

# 자외선 세정기술의 응용

문세호 (세왕시이텍(주))

## 1 자외선과 세정개요

자연계에 존재하는 빛은 고유의 파장으로 구분된다. 크게 가시광선을 중심으로 단파장을 갖는 부분과 가시광선 보다 장파장을 갖는 부분으로 구분될 수 있다. 또한 특정한 파장을 갖는 광원을 적용하여 다양한 목적으로 사용된다.

가시광선 보다 단파장을 갖는 자외선은 UV램프에 의하여 산업적으로 만들어지고, 비교적 손쉽게 산업 및 생활에 폭넓게 적용되고 있다. 특히 석유화학 및 반도체 산업의 발달과 함께 이와 같은 고정밀도를 요하는 산업 분야에 있어서 필요성이 증가하고 있다. 고분자 물질의 표면 처리 및 세정 분야에 다양한 방법으로 적용됨을 볼 수 있다. 성능의 향상을 위하여 자외선과 오존, 자외선과 초음파를 병용하기도 한다.

특히 세정의 중요성이 증대되고 있는 분야로써 반

도체 제조 및 나노 산업 공정에서 불순물 제거를 위한 고정도 세정의 요구가 증가하고 있다. 세정은 크게 건식 세정(dry cleaning)과 습식 세정(wet cleaning)으로 나눌 수 있다. 세정을 필요로 하는 오염은 크게 유기물(organic), 무기물(non-organic), 금속(metal) 오염으로 구분 된다. 유기물 오염은 기계가 공유, 인체 분비물로부터 오염되는 경우이고, UV 세정에 적합한 분야라고 할 수 있다. 무기물의 경우에는 전처리 세정으로 습식세정을 한 후에 UV 세정이 효과적이라 알려져 있다.

건식 세정은 후 세정을 필요로 하지 않으므로 비교적 간단히 세정을 할 수 있는 장점을 갖는다. 건식 세정법으로는 열적 작용을 이용하는 레이저급 X선 세정, 전기적 에너지를 이용하는 플라즈마 세정법, UV 세정법 등이 있다. 주로 유기물 세정 용도로 사용되고, 플라즈마 세정법과 UV 세정법이 산업 현장에서

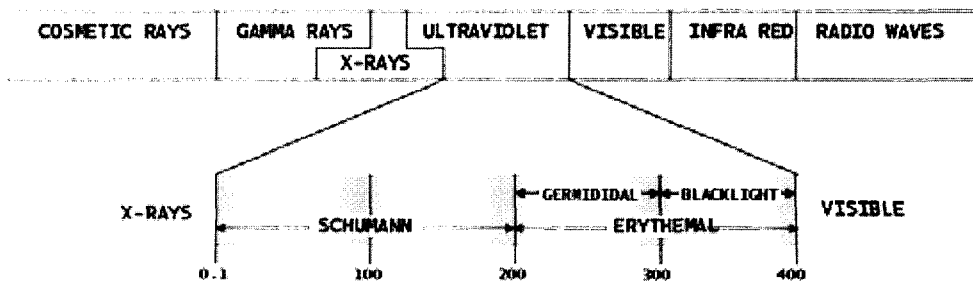


그림 1. 파장에 의한 분류

표 1. 파장에 따른 명칭 및 용도

구분	파장	에너지준위	투과력	적용
X-ray	0.01~100(nm)	매우 높다	약	의료, 군사
자외선	UV-A UV-B UV-C 100~380(nm)	높다	약	오존발생, 살균, 표면처리, 광화학반응
가시광선	380~780(nm)	중간	중간	조명
적외선	NIR MIR FIR 780~1500(nm) 1500~5600(nm) 5~1000(μm)	낮다	강	건조, 가열, 측정, 분석
마이크로파	1000(μm+)	매우 낮다	매우 강	바이오에너지, 가열, 통신

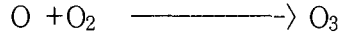
주로 이루고 있다.

습식 세정은 용액을 사용한 세정으로써, 용액의 다양성에 따라 유기물, 무기물 및 금속 오염물을 세정할 수 있으나 후 세정을 필요로 한다. 습식세정에 경우에도 세정력 향상을 위하여 UV를 병용하기도 한다.

## 2. UV 세정의 원리

자외선 세정은 자외선의 파장 에너지와 변환된 기체의 라디칼에 의하여 반응한다고 알려져 있다. 자외선의 조사에 의하여 탄수화물의 분해에 대하여는 이미 알려져 있고, 1972년 Bolon과 Kuns는 photo-resist 고분자 물질을 자외선 조사에 의한 세정을 성공하였다. J.R. VIG는 단분자층 오염에서도 UV-O<sub>3</sub> 세정법을 적용하여 표면 세정 결과를 내었다.

대기중 UV 세정은 저압 수은등을 주로 사용하는 데, 자외선의 파장은 184.9(nm)와 253.7(nm)로써, 공기중의 산소가 184.9(nm)의 자외선에 의하여 해리하게 되어 오존을 생성하고, 253.7(nm)의 자외선에 의하여 오존을 분해하게 된다. 이 과정에서 라디칼 또는 산소원자가 발생하게 되어 유기물의 분해에 관여 한다.



유기화합물로 구성된 오염 입자에 자외선을 조사하면 자외선을 흡수하여, 직접 광분해 과정이 직접적으로 일어난다. 유기화합물의 자외선 조사 후 생성 물질로서는 이온, 프리 라디칼, 여기상태의 분자, 중성분자가 생성된다. 전자파의 몰당 에너지 E는 파장 λ는 다음과 같은 관계가 있다.

$$E = N h c / \lambda \times 10^5 KJ \cdot mol^{-1}$$

h : 프랑크 정수(6.626×10<sup>-34</sup> J·Sec)

c : 광속 (2.998×10<sup>10</sup>(cm)·Sec<sup>-1</sup>)

λ : 파장 ((cm))

N : 아보카드로 정수(6.022×10<sup>23</sup>mol<sup>-1</sup>)

184.9(nm)의 파장을 갖는 자외선의 몰당 에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E(184.9) = \frac{6.022 \times 10^{23} \times 6.626 \times 10^{-34} \times 2.998 \times 10^{10}}{1849} \times 10^5 KJ \cdot mol^{-1} = 647 KJ \cdot mol^{-1}$$

$$E(253.7) = 472 KJ \cdot mol^{-1}$$



따라서 유기화합물 오염의 세정은 표 2에 나타나고

있는 결합에너지 보다 강한 에너지를 조사하게 되면 자외선 고유의 광분해 에너지와, 라디칼과 함께 분해 반응이 이루어진다. 결과적으로 대부분의 유기 오염물을 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>와 같은 단순 분자를 형성하게 되어 표면으로부터 제거된다.

표 2. 화학결합 에너지

분자결합	결합에너지(KJ/mol)
O-O	138.9
O=O	490.4
O-H	426.8
C-C	347.7
C-H	413.4
C-N	291.6
C≡N	791
C-O	351.5
C=C	607
C≡C	828
C=O	724
C-Cl	328.4
H-F	563.2
C-F	441.0
H-Cl	431.8
N-H	309.8

한 경우에 특정한 영역의 파장을 이용하는 경우나 산소를 차단한 상태에서 세정이 이루어지는 경우는 극히 적다. 보통 184.9~253.7(nm) 정도의 파장을 이용 하는데, 184.9(nm) 파장의 자외선은 산소를 해리하여 활성산소 상태를 만들어 오존(O<sub>3</sub>)만들고, 253.7(nm) 파장 대역은 다시 오존을 해리하여 활성산소 상태를 만든다고 알려져 있다. 또한 자외선은 오염물의 조직에 직접 작용하기도 한다. 산소를 차단한 상태에서 광화학 반응에서의 유기 오염물의 세정력과 산소 분위기 상태에서의 광화학 반응과 오존 반응이 동시에 일어나는 상태를 비교할 때, 산소 분위기 상태에서의 대부분의 유기 오염물의 세정력이 우수하다고 알려져 있다.

표 3. UV-O<sub>3</sub> 반응

오염물 및 자외선	생성물	세정 후 물질
유기오염물+253.7(nm)	여기상태 유기물 프리 라디칼 이온화 중성분자	휘발성 기체 (H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> 등 기체)
O <sub>2</sub> +184.9(nm)	O + O <sub>3</sub>	
O <sub>3</sub> +253.7(nm)	O	

### 3. UV-O<sub>3</sub> 세정

UV 세정은 플라즈마 방식의 건식세정과 습식 세정과 세정력 또는 세정 속도라는 관점에서 볼 때, 세정 효과가 다소 약하다. 그러나 여타 세정 비하여 모재(母材)의 손상을 주지 않는다는 면에서는 대단한 장점을 갖는다. 모재의 재질이 금속이거나 수분에 취약한 재질일 경우 습식 세정이 적합하지 않을 경우에 특히 장점을 갖는다.

일반적으로 자외선의 광원은 복합된 파장을 내는 광원이고 상압 대기 중에서 세정이 이루어진다. 특별

### 4. 자외선 세정을 위한 구조

자외선의 에너지를 이용한 세정은 현재 다양한 기법이 적용 되어 개발되고 있다. 급속한 제조 기술의 발달과 함께 식품산업, 화학, 기계, 반도체 및 LCD 제조 공법에 적용되어 사용되고 있다. 자외선으로부터 생성되는 기체 오존을 이용하는 방법과 함께 기능수와 병용하는 방법이 시험되고 있다. 기능수 세정은 세정수에 특정 기체를 가하여 유기물 세정 또는 무기물 세정을 가능하게 하는 세정 방법이다. 이러한 기능수에 자외선을 적용하여 세정의 효과를 향상시키는 연구가 반도체 분야를 중심으로 연구되고 있다. 대표

적인 자외선을 이용한 세정을 예를 들면 다음과 같다.

#### 4.1 오존 생성을 수반하는 자외선 세정

그림 2에 보이는 세정 방법은 가장 일반적인 세정 방법이다. 자외선의 광화학적 반응과 함께 오존 반응, 라디칼 반응을 동시에 이용할 수 있는 방법으로서 대부분의 세정물에 사용 가능하다. 또한 구조가 간단하여 다양한 용도로 적용되고 있다.

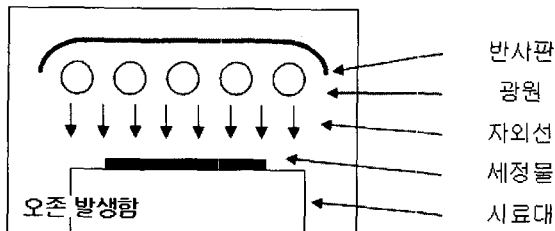


그림 2. 자외선 + 오존 세정

#### 4.2 오존 생성을 배제한 자외선 세정

그림 3에 보이는 방법은 그림 2와 비교할 때, 세정 물과 자외선의 광원을 석영 유리판으로 격리시켜 253.7[nm] 파장의 자외선만을 통과시켜 세정물에 광화학 반응을 유도하기 위한 방법이다. 목적물에 산소 또는 오존의 반응이 적합하지 않을 때 사용하는 방법이다.

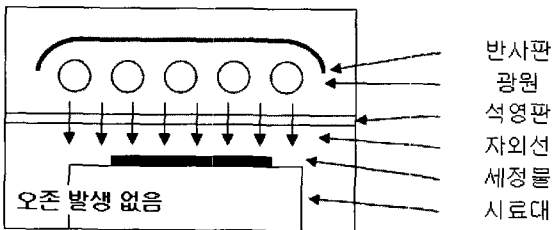


그림 3. 자외선(253.7(nm))에 의한 광화학적 세정

#### 4.3 오존수 분위기에서의 자외선 세정

그림 4의 방법은 주로 반도체 및 LCD 세정공정에

적용되는 방법이다. 기능수 중에서 특히 오존수는 기체 오존을 세정수에 용해한 세정수로써 산화력이 매우 높다. 약 60(mg/l) 정도의 오존수는 황산과수 세정을 대체할 수 있는 세정법이다. 또한 오존수는 황산 세정법과 달리 2차 오염을 유발하지 않는 세정 방법으로써 환경친화적 제조공정 유도할 수 있다. 향후 환경을 저해하지 않고, 오염물을 저감 시키는 제조 공정의 중요성이 대두되고 있으므로 차세대 세정법으로 예상된다.

이러한 오존수에 석영 유리판을 통과한 자외선을 조사하는 방법은 습식세정의 장점인 신속한 세정과 자외선 세정의 장점을 모두 이용할 수 있다. 실시 예는 그림 4와 같다.

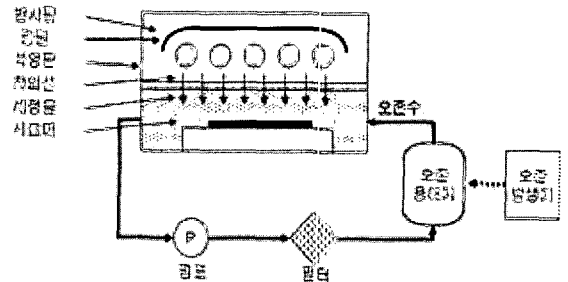


그림 4. 자외선 + 오존수를 사용한 습식 세정

### 5. 자외선-오존 세정 장치

자외선의 세정 장치는 표면 세정이므로 세정물의 형상에 따라 UV 램프의 배치 형태가 다양하게 구성된다. 대부분의 세정 장치는 평면 세정이 주를 이루고 있다.

산업 분야에서 널리 사용되고 있는 세정 장치는 세정 효과를 향상 시키기 위하여 세정물의 거치 용이성, 세정물과 UV 램프 간의 간격 조절성, UV 램프 보수성, 산소 또는 오존을 추가로 공급할 수 있는지 여부 등이 선택의 조건이 되고 있다. 무엇보다도 UV 램프의 성능이 가장 중요하다. 따라서 저압 수은등과 함께

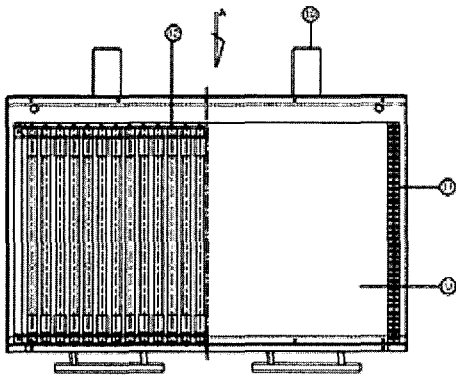
중압 또는 고압 수은등의 개발이 진행되고 있다.

UV 세정 장치의 사용은 안전을 고려되어야 한다. 자외선 광원으로부터의 안전과 함께 오존이 발생 될 수 있으므로 세정 장치로부터의 배기는 중요하다. 오존의 산업안전 기준은 0.05(ppm)으로써 취가 후각으로 감지될 수 있으나, 주의가 필요하다. 배기가 곤란한 장소에서는 오존의 분해 장치가 필요하다. 자외선 세정 장치에서 배출될 수 있는 오존양은 비교적 저

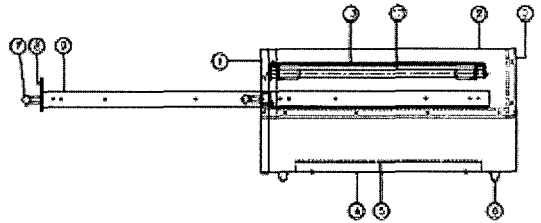
농도이므로 오존 분해 촉매 부착형이 선호되고 있다.

자외선 세정 장치의 UV 램프의 선정은 중요하다. UV 램프의 파장 분포와 조도에 따라 일반적으로 저압 수은등을 적용할 경우에 90(%)가 253.7(nm)로서 184.9(nm)의 파장이 상대적으로 작다. 용도에 따라 중압 또는 고압의 수은등을 필요로 한다. 그리고 파장 대역에 따른 흡수율도 고려되어야 한다.

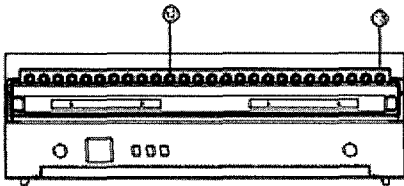
UV 세정에 영향을 미치는 요소로서 전처리가 중요



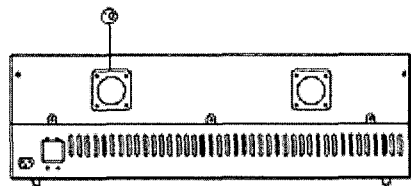
〈상부반단면도〉



〈우측투시도〉



〈전면투시도〉



〈배면도〉

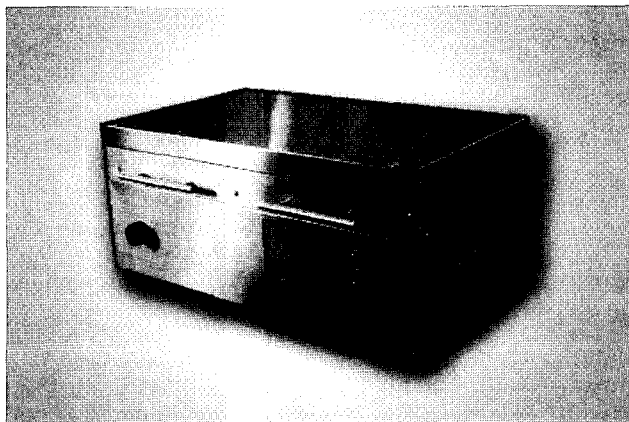


그림 5. UV/O<sub>3</sub> 세정장치(Model: UVplusO<sub>3</sub>, Sewang)

특집 : 자외선 응용기술

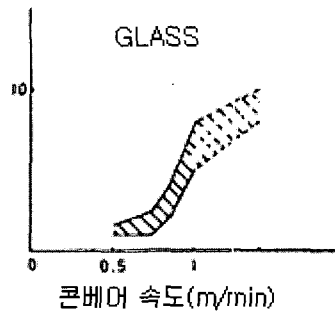
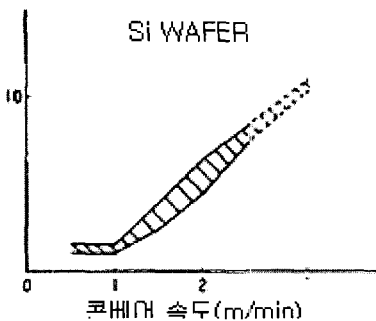
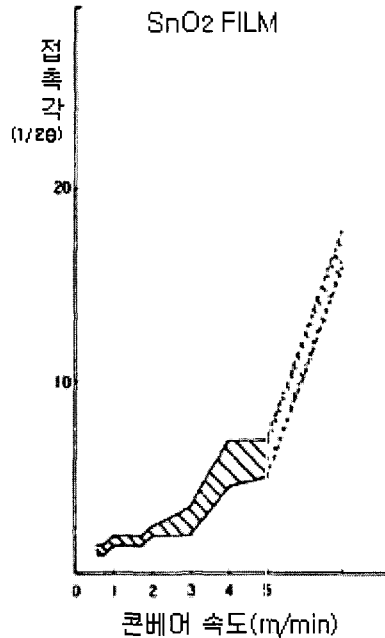
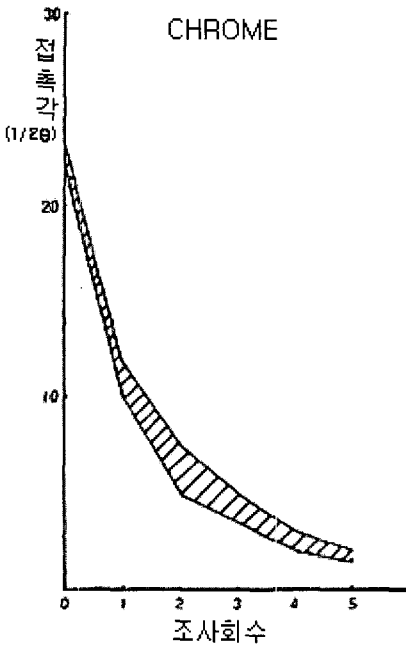
하다. 자외선 세정법은 유기물에 있어서 세정이 효과가 있지만 무기물에는 취약하고, 오염은 유기물과 무기물이 혼재 되어 있는 경우가 있으므로 순수 또는 약액에 의한 세정 전처리에 의한 세정 효율이 향상된다. 따라서 선세정의 필요가 있다.

6. UV-O<sub>3</sub> 세정의 효과

UV-O<sub>3</sub> 세정의 효과는 사용 목적에 따라 표면세정과 표면개질로 구분될 수 있다. 고분자 소재의 경우

표면 개질에 의한 물성 변화 및 접착성 향상 목적으로 주로 사용된다. PVC, PP, PE, PET, PS, PEI, Nylon-66 등의 고분자 재료와 SUS, Glass 무기 재료는 아주 양호한 효과를 볼 수 있다. PTFE, PFA, P-Acetal 등의 물질은 자외선 표면 개질 효과가 그다지 없다고 알려져 있다. 표면 세정의 효과는 1~2 시간 정도 유지되고, 표면 개질 효과는 수일간 지속될 수 있다.

첨단 반도체 및 나노 산업의 중요성이 확대되면서 표면 세정 및 개질 분야의 기술 적용이 확대되고 있



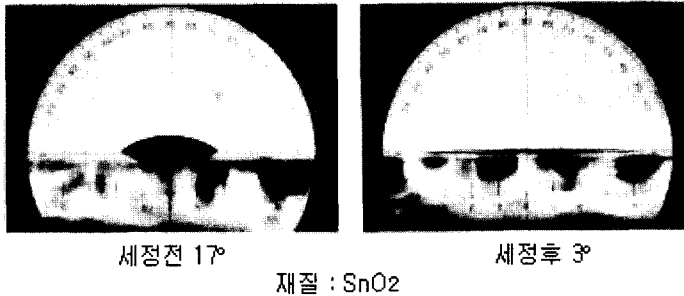
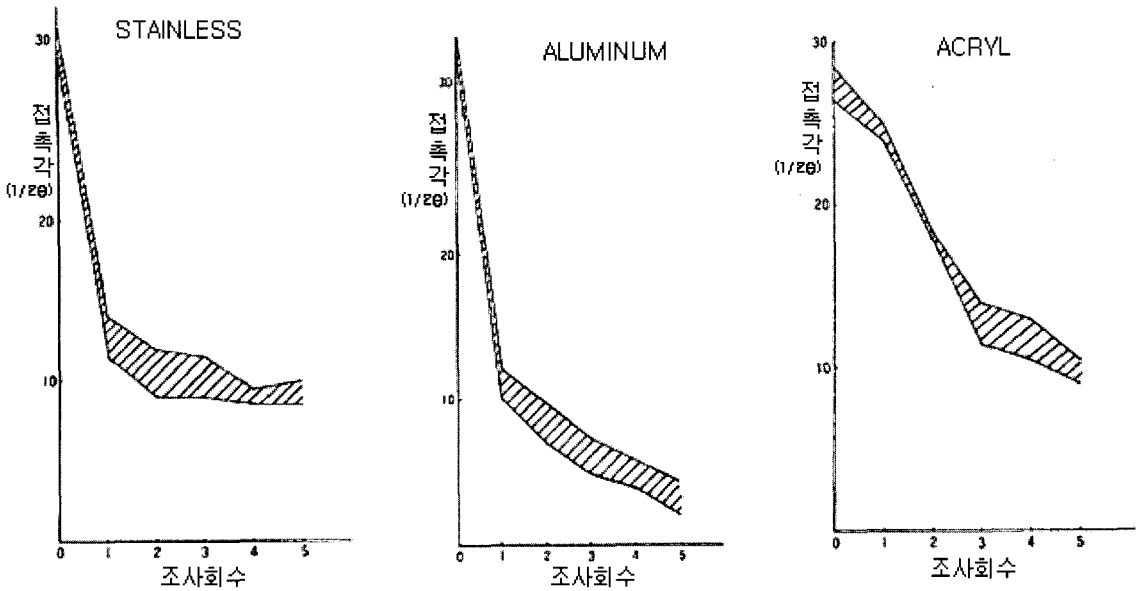


그림 6. 접촉각 측정 데이터(자료 : THREEBOND/일본, 1987)

다. 반도체 및 전자 산업의 경우 리드 프레임 표면세정, PBGA substrate 세정, Thin film 세정, Wafer 표면 세정, Photoresist residue 세정, 휴대폰 및 케이스 도장 전처리, Flux 세정 등에 응용되고 있다.

이상과 같이 자외선의 세정 요구는 산업 전반에 걸쳐 폭넓게 확산되고 있다. 생활 용품 부문에서 첨단 산업 부문에 이르기까지 표면 처리 및 세정 기술을 적용함에 있어 기타 세정 방법과 결합되어 보다 효과적인 기술로 정착되어 산업 발달에 효과적으로 이용될

수 있다고 판단된다.

◇ 저 자 소개 ◇



**문세호(文世浩)**  
1966년생. 현 세왕씨이텍(주) 대표이사. 한국오존협회 부회장. 반도체 관련 세정 기술 개발 다수.