

산업가스 청정 및 대기 오염 방지

1. 서론

산업의 발전은 오염제어의 문제점이 증가되고 있다. 많은 도시에서 대기가 오염될 뿐만 아니라 원천적으로 오염의 강도가 증가되고 있다. 오염이 증대됨에 따라 더 효과적인 공기청정의 필요성에 대한 국민 인식이 커지고 있고, 이러한 인식은 Dust나 오염의 집진에 대한 엄한 법규가 채택되는 결과를 가져왔다.

여기서는 법규와 지방 조례에 따른 배기의 흐름 또는 폐가스의 청정에 대하여 다룬다. 어떤 대기 흐름에서 대표적인 오염물을 입자 또는 가스형태로서 크게 분류된다.

오염방지의 투자비는 생산비에 관련있고, 오염방지 방법의 적절한 결정으로 오염방지 시설이 생산의 전체 금액에 영향을 주는 것이 최소한으로되는 시스템 검토가 되어야 한다. 동일한 부분을 생산하는데 적용되는 시스템은 오염방지 시설비를 줄여야 한다.

산업 대기오염 방지 시설은 아래의 요소들을 실행하여 설계한다.

- 1) 대기 오염 방지법 또는 규정에 따른다
- 2) 개인적인 또는 주위의 소유물에 대한 육체적인 손상 및 피해를 방지
- 3) 작업공간으로 오염물의 다시 들어감을 방지
- 4) 유용한 재료, 열, 에너지의 개선
- 5) 화재, 폭발 또는 다른 위험을 감소

한국공기청정 연구조합

자료실 제공

- 6) 작업공간으로 청정공기의 재순환을 허용
- 7) 공정을 위한 청정한 가스의 이용을 허용

2. 공기청정에 요구되는 정도

대기로 방출할 수 있는 물질의 양은 Standards라 불리는 환경공기 순도의 어떤 레벨을 완성하기로 되어있는 Air Quality Emission Standards로서 연방·주·지방규정으로 되어있고, 산업공장에서 방지 시설의 필요성이 종종 장비의 보호, 생산품의 증진, 청정 작업 공간의 확보를 위한 산업 투자자의 첫번째 관심이다. 작업공간으로 오염물의 다시 들어오는 것은 효과적인 공기 청정 장치에 의해 방지하여 대기에 깨끗한 공기를 방출하여야 한다. 국민적 불만은 비록 대기에 방출되는 농도가 허가 한계 이내일 지라도 나타날수 있다. 따라서 공장의 위치, 오염물의 종류, 그 지역의 기상조건등은 법규에 부가하여 검토되어야 한다.

화재나 폭발 위험은 가연 먼지, 증기, 가스를 발생시킨다. 안전은 여러물질의 정착 또는 축적, 가시도의 제거에 의해 효과가 있다. 공기 청정 장치의 적절한 적용은 공기청정 장치 그 자체의 폭발 위험이 고려되어야 한다. 유용한 물질의 복구를 위한 공기 청정의 등급은 투자비, 운전비, 집진의 량과 가치들의 여러가지 요소들로 경제적인 평가를 하는 것이다. 대부분의 경우 Emis-

sion Standard는 만일 복구가 가능하다면 실제 경제적인 복구하는것 보다 공기청정의 높은 등급을 요구한다. 공기청정도는 유독 물질이 포함되어있고 청정된 공기가 작업공간을 재순환 되어지는 곳에 가장 높게 요구되어야 한다. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH)의 산업환기위원회에서 청정된 생산 배기의 재순환을 위한 기준을 세웠다.

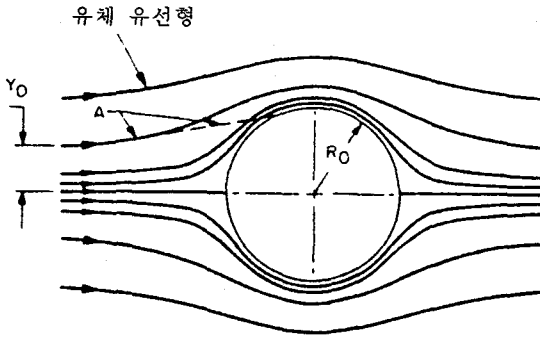
3. 습식 집진

습식 집진 장치는 프로세스 가스 흐름으로부터 먼지, 분진, Fume의 모든 형태를 제거하기 위하여 최소한 75년 전부터 사용되어 왔다. 습식집진기는 액체 형태(일반적으로 물)로 적용하여 입자(먼지, 분진, Fume)를 제거하고 흡착하는 장치이다. 입경의 크기는 0.3에서 50 μ m 또는 보다 큰 입자를 다룬다. 습식 집진기는 3가지 종류로 구별할 수 있다. 1. 낮은 에너지 형태(1W/cfm[2J/L]이하). 2. 중간 에너지 형태 (1에서 3W/cfm[2에서 6J/L]까지). 3. 높은 에너지 형태(3W/cfm[6J/L]이상)

3.1 작동의 원리

가장 중요한 기구적 특성은 입자를 제거하고 흡착하는 것인데, 관성충돌, 브라운 운동 확산 과응결이다.

관성충돌(그림 1 참조)은 먼지입자와 액체의 적은 물방울의 충돌이 일어나서 입자가 흡착된다. 이 결과로 상대적으로 큰 입자, 액체 먼지입자 적은 물방울은 중력 또는 충돌에 의해 가스 흐름으로부터 쉽게 제거된다.



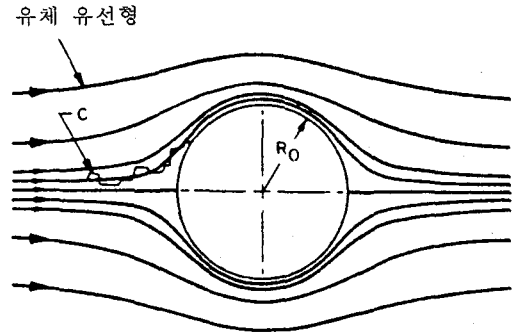
A는 입자 중심의 궤도이다.

그림 1. 관성충돌

브라운 운동 확산(그림 2참조)은 먼지입자가 매우적고 가스흐름으로부터 분리하여 운동을 할 때 나타난다. 적은 입자는 다른 입자와 충돌하여 큰 입자를 만들거나 적은 물방울과 충돌하여 흡착된다.

응결은 가스 또는 공기가 노점 온도 아래로 냉각되었을 때 일어난다. 수분이 가스 흐름으로부터 응결이 일어날때 안개현상이 일어나며, 먼지입자는 응결핵으로 나타난다. 먼지입자는 응결된 액체로 커지고 충돌에 의한 제거의 확률이 증가된다.

습식 집진기는 두가지의 독립된 작용으로 행해진다. 첫번째 작용은 오염가스가 액체



C는 유체 운동과 확산에 의해서 일어나는 입자 중심의 경로이다.

그림 2. 확산

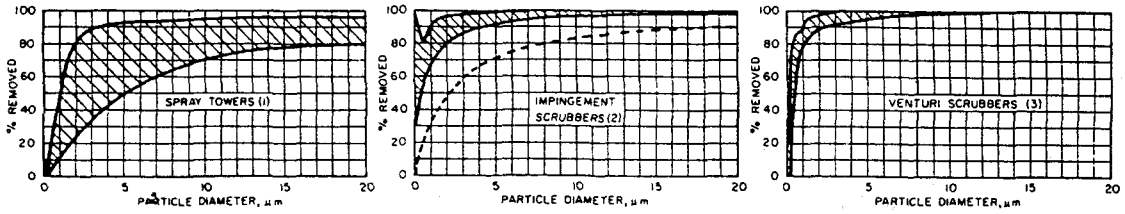
와 접촉하는 Contact Zone에서 일어난다. 두번째는 입자를 잡은 액체가 가스 흐름으로부터 제거되는 Separation Zone이다. 잘 설계된 모든 습식 집진 장치는 아래의 원리를 하나 또는 더 많이 적용하고 있다.

- 1) 액체와 가스의 높은 비율.
- 2) 액체와 먼지입자 사이의 친밀한 접촉
- 3) 충돌의 기회를 증가시키기 위하여 적은 액체 물방울을 매우 많이 형성

일반적으로 습식 집진기의 주어진 형태에서 큰 힘이 그 시스템에 적용되면 높은 흡착율이 될 수 있다. 그림 3은 습식 집진기의 단편적인 효과를 비교한다. 입자의 제거를 위한 압력강하의 관계는 그림4에 나타난다.

3.2 습식 집진기의 형태

스프레이 타워(그림 5 참조)와 충돌 스크라바(그림 6 참조)는 많은 다른 배열에 유



Notes:

1. 효율은 액체 분포에 영향을 받는다. 높은 효율은 높은 액체량과 압력과 일치한다.
2. 위 커브는 Packed Tower, 아래 커브는 오리피스타입의 습식집진기, 사선은 세척되어진 Baffle과 Rod의 적은 효율을 나타낸다.
3. 높은 효율은 높은 압력강하와 일치한다.

그림 3 습식집진기의 효율 곡선

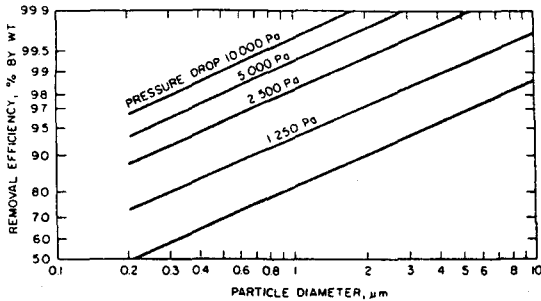


그림 4 벤츄리 스크라바에서 효율과 입자 크기와의 관계

용하다. 가스 흐름은 하나의 스프레이 또는 스프레이 배열 또는 공기가 날개 배열의 힘에 의하여 흡수된다. Packed Tower를 제외하면 스크라바의 이런 형태는 낮은 에너지 형태이다. 따라서 그것들은 입자제거에 상대적으로 낮은 등급을 갖는다. 효율은 2μm 먼지를 50에서 70% 범위이다. 물 흡수는 2.

8에서 11gal/1000cfm · gas(700에서 2500 Lgas/Lwater) 범위이다. 스프레이 타워의 효율은 높은 압력 스프레이를 가하여 증가시킬 수 있다(그림 5 참조). 스프레이 압력은 700에서 3000kpa 범위이다. 스프레이 압력을 사용함에 따라 효율은 2μm 먼지 입자에서 95에서 99% 범위로 할 수 있다.

Centrifugal 형태 Collector(그림 6 참조)는 가스흐름의 접선의 입구에 의해 특성화되고, 중간에너지 장치로 구분된다. 효율은 2 μm 입자에서 90에서 95% 범위가 된다. 물 흡수는 2.5에서 5gal/1000cfm · gas(1400에서 2800Lgas/Lwater) 범위이다.

오리피스 형태 Collector(그림 7 참조)는 또한 중간에너지 범위에 분류된다. 일반적으로 가스흐름은 액체의 표면에 부딪치고, 가



그림 5 스프레이 타워

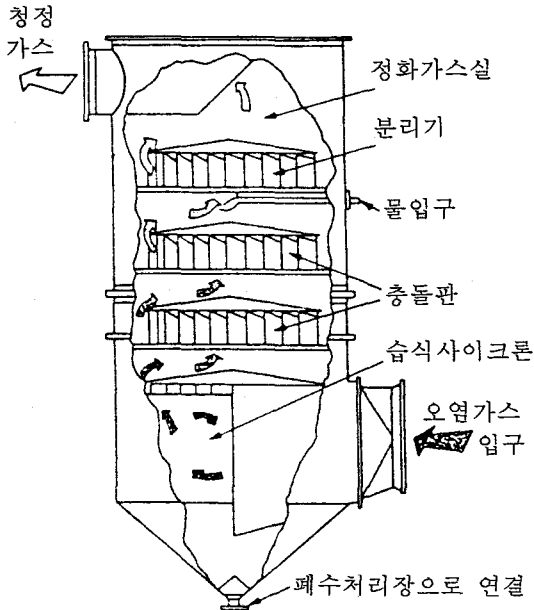


그림 6 충돌형 스크라바

스속도가 증가하고 액체가스 입자의 상호작용이 일어나는 압축을 통해 힘을 받는다. 흡수 효율은 2 μ m 입자에서 90에서 94% 정도이다. 오리피스 Collector에 사용되는 물은 증발 상실과 흡착된 오염물 제거에 한정되어 있다.

높은 에너지 벤츄리 Scrubber(그림 8 참조)는 공기가 12000fpm(60m/s) 또는 더 크게 가속되어지는 벤츄리 모양의 오리피스를 통하여 공기를 통과시킨다. 설계에 따라 목부분 또는 앞쪽에 액체를 부가 한다. 이 공기의 빠른 가속도는 액체를 수백만개의 액체입자 충돌의 기회를 증가시키는 적은 물방울로 분리한다. 실제적인 적용에서 벤츄리 압력 강하는 0.36에서 2psi(2.5에서 15kpa)범위 일것이다. 물 회전이 높고 0.5에서 10gal liquid/1000cfm gas(700에서 14000Lgas/Lliquid)요구된다. 따라서 벤츄리 시스템은 물 교정시스템을 사용한다.

3.3 적용

습식 집진기는 경제적으로 젖은 상태에서 물체를 흡착하는 산업 생산공정 공기흐름으로부터 대부분의 입자를 흡착하는데 사용된다. 습식 집진기의 약간의 단점은 있다

- 1) 부식에 매우 민감
- 2) 가스흐름에 높은 습도
- 3) 높은 압력강하
- 4) 높은 힘이 요구된다

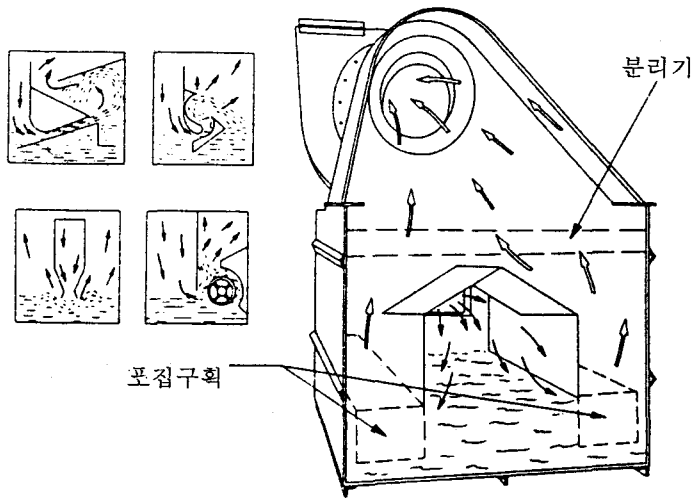


그림 7 습식 오리피스형 Collector

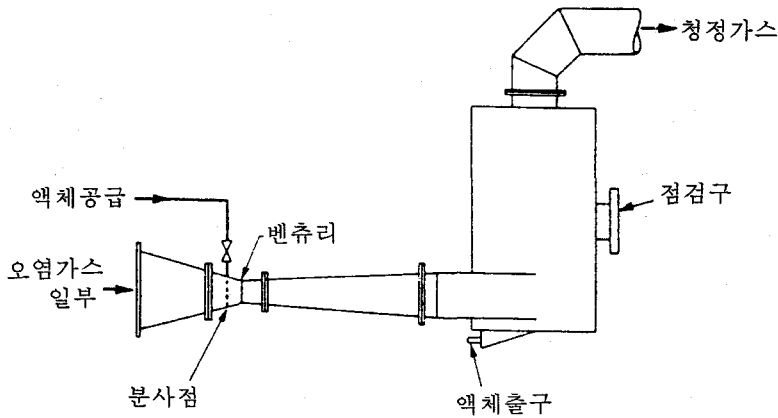


그림 8 벤츄리 스크라바

그리고 중요한 장점은

- 1) 두번째의 먼지 발생이 없다
- 2) 적은 Spare Part가 요구
- 3) 가스와 입자 모두 집진 하는데 유리
- 4) 낮은 가격

- 5) 높은 온도, 높은 습도의 가스흐름을 다루는데 유리하고 화재 또는 폭발의 가능성 또한 줄일수 있다.

3.4 보조장비

습식 집진기로부터의 찌꺼기는 프로세스나 보조 Pond에 다시 사용될 수 없고 하천 오염을 방지하고 방류를 할 수 있도록 처리 장치를 거쳐야 한다. 엄격한 하천 오염 규범은 반드시 적용하여야 한다. 정화 장비는 탱크, 오염물을 다루는 장치와 원심 분리기 또는 진공 필터가 포함된다. 규정으로 되어 있는 오염물을 제거하고 다루는 것은 반드시 지켜야 하고 2차적으로 오염문제가 대두되지 않도록 하여야 한다.

4. WET-PACKED GAS SCRUBBER

Packed Scrubber는 공기 흐름으로부터 문제가 있는 구성요소를 제거하는데 사용된다. 이 제거의 효과를 위하여 이 Scrubber는 어떤 액체(일반적으로 물)로 세척되어진다.

Packed Scrubber는 공기의 흐름에 큰 습식 표면을 제공하는 원리를 작동된다. Scrubber는 다음에 의해서 이루어진다.

- 1) 입자의 충돌은 충전재의 젖은 표면 위에 공기를 붙여 넣는다.
- 2) 고체가스 또는 증기 입자의 흡수를 젖은 표면에 액체를 접촉에 의한 공기와 혼합된다.

고체 또는 액체 입자의 제거는 액체 표면에 접촉후 젖음에 의해 물리적으로 제거한다. 여기에는 액체 필름의 성질이 바뀌지 않는

한 입자 흡착의 양은 한계가 없다.

가스 또는 증기제거는 더 복잡하다. 공기 흐름으로부터 제거된 구성요소는 액체안에 흡수되어 그 성질을 변환한다. 액체안에 가스 또는 증기의 용해된 것은 액체를 용해하는 증기압으로 진행된다.

이 증기압은 액체안에 용해된 흡수가 증가될수록, 액체 온도가 증가할수록 증가 된다. 공기로부터 유용하지 않은 것의 흡착은 가스에 있는 구성 요소가 액체보다 증기압이 초과될때의 분압만큼 오래 계속된다. 오염 제거의 비율은 분압과 증기압사이의 차이점이고 또한 오염입자의 확산이율이다.

Packed Scrubber의 효율은 충전재 깊이 또는 고정 층 깊이의 주어진 장치에 의한 단위당 제거되는 입자 또는 가스 오염물질의 분수로서 표시된다. 이 효율은 일반적으로 무게에 의해 입자의 제거 또는 부피에 의한 가스의 제거의 퍼센트로서 나타낸다. 충전재는 액체로 고르게 젖게 큰 표면적을 갖도록 설계한다. 더구나 그것은 높은 마찰력을 갖고 있으므로 압력강하를 적게하여야 한다.

높은 효율의 충전재는 가스와 액체가 난류로 혼합을 촉진한다. 가장 일반적인 분무 스크라빙 작용은 가스 비율을 약간 증가시켜 제거 효율을 감소시켜서 이 장치가 높은 가스 속도에서 작동될 수 있도록 한다. 일반적으로 액체 비율을 증가시키는 것은 효율

면에서 거의 효과가 없다. 따라서 액체 흐름은 안전 작동을 위하여 요구되는 최소량으로 유지한다. 가스 비율이 어떤 값보다 증가 하므로해서 거기에는 충전재의 표면으로부터 액체를 제거하려는 경향이 있고 배기 gas와 같이 집진기의 밖으로 액체를 같이 있게 된다. 만일 압력강하의 제한이 없다면 최대 집진기량은 지나치게 액체가 포함되어 바로 그 비율로 가스 비율이 나타날 것이다.

대부분은 Fume Scrubber는 Fan의 흡입측에서 운전한다. 이것은 대기오염물의 유출을 감소시킬뿐만 아니라 작동중에도 서비스를 할 수 있다. 부가하여 이런 배열은 Fan의 부식을 최소화한다. Wet Packed Scrubber로부터 배기되는 gas는 물 증기로서기 때문에 방출되는 스택은 Fan으로 다

시 들어가지 않도록하고 응축된 것을 버려야 한다.

4.1 Scrubber 충전재

충진재 중에서 6가지 형태를 그림 9에 나타낸다. 충전재는 세라믹 금속, 플라스틱으로 가능하다. 플라스틱 충전재는 가벼움과 기계적 손상에 견딜 때문에 Scrubber에 널리 사용되고 있다. 그것은 산, 알칼리, 유기화합물의 화학적 저항의 넓은 범위를 제공한다. 그러나 플라스틱 충전재는 넓은 온도 범위나 솔벤트로부터 변형될 수 있다. 일정한 압력 강하에서 충전재의 상대적인량은 표 1에 나타낸것같이 Packing Factor로부터 계산하여 얻을 수 있다. 충전재의 gas를 다루는량은 아래의 식과 같이 Packing Factor의 제곱근에 반비례한다. 주어진 충

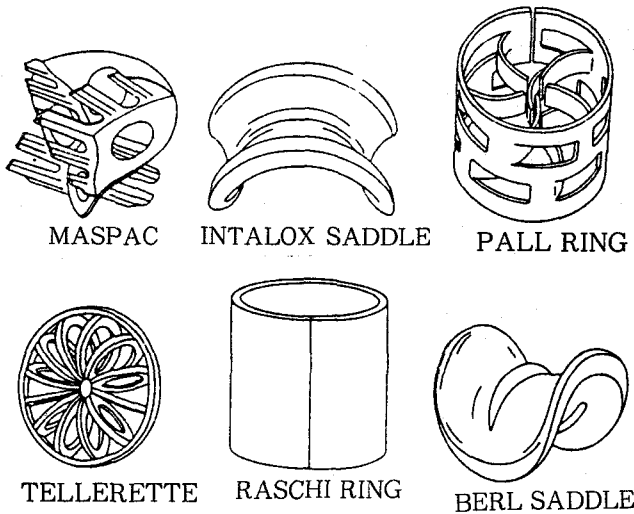


그림 9 스크라타의 일반적인 충전재 예

진재의 Packing Factor가 적으면 적을수록 가스를 다루는 량은 커지게 된다.

$$G=K/\sqrt{F}$$

표 1 Packing Factors

충진재의 형태	재질	크기 (mm)				
		19	25	38	51	76or89
Super Intalox	Plasic		40		21	16
Super intalox	Ceramic		60		30	
Intalox Saddles	Ceramic	145	110	52	40	22
Berl Saddles	Ceramic	170	155	65	45	
Raschig Rings	Ceramic	255		95	65	37

4.2 Packed Scrubber의 배열

Wet-Packed Scrubber의 작동되는 4가지 일반적인 배열(그림 10참조)이다. 이 배열은 오염된 가스 흐름과 접촉되는 액체의 방향에 의해 구별 된다.

같은 방향 흐름의 Scrubber는 수평 또는 수직으로 작용될 수 있다. 수평으로 같이 흐르는 Scrubber는 충진재안으로 액체를 운반하는 가스 속도에 달려있다. 따라서 매우 한정적인 가스와 액체와 접촉시간으로 습기 있는 분리기로서 작동된다. 가스 속도는 액체가 다시 들어옴에 의해 약 650fpm(3.3m/s)로 한정된다. 수직으로 같이 흐르는 Scrubber는 매우 높은 압력강하(1에서 3 in of water/ft of depth[800에서 2400Pa/m of depth)에서 작동할 수 있고, 가스 속도에 의한 넘치는 한계는 없다. 접촉시간은 충진

재 깊이와 관계된다. 흡수되어 움직이는 힘은 액체가 포함된 오염 물질이 배기가스 흐름과 접촉되므로 감소된다.

교차 흐름의 Scrubber는 수직으로 흐르는 액체와 수평으로 움직이는 가스흐름이 사용된다. 가스 흐름과 교차되는 흐름은 액체 세척되는 지역과 다르다 이 장치는 흡수되는 힘이 수직으로 같이 흐르는 Scrubber와 반대로 흐르는 Scrubber 사이에 중간 정도이다.

반대로 흐르는 Scrubber는 가스 흐름이 수직 방향 위로 흐를 때 액체 흐름은 수직 방향 아래로 흐른다. 이 장치에서 가스를 다루는 량은 압력강하 또는 액체에 의해 한정된다. 접촉시간은 충진재의 깊이에 의해 조절될 수 있다. 흡수되는 힘은 최대이고 왜냐하면 배기 가스가 깨끗한 집진 액체와 접촉되기 때문이다.

4.3 다른 Packed Scrubber

흡착에 의한 가스 오염제거를 위하여 반대 흐름은 Packed Scrubber(그림 11 참조)가 오늘날 가장 일반적으로 사용된다. 왜냐하면 운용하는 힘이 최대이고 배기 가스를 가장 낮은 오염 농도로 감소시킨다. 그리고 액체 소비를 최소를 하여 방출 액체가 가장 높은 오염농도를 갖도록 할 수 있다.

충진재의 표면을 넓혀 Hcl 같은 높게 녹일 수 있는 가스의 흡수를 확실하게 하여야 한

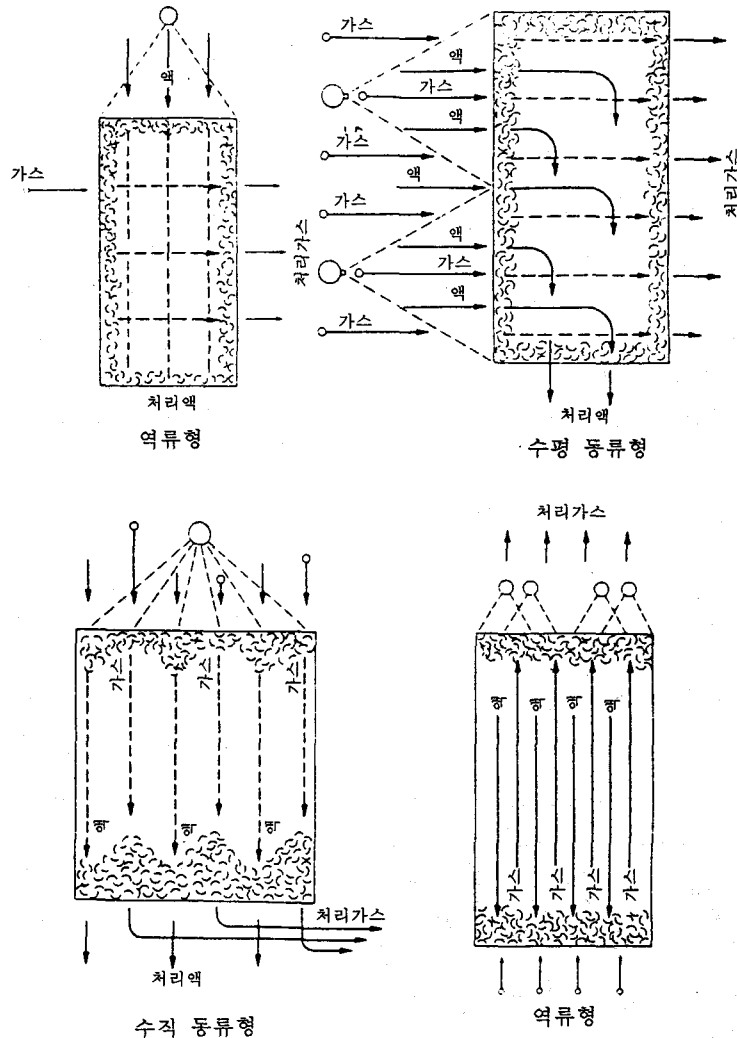


그림 10 충전층을 통하는 흐름 배열

다. 그리고 요구하는 접촉 시간을 최소로 한다. 충전재의 형태는 플라스틱 화이버로 엮은 매트로 구성된다. 화이버의 적은 직경 때문에 화학적 노출에 의한 영향을 받지 않는 플라스틱재로 구성되어야 한다. 그림 12에 나타낸 Scrubber는 연속적으로 세개의 습식 단계로 구성되어 있다. 마지막의 건조

매트는 엘리미네이터로 사용된다. 하나의 습식 층돌 단계는 만일 고체가 엮은 매트의 막힘을 방지하는 입구 가스 흐름안에 있다면 습식매트를 거친다.

그림 13은 표면적을 크게한 Packed Scrubber의 수직적 배열이다. 이 설계는 연속적으로 완전한 단계를 쓰고 있다. 각 단계의

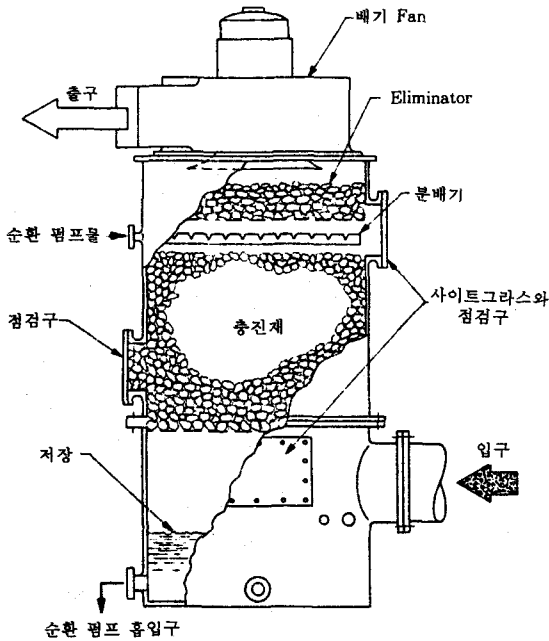


그림 11 역류형 충진탑

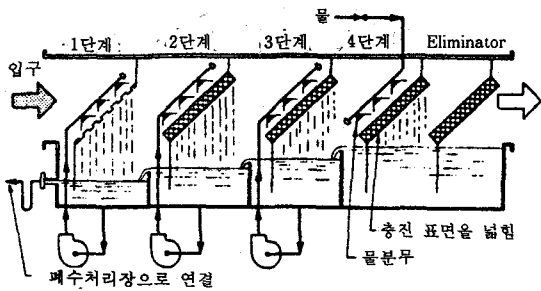


그림 12 수평 다단 확대표면 스크라바

바닥에 수평 매트는 Food-Bed Scrubber로서 작동된다. 왜냐하면 집진 Bed는 Flooded 형태로 작동되고 물 소비가 최소로 된다

4.4 압력강하

반대흐름의 Scrubber에서 입자 충전재를 통

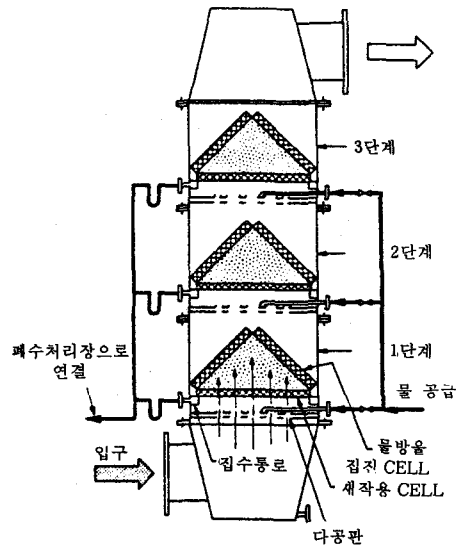


그림 13 수직 확대표면 스크라바

한 압력강하는 단위 면적당 공기 흐름과 물 흐름으로부터 계산할 수 있다. 그림 14에 의해 충전재의 어떤 크기와 형태로 만들것인지 유용하다. 그리고 어떤 충전재의 압력강하는 표 1로부터 Packing Factor를 사용하여 쉽게 구할수 있고 그림 15에는 압력강하의 상호관계를 보여준다. 이 상호관계는 집진액체로서 물과 공기의 실질적인 가스 흐름을 위하여 특별히 발전시켰다.

이 상호작용은 공기 또는 물로부터 매우 특별한 가스 또는 액체의 성질을 갖고 있다면 사용될 수 없다. 반대 흐름의 Scrubber는 일반적으로 압력강하가 0.25에서 0.65 in of water/ft of depth(200에서 530pa/m of depth)사이에서 작동되도록 설계한다. 액체 사용량은 시간당 베드 면적의 100에서

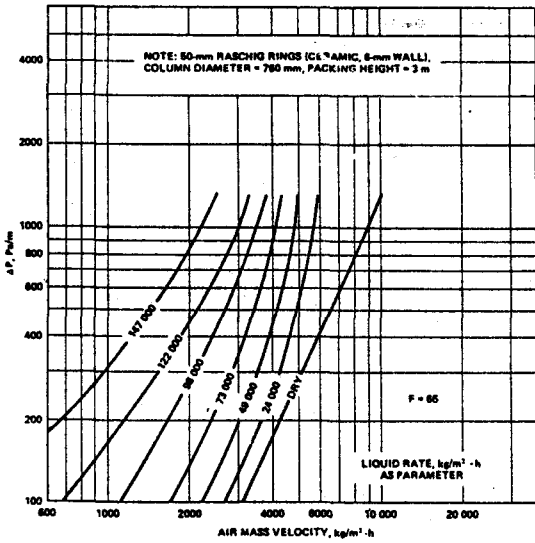


그림 14 압력강하와 가스량 (50mm 세라믹 Rasching Ring)

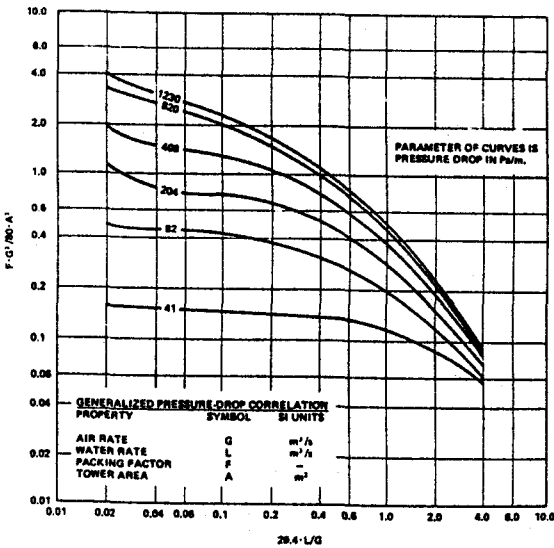


그림 15 일반적인 압력 강하 상호 관계

300gpm/ft²(5.0에서 13.6m³/m²)정도이다.

4.5 흡수 효율

충진 베드의 효율을 계산하는 것은 양을 계산하는 것보다 흡수의 작용이 포함되어 있기 때문에 더 복잡하다. 효율에 영향을 주는 요소들은 가스비, 액체비, 충전재 크기, 충전재 형태, 가스농도, 액체농도, 온도, 반응비가 있다.

모든 충전재는 물안에 있는 NaOH의 용해와 공기안에 CO₂를 규정된 시스템을 사용하여 흡수비(질량전달계수)를 측정한다. 이 시스템이 선택되었는데 왜냐하면 계속되는 연구를 통해 여러가지의 내부작용을 알았기 때문이다. 그리고 이 시스템의 질량전달 계수는 낮은 량이다. 그래서 실제적인 경험에 의해 구할 수 있다. 이 시스템으로 규정된 실험 조건하에서 여러가지 충전재의 질량전달계수(K_{ca})의 값은 표 2에 주어진다. 가스오염 제거 문제들의 95%가 넘는것은 공기안에 오염물질이 낮은 농도로 포함하고 있다.(0.005 mol 분수 보다 적다). 대부분의 Scrubber는 집진 액체로서 물 또는 희석된 가성 액체를 사용한다. 방출되는 액체에는 오염물질의 농도가 0.005mol 분수보다 적어야 한다. 따라서 이 액체보다 오염물의 증기압이 매우 적을 것이다. 따라서 가스와 액체의 Scrubber를 통한 흐름을 일정하여야 하고, 액체보다 오염물의 증기압이 매우적이다. 그것은 단순한 설계접근을 가능하게 한다.

가스로부터 액체로 질량 전달은 Two Film

표 2 여러가지 충전재의 상태 K_{Ga}
($g \cdot mol/s \cdot m^3_{kPa}$)*

충진재의 형태	재질	크기 (mm)			
		25	38	51	76or89
Super Intalox	Plastic	0.096		0.063	0.039
Intalox Saddles	Ceramic	0.086	0.075	0.063	0.036
Raschig Rings	Ceramic	0.076	0.066	0.053	
Hy-Pak	Metal	0.097	0.082	0.074	0.048
Pall Rings	Metal	0.102	0.082	0.071	0.040
Pall Rings	Plastic	0.087	0.076	0.064	0.039
Tellerettes	Plastic	0.096		0.087	
Maspac				0.063	0.039

*System: CO₂ and NaOH; liquid rate: 9780kg/m² · h; gas rate: 2445/m² · h

Theory에 의해 설명할 수 있다. 첫번째 오염가스는 가스 Film를 통해 주된 가스 흐름으로부터 확산에 의해 돌아다니고 그때 액체 Film과 마지막으로 주된 액체흐름을 통한다. 가스 Film 또는 액체 Film 액체안에 오염물질의 용해도에 달려 있는 흡수비로 조절한다. H₂O나 CO₂같은 잘 용해안되는 가스는 액체 Film제어라 한다.

Hcl이나 NH₃같은 잘 용해되는 가스는 가스 Film제어라 한다. 액체 Film 제어 시스템에서 질량 전달 계수는 액체비로 변환되고 가스비로는 오직 조금 영향을 받는다. 가스 Film 조절 시스템의 질량 전달계수는 가스와 액체비의 함수이다.

공기로부터 량에 의한 오염물질의 제거율은 공기흐름에서 입구와 출구의 오염농도의 함수이다. 여기서 Y는 오염물의 Mol 분수

이다

$$\% \text{ removed} = 100[1 - (Y_{out}/Y_{in})]$$

흡수를 위한 작용힘(여기서는 액체보다 때우적으로 증기압으로 가정한다)은 오염물질의 입구와 출구의 평균 농도 Ln이다. 여기서 P는 압력 kpa이다.

$$\Delta P_{Ln} = P \left[\frac{Y_{in} - Y_{out}}{\ln(Y_{in}/Y_{out})} \right]$$

오염물의 흡수율(질량전달계수)은 충전재의 깊이와 관계된다

$$K_{Ga} = N/HA \Delta P_{Ln}$$

여기서

$$H = \text{충진재 깊이 ft(m)}$$

$$A = \text{Scrubber 단면적, ft}^2(\text{m}^2)$$

$$N = \text{흡수된 용해 } g \cdot mol/s$$

N의 값은 아래의 식으로 부터 구할수있고 여기서 G는 공기흐름비 $g \cdot mol/s$ 이다

$$N = G(Y_{in} - Y_{out})$$

공기 속도는 단위 공기 흐름비와 가스 밀도와 의 함수이다.

$$V = (tG Mv)/491.6MA$$

여기서

$$V = \text{공기속도, fpm(m/s)}$$

$$Mv = \text{mol 부피 ft}^3/\text{lb mol(m}^3/\text{g} \cdot \text{mol)}$$

$$t = \text{배기 가스 온도 } ^\circ R(k)$$

이런 식과 대기에서 운용되는 압력을 가정을 합하여 도표적 해결은 액체 Film 제어와 가스 Film 제어 시스템을 구할 수 있다. 그림 16, 17, 18는 액체 Film 제어 시스템

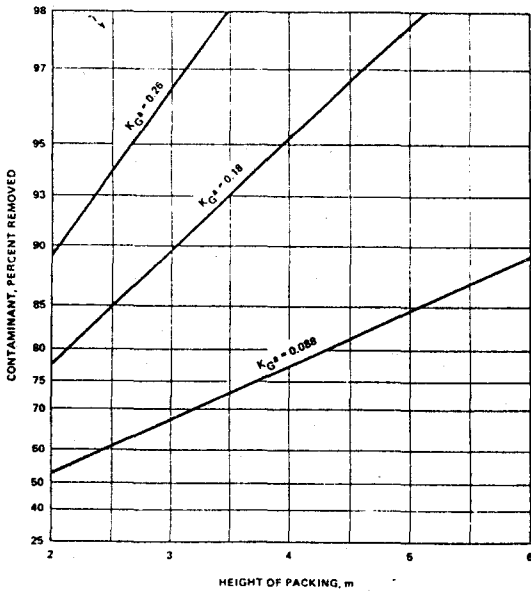


그림 16 Liquid-Film-Controlled System에서 충전재의 높이와 오염 제거율 (풍속 0.61m/s)

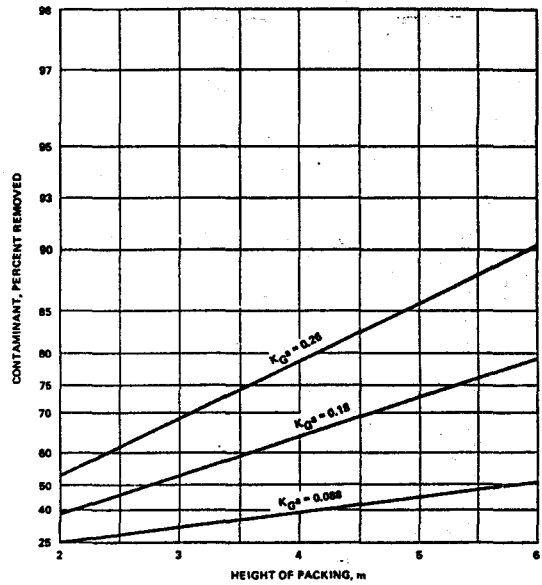


그림 18 Liquid-Film-Controlled System에서 충전재와 오염제거율 (풍속 1.83m/s)

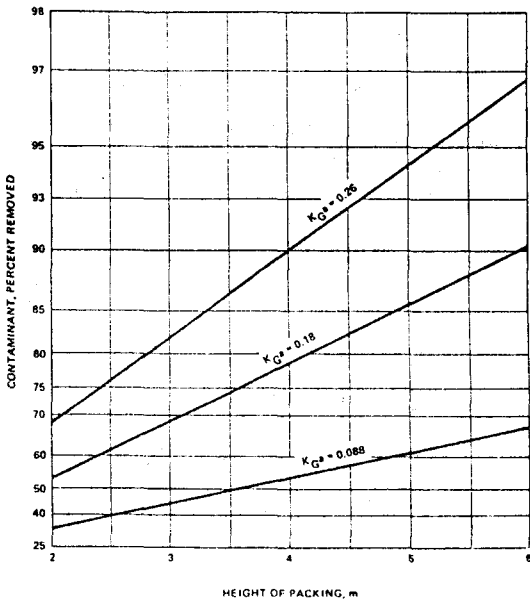


그림 17 Liquid-Film-Controlled System에서 충전재의 높이와 오염제거율 (풍속 1.22m/s)

에서 공기 속도 120, 240, 360fpm(0.61, 1.22, 1.83m/s) 각각에서 질량 전달 계수로서 제거율과 요구되는 충전재의 높이를 구할 수 있다.

그림 19, 20, 21는 가스 Film 제어 시스템에서 같은 공기 속도에서 질량 전달 계수로서 제거율과 요구되는 충전재의 높이를 보여준다. 이 도표는 요구되는 오염물 제거가 주어지길 요구하는 플라스틱 Intalox Saddle의 2.0in(51mm) 높이를 결정할 수 있다. 충전재의 어떤 다른 형태나 크기의 높이는 표 2에서 주어진 규격 K_{Ga} 의 비율에 반비례한다. 만일 4m의 깊이가 오염물 95%의 제거를 요구한다면 같은 제거가 가스와 액체의

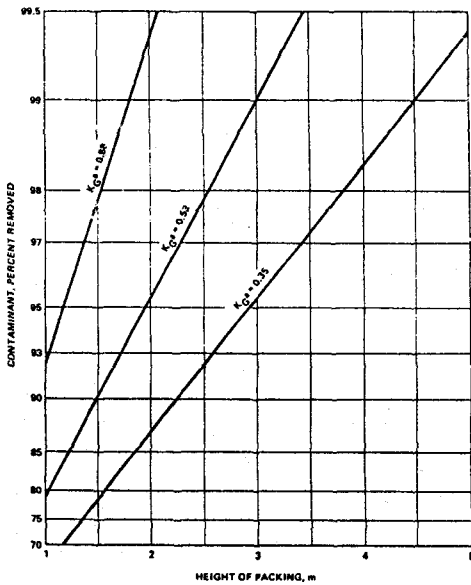


그림 19 Gas-Film-Controlled System에서 충전재의 높이와 오염제거율(풍속 0.61m/s)

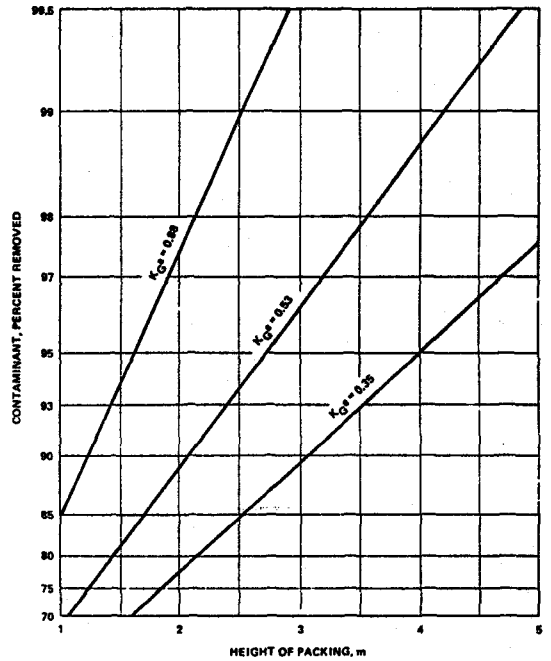


그림 21 Gas-Film-Controlled System에서 충전재의 높이와 오염 제거율(풍속 1.83m/s)

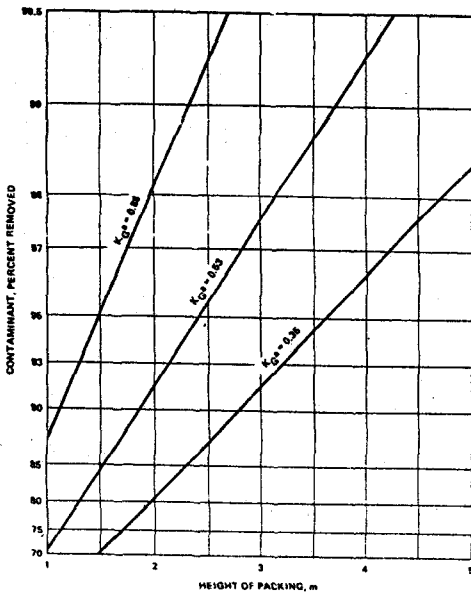


그림 20 Gas-Film-Controlled System에서 충전재의 높이와 오염 제거율(풍속 1.22m/s)

비가 같을 때에 플라스틱 Pall Rings lin (25mm)의 9.5ft(2.9m)로서 얻을 수 있다. 그러나 압력강하는 적은 직경 충전재에서 높다.

이 도표를 사용하기 위해 제거되는 입자 오염물의 질량 전달 계수값을 알아야 한다 표 3에는 액체 Film 제어 시스템에서 2in (51mm) 플라스틱 Intalox Saddles를 위한 값이 주어진다. 표 4에는 일반적인 가스 Film 제어 시스템에서 2in(51mm) 플라스틱 Intalox Saddle를 위한 질량 전달 계수가 주어진다.

표 3, 4에서는 집진 액체가 물이 아닐때 질

량 전달 계수는 최소 33% 초과하는 반응물이 가스 오염물과 결합되어 요구되는 것이 초과하여 사용할 때 오직 적용된다. HCl이 물에 용해 되었을 때 무게 농도 8%보다 적은 용해 보다 HCl의 증기압이 거의 없다. NH₃가 물에 용해 되었을 때 낮은 농도일지라도 용해 보다 NH₃의 증기압을 느낄 수 있다. 그림 19, 20, 21로 부터 NH₃제거를 위

한 충전재 높이를 얻은 것은 최소한 용해도의 PH7이하로 사용하는데 기준을 두고 있다.

표 3 여러가지 충전재에서 상대 K_{GA}

오염가스	집진액	K _{GA} , g · mol/s · m ³ · kPa
CO ₂	4wt% NaOH	0.088
H ₂ S	4wt% NaOH	0.26
SO ₂	Water	0.13
HCN	Water	0.26
HCHO	Water	0.26
Cl ₂	Water	0.20

*Liquid-film controlled systems, 51-mm plastic Super Intalox. Temperatures: from 289 to 297 K; liquid rate: 24 450kg/m³ · h; gas rate; 4400kg/m³ · h.

표 4 여러가지 충전재에서 상대 K_{GA}

오염가스	집진액	K _{GA} , g · mol/s · m ³ · kPa
HCL	Water	0.82
HBr	Water	0.26
HF	Water	0.35
NH ₃	Water	0.76
Cl ₂	8wt% NaOH	0.63
SO ₂	11wt% Na ₂ CO ₃	0.52
Br ₂	5wt% NaHO	0.22

*Gas-film controlled systems, 51-mm plastic Super Intalox. Temperatures: from 289 to 297 K; liquid rate: 24 450kg/m³ · h; gas rate: 4400kg/m³ · h.

4.6 특징적인 집진 문제

문제: 배기가스 농도가 32°C의 공기 흐름으로부터 HF의 부피(0.006 mol분수)의 600ppm(600mg/kg)을 부피(0.0003mol 분수)의 30ppm(30mg/kg)을 초과되지 않도록 제거하고 HF의 95% 제거를 요구한다. 이 집진 액체는 20°C의 물이다. 가스량은 4533cfm(2140L/S)이고 공기 밀도는 0.07 lb/ft³(1.16kg/m³)이다. 부식을 막기 위하여 2.0in(51mm)의 폴리프로필렌 Intalox Saddles의 충전재를 사용하여야 할 것이다. 충전재에 물을 넣기 위하여 2.5 L/S · m²(9.2m³/m² · h) 적정하다. 4ft(122m) 직경 충전탑은 360fpm(1.83m/s) 풍속이 주어지 사용한다.

그림 15으로부터 abscissa 값은 0.041, Ordinate 값은 0.88이다. 여기서 충전재 깊이의 10psi/ft(230Pa/m)의 압력강하를 얻는다. 표 4로부터 질량 전달계수는 3.26 × 10⁻⁴ mol lb/(min · ft³ · in of water) 3.49 g · mol/(s · m³ · kPa)이다. 그림 21로부터 95% 제거를 위해 요구되는 충전재의 깊이는 13ft(4.0m)이다.

이 Scrubber는 2in(51mm) 폴리프로필렌 Intalox Saddles의 13ft(4.0m)의 깊이를 가

진 4ft(1.22m)내부 직경을 요구한다. 전체 압력강하는 충전재를 통하여 3.69in. of water(920Pa)보다 조금 작을 것이다. 요구되는 액체는 한번 흐르는 양은 물이 6.4cfm (10.8m³/h)이다.

4.7 일반적인 효율비교

그림 21로부터 앞의 예시에서 90% 제거 효율을 요구한다면 충전재 깊이가 10ft(3.1m) 혹은 95% 제거 효율보다 23%를 요구된다. 같은 가스 속도에서 액체 Film과 가스 Film 제거 시스템은 제거 효율을 80%에서 90%로 증가시키기 위해 43%의 베드 깊이 증가를 요구하게 된다. 가스 Film 제거 시스템에서 가스비를 50% 증가시키는 것은 같은 제거 효율에서 베드 깊이 오직 12% 증가를 요구한다. 액체 Film 제어 시스템에서 가스비를 50% 증가시키는 것은 같은 제거 효율에서 베드 깊이를 50% 증가를 요구한다.

따라서 가스 Film 제어 시스템에서 가스비는 질량전달 계수가 가스속도 증가함으로서 증가되기 때문에 요구되는 베드 깊이는 조금 증가 함으로서 충분히 증가시킬수 있다. 이런 시스템에서 고정된 Scrubber는 제거효율의 보다적은 버림으로 초과된 조건을 다룰수 있다.

액체 Film 제어 시스템에서 베드이 깊이는 질량 전달계수가 가스속도로는 변화되지 않

기 때문에 직접적인 가스속도의 함수이다. 이 시스템에서 Scrubber의 오버로드는 제거 효율의 충분한 감소로 나타난다.

4.8 액체효과

약간의 액체는 입자 또는 용해염으로 오염되었을 때 형성되는 경향이 있다. 이 상태에서 압력강하는 충전재 높이의 0.25에서 0.4in of water(200에서 330Pa/m)의 일반범위를 유지하도록 요구한다.

물이 집진액체로 사용될 때 Scrubber로부터 방출은 부유하는 입자 또는 용해된 용해가 포함될 것이다. 이 오염물은 PH를 변환시키거나 공장으로부터 Scrubber에서 방출하기 전에 수처리가 요구되어지는 그런 범위까지 물에 있는 부유된 고체로 변환시켜야 한다. 집진을 위한 화학용액을 사용하는 대부분의 Scrubber는 용액을 버리기전에 유독한 물질을 제거하고 그것을 중성으로 하여 다루어야 한다. 가스 오염의 방지에서 대부분의 시스템은 오염물이 파괴되지 않고 공기로부터 단지 제거에 불과하다.

5. 가스와 증발기체의 소각

소각 또는 높은 온도 산화처리는 오염공기 흐름안에 유기가스 에어로졸 그리고 대부분 냄새나는 물질을 소각하는 효과적인 방법이다. 특히 Fume소각로는 화염 또는 촉매연

소로 사용할 수 있는 것에 기본을 두고 있다. 재연소장치는 넓게 적용되고 촉매작용 시스템은 무기 오염물에 의해 넓게 영향을 받을 수 있다. 현재 에너지의 부족 국면에서 고유의 촉매 적용 Unit에서 낮은 연료 요구가 다른 형태가 타당한 곳에서 사용하는 데 유리하다. 배기가스는 아래의 이유로 소각을 한다.

1) 냄새제거

모든 높은 냄새나는 오염가스는 염소가 가능하던지 그것이 충분히 가열되었을 때 냄새가 없는 오염물로 화학적 변화로 한다. 종종 대기 방출가스에서 냄새가 나는 물질의 농도는 매우 낮고 오직 소각에 의하여 타당한 제거 방법이 있다. 공장과 도시가스 착취기로부터 냄새와 크라프트 원지로부터 유기 화합물의 운송을 제거될 수 있다는 배출의 예이다. 염소처리 또는 오존처리와 같은 산화의 형태는 같은 결과를 가져올 수 있다.

2) 연기의 불투명에서 감소

재연소장치는 연기를 나타나게 하는 유기 에어로졸을 파괴하는 수단으로서 사용된다. 이 적용의 예는 커피 굽는기계, Smoke House 에나멜굽는 오븐이다 그런 버너는

연기 흐름을 다른 방법으로 보여줄 수 있는 젖은 굴뚝 가스를 단수히 가열하기 위해 사용할 수 있다.

3) 반응 탄화수소의 발산에서 감소

대기 오염방지는 광화학적 스모그 반응은 재정적 곤란 때문에 유기가스와 증발기체의 발산을 조절하는 것이 필요하다. 재연소 장치는 그들의 물질을 파괴하는 효과적인 방법중에 하나이다

4) 폭발위험에서 감소

정제와 화학 공장은 높은 가연성 또는 그렇지 않으면 위험한 유기물질이 처리되어야 하는 산업이다. 처리의 안전한 방법은 일반적으로 소각시키거나 특별히 설계된 노가 있다. 특별히 예방조치와 장비는 폭발가능성 있는 폭발물을 다루는데 사용하여야 한다.

<참고문헌>

1. ASHRAE HANDBOOK "EQUIPMENT"
CHAPTER II
2. APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL & PETROCHEMICAL PLANTS