

반도체 및 Optic Industries 클린룸 배기가스의 오염제어 및 청정화기술

황 유 성 | (주)동명컴프랜드 환경사업부

부장

E-mail : solm23@kornet.net

1. 요약

첨단산업으로 불리는 반도체, LCD, PDP, 유기 EL(OLED) 등의 생산 공정은 고도의 청정상태를 요구하며, 때문에 이들의 생산공정 중 대부분이 클린룸 내에서 이루어진다. 클린룸 내에서의 주요공정은 크게 박막형성(Layering), 노광(Photo Lithography), 식각(Etching) 등 3가지 공정으로 나눌 수 있으며, 반도체 제조공정의 경우 특별히 도핑(Doping) 공정이 추가된다.

오염물질을 함유하는 클린룸 배기는 일반적으로 산, 알칼리, Toxic(PFCs, Flammable), VOC 등으로 분류하며, 각각의 배기는 각 배기특성에 맞는 오염제어 장치를 통해, 정화된 후, 대기로 방출된다.

산, 알칼리 배기는 일반적으로 최종 단계에서 중앙집중식 습식스크리버에 의해 흡수, 중화 처리되며, VOC의 경우 농축기(Concentrator) & 축열식 열 산화장치(RTO) 설비에 의해 연소 처리된다. 하지만 CVD공정으로부터의 배기가 주를 이루는 Toxic배기의 경우, 다량의 PFCs(과불소화합물) 가스를 함유하고 있는 이유로, 대부분 클린룸 내부에 P.O.U(Point of use) 처리장치가 설치되며, P.O.U에 의해 1차 처리된 후 최종적으로 중앙집중식 습식스크리버를 거쳐 대기로 방출된다.

알칼리배기의 주성분으로는 암모니아(NH₃), HMDS (Hexa Methyl DiSilazane), TMAH (Tetra Methyl Ammonium Hydroxide), LGL, CD 등이며 흡수액에 황산(Sulfuric Acid)용액을 공급, 중화처리하고 있다. 탄소성분을 먹이로 하는 미생물의 번식에 의한 막힘 문제를 제외하고는 큰 문제가 없다.

하지만 Toxic배기 및 산배기의 경우 처리효율, 가스흡수 이론에 의한 계산결과와 비교할 때, 매우 저조하게 나타나는 효율부족 현상을 겪고 있으며, 이는 잔여 PFCs 가스성분 및 반응에어로졸, 응축에어로졸 등의 영향으로 추정하고 있다.

최근 Toxic배기의 경우, P.O.U 설비를 Burn & Wet type으로 변경하여, 배기 중 PFCs 및 반응에어로졸(SiO₂)의 농도를 원천적으로 감소시키는 노력이 진행 중이다.

산배기의 경우, 산결로 현상에 의한, 응축에어로졸이 문제가 되고 있으나 내식열교환기(Anti-Corrosive Heat Exchanger), 하전액적스크리버 시스템(Charged Droplets Scrubber System), Wet ESP(Wet Electrostatic Precipitator) 등의 도입을 통해 문제해결을 위한 노력을 경주하고 있다.

2. 반도체 및 Optic Industries의 일반적인 생산공정

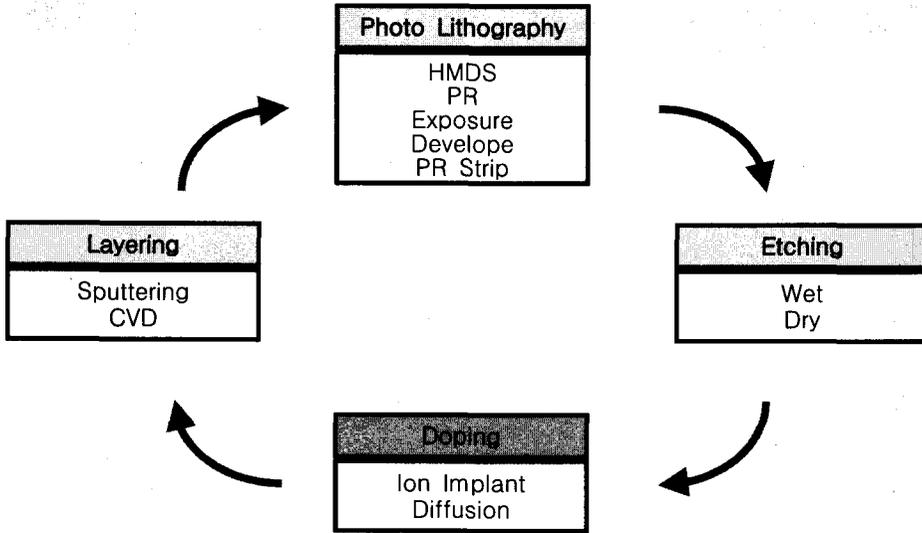


그림 1. 반도체 및 Optic Industries의 일반적 생산공정

2.1 Photo Lithography(노광) 공정

공정설명 : 빛에 의해 마스크(Mask) 상의 기하학적 모형(Pattern)을 반도체 웨이퍼 표면에 도포되어 있는 감광재료(Photoresist)에 옮겨 놓는 것을 말한다.

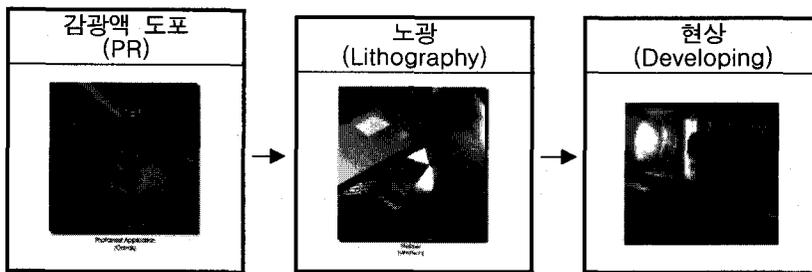


그림 2. 노광공정

오염물질 : 노광공정 중의 오염물질들은 대부분 VOC 또는 알칼리 성분들이며 주로 VOC배기로 배출된다.

단, HMDS의 경우 Si성분을 포함하고 있어 열

산화장치의 축열재에 SiO₂로 침적, 막힘현상을 유발하는 이유로 알칼리 배기로 분류되며, 기타 TMAH, LGL, CD 등의 성분도 알칼리 배기로 구분, 배출된다.

2.2 Etching(식각)공정

공정설명 : 노광공정을 통해 형성된 감광제 모형 (Pattern)들을 마스크로하고, 마스크 아래에 있는 부분과 외부로 노출된 부분들 사이의 화학반응을 다르게 함으로써 마스크로 보호되지 않은 부분들이 공정이 진행됨에 따라 떨어져 나가게 하는 공정을 식각(Etching)공정이라 한다.

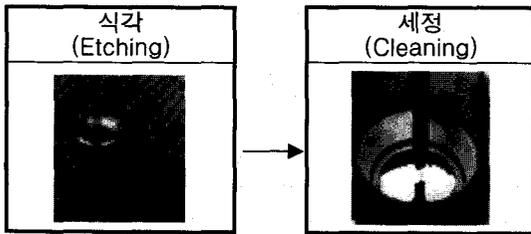


그림 3. 식각공정

식각공정은 크게 습식(Wet)과 건식(Dry)방법이 있다.

오염물질 : HF, HCl, HNO₃, CH₃COOH...등이 최종 배출되는 오염물질이며 산배기로 분리되어 배기된다.

2.3 Doping공정

도핑공정은 크게 확산(Diffusion)과 이온주입 (Ion Implantation) 공정으로 나뉘며 각각의 공정은 다음과 같다.

1) 확산(Diffusion)

p형 또는 n형 반도체의 접합으로 다이오드나 트랜지스터를 만들게 되는데 p형은 3족인 In, Ga, Al, B 등의 불순물을 n형은 5족인 Sb, As, P 등의 불순물을 첨가하며 만든다. 불순물의 첨가를 위해 열구배에 의한 확산원리를 이용하는 공정을 확산공정이

라 한다.

2) 이온주입(Ion Implantation)

이온주입은 확산과 마찬가지로 다결정 실리콘 (poly-Si)에 불순물을 주입하기 위한 방법의 하나로 확산의 경우 전방향으로 이루어지는 반면 이온 주입 방법은 방향성을 갖고 있어 보다 높은 집적도가 필요한 경우에 사용된다.

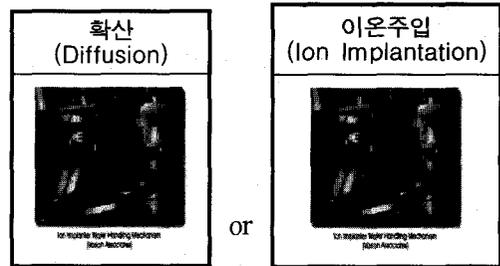


그림 4. 도핑공정

오염물질 : AsH₃, PH₃, BF₃, F₂, BIF₃ 등의 가스가 사용, 배출되며 일반적으로 Fab내부에 설치된 POU에 의해 1차 처리된 후 PFCs 배기라인 또는 Acid배기라인으로 배출된다.

2.4 박막(Layering)공정

공정설명 : 반도체 소자제작에 많이 사용되는 박막은 열적 성장이나 물리적 증착, 화학적 증착에 의해 금속, 반도체 또는 부도체의 얇은 층을 만드는 공정이다.

오염물질 : SiH₄, SiCl₄, NH₃, NO_x, WF₆, AsH₃, PH₃, B₂H₆, SiH₄CL₂, HF, C₆F₈, NF₃, F₂, TEOS, TMB, TMPO... 등 상당히 복잡한 성상의 가스가 사용 또는 발생되는 공정으로 대부분의 경우 Fab 내부에 설치된 POU 처리장치를 거친 후 PFCs배기 또는 가연배기(Flammable)라인에 취합된다.



그림 5. 박막공정

3. P.O.U(Point-Of-Use) 저감장치(Abatement)

P.O.U(Point of use) 장치는 생산장비 바로 근처에 설치되는 오염물질 저감장치를 말하며 일반적으로 가연성, 불용성, 난용성을 갖는 가스를 분해, 흡수 또는 흡착, 집진 등 일련의 오염물질 저감공정을 갖고 있다.

최근의 추세는 처리효율이 가장 높은 Burn & Wet System이 가장 선호되고 있는 경향이다.

3.1 POU의 용도

- 1) 난분해 성분의 처리(열분해, 전자기파, 고온플라즈마 등)
- 2) 고농도 성분의 1차 처리를 통한 배가스 농도 저감
- 3) 덕트의 화재, 폭발방지
- 4) 덕트의 부식방지
- 5) 오염물질에 작업자의 노출방지
- 6) 암모늄 성분발생 방지
- 7) 대기환경보존법 준수

3.2 POU 장치의 선정

1) 사용되고 있는 반도체 장비를 고려

표 1. 각종공정 및 사용가스

공정		전형적인 가스성분
Dry Etch	Metal	Cl ₂ , BCl ₂ , SiCl ₄ , CHF ₃ , CF ₄ , SF ₆
	Poly Silicon	HBr, Cl ₂ , NF ₃ , SF ₆
	Nitride	HBr, CF ₄ , SF ₆
	W, Al Oxide	Cl ₂ , SF ₆ , CHF ₃ , CF ₄ , NF ₃
PECVD	BPSG	TEOS, TMP, TMB, N ₂ O, SiH ₄ , B ₂ H ₆ , PH ₃ , C ₂ F ₆ /NF ₃
	PSG	SiH ₄ , PH ₃ , N ₂ O, TEOS, TMP, C ₂ F ₆ /NF ₃
	Oxide/Nitride	SiH ₄ , NH ₃ , N ₂ O, C ₂ F ₆ /NF ₃
	Tungsten	WF ₆ , NF ₃ , SiH ₄
LPCVD	Nitride	DCS, NH ₃
	Poly Silicon	SiH ₄
	(doped)TEOS	TEOS, PH ₃
Ion Implantation		B ₂ H ₆ , BF ₃ , PH ₃ , AsH ₃ , Ar
MOCVD	GaAs	H ₂ , AsH ₃ , MO Sources
	InP	H ₂ , PH ₃ , AsH ₃ , MO Sources
	GaN	H ₂ , NH ₃ , MO Sources

※ BPSG : BoroPhosphoSilicate Glass,
PSG : PhosphoSilicate Glass

2) 모든 공정에 있어 반도체 장비로부터 발생하는 오염물질에 대한 고려

표 2. 각종가스의 연소반응

가스성분	산화반응(Burner)
AsH ₃	2AsH ₃ + 3O ₂ → As ₂ O ₃ + 2H ₂ O
B ₂ H ₆	B ₂ H ₆ + 3O ₂ → B ₂ O ₃ + 3H ₂ O
C ₂ F ₆	C ₂ F ₆ + 2O ₂ + 3H ₂ → 2CO ₂ + 6HF
Cl ₂	Stable
GeH ₄	GeH ₄ + 2O ₂ → GeO ₂ + 2H ₂ O
H ₂	2H ₂ + O ₂ → 2H ₂ O
HCl	Stable
NF ₃	4NF ₃ + 3O ₂ → 2N ₂ + 6OF ₂
NH ₃	4NH ₃ + 3O ₂ → 2N ₂ + 6H ₂ O
PH ₃	2PH ₃ + 4O ₂ → P ₂ O ₅ + 3H ₂ O
SF ₆	SF ₆ + O ₂ + 3H ₂ → SO ₂ + 2F ₂
SiF ₄	SiF ₄ + O ₂ → SiO ₂ + 2F ₂
SiH ₂ Cl ₂	2SiH ₂ Cl ₂ + 3O ₂ → 2SiO ₂ + 2H ₂ O + 2Cl ₂
SiH ₄	SiH ₄ + 2O ₂ → SiO ₂ + 2H ₂ O

3) 회사의 경영철학

4) 예산

3.3 POU장치의 분류

POU장치에 응용되는 기술은 분해, 반응, 산화, 흡수, 흡착, 집진, 재생 등 여러 가지 방법이 사용되

고 있으며 이들 기술이 단독으로 사용되는 경우보다는 두 가지 또는 복수개의 기술이 하나의 시스템 내에 채용되어져 사용되는 것이 보통이다.

- 1) Wet Scrubber System
- 2) Oxidation System(Burn, Heat)
- 3) Cold Bed System
(Adsorber, Chemisorber)
- 4) Hot Chemical Bed System
- 5) Reactor (E.G, Plasma, Microwave)
- 6) Particulate Removal System
(Filter, Wet ESP, CDS)
- 7) Recycle or Reclaim System

3.4 POU가 필요한 공정

- 1) Wet Clean Hood
- 2) Wet Spray Etcher
- 3) Silicon Epi - Hydrogen Vented
- 4) Silicon Epi - Hydrogen Abated
- 5) Ion Implant
- 6) Poly Deposition / Clean
- 7) Doped Poly Deposition / Clean
- 8) Metal Etch
- 9) Nitride Deposition (Silane) / Clean
- 10) Nitride Deposition (SiH₂Cl₂) / Clean
- 11) Oxide Deposition / Clean
- 12) Tungsten Deposition / Clean
- 13) Tungsten Silicide Deposition / Clean
- 14) BPSG Oxide Deposition / Clean

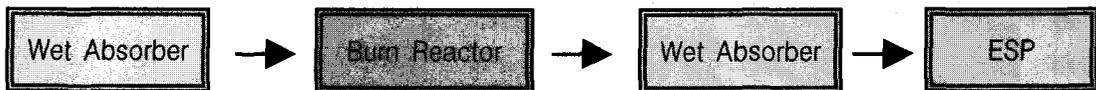


그림 6. POU System의 장치배열의 예

4. V.O.C 처리장치

반도체 및 Optic Industries에서 발생하는 V.O.C는 주로 세척 및 Photo Lithography 공정 중으로부터 발생된다. 웨이퍼나 유리기판은 공정과 공정사

이 IPA(IsoPropyl Alcohol) 및 Acetone 등을 이용한 세척공정이 삽입되며, IPA, Acetone, PR, PRS 물질들은 반도체 및 Optic Industries의 V.O.C 중 대다수를 차지한다.

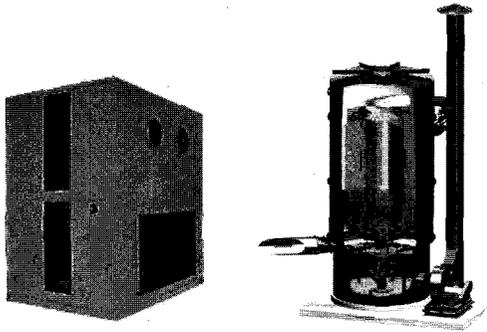
4.1 V.O.C 처리방법 및 장단점

표 3. 각종 VOC 처리법에 대한 비교

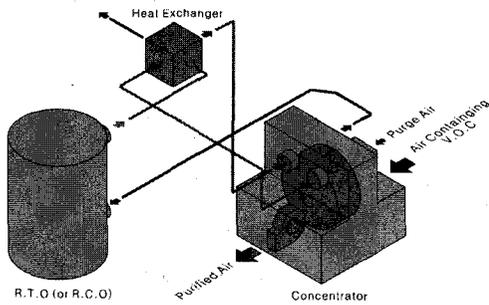
처 리 방 법	원 리	장 단 점	비 고	
열분해법	직접연소법	VOC성분을 포함한 배가스를 버너에 의해 직접 연소처리	설비가 간단, 저렴하나 고농도 소풍량의 경우에만 적용가능	
	RTO	연소실로 유입되는 가스를 고온으로 달구어진 축열층을 통과시켜 가열, 연소(800℃이상) 후 저온의 축열층을 통하여 고온가스 열에너지를 회수하는 연소방법	열효율이 높아 비교적 낮은 농도에서도 운전이 가능하나 축열층에 고형물의 부착 등에 주의요망	
	RCO	촉매를 이용하여 비교적 저온에서 VOC의 열분해를 행함	열효율이 높아 비교적 낮은 농도에서도 운전이 가능하나 촉매독 및 교형분에 의해 적용에 제한	
흡착법	One-pass 활성탄흡착법	미세기공을 갖는 활성탄을 이용 배가스 중의 VOC성분을 흡착, 흡착 완료 후 활성탄을 폐기	설비가 간단하고 가격이 저렴하나 활성탄의 교체가 번거로워 매우 저농도의 경우 또는 예비설비로 이용	
	재생식 활성탄 흡착법	스팀, 열풍, 진공 등의 방법을 이용하여 활성탄을 탈착, 재생 후 재사용하는 방법	활성탄의 잦은 교체문제는 발생하지 않지만 설비가 복잡하고 화재의 위험이 있음	
	재생식 지올라이트 흡착법	주로 열풍을 이용 지올라이트의 재생을 행하여 재사용하는 방법	흡착제의 수명이 반영구적이나 탈착된 가스를 재처리하는 장치가 필요	
미생물법	토양흡착법	땅속에 덩트 및 가스분배장치를 구성, 토양층을 통과 처리하는 방법으로 토양속 미생물에 의해 흡착능이 복원됨	환경친화적인 방법으로 운전비용이 매우 저렴하나 운전 조건이 까다롭고 넓은 설치면적이 필요	
	바이오필터	VOC를 먹이로하는 미생물을 인공적인 매체에 부착, 필터형태로 설치, 운전됨	친환경적인 방법이나 운전조건이 까다롭다.	
흡착, 농축 + 열분해		흡착제로는 주로 지올라이트, 섬유상 활성탄 등이 이용되며 열분해장치로는 RTO 또는 RCO장치가 이용됨	열효율이 가장 높은 방법으로 저농도에서 사용가능하나 설비가 복잡하고 고가이다.	현재 가장 일반적으로 채용되는 방법
광촉매, 플라즈마 분해법		유입되는 VOC성분을 광촉매 또는 플라즈마를 이용 분해하는 방법	아직까지 실용화에 성공하지 못했으나 설비가 간단하고 비교적 낮은 운전비용으로 운전이 기대됨	연구 중

4.2 농축기와 축열식 열분해장치

반도체 및 Optic Industries의 V.O.C 처리장치로 가장 널리 사용되고 있는 방법은 농축기(Concentrator) & 축열식 열분해장치(R.T.O)가 결합된 시스템으로 그 개요는 다음과 같다.



(a) Concentrator (b) R.T.O(Rorary)



(c) V.O.C 처리장치 흐름도

그림 7. Concentrator & R.T.O V.O.C처리장치

1) 작동원리

VOC를 함유한 배기가스가 바퀴형상(Wheel Type)으로 생긴 벌집모양(Honeycomb)의 지올라이트(Zeolite) 흡착제를 통과하면서 흡착, 제거된 후 대기로 방출된다.

회전하는 흡착제는 상부에 이르러 열풍에 의한 탈착이 이루어지고 이 때 약 5~10배의 농축이 이루어진다. 농축된 탈착가스는 R.T.O 또는 R.C.O 장치로 유입되어 연소되며, 열교환기를 통해 열에너지가 회수된 후 대기로 방출된다.

열풍에 의해 탈착이 행해져 뜨겁게 달구어진 회전 흡착층은 외기에 의해 냉각되며 외기에 열에너지를 공급한다. 이렇게 1차적으로 흡착체로부터 가열된 외기는 열교환기를 통해 열분해 장치의 고온 배기와 열교환되어 고온으로 되며 탈착용 열풍으로 사용되어진다.

2) R.T.O의 열정산 및 운전비용 계산

축열식 열분해 장치의 경우 V.O.C를 분해하는데 있어 연소라는 공정을 통하여 V.O.C 자체가 가지고 있는 열량이 부족할 경우, 부족한 에너지만큼 액화천연가스(LNG)를 이용하여 보충하는 것이 일반적이며, LNG 사용량이 운전비용의 대부분을 차지하게 되므로 R.T.O에 대한 열정산은 곧 설비의 경제성을 검토하는데 필수적인 과정이다.

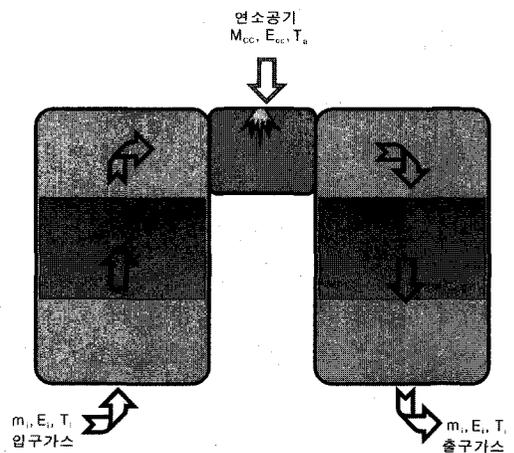


그림 8. RTO연소 개념도

(1) Heat balance equation

$$E_t = E_i + E_{cc} + E_r - E_{voc}$$

여기서,

E_i : 유량 Q_i 의 온도 상승에 필요한 에너지 (kcal/hr)

$$E_i = m_i \times C_p \times \nabla T$$

$$= m_i \times C_p \times (T_o - T_i)$$

E_{cc} : 유량 Q_{cc} 의 온도상승에 필요한 에너지 (kcal/hr)

$$E_{cc} = m_{cc} \times C_p \times \nabla T$$

$$= m_{cc} \times C_p \times (T_o - T_a)$$

E_r : R.T.O 표면을 통한 방열손실에너지 (kcal/hr)

$$E_r = C_r \times A$$

C_r : 방열손실계수 ($\approx 543 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$)

E_{voc} : V.O.C의 연소에 의한 발생에너지 (kcal/hr)

$$E_{voc} = m_{voc} \times H_c$$

H_c : VOC의 연소열 ($\approx 6600 \text{ kcal/kg}$)

(2) 열효율 식(Thermal Efficiency Equation)

$$\eta_{\text{Thermal}} = \frac{(m_i + m_{cc})}{m_i} \times \frac{(T_c - T_o)}{(T_c - T_i)} \quad (-)$$

여기서,

η_{Thermal} : 열효율(-)

(3) 계산예

입구가스유량 $425 \text{ Nm}^3/\text{min}$, $T_i = 38^\circ\text{C}$, VOC양 20 kg/hr ($H_c=6600 \text{ kcal/kg}$)이 R.T.O에서 처리되고 있다. 이때 연소공기량은 $12.7 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 이었으며, 외기온도 20°C , VOC 제거효율은 98%이다. 정상운전을 위한 LNG소모량을 구하여라.

(단, RTO의 표면적은 84 m^2 , 방열계수 $C_r = 543 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$, LNG의 발열량 8000 kcal/Nm^3 이다.)

(계산)
에너지 식

$$E_t = E_i + E_{cc} + E_r - E_{voc}$$

에서

$$E_i = m_i \times C_p \times \nabla T$$

$$= (425 \times 1.293) \times 0.24 \times (98 - 38)$$

$$= 7,913.2 \text{ kcal/min}$$

$$= 474,792 \text{ kcal/hr}$$

$$E_{cc} = m_{cc} \times C_p \times \nabla T$$

$$= (12.7 \times 1.293) \times 0.24 \times (98 - 20)$$

$$= 307.4 \text{ kcal/min}$$

$$= 18,444 \text{ kcal/hr}$$

$$E_r = C_r \times A = 543 \times 84 = 45,612 \text{ kcal/hr}$$

$$E_{voc} = m_{voc} \times H_c$$

$$= 20 \times 6600$$

$$= 132,000 \text{ kcal/hr}$$

$$E_t = 474,792 + 18,444 + 45,612 - 132,000$$

$$= 406,848 \text{ kcal/hr}$$

따라서 계에 공급해야할 열량은 $406,848 \text{ kcal/hr}$ 이다. 이 에너지를 LNG의 연소에 의해 공급해야하므로 LNG소모량은

$$Q_{\text{LNG}} = 406,848 / 8,000 = 50.9 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

3) 주의사항

- (1) VOC농도 및 운전비용
- (2) 방해물질 (HMDS, Halides외)에 대한 대책
- (3) 설비의 초기투자비용
- (4) 운전의 안전성(폭발, 화재 등)

5. 중앙집중식 스크러버
(Centralized Wet Scrubber)

현재 산, 알칼리배기는 Fab 내부의 POU장치를 통하지 않고 곧 바로 외부로 배출되며, Toxic (PFCs, Flammable, Complex)배기의 경우, Fab

내부의 POU 장치를 통해 1차 처리된 후, 외부로 배기되는 것이 일반적이다. 이렇게 외부로 배출된 배기들은 대기로 최종 배출되기 전 중앙집중식 습식 스크러버에서 최종 처리된 후 배출된다.

현재 반도체 및 Optic Industries 배기 처리용 스크러버로 주로 사용되고 있는 형식은 수평형(Horizontal Type)이 주종을 이루며 간혹 수직형(Vertical Type)이 사용되기도 한다. 하지만 Toxic배기 및 Acid배기의 경우 미세 Aerosol에 대한 대책을 위해 Venturi Block, Ejector, Flooding Mesh, Perforated Plates 등이 관성충돌이라는 물리적 원리가 가미된 Hybrid Scrubber가 사용되기도 하나 Aerosol에 대한 완전한 해결책을 제시하지 못하고 있는 실정이다.

최근에 미세 에어로졸의 위해성에 대한 관심이 높아지면서 에어로졸을 처리하기 위한 새로운 시도가 진행 중이며, 이러한 시도들은 주로 정전기력을 스크러버의 처리기전의 하나로 채택하려는 노력이 주를 이루고 있다.

5.1 가스흡수의 원리와 이론

1) 이중경막설

가스흡수는 불용성(不溶性) 기체와 섞여 있는 가용성(可溶性) 기체를, 다소 용해시킬 수 있는 액체를 이용하여, 흡수하는 조작을 말한다. 물질전달은 기-액이 접하는 계면을 통하여 이루어지며, 이 기-액 경계면을 사이에 두고 유체역학에서 말하는 층류저층과 유사한 개념의 경막(얇은 막)이 존재한다. 이 경막 내부는 층류이며, 따라서 오직 분자 확산력에 의한 물질이동만이 유효하다. 경막의 외부는 난류이며 거리에 따른 농도차가 없는 것으로 간주한다. 따라서 기상에서 액상으로의 물질전달 저항은 오직 이 기-액 경막에만 존재한다고 할 수

있다(Witman의 Two Film Theory). 계면에서는 Henry의 법칙이 성립($y_i = m \cdot x_i$)하며 염화수소(HCl)의 흡수를 위해 액상에 NaOH 등과 같은 알칼리를 충분히 공급하면 계면에서의 염화수소농도 x_i 는 0으로 가정할 수 있으며 계면에서의 기상농도 $y_i = 0$ 로 가정할 수 있다.

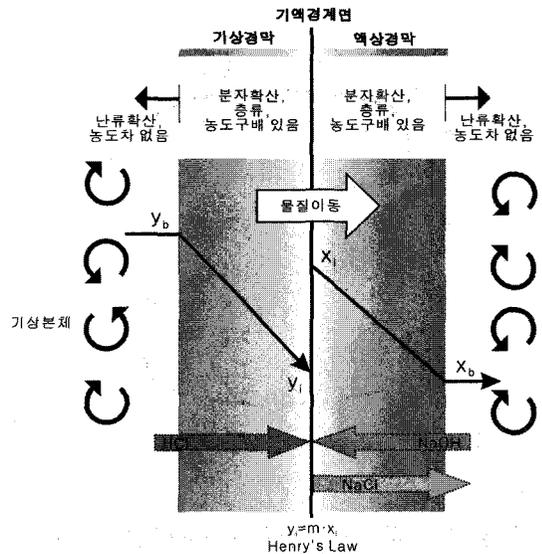


그림 9. 기-액 경막모델

따라서 충분한 반응시약을 이용, 중화 또는 산화와 같이 반응시간이 매우 짧은 반응을 사용하고 있다면, 가스흡수시 물질전달저항은 오직 기상경막 내에만 존재한다고 볼 수 있으며, 이러한 흡수계를 “기상지배계(Gas Phase Controlling System)”라 부른다. 반도체 및 Optic Industrial에서 사용되고 있는 거의 모든 스크러버는 “기상지배계”로 운전된다.

따라서 거의 모든 가스흡수에 있어 물질전달 저항은 기상에만 존재하며 가스의 종류에 따른 확산계수가 큰 차이가 없어 물질전달 저항은 충전물의 종류, 흡수액량 등에 의해 보다 큰 변화를 보인다.

통상적인 설계범위에서 2.5" Tri-Pack 충전물의 경우 대략 0.25~0.35m의 HTU 값을 갖는다.

2) HTU와 NTU

가스흡수탑 이론은 수직형 대향류 탑에 대한 충전층을 이용하여 정립되었으며 그 내용은 다음과 같다.

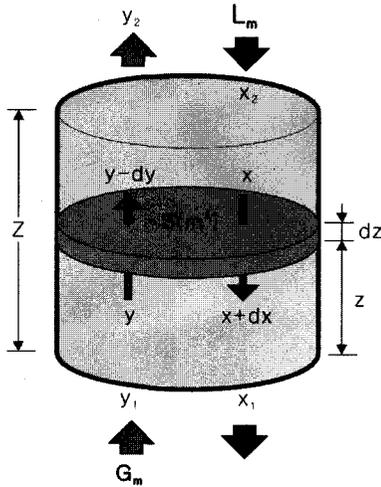


그림 10. 충전층 미소구간에서의 물질전달

단위-시간당 물질이동량

$$= \text{이동계수} \times \text{이동면적} \times \text{추진력} \dots (1)$$

여기서, 추진력은 농도차 즉, 이동 물질의 분압차(分壓差) ΔP로 표현하기로 한다.

물질전달량이 정상상태(Steady state)에 있다고 하면 단위 시간당의 물질 이동량은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$dN_A = K_G \times dA \times \Delta P \dots (2)$$

- N_A : 단위시간당 물질이동량 (kg·mol/Hr)
- K_G : 물질이동계수 (kg·mol/m²·Hr)
- A : 접촉 면적 (m²)
- ΔP : 추진력 (분압차) (atm)

HTU(Hog)와 NTU(Nog)는 식 (2)의 개념을 충전탑에 적용하여 얻어낸 개념들이다.

충전층에서의 기-액접촉면적을 a (m²/m³), 탑의 단면적을 S (m²), 미소 탑 높이를 dz (m)라 하면, 미소체적 S·dz (m³)내의 접촉면적 dA는 a·S·dz (m²)가 되고 식(2)는 다음과 같이 식(3)으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} dN_A &= K_G \times dA \times \Delta P \\ &= K_G \cdot a \times S dz \times \Delta P \dots (3) \end{aligned}$$

또한 이동물질의 x - y 평행선 상의 평형분압을 y* 라고 하면

$$\Delta P = (y - y^*) P_t \text{ (atm)} \dots (4)$$

여기서 y, y* = 몰분율 (mol fr)
P_t = 전압 (atm)

식 (4) 를 식 (3)에 대입하면

$$dN_A = K_G \cdot a (y - y^*) P_t \cdot S \cdot dz \dots (5)$$

한편 그림 10에 있어서 탑 내 임의의 단면에 있어 미소높이 dz에서의 물질수지를 살펴보면

$$-d(G_M \cdot y) = -d(L_M \cdot x) \dots (6)$$

여기서

- G_M = 총 가스량 (Solvent + Inert Gas)
(kg·mol/m²·hr)
- L_M = 총 액량 (Solvent + Solute)
(kg·mol/m²·hr)

충전층 내에서의 유동은 정상상태이므로 G_M과 L_M은 일정하다. 따라서 식 (6)은

$$-G_M dy = -L_M dx \dots\dots\dots (7)$$

이다.

식 (7)은 탑의 단위 면적에 대한 물질 수지이므로 식 (5)의 dN_A/S 와 같다. 따라서

$$dN_A / S = -G_M dy = K_G \cdot a (y - y^*) P_t \cdot dZ \quad (8)$$

$$dz = \frac{G_M}{K_G \cdot a \cdot P_t} \times \frac{dy}{y - y^*}$$

이것을 충전층의 하단조건 y_1 에서 충전층 꼭대기 조건 y_2 까지 적분하면

$$\int_{y_1}^{y_2} dZ = Z = \frac{G_M}{K_G \cdot a \cdot P_t} \times \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{y - y^*}$$

$$= \frac{G_M}{K_G \cdot a \cdot P_t} \times \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y^*} \dots\dots\dots (9)$$

여기서 다음과 같이 정의한다.

$$\frac{G_M}{K_G \cdot a \cdot P_t} = (H \cdot T \cdot U)_{OG} = H_{OG} \dots\dots\dots (10)$$

$$\int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y^*} = (N \cdot T \cdot U)_{OG} = N_{OG} \dots\dots\dots (11)$$

따라서 충전고 Z 는

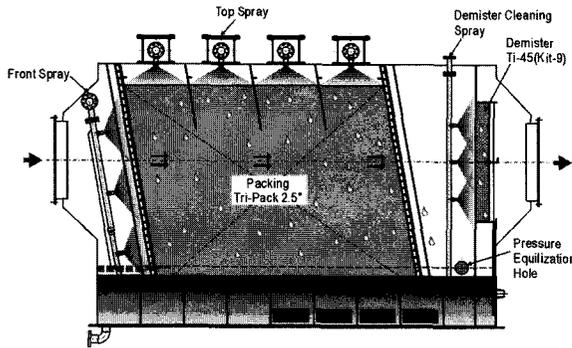
$$Z = H_{OG} \times N_{OG} \dots\dots\dots (12)$$

여기서 유도된 HTU와 NTU는 충전탑 설계에 있어 매우 중요한 개념이며, 대향류의 경우 외에 동향류의 경우에도 유효하며 화학적 흡수를 행하는 교차류(수평형 스크러버)의 경우에도 사용될 수 있다.

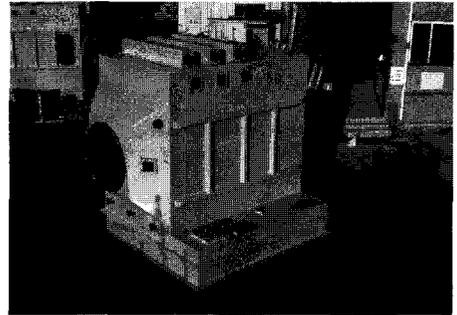
5.2 반도체 및 Optic Industries 배기특성

표 4. 반도체 및 Optic Industries 배기특성

배기	HAP (Hazardous Air Pollutant)	특 징	비 고
Alkali 배기	NH ₃ , HMDS, TMAH, LGL, CD, ...	- 가스흡수이론에 부합 - 미생물의 번식 우려	pH 4이하 운전이 바람직
Acid 배기	HF, HCl, HNO ₃ , CH ₃ COOH, H ₂ SO ₄ , H ₃ PO ₄ , SOx, NOx, ...	- 가스흡수이론과 부합되지 않음 - 산결로에 의한 백연현상 우려	pH10이상 운전, 백연대책 필요
Toxic 배기	NH ₃ , HF, HCl, Cl ₂ , F ₂ , SiO ₂ , ...	- 가스흡수이론과 부합되지 않음 - 암모늄 및 SiO ₂ Powder에 의한 백연현상, 막힘현상 - 미처리 FPCs가스 공존	Dust에 대한 대책필요, 백연대책 필요



(a) 개념도



(b) 사진

그림 11. 수평형 스크러버

5.3 중앙집중식 스크러버 선정 시 점검사항

1) 충전탑

(1) 형식

일반적으로 수평형(Horizontal) 교차류 형식이 사용되며, 경우에 따라 수직형(Vertical) 대향류 스크러버가 사용되기도 한다.

(2) 재질

주로 내식 FRP가 사용되며, 가스 중 HF 등이 유입될 경우 내식면에 Carbon Veil 또는 유기베일이 사용된다.

2) 충전물

사면을 형성하지 않는 선구조 충전물이 주류를 이루며, 재질은 주로 PP가 사용된다.

3) 액분산장치

액분산장치로는 PVC 또는 PTFE재질의 사각분사 Solid Full Cone노즐이 사용되며, 스프레이 노즐헤더 재질은 주로 PVC가 사용된다.

4) 기액분리장치

기액분리장치로는 Wire Mesh Pad 또는 Chevron Plates 형식이 단독 또는 혼용되어 사용된다. 더스트의 농도가 높을 경우, 미스트 제거효율에서 다소 미흡하더라도 Chevron Plates형식을 사용하는 것이 설비의 유지상 유리하다.

5) 부대설비

(1) 펌프

순환펌프는 설치면적에서 유리한 Vertical Sump Non-Seal 형식이 주를 이루며, 간혹 Horizontal Mechanical Seal 형식이 사용되기도 한다.

(2) 배관

순환배관은 주로 PE파이프가 사용되며, PVC, FRP 재질의 배관도 종종 채택된다. 급수배관으로는 SPP재질이, 약품배관으로는, NaOH의 경우 STS 또는 FRP, H₂SO₄의 경우에는 STS+ETFE 코팅 파이프 또는 PFA Tube+Acryl Cover가 사용된다.

(3) 송풍기

과거 송풍기의 경우 Steel에 FRP를 라이닝 한 것들을 사용하였으나 이후 FRP 성형기술의 발달로 100% FRP재질의 송풍기가 사용된다.

제조공정의 특성상 송풍기의 우수한 내구성을 요구하는 관계로 비교적 낮은 비교회전도(낮은 운전 r.p.m)에서 설계된 터어보 또는 에어포일 형식의 송풍기가 채택된다.

(4) 덕트

배기덕트는 실내와 실외를 구분하여 생각해 볼 수 있는데, 실내의 경우 화재 등의 위험때문에 난연, 내식성을 갖는 STS+ETFE코팅 또는 Phenolic FRP덕트가 사용된다. 옥외의 경우 100% Vinylester FRP 덕트가 채용된다. 덕트 중 수평부에는 응축수가 누적되는 경우가 많아 최소한 50m 간격으로 Drain Pot의 설치가 요구된다. 필요에 따라 덕트내부를 점검할 수 있는 Sight Glass나 가스 Sampling을 위한 Check Point를 설치하는 것이 바람직하다.

(5) 약품공급장치

약품공급장치로는 주로 격막식 펌프, Air Chamber, Relief V/V, Back Pressure V/V가 채용되며, 재질로는 NaOH용도로는 STS가 황산(H_2SO_4)용도로는 PVDF가 사용된다.

(6) 동결방지장치

동절기 장기간 스크러버를 운전하지 않으면 순화조 내의 순환액이 동결할 수도 있어 히터 등을 설치하는 경우도 있는데, 현재에는 거의 채택되지 않으며, 순화조를 배수하여 Stand-By하는 것이 일반적인 방법이다.

배관의 경우, 특히 급수배관의 경우, 겨울철 동파

를 예방하기 위해 반도체 히팅케이블을 감고 적당한 보온재를 이용 보온하는 것은 필수적이다. 하지만 약품배관의 경우, 특히 NaOH 20%의 경우, 영하 27도에서 동결되므로 사실 특별히 히팅케이블 및 보온재 등의 시공은 필요 없으나 만약을 위해 약간의 보온재시공을 하는 것이 바람직하다. 각각의 사용시약에 대한 어는점 자료를 참고하여 보온 및 히팅케이블 또는 스팀트레이싱 등의 배관보온 대책을 마련해야 한다.

(7) 계장

스크러버 시스템에 이용될 수 있는 계장의 종류는 매우 다양하다. 계장설비는 스크러버 시스템의 운전상태와 관련한 데이터를 자동으로 안전하게 보여준다. 안전운전을 위해 장착된 계장은 설비를 보호하고 비상시의 상태를 경보할 수 있어야 한다.

계장은 설계된 스크러버 시스템의 특성에 따라 사용되어야 하지만, 일반적으로 고온 경보, 저유량 경보, 저급수량 경보, 흡수액의 pH, ORP, EC와 약품(Chemical) 관련 경보 등이 요구된다. 운전상태의 데이터를 표시하는 계장은 정상운전 시 문제점이나 시스템의 오작동 등에 대한 판단을 쉽게 해준다.

다음 [표 5]는 각종 계장에 대한 용도 및 필요성에 대해 정리한 것이다.

표 5. 각종 계장의 용도 및 필요성

계 장	용 도	필요성	비 고
가스 입, 출구 온도계	특히 고온의 가스를 처리하는 스크러버 의 경우 입, 출구의 온도를 체크하여 화재나 이상운전의 징후를 판단한다.	△	
순환액 온도계	특히 고온의 가스를 처리하는 스크러버 의 경우 순환액 온도를 체크하여 화재나 이상운전의 징후를 판단한다.	△	
충전탑전체, 충전층, 미스트 제거장치의 차압계	충전탑의 막힘 등을 감시한다.	◎	
순환액 유량계	순환액의 유량을 점검하여 정상 운전상태를 감시한다.	△	
펌프토출 압력계	펌프 및 순환배관계의 이상을 감지한다.	◎	
신수공급유량계	신수공급 여부 또는 유량을 감시한다.	△	
pHIC	알칼리 또는 산성 시약을 사용할 경우 흡수액의 pH를 감시하여 알칼리 또는 산성 시약의 공급을 조절한다.	◎	
ORPIC	산화 또는 환원제를 사용할 경우, 흡수액의 산화환원기전력(Oxidation Reduction Potential)를 감시하여 산화 또는 환원제의 공급을 조절한다.	◎	
ECIC	흡수액의 전기전도도를 감시하여 흡수액 중의 Salt 농도를 가늠, 배수를 조정한다.	△	
LICA(Sump)	스크러버 보조수조에 장착하여 스크러버 순환액이 적정량인가를 감시하여 부족 시 급수 밸브 및 펌프를 제어한다.	◎	
스크러버로 유입되는 가스의 최대 최소유량 경보장치	스크러버의 정상적인 운전을 위해 유입가스의 유량이 설계 최대유량에서 최소치 유량치를 만족하는 가를 감시한다.	△	
송풍기, 펌프모터의 연속전류 지시계	송풍기 및 펌프의 이상에 대해 감시한다.	◎	
적산전력계	대기환경보전법에 의거 방지설비의 정상작동 여부를 증명하기 위해 의무적으로 설치한다.	◎	
LICA(약품저장조)	약품 탱크내의 약품량을 감시하며 필요 시 약품공급 펌프의 소손을 방지한다.	◎	

※ ◎는 필수적으로 장착이 요망됨을 나타냄.

6. 에어로졸 문제(Aerosol Problems)

6.1 에어로졸의 정의

일정한 시간과 공간 내에서 중력장에 대해 안정적인 시스템으로 취급될 수 있는 가스 중의 입자 부유물질을 말한다.

에어로졸(Aerosol)은 예를 들면 스모크(smoke), 흙(fume), 미스트(mist) 그리고 연무(fog) 등을 포함하며, 스모크 또는 흙 등은 고체상, 미스트 또는 연무 등은 액상으로 분류된다. 에어로졸 입자크기의 상한선은 몇몇 학자들에 의해 $10\mu\text{m}$ 로 정의되고 있으며 더스트(dust)와 스프레이(spray)는 각각 고체와 액체상 물질에 대해 $10\mu\text{m}$ 이상의 크기를 갖는 부유물질들을 말한다.

표 6. 에어로졸의 종류와 크기

Aerosol	Size (μm)
Cloud & Fog	>2
Hydrochloric Acid mist	1~3
Sulfuric Acid Mist	0.3~2
Ammonium Chloride Fume	0.05~1
Tobacco Smoke	0.01~1
Aitken nuclei (Atmohpheric Condensation Nuclei)	0.005~0.3

6.2 에어로졸의 종류

반도체 및 Optic Industries와 관련된 에어로졸은 그 생성 메커니즘에 따라 반응에어로졸과 응축에어로졸로 분류할 수 있으며 응축에어로졸의 경우에는 또 다시 동종응축과 이종응축으로 분류해 볼 수 있다.

1) 반응에어로졸(Reaction Aerosol)

반응에어로졸은 화학적인 반응에 의해 생성되는 에어로졸로 할로젠화암모늄과 산화 또는 질화 실리콘(SiO_2 또는 SiN_x) 물질 등이 대표적이며 모두 고체상의 물질이다.

이들의 생성은 주로 CVD공정으로부터 발생되며 CVD공정의 증착(deposition)과 청소(cleaning)공정 중에서 단독 또는 혼합배기에 의해 발생된다.

여기서 CVD공정을 간단히 살펴보면 다음 그림과 같다.

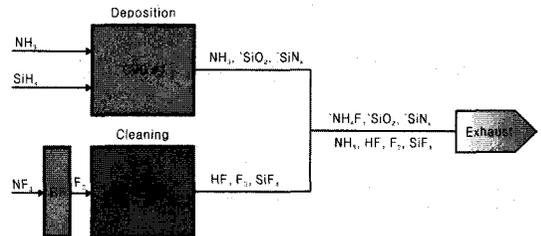


그림 12. CVD공정과 배기

Fab 내에는 일반적으로 수십여 대의 CVD 챔버가 있고 이들의 배기는 후업라인(Hook-up Line)을 통해 주배기덕트(main exhaust duct)에 연결되어 있다. SiO_2 , SiN_x 등의 에어로졸은 증착공정 중에서 발생하며, 불화암모늄(NH_4F) 에어로졸은 증착공정 배기와 청소공정 배기가 혼합됨으로써 2차적으로 생성된다.

2) 응축에어로졸(Condensation Aerosol)

응축현상에 의해 발생하는 에어로졸은 모두 액체 상태이며, 응축현상은 크게 동종응축(homogeneous nucleation)과 이종응축(heterogeneous nucleation)으로 나눌 수 있다. 동종응축은 오직 응축성분 분자가 응축 핵을 형성하여 응축되는 경우를 말하며, 이종응축은 기타 물질이 응축 핵으로 작

용 응축되는 경우를 말한다.

(1) 동종응축

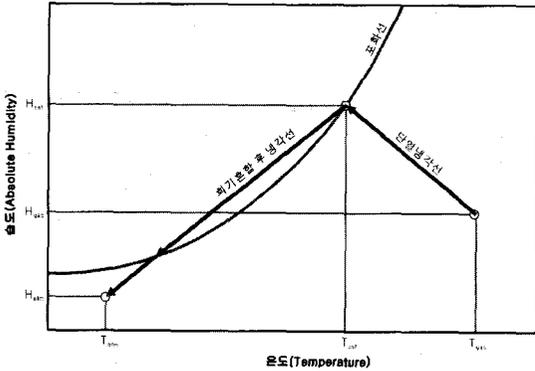


그림 13. 습도도표 상의 배가스 상태변화도

동종 응축의 경우에 해당되는 경우는, 습식스크러버 또는 냉각탑 등을 통과하여, 단열 포화된 배기가 추운 겨울철 차가운 외기로 배출, 외기와 온도차에 의해 응축되는 형상이 대표적인 경우라고 말할 수 있으며, 인체로부터 배출되는 입김, 끓는 물로부터 발생하는 김도 이와 같은 부류에 속한다고 볼 수 있다.

이러한 외기에 의한 응축현상을 해결하기 위해서는 배기의 외기 중에서의 냉각선이 포화선을 지나지 않도록 조작해야 하는데, 이를 위해 배기의 가열, 제습 또는 외기혼입 등의 방법들이 사용된다. 하지만 이러한 방법들은 대부분 조작에 필요한 에너지 비용이 높아 현실적으로 적용하기 힘들며, 실제 현장에서는 매우 제한적인 경우에 사용되고 있다. 또한 동종응축에 의한 에어로졸은 대부분의 경우 인체에 그리 유해하지 않다.

(2) 이종응축

구름의 형성에 있어 바다소금(sea salt) 성분은 지대한 영향을 미친다. 지구에는 넓은 바다가 있고

바다로부터 생성되는 미세한 바다소금(sea salt) 성분은 구름 형성에 있어 응축 핵으로 작용한다. 이러한 이종의 응축 핵에 의한 응축현상을 이종응축이라 한다.

이러한 이종응축 현상은 반도체 및 Optic Industries의 가스흡수용 스크러버 내에서도 발생한다. 스크러버 내에서는 물질전달과 열전달이 동시에 일어나고 있으며, 이러한 공정 중 산가스 성분에 의한 노점상승 현상에 의해 응축현상이 발생한다. 노점상승에 크게 영향을 미치는 산가스 성분들은 SO₂, HBr, HCl, HNO₃ ... 등이 있으며, 입구가스 온도와 산가스 성분의 농도가 높을수록 심화된다.

이렇게 발생하는 이종응축에어로졸은 에어로졸 내부에 산가스 성분을 포함하고 있어 높은 부식성과 특유의 냄새 갖는다.

이종응축에 의한 백연현상은 투명전극을 많이 사용하는 Optic Industries의 산배기 스크러버에서 두드러지며, 이는 투명전극(ITO, Indium Tin Oxide)의 에칭공정에 사용하는 ITO Etchant 성분에 영향을 받는 것으로 추정된다. ITO Etchant의 주성분은 HCl, HNO₃, DI Water로 여기서 특히 HCl 성분의 영향이 매우 큰 것으로 추정하고 있다.

다음은 염화수소가스 농도에 따른 결로점 계산식이다.

$$T_{Dew} = 1000 / \{ 3.7368 - 0.1591 \cdot \ln(P_{H_2O}) - 0.0326 \cdot \ln(P_{HCl}) + 0.00269 \cdot \ln(P_{HCl}) \cdot \ln(P_{H_2O}) \} - 273.16$$

여기서,

T_{Dew} : 산결로 온도 (°C)

P_{H₂O} : 수증기의 증기압(mmHg)

P_{HCl} : 염화수소의 증기압(mmHg)

본 계산식과 단열포화온도를 계산하여 스크리버 내부에서 산결로 현상이 발생할 수 있는가를 계산해 보기로 한다.

예를 들어 ITO에칭 배기를 포함하여 입구가스 중 HCl의 농도 20ppm을 함유하는 산배기가 입구 온도 24℃, 상대습도 75%라고 한다면 스크리버 내에서 산결로할 수 있는 가능성이 있는가에 대하여 계산해보자.

$$\text{상대습도 } RH = \frac{p}{p_s} = 0.75$$

따라서 수증기압은

$$p_{H_2O} = 0.75 \times p_s = 0.75 \times 22.38 = 16.785 \text{ mmHg}$$

절대습도

$$x = 0.622 \times \frac{p}{(760 - p)} = 0.622 \times \frac{16.785}{(760 - 16.785)} = 0.01405 \text{ kg fr}$$

염화수소의 증기압

$$p_{HCl} = 20 \times 760 \times 10^{-6} = 0.0152 \text{ mmHg}$$

입구가스의 엔탈피

$$\begin{aligned} i &= 0.24T + (597 + 0.45T) x \\ &= 0.24 \times 24 + (597 + 0.45 \times 24) \times 0.01405 \\ &= 14.3 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

스크리버 내의 가스흡수 및 열전달 과정은 단열 공정으로 생각할 수 있으므로 입구와 출구가스의 엔탈피는 같다. 또한 출구가스는 단열포화 상태에 있다고 가정하면 출구가스의 온도는 단열포화온도

와 같다. 따라서 포화습공기표를 이용하여 단열포화온도를 구하면

$$T_s = 20.72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

앞에서 제시한 산결로 온도를 구해보면

$$\begin{aligned} T_{Dew} &= 1000 / \{ 3.7368 - 0.1591 \cdot \ln(16.785) \\ &\quad - 0.0326 \cdot \ln(0.0152) + 0.00269 \cdot \ln(0.0152) \\ &\quad \cdot \ln(16.785) \} - 273.16 = 21.58 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

스크리버 운전에 있어 흡수액은 단열포화온도에 이르게 되고, 유입되는 가스는 이 흡수액과 접촉하게 되는데, 입구가스의 결로온도가 단열포화 온도보다 높아 상온 운전에서도 결로현상이 발생하는 것으로 추정된다.

이렇게 결로된 미세한 물방울은 산가스성분을 포함하고 있어 매우 낮은 pH를 갖고 있으며, 설비 주변을 부식시키는 주범이 되는 동시에, 냄새 및 인체에 해로운 물질로 작용하며, 외관상으로는 백연현상을 유발한다.

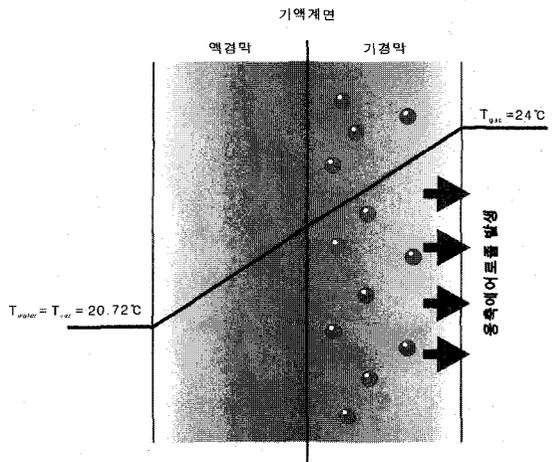


그림 14. 기액 경막에서의 온도분포와 응축에어로졸 발생

7. 최근 스크러버 기술동향

7.1 최근 스크러버 기술동향

현재 다양한 형태의 습식 스크러버(Scrubber)들이 가스 흡수는 물론 미스트(Mist), 더스트(Dust)의 제거 등의 용도로 사용되어지고 있다. 반도체 및 Optic Industries에 있어서도 산, 알칼리, Toxic 배기처리에 있어 습식 스크러버는 단연 우세적으로 사용되어 왔으며, 나름대로 그 역할을 충실히 수행해 왔다.

하지만 도시의 팽창으로 인해 과거 도심외곽에 있던 생산 공장이 도심에 편입되는 현상이 발생하고 있으며, 이로 인해 악취, 소음, 진동 및 백연현상에 의한 민원유발이 우려되고 있다.

따라서 과거부터 존재해 왔지만 문제가 되지 않았던 문제들이 수면위로 부상되고 있으며, 이들 중 습식 스크러버와 직접적인 관련이 있는 문제는 악취 및 백연문제이다.

최근 습식스크러버에 있어서 기술적인 진보는 고효율 충전물의 개발과 고효율 디미스터(Demister)의 개발 등에 집중되어 왔으나, 이들을 통한 사용자의 요구 충족 노력은 벽에 부딪히고 있는 실정이다.

현재 현장에서 운영되고 있는 습식 스크러버의 경우, 가스흡수 이론과는 달리, 현실적으로 입구농도에 따라 습식 스크러버의 처리효율은 많은 차이를 보이며, 예를 들어 입구농도기준 1~10ppm에서는 50~80%, 10~50ppm의 범위에서는 80~90%, 50ppm이상의 고농도에서는 90~98% 정도의 처리효율을 나타내며, 이는 반응 및 응축에 의한 에어로졸의 영향으로 추정되고 있다.

따라서 최근 스크러버 기술동향은 스크러버 내에서 미세입자상의 물질을 성공적으로 제거할 수 있는 장치를 기존 스크러버에 추가하는 방향으로 집중되고 있으며, 이를 위해 스크러버에서 정전기력을 이용하는 기술이 적극적으로 검토되고 있다.

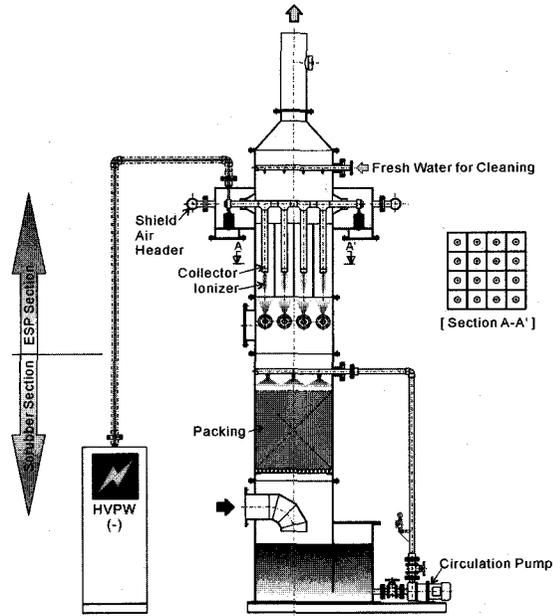


그림 15. 습식 전기집진장치의 원리

미세 에어로졸은 질량이 적어 더스트나 스프레이 처럼 관성력의 영향을 받지 아니하며, 가스 분자보다는 상당히 커, 자체 확산력이 없다. 따라서 가스의 분자 확산력과 관성력 충돌력을 주기전으로 이용하고 있는 습식 스크러버에서의 에어로졸 처리효율은 매우 저조하게 나타나고 있는 것이다.

에어로졸을 제거할 수 있는 기존 방법들로는 습식 전기집진기와 습식 글라스 필터를 이용하는 2가지의 방법들이 있으나 기존 습식전기집진기는 상당히 고가이며, 습식 글라스 필터는 막힘 문제를 쉽게 유발하는 단점이 있어 반도체 및 Optic Industries의 배가스 처리장치로 채용되지 못하고 있다.

이에 국내에선, 최근 정전하전역적 스크러버의 개발이 추진되고 있고, 이미 미국, 일본 등에서는 습식 스크러버에 정전하전 원리를 이용한 스크러버 시스템이 가스흡수는 물론 미세에어로졸의 제거에 성공적으로 적용되고 있는 사례가 발표되고 있다.

7.2 정전하전액적 스크러버 시스템(Charged Droplets Scrubber System)

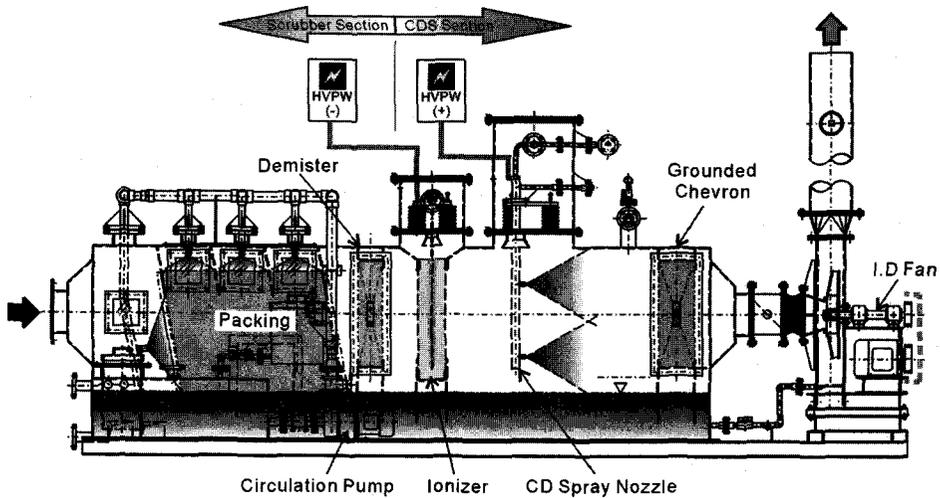


그림 16. 정전하전액적 스크러버 원리도

1) 정전하전액적 스크러버의 원리

위의 그림 16에 나타난 정전하전 스크러버는 기존의 횡형(Horizontal) 스크러버 시스템에 하전액적 시스템을 추가한 것으로 기존의 가스흡수 성능을 그대로 유지하면서도 에어로졸을 효율적으로 처리할 수 있도록 고안된 것이다.

스크러버 입구로 유입된 배가스는 급수가 이루어지는 충전층을 통하여 가스흡수 및 거대 입자의 제거가 이루어진다. 충전층을 통과한 배가스는 디미스터를 통과하면서 거대액적이 제거되고 -40kV의 고전압이 인가되어 코로나 방전이 일어나고 있는 이온나이저 섹션을 통과하게 된다. 이 과정 중 미세 에어로졸은 음전기로 하전된다.

한편, 이온나이저 후단에는 시수를 분사하는 이류체 노즐이 설치되어 있고 여기에는 +40kV의 전압을 인가하여 시수를 양이온화 하여 압축공기와 함께 분사, 미세하면서도 고른 양전기로 하전된 액적을 분사한다. 음전기로 하전된 미세에어로졸과

양전기로 하전된 수적은 응집부를 통해 서로 전기적 인력에 의해 서로 응집된다. 에어로졸을 응집한 수적은 후단의 접지된 쉐브론 미스트 엘리미네이터에 의해 제거되며 전기적으로 완전히 중화된다.

응집부에서는 수많은 수적에 의해 전단에서 미처리된 가스를 다시 한번 흡수하는 부수적인 효과를 기대할 수 있다.

CDS 시스템의 장점으로는 기존의 습식 스크러버와 완전 호환 될 수 있으며, 매우 적은 동력소모와 저전류를 사용하는 관계로 감전에 의한 사망 또는 상해에 대해 절대 안전하다는 것이다.

외국의 문헌에 의하면 CDS 시스템을 이용 NH₄Cl 흡에 대해 98%이상의 제거효율을 나타내고 전체적인 오염물질 제거효율은 99%이상으로 보고되고 있다.

향후 반도체 및 Optic Industries의 습식 스크러버 시스템을 대신할 수 있는 새로운 시스템으로 CDS의 활용이 기대되는 바이다.