

# 연소식 배가스 처리기술

김 태 훈 | (주)태양테크, 기술연구소  
전임 연구원

E-Mail : cad-hee@hanmail.net

## 1. 머리말

한국의 반도체 산업은 '97년 기준 188억불을 생산하여 175억불을 수출하는 등 수출주도형의 주요 국가간 산업이다.

그러나 반도체 공정에 사용되는 다양한 화학물질, 가스의 사용은 폐수 및 폐기물 등의 부가적인 환경 문제를 야기하며 지구 온난화 및 도시 스모그 등의 실제적인 피해를 보이고 있다.

결국 주요 선진국인 유럽과 미국 등에서 이러한 환경 문제를 개선하기 위한 노력이 시작되었으며 그 외 모든 국가에 대해 환경문제 동참이라는 명제 아래 무역 제한 조치 등의 국가간 무역 장벽으로 등장시키게 되었다.

공정 가스에 대한 환경문제를 해결하기 위해 많은 노력이 진행되고 있으며 이를 요약하면 대체로 다음과 같다.

- 반도체 공정 개선
- 대체 가스 개발
- 가스 재사용

위에 나열된 방식 외에도 여러 시도가 행해지고 있으나 노력에 대한 결과를 확인하기까지는 상당한 시일이 필요한 장기적인 방법이라 하겠다.

현재까지 사용되고 있는 공정 가스의 처리 방식은 반도체 공정이 종결 된 후 배기되는 배관에서 처

리하여 감소시키는 방식으로 진행되고 있으며 그 예는 다음과 같다.

- 직접, 간접 연소식 처리 방식
- 플라즈마(plasma)를 이용한 방식
- 화학적 촉매나 반응제(resin) 처리 방식
- 물(wet) 처리 방식

본 글에서는 다양한 처리 방식 중에서 연소식 가스 처리 방식에 대하여 심도 있는 내용보다는 간단한 이해를 돕고자 하며 앞으로 나아갈 방향에 대한 참고자료로 활용되도록 하고자 한다.

## 2. 연소식 배기가스 처리 기술

### 2.1 배기 가스의 정의

일반적으로 배기 가스라 함은 연소 혹은 각종 화학반응으로 발생되어 대기 중에 방출되는 가스를 칭하며 크게 자동차 배기 가스와 통풍로 배기가스로 나눌 수 있다.

대기오염방지법에서는 자동차 운행에 따라 발생하는 일산화탄소, 탄화수소, 납 화합물, 질소산화물 및 입자상태 물질을 자동차 배기 가스라 한다.

통풍로 배기 가스는 연료, 그 밖의 물질 연소 및 화학반응 등에 따라 발생하는 가스 중에서 필요 없는 가스가 통풍로를 통해 대기 중에 배출되는 것을 말한다.

통풍로 배기 가스 중 본문에서 서술하고자 하는

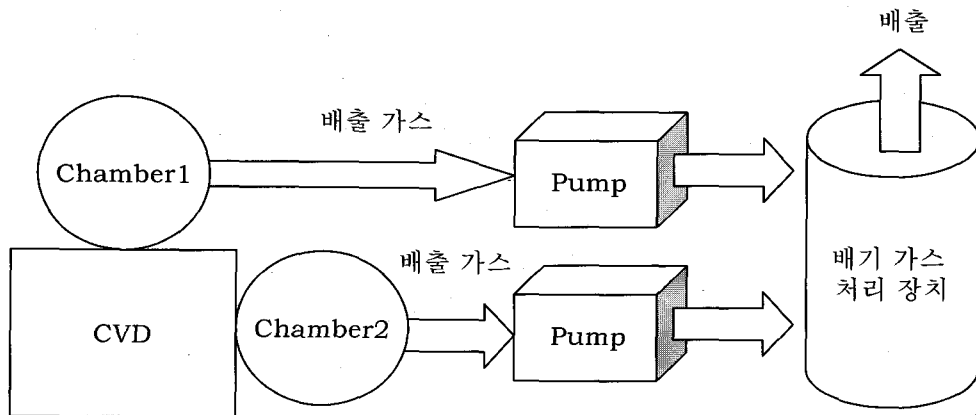


그림 1. 반도체 공정의 배출 가스 흐름

표 1. 반도체 공정 사용가스와 허용 농도에

공정	가스	허용배출기준(PPM)
ETCH	Cl <sub>2</sub>	1
	HCl	5
	BCl <sub>3</sub>	5
	F <sub>2</sub>	1
	SiCl <sub>4</sub>	5
	HBr	3
	SF <sub>6</sub>	1,000
	CHF <sub>3</sub>	3
	CCl <sub>4</sub>	10
	ClF <sub>3</sub>	3
	NF <sub>3</sub>	10
	HF	3
SiF <sub>4</sub>	3	
CVD	SiH <sub>4</sub>	5
	TEOS	10
	SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	5
	WF <sub>6</sub>	0.75
	NF <sub>3</sub>	10
	NH <sub>3</sub>	25
IMPLANTER	AsH <sub>3</sub>	0.05
	BF <sub>3</sub>	1
	PH <sub>3</sub>	0.3

것은 반도체 공정 분야에서 사용되는 가스를 말하며 식각(etching), 화학적 증기상 증착(chemical vaporized deposition), 확산(diffusion)등의 공정이 종료된 후 배기된 가스는 지정된 허용치 이내로 배출되어야 한다.

### 2.2 연소

일반적으로 산소와 급격한 화학반응을 일으켜서 발열하고 그 결과 발광을 동반하는 현상을 연소라고 한다. 반도체 배출 가스의 연소는 필요한 산소량과 분해에 필요한 energy를 보상하기 위한 열(온도), 그리고 충분한 열 전달 및 반응이 이루어 질 수 있도록 공간을 제공하는 연소실의 구조를 중요한 자로 볼 수 있다.

연소 반응이 시작되어 지속하는 것처럼 되는 현상을 착화(ignition)라고 한다. 더욱 자세히 분류하면 전기화화(火花)나 성냥 등의 내부 점화원을 사용하는 경우와 연료와 산화제 자체의 온도를 높여서 연소를 자발적으로 발생시키는 경우가 있지만, 전자를 강제착화, 점화, 인화로 후자를 자기착화, 자발화 등으로 부르고 있다. 반도체 배기 가스 처리에

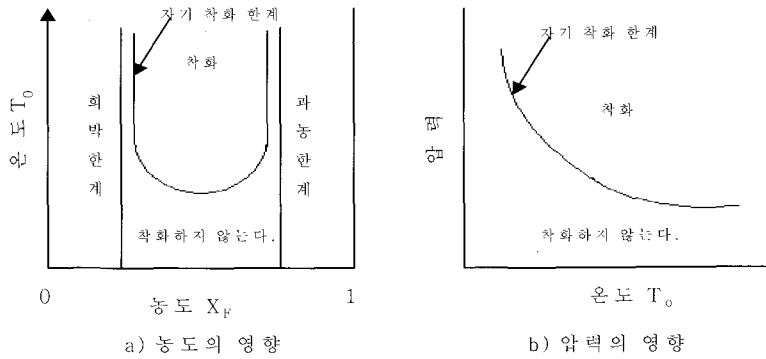


그림 2. 열 착화 이론에 대한 자기 착화 한계

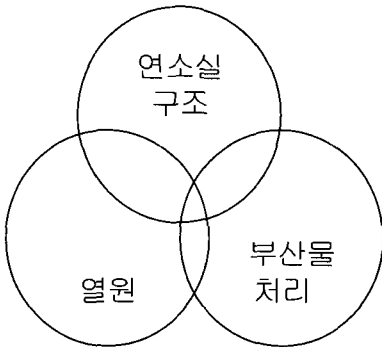


그림 3. 연소식 배기가스 처리장치 설계시 고려 요인

있어 대부분을 차지하고 있는 것이 후자의 자기 착화이다.

자기착화란 산화제를 포함한 매체 중에서 연료를 가열할 때 어떤 온도에 도달하면 급격하게 반응이 진행하고 온도가 급상승해서 연소를 시작한다. 즉, 외부에서 점화하지 않고 자연히 연소하기 시작하는 것을 말하며 그때의 온도를 자기착화온도(self-ignition temperature)라고 한다.

1) 연소실의 구조

연소실의 구조는 연소 대상 가스의 반응 구간내

의 정체 시간 및 열 전달의 중요한 인자가 될 수 있다. 연소실의 크기가 큰 경우는 연소에 필요한 반응 시간은 증가되지만 열이 일정하게 전달되는 시간이 증가되며 일정한 온도 지역을 유지하는 데에도 어려움이 있다.

반대로 연소실의 크기가 작은 경우에는 연소에 필요한 열 전달에는 도움이 되지만 반응이 이루어지는 정체 시간이 감소되는 문제가 있다.

따라서 연소실의 크기는 이론적인 계산결과와 실험적 결과를 토대로 결정해야 한다.

연소실의 형상 또한 중요 인자가 된다. 내부 구조에 따라 열 전달과 함께 반응에 필요한 산소가 고루 혼합되어 연소 효율을 증가시키는 요인이다.

반도체 배기 가스 처리에 사용되는 연소실의 형태는 원통형에 외부 heater를 설치 중앙으로 열을 전달하는 방식으로 되어 있다.

반도체 배기 가스의 처리에 있어 또한 중요한 변수 인자는 발생하는 부산물 분진(powder)의 적체 현상이다. 높은 효율을 얻기 위해 원통형의 지름을 작게 할 경우 다량의 분진(powder)으로 인해 막힘 현상이 발생 할 수 있다. 따라서 원통형의 지름과 powder 적체에 대한 대비가 조화되어 설계가 이루어져야 한다.

연소실의 설계에 있어 위의 열거한 요인 외에도 외부로의 열 손실을 억제하고 작업자의 안전과 같은 실질적인 연소 외의 인자들에 대하여도 주의해야 한다.

**2) 열원**

배기 가스를 처리하는데 있어 열원의 선택은 전체 구조에 영향을 줄 정도로 중요하다. 반도체에서 배기 가스 처리용 scrubber(배기 가스처리 장치)는 heater를 열원으로 사용하여 700℃~800℃로 유지하여 대상 가스를 연소시킨다.

가연성 특성을 가진 gas를 처리하는 공정에 적용되고 있으나 결합력이 높은 가스인 경우에 결합력을 끊을 수 있는 열(온도)을 발생시키는데 어려움이 있어 수소나 천연가스 등의 외부 열원을 이용하여 고온을 발생 시켜 연소시킨다.

지구 온난화의 주범으로 주목받는 PFC 계열의 가스(NF<sub>3</sub>, SF<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>등)를 처리하는 공정에서 적용되는 scrubber들의 경우 heater와의 이중 열원을 사용하거나 고온의 열원을 내는 새로운 열원을 개발하기도 한다.

**3) 산소**

배출 가스에 열을 전달하여 분자가 분해 되도 다른 분자로의 전이가 없다면 대부분이 다시 재결합을 통해 재생성 되므로 처리 효율은 매우 낮아진다. 따라서 연소 대상 가스의 양에 따라 반응시킬 이

론 산소량을 산출하는 것이 중요하다.

그러나 실제 투입되는 산소량은 산소와 접촉하여 전이되는 비율을 증가시키기 위해 이론 산소량보다 많아야 한다.

공정에서는 산소 대신 공기를 이용한다. 따라서 실제 투입되는 공기의 양은 28%에 해당하는 산소의 양을 계산하여 산출한다.

필요에 따라 산소대신 반응을 유도할 수 있는 가스를 넣어 주기도 하는데 부산물에 대한 처리를 위해 암모니아 등의 가스를 사용하기도 한다.

**2.3 연소 장치 구성**

배기 가스가 유입되는 연소실을 가지는 혼합 장치, 혼합 장치의 연소실에 유입되는 배기 가스에 공기를 송풍시키는 송풍 장치, 연소가 가능하도록 열(온도)을 공급하는 열원, 연소된 가스의 부산물을 제거하는 장치, 연소 후 발열된 열을 낮추는 장치, 포집 탱크 혹은 배관에 설치되어 물을 분사시키는 살수 장치, 배관 내 압력을 유지하는 장치, 배기 가스의 물을 제거하는 장치 등으로 구성되어 있다.

일반적인 연소장치의 구성에서부터 각 가스의 특성에 맞추어 내부 장치가 변경되며 열원 및 부가 장치에 따라서도 처리 가능한 가스가 나뉘어 진다.

**2.4 연소 장치의 가스 처리**

공정 장비에서 배출된 폐 가스는 장비 입구 부(head unit)를 통하여 연소실로 유입된다. 입구 부

표 2. 업체 별 처리 방식의 예

업 체	DAS (Germany)	Centrotherm (Germany)	TaeYang Tech (Korea)	BOC Edwards(U.K)		Hitachi (Japan)	Litmas (USA)	KC-tech (Korea)
				TPU	GRC			
방 식	H <sub>2</sub> (수소) 외부공급 Flame 산화	H <sub>2</sub> (수소) 외부공급 Flame 산화	H <sub>2</sub> (수소) 자체생산 공급 Flame 산화	CH <sub>4</sub> (메탄) 외부공급 Flame 산화	Catalyst (촉매) 반응	Catalyst (촉매) 반응	Plasma 열 산화	Plasma 열 산화

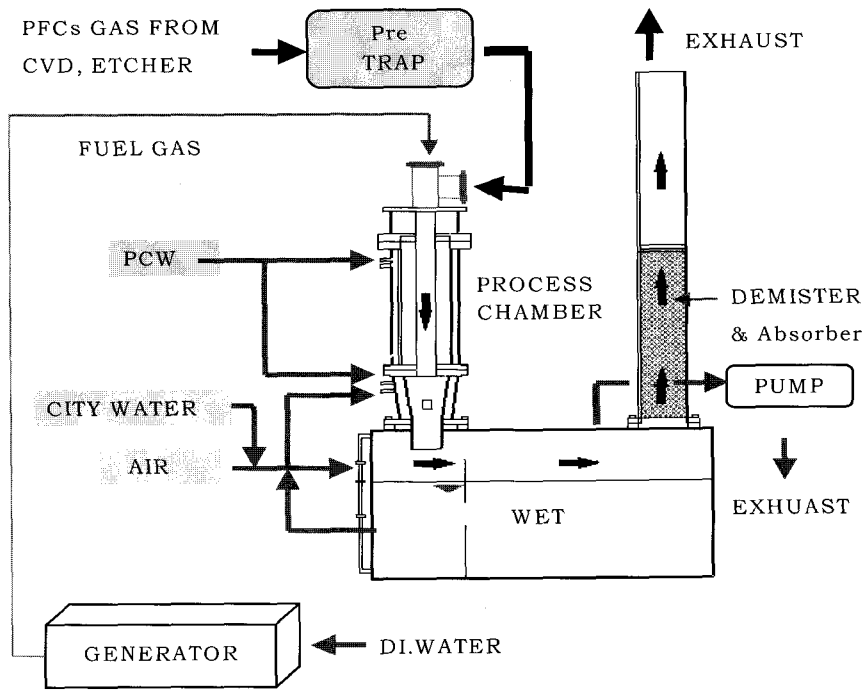


그림 3. 반도체 배기 가스 처리 장치의 예

에는 질소와 공기가 공급되며 고온의 연소실 내부에서 혼합되면서 분진(powder)의 쌓임을 막고 가스 처리를 하게 된다.

입구 부는 각각 독립적으로 연소실 내부까지 연결되어 있으며 이것은 폐 가스의 저온 혼합과 산소의 저온 혼합으로 발생하는 사고를 예방하도록 설계된 것이다.

연소실은 유입되는 폐 가스의 유량과 압력을 이용 용량을 선정하고 내경과 높이를 산출하여 처리하고자 하는 대상에 대한 열 전달 시간(유속)을 고려하여 설계한다.

연소실 내부는 열원 및 구조적 장치를 이용하여 균일한 온도 분포를 이루어 온도차에 의한 가스의 미 반응을 감소시키며 와류 현상을 만들어 효율적

인 처리가 가능하도록 한다. 연소실 내부에는 가스의 흐름으로 인한 온도 하강을 보충하며 와류를 형성하는 구조적 장치를 설치 할 수 있으며 외부에는 주 열원인 heater의 열을 내부로 집중시키기 위한 단열재가 설치되어 있다.

가스 처리 후 대부분의 반응으로 인한 열량이 그대로 배출 단으로 빠져나가기 때문에 배출 온도가 높은 상태를 유지하게 된다.

이를 냉각시키기 위해서는 직접 냉각 방식과 간접 냉각 방식이 있다.

간접 냉각 방식은 많은 유량이 짧은 구간을 지나는 곳에서 효율이 그리 높지 않은 단점이 있으므로 비용적인 부담이 있지만 직접 냉각 방식을 선호하고 있다. 연소실에서 반응이 진행되면 부산물과 분진

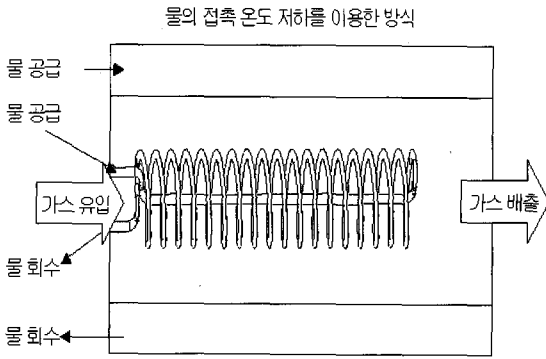


그림 4. 간접적인 냉각 방식의 예

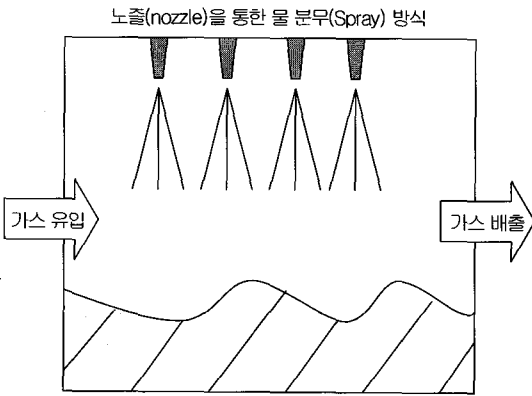


그림 5. 직접적인 냉각 방식의 예

(powder)이 발생된다.

일반적으로 분진은 필터(filter)나 물을 이용하여 포집하게 되는데 분진의 양이나 특성에 따라 선택성이 있다. 필터를 이용하게 되면 차압 및 필터 막힘을 고려해야 하며 물을 이용하면 생성되는 슬러지(sludge)의 처리와 사용되는 물의 양을 고려해야 한다. 부산물에 대한 처리가 종결되면 주 배관으로 배출된다.

배기 가스 처리 목적은 처리하고자 하는 가스의 농도를 한계까지 낮추는 것이다. 그러나 대상 가스

의 농도를 낮추는 만큼이나 중요한 또 하나는 처리 후 발생하는 부산물에 대한 것이며 이 부산물을 처리하고자 사용되는 다른 에너지원의 소모량 감소일 것이다.

에너지원의 감소를 생각하다가 부산물처리가 좋지 않으면 잔여 부산물로 인한 배관의 부식 등의 피해를 입을 수 있어 주의해야 한다.

### 3. 맺음말

지금까지 배기 가스 처리 기술 중 반도체 배기 가스의 연소 처리 장치에 대해 설명을 해 보았다.

반도체 가스의 제거 장치는 생산 설비와는 별개의 장치로 인식되어 급격한 공정의 개발 속도보다 한발 뒤에서 진행되어 왔다.

그러나 환경 관련 사업에 대한 중요성이 부각되면서 신규 가스의 다양화 및 처리량의 빠른 변화에 대응하는 처리 장치의 개발이 요구되고 있다.

장치 개발에 있어 무엇보다 중요한 사항은 반도체에 사용되는 가스와 공정에 대한 전문적인 지식과 경험이다. 정확한 효율 분석과 획기적인 아이템(item)이 계속적으로 적용되어 처리 방식 각각의 단점을 보완해 가야 할 것으로 판단된다.

### - 참고 문헌 -

1. 고바야시고시(小林清志)외 2인 저, 장철현외 2인 공역, 2000.1, 동화기술-이공학사, “연소 공학-기초와 응용-” 연소반응과 그 기초.
2. UCS반도체기초기술연수원 저, 하권, “초고순도 가스과학”, 일본.
3. William Braker & Allen L. Mossman, 1980, “GAS Data Book”, Sixth Edition.
4. 월간 반도체, 1999 & 2000, 특집기사, “Gas Scrubber”.