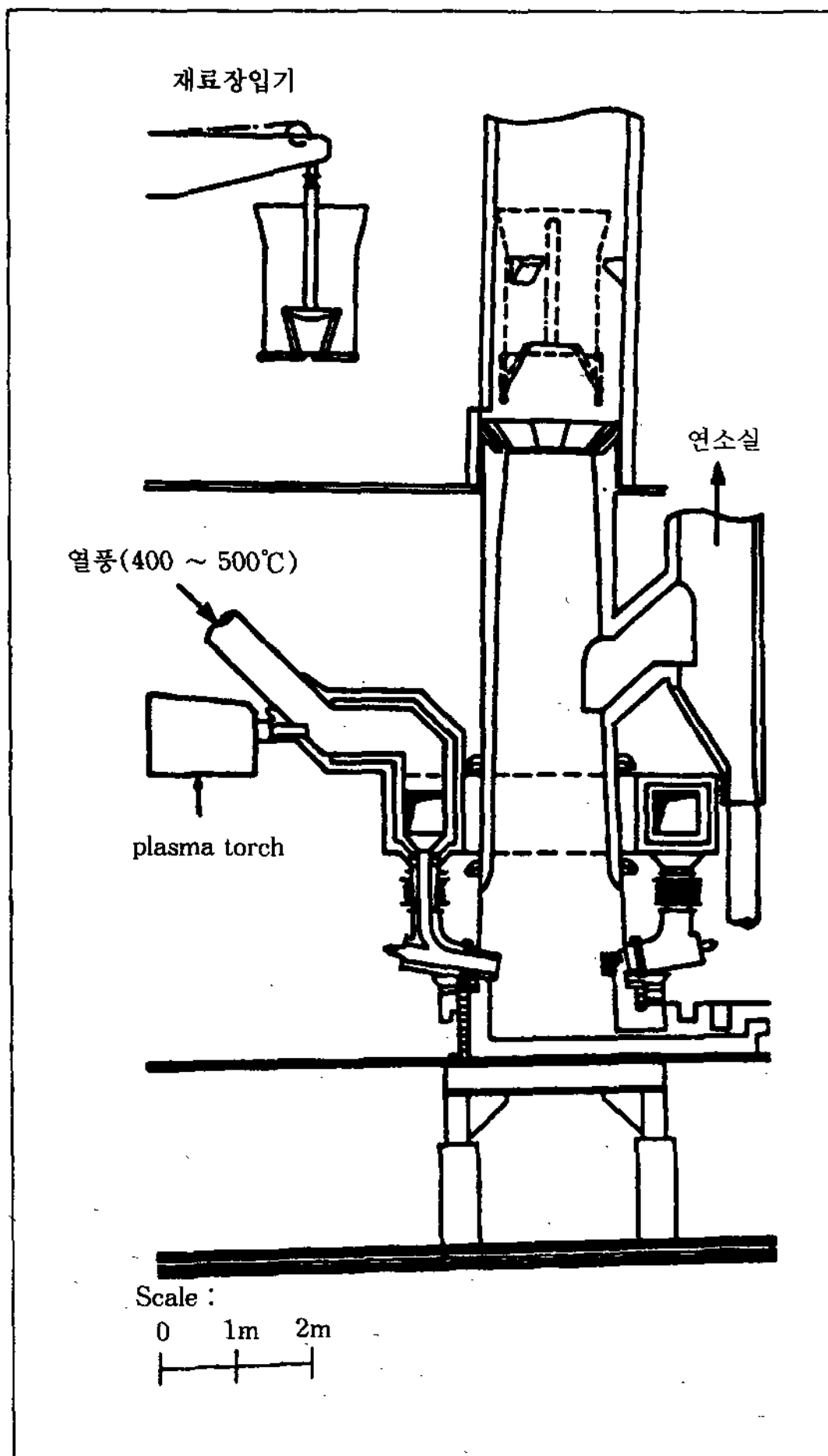


그림 6 Peugeot사의 플라즈마 큐포라

5. 코크스를 사용하지 않는 큐포라의 개발

큐포라는 연료로서 코크스를 사용하기 때문에 연소반응의 제어가 까다롭고 용탕의 탄소량의 조정 및 황량의 억제가 곤란하다. 또한 매연 혹은 유황산화물을 배출하여 작업환경의 악화 및 대기오염을 유발시키는 결점도 지적된다. 이러한 결점을 보완할 목적으로 개발된 것이 cokeless 큐포라이다.

천연가스를 풍부하게 산출하는 미국 및 구소련에서 1915년경부터 연구에 착수하여 19세기 중반에는 벨기에 CGCE사의 Flaven로 및 구소련의 Penze로가 실용로서 가동되었다. 현재에는 주로 영국의 R. T. Taft 등이 고안한 Cokeless

큐포라와 독일의 P. W. Bardenheuer 등에 의해 개발된 KGT사의 Cupola 2000은 두 종류가 세계 각지에서 조업되고 있다(Cokeless cupola와 Cupola 2000은 영국 Cokeless Cupola사와 독일의 KGT사의 코크스를 사용하지 않는 큐포라의 상품명이다).

노의 구조는 그림 7과 그림 8에 나타내었지만, 어느 것이나 장입지금을 지지하는 코크스 베드의 대신으로 수냉강관제 grate를 설치하고 그 위에 소량의 세라믹스를 주체로 한 bed 재료를 둔다. 地金은 예열되면서 강하하고 축열된 bed재와 접촉해서 용해하여 용적으로 되면서 grate 간극으로 낙하한다. grate는 그 위에 장입되는 地金류의 중량에 대해 고온에서도 충분히 견딜 수 있도록 수냉하고 핀을 설치하여 보강하고 있지만, 강도 및 수명의 면에서 그렇게 길지 않고, 노경 즉 노용량이 제한된다.

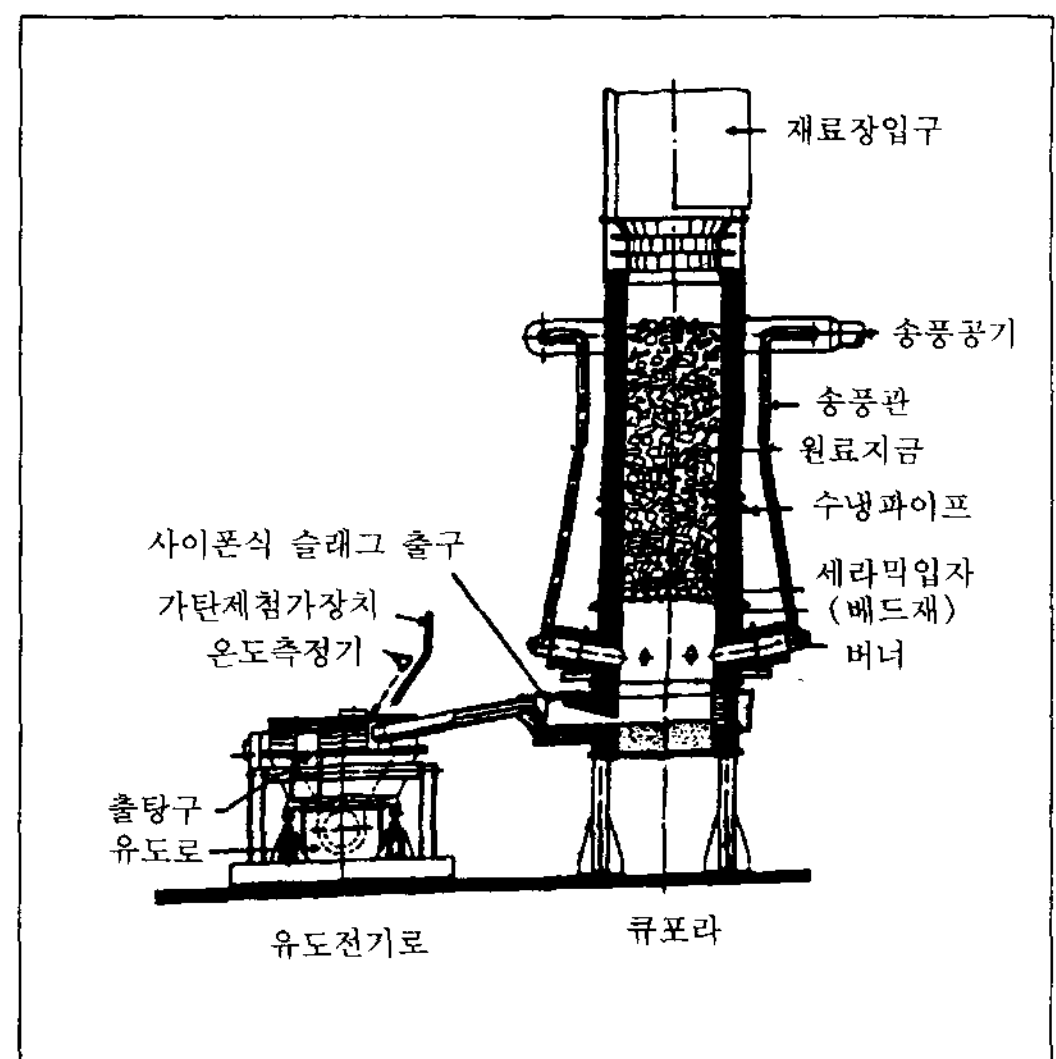


그림 7. 코크스를 사용하지 않는 큐포라의 구조(I)
(영국의 Taft가 설계한 Cokeless cupolar)

bed재로서는 cokeless cupola는 150mmφ, 중량 3.7kg 정도의 압축성형한 세라믹입자, Cupola 2000은 SiO₂ 60%, Al₂O₃ 40% 정도의 내화벽돌을 이용하고, 어느 것이나 조업도중 소모되기 때문에 장입지금과 함께 地金중량의 1~3% 정도 보급하고 있다. Cokeless cupola는 코크스 큐포라의 우구에 상당하는 위치에 버너를 설치하

여, 통상은 열효율을 최고로 하는 관점에서 출탕 온도를 낮게(1300~1350°C 정도) 조절하고, 유도가열을 하는 前爐를 두고 있다. Cupola 2000은 shaft 저부측방에 반사로부를 설치하고, 그 선단에 버너를 부착시켜 반사로부에서 용탕의 승온유지를 행하고 있다. 탄소, 규소 등의 함유성분의 조정은 grate와 노저와의 중간위치에 탄소재 혹은 합금철을 취입하던지, 전로 혹은 반사로부에 첨가하여 행한다. 연료는 천연가스로서 용탕 1ton당 50~70m³ 정도, cokeless cupola의 슬래그성분의 한 예를 들면 SiO₂ 41.3, CaO 22.6, Fe₂O₃ 16.8, Al₂O₃ 16.0, MgO 4.0(노의 라이닝재는 Al₂O₃ 70, SiO₂ 30%)이다.

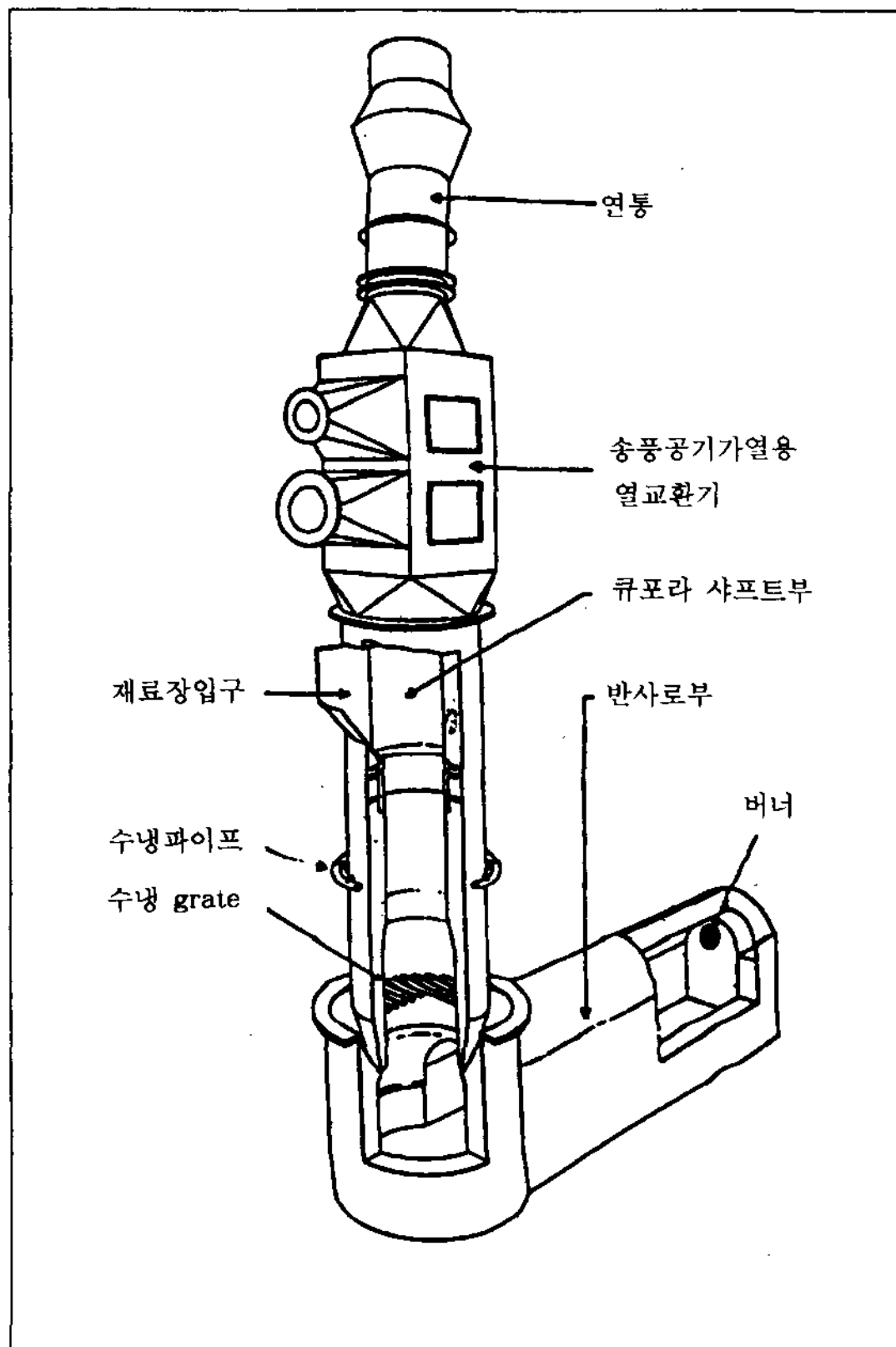


그림 8. 코크스를 사용하지 않는 큐포라의 구조(II)
(독일 Bardenheuer가 설계한 Cupolar 2000)

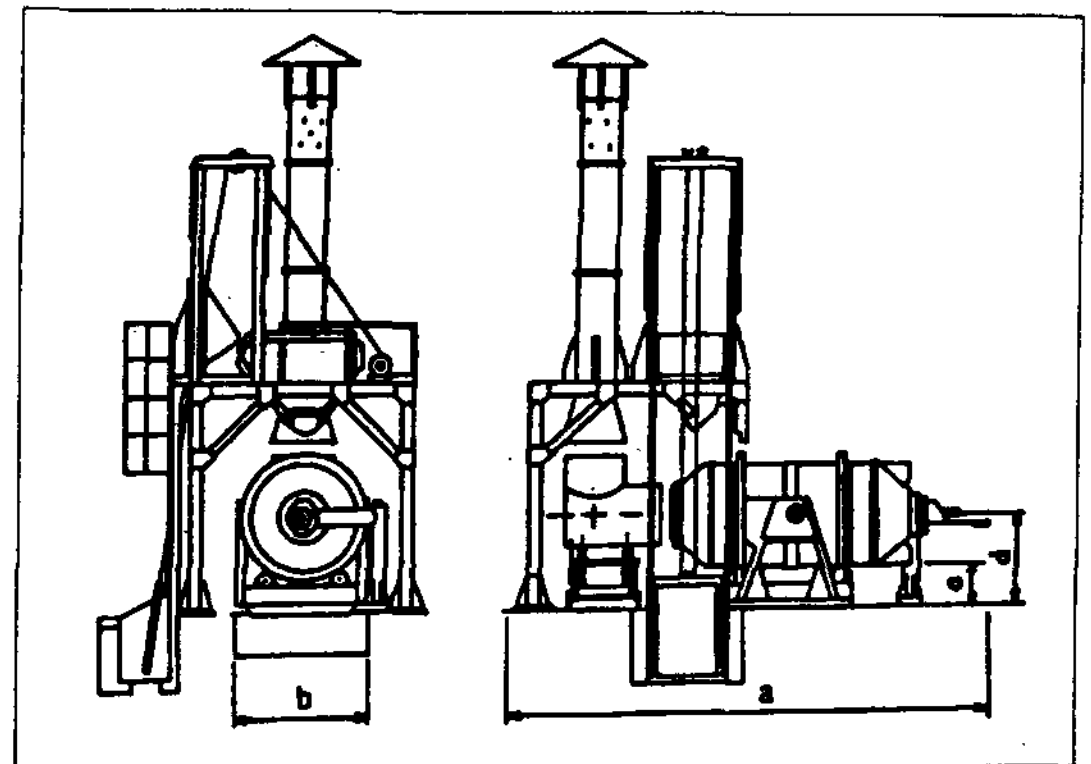
6. 회전용해로 (Rotary Furnace) 의 채택

큐포라처럼 shaft로는 아니지만, 근년 주로 유

럽의 중소 주물공장에서는 회전용해로의 사용이 급속하게 성장하고 있다. 이 형식의 용해로는 20세기 초기에 영국 및 독일에서 사용되었고 1970년경 일본에서는 독일 Fulmina사의 것이 사용되었지만, 고온의 용탕을 얻기 힘들고 라이닝의 소모가 크고 연료나 송풍공기 중에 포함되는 유황 혹은 질소가 SO_x 혹은 NO_x가스를 발생시켜 환경을 악화시켰고, 용탕의 재질이 열화되어 주조결함이 발생하기 쉬운 등의 결점이 있어 그렇게 널리 보급되지는 못하였다.

최근 공기대신에 산소를 사용해서 용탕온도의 고온화와 환경개선에 배려를 하여 라이닝재와 그 시행처리기술을 개발하여 장기간 사용에 견딜 수 있게 하였고, 더욱이 조업을 완전자동화하는 등 개량개발하였다. 그 중에서도 영국의 Sogemi사와 프랑스의 Air liquide사가 협력하여 개발한 것이 주목을 받고 있다.

노의 구조와 노체단면의 예를 그림 9와 그림 10에 나타내었다. 노체는 양단에 conical부를 가지는 원통형으로, 한쪽 단은 버너 부착구조로 조업종료시 배기가스를 연통으로 유도하는 통로가 된다. 재료장입 및 슬래그제거는 일반적으로 노체



용 량 (t)	각 부위 크기 (mm)			
	a	b	c	d
1	6500	1400	900	1600
2	6800	1600	800	1600
3	7800	1740	730	1600
5	9400	1950	700	1675
8	9800	2060	650	1680

그림 9. 스캐식 장입장치를 가진 회전로의 구조예

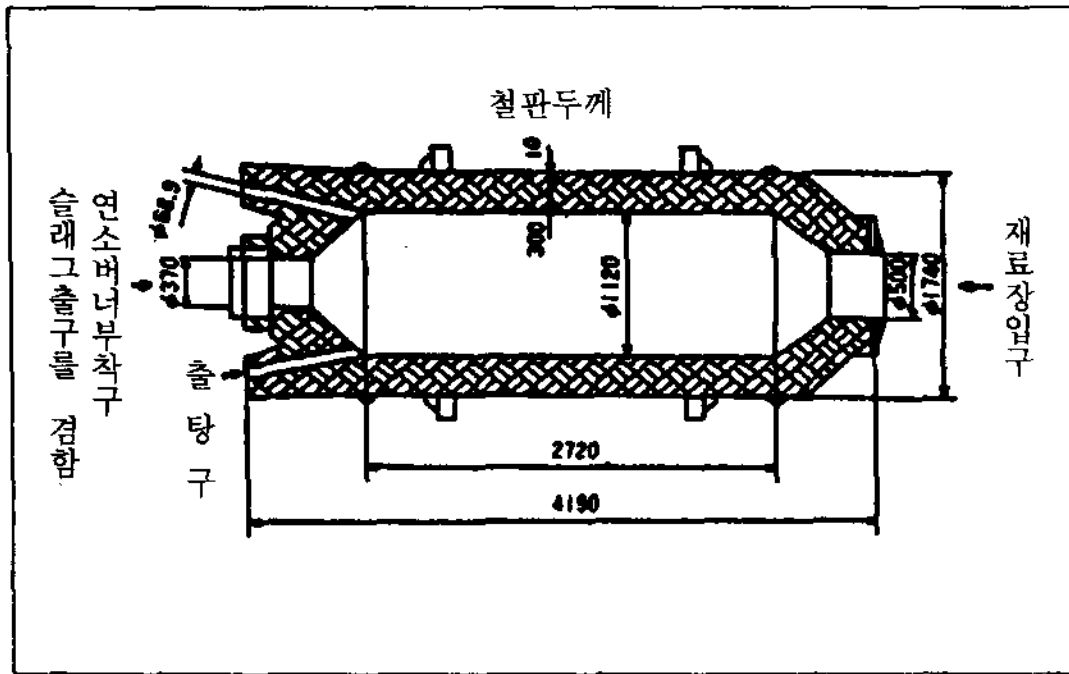


그림 10. 회전로(용량 3t)의 구조에

를 경사시켜 행하지만, 수평상태에서 재료를 압입하는 형식도 있다.

재료장입후 노체를 수평으로 유지하여 장입구를 연통과 연결하고, 다른 쪽 단에 버너를 부착하여 연소를 개시하고 노체를 원통축을 중심으로 회전시키면서 지금의 예열, 용해, 과열, 유지 등을 행한다. 출탕은 미리 내화점토로 봉해 놓은 출탕구를 열어서 행하고 노내용탕이 적어짐에 따라 노를 경사시켜서 최후에 잔류하는 슬래그를 전부 버너 입구로부터 제거한다. 버너는 3중구조로서 중앙에서 연료가스, 그 외측을 산소, 최외주에 물을 흘려서 냉각한다. 순산소를 이용하기 때문에 화염온도는 약 2850°C(공기연소의 경우는 약 1900°C)의 고온이 얻어지고, 연소가스량 및 NO_x 및 SO_x 배출량이 극히 적다. 노벽 내화물은 일반적으로 SiO₂-Al₂O₃계 산성 ramming재를 이용해서 소성처리에 의해 표면층을 세라믹화하고 있고, 원통부는 500회 이상, conical부는 25~50회 연속사용이 가능하다. 조업중 산소와 연료가스의 배합비(O₂ m³/gas m³×100)를 195~220 정도로 변화시켜 연소상태를 제어하고, 화염길이, 분위기의 산화환원 정도, 온도 등을 조정한다(2O₂+CH₄=CO₂+2H₂O가 평형하는 경우, O₂:CH₄=2:1 즉 배합비가 200). 가스 소비량은 1450°C의 출탕으로 용탕 1ton당 메탄 60m³, 산소 120m³ 정도이다. 산성 라이닝에서 造滓劑로서 소량의 규사와 석회석을 배합한 경우, 생성하는 슬래그는 SiO₂ 68.5, FeO 15.8, MnO 7.5, Al₂O₃ 5.0, CaO 0.5% 정도로서, 용탕의 성분감모량은 C 7~10, Si 15~20, Mn 30~35%로 약간 크다.

7. 스크랩 재생처리에의 대응책

최근 강재 scrap은 증가일로에 있고 그 회수처리가 문제시되고 있다. 또한 강재는 기계적 성질, 내후성, 절삭성 등의 특성을 향상시키기 위해서 제3의 첨가원소를 함유하고 있는 것이 증가하고 있어, scrap 재생처리시 제3의 합금원소의 제거처리가 검토되고 있다.

큐포라는 장입地金이 노밖으로 유출될 때까지의 소위 노내체류시간은 약 30분 정도로 그 대부분이 고체상태에서 CO와 CO₂를 포함하는 고온영역에서 하강하는데 소비되고 여기서 지금 성분의 산화가 진행된다. 이는 함유성분의 산화순실 및 용탕 중의 고체규소 등의 혼입현탁 등 용탕성상에 관계되지만, 강재에 포함되는 아연(Zn) 및 납(Pb)을 산화제거하는 작용도 있고, 이 점에서 scrap 재생처리로서 검토해 볼 가치가 있다. 예를들어 납쇄삭강을 원료지금에 배합한 경우 용탕중의 Pb의 잔류회수율은 고주파유도 전기로 40~50%에 비교하여 큐포라는 약 10%로 원료지금에 폐삭강을 배합하여도 슬래그의 Pb 함유량은 거의 변화하지 않고 배기가스에 다량의 PbO₂를 함유한다고 보고 된다. 또한 앞절(6절)에서 설명한 것과 같이 연소상태와 분위기 가스의 성분을 상당히 자유스럽게 제어할 수 있는 회전로도 미량원소의 제거에 유효하다는 것이 추정된다.

최근 독일 Mercedes Benz사는 오스트리아 Voest Alpine Stahl사와 공동으로 그림 11에 나타내는 중고차 회수 plant의 계획을 제시하여, 용해로로서는 노경 3m 정도의 대형 gas cupola를 검토하고 있다. 또한 스위스의 Gorge Fisher사는 독일의 큐포라제작회사인 GHW사와 협동

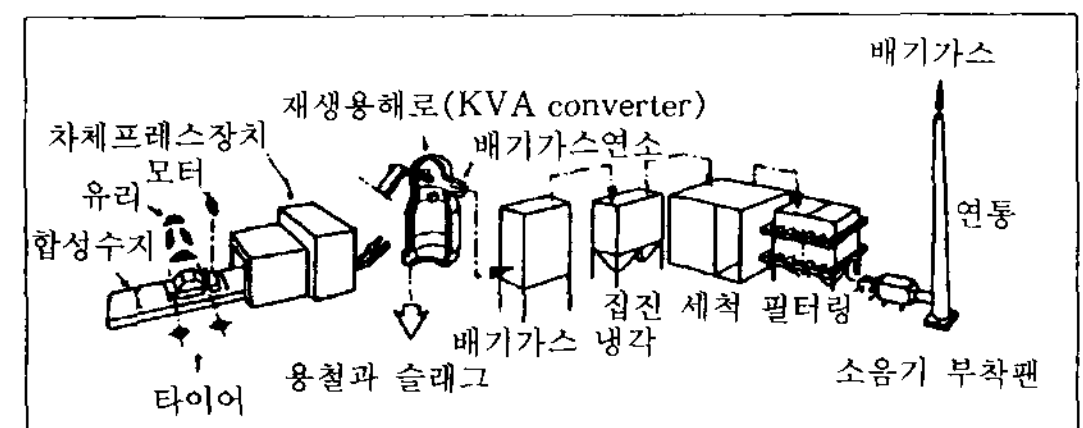


그림 11. Mercedes Benz사와 Vo EST-Alpine Stahl사에 의한 scrap 재생 Plant

으로 큐포라 배기가스 중의 매연을 우구에서 다시 노내에 압축공기로 불어 넣는 ventury식 장치를 개발하여 배기가스에 포함되는 ZnO를 농축 회수하는 것도 계획하고 있다.

참 고 문 헌

- 1. 石野 亨 : Cupola(新日本鑄鍛造協會),(1985) 129
- 2. 柿坂昭則 楠木 皓祐, 門脇 廣一郎 : 鑄物, 61 (1989) 443
- 3. G. Bauch and P. W. Bardenheuer :

- Giesserei, 78 (1991) 408
- 4. S. Katz : Preprint of BCIRA International Conference, No. 1 (1990)
- 5. R. T. Taft and J. Hendriks : Preprint of BCIRA International Conference, No. 6 (1990)
- 6. P. W. Bardenheuer : Preprint of BCIRA International Conference, No. 5 (1990)
- 7. F. Cavalleri, G. Tosi and A. Pedaci : Exchange paper of 58th WFC, No. 8 (1991)
- 8. H. G. Rachner : Giesserei, 78 (1991) 574
- 9. T. Ishino : Testus-to Hagane, 79 (1993) 343