

**10차시. 배출활동별 배출량 산정방법 및 산정
(공정배출 2)**

Review Question

답안지

1. 소다회는 합성소다회와 천연소다회가 있다. 각각 제조하는 공정을 설명하시오.

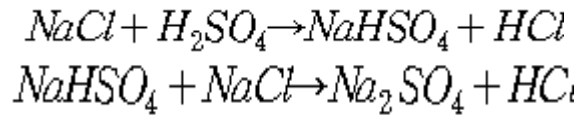
소다회는 일반적으로 소금을 원료로 하여 합성하는 합성소다회와 천연에 존재하는 탄산소다염을 정제하여 얻는 천연소다회 등이 있다. 소금을 원료로 하여 얻어지는 공업적 제법으로는 Leblanc 법, 암모니아 소다법(Solvay 법), 염안 소다법 등이 있다. 합성소다회는 대부분 암모니아 소다법으로 생산되고 있지만, 소금 자원이 부족한 나라에서는 염안 소다법 등이 발달되어 있다. 천연 소다회는 천연에 존재하는 탄산나트륨염을 주성분으로 하는 고체를 원료로 하여 제조한 것이다.

- 소다회 (합성소다회, 천연소다회) 제조 공정

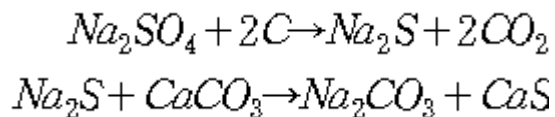
① 르블랑(Leblanc)법

Leblanc 법은 다음과 같이 두 단계로 진행되는데 1 단계에서는 소금과 진한 황산을 주철제 욕기내에서 200℃로 반응시키면 고체 NaHSO_4 만을 얻을 수 있다. 이때 소금을 처음부터 2 몰 혼합하여 반응시키면 고체 NaCl 의 1 몰이 먼저 반응하고, 1 몰은 남아서 NaHSO_4 와 혼합되어 있다. 이 혼합물을 내화물로 만든 로에 옮겨 다시 800℃로 가열하면 무수 망초(Na_2SO_4)와 염화수소가스를

얻는다. 이때 800°C로 가열하는 이유는 망초의 융점을 고려한 것이며, 부생되는 염화수소가스는 물에 흡수시켜 염산을 제조한다.



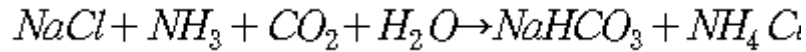
다음 제 2 공정에서는 무수망초에 석회석과 코크스를 혼합하여 반사로 또는 회전로에서 900 ~ 1,000°C로 가열하여 용해한다.



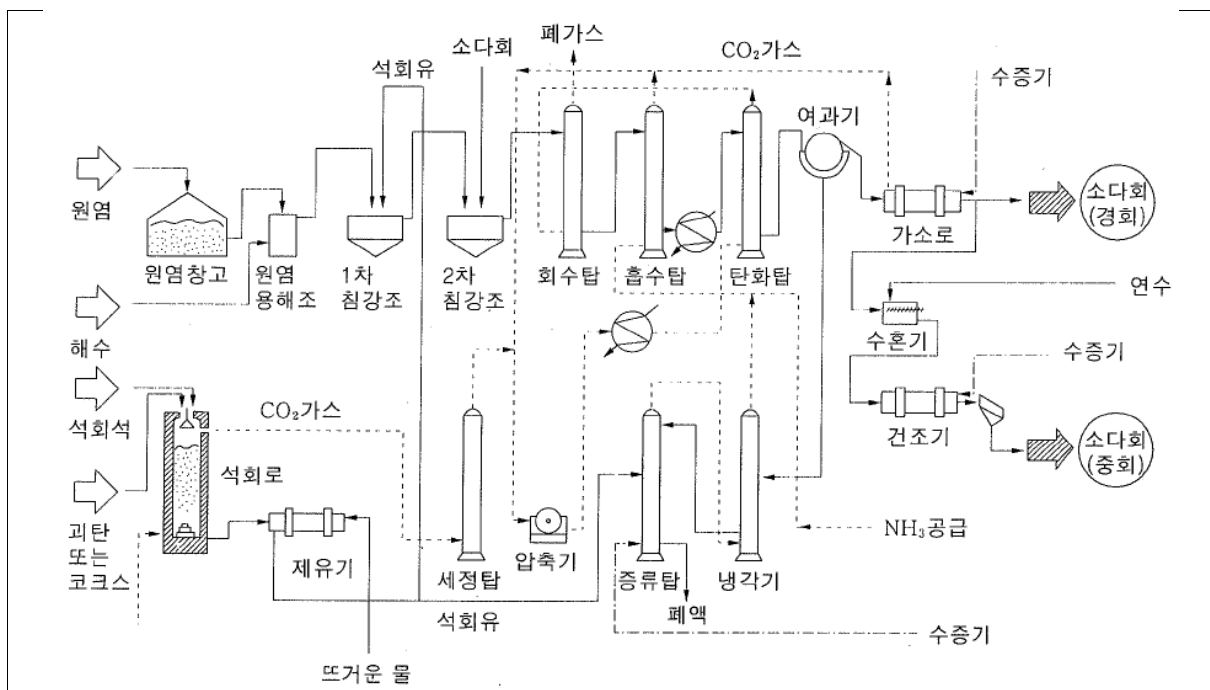
여기서 얻어진 용해물은 탄산나트륨과 황화칼슘의 혼합물로 미반응 코크스 등을 포함하여 회흑색을 띠므로 이 생성물을 흑회(black ash)라고 하고 그 조성은 Na₂CO₃ 45%, CaS 30%, CaO 10%, CaCO₃ 10%, 기타 5%로 되어 있다. 이 흑회를 약 35°C의 물에 침출시켜 탄산나트륨 용액 즉 녹액(green liquor)을 만들고 이것을 증발·농축해서 Na₂CO₃·H₂O 를 석출시켜 분리하고, 반사로에서 용해하지 않을 정도의 온도로 구워서 탈수하면 소다회가 된다.

② 암모니아 소다법(Solvay)

암모니아 소다법은 우선 소금 수용액(함수)에 암모니아와 이산화탄소 가스를 순서대로 흡수시켜 다음과 같이 용해도가 작은 탄산수소나트륨(중탄산소다, 중조)을 침전시킨다.



다음에 중조의 침전을 분리하고 200℃정도에서 하소하여 다음에 따라 제품탄산소다를 얻는다.



<그림. 암모니아 소다법 공정도>

암모니아 소다법에서 증조를 분리한 모액에는 NH_4Cl 과 미 반응의 식염이 함유되어있다. 이 모액에 남아 있는 나트륨의 이용률을 높이기 위하여 염안 소다법이 채용되기도 한다. 증조를 여과한 모액에서 염안(염화암모늄)결정을 분리하고, 여액은 순환시켜 재사용하여 식염의 이용률을 거의 100%에 가깝도록 개선한 방법이다. 증조를 분리한 여액에 우선 암모니아를 흡수시킨 후 식염을 더 용해시키면, 증조의 석출을 막고, 염안만을 석출시킬 수 있다. 염안 소다법은 암모니아 소다법과 비교할 때 석회로와 암모니아 증류탑이 필요 없고 대신에 염안 정출장치가 필요하다. 염안은 대부분 비료로 이용되고 있다.



<그림. 염안 소다법 공정도>

④ 천연 소다회 정제법

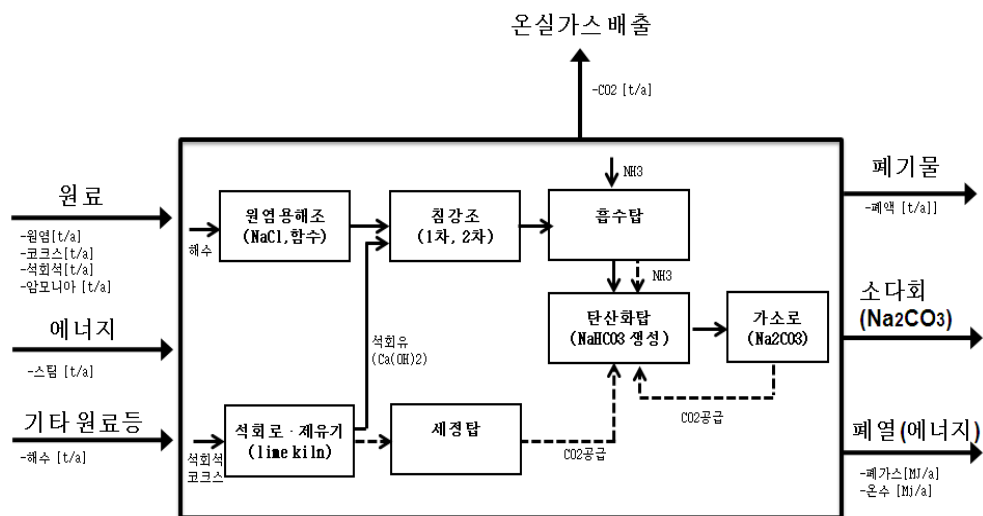
천연에 탄산염의 고체나 용액으로 존재하는 자원을 정제하여 탄산소다를 얻는 방법이다. 천연에 존재하는 탄산소다 관련 광물을 다음과 같다. 천연 소다회 광물로부터 소다회를 분리하는 정제법은 원광석중에 함유된 물에 불용성인 물질을 제거하기 위하여 먼저 소다회광물을 물에 용해한 후 불용성 성분을 분리 제거하고, 다음에 물에 가용성 불순물을 분리하는 순서로 정제한다.

2. 합성소다회 공정과 천연소다회 공정에서 배출되는 온실가스는 무엇인가?

합성소다회 및 천연소다회 공정에서 배출되는 온실가스는 CO₂이다.

3. 암모니아 소다회 공정의 원료는 무엇인가?

암모니아 소다회 공정의 원료는 원염, 코크스, 석회석, 암모니아(NH_3)이다. 암모니아 소다회 제조공정의 물질/에너지 수지 개요는 아래와 같다.

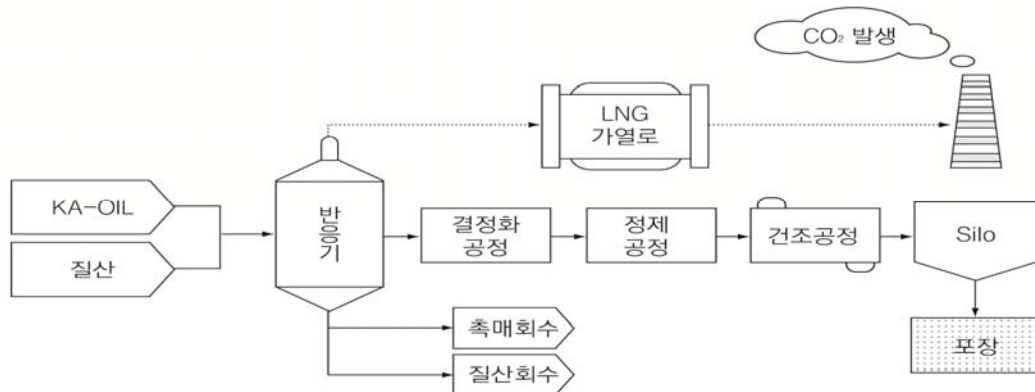


4. 아디프산은 어느 화학제품에 사용되는 원료인가?

아디프산은 유기산의 하나로 유화제, 안정제, pH 조정제, 향료 고정제로 사용되며 나일론, 폴리우레탄, 가소제 등 화학제품의 기초 원료이다.

5. 아디프산 제조공정은 5단계로 이루어져 있다. 공정의 흐름을 설명하고 각 공정에서 일어나는 현상에 대해 설명하시오.

아디프산의 일반적인 공정은 아래 그림과 같다.



- **원료 투입** : KA oil (ketone-alcohol oil, 사이클로헥세온 60%, 사이클로헥세인 40% 혼합용액)과 질산을 투입
- **반응 공정** : 산화반응기(Oxidation reactor)에서 KA Oil 과 질산이 혼합되며 반응 개시
- **결정화공정** : 반응공정의 생성물을 고체상의 결정으로 생산하는 공정
- **정제공정** : 아디프산의 순도를 일정하게 관리하기 위해 정제하는 공정
- **건조공정** : 조립공정에서 이송된 생산품을 고온으로 건조하는 공정
- **Silo 및 포장공정** : 일정크기로 선별하여 저장하고 포장하는 공정
- **가열로 공정** : 열분해(thermal destruction process) 과정을 통해 N_2O 의 99% 이상을 배출

6. 아디프산 생산공정에서 생기는 온실가스는 무엇인가?

아디프산 생산공정에서 생기는 온실가스는 N₂O 이다.

7. 아디프산 생성 시 원료로는 무엇이 사용되며 배합비율은 어떻게 되는가?

아디프산 생성 시 사용되는 원료는 KA oil 과 질산을 투입하며, KA oil 은 ketone-alcohol oil 로서, 사이클로헥세온 60%, 사이클로헥세인 40% 혼합용액이다.

8. 불소화합물 생산시설에서 배출하는 온실가스는 무엇인가?

불소화합물 생산시설에서 배출하는 온실가스는 HFC-23과 CO₂이다.

철강 제조공정은 크게 제선 및 제강으로 구분하며 제선공정은 철광석에서 선철을 만드는 과정으로 원료 공정, 소결공정, 코크스 공정, 고로 공정으로 구분한다. 제강공정은 선철을 이용하여 강철을 제조하는 전로공정과 철스크랩을 이용하여 강을 제조하는 전기로 공정으로 나눌 수 있다.



10. 철강 생산공정에서 배출하는 온실가스는 무엇인가?

철강 생산공정에서 배출하는 온실가스는 CO₂이다.

11. 철강 생산공정 중 배출시설에는 무엇이 있으며 각 공정들이 하는 역할은 무엇인가?

철강 생산공정 중 배출시설의 종류는 제 1 차 금속 제조회사' 중 코크스로, 전로, 제선로, 용광로, 소결로 등을 말한다.

① 코크스로

야금코크스는 부상된 코크스 오븐전지에서 석탄의 분해증류에 의해 제조된다. "Coking"이라 칭하는 증류는 무산소 상태의 일련의 오븐에서 진행된다. 휘발성 물질은 석탄에서 추출되고, 각각의 오븐에 모아지고 연소성 가스와 기타 석탄부산물의 회수를 위한 인접공정에서 진행된다. 코크스는 실리카성벽돌로 된 슬롯형태의 오븐에서 생산된다. 한 벌의 코크스오븐은 10~100 개의 일련의 오븐을 갖고 있으며, 이들의 오븐쌍 사이로 가열 연도가스(flue gas)가 흐른다. 오븐은 오븐 윗부분내의 배출구를 통해 각 벌의 위를 따라 궤적위로 larry car 에 의해 뺀 석탄을 넣는다. 송기관내 버너에서의 가스 연소는 오븐사이의 프로세스를 위한 열을 제공한다. 부산물회수 공정으로부터 코크스 오븐 가스는 대부분 공정에서 가열된 오븐을 위한 일반연료이지만 통풍로 가스와 때때로 천연가스가 사용되기도 한다. 일반적으로 12~20 시간의 "coking" 시간후에 대부분의 모든 휘발성 물질은 석탄으로부터 추출되고 코크스화가 진행된다. 코크스중심에서의 최대온도는 일반적으로

1,100~1,150°C 이다. 코킹후 전지 끝부분 트랙위에 위치한 기계류는 각각의 오븐 끝부분, 수직문으로 들어가고 긴 램(자동양수기)이 코크스를 오븐에서 레일형 급냉차로 밀어내는데, 거기에서 급냉탕으로 가서 수천갤론의 물이 코크스위로 냉각시키기 위해 뿌려진다. 차는 다음에 코크스를 더 많은 냉각과 물의 배출을 위해 장치를 따라 선창위로 코크스를 하역한다. 여기에서 코크스는 걸러지고 통풍로로 보내지거나 야외더미에 저장된다. 코킹과정동안 석탄으로부터 추출된 휘발성 물질은 오븐의 한쪽 혹은 양쪽 끝에 위치한 Offtake 에 의해 수집된다. 여기에 코크스, 오븐가스는 분리되고 세정되며 오븐을 가열하기 위해 반송된다. 회수된 코크스 중 40%만이 가열에 충당되고 나머지는 제철공정에 사용된다. 다른 석탄부산물도 재사용, 판매, 혹은 처분을 위해 부산물 공정에서 회수된다.

② 소결로

분체를 용점이하 또는 그 일부에서 액상이 생길 정도로 가열하여 구우면서 단단하게 해 어느정도의 강도를 가진 고체로 만드는 로를 말한다. 여기에서는 주로 금속정련 특히 용광로에서 널리 사용되는 분광괴성법으로서 미세한 분 철광석을 부분 용융에 의하여 괴성광으로 만드는데 사용되는 로를 말한다. 세계적으로 연속식인 DL 이 많이 사용되고 있다. 그 과정은 철광석, 석회석, 코우크스 등 각종 원료를 일정한 비율로 혼합기에서 혼합시켜 조립한 다음 이것을 로내에 장입하고 점화로에서 그 표면에 착화시키면 원료중의 코우크스가 연소되면서 1,300~1,480°C의 온도에서 소결이 진행되고 다시 냉각, 파쇄, 체질을 하여 용광로에 투입하기에 적당한 소결광으로 만들어 용광로에 보내진다. 연소용 공기는 공기속에 포함된 각종 먼지등 이물질들을 제거시킨 후에 소결로 옆에 붙어 있는 Wind box 를 통해 공급된다.

③ 용선로 또는 제선로 (고로)

철광석을 용해하여 선철을 생산하는 로로서 일반적으로 고로 또는 용광로라고 한다. 본체는 원탑형으로 되어 있으며, 외체는 두꺼운 철판으로 되어 있고 내부는 내화벽돌로 두껍게 쌓여져 있다. 원료로는 철광석, 코우크스, 석회석 등이 사용된다. 이들 원료는 운송장치에 의하여 자동으로 로상부에 운반되어 장입된다. 로내의 온도는 상부 200~300℃이고 하부로 내려갈수록 고온이 되어 송풍구 부분에서는 1,500~2,000℃에 달한다. 철광석은 하부에서 올라오는 고온의 코우크스 연소가스에 의하여 가열되며, 가스중의 CO 에 의해 간접환원되면서 하강한다. 그 후에는 코우크스의 탄소에 의하여 직접 환원되어 선철로 용해되면서 최하부의 탕류에 부분에 모이게 된다. 한편 장입원료중 맥석 등 불순물은 대부분 용해되어 석회석과 화합하여 광재가 되고, 이것은 비중이 가벼우므로 탕류부분 용선의 상층으로 부상하게 된다.

④ 전로

용광로에서 제조된 선철(용선)을 정련하여 용강으로 만드는데 사용되며, 주로 탈탄 또는 탈인반응에 이용된다. 그 방법에는 산성전로법과 염기성전로법이 있으며, 원료로 용선과 소량의 고철을 사용한다. 산화제로는 순산소가스(순도 99.5%이상)를 이용하고 용제(Flux)로는 석회석과 형석이 사용되며, 초음속의 순산소제트를 용선에 불어넣어 약 40 분이내에 급속히 정련시키므로 비교적 제강시간이 짧고 고철의 사용비가 적다. 또한 생산비가 낮으며, 품질은 양호한편으로 순산소 상취전로(LD 로)가 전세계 조강생산의 약 60%이상을 점유하고 있다. 최근에는 BBM (Bottom Blowing Method) 또는 Q-BOP(Quicker Refining Basic Oxygen Process)라고 하는 저취전로가 가동되고 있기도 하다.

⑤ 전기로(전기아크로)

전기로는 크게 나누어 아-크로(Arc Furnace)와 유도로(Induction Furnace)가 있으며, 아크로는 주로 대용량의 연강(Mild Steel) 및 고합금강의 제조에 사용되고 유도로는 주로 고급특수강이나 주물을 주조하는데 사용된다. 아크로는 전기양도체인 전극(탄소봉)에 전류를 통하여 고철과 전극사이에 발생하는 Arc 열을 이용하여 고철 등 내용물을 산화·정련하며, 산화정련 후 환원성의 광재로 환원정련함으로서 탈산·탈황작업을 하게된다. 원료로는 선철이나 고철이 사용되며, 보통 1 회에 2~3 번의 원료투입(장입)이 이루어 지는데 원료투입시에는 로 상부의 선회식 뚜껑이 열리고 드롭보텀믹 바켓(Dropbottom bucket)에 담겨진 고철 등을 기중기를 이용하여 로 상부에 투입한다. 로의 형식에 따라 고정식과 경동식이 있으며 고정식은 출강구를 통하여 경동식은 로자체를 일정한 기울기만큼 기울여 출강한다.

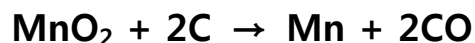
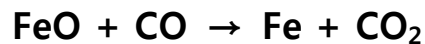
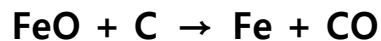
⑥ 평로

제선로(용광로)에서 만들어진 선철(용선)중의 불순물 제거, 탈탄처리, 합금원소 첨가등 정련작업을 하여 소정 품질의 강재를 생산하는데 사용되는 로를 말한다. 얇은 직사각형의 구조를 가지는 것이 보통이며 원료로는 중유, 미분탄, 발생로 가스 등을 사용한다. 제강용로중 비교적 규모가 큰편으로 대규모생산에 유리하나 단위생산성이 비교적 낮은 관계로 전세계적으로 감소추세에 있다. 로 바닥에는 백운석으로 채워져 있으며, 원료로는 선철 60% 그리고 편철류(Scrap) 약 40%로 구성된다. 원료투입시에는 먼저 석회석과 편철류를 투입하여 편철류를 완전히 용융시킨 다음 선철을 투입한다. 로 내부의 온도가 증가하면 석회석의 분해가 이루어지면서 CO₂ 가 발생되고 이 CO₂ 는 로 내부의 물질들을 서로 교반시키는 역할을 하게 된다. 강재의 성분조성 또는 탈탄작업을 위하여 산소를

주입하기도 한다. 한공정이 끝나기까지는 대략 8~10 시간 정도가 소요된다.

**12. 합금철 생산공정에서는 철과 하나 이상의 금속을
농축시켜서 합금을 제조한다. 합금철 공정에 대해 간략히
설명하시오.**

합금철의 제조는 처음에는 대부분 고로에서 이루어졌으나, 고로에서는 생산가능한 품종 및 제품규격이 한정되어 있기 때문에 전기로가 개발된 이후 합금철은 거의 대부분 전기로에서 제조되고 있다. 합금철 생산공정은 전기로에서의 전기열로 인하여 제련되고 탄소붕 탄소의 산화로 온실가스(CO₂)가 배출된다.



합금철 생산시 환원과 제련공정을 위해 원료와 탄소성 환원재, 슬래그 등이 배합되어 높은 열로 가열된다. 탄소성 환원제는 보통 석탄과 코크스이며, 일부 목탄(charcoal)과 나무 등이 사용되기도 한다. 코크스의 생산에서 나오는 CO₂ 와 CH₄ 등은 에너지 부문에서 보고되어야 한다. 일반적인 합금철의 제조공정은 다음과 같다.

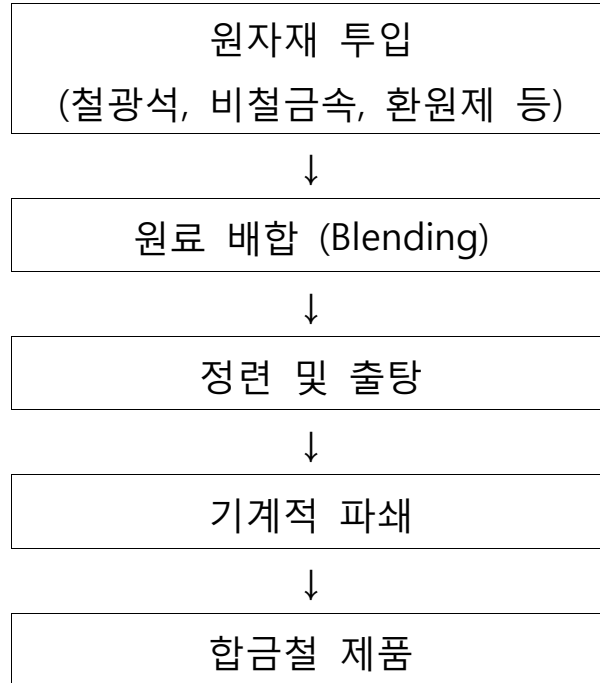


표. 합금철 제조공정 개요

13. 합금철 생산공정의 배출시설 종류에 대해 설명하시오.

합금철 생산공정의 배출시설은 '제 1 차 금속제조시설' 중 전로, 전기로를 말한다.

① 전로

용광로에서 제조된 선철(용선)을 정련하여 용강으로 만드는데 사용되며, 주로 탈탄 또는 탈인반응에 이용된다. 그 방법에는 산성전로법과 염기성전로법이 있으며, 원료로 용선과 소량의 고철을 사용한다. 산화제로는 순산소가스(순도 99.5%이상)를 이용하고 용제(Flux)로는 석회석과 형석이 사용되며, 초음속의 순산소제트를 용선에 불어넣어 약 40 분이내에 급속히 정련시키므로 비교적 제강시간이 짧고 고철의 사용비가 적다. 또한 생산비가 낮으며, 품질은 양호한편으로 순산소

상취전로(LD 로)가 전세계 조강생산의 약 60%이상을 점유하고 있다. 최근에는 BBM (Bottom Blowing Method) 또는 Q-BOP(Quicker Refining Basic Oxygen Process)라고 하는 저취전로가 가동되고 있기도 하다.

② 전기로(전기아크로)

전기로는 크게 나누어 아크로(Arc Furance)와 유도로(Induction Furance)가 있으며, 아크로는 주로 대용량의 연강(Mild Steel) 및 고합금강의 제조에 사용되고 유도로는 주로 고급특수강이나 주물을 주조하는데 사용된다. 아크로는 전기양도체인 전극(탄소봉)에 전류를 통하여 고철과 전극사이에 발생하는 Arc 열을 이용하여 고철 등 내용물을 산화·정련하며, 산화정련 후 환원성의 광재로 환원정련함으로서 탈산·탈황작업을 하게된다. 원료로는 선철이나 고철이 사용되며, 보통 1 회에 2~3 번의 원료투입(장입)이 이루어 지는데 원료투입시에는 로 상부의 선회식 뚜껑이 열리고 드롭보텀 바켓(Dropbottom bucket)에 담겨진 고철 등을 기중기를 이용하여 로 상부에 투입한다. 로의 형식에 따라 고정식과 경동식이 있으며 고정식은 출강구를 통하여 경동식은 로자체를 일정한 기울기만큼 기울여 출강한다.

14. 아연 생산공정 중 배출시설의 종류를 구분하고 각 배출시설이 하는 역할을 설명하시오.

아연 생산공정의 배출시설은 '제 1 차 금속 제도시설'중 배소로, 용융·용해로, 전해로 등을 말한다.

① 배소로

광석이 용해되지 않을 정도의 온도에서 광석과 산소, 수증기, 탄소, 염화물 또는 염소 등을 상호작용시켜서 다음 제련조작에서 처리하기 쉬운 화합물로 변화시키거나 어떤 성분을 기화시켜 제거하는데 사용되는 로를 말한다. 목적물이 각각 산화물, 황산염, 염화물인 경우 각각 산화배소, 황산화배소, 염화배소라고 부르며 산화물광석을 환원하는 환원배소, 물에 가용인 나트륨염으로 하는 소-다배소 등이 있다. 종류에는 다단배소로, Rotary Kiln, 유동배소로 등이 있다.

② 용융·용해로

금속을 용융·용해시키는데 사용되는 각종 로를 총칭하는 것으로서 용융로는 고상인 물질이 가열되니 액상의 상태로 되는데 사용되는 로를 말하며, 용해로는 액체 또는 고체물질이 다른 액체 또는 고체물질과 혼합하여 균일한 상의 혼합물 즉 용체를 만드는데 사용되는 로를 말한다. 용융로로서 대표적인 것이 용광로, 단지(Pot)로 등이 있으며, 용해로로서는 도가니로, 반사로, 전로, 평로, 전기로, 용선로 등이 있다. 여기서는 배출시설(해당시설)에 규정되지 아니한 용융로, 정련로, 단지로 등 각종 용융·용해로를 말한다.

③ 전해로

전해질용액이나 용융전해질등의 이온전도체에 전류를 통해서 화학변화를 일으키는 로를 말한다. 주로 비철금속 계통의 물질을 용융시키는데 이용되며 대표적인 것으로 알루미늄전해로가 있다. 알루미늄 전해로의 경우 빙정석이 사용되며 이는 원료인 알루미나에 대한 전해질의 역할과 로의 내면은 탄소로 입혀져 있으며 보통 직사각형의 구조를 가진 Shell 또는 Pot 형으로 되어있고, 그 내부에 탄소전극봉이 꽂혀있다. 탄소전극봉에서는 양극을 제공하며 로의 내면에 코팅된 탄소는 음극을 제공함으로써 양극사이에 전류가 형성된다. 이때 용융된 빙정석은 전해질 역할을 하게되고 두극사이의 전류의 흐름으로 인해 발생하는 저항열 때문에 로내의 온도가 유지된다. 보통 로내 온도는 950~1,000°C정도이며, 알루미늄은 음극쪽으로 모이게 되어 욕조의 표면 바로밑에 용융된 상태로 존재한다. 탄소전극봉은 반응기간동안에 형성된 산소와 Cell 은 사용되는 양극의 형태와 배열상태에 따라 구분되며, Pot 는 일반적으로 Prebakde(PB), Horizontal Stud Soderberg(HSS), Vertical Stud Soderberg(VSS)로 구분된다.

**15. 전자산업에는 반도체/LCD/PV 제조업이 포함된다.
웨이퍼 가공공정 중 배출시설을 구분하고 배출하는
온실가스의 종류를 설명하시오.**

전자산업의 웨이퍼 가공공정 중 배출시설은 '반도체 및 기타 전자부품 제조시설' 중 증착시설, 식각시설을 말한다. 배출하는 온실가스의 종류는 CF₄, C₃F₈, C₂F₆, C₄F₈, NF₃, CO₂ 이다.

① 식각시설

산이나 알칼리용액에 어떤 제품을 표현처리하기 위하여 담구거나 원료 및 제품을 중화시키는 시설을 말한다. 대표적인 것으로서 전자산업에서의 화학약품을 사용하여 금속표면을 부분적 또는 전면적으로 용해제거하는 부식(식각)시설이 있다.

② (화학기상)증착시설

반도체 공정에 주로 이용되는 화학기상증착법(CVD)은 기체, 액체 혹은 고체상태의 원료화합물을 반응기 내에 공급하여 기판 표면에서의 화학적 반응을 유도함으로써 반도체 기판 위에 고체 반응생성물인 박막층을 형성하는 공정이다. CVD 는 공정 중의 반응기의 진공도에 따라 대기압 화학기상증착(APCVD)과 감압 화학기상증착(LPCVD)으로 나뉜다. CVD 방법을 통해 얻어지는 박막의 물리, 화학적 성질은 증착이 일어나는 기판의 종류 및 반응기의 증착조건(온도, 압력, 원료공급 속도 및 농도 등)에 의하여 결정된다. 일반적인 CVD 장치는 크게 원료수송부, 반응기, 부산물 배출구의 세부분으로 나눌 수 있다. CVD 법에 의한 화학반응의 종류로는 이종반응(heterogeneous reaction)이 대표적인데, 이것은 반응이 기판표면에서 일어나 양질의 박막을

얻기 위한 필수적인 반응이다. 물질의 확산에 의해 기판으로 공급되는 반응물은 기판 표면에 흡착하게 되어 초기 핵형성(nucleation)이 진행되기 시작하며 핵의 크기가 임계크기 이상이 되는 조건에서 핵이 점차 성장하기 시작하여 박막이 형성되기 시작한다. 표면반응으로 인해 생길 수 있는 부생성물은 기판 표면으로부터 탈착하여 경계층밖으로 확산이 되면서 제거된다.