

1. 대기오염 물질

1-1 대기오염물질 정의

기류 중에 함유된 개체 입자를 분리 시키는 조작용 일반적으로 먼지제거라한다.

먼지는 주로 파쇄, 선별, 퇴적, 이적 기타 기계적인 처리또는 연소, 합성, 분해시 발생하는 고체상 물질을말한다. 특히 대기오염물질은 크게 가스상물질과 입자상물질로 구분한다.

가스는 물질의연소, 합성, 분해시나 물리적성질에 의하여 발생하는 기체물질을 말하며, 입자상 물질은 이들공정에서 발생하는 고체상이나 액체상의 미세한 물질로서 분진 또는 먼지(dust), 매연(smoke), 물방울(aerosol)등이다.

1. 먼지(DUST): 대기중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상물질

- 1) 분쇄, 여과등의 기계적인먼지
- 2) 연료의 연소과정에서 발생하는먼지
- 3) 화학반응, 소결, 가열, 용해, 용접등의 고체증발에의한먼지
- 4) size는0.001~500 μm 이나 대부분은 0.1~10 μm 의 크기이다.
- 5) brown 운동을 하는 크기는1~20 μm 이다.
- 6) 먼지의 농도는(단위부피당기체중에 함유한 입자의 질량)

저농도: 10mg/m³

고농도: 10g/m³

2. 매연(SMOKE): 연소시 발생하는 유리 탄소를 주로 하는 미세한 입자상물질. 0.01~1 μm

3. 흙(FUME): 고체 상태의 물질에서 발생 0.001~1 μm

4. 섬유(FIBER): 기계적인작용0.003 μm 이상

5. 검댕: 연소시 발생하는 유리 탄소가 응결하여 입자의 지름이 1 μm 이상이되는 입자상 물질

6. 악취: H₂S(황화수소) Mercaptane(머캅탄)류(-SH), Amine(-NH₂), 기타 자극성 있는 기체성 물질이 사람의 후각을 자극해 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새이다.

7. 미스트(MIST): 액체 물리적작용에의해발생, 액체의응축 0.01~20 μm

8. 포그(FOG): 액체 눈에보이는 미스트 0.01~20 μm

1-2 대기오염물질 종류

1. 대기환경보전법상의 대기오염물질 종류: 52종

입자상물질, 알루미늄 및 그화합물, 망가니즈화합물, 아연 및 그화합물, 안티몬 및 그화합물, 일산화탄소, 질소산화물, 황화수소, 이황화메틸, 아민류, 이황화탄소, 인 및 그화합물, 텔루르 및 그화합물, 아닐린, 브로민 및 그화합물, 바나듐 및 그화합물, 철 및 그화합물, 셀레늄 및 그화합물, 주석 및 그화합물, 바륨 및 그화합물, 암모니아, 황산화물, 황화메틸, 머캅탄류, 사염화탄소, 탄화수소, 붕소화합물, 벤젠, 스타이렌, 카드뮴 및 그화합물, 납 및 그화합물, 비소 및 그화합물, 구리 및 그화합물, 플루오린 및 그화합물, 니켈 및 그화합물, 다이옥신, 베릴륨 및 그화합물, 폴리염화바이페닐, 폼알데하이드, 벤지딘, 사이안화물, 크롬 및 그화합물, 수은 및 그화합물, 염소 및 그화합물, 석면, 염화바이닐, 페놀 및 그화합물, 프로필렌옥사이드, 클로로폼, 아세트알데하이드, 1,1-부타다이엔, 1,3-부타다이엔 등이다.

2. 대기환경보전법상의 대기유해물질 종류: 25종

카드뮴 및 그화합물, 사이안화수소, 납 및 그화합물, 폴리염화바이페닐, 크로뮴화합물,

(주)한국이엔지

비소및그화합물, 수은및그화합물, 구리및그화합물, 염소및염화수소, 플루오린화물, 석면, 니켈및그화합물, 염화바이닐, 다이옥신, 페놀및그화합물, 베릴륨및그화합물,

3. 대기환경보전법상의 악취성물질 종류: 8종

암모니아, 메테인싸이올, 황화수소, 황화이메틸, 이황화이메틸, 이황화탄소, 트라이메틸아민, 아세트알데하이드, 스타이렌,

4. 대기환경보전법상의 처리부과금대상오염물질 종류: 10종

황산화물, 먼지, 암모니아, 황화수소, 악취, 이황화탄소,

5. 대기환경보전법상의 특정유해물질

플루오린화물, 염화수소, 염소, 사이안화수소.

1-3 대기오염방지시설 종류

1. 타입별분류

- a. 건식 타입
- b. 반건식타입
- c. 습식 타입(세정수를 사용)

2. 목적별분류

- a. 먼지제거장치
- b. 유해가스처리장치

A. 먼지제거장치

- 1) 중력식
- 2) 관성력식
- 3) 세정식
- 4) 여과식
- 5) 전기식
- 6) 음파식

B. 유해가스처리장치

- 1) 흡수이론응용: 가스에서 액체까지의 물질전달현상
- 2) 흡착이론응용: 가스가 고체에부착되는현상
- 3) 연소이론응용
- 4) 촉매반응이론응용
- 5) 응축이론응용
- 6) 오존이론응용

A. 중력집진장치

함진가스중의 입자 $50\mu m$ 정도의 크기를 중력에 의해포집

- 장점** 설비유지비가저렴
압력손실이적음
먼지부하가높고 고온가스의 처리에용이
- 단점** 미세먼지의 포집 효율이 낮음
먼지부하변동 및 유량변화에대한 적응성이낮다.
시설규모가크다

B. 원심력집진기

함진가스에 회전운동을 주어 입자에 작용하는 원심력을이용먼지를 분리한다.

- 장점** 구조가 간단하며 설치공간이적게소요.
고온가스 처리가 가능
보수유지비용이적음
- 단점** 미세분진의 포집 효율이 낮음
처리가스의 온도, 압력, 가스의종류에의한 영향력이크다.

(주)한국이엔지

정착성, 부식성, 마모성가스에는부적합.

C. 여과식집진기

함집가스를 filter에통과시켜 입자를 분리 포집

- 장점** 집진율이 우수하다.
 압력손실이적다.
 취급이간단하다.
 여러종류의 분진을 포집가능 하다.
- 단점** 습윤환경에는 적용곤란하다.
 고온의가스나, 부착성이있는 가스에는적용곤란.
 보수유지비용이높다.
 설비비가 비싸다.
 폭발의위험성및 화재발생가능성이 있다.

D. 전기집진장치

고압직류의 전기를이용 전극판내에 전계를 형성시키고 코로나방전을 발생시켜 가스중의 입자를 하잔하여 하전된 입자가 "쿨롱"효과에 의하여 집진극으로 이동시켜 분리 한다

- 장점** 집진효율이높다
 압력손실이적다
 고온가스의 처리가가능하다(약500℃)
 대량의 가스처리가능
 연속운전이가능하다.
- 단점** 초기 주어진 조건에서의 운전 조건 변동이 어렵다.
 초기시설투자비용이높다
 시설규모가 크다.
 근무자의 안전성에유의 해야한다.
 보수유지비용높고 운전 관리가 어렵다.

E. 세정집진장치

습식집진이라불리우며 세정액을 분산시키거나 또는 함집가스를 세정액에 분산하여 생성시킨액막, 액적, 기포 등에의하여 함집 가스중의 먼지또는유해가스를 포집한다.

- 장점** 먼지의 재비산이 없다.
 분진의종류 가스의종류, 습도등에 대하여 영향을 받지않는다.
 유해가스와분진을 동시처리가능하다.
 구조가 간단하며 설치공간이적게소요.
 고온가스의 처리가가능하다
 가연성, 폭발성먼지를 처리할수있다.
 미세분진의 포집 효율이 높다.
 부식성가스와 먼지를 중화시킬 수 있다.
- 단점** 급수및 폐수설비가필요하다.
 소수성분진은 효율이적다.

(주)한국이엔지

1-4 배출시설별 입경범위

1. 생석회 소성용 석회석 킬른: 석회미세먼지 2~40 μm
2. 용광로: 광먼지 0.1~10 μm
3. 납 정련용광로: SiO_2 0.1~10 μm
4. 제강평로: 산화철 0.02~0.5 μm
5. 미분탄 보일러: Fly ash 2.5 μm 이상
6. 비철금속 정련소결로: 0.5~100 μm
7. 비철금속 정련용해로: 0.5~10 μm
8. 비철금속 정련전기로: 0.05~5 μm
9. 시멘트킬른로: 0.5~100 μm
10. 유리용해로: 0.02~5 μm
11. 도자기가열로: 0.03~50 μm
12. 황산원료건조기: 1~100 μm
13. 황산반응탑; 1~10 μm
14. 안료분쇄기: 0.1~10 μm
15. 제분공정: 1~100 μm
16. 방적기계: 5~50 μm
17. 카본분해로: 0.03~0.07 μm

1-5 입지상 물질별 입경범위

1. 주물사: 200~1000 μm
2. 비료용석회: 30~80 μm
3. 금속정련FUME: 0.1~100 μm
4. 알카리FUME: 0.1~2 μm
5. 산화아연FUME: 0.03~0.3 μm
6. 황산MIST: 1~10 μm
7. SO_3 MIST: 0.5~3 μm
8. 염화암모늄 SMDG: 0.1~2 μm
9. 기름 SMOKE: 0.03~1 μm
10. 수지SMOKE: 0.01~1 μm
11. 담배SMOKE: 0.01~0.15 μm
12. 카본 SMOKE: 0.01~0.2 μm
13. 안개 SMOKE: 1~40 μm
14. 주물공장 날림 DUST: 1~200 μm
15. 시멘트 날림 DUST: 1~150 μm
16. 곡물 DUST: 15 μm
17. FLY ASH: 3~80 μm
18. 안료: 1~8 μm
19. 연탄가루날림DUST: 10~400 μm

(주)한국이엔지

2. 유해가스 발생원인 및 처리방안

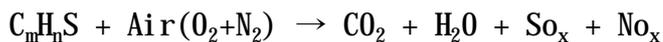
대표적인 유해가스의종류

1. 황산화물(SO_x)
2. 질소산화물(NO_x)
3. 염소 및 염소화합물
4. 플루오린(F₂), 플루오르화규소(SiF₄), 플루오르화수소(HF)
5. 기타 대기오염물질

2-1. 황산화물(SO_x)

황산화물은 SO_x로 표기되며 SO₂ 또는 SO₃로 대부분 1차적 오염물이며 주 배출원은 화석 연료의 연소에 의하여 방출된다. 황산화물의 발생원은 주로 석탄의 연소, 석유의 연소, 원유의 정제를위한 정유공장 등, 인공원으로부터의 방출에 의한다.

황산화물은 대기오염물질 중 가스상태의 것으로서 가장 문제시되는 것으로서 자연적으로 발생하는 것과 인위적으로 발생하는 것으로 크게 구별할 수 있다. 자연적인 발생의 경우는 화산의 폭발과 같은 예를 들 수 있으며 인위적인 발생의 경우는 대부분이 화석연료의 연소에 의하여 발생된다. 이와 같은 황화합물은 SO₂, SO₃, H₂SO₃, H₂SO₄와 같은 황산화물과 CuSO₄, CaSO₄, MgSO₄와 같은 황산염을 처리하는 과정에서 마지막의 생성물로서 배출되게 된다. SO₂는 타지 않는 무색의 기체로서 공기중에 약 0.5ppm 이상의 농도로 존재할 때 냄새를 감지하게 되며 SO₃는 SO₂의 생성시 약 40~80분의 1정도로 발생되기 때문에 이들 황산화물의 혼합물을 SO_x로 표시하며 SO_x의 오염물의 양을 산출할 때에는 SO₂로서 산출한다. 이와 같은 황산화물의 혼합물의 생성반응은



과 같이 표기할 수 있다. 즉, 연료(C_mH_nS)중에 황의 성분이 존재하면 공기중의 산소와 반응하여 황산화물이 생성되는데 이 중 이산화황(아황산가스)은 대기중의 산소와 반응하여 삼산화황이 만들어지게 된다. 또한 이산화황과 삼산화황은 대기중의 수분과 반응하여 아황산 및 황산을생성한다.

이와 같은 황산화물의 발생을 통제하기 위하여는 무엇보다도 원유의 저황화이다.

이는 황산화물의 배출원인 물질이 화석연료중의 황성분이기 때문이다. 국내에서는 원유의 생산이 전혀없기 때문에 외국에서 원유를 전량 수입에 의존하고 있으므로 원유속의 황의 함량이 낮은 것을 도입함으로써 황산화물의 발생을 억제할 수가 있다. 특히 그동안 국내로 수입한 원유의 경우는 중동산이 약 3% 정도의 황함유율을 갖고 있으며 산지에 따라서는 1.5% 이하의 경우와황의 함량이 거의 없는 것이 있어 국내에서의 대기오염과 관련하여 근래에는 수입하는 원유속의 황함량은 거의 1% 이하의 것을 도입하고 있다.

원유는 정제되어 나프타, 휘발유, 등유, 경유, 중유, 아스팔트(피치)로 구분되는데 이중 황의함량이 가장 큰 것이 중유로 중유속의 탈황을 위한 비용이 많이 들지만 황산화물의 발생을 감소시킬 수가 있는 것이다.

탈황을 위한 비용이 많이 들지만 황산화물의 중심적인 대책이 될 수밖에 없다. 특히

(주)한국이엔지

국내에서는 최근 들어 중질유 분해공장이 건설되어 환경오염문제를 해결하는데 큰 도움이 되고 있다. 또 다른 방법의 배연의 탈황으로 우리나라에서 적극적으로 처리되어야 될 사항이다. 과거의 우리나라에서의 경제개발계획에 의거 많은 공장들이 환경오염에 대한 평가가 없이 무분별하게 건설되어 많은 대기오염물을 발생시켰다.

그러나 오늘날의 공장이라든가, 기타의 여러 공중시설 등이 모두 사전에 환경영향평가를 실시하건설되므로 여간 다행한 일이 아니다. 배연의 탈황은 배출되는 연기속의 황산화물을 제거하는 방법으로 일본 등의 여러 나라에서 이용되고 있는 방법으로 우리나라에서도 적극 권장되고 또한 이에 따른 배출허용기준도 강화되어야 할 것으로 생각되는 방법이다. 다음의 방법이 동력원의 대체로서 현재의 화석연료의 사용을 억제하고 새로운 대체에너지의 개발이 절실히 요구된다. 특히 새로운 에너지원으로서 태양열을 이용한 태양에너지라든가, 수력, 원자력, 조력, 풍력과 같은 청정에너지의 개발이 대기오염으로부터 우리를 해방시켜줄 것이다. 또한 과거의 방법으로서 높은 굴뚝에 의한 확산을 이용한 것으로 과거에 대기오염에 대한 규제가 거의 없던 시절 대기오염으로 인한 지역주민과 분쟁을 해결하기 위한 한 방법이다. 그러나 대도시나 공업단지와 같은 곳에서는 효과를 거두기 어려운 것으로 국소적으로 배출원이 한정되어 있을 때 적합한 방법이지만 궁극적으로는 대기오염물의 처리가 이루어지지 않기 때문에 좋은 방법이 되지 못한다. 배출가스 중의 탈황은 처리방법에 따라 흡수법, 흡착법, 산화법 등으로 구분하며 건식법은 흡착법, 금속산화물을 이용한 흡수법, 촉매에 의한 접촉 산화법이 있으며 습식법으로는 수산화나트륨 또는 아황산나트륨을 이용한 알칼리 흡수법, 암모니아를 쓰는 암모니아 흡수법, 석회의 슬러리를 이용한 석회수법이 있다.

2-1-1. 정유 과정의 탈황

중유 탈황 방법은 대기중의 SO_2 는 거의 전부가 연료속의 황성분이 원인이며 중유C유의 4% 가까이 함유되어 있는 것은 대기오염방지에 큰 문제가 되고 있다. 따라서 SO_2 오염도를 떨어뜨리자면 반드시 탈황을 해야한다.

탈황방법은 접촉수소화 탈황, 접촉산화물에 의한 생화학적 탈황, 미생물에 의한 생화학적 탈황과 방사선 화학탈황이 있다. 접촉수소와 탈황 이외에는 거의 기초 단계이며 접촉 수소화 탈황법만이 실시되고 있는 방법으로 다음 3가지 방법이 현재 사용되고 있다.

1) 직접 탈황법

Redlemax법, Hoil법, Gulf HDS법 등 이 방법은 원유 자체에 접촉독이 있어 탈황반응을 방해하기 때문에 인독성 촉매를 첨가하여 중유를 고온, 고압 수소의 존재하에 반응시켜 S_8 과 H_2S 로서 제거한다.

그러나 이때 많은 양의 수소가 필요하며 또한 유해한 H_2S 를 대기로 배출하므로 탈황 장치의 본체외에 수소제조 장치와 H_2S 를 처리하여 무해한 황으로 회복하는 장치가 필요하다. 그 외에 NH_3 (암모니아)를 발생하므로 유안으로 회복하는 유안 제조장치도 설치해야 한다.

(주)한국이엔지

2) 간접 탈황법

원유의 상압 잔유를 일단 감압 증온시켜 촉매독 감량이 적은 경유와 감압 잔유로 분해하여 경유만을 탈황한 후 이 탈황유를 감압 잔유와 재조합하는 방법이다.

3) 중간 탈황법

간접법의 탈황 효과를 향상시키기 위하여 감압증류로서 분리한 감압 잔유를 경제 탈황 장치에 걸어 아스팔트 또는 벤젠을 제거하고 감압 경유와 혼합시켜 탈황하는 방법이다. 간접법과 중간법은 직접법에 있어서 현저한 촉매의 피독을 어느 정도 낮출 수 있다. 중유의 탈황 반응은 3방법 모두 반응온도 350~420℃ 수소화 압력 50~220kg/cm²의 조건에서 시행한다.

일반적으로 직접법의 탈황률은 간접법보다 1.5~2배로 탈황효과가 높다.

2-1-2. 배출가스의 탈황

배출가스중의 SO₂를 제거하는 방법은 건식 흡수법 습식 흡수법, 흡착법 및 산화법이 있다.

1) 건식 흡수법

석회 흡수법은 소석회, CaCO₃의 분말을 1000℃가 넘는 보일러의 연소실에 직접 주입하면 열분해해서 CaO의 분말이 된다.

이것이 연소 가스중의 SO₂ 및 O₂와 반응해서 CaSO₄가 되며, 생성된 CaSO₄와 미반응 흡수제는 먼지제거장치로 제집한다. 또 CaSO₃ 대신 백운석(MgCO₃, CaSO₃)이 사용되기도 한다. 장점은 소규모 및 오래된 보일러에서 많이 사용되며, 배출가스 온도가 떨어지지 않는다. 단점은 미반응 석회석 가루가 전기 집진기의 효율을 감소시키고, 석회석과 배기중의 회분이 응결되어 압력 손실과 열 전달을 낮추며, 제거 효율이 낮다.

(접촉 시간이 짧으므로). 그리고 황성산화망가니즈법은 이 분말은 흡수탑 속을 배출가스에 의하여 기류 수송되는 사이에 SO₂와 O₂반응해서 MnSO₄를 생성한다.

2) 습식 흡수법

흡수제를 물에 용해 또는 현탁시켜 배출가스와 접촉시키는 다음과 같은 방법이다.

① 석회법은 석회석(CaCO₃) 또는 Ca(OH)₂의 현탁액으로 배출가스와 접촉시켜 SO₂를 흡수 제거하고, Na₂SO₄법은 Na₂SO₃ 수용액에 배출가스를 접촉시키면 SO₂가 흡수되어 NaHSO₃가 생성된다. 여기에 가성소다를 가하면 Na₂SO₃가 재생되며 일부를 순환 사용하고, 나머지는 부산물로 회수된다.

② 아황산칼륨법은 흡수제로서 K₂SO₃ 수용액 사용해서 이것을 배기와 접촉시키면 SO₂를 흡수시켜 KHSO₃가 된다. 흡수 후 용액을 방산탑에 보내서 가열하면 SO₂가 분해하여 부산물로 회수된다.

③ 암모니아법은 SO₂를 NH₃와 수용액에 반응시켜 황산암모늄이나 아황산암모늄 등으로 만들어 처리하는 방법으로 값이 저렴하고 재생하기 편리하며 반응 생성물의 처리가 용이하다.

(주)한국이엔지

3) 흡착 및 산화

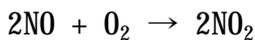
①활성탄 흡착법은 입상 활성탄층에 SO_2 를 포함한 약 100°C 의 배출가스를 통과하면 SO_2 와 O_2 가 활성탄에 흡착되며 산화되거나 SO_3 를 만든다. 계속해서 SO_3 는 수증기와 결합해 H_2SO_4 로 고정된다.

2-2. 질소산화물(NO_x)

질소산화물은 NO_x 로 표기되며 NO , NO_2 , NO_3 , N_2O_3 , N_2N_4 , N_2N_5 이며 공기중의 질소와 산소가 연료의 연소시 반응하여 생성된다. 특히 연료의 연소시 고온에서는 식(3.2)처럼 NO 가 생성된다.



또한 저온에서는 식(3.3)처럼 NO_2 가 생성된다.



이와 같은 질소산화물은 1차적 대기오염물로서 대부분이 연료의 연소시에 발생되며, 이 NO 로서 약 90%를 차지하고 나머지는 NO_2 로서 자동차 연료의 연소시에 주로 발생되며, 대부분각종의 공장, 발전소의 순서로 많은 양을 배출한다.

질소산화물은 황산화물과 같이 대기오염에 있어서 대단히 중요하게 다루어지고 있는 유해가스의 하나로 질소와 산소가 결합되어 있는 상태로 여러 가지의 화합물의 존재가 알려지게 되었다. 특히 연료의 성분 가운데에 질소가 함유된 경우와 연료의 연소시에 공기중의 산소와 질소가 서로 반응하여 생성된 경우로 크게 구분된다.

연료중의 질소의 함량은 석탄, 석유가스의 순서로 석탄 속에는 질소가 많이 함유되어 있다. 따라서 석탄의 사용감소는 질소산화물의 발생을 억제하는 하나의 좋은 방법이다. 따라서 연료를 전환시킴으로서 질소산화물의 발생을 억제할 수가 있게 된다.

질소산화물은 과거의 LA스모그 사건이 있는 후로는 우리에게 더욱 더 심각하게 받아들여졌으며, 오늘날에는 산성비의 한 원인물질로서 중요하게 취급하지 않을 수 없다.

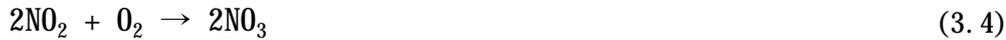
따라서 질소산화물은 주로 연료의 연소에 의하여 다량 발생된다는 사실은 자명한 것으로서 연료의 성분중의 하나인 질소에 의한 오염과 공기 중의 질소의 산화에 의한 원인이 함께 작용하는 과정에서 생성되는 질소산화물은 NO , NO_2 , N_2O_3 , N_2N_5 등의 화합물이다. 보일러 등의 일반 연소장치에서 발생하는 연소가스의 질소산화물에 대한 일산화질소의 용량비는 90~95% 정도로 배출가스 중의 질소산화물은 대부분이 일산화질소로 되어있다. 일산화질소(NO)는 무색, 무취의 기체로서 물에는 거의 녹지 않고 있으며 생물에 대한 영향에 대하여는 아직 충분히 밝혀지지 않았으나, 이산화질소보다는 독성이 작은 것으로 알려져 있으며 대기중에는 비교적 적은 양으로 인체에 해가 될 정도는 아니다. 특히 대기중의 산소와 결합하여 이산화질소가 되어 LA스모그와 같은 광화학적 연무를 형성하는 중요한 물질이다.

(주)한국이엔지

이산화질소는 적갈색의 기체로서 냄새가 있으며 인체에는 해롭다.

2-2-1. NO_x 발생억제법

$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$ 의 반응은 온도가 높을수록 촉진되며 1100℃가 넘으면 급격히 NO₂로 증가하다가 그후 배출과정에서 NO₂의 일부는 식(3.4)처럼 NO₃가 된다.



NO_x의 방지책으로는 발생 억제기술, 배출가스 중 탈질소 기술이 있다.

2-2-2. 발생 억제기술

저산소 연소법은 공기량이 많을수록 NO_x도 많다. 과잉 산소농도 1~3% 정도(공기비 1.05~1.10으로 억제하여 저산소로 연소)로 연소시키는 방법이다. 이단 연소법은 이론 공기량의 85~95%로 불완전 연소시키고 그 이후 10~15%의 공기를 보내서 완전 연소시키는 방법, 즉 물질 온도를 낮춘다. NO_x의 생성량을 10~30%로 낮추는 효과가 있다.

배출가스 재순환법은 연소용 공기에 배출가스를 일부 혼합하여 O₂ 농도를 낮추는 방법이다. 이 때 재순환하면 연소온도가 낮아져 NO_x의 생성량이 10~30% 감소가 되고, 버너 개량법은 연소 온도를 균일하게 하여 NO_x의 발생을 감소시키는 방법이며, 연료 전환법은 연료중에 질소 성분이 적은 것부터 먼저 연소시키는 방법이며 연소 순서는 기체, 액체, 고체의 순이다.

2-2-3. 배출가스 중 탈질소 기술

습식법에는 흡수법, 황산흡수법과 환원법이 있으며, 흡수법은 물 또는 알칼리 용액에 의한 세정식 제거법이다. NO는 흡수되지 않기 때문에 우선 모두 NO를 NO₂로 산화한 후 제거한다.

황산에 흡수시키는 방법은 식(3.5)와 같다.



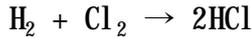
Na₂S₂O₃ 환원법은 Na₂S₂O₃, K₂S₂O₃, MgSO₃ 등의 용액에 NO_x를 함유한 배출가스를 통과시키면 N₂로 환원된다.

흡착법은 NO_x를 활성탄 등의 흡착제를 넣은 흡착탑에 의해서 제거된다. 활성탄 사용시 활성 속도와 흡착능력도 우수하나 폭발 위험이 있고 재생 활용하기가 곤란하다. 배출가스중 1~1.5%의 NO가 함유된 가스는 NO₂로 산화하여 실리카겔에 흡착하여 제거하며, 흡착후, 가열하여 NO₂와 실리카겔을 분리하여 NO₂를 회수하여 처리한다.

단 이방법을 사용하는 경우에는 사전에 먼지나 습기, 기타의 유해 가스를 제거한 후 사용해야만 한다. 수세법은 질소 산화물을 물로 세정하는 방법이고, 여러 시약을 함유한 물로 세정하거나 건식법인 접촉환원법은 촉매 존재하에서 H₂S, CH₄, NH₃, H₂ 등의 환원성 가스에 의해서 NO_x를 N₂로 환원시키며, 접촉분해법은 촉매 존재하에서 700~800℃로 분해시킨다. 분해속도가 느려서 이 법에서는 촉매 개발이 필요하다.

2-3. 염소 및 염소화합물

염소는 상온에서 연한 황록색의 자극성 냄새가 있는 유독한 기체로 액화하기 쉽고 20℃와 6.6atm에서 쉽게 액화한다. 화학적인 활성은 플루오린보다 약간 떨어지며, 질소, 산소와는 직접 결합하지 않는다. 수소와 섞여 있으면 반응하지 않으나 가열 또는 빛을 쬐이면 신속하게 반응한다.

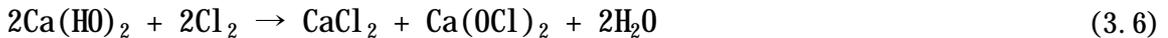


염소화합물 중 가장 일반적인 오염물은 염소 및 염화수소로서 이들은 모두 1차적 대기 오염물이다. 이들은 정유공업이나 표백과정 등에서 발생되며, 물과 반응하여 2차적 오염물질인 염산을 생성하기도 한다. 또한 식염수의 전기분해에 의한 염소의 제조, 염화바이닐의 합성 등의 염소화 공정, 염산의 합성, 염화아연 활성화법에 의한 활성탄의 제조에 있어서 미반응 또는 생성된 염소와 염화수소가 대기중에 방출될 염려가 있다. 염화수소는 무색의 자극성 있는 발연성기체로 끓는점은 -0.85℃이다. 염화수소는 물에 아주 잘 녹아 염산이 된다. 염화수소의 물에 대한 포화농도는 15℃에서 42.7%, 0℃에서 45.2%이므로 그 이상의 농도의 염산은 없다.

염소가 대량으로 소요되는 곳은 상하수도의 소독, 표백분, 차아염소산소다 등인데 염소는 산화력이 강하기 때문에 표백제, 탈취제로 효과가 있다. Pulp 제조공장에서 염소와 차아염소산소(NaClO)가 대량으로 필요하다. 이 외에도 유기염소계 농약, 염화바이닐의 제조에 사용된다. 염소가스는 주로 식염의 전기분해에 의해서 제조되는데 이 때에 다이옥신의 발생과 수은전극이 필요한 수은법은 문제가 있다.

1) 염소 농도가 낮고 배출가스량이 많을 경우

염소(Cl_2)가 NaOH 또는 Ca(OH)_2 와 반응하여 차아염소산나트륨을 생성시킨다.

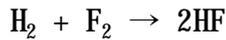


2) 염소를 회수하려면 활성탄, 실리카겔 등에 흡착

HCl의 농도가 낮을 때는 충전탑을 사용하며 HCl의 농도가 높을 때는 누벽탑을 사용한다.

2-4. 플루오린(F₂), 플루오르화규소(SiF₄), 플루오르화수소(HF)

상온에서 무색의 자극성 가스이며, 발연성 기체이고, 끓는점은 19.4℃로 높고, 아주 빨리 액화하기 쉬워 물에 잘 녹아 수용액은 플루오르화수소산이 된다.



플루오린화합물의 주 발생원은 낮은 약산이나, 많은 금속을 녹이거나 부식되며, SiO₂와 반응으로 SiF₄가 형성되는데, 이것은 상온에서 무색의 자극성 냄새가 있는 기체이고 물과 반응하여 SiO₂, H₂SiF₆가 된다.

플루오린화합물의 주 발생원은 Al 제련공장이다. 플루오린을 1/2이상 함유하는 빙정석(Na₃AlF₆)과 플루오르화알루미늄(AlF₃)을 넣은 전해욕에 알루미늄(Al₂O₃)를 가하여 1000℃ 전후에서 전기 분해하면 HF 등 대량의 플루오린화합물이 배출된다.



플루오르화수소(HF)는 형석(CaF₂)을 황산(H₂SO₄)으로 처리하면 만들어진다. 사플루오르화규소(SiF₄) 및 플루오르화수소는 매우 활성이 강한 오염물이며, 주로 정유공장, 제철공장, 비료공장, 도자기공장, 알루미늄공장 등에서 많이 발생된다. 플루오르화규소 및 플루오르화수소 처리는 물에 녹기 때문에 수세에 의해서 흡수 제거된다.

1) Ca(OH)₂ 흡수

HF 및 SiF₄는 물에 용해하기 때문에 수세에 의하여 흡수 제거된다.



2-5. 기타 대기오염물질

2-5-1. 탄소화합물

탄소화합물은 유기화합물로 분류하는 것이 보통이다. 그러나 오래전부터 일산화탄소와 이산화탄소는 무기가스로 분류되어 왔다. 특히 이산화탄소는 인체에 무해하지만 최근의 연구 결과에 의하면 지구의 온난화 즉, 온실효과(green house effect)에 커다란 영향을 미쳐 중요하게 다루어지는 물질로 연료의 연소에 의하여 발생되며, 인간을 비롯한 자연 동. 식물의 호흡에 의하여 생성된다.

(주)한국이엔지

따라서 온실효과를 막기 위한 한 방법으로 나무를 많이 심어 탄소동화작용을 증대시켜 이산화탄소를 탄수화물이나 기타의 고분자물질로 변화시키는 방법이 있다.

2-5-2. 산화제

오존 및 이산화질소는 대기중에 존재하는 무기물질이다. 특히 오존은 대기중에서 방전에 의해 자연적으로 생성되나 그 양은 그리 많지 않다. 대기의 상층부에 자리잡은 0.5~3.0cm의 오존층은 대단히 중요한 역할을 담당하게 되는데 태양으로부터 지구에 직접 들어오는 자외선을 차단해주는 역할을 하여 백내장, 피부암의 발생을 막아주고 있다. 인공 오존은 살균력을 갖고있어 물의 정수에 사용되기도 하며 산화제로 작용하여 금속의 부식 및 산화를 일으키게 되어 고무제품의 노화를 촉진하기도 한다.

2-5-3. 일산화탄소 (CO)

CO오염을 방지하는 가장 일반적인 방법은 이것을 산소 산화하여 CO₂로 만드는 것이다.

1) 연소법

CO량이 많으면 반응시 발생하는 열량을 회수해서 이용되어 대단히 경제적이다.

석유 정제공장에서 접촉 분류하여 CO를 폐열 보일러의 열원으로 이용하고 있으며, 제련 공장에서 용광로 배출가스중의 CO성분이 많아서 이것이 연소로의 가열용으로 되고 있다.

2) 세정법

CO를 세정하는 방식으로서 질산동 암모늄 등이 사용되며, 이 밖에 자동차 배출가스의 CO 대책에 관련하여 촉매 등 많은 방법이 연구되고 있다.

2-5-4. 황화수 (H₂S)

1) H₂S를 회수하지 않고 흡수액을 재생하는 방법



2) H₂S를 회수하지 않고 흡수액을 재생하는 방법



3) H₂S를 회수하고 흡수액을 재생하는 방법

아민법, 인산칼륨법, 알칼리세정법 등이 있다.

3. 유해가스의 세부처리방법

3-1. 플루오린계 가스처리(removal of fluorides)

대기오염물의 플루오린계 가스는 플루오르화수소나 규소플루오르화수소 및 이들의 혼합가스이다. 발생원은 알루미늄 정련용 전해로, 인광석을 원료로 하는 인산계 비료 및 인산제조 설비, 도자기, 유리 내화물 제조의 요로 등이 있다.

1. 알루미늄 정련용 전해로 배출가스의 처리
2. 인산계 비료제조 배출가스의 처리
3. 유리용해로 배출가스의 처리(treatment of glass melting furnace exhaust gases)
4. 플루오린화합물제조 배출가스의 처리

3-1-1. 알루미늄 정련용 전해로 배출가스의 처리

(treatment of aluminium-plant exhaust gases)

1) 발생과 특성

알루미늄은 빙정석(cryolite)을 주체로 하는 플루오르화알루미늄(AlF_3)을 포함한 전해욕(電解浴)에 알루미늄을 용해한 후 직류 전류로 전해하여 제조한다.

이 전해로에서 발생하는 플루오린화물은 플루오르화 알루미늄의 가수분해로 생기는 플루오르화수소가 대부분이나 약간의 4플루오르화규소가 포함된다.

먼지상의 것은 플루오르화알루미늄이나 빙정석($3NaF \cdot AlF_3$) 등이 포함되어 있다.

플루오르화수소의 발생량은 평균적으로 알루미늄 1ton당 20Kg 이하이다.

전해로 배출가스의 포집가스와 처리 형식에는 지상계, 천장계, 이 두계의 병용 등 3가지의 형식이다. 지상계 속에 소성 다극식(燒成多極式) 전해로에서는 후드에서, 연속자소성식 전해로 에서는 스커트 부분에서 배출가스를 포집한다. 후드식에서는 전해로 전체를 에워싸므로 배출가스의 포집률이 밀폐시에 거의 100%이나, 전극 교환시에 다량의 공기를 흡입하므로 가스량이 많아지는 결점이 있다.

스커트식에서는 60~90%의 포집률로 공법에 의해 처리할 필요가 있다.

2) 처리방법

배출가스의 처리방법에는 습식법(wet process)과 건식법(dry process)이 있으며 일반적으로 습식법이 사용된다. 배출가스의 집진, 세정(흡수)에는 스프레이탑, 벤츄리 스크러버, 사이클론, 충전탑 등이 이용된다. 플루오린계의 가스는 물이나 알칼리 용액에 대한 용해, 반응성이 매우양호하며 이 때문에 흡수액은 물 또는 수산화나트륨이나 소석회 등이 사용된다. 물의 경우는 세정액에 수산화알루미늄이나 알루미늄을 가해 플루오르화알루미늄으로 회수하는 경우와 소석회를 가하여 플루오르화칼슘으로 하는 경우가 있다. 전자는 액의 pH가 저하하면 흡수가약화되므로 2기에서 세정하고 후자는 플루오르화칼슘의 생성속도가 느리다는 결점이 있다. 알칼리 용액 세정에서 pH를 알칼리성으로 유지하면 제거율이 높아지며 수산화나트륨을 사용하면 빙정석으로 회수할 수 있다. 건식법은 플루오린화물을 플루오르화알루미늄으로 회수하는 것을 목적으로 하며 흡수제로알루미늄을 사용하나 실용 사례는 적다.

3) 석회석 주입 습식법

본 공법은 다극식 전해로 배출가스에 전기 먼지제거장치와 스프레이 탑 또는 벤투리 스크리버의 장치 구성이 일반적이며, 이들의 제거율은 가스상, 입자상 플루오린화물의 92~99%이다. 기존 소성식 전해로의 배출가스 경우도 장치 구성이 거의 같으나 제거율이 94~97%로 전자에 비해 약간 낮다. 어느 경우이나 물에 의한 세정에서는 세정 후의 액에 석회석을 가해 중화하며 플루오르화칼슘으로 회수된다.

건식법에서는 알루미늄아 옥사이드에서 플루오르화수소를 흡수하고 이어서 백 필터로 먼지상의 플루오린화물을 제거하는 방법이 있다. 이 방법에서 가스상, 먼지상 모두 99%로 제거율이 높고, 흡수반응으로 얻어진 플루오르화알루미늄과 미반응물은 전해로로 공급된다.

4) Canopy 포집법

전해로에서 누설된 가스를 천장(canopy)에서 포집하여 자연환기 또는 강제환기 처리장치에 도입한다. 이 방법에서는 스프레이탑이 보통 사용되며 먼지 제거와 흡수가 동시에 이루어지고 흡수액은 물이나 알칼리 용액을 사용한다. 이 방법에서는 배출가스량이 많고 플루오린계 가스의 농도가 3~7ppm 정도로 낮기 때문에 제거율도 지상계에 비해 낮다.

3-1-2. 인산계 비료제조 배출가스의 처리

(treatment of phosphate fertilizer-plant exhaust gases)

1) 발생과 특성

인산계 비료에는 과인산 석회, 용성인비, 소성인비 등이 있으며 인광석 중의 아파타이트($\text{CaF}(\text{PO}_4)_3$)를 산처리나 열처리로 분해하여 식물에 흡수되기 쉽도록 한 것이다.

이들 제조장치에서 발생하는 플루오린화물은 플루오르화수소, 플루오르화규소 등이며 발생 비율은 원료나 제조 조건에 따라 다르다.

- ① 과린산 석회의 제조에서 반응 당초에 플루오르화수소의 발생이 많고 서서히 4플루오르화규소가 증가하여 전체적인 플루오린의 회산률은 8~47%로 다양하다.
- ② 용성 인비의 제조에는 인광석과 사문암을 고온(1,500℃)에서 처리하기 때문에 원료 중 플루오린의 회산률은 전기로(電氣爐)법일 경우 10~30%, 평로법(平爐法)일 경우 40~50%이다. 평로의 경우는 중유를 사용하기 때문에 배출가스 중에 SO_2 를 포함하고 있다.
- ③ 소성인비의 제조에서는 광석 중 플루오린은 플루오르화수소로 거의 100% 회산한다.

2) 처리방법

전기로법에서는 조작 조건에 따라 4플루오르화규소가 되며 플루오린 농도도 일정하지 않으므로 여기서는 평로 배출가스의 처리법에 대해서 설명한다.

이 방법에서는 먼지와 SO_2 를 고려하여 물을 흡수액으로 하고 벤투리 스크리버를 2기, 스프레이탑 1기로 장치를 구성하며 플루오린화물은 벤투리 스크리버에서 80%, 스프레이탑에서 약 7% 제거된다. 그러나 SO_2 는 30% 밖에 제거되지 않는다.

흡수액의 처리에는 소석회를 이용하여 플루오르화칼슘으로 회수한다.

(주)한국이엔지

플루오르화수소와 소석회의 반응은 당량 부근에서 반응속도가 느리고 pH가 안정되기 때문에 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 이 때문에 실제 조업시는 pH 설정치와 반응종점과의 관계를 알아내어 pH를 자동 조절한다.

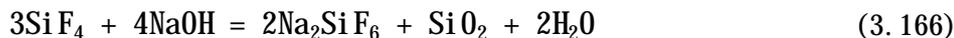
3) 인산제조 배출가스의 처리(treatment of phosphoric acid-plant exhaust gases)

① 발생과 특성

인산은 인광석과 황산을 사용하여 90℃ 전후의 온도에서 분해하여 제조한다. 플루오린계 가스의 배출부는 반응, 농축, 용해, 소성 등 장치 전체에서 농도가 10ppm~300만ppm으로 광범위하게 걸쳐 있다. 반응으로 생성되는 것은 플루오르화수소이나, 규산이 공존하면 4플루오르화규소가 생성된다.

② 처리방법

배출가스의 처리장치는 플루오린화물이 고농도의 경우 흡수탑을 2기 배치하고, 알칼리 용액의 절약과 제거효율의 향상을 시키기 위해 전단에 물로 세정하고 후단에 알칼리로 세정시킨다. 세정액(흡수)은 물, 수산화나트륨용액, 소석회 등을 이용했을 때 흡수 반응식은 다음과 같다.



인산 제조장치의 배출가스에 대해서는 보통 물과 수산화나트륨 용액이 세정액으로 사용된다. 수산화나트륨 용액의 pH는 9 정도로 조정하여 순환시킨다. 이 pH 조정은 배출가스 중의 탄산가스 감량에 대한 수산화나트륨 양을 보급하기 위한 것이다. 또한 흡수탑은 액중의 유리 규산으로 폐색이 잘 안되는 형식인 것(젯트 스크러버)을 사용한다.

4) 유약 기와 배출가스의 처리(treatment of glaze roof tile firing exhaust gases)

① 발생과 특성

유약 기와는 성형된 소지(素地)에 유약(원료는 점토, 카올린, 장석, 형석 등)을 도포하여 요로에서 1,000~1,100℃로 소성하여 제조한다. 이 요로 배출가스 중 플루오린화물은 원료에 포함된 플루오린에 의해 생성된다. 소성시 원료 중의 플루오린이 휘산하는 형태는 대부분 플루오르화수소이나, 약간의 규플루오르화수소산(H₂SiF₆)가 된다.

플루오르화수소의 농도는 원료나 소성온도에 따라 다르나 그 농도는 5~11ppm이며, 약 10ppm의 SO₂를 포함하고 있다.

② 처리방법

제조장치가 소규모이기 때문에 발생 가스량도 적고 농도도 낮은 점에서 이전에는 문제가 되지 않았다. 그러나, 공장의 입지조건이 농지 주변에 많아 식물에 미치는 영향이 최근에

문제가 되었었다. 따라서 최근에는 대부분의 공장에서 어떠한 형태든 배출 방지대책을 세우고 있는 실정이다. 실시되고 있는 플루오린계 가스처리의 대부분이 습식법이며, 높은 제거율을 얻기 위해 알칼리 용액을 세정액으로 사용하고 있다. 물을 사용하여도 세척수의 처리에는 소석회 등으로 플루오린화물을 고체화 시키고 있다. <그림 3-38>에 폐기물을 이용한 충전탑에서의 처리 사례를 나타냈다.

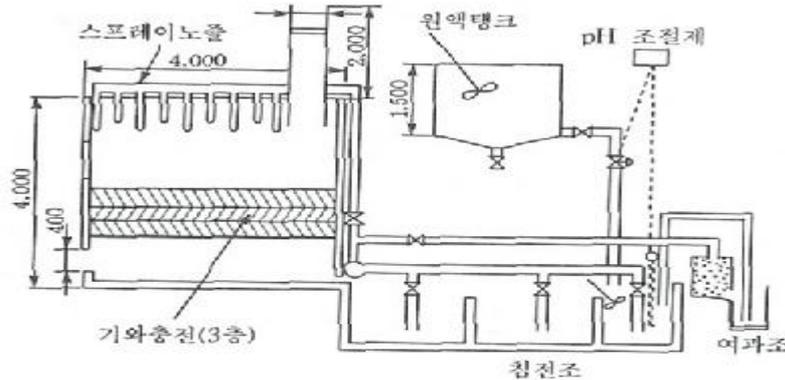


그림 3-38 유약시설과 소성로 배출가스의 처리장치

수산화나트륨 용액을 세정액으로 사용하여 배출가스 중의 플루오르화수소를 흡수한다. 플루오르화수소 농도가 낮고 가스량이 적으므로 세정액의 순환탱크나 침강조 등은 지정된 pH 8로 조정하여 제거한다.

플루오르화수소와 세정액과의 반응으로 생성된 플루오르화나트륨을 소석회로 치환하여 플루오르화 칼슘과 수산화나트륨으로 한다. 이 수산화나트륨액은 분리 후 재사용한다. 이 방법에서는 플루오르화수소가 입구에서 5.8~11ppm인 것이 0.3~0.9ppm으로 SO₂가 100ppm에서 1ppm 전후로 감소하였다. 세정액 중에서 흡수반응으로 생성된 플루오르화나트륨을 포함한 상태로 장시간 운전하면 스프레이 노즐이 폐색되므로, 적당한 시기에 치환반응을 할 필요가 있다.

5) 내화벽돌 제조 배출가스의 처리(treatment of fire brickfiring exhaust gases)

① 발생과 특성

내화벽돌은 점토나 납석계의 광물을 원료로 하여 성형 후 고온에서 소성하여 제조한다. 이들의 원료에는 플루오린이 2~3% 포함되어 있으며 가열되면 대부분이 휘산한다. 내화벽돌의 소성에는 보통, 터널 킬른이 사용되며 재료가 서서히 변화한 소성온도 속을 통과하기 때문에 플루오린화물의 배출량도 시시각각 변화한다. 휘산하는 플루오린화물은 대부분이 플루오르화수소로, 납석 벽돌에서 30~35ppm, 염기성 벽돌에서 10~14ppm 정도이며 이것은 원료 중의 플루오린량의 1/10이하의 수치다. 또한 터널 킬른의 가열에는 황성분을 포함한 중유가 사용되고 있으므로 배출가스 중의 SO₂가 공존한다.

② 처리방법

내화벽돌 제조 배출가스 처리에는 건식법과 습식법이 실시되고 있으나, 습식법에서 세정수

를 그 상태로 방류하는 경우와 반순환식으로 하는 경우가 있다. <표3-7>에는 여러 회사에서 실시하고 있는 처리방법의 개요를 나타냈다.

표 3-7 내화벽돌공장에서 배출가스처리 실시 예

구 분	A 회사	B 회사	C 회사	D 회사	E 회사
주요생산품목	염기성 벽돌	내화벽돌	점토질 벽돌	부정형 내화물	내화벽돌
	부정형 내화물	-	실리콘질 벽돌	팻치침적벽돌	부정형 내화물
	점토질 벽돌	-	탄화규소 벽돌	점토질 벽돌	-
	규석질 벽돌	-	하이알루미나벽돌	득수 물탄	-
발생원(설비)명칭	터널킬른	좌동	좌동	좌동	좌동
처리방식	습식흡수법	좌동	좌동	좌동	좌동
처리능력(sm ³ /hr)	15,000	20,000	14,000	5,000	15,000
사용약품(t/년)	NaOH 98.5 CaCl ₂ 12.3	NaOH 378 CaCl ₂ 150	NaOH 36 케미크라임 96	NaOH 7.75 CaCl ₂ 5.9	NaOH 132 CaCl ₂ 130
회수품의 처리	폐기	폐기	부산물로 회수	폐기	폐기
HF의 입구·출구농도	22ppm, 0.3ppm	20ppm, 0.5ppm	20ppm, Trace	4.8ppm, 0.2ppm	측정치 없음
SO ₂ 의 입구·출구농도	93ppm, 7ppm	510ppm, 26ppm	170ppm, Trace	64ppm, 1ppm	980ppm, 49ppm
방식의 선정이유	동업종 타사보다 소요면적이 작다.	-	장치가 단순하고 운영비가 싸다.	세정수에서 고형 물을 분리방류할 수 있다.	-

3-1-3. 유리용해로 배출가스의 처리

(treatment of glass melting furnace e.haust gases)

1) 발생먼지와 특성

유리는 석영모래, 석회석, 소다회, 용융 보조제인 형석, 규플루오르화나트륨 등을 녹여서 제조한다. 용융로 배출가스 중 플루오린화물은 주로 사플루오르화규소이나, SO₂와 고농도의 먼지도 포함되어 있다. 유리원료 중 플루오린을 포함하고 있는 것은 형석과 규플루오르화나트륨이며, 플루오린의 대부분은 유리제품 중에 포함되나 일부는 용융과정에서 휘산한다. 휘산의 비율은 유리의 종류나 용융온도 등에 따라 다르나 약 20%가 휘산된다.

2) 처리방법

유리 용융로 배출가스를 대상으로 한 처리방법에는 습식법과 건식법이 있으며, 습식법에서는 흡수제로 칼슘염(CaCO₃, Ca(OH)₂)이 사용된다. 그러나 흡수 생성물이 플루오르화칼슘 외에 아황산칼슘이 생기고, 그 일부가 산화되어 석고가 생성되기 때문에 조작상 지장을 초래하기도 한다.

처리 시스템은 배출가스 냉각→탈진→물세정→흡수탑(2기)→폐수처리→고액분리→액순환

(주)한국이엔지

으로 된다. 이 방법에서 제거 효과는 4플루오르화규소가 97%, SO₂가 96%, 먼지가 90% 정도이다.

건식법은 플루오린화물과 흡수제(기. 고)를 반응시켜 제거하는 방법으로 처리시스템으로는 가스냉각→흡수→먼지제거와 폐수처리가 없이 간단하다. 알루미늄 정련용 전해로 배출가스에 실시된 건식법에서는 일루미나의 유동상에서 처리되나, 아래에서 설명한 방법에서는 흡수제에 석회석을 사용한 것이다. 이 방법에서는 석회석과 플루오린화물과의 반응성을 검토하여 그 결과에 따라 시스템이 구성되고 있다. 원료 중의 플루오린 밸런스(balance)를 보면 흡수제에 54.9%, 제품 중에 45%가 이행하고, 대기중으로 0.1% 방출된다. 한편 회수된 플루오르화칼슘은 유리 원료의 일부로 이용할 수 있는 장점이 있다.

3-1-4. 플루오린화합물제조 배출가스의 처리

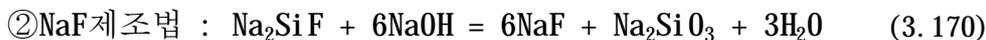
(treatment of fluorine compounds-plant exhaust gases)

1) 발생과 특성

플루오린화합물의 제조는 플루오르화수소, 플루오르화알루미늄, 플루오르화수소 암모늄, 플루오르화나트륨 등 다수의 무기 약품류 외에, 유기물과 플루오르화수소와의 반응으로 제조되는 프레온류, 플루오르화마이닐, 플루오르화마이닐리텐 등이 있다.

이들의 제조 공정에서는 가스의 누설이나 미회수 부분이 플루오린화물의 발생원이 된다. 그 농도나 플루오린화물의 형태는 제조되는 플루오린화합물에 따라 여러 가지가 있다.

예를 들어, 플루오르화수소, 플루오르화나트륨과 플루오르화암모늄의 제조법을 반응식으로 표시하면 다음과 같다.



실제의 제조공정은 복잡하다. 플루오린화물의 발생원으로는 반응으로 생성되는 HF나 SiF₄ 등이다.

다른 플루오린화합물 제조에서는 HF나 SiF₄ 외에 H₂SiF, Na₃AlF₆, NaF, AlF₃ 등이 있다.

2) 처리방법

배출가스 처리방법은 주로 습식법이며, 흡수액으로는 물이나 알칼리 용액이 사용된다. 흡수 장치는 먼지가 있고, 플루오린화물의 배출농도 규제가 엄한 경우에는 제트 스크러버와 충전탑의 조합을 사용하여 먼지 제거와 흡수율의 향상을 꾀한다. 먼지를 포함하고 있지 않은 플루오르화수소산을 처리할 때는 충전탑과 단탑의 조합으로 높은 제거 효율을 얻고 있다. 흡수액은 물만으로는 불충분하기 때문에 수산화나트륨이나 소석회 등을 사용하며, 흡수로 생성된 플루오르화나트륨이나 플루오르화칼슘을 분리 회수하여 유효 이용을 도모한다.

3-2. 염소계 가스처리

산업계에서 염소계 가스의 사용 종류에는 소다공업, 염료, 무기 및 유기화학공업 등이 있으

며, 이들 제조과정에서 배출가스가 염소계 가스의 발생원이 된다. 또한 폐 플라스틱이나 도시쓰레기 소각로의 배출가스도 발생원이 된다. 발생하는 염소계의 가스에는 염소(Cl_2)와 염화수소 가스가 있으며, 그 배출농도나 함유가스의 종류 등은 제조하는 약품이나 설비 내용, 조업조건 등에 따라 여러 가지가 있다.

3-2-1. 염소가스의 제거(removal of chlorine)

1) 발생과 특성염

염소(Cl_2)는 주로 격막법이나 수은법에 의해 식염의 전기분해로 제조된다.

기타 방법으로는 식염과 염화칼슘 혼합물의 용융전기분해법(Downs법)이나 염산의 전기분해법 등이 있다. 격막법이나 수은법에 의한 염소의 제조과정에서는 염소의 액화공정의 송풍가스, 탈수공정, 저장탱크 가스 배출공정 등에서 방출된다.

또한 무기나 유기 염소화합물의 제조과정에서는 과잉량의 염소를 사용하기 때문에, 그 과잉분이나 부산물인 염화수소의 미회수분과 혼합되어 있는 것이 발생원이 되며, 염소농도는 어느 경우나 낮다.

2) 처리방법

염소는 화학적으로 매우 활성이 높아 대부분의 원소와 화합물을 만든다.

물에 대한 용해도는<표 3-8>에 나타냈다.

물에 녹은 염소는 정수용 소독제인 차아염소산(HClO) 생성한다.



또 수산화나트륨과는 중화반응하여 식염과 차아염소산 나트륨(NaClO)을 생성하고, 소석회와 반응하여 표백분(Calciumhypochlorite) [$\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$]을 생성한다.

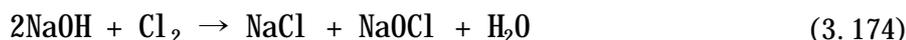
따라서 염소를 포함한 배출가스를 처리하는 경우에는 위와 같은 흡수제를 사용하는 것이 일반적이다.

배출가스 중의 염소농도나 회수품의 이용 가능성 면에서 처리방법을 염소를 회수하지 않는 처리법, 염소를 회수하는 처리법, 실리카겔 등에 의한 흡착법과 기타 방법으로 분류된다.

3) 염소를 회수하지 않는 처리법

이 방법은 염소농도가 1% 이하인 배출가스 처리에 적합하며 흡수액은 수산화나트륨 용액이나 소석회 슬러리를 사용한다. 흡수탑에는 세정탑이나 충전탑이 사용된다.

이 흡수반응은 다음식(3.174), 식(3.175)와 같다.



이 두 가지 반응은 발열반응으로 반응이 급속히 완료되지만 온도가 낮고 pH를 높게 유지하면 넓은 범위에서 비가역 반응이 된다. 이러한 알칼리 용액에 의한 처리방법은

모든화학공업에서 염소를 함유한 배출가스의 처리법으로 이용되고 있다.

표3-8 염소의 물에 대한 용해도

p (atm)	용액 중 Cl ₂ 물분율 (χ)								
	0℃	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	80℃	100℃
	×10 ₄	×10 ₄	×10 ₄	×10 ₄	×10 ₄	×10 ₄	×10 ₄	×10 ₄	×10 ₄
0.0066	1.24	1.15	1.12	1.08	1.06	0.02	0.99	0.918	0.846
0.0132	1.73	1.53	1.46	1.41	1.36	1.32	1.27	1.17	1.10
0.0395	3.10	2.60	2.38	2.23	2.1	2.01	1.92	1.76	1.66
0.0658	4.36	3.44	3.08	2.82	2.62	2.47	2.36	2.13	1.98
0.132	7.08	5.28	4.51	4.01	3.65	3.38	3.17	2.84	2.62
0.197	9.67	6.93	5.77	5.01	4.49	4.11	3.83	3.38	3.11
0.263	12.10	8.51	6.97	5.97	5.25	4.77	4.41	3.87	3.53
0.329	14.50	10.00	8.11	6.86	5.99	5.37	4.94	4.29	3.92
0.395		11.50	9.23	7.73	6.68	5.94	5.42	4.69	4.27
0.461		13.00	10.3	8.54	7.32	6.50	5.89	5.07	4.60
0.526		14.00	11.4	9.41	7.96	7.04	6.38	5.44	4.91
0.592		15.90	12.4	10.1	8.6	7.55	6.82	5.81	5.23
0.658		17.40	13.5	11.0	9.23	8.07	7.23	6.15	5.51
0.79		20.20	15.6	12.5	10.4	9.04	8.03	6.77	6.07
0.921		23.10	17.5	14.0	11.6	9.99	8.88	7.43	6.62
1.05		25.90	19.5	15.5	12.8	11.0	9.68	8.05	7.13
1.18			21.5	17.0	13.9	11.9	10.4	8.63	7.66
1.32			23.5	18.5	15.1	12.8	11.3	9.23	8.13
2.63			43.3	33.1	26.1	21.5	18.4	14.7	12.7
3.95				47.6	36.9	30.0	25.3	19.7	16.9
5.26				62.6	48.0	38.5	32.3	24.9	21.0
6.58				78.0	59.3	47.2	39.3	29.8	25.1

$$\chi = [g/L] / \{ [g/L] + (70.914/18.016)\rho_L \}. \text{ 단 } \rho_L \text{은 물의 밀도}(g/L)$$

또한 최초 배출가스를 물로 세정한후 알칼리 용액으로 세정(흡수)하는 방법도 있다.

이러한 방법에서 염소의 제거율은 100%에 가까운 값을 얻고 있다.

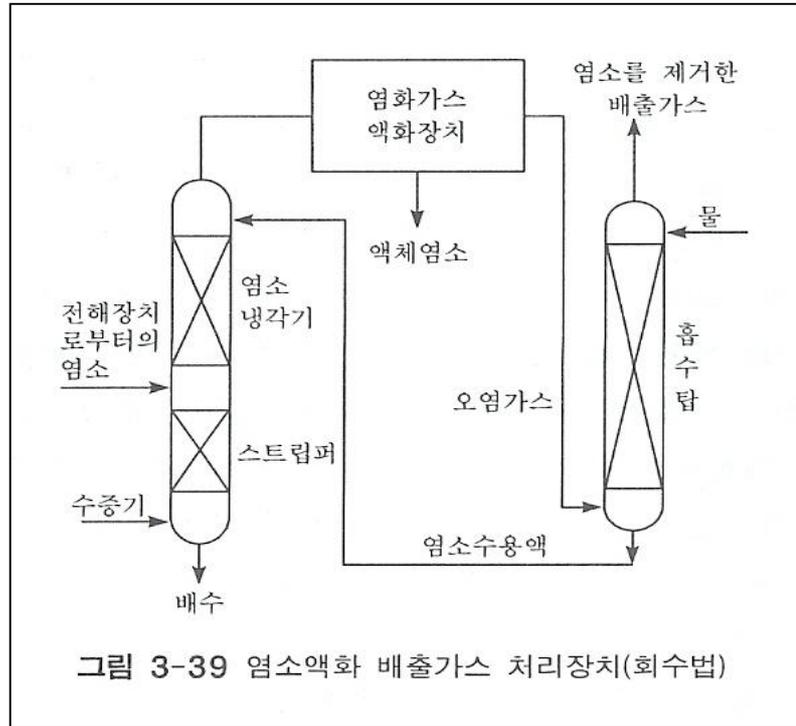
그러나 반응 생성물이나 폐액의 처리·처분이 필요하다.

4) 염소를 회수하는 처리법(water-absorption process for recovering chlorine)

이 방법은 배출가스 중의 염소 농도가 10% 이상일 때 경제적으로 유리하며, 염소의 액화 장치에서 나오는 염소와 N₂의 혼합가스의 처리에 적합하다. 혼합가스의 처리 사례를 <그림3-.9>에 나타냈다. 혼합가스에는 염소가 20~50% 함유되어 있으며 처리장치는 구성은 <그림3-39>에서 알 수 있듯이 흡수탑 외에 탈염탑(Stripper)을 갖추고 있다.

(주)한국이엔지

충전탑에서는 물로 염소를 흡수하고,
탈염탑에서는 수증기로 염소를 휘발시키도록 되어 있다.



또한 용매는 사염화탄소를 사용하는 방법이 있으며, 배출가스 중의 염소를 충전탑에서 사염화탄소로 흡수하고 증기 가열식 회수탑(용출부와 정류탑)에서 염소를 회수한다.

5) 흡착법 (adsorption process)

염소의 흡착제로는 실리카겔을 사용하며 탈착은 감압상태에서 한다. 활성탄을 흡착제로 사용하면 배출가스 중의 염소농도가 낮을 때도 처리가 가능하다.

이 방법은 2기의 흡착탑이 필요하며, 흡착과 탈착을 교대로 반복하여 사용한다.

이 방법에서는 탈착하는데 물을 사용하지 않으므로 배수처리를 할 필요가 없는 장점이 있다.

3-2-2. 염화수소의 제거 (removal of hydrogen chloride)

1) 발생과 특성

대기 중에 염화수소 가스를 배출하는 발생원은 염화수소의 제조, 염화수소를 사용하는 무기 및 유기화합물의 제조, 활성탄의 제조, 플라스틱 또는 도시 생활폐기물의 소각로 등이 주요한 발생원이다. 이러한 제조장치에서는 목적으로 하는 반응 생성물은 물론 미반응 물질도 회수된다. 그러나 일부는 완전히 회수되지 못하고 대기중에 방출된다. 함유된 가스의 종류나 농도 등은 제조하는 약품의 종류나 조업조건 등에 따라 다르다. 이 외에 염화수소를 방출하는 것으로는 철강 관계에서 철판의 산세척 공정 등이 있으나 여기서는 생략했다.

① 염화수소의 제조 :

염화수소는 약간 과잉의 수소 중에서 염소를 연소시켜 제조한다.

연소실에서 생성된 염화수소 가스를 냉각한 후, 물에 흡수시켜 염화수소(염산)를 만든다. 제조과정에서 염화수소 가스의 대기 방출은 미흡수된 염화수소 가스와 미반응의 수소 및 염소의 혼합물이다. 이 제조법에서 생성된 염화수소 가스의 농도는 98-99.7%이나, 염산으로 흡수되는 비율이 높으므로 염화수소 가스의 대기 방출 농도는 낮다.

② 무기 염소화합물의 제조 :

염화수소 가스와의 반응으로 제조되는 주요 무기 화합물은

<표3-9>와 같으며 회수되지 않은 미반응 염소가 대기중에 배출된다.

③ 유기 염소화합물의 제조 :

유기화합물의 염소화 반응에서는 반응의 부산물은 염화수소

가스이다. 이러한 염소화 반응으로 제조되는 것들은 염소화 벤젠, 염소화 바이닐, 사염화탄소, 염화메틸, 염화에틸, 트라이클로로에틸렌 등이 있다.

이들의 제조방법에서는 부산되는 염화수소 가스로 염산을 제조하기 때문에 대기중에 방출되는 염화수소 가스의 농도는 낮고 염소 가스나 유기 염소화합물, 원료의 유기물 등의 혼합물이다.

표 3-9 염화수소와의 반응에 의해 제조된 주된 무기염소화합물

물질명	화학식	제조방법	주된 용도
염화아연	ZnCl ₂	Zn을 HCl에 용해, 농축결정시킴	활성탄, 화이버, 건전지, 도금, 플방부제, 유기합성 등
염화알루미늄 미늄액	AlCl ₃ · H ₂ O	AlCl ₃ 을 물에 용해, Al 또는 Al ₂ O ₃ 을 HCl에 용해시킴	섬유처리, 물의 정제, 화장품, 양조등
염화제1철	FeCl ₂	Fe에 HCl을 작용시킴	매염제, 환원제, 야금, 의약
염화제1구리	CuCl	CuCl ₂ 용해에 HCl, Cu와 함께 비등시킴	O ₂ 및 CO흡수제, 촉매, 석유화학의 탈색·탈황제, 질화면의 탈질산용
염화니켈	NiCl ₂	Ni에 HCl을 작용시킴	전기도금, Ni정련, Ni촉매, Ni화합물원료
염화바륨	BaCl ₂ · 2H ₂ O	중정석(BaSO ₄)에 석탄에 함께 가열 환원, 물로 침출, HCl에 작용시킴	안료, 제지, 금속열처리, 의약, 인건염의 정제
염화마그네슘	MgCl ₂ · 6H ₂ O	마그네사이트(MgCO ₃)에 HCl을 용해, 농축, 결정화시킴	금속 Mg, MgCO ₃ , 마그네시아세멘트 제조, 두부, 목재방부, 냉동용 브라인등
염화망가니즈	MnCl ₂ · 4H ₂ O	MnO ₂ 을 HCl에 용해시킴	금속 Mn·합금정련의 프릭스, 촉매, 의약, 섬유처리등
클로로설폰산	HSO ₃ Cl	발연 H ₂ SO ₄ 에 HCl가스를 불어넣어 증류한다. 무수 SO ₃ 과 반응시킴	설파미드계 의약품, 삭카린, 클로로나프탈린, 염료 등의 제조
염화나이트로실	NOCl	HNO ₃ 또는 NO ₂ 와 NaCl 또는 HCl과를 반응시킴	소맥분표백제, 합성세제제조, 수산화나트륨이 없이 염소의 제조

(화학편람·응용편)

④활성탄의 제조 :

활성탄은 목재, 야자 껍질, 톱밥, 석탄 등을 원료로 수증기 또는 염화아연으로 재생하여 제품이 된다. 수증기에 의한 부활법은 염화수소 가스 발생의 대상이 안되나 염화아연에 의한 부활법은 원료에 염화아연 용액을 섞어 로타리킬른에서 소성(건류, 재생)한다. 이 소성과정에서 염화아연의 일부가 고온에서 분해하여 염화수소 가스를 생성한다. 따라서 소성로의 배출가스에는 건류 가스, 염화수소 가스, 염화아연 등을 포함하고 있으며, 염화아연은 활성탄에서 회수하여 재사용되거나 기타 가스는 밖으로 배출된다.

⑤폐기물의 소각 :

폐기물은 주로 플라스틱 등 도시 폐기물이며, 이들은 대부분 소각처리 된다. 플라스틱 단독의 연소에서는 염화수소, 염소, 포스겐, 사이안화수소, 암모니아, NO_x , CO등이 발생한다. 특히, 폴리염화바이닐 등의 함염소 플라스틱 단체의 연소에는 염화수소 가스를 다량 발생시켜, 앞에서 언급했던 것과 같은 불완전 연소가스를 생성한다. 그러나 공기 과잉계수를 3 이상으로 크게 하여 완전 연소를 시키면 불완전 연소가스는 없어지고 유해가스로는 염화수소 가스만 발생한다. 생활쓰레기의 소각(**municipal refuse incinerator**)에는 폐기물의 종류가 천차만별이어서 소각로의 배출가스 속에는 SO_x , NO_x , 염화수소, 암모니아, 알데하이드, 유기산, 다이옥신, 먼지 등이 포함되어 있다. 이러한 유해가스의 발생량은 소각로형식, 연소 조건에 따라 여러 가지가 있다.

⑥기타 발생원 :

연료의 연소, 특히 석탄의 연소 배출가스에 포함되어 있다. 염소가 함유된석탄을 연소시킬 때는 함유 염소의 약 98%가 염화수소로 된다고 알려져 있으나, 정량적인 문헌은 아직 없다. 또한 교통기관에도 발생한다고 알려져 있으나, 석탄의 경우와 마찬가지로 현재로는 명확하지 않다.

2) 처리방법

염화수소 가스는 물에 아주 잘 녹아 용해도는 0℃에서 82.3g/100g, 50℃에서 약 60g/100g이며, 용해열은 72.9kJ/mole이다. 수산화나트륨에 용해되는 염화수소의 용해열도 61.5kJ/mole이다. 따라서 물 및 수산화나트륨과 염화수소의 반응은 다음 식과 같다.



이 반응은 완전히 가스측 경막 저항에 지배되며 배출가스 중의 염화수소 가스의 제거에 이용된다. 흡수액으로 수산화나트륨 용액을 사용하는 것은 염소(Cl_2) 가스나 포스겐($COCl_2$) 과같이 비교적 물에 난용성인 것을 포함한 경우가 많다. 지금부터는 주로 염화수소를 포함한 배출가스의 처리방법에 대해 개요를 설명한다.

① 무기 염소화합물제조할 경우

배출가스의 처리(treatment of chlorinated inorganic compounds plant exhaust gases)는 가스상으로 물에 불용인 것을 거의 포함하고 있지 않으므로 물에 의한 흡수가 일반적이다. 처리장치는 보통 충전탑이 채용되나, 염화수소 농도가 높은 경우는 발열에 의한 온도의 상승을 방지하기 위해 습벽탑을 사용한다. 또는 충전탑과 조합하여 사용하면 제거율이 향상된다.

② 유기 염소화합물제조할 경우

배출가스의 처리(treatment of chlorinated organic compounds plant exhaust gases)는 물을 흡수제로 사용한다. 그러나 벤젠의 염소화 배출가스와 같은 탄화수소를 포함한 경우는 탄화수소를 제거하기 위해 재순환된 벤젠으로 세정하고 나서 염산 32%가 되도록 물에 흡수시키는 조작을 한다. 이때 최종적으로 배출가스 중에는 벤젠만 남게 된다.

또한사염화탄소 제조 배출가스의 경우에는 가스를 냉각하고, 제1, 제2 칼럼으로 되어 있는 처리(회수) 시스템에 의하면 효과적으로 염화수소 가스를 제거할 수 있다.

이 방법에서 흡수액은 염화수소-물 계의 공비혼합물(共沸混合物 ; azeotrope)이 사용되기 때문에 제1칼럼에서 스트리핑(stripping)을 하고 제2칼럼에서는 염화수소의 증발을 하여 제1칼럼에 필요한 염화수소를 얻는다. 최종 가스는 알칼리액으로 세정하므로 대기 중에 염화수소는 거의 방출되지 않는다.

기타 방법으로는 흡착과 흡수를 조합하여 처리하는 방법이 있다.

이 방법이 방법은 각종 혼합 가스를 고효율로 처리하기 위해 실시되므로 흡착제는 분자체, 실리카겔, 활성탄, 알루미나등을 사용하며, 흡수액은 물, 알칼리액, 사염화탄소, 벤젠, 톨루엔 등이 사용된다. 이 방법은 매우 위험한 가스에만 적용하며 유기물이 고효율로 제거되어서 흡수제만 대기로 방출된다.

③ 도시 폐기물 소각로

배출가스의 처리(treatment of municipal refuse incineratorexhaust gases) 방법에는 건식, 반건식, 습식의 3가지 방법이 있다.

(a) 건식법은 소각로속에 CaCO_3 , Ca(OH)_2 , MgO , Mg(OH)_2 등의 흡수제를 직접 분무

하여 염화수소 가스를 제거하는 방법으로, 염화수소 가스와의 반응량이 2배 정도로 흡수제를 분무하여 30~40%의 제거율을 얻을 수 있다. 염화수소 gas와 흡수제의 반응성은 $\text{Ca(OH)}_2 > \text{CaCO}_3 > \text{Mg(OH)}_2 > \text{MgO}$ 의 순이며 석회계의 흡수제는 400~600℃, 마그네슘계는 300~1,000℃의 반응 최적온도이다. 이 방법은 폐기물질의 변동이나 연소조건의 변화에 따른 염화수소 농도의 변동에 맞추어 흡수제의 첨가량을 조절해야 하는 조작상의 어려움이 있으나, 설비비가 싸다는 장점이 있다.

(b) 반건식법(semi dry process)은 반응탑 내에서 알칼리 용액과 염화수소 가스를 반응시킨 후 배출가스의 현열(顯熱)을 이용하여 용액을 증발시켜 반응 생성물을 고형화하는 방법이다. 반응 생성물을 완전히 고형화하려면 배출가스의 온도를 280℃ 이상으로 할 필요가 있으며, 이를 위해 입구가스의 온도를 조절할 필요가 있다. 이 방법의 장점은 폐수처리, 아프터 버너를 필요로 하지 않는 점이다. 반면 스케일링을 발생시

키기 쉬운 단점이 있고, 염화수소 가스의 제거율은 수산화나트륨 용액을 사용하면 80~90% 정도이다.

(c)습식법은 물 또는 알칼리 용액을 흡수액으로 하여 액·기비(liquid-gas ratio)를 충분히 크게 하여 염화수소 가스를 제거하는 방법이 있다. 현재 사용되고 있는 흡수탑의 형식은 충전탑, 멀티벤츄리(라멜라), 스프레이탑, 제트스크러버 등 여러가지가 있다. 특히 사용액량, 탑의 크기, 조작 안정성, 부하 변동에 대한 허용성 등을 감안하여 판단하면 멀티벤츄리가 우수하다고 생각된다. 실용적인 제거율도 90~95%로 높으나 장치의 부식이 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

4. 세정타입의 먼지제거장치 (Scrubbing dust collector)

습식세정기의 장단점

장 점

1. 가연성, 폭발성먼지를 처리할수있다.
2. 가스의흡수와 분진포집이동시에가능하다.
3. 고온 가스를 냉각 할 수 있다.
4. 집진효율을 변화시킬수 있다.
6. 부식성가스와 먼지를 중화시킬 수 있다.
7. 구조가 건식보다 간단하다.
8. 운전조작 및 보수 유지가 간단 하다.
9. 분진의 농도, 크기, 종류에 무관 넓게 적용이 가능하다.
10. 미세분진의 포집 효율이 높다.

단 점

1. 폐수가 약간발생하므로 폐수처리설비를 필요로 한다.
2. 소수성dust의 포집효율이낮다.
3. 송풍기의 정압이 높다.
4. 급배수설비를필요로한다.

4-1. 포집기구

세정 먼지제거장치는 세척액을 분산 또는 배출가스를 분산하여 생성된 물방울, 액막, 기포 등으로 배출가스 중의 입자를 포집하는 장치이다. 여기에는 관성력, 확산력, 중력등의 먼지제거 작용력이 이용되고 있다.

4-1-1. 관성작용

세정 먼지제거에서는 생성된 물방울, 액막, 기포와 배출가스 중 먼지의 접촉에 의해 입자의분리가 이루어지나, 입자지름이 대략 $1\mu\text{m}$ 이상인 경우는 관성충돌에 의한 부착이 가장지배적인 먼지제거작용력이 된다. 앞에서 설명한 바와 같이 구형입자가 스토크스 영역에있을 경우 다음 식으로 표시되는 관성 파라메타(inertial parameter) (무차원수) Ψ 가 클수록 충돌효율(target efficiency)은 높아진다.

$$\Psi = \frac{d_p^2 \cdot p_p \cdot v_r}{18 \mu \cdot d_w} \quad (4.70)$$

여기서, d_p 는 입자지름, p_p 는 입자밀도, v_r 는 배출가스와 물방울(液滴액적)과의 상대속 μ 는 배출가스점도, d_w 는 물방울지름이다. 따라서, 입자지름, 입자밀도, 배출가스와물방울과의 상대속도가 클수록 배출가스점도, 물방울지름이 작을수록 관성력에 의한 충돌효율은 높아진다.

4-1-2. 확산작용

입자가 미세하면 Brown운동이 활발하게 되며, 확산작용도 크게 되어 배출가스 속의 입자가물방울 등에 부착되는 효과가 높아진다.

물방울 등의 주위에는 가스유체의 경계층이 형성되어 이 층 속에 입자농도의 차이가 있으면 입자는 고농도 영역에서 저농도 영역으로 확산 이동하여 농도가 균일화되는 성질이 있으므로 물방울 등에 부착하여 분리·포집된다.

입자의 부착속도는 앞에서 설명한 바와 같이 κ 를 볼츠만 상수, T 를 절대온도 $^{\circ}K$, μ 를 기체점도, d_p 를 입자지름, C_c 를 커닝햄 보정계수(Cunningham's correction factor)라하면 다음 식으로 표시되는 입자의 확산계수(diffusivity) $D_{BM}(cm^2/sec)$ 에 비례한다.

$$D_{BM} = \frac{\kappa \cdot T \cdot C}{3\pi \cdot \mu \cdot d_p} \quad (4.71)$$

반면, 입자의 확산에 의한 부착량 Ψ' 에 대해서는 가스 확산의 실험식으로부터 다음과 같은식(4.72)가 제안되고 있다.

$$\Psi' = \frac{4d_p}{d_w \cdot v_r} (2 + 0.557Re^{0.5} \cdot Sc^{0.375}) \quad (4.72)$$

여기서, d_p 는 입자지름, d_w 는 물방울, v_r 는 배출가스와 물방울과의 상대속도, Re 는 레이놀드수, S 는 슈미트수이다. 즉, 확산작용에 의한 입자가

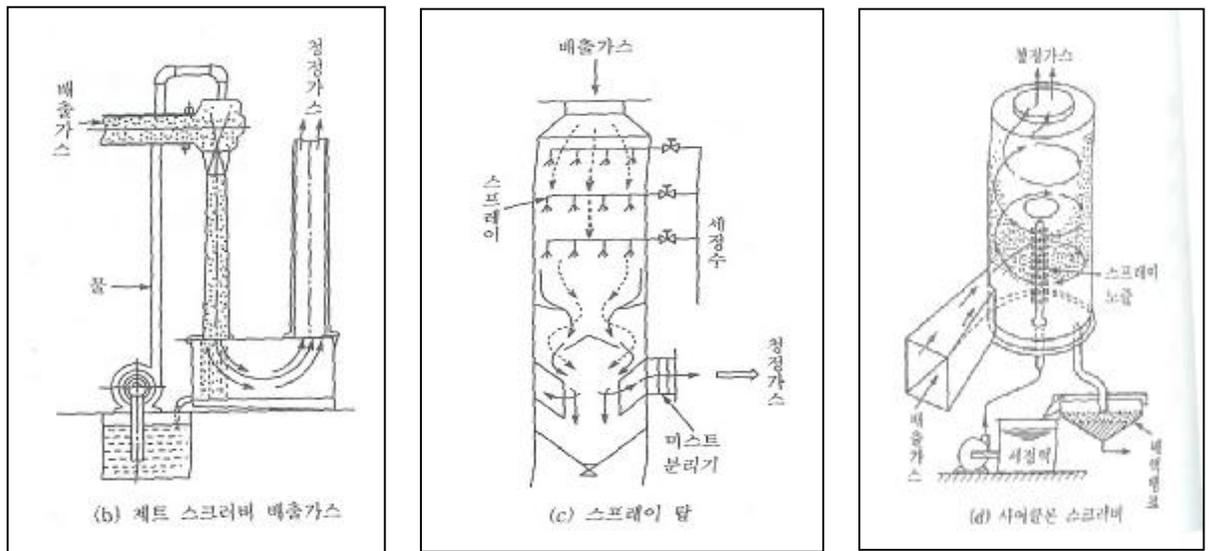
물방울에 부착되는 부착량은 확산계수와 입자농도에 비례한다.

따라서, 입자지름, 가스점도, 물방울지름, 가스와 물방울과의 상대속도가 느릴수록, 그리고 입자농도가 높을수록 부착량은 많아진다. 대략 입자지름 $0.1 \mu m$ 이하의 미세입자인 경우는 확산작용에 의한 입자의 포집이 지배적이다.

4-2. 형식과 특징

세정 먼지제거장치의 세정액으로는 보통 물이 사용되며, 물방울, 액막, 기포에 먼지가 부착되거나 먼지 입자 상호의 응집을 피하기 때문에 세정방법도 여러 가지 고안되어 다양한 것이 시판되고 있다. 성능의 표시법을 고려하여 세정 먼지제거장치는

- 1) 유수식(溜水式),
- 2) 가압수식,
- 3) 충전탑식,
- 4) 회전식으로 분류하고 있다.



(1) 벤투리 스크러버 (venturi scrubber)

흡진가스를 스톱트(throat)부를 통과할 때 여기에 분사노즐로 세척수를 공급한다. 스톱트부의 가스속도는 60~90m/sec의 고속가스류로 공급수는 가스흐름이 클수록 미세한 물방울을형성한다. 확산관(diffuser)에서 가스흐름은 감속되고 고속의 물방울과는 상대속도가 크게 되어 입자의 충돌 효율을 크게 높인다.

① 최적 물방울지름 포집대상 입자지름 :

dp 에 대한 최적 물방울지름 dw 는 스톱트의 가스

속도를 v , 액기비를 L 이라 하면, <그림4-23>에 나타낸 것처럼 된다. 즉, 관성 충돌에 의한 최적 물방울지름은 대상입자지름의 150배가 제일 좋다.

② 액기비 :

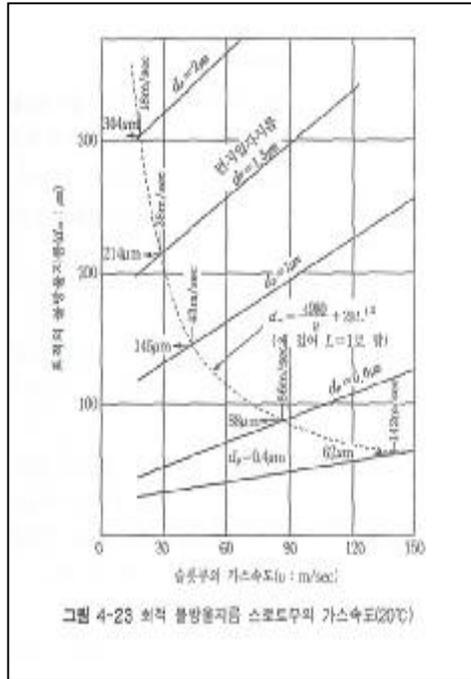
처리가스량당 사용 수량을 액기비(L/m^3) 또는 액기비라고 하며, $0.5\sim 1.5L\cdot m^3$ 의 범위이고, 미세먼지 입자 또는 소수성(疏水性) 먼지의 경우는 이보다 커서 액기비는 $1.5L/m^3$ 전후이다.

③ 압력손실 :

스톱트부분의 가스속도가 크므로 보통 $300\sim 800mmH_2O$ 이다. <그림 4- 22(a)>에서 $\theta_1=20^\circ\sim 30^\circ$, $\theta_2=5^\circ\sim 8^\circ$, 스톱트부의 가스속도(u)가 $15m/sec$ 이상인 경우 압력손실 $\Delta P[mmH_2O]$ 는 실험적으로 다음 식으로 주어진다.

$$\Delta P = (a + L) \frac{p_g \cdot v^2}{2g} \quad (4.73)$$

여기서 L 은 액기비 L/m^3 , p_g 는 가스이 비중량 kg/m^3 , v 는 스펀트부의 가스속도 m/sec , g 는 중력 가속도 $9.8m/sec^2$, a 는 벤투리부만 일 때는 0.5 , 사이클론 등을 기액 분리기로 사용할 때는 전체의 압력손실은 $a=1$ 이다.



(2) 제트 스크러버(jet scrubber)

일종의 가스 부스터(gas booster)로 세척수는 나선날개를 갖는 분무 노즐에서 회전류가 고속 분사되어 주위의 함진가스를 흡인하여 가스 중의 입자를 물방울로 분리한다. 사용액량이 $10\sim 50L/m^3$ 로 많으나, 가스압이 상승되므로 집진을 위한 송풍기를 추가설계할 필요 없다.

(3) 스프레이 탑(spray tower)

탑 속에 3~4단의 스프레이 설치하여 배출가스와 물방울의 접촉을 좋게 하고 있다. 분무탑구조가 간단하고 보수가 용이하며 충전물을 사용하지 않기 때문에 먼지 부착이나 압력손실이 급증하는 등의 문제를 일으키지 않는다. 보통 액기비는 $2\sim 3L/m^3$, 공탑속도는 $1\sim 2m/sec$, 압력손실은 $30mmH_2O$ 전후이다. 가스 냉각을 동시 활용시하는 경우에는, 가스입구측의 물방울은 가능한 한 미세하게 하고 출구측의 물방울은 크게 하여 청정가스에 물방울이동반되는 것을 막는다.

(4) 사이클론 스크러버(cyclone scrubber)

탑하부의 중심에 다수의 스프레이 노즐을 설치한 분무관을 두어 함진가스를 접선 유입시킨다. 함진가스는 탑 속을 선회하면서 상승하고 스프레이 노즐의 물방울에 의해 세척되며, 물방울에 부착된 먼지는 원심력에 의해 탑 벽으로 분리된다. 액기비는 $1\sim 2L/m^3$, 압력손실은 $120mmH_2O$ 정도이다. 물방울이나 수용성 먼지의 포집에 유효하며 벤투리스크러버의 기액분리기로 널리 사용되고 있다.

(주)한국이엔지

4-2-3. 충전층식 (packed bed type)

가압수식을 분류되어야 하나 성능표시면에서 따로 분류한다.

<그림4-24>에서와 같이 대표적인 것은 충전탑, 유동층 스크러버가 있다.

일반적으로 먼지 농도가 낮거나, 유해가스의 동시처리에 사용되고 있다.

(1) 충전탑 (packed tower):

보통 함진가스는 분무용 물에 향류하여 탑하부에서 유입되며

공탑속도는 1m/sec이하로 한다. 압력손실은 충전층의 높이, 충전제, 디미스터의

유무에 따라 다르나 대략 100~250mmH₂O의 범위이다. 충전제에는 여러 종류가 있으나

표면적이 크고, 수막 형성이 쉽고, 가스의 흐름에 대해 저항이 적으며, 편류(偏流)나

익류가 적고 가벼우며 단단한 것이 좋다.

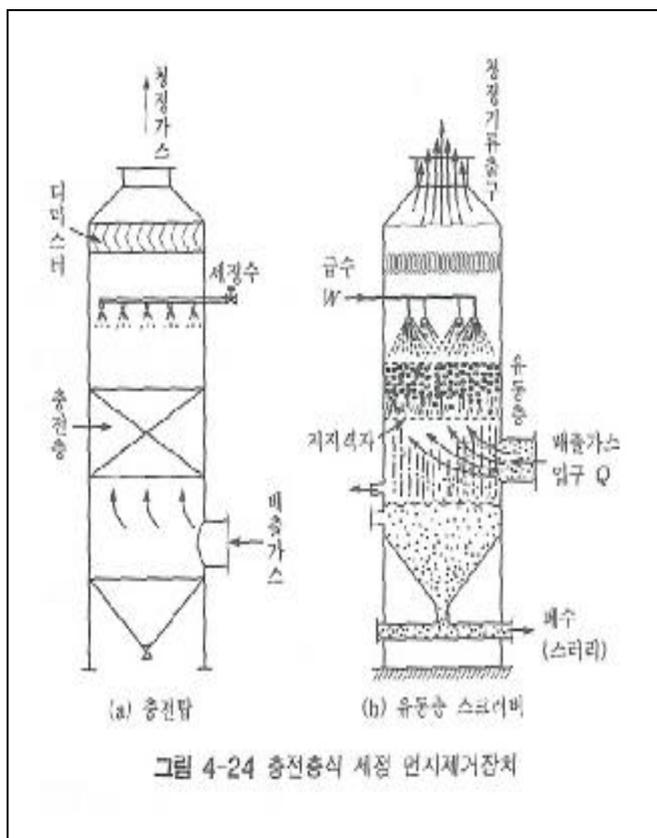
(2) 유동층 스크러버 (fluidized bed scrubber):

지지격자상(支持格子)에 플라스틱 또는 유리제의 구슬을 부유시켜, 처리하는

경우에 사용된다. 주로 구표면의 액막에 함진가스의 집진과 유해가스를 동시에

출구측에는 동반 미스트를 포집하기 위해 디미스터가 설치되며,

50%분리한계 입자경은 1~3μm정도이다.



4-2-4. 회전식(rotary type)

송풍기의 회전을 이용하여 공급수와 배출가스를 교반하여 공급수로 형성된 물방울, 액막에 의해 배출가스의 세척을 한다. <그림4-25>에 그 대표적인 사례를 나타냈다.

(1) 타이젠 와셔(Theisen disintegrator):

회전축에 다수의 날개가 부착되어 있고, 케이싱부에는 회전축의 날개와 서로 어긋나게 고정 날개가 고정되어 있다. 배출가스와 공급수는 회전축에 설치된 케이지(cage)내 유입되고 회전축을 350~750rpm의 고속으로 회전하여 함진가스를 세척한다. 액기비는 0.7~2L/m³이며, 50~150mmH₂O로 승압된다.

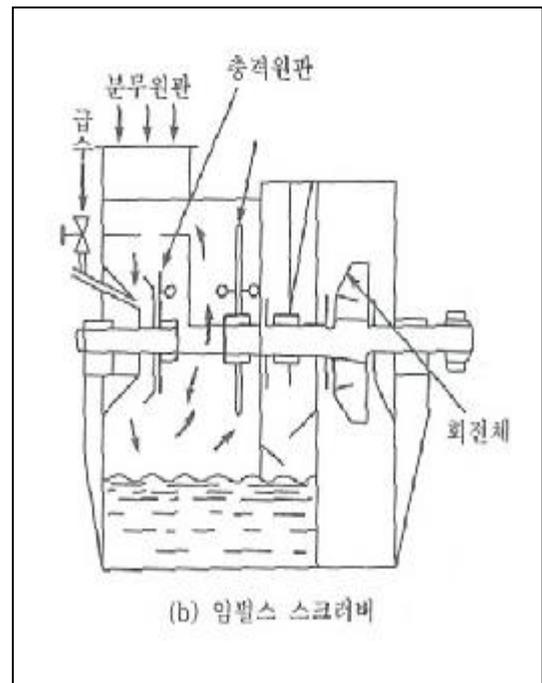
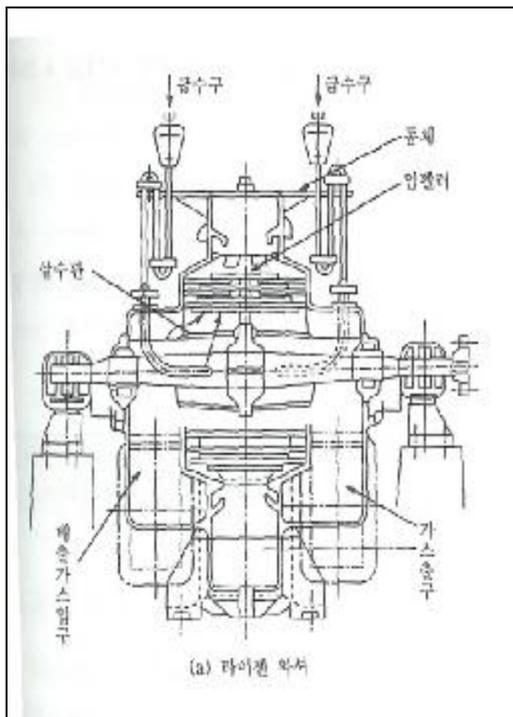
50% 분리한계 입자경은 2μm 정도이다.

(2) 임펄스 스크러버(Impulse scrubber):

회전축에 달린 분무원판에 의해 물방울을 형성시켜서 배출가스를 세정한다.

포집률은 타이젠 와셔(Theisen disintegrator)보다 못하지만,

액기비는 0.3L/m³전후이며, 소요전력은 0.1kWh/m³ 정도로 적은 것이 특징이다.



4-3. 먼지제거성능

먼지제거장치의 먼지제거성능을 충분히 발휘시키기 위해서는 그 장치에 적합한 가스 속도로 처리할 필요가 있다. 이 처리가스 속도를 기본 유속이라 한다.

1) 세정 먼지제거장치의 특성

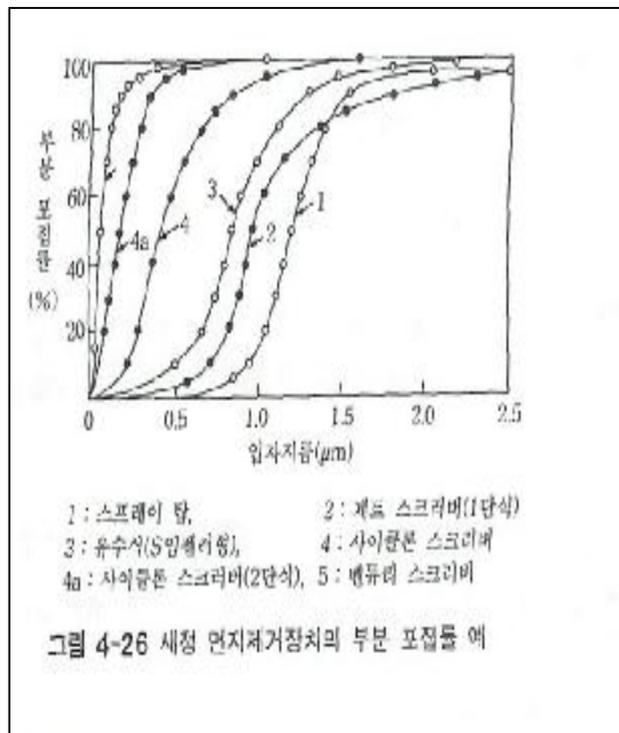
주요한 세정 먼지제거장치의 기본유속, 액기비, 세정수의 압력, 압력손실, 50% 분리 한계 입자경을 <표4-21>에 나타냈으며, 대표적인 먼지제거장치의 부분 포집률의 예를 <그림 4-26>에 나타냈다.

표4-21 주요한 세정 먼지제거장치의 특성

장치명칭	기본유속 (m/sec)	액기비 (L/m ³)	펌프압력	압력손실 (mmH ₂ O)	50%분리 한계 입자지름(μm)
스프레이 탑	1~2	2~3	중	10~50	3.0
충전탑	0.5~1	2~3	소	100~250	1.0
사이클론 스크러버	1~2	0.5~1.5	중	120~150	1.0
타이젠 와셔	(300~750)	0.7~2	소	-50~150	0.2
제트 스크러버	10~20	10~50	대	0~150	0.2
벤츄리 스크러버	60~90	0.3~1.5	소	300~800	0.1
다단침액식스크러버	60~90	0.3~1.5	소	300~800	0.1

2) 처리가스 속도와 먼지제거성능

처리가스 속도가 먼지제거성능에 미치는 영향은 형식에 따라 다음과 같다.



(1) 유수식 :

함진가스가 저류수를 빨아올려 물방울, 액막을 형성하는 통로의 가스속도가 클수록 물방울은 작게 되어 미세입자의 포집이 가능하다.

(2) 가압수식 :

벤투리 스크러버, 제트 스크러버에서는 스로트부의 가스속도가 클수록 물방울이 작게 되어 미세입자의 포집이 가능하게 된다. 벤투리 스크러버에서 생성되는 물방울의 물방울의 평균지름 $d_{um}(\mu m)$ 는 액기비를 $L(L/m^3)$, 스로트부의 흐름속도를 $u(m/sec)$ 라 하면, 다음 식으로 표시된다.

$$d_{um} = \frac{4,980}{u} + 29L^{1.5} \tag{4.74}$$

반면 스프레이 탑, 사이클론 스크러버는 공탑속도가 적고, 액기비가 크며 함진가스와 물방울의 접촉시간이 길수록 집진성능은 높아진다.

(3) 충전층식 :

공탑속도가 적고 충전층에서 함진가스의 체류시간이 길수록, 그리고 충전물의 표면적이 크고, 처리 가스 흐름이 균일할수록 집진성능은 높아진다.

(4) 회전식 :

일반적으로 회전수가 크고, 액기비가 클수록 동력비는 증가하지만, 먼지제거성능은 좋아지고 승압도 커진다.

3) 기액분리

세정 먼지제거장치의 포집성능을 향상시키기 위해서는 입자에 부착한 물방울을 가스 중에서 완전히 분리 포집하는 것이 필요하다 이것을 기액분리라 한다.

표 3-4 유해가스의 제트 스크러머 처리 특성

유해가스	시정액	단수	액기비 (L/m³)	Slot 속도 (m/sec)	분사압 (kg/cm²)	먼지 제거율 (%)
HCL	H ₂ O	1	5~8	30~40	3~3	98
NH ₃	H ₂ O	1	"	"	"	97
HF	H ₂ O	1	"	"	"	96
HNO ₃	H ₂ O	1	"	"	"	96
Cl ₂	H ₂ O+NaOH	2	"	"	"	98
H ₂ S	H ₂ O+NaOH	2	"	"	"	85
SO ₂	H ₂ O+NaOH	1	"	"	"	92
NO ₂	H ₂ O+NaOH	2	10~12	40~60	3~6	60

표 3-5 흡수 방식의 특성

흡수구분		유해가스	흡수원리	흡수장치	제거율 (%)	
물리적	습식	물흡수	가스 용해도	스크러버	30~80	
				충전탑		
	건식	활성탄 흡착	활성탄흡착	흡착탑	95~98	
화학적	습식	알칼리액	HCl + NaOH → NaCl + H ₂ O	스크러버	50~98	
			SO ₂ + 2NaOH → Na ₂ SO ₃ + H ₂ O	충전탑		
	건식	석회가루 분산	HCl	2HCl + CaO → CaCl ₂ + H ₂ O	석회	75~85
			SO _x	SO ₂ + 1/2 O ₂ + CaO → CaSO ₄	분산탑	
반건식	암모니아 가스주입	HCl	HCl + NH ₃ → NH ₄ Cl	가스혼합	60~70	
		SO _x	SO ₂ + 2NH ₃ + H ₂ O → (NH ₄) ₂ SO ₃	반응탑		

표 3-6 각종 흡착제의 물성

구분	활성탄		실리카겔	알루미나	활성 백토		모레큐라시브 (제오라이트계)
	입상	분말탄			입상	분말탄	
진밀도 (g/cm ³)	2~2.2	1.9~2.2	2.2~2.3	3~3.3	2.4~2.6	2.4~2.6	2~2.5
입자밀도 (g/cm ³)	0.6~1	-	0.8~1.3	0.9~1.9	0.8~1.2	-	0.9~1.3
충전밀도 (g/cm ³)	0.35~0.6	0.15~0.6	0.5~0.85	0.5~1	0.45~0.55	0.3~0.5	0.6~0.75
공간율 (%)	33~45	45~75	40~45	40~45	40~40	40~70	32~40
세공용적 (cm ³ /g)	0.5~1.1	0.5~1.4	0.3~0.8	0.3~0.8	0.6~0.8	0.6~0.8	0.4~0.6
비표면적 (m ² /kg)	700~1500	700~1600	200~600	150~350	100~250	100~250	400~750
평균 공극 간격 (nm)	1.2~4	1.5~4	2~12	4~15	8~18	8~18	-