

## 최근의 대체세정제와 대체세정기술

배재흠

수원대학교 화공생명공학과

### Recent Alternative Cleaning Agents and Alternative Cleaning Technology

Jae-Heum Bae

Department of Chemical and Biochemical Engineering, University of Suwon, 445-743, Korea

1,1,1-trichloroethane과 CFC-113은 세정성이 좋고 여러 가지 물성이 뛰어나고 독성이 적어 사용하기 편리하여 지금까지 산업현장에서 많이 사용하여 왔지만 몬트리올 협정에 따라 이러한 오존파괴물질들을 대체세정제로 교체하여야 한다. 본고에서는 현재 개발 중이거나 개발되어 현장에 적용되고 있는 대체세정제기술 현황과 세정제를 사용하지 않고 초정밀 세정이 가능하여 차세대세정기술로 활발히 연구개발 되고 있고 일부 실용화되어 현장에 적용되고 있는 대체세정기술을 조사 분석하여 보았다.

#### 1. 서 론

산업세정은 제품의 품질 및 가치 향상, 제품의 성능 및 기능 향상, 순도가 높고 위생적인 제품의 제조 목적으로 거의 모든 산업분야에서 세정공정이 적용되고 있다. 특히, 표 1에서 보는 바와 같이 세정공정은 우리나라 주요 기간산업인 전기, 전자, 기계 산업에서 주요 공정으로 이용되고 있지만 아직까지 많은 기업에서 세정제의 사용으로 인하여 오존층 파괴, VOC 발생, 폐수 및 폐기물 발생으로 환경문제를 야기 시키거나 작업환경을 악화시키는 주요 원인이 되고 있다. 최근까지 국내외 대부분의 산업현장에서는 세정제로서 CFC-113, 1,1,1-TCE (1,1,1-Trichloroethane), MC (Methyl Chloride), TCE 등과 같이 세정성과 재질 호환성이 우수한 염소계세정제를 사용하여 왔다. 그러나 CFC-113과 1,1,1-TCE는 오존파괴물질로 선진국에서는 이미 사용이 전면 규제되고 있다. 우리나라에서도 CFC-113은 작년(2004년) 말에 1995년~1997년 3년 평균 사용량의 50%를 삭감하였고 2009년에는 전폐하여야 하며, 그리고 1,1,1-TCE는 금년(2005년)도부터 2003년 사용량의 30%를 삭감하고 2014년에는 전폐하도록 규제 일정이 잡혀져 있다. 그리고 MC, TCE는 발암성물질로 규정되어 일부사업장에서 제한적으로 사용되고 있다.

현재 오존파괴물질인 CFC-113, 1,1,1-TCE의 대체세정제로서 수계/준수계세정제, 알콜, 에스테르, 탄화수소, 염소화합물, HFC, HFE, 실리콘 등의 세정제가 국내외적으로 연구 개발되어 보급 사용되고 있다. 그러나 이들 세정제는 장점도 있지만 단점도 가지고 있어 적용분야 및

활용성에 제한성이 있다. CFC-113, 1,1,1-TCE와 같이 세정성이 우수하고 물성이 좋은 세정제가 아직까지 개발되지 않고 있어 국제적인 오존과피물질 규제에 대비하고 국내 산업체의 경쟁력을 증진시키기 위해서는 국내에서도 대체세정제와 대체세정기술에 대한 연구개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

본고에서는 CFC-113, 1,1,1-TCE의 대체세정제로서 국내외에서 활용되고 있거나 개발 중에 있는 대체세정제 기술의 현황과 물 및 세정제를 사용하는 습식세정, 그리고 CO<sub>2</sub>, 레이저, Plasma, UV 등을 활용하는 차세대 세정기술인 건식세정과 같은 대체세정기술 현황을 조사 분석하였다.

Table 1. 산업세정기술의 적용 산업 분야

적용 산업 분야 (사용 비율 %*)	대표적인 피세정물	세정 목적
1) 기계/금속 산업 (27%)	- 금속 가공 부품 - 분말 야금 부품 - 수지 가공 부품 (bumper 등)	- 탈지 - Puff 연마 제거 - 이형제, 도장전처리
2) 전기/전자 산업 (20%)	- Print 기관 - 반도체 재료 및 부품 - 전동기 부품 - 금속 가공 부품	- Flux 제거 - 탈지, 미립자 제거 - 탈지 도장 전처리 - 탈지
3) 자동차 산업 (13%)	- 시계, 사진기 부품 - 분말 야금 부품	- 탈지, 미립자 제거 - 탈지, 미립자 제거
4) 정밀기기 산업 (10%)	- 광학렌즈 부품 - 광필터 부품 - LCD 유리 부품	- 탈지, 미립자 제거 - 탈지, 미립자 제거 - 탈지, 미립자 제거
5) 유리 및 광학 산업 (7%)	- 금속 가공 부품 - 수지 가공 부품	- 탈지, 미립자 제거 - 탈지
6) 표면처리 및 도금 산업 (3%)	- 금속 가공 부품 - 열처리, 분말 야금 부품	- 탈지, puff 연마 제거 - 이형제 제거
7) 기타 산업 (20%) 프라스틱, 고무, 화학, 인쇄, 화장품 등	- 사출, 프레스 부품 - 제판, 음쇠 - 플랜트	- 탈지, 이형제 제거 - 페인트, 잉크제거 - 각종 오일류 및 침적물 제거

## 2. 대체세정제

대체세정제는 표 2와 같이 세정제 구성 성분에 따라 수계, 준수계, 알콜계, 에텔계, 에스텔계, 탄화수소계, 염소계, HCFC계, HFC계, HFGE, 실리콘계 등으로 나눌 수 있다.

### 2.1. 수계 세정제

수계세정제는 세정제의 물성, 현장 적용성 등에 따라 여러 가지로 분류할 수 있다. 가장 보편적으로 분류하는 방법으로는 세정제의 pH에 따라 산성, 중성, 알칼리성 세정제로 구분한다.

알칼리 세정제는 수계 세정제중 가장 보편적인 세정제로 세정용액의 pH는 9~14로서 이를 다시 강알칼리(12~14), 알칼리(9~12), 약알칼리(8~9)로 구분하며 주로 절삭유, 냉각제, 그리스, 왁스, 윤활유 그리고 인발(drawing), 연마 및 버핑(buffing) 화합물의 세정에 사용되고 있다. 알칼리 세정제는 NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub> 등의 알칼리 첨가제에 의하여 알칼리성을 띠고 물리적 화학적 작용에 의하여 오염물을 세척한다. 화학적 세정이란 지방산 오염물과의 중화작용에 의한 비누화 반응(saponification)에 의하여 오염물이 수용성 비누로 변화되어 표면이 세정된다. 이에 반하여 물리적 세정은 세정제에 첨가된 계면활성제에 의하여 젖음(wetting)과 유화(emulsification) 작용에 의하여 세정이 이루어진다.

세정액의 pH가 6~8이 되는 중성 세정제는 주로 계면활성제와 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 같은 중성의 보조제(builders) 및 첨가제(additives)로 이루어지며 용액의 pH는 7~8이다. 중성 세정제는 다시 사용하는 계면활성제의 종류에 따라 음이온(anionic), 양이온(cationic), 비이온(nonionic), 양쪽성(amphoteric) 세정제로 구분되며 일반적으로 음이온계와 비이온계가 많이 사용되고 있다. 중성 세정제는 알칼리성 세정제와 비교하여 행굼성(rinsability)이 우수하고 거품조절이 용이하며, 사람 피부에 부드럽고, 세정액 수명이 비교적 긴 장점이 있다. 또한 EO:PO비 값이 작은 계면활성제를 사용하는 경우 유화성이 낮아 세정된 오염물을 쉽게 세정조에서 제거할 수 있다. 중성 수계세정제는 유기오염물(oil, grease)을 제거하는데 효과적이지만 보다 세정력을 높이기 위하여 기계적 교반이 중요하다.

산성 수계세정제(pH 1~6)는 전처리 또는 도금, 도장에 앞서서 피세정물 표면에 단단히 고착된 무기염이나 부식산화물, 안료 화합물 등을 제거하는데 매우 효과적이며 염산, 황산, 질산과 같은 무기산과 구연산(citric acid), 카르복실산 등의 유기산을 함유하고 있다. 일반적으로 무기산은 유기산보다 탱크 벽, 펌프 부품 등 시스템 접촉 부분에 침식성이 강하여 조심스럽게 취급해야 한다. 산성 세정제는 탈지에는 적합하지 않으며 오염물 부하가 증가하고 중성화가 되면 세정액을 교체하여야 한다.

수계세정제는 또한 세정시에 유기 오염물과 접촉시의 물리적 현상에 따라 유화성을 갖는 세정제(emulsifying cleaners)와 유기오염물에 비유화성을 가지는 세정제(oil-splitting cleaners)로 구분할 수 있다. 비유화성을 갖는 세정제는 유화성을 갖는 세정제보다 skimmer, coalescer 등의 단순 유수분리 시스템으로 부상하는 오염물을 쉽게 제거할 수 있으므로 세정액 수명이 길고 폐기물 발생을 줄일 수 있어 근래에 산업 현장에서 선호하는 세정제이다. 일반적으로 유화 세정제는 30%(w/w)의 오염물까지 용해시킬 수 있는 반면에 유기오염물과 분리성이 우수한 비유화성 세정제는 1~2%(w/w)의 오염물만 용해가 가능하다.

## 2.2.. 준수계세정제

수계세정제의 세정제는 글리콜에테르나 N-메틸피롤리돈(NMP) 등의 유기용제에 계면활성제 등을 첨가하여 에멀전 형태를 만들어서 수계세정제의 세정력을 보강한 까닭에 유기 오염물과 이온성 오염물의 제거에 효율적이다. 준수계세정제는 인체에 대한 안정성은 높으나 물의 관리가 부적절한 일부 제품의 경우 인화성이 있어 위험물 취급요령에 따라야 하며, 보통 물을 첨가하여 인화성이 없거나 낮은 제품으로 시판되나 행굼에는 물을 사용하므로 배수 처리가 필수적이다.

단점으로는 부식성, 건조 문제 등이 지적되며 특히 복합적인 폐액이 발생하므로 폐수처리가 어려운 것으로 알려져 있다. 오염된 세정액은 회수하여 재사용 할 수 있으나 회수하는 방법에 따라 계면활성제와 같은 첨가제들의 조성이 달라져 세정 효율이 저하되는 경우도 있다.

준수계세정제의 대표적인 것으로는 미국 페트로팜사가 개발한 EC-7으로 주성분은 귤껍질 등의 천연 화합물에 있는 d-Limonene에 특수 계면활성제를 첨가하여 제조한 것으로 알려져 있다. EC-7의 장점은 염소를 함유하고 있지 않아 오존층을 파괴하지 않고 용액은 중성이어서 금속에 대한 부식이 없고 생분해성이 좋아 배수처리는 활성오니법으로 처리하면 충분하므로 여러 복잡한 처리가 필요치 않다. 또한 로진 플릭스에 대한 용해력이 뛰어나고 액을 장기간 사용할 수 있다는 장점을 가진다. EC-7의 단점은 오렌지향이 현장의 작업자에게 영향을 주므로 피세정물의 입·출구에 에어다트를 설치하거나 활성탄에 의해 냄새를 제거해야 할 필요가 있다. 또한 인화점이 47°C로, 소방법에서 규정하는 위험물에 해당하여 등유나 경유와 같이 제 2 석유류에 속해 관리에 주의해야 한다.

국내 산업체 중의 (주)네오팜에서도 Terpene (터펜)계 준수계세정제를 개발하여 성공적으로 전자부품산업의 SMT 공정에 적용한 실적이 있다. 터펜은 오렌지나 소나무에서 추출된 d-Limonene이 주성분으로 세정능력이 우수하여 플릭스, 오일류, 그리스, 왁스, 먼지, 지문, 연마제, 잉크 등의 제거에 이용할 수 있다. 또한 터펜은 세정능력이 탁월하면서도 환경 및 인체에 무해하고 미생물에 의해 분해되는 특성을 갖는다.

### 2.3. 알코올계 세정제

알코올계 세정제는 저급 알코올, 고급 알코올 및 불소계 알코올 등으로 구분되며 일반적 특성으로 가연성으로 인화, 화재, 폭발의 위험성이 있어 소방법 규제를 받으며 flux 제거 성능이 우수하고 인화성을 제거하기 위하여 물과 혼합하여 사용하고, 세정성을 증가시키기 위하여 계면활성제를 첨가하기도 하나 큰 효과가 없는 것으로 알려져 있다. 물에 의한 행금 공정이 필요한 경우도 있는데 이 경우는 배수처리가 필요하다.

알코올 중에서 Isopropyl Alcohol (IPA)은 세정 외에 탈수, 건조 목적으로도 많이 사용되고, 이온성 오염에 대해 우수한 세정력을 나타내지만 가연성이므로 방폭 대책이 필요하다.

고급 알코올계 세정제는 실리콘 오일을 주성분으로 하고 특수한 고급 알코올인 카비톨을 첨가한 것으로 flux 세정을 목적으로 일본에서 개발되어 사용되고 있으며, 낮은 표면장력(30 dyne/cm), 낮은 증발잠열 등 CFC-113과 유사한 특성을 지니고 있으나 인화성이 있다. KB 값(Kauri Butanol value)이 적은 고급 알코올계 세정제는 마무리 세정, 먼지 제거, 물 제거 등에 사용된다. 행금시 불이 이용되므로 배수처리 및 건조의 문제가 있다.

불소계 알코올은 염소를 함유하지 않으므로 ODP (Ozone Depletion Potential, 오존파괴지수)가 0 이고, 불연성이며, 인화 및 폭발위험이 없으며, 표면장력인 낮아 침투성을 필요로 하는 정밀세정에 우수하다. 불소계 세정제는 불소알코올을 단독으로 사용하거나 수용성 flux 세정에 적합하게 불소알코올을 기본으로 하여 물과 공비화합물, 그리고 로진계 flux 제거용으로 계면활성제를 첨가한 것 등이 있다. 불소계 알코올의 단점은 CFC-113보다 플라스틱에 대한 영향이 크며, 가격이 높고, 강한 산성도로 인한 금속부식과 같은 문제점이 있다. 최근에 한국과학기술연구원에서 TFEA (trifluoroethanol)를 합성한바 있는데 현재 세정성

을 검증 중에 있다.

#### 2.4. 에틸/에스텔 세정제

에틸계 세정제로는 ethylene glycol butyl ether (EB)와 diethylene glycol butyl ether (DB)가 있고 이들 glycol ether보다 독성이 낮은 propylene glycol계 세정제가 최근에 개발되었다. 에틸은 유화력이 좋아 여러 종류의 세정제 배합에 기초 원료로 사용되고 있으며 사용 후 폐세정제의 분리 회수를 가능하게 하며 유리 판위의 플럭스, 오일, 또는 잉크를 제거하거나 반도체로부터 PR제거에 사용될 수 있으며 페인트 stripper로서 methylene chloride 대체물질로 사용되고 있다. glycol ether는 저독성으로 인식되어왔지만 최근에 적혈구 세포의 파괴와 같이 인체 독성에 의심이 드는 물질로 판명되었고 냄새문제를 야기시키고, 유해성물질(HAPs)로 지정되어있다. 또한, VOC 물질이고 인화성 물질이라는 단점을 가지고 있다.

에스텔계 세정제는 dimethyl adipate 17%, dimethyl glutarate 66%, 그리고 dimethyl succinate 17%로 이루어진 dibasic ester (DBE)가 있고 환경친화적인 물질로 설탕을 발효해서 제조되는 일명 lactate ester라 부르는 ethyl lactate, 그리고 최근에 콩기름을 원료로 하여 제조한 methyl soyate 등이 있다.

DBE는 휘발도가 낮아 methylene chloride (MC)보다 공기 중으로 배출되는 오염물이 적고 사용량도 작은 장점이 있지만 VOC 규제 물질이고 가격이 높다. DBE는 단독으로나 NMP (N-methyl 2-pyrrolidone)와 혼합하여 페인트 stripping에 사용되지만 MC보다 작업 시간이 2~3배 길다.

ethyl lactate는 높은 증기압을 가진 무색의 액체로 실리콘 오일, 지게가공유, 잉크, 지문, 플럭스, 염(salts) 등을 세정할 수 있고 반도체 산업에서 glycol ether 대체 물질로 현재 시험 중에 있다. 보통 헹굼 공정이 불필요하며 필요하다면 물과 알코올로 헹굼이 가능하지만 인화성이 있고 가격이 좀 비싼 단점이 있다.

#### 2.5. 탄화수소계 세정제

수계와 더불어 1,1,1-TCE 대체품으로 가장 많이 검토가 이루어지고 있는 탄화수소계 세정제는 석유를 직접 증류한 다음 방향족 성분과 같은 독성분을 제거하고 황분 함량을 낮추는 등 일련의 정제 과정을 거쳐 제조된다. 제품에 따라서는 세정 성능을 높이기 위해 습윤제(wetting agent)와 같은 첨가제를 넣어 사용하기도 한다.

세정제 중 방향족 성분이 많을수록 용해력과 세정성은 커지나 냄새와 독성이 강하고 이중 결합 성분인 올레핀은 용제의 산화, 냄새, 변색의 원인이 된다. 탄화수소계의 기본 물성은 증류하는 기유(base oil)의 종류와 등급, 증류 온도 범위 및 첨가제에 따라 크게 달라진다. 탄화수소계 세정제는 일반적으로 표면장력이 낮아 미세 틈새 부분의 침투성이 좋고, 환경 및 인체에 대한 안전성 문제가 비교적 적으며, SP (용해도 매개변수(Solution Parameter))값이 서로 비슷한 유기 오염물(오일, 그리스, 왁스 등)에 대한 용해력과 세정력이 우수하다는 장점이 있다. 그러나 인화성과 건조에 관한 문제와 아울러 CFC-113, 1,1,1-TCE 용의 기존의 세정 장치를 사용할 수 없으며 인화성과 건조성의 문제 해결을 위한 장비의 보완이 있어야

하는 단점이 지적되고 있다.

국내에서 개발된 대표적인 제품으로는 이수화학(주)의 Ultrasol 시리즈를 비롯해 SK(주)의 Excevent 시리즈가 있다. 이수화학(주)의 Ultrasol은 Naphthene을 주성분으로 한 세정제로서 생분해성이 좋고, 저독성이며, 우수한 분산력과 침투력, 세정력을 가지며, 증류재생에 의한 장점이 있어서 시계케이스, 카메라, 베어링, 열처리 부품 등의 금속가공유, 왁스, 그리스 및 먼지 등의 오염물과 PCB 기판의 플럭스 세정에 효과적인 것으로 알려져 있다. SK(주)의 Excevent는 세정력, 분산력, 침투력이 우수하고 피세정체에 손상이 없고, 일시적 방청효과를 가지며 재생이 가능한 점 등의 특징이 있어 자동차, 모터부품세척, 전기·전자 부품 세척, 금속가공부품세척, 정밀기기부품(시계, 렌즈, 베어링 등)의 세척, PCB 세척 등에 유리한 것으로 소개되었다.

이외에도 미국 엑슨사에서 개발한 액트렐 시리즈가 (주)동진화학에 의하여 국내에 보급되어 있으며 대기업 중 세정공정 라인 중 일부를 액트렐 세정제로 대체한 사례도 있다. 액트렐은 유성 오염물에 대한 우수한 세정력, 금속 등에 대한 부식성이 없는 것, 침투성과 분산성이 우수한 점, 인체에 독성이 없는 점 등의 장점이 있는 것으로 소개되었다. 액트렐의 세정공정은 세정액의 종류에 따라 상온 세척과 고온 세척이 가능하며, 상온 세척에서는 상온에서 세정액을 사용하여 침지, 스프레이 또는 침지스프레이 등으로 세정한 후 자연 건조 또는 에어블로우로 건조시킨다. 고온 세척에서는 비점이 높은 액트렐 세정액을 사용하여 열을 가해서 세정하며 세정이 끝난 부품을 직접 또는 방청제가 들어있는 액트렐 세정액과 접촉시키고 나서 자연 건조 또는 에어블로우에 유막을 감소시키는 방법이나 증발속도가 빠른 액트렐 세정액으로 유막을 치환시킨 다음 자연건조나 에어블로우로 건조시키는 방법 등을 사용할 수 있다.

## 2.6. 염소계 세정제

염소계 세정제인 1,1,1-TCE는 세정력과 건조성이 우수하여 그동안 세정 전 분야에 걸쳐 널리 사용되어 왔으나, 오존층 파괴문제로 생산 및 사용이 금지되고 있어 많은 업체가 세정력과 건조성이 1,1,1-TCE와 유사하거나 우수한 염소계 세정제인 TCE (Trichlorethylene)나 MC (Methylene chloride) 계통의 세정제 사용을 고려하고 있다. 특히 이들 세정제는 기존의 세정장치를 그대로 활용할 수 있다는 장점으로 자금력이 부족한 중소기업들이 선호하고 있다. 그러나 이들 세정제는 강한 독성과 발암성 등의 인체에 대한 안전성 문제가 있고, 특히 MC계 세정제는 오존층 파괴지수가 0.007로, 2030년 까지만 한시적으로 사용할 수 있다.

## 2.7. HCFC계 세정제

CFC-113을 대체하기 위하여 오존층 파괴지수가 적은 제2세대 프레온인 HCFC의 개발되어 사용되고 있다. 현재 개발되어 사용가능한 세정제는 HCFC 141b, 225 등이 있으며, 일반적인 특성은 다음과 같다.

- ① 세정력은 CFC-113과 동일
- ② 오존파괴지수가 낮지만 향후 사용이 규제됨

③ 불연성이며, 기존의 CFC-113 세정장치의 사용이 가능

④ 증류 재생이 가능

HCFC계 세정제 중 HCFC-225는 ASHAI Glass에서 개발한 제품으로 선진국의 경우 2020년까지 사용이 허용될 것으로 전망되며, 프린트 기관의 flux 제거 및 금속 탈지 세정 등에 사용되며 세원종합상사(주), 신화케미컬에서 수입 판매하고 있다. HCFC-141b는 PAFT (Program for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing) 결과에 의해 인체에 대한 독성은 없는 것으로 나타났지만, 적지만 오존층 파괴지수가 있어 2030년 이후에는 우레탄 발포용 이외의 용도로서는 사용이 규제될 전망이다, 전폐 일정도 앞당겨질 가능성이 매우 높다. 한편 비점이 낮아(32℃) CFC-113, 1,1,1-TCE 용의 기존의 세정장치를 사용할 수 있다는 장점이 있는 반면 가연성 물질이라는 단점도 있다. 국내에서는 울산화학(주)이 제조 판매하고 있다.

## 2.8. HFC/HFE계 세정제

hydrofluorocarbon (HFC)계 세정제는 독성이 적고 대기 중에서 빨리 분해하기 때문에 오존파괴 성질을 가지고 있지 않아 CFC-113 대체용 증기탈지제(vapor degreaser)로 사용될 수 있는 몇 안되는 세정제이다. 이 세정제는 보통 정밀세정용 증기탈지공정에서 CFC 대체로 사용되고 있지만 고가이고, 온실가스로 평가되며 일부 오염물에 대해서는 타용제와 공비혼합물을 만들어야하는 단점이 있다. HFC계 세정제의 공급업체로는 일본 ZENON(주)에서 1998년 미국 EPA 성층권 오존 보호상을 받은 ZEORORA-H, 일본 Solvay(주)의 Silkane 365mfc (HFC-365mfc), 미국 듀폰사의 Vertrel 등이 시판되고 있다.

hydrofluoroether (HFE)는 오존파괴물질인 CFC 대체용으로 개발되었으며 오존파괴지수가 0 이지만 CFC와 성질이 유사하고 CFC보다 표면장력이 낮아 복잡한 구조의 부품 세정에 좋고 공용화합물로나 타 용매와 같이 사용 시에 안전하게 거의 모든 물질을 세정할 수 있는 좋은 성질을 갖고 있다. 그리고 HFE는 저독성이고 VOC가 아니며 휘발성이 크고 비인화성이다. 또한 CFC나 많은 다른 불소화합물 보다는 지구온난화지수가 낮다. 그러나 HFE 단독으로는 세정력이 떨어져 많이 오염이 된 경우는 타 용매와 혼합사용하거나 공용화합물로 만들어 세정하여야 하며 세정제 가격이 고가인 단점이 있다. HFE 세정공급업체로는 ASHAI Glass Co.의 AE-3000, 3M의 HFE-7600, HFE-7200 등이 있다.

## 2.9. 실리콘 세정제

실리콘세정제는 최소 순도가 99.9%인 휘발성 메틸실록산(volatile methyl siloxane, VMS)이 주성분이며 이전에 CFC가 사용되었던 많은 영역에서 사용될 수 있다. VMS는 비교적 저독성이고 광유나 실리콘 오일과 같은 비극성 오염물 세정에 우수한 성질을 가지고 있다. 표면장력과 점도가 적어 습윤력이 빠르고 휘발성이 커서 건조속도가 빠르다. 그리고 대부분의 물질과 양립성(compatible)있고 미국 연방 VOC 규제를 받지 않는 물질이다. 그러나 인화성이 있고 가격이 고가인 단점이 있다. 실리콘 세정제 공급업체로는 GE Toshiba Silicon이 있으며 PC기관 플렉스 세정용 및 건조용으로 FRK-2, FRK-3, 그리고 보다 세정력이 요구되는 때는 VMS에 glycol ether와 혼합하여 사용한다.

Table 2. 대체세정제의 종류와 특성

구분	주요 구성 성분	특성	유의점	
수계	·알칼리계 ·중성(계면활성제) ·산계	·친수성·극성 오염물 세정가능 ·화제나 인체위험성 작거나 전혀 없음 ·세정후 세정 표면이 친수성을 띠 ·세정제 가격이 저렴	·실리콘유, 비수용성 플러스의 세정이 곤란하며 금속의 방청대책 필요 ·세정시간(건조시간)이 김 ·공급수의 정제공정, 세정액의 유수 분리시설 및 폐수처리 시설 필요	
준수계	·N-메틸피로리돈(NMP) + 첨가제 + 물 ·글리콜에테르 + 계면활성제 + 물 ·탄화수소 + 계면활성제 + 물	·플럭스, 왁스, 그리스 등에 세정 적합 ·미세한 구멍에 침투 세정 가능 ·독성이 적고 오존층 파괴 없음 ·높은 오염부하에서 세정력 유지 가능 ·특정오염물에 적합한 세정제배합가능	·금속의 방청대책 필요 ·일부 세정제의 인화성 ·폐수처리 대책 필요 ·세정제 가격이 비교적 고가 ·수분관리 필요	
비수계	알콜계	·메틸, 에틸, 이소프로필 알콜 (IPA) ·알콜 + 다른 용매류	·광범위한 오염물에 세정력 양호 ·금속에 대한 재질호환성 우수 ·건조성 양호 ·독성이 비교적 작음	·인화성이 있어 방화 및 방폭 설비가 필요하고 소방법에 의한 규제 ·증발손실이 커서 밀폐/회수 시설 필요 ·분무세정이 원칙적 불가
	에틸계	·에틸렌 글리콜 부틸 에테르(EB) ·디에틸렌 글리콜 부틸 에테르(DB) ·프로필렌 글리콜계	·세정제 배합시 유화가 잘됨 ·사용 후 세정액 회수 가능 ·혼합세정제 원료로 많이 이용	·VOC물질이고 인화성 있음 ·독성 있음(프로필렌계는 저독성으로 EPA의 SNAP 목록에 포함) ·에틸렌계는 HAPs이고 악취문제
	에스테르계	·Dibasic ester(DBE) ·Ethyl lactate	·DBE: good paint stripper ·물로 행금 가능	·비교적 고가 ·VOC 물질이고 인화성 있음
	탄화수소계	·광유 ·이소 파라핀 ·노르말 파라핀 ·납사, 케로센, 핵산 터펜	·금속부품의 탈지세정에 많이 이용 ·그리스, 타르, 왁스 등 기계유에 우수한 세정력 ·중류손실 적고 증류에 의한 재생가능 ·가격이 저렴하고 오존층 파괴 없음	·인화성이 있어 방화, 방폭 설비가 필요하고 소방법에 의한 규제 ·염색 및 작업자 안전 대책 필요 ·건조시간이 비교적 김 ·VOC물질이고 증기세정 불가능
	염소계	·염화메틸 ·트리클로로에틸렌	·세정력 우수하고 증기탈지 가능 ·불연성이고 오존 파괴지수 극히 적음	·많은 경우 유해물질로 지정됨 ·환경법, 산업안전법 등의 규제
	HCFC계	·HCFC-141b ·HCFC-225	·세정력 우수하고 건조 용이 ·재질호환성 양호 ·에너지소모 적음	·오존파괴물질로 과도기적 사용 ·가격이 고가
	HFC계	·ZEORA-H ·Vertrel ·Solkane 365mfc	·증기탈지 가능 ·저독성, 오존파괴 없음 ·VOC가 아님	·일부 오염물에 대해서는 HFC공비 혼합물 필요 ·고가이며 온실가스에 해당
	HFE계	·HFE-7200 ·HFE-7800	·표면장력이 적어 복잡한 부품세정 가능 ·비교적 저독성, 오존파괴 없음 ·비인화성이고 VOC가 아님	·단독으로는 세정력이 적고 타 용매와 혼합 또는 공비 물질로 세정력 증대 ·가격이 고가
실리콘계	·Volatile methyl Siloxane (VMS)	·표면장력과 점도가 적어 습윤력이 좋고 증발이 빨라 광물유 및 실리콘 오일 같은 비극성 오염물 세정에 탁월 ·저독성, 오존파괴 없으며 VOC 규제 면제품	·가격이 고가이고 건조가 늦음 ·인화성이 있어 방폭 설비 필요 ·세정, 행금용과 건조용의 2종류 사용	



### 3. 대체세정기술

대체세정기술은 앞서 언급한 대체세정제를 사용하여 표 3과 같은 세정장치를 활용하는 습식세정기술이 아직까지 보편적으로 사용하고 있지만 최근에는 전해이온수 세정기술, WaterJet 세정기술 그리고 이들 습식세정보다 고가의 초기 투자비가 요구되지만 정밀 세정이 가능하고 폐기물이 거의 발생하지 않으므로 보다 환경친화적인 기술로 현재 일부 기술이 상용화되어 도입 활용하고 있고 앞으로 개발 여지가 많은 CO<sub>2</sub> 세정, 플라즈마 세정, 레이저 세정, UV 세정 등 건식세정기술을 들 수 있다.

#### 3.1. 습식세정기술

##### 3.1.1. 세정제 세정기술

세정제에 의한 세정기술은 대부분의 산업현장에서 지금까지 가장 많이 사용되어 왔고 여전히 보편적으로 사용되는 세정기술이다. 일반적으로 수계세정제는 비수계세정제보다도 세정력이 떨어진다. 그리고 비수계세정제 중에서도 알코올계, 에텔계, 탄화수소계 세정제 등의 대체세정제는 1,1,1-TCE, CFC-113에 비교하여 일반적으로 세정력이 약하다. 이렇게 세정력이 비교적 적은 세정제의 세정력을 향상시키기 위해서는 Table 3에서 보는 바와 같이 여러 가지의 물리적 기계적 세정 장치를 도입한다. 세정 장치를 구분하면 세정제를 일정압력(고압, 저압)으로 분사시켜 세정하는 분무세정, 초음파에 의하여 생성 되는 압력파에 의한 수천 기압의 충격파가 피세정물 표면에 부딪쳐 기포를 발생하고 캐비테이션에 의한 강한 교반으로 이물질 제거하는 초음파세정, 세정액과 오염물과의 접촉면을 증가시키고 오염물의 탈착을 촉진시키기 위하여 세정액에 air bubbling 시키거나 세정액의 교반작업, 반대로 세정액 속에서 피세정물의 진동 또는 회전운동에 의한 세정 방법을 들 수 있다. 이에 비하여 할로겐 세정제와 같이 불연성이며 비점이 낮은 세정제는 유기용제를 가열하여 증발된 증기가 차가운 부품 표면에 응축되어 오염물을 용해시켜 제거시키는 증기 탈지 공정을 도입하여 사용한다.

##### 3.1.2. 고압수 세정기술

고압수 세정기술은 고압펌프에 의하여 회전하는 노즐에 물을 공급하고 노즐에서 분사된 고압(100~800 기압)의 분무수로 오염물이나 페인트를 제거시키는 기술이다. 사용된 고압수의 물은 오염물을 여과 제거하고 다시 사용할 수 있다. 이 기술은 오염물 제거속도가 빠르고 플라스틱이나 금속 같은 재질에 손상을 입히지 않고 세정 매체가 되는 물의 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 다만 고압수를 만들기 위한 장치비가 고가이고 물을 사용하기 때문에 녹이 발생하지 않도록 세정 후 신속히 건조시켜야 한다. 국내에서는 JET TECH(주)가 800 기압의 고압수 세정기술을 보유하고 있다. 그리고 삼대시스템이 100~300기압의 고압수 세정장치기술을 보유하고 있는데 이를 2003년 일본 국제 산업세정전에 출품하여 일본에서 호평을 받고 현재 활발히 수출 중에 있다.

Table 3. 습식세정기술의 세정장치의 분류 및 특성

분류	세정 메카니즘	적용 세정제	특성 및 유의점
저압 분무 세정 (Low-pressure Spray Cleaning)	저압(98KPa)의 압력으로 세정액을 노즐 분사하여 부품의 이물질 제거	저발포성, 인화점이 높은 세정제	1) 세정액 분사가 전체 피세정물에 닿을 수 있도록 분사노즐의 종류, 수, 위치, 압력의 검토가 필요 2) 분사압력에 의한 부품의 움직임 및 위치 간격에 주의
고압 분무 세정 (High-pressure Spray Cleaning)	고압(수백~수천KPa)의 압력으로 노즐 분사하여 부품의 이물질 제거	저발포성, 인화점이 높은 세정제	1) 깊은 구멍이나 국부적 부분의 이물질 제거에 적합 2) 분무세정의 효과는 크지만 노즐의 위치 방향에 주의 3) 고압펌프의 유지보수에 주의 필요
침지 세정 (Immersion Cleaning)	용기에 담겨있는 세정액에 부품을 침지시켜 세정제의 세정력으로 이물질 제거	세정력이 우수한 세정제	1) 오염물을 쉽게 탈착 제거 할 수 있는 효과적인 세정제 선정이 중요 2) 초정밀 세정에 부적합 3) 세정력 향상을 위한 교반이나 침지조 내에 공기기포(air bubbling) 형성 필요
초음파 세정 (Ultrasonic Cleaning)	초음파에 의하여 생성되는 압력파에 의한 수천 기압의 충격파가 피세정물 표면에 부딪쳐 기포를 발생하고 캐비테이션에 의한 강한 교반으로 이물질 제거	범용 세정제	1) 초음파의 주파수, 에너지밀도는 피세정물의 크기 및 형상에 의하여 선정 필요 2) 초음파의 강약효과로 피세정물을 요동시킬 수 있으므로 균일한 세정을 할 수 있음 3) 초음파에 의해 세정액의 온도가 상승되므로 인화성이 있는 세정제는 냉각이 필요 4) 대형물 세정곤란
진동 세정 또는 회전 세정 (Vibrational or Rotational Cleaning)	침지세정에서 피세정물을 상하좌우로 움직이거나 회전시킴으로서 세정효과를 상승시킴	세정력이 우수한 세정제	1) 피세정물을 바스켓에 넣어 진동·회전시켜 피세정물간의 부착을 방지하고 세정액의 교체를 용이하게 함 2) 피세정물의 진동·회전과 함께 다른 세정방식과 병용시켜 보다 효과적인 세정 가능
증기탈지 세정 (Vapor Degreasing)	유기용제를 가열, 증발된 증기가 차가운 부품 표면에 응축되어 유지를 용해시켜 제거시키고, 이때 유지와 함께 부착되어 있는 먼지 등도 제거시킴	불연성이며 비점이 낮은 비수용성 세정제	1) 용제를 비점이상으로 가열시켜 이때 발생하는 증기를 이용하여 부품을 세정하기 때문에 초정밀세정이 용이함 2) 용제가 쉽게 증발되어 건조한 표면을 얻을 수 있어 건조공정을 생략할 수 있음 3) VOC 저감 시설 필요

### 3.1.3 전해이온수 세정기술

최근에는 기존의 화학세정(chemical cleaning)을 대신하여 보다 환경친화적인 전해이온수(electrolytically ionized water)가 개발되어 반도체 및 LCD 제조 라인에 일부 도입되어 사용되고 있다. 전해이온수는 초순수에 극미량의 전해질을 넣고 전기분해하여 생성된 물로서  $\text{OH}^-$ 와  $\text{H}^+$ 의 함유량에 따라서 pH가 10~12인 알칼리 이온수(음극수), pH가 2~4인 산성 이온수(양극수)로 구분되고 처리 목적에 따라 여러 형태의 오염물 제거와 살균에 이용되고 있다. Fig. 1은 전해질의 종류에 따른 이온수 생성형태를 보여주는 그림으로서 세정 목적에 따라 전해질을 바꾸어 이온수를 생성하는데, 보통  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NaCl}$  등의 전해질이 많이 이용되고 있다. 전해이온수 세정을 제외한 수계 세정기술은 성숙된 기술이라고 할 수 있지만 서브마이크론(0.3micron)이하의 입자를 제거하는데 한계성이 있으며 폐수처리 및 재활용 시스템의 도입을 피할 수 없다.

전해이온수 세정기술을 확보하고 있는 국내산업체로는 (주)마이크로뱅크로, 하드디스크, PCB, 광학렌즈 세정용 장치를 개발하였고, 현장적응여부를 수행한 바 있다. 전해이온수 세정기술은 일본에서 연구가 활발하고 현장에 적용하고 있으며, Reiken, Nissin seiki, Nitto Koshi사가 대표적인 회사들이다.

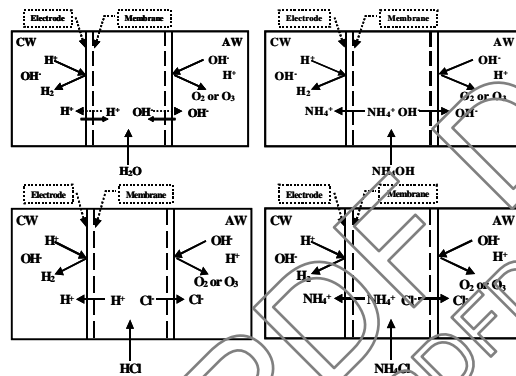


Fig. 1. Principle of Generation of Electrolytically Ionized Water

## 3.2. 습식세정기술

### 3.2.1. $\text{CO}_2$ 세정기술

$\text{CO}_2$  세정은 다사  $\text{CO}_2$  형태에 따라 액상, 고체상, 초임계 세정으로 구분할 수 있다. 액상  $\text{CO}_2$  세정은 고압 하에서 액체로 된  $\text{CO}_2$  용액에 피세정물을 침적시켜 오염물을 세척하는 방법으로 지문, 탄화수소류, 유분, 가공유체 등의 유기성 오염물 제거에는 효과적이지만 무기성 오염물 제거에는 비효율적이다. 그리고 사용 후의 오염된 액상  $\text{CO}_2$ 는 다른 탱크로 보내어 압력을 낮추면  $\text{CO}_2$ 에 용해된 오염물만 잔류되고  $\text{CO}_2$ 는 가스상으로 바뀌어 압축펌프로 재순환된다. 고체상  $\text{CO}_2$  세정은 액상 또는 기상의  $\text{CO}_2$ 를 노즐을 통하여 분사시키면 일정속도를 가진 입자형  $\text{CO}_2$ 가 만들어진다. 이들  $\text{CO}_2$  입자가 오염물과 충돌할 때의 충돌에너지, 온도차에 의한 균열, 고체상  $\text{CO}_2$ 가 액체로 변화에 따른 용해성, 그리고 기체로 승화함에 따

른 팽창현상 등에 의해 오염물을 제거한다. Fig. 2에 CO<sub>2</sub> pellet을 이용한 세정단면도를 보여주고 있다. 이 방법은 2차 오염물질을 만들지 않고 오염물을 제거함으로 광섬유, 정밀전자 부품, 반도체 등 다방면의 세정에 유효함이 밝혀졌고 Xerox, LG 등 국내외 기업에서 일부 영역에 효과적으로 채택되어 사용되고 있다.

또한, 고체상 CO<sub>2</sub> 세정은 CO<sub>2</sub> 대신 H<sub>2</sub>O, Ar, N<sub>2</sub>를 대체하여 사용할 수 있으며 처리 시간이 대단히 짧은 장점이 있다. 국내에서 (주)케이씨테크가 CO<sub>2</sub> Snow, CO<sub>2</sub> pellet 세정기술을 개발하여 FPD, Wafer 등 반도체 부품의 각종 유기물 및 오염입자를 제거 목적으로 현장 적용 중에 있으며, 미국에서는 Deflex사가 이 기술을 보유하고 있고 전 세계에 보급 판매 중에 있다.

CO<sub>2</sub>는 72.8 atm, 31°C 이상에서 액상과 기상이 하나가 되는 초임계점에 도달하면 물성이 변하여 점도 및 표면장력이 낮아진다. 초임계 CO<sub>2</sub> 세정은 이러한 초임계 상태의 물성인, CO<sub>2</sub> 가스와 같은 침투력과 CO<sub>2</sub> 액체와 같은 세정력을 이용한 것으로 미세 세공을 가진 복잡한 구조를 가진 특수 정밀 세정이나 서브마이크론 입자 제거에 효과적이다. 초임계 CO<sub>2</sub> 세정 응용으로는 실리콘, 기계유, 가소제, 모너모, 불소계 오일, 접착제 잔류물 등을 제거할 수 있다. 그리고 초임계 CO<sub>2</sub> 세정은 세정 후 세정제 잔류물을 남기지 않고 건조 과정이 없으며 초정밀 세정이 가능하고 운전비가 비교적 적지만, 고압장치가 필요하여 초기투자비가 크고 고압에 따른 안전운전에 주의가 필요하다.

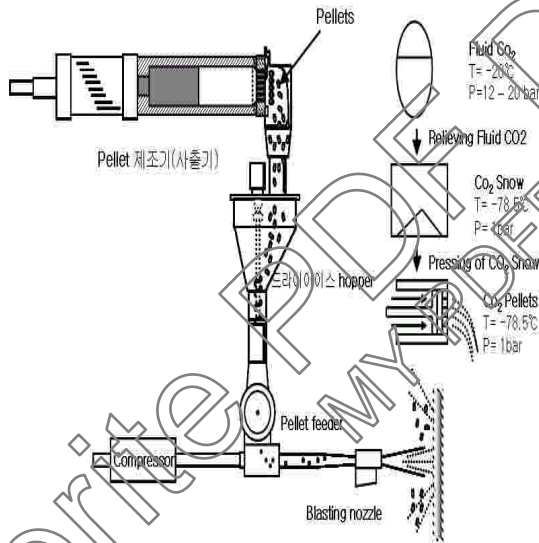


Fig. 2. CO<sub>2</sub> Pellet Cleaning

Fig. 3에 전형적인 초임계 세정공정도를 보여주고 있다. 이 기술은 아직까지 실용화는 안 되고 있지만 여러 가지 장점을 많이 가지고 있어 국내외 연구기관 및 산업체에서 실용화를 위하여 활발히 연구 중에 있다.

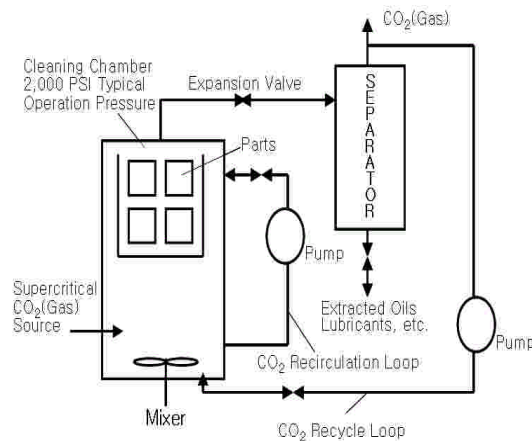


Fig. 3. CO<sub>2</sub> Supercritical Cleaning System

### 3.2.2. 플라즈마 세정기술

플라즈마는 이온화된 기체로 일종의 전기방전 chamber 속의 가스나 가스혼합물에 고주파 (radio or microwave frequency)나 직류전압(DC)을 가할 때 발생된다. 고주파 에너지를 받은 가스는 여기(excited) 되거나 이온화(ionized)상태로 된 후에 다시 반응성이 큰 화학라디칼을 형성시켜 피세정물의 오염물질과 반응하여 휘발성 물질을 생성한다. 오염물질이 탄화수소 오염물인 경우 가스원으로 산소를 이용하여 플라즈마 처리를 수행하면 배출물로는 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O가 생성되고 이들 물질은 감압 pump에 의해 대기로 배출된다. 플라즈마 세정에 사용되는 가스는 산소가 반응성 가스로 보편적으로 많이 사용되고 오염물 종류에 따라 수소 그리고 불소 및 염소 함유가스가 이용된다. 실리콘상의 실리콘산화물을 제거하는 경우는 CF<sub>4</sub> 플라즈마가 일반적으로 사용된다. Fig. 4에 조금 떨어진 곳에서 Plasma를 발생시켜 Wafer를 세정하는 Remote Plasma 세정시스템을 보여주고 있다. 플라즈마 세정은 오염물을 세정할 뿐만 아니라 표면재질을 하는 치능도 갖고 있다. 플라즈마 세정은 피세정물의 전체 물성변화를 주는 화학세정과 달리 처리 표면만 영향을 주며 폐기물을 거의 발생하지 않는다.

또한 복잡한 구조의 소형부품의 정밀세정에 적합하지만 두꺼운 층의 유기 및 무기 오염물 세정에는 적합하지 않다. 이때는 습식세정으로 전처리 후에 마무리 세정으로 플라즈마 세정 기술을 도입하여야 한다. 플라즈마 세정기술을 개발보유하고 있는 국내 산업체로는 (주)SE 플라즈마, 아토(주)등이 있다.

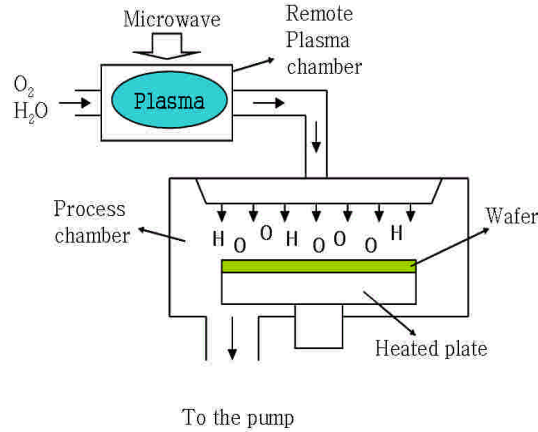


Fig. 4. Remote Plasma Cleaning System

### 3.2.3. 레이저 세정기술

레이저는 현대사회에서 산업계 및 의학계에서 다방면으로 널리 이용되고 있는데 특히 탈도장(depainting) 등에 매우 효과적이다. 레이저는 광자(photon) 형태로 에너지를 방출하며 이 에너지는 피세정물의 오염물과 충돌할 때 얇은 유기물질 층을 분해하여 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, 그리고 미량의 다른 가스로 파쇄 시킬 수 있다. Fig. 5에 전형적인 레이저 세정시스템을 보여주고 있다. 레이저 세정시스템은 광원, 광학적 연결장치(optical train), 레이저 가스원, 피세정물 고정장치로 이루어지며 보통 가스원으로는 Mg/Xe, ArF, KrF 등이 사용된다. 레이저 세정은 선택적으로 세정이 가능하고 폐기물을 2차 오염물로 발생시키지 않고(zero-added waste), 피세정물 표면에 열적, 기계적 피로를 주지 않는 세정방법이지만 초기투자비가 크고 미세 세공을 가진 물질의 세정은 어려운 결점이 있다. 국내에서 독보적인 레이저 세정기술을 개발보유하고 있고, 반도체, LCD 등 여러 산업체에 활발히 현장 적용하고 있는 업체로 (주)아이엠티가 있다.

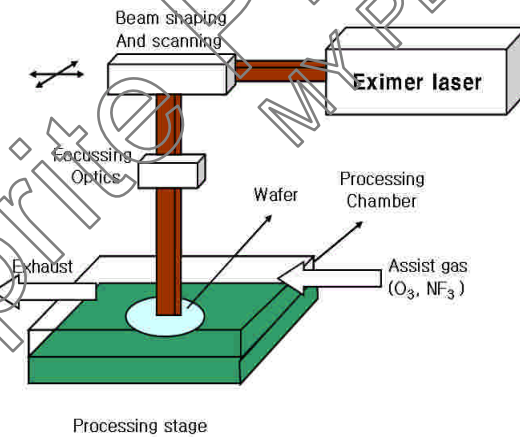


Fig. 5. Typical Laser Cleaning System

### 3.2.4. 광 세정기술

극단파장의 자외선(deep UV)을 이용한 광세정기술은 자외선(UV)과 자외선에 의하여 유도 방출된 오존을 이용함에 따라 UV/O<sub>3</sub> 세정이라고도 명명하고 있다. UV/O<sub>3</sub> 세정기술은 약품을 사용하지 않는 건식 세정이며 정밀 세정에 매우 효과적이며 피세정물의 표면 손상을 일으키지 않는 잇점이 있어 반도체 wafer 세정이나 TFT 액정용 유리 기판의 표면세정과 표면 개질에 중요한 기술로 정착되고 있다. UV/O<sub>3</sub> 세정기술의 원리는 자외선에 의한 분자결합의 해리 및 자외선에 의해 유도 방출된 원자 활성 산소의 상호작용이다. 즉, 대기 중에 파장이 200 nm 이하의 자외선을 조사하면 산소분자인 O<sub>2</sub>가 분해되어 산소 활성단분자인 O가 발생하고 O는 다시 O<sub>2</sub>와 결합하여 O<sub>3</sub>를 생성한다. 생성된 O<sub>3</sub>는 자외선 에너지를 흡수하여 O<sub>2</sub>와 O로 분해되고 활성단분자인 O가 오염물질의 표면에 부착하여 이를 산화시킨다. 산화된 유기물은 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 등의 휘발성 기체로 변화하여 제거된다. UV/O<sub>3</sub> 세정은 반도체상의 photoresist와 탄소물질을 제거할 수 있으며 표면을 소수성에서 친수성으로 변화시킨다. Fig. 6에 UV Lamp에 의하여 두개의 자외선을 방출하여 유기오염물을 세정하는 과정을 보여주고 있다. UV/O<sub>3</sub> 세정에 사용되는 광원으로는 저압 수은 램프, Xe 쇼트아트램프, 엑시머 램프 등이 사용되고 있다. UV/O<sub>3</sub> 세정은 상온에서 운전하며 취급관리가 용이하고 운전비가 저렴하며 저농도의 오염물에 매우 효과적이며 초정정도 표면을 얻을 수 있다. 그러나 다량의 오염물을 처리하기에는 많은 시간이 걸려 바람직하지 않고 전처리 공정으로 습식세정의 도입이 필요하다. 그리고 무기계 성분에 대한 효과가 작으며 적은 농도이지만 O<sub>3</sub>가스 피폭에 주의하여야 한다. 국내에서는 태화 일렉스론(주)가 UV건식세정장비를 개발하여 반도체, LCD 제조 공정에 보급하고 있다.

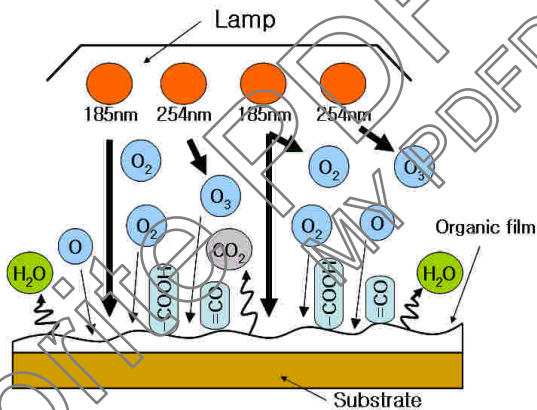


Fig. 6. UV/O<sub>3</sub> Cleaning System

Table 4. 대체세정기술의 종류와 특성

구분	주요 원리	특성	유의점
습식 세정	세정제	·오염의 종류에 따른 세정제 및 세정 장치의 선택 필요 ·개발된 역사가 오래되어 거의 모든 오염물들의 세정 가능	·세정 후 건조가 필요하며 세정 폐액 발생에 대한 처리 시스템 필요 ·세정제에 따른 환경문제발생 우려와 세정제 구입비용 필요
	WaterJet	·고압펌프에 의하여 노즐 통하여 물을 고압 분사하여 피세정물의 세정	·일반적으로 고압수생성장치가 고가 ·세정 후 세정된 부품의 부식을 방지하기 위한 빠른 건조장치 필요
	전해 이온수	·극미량의 전해질을 넣은 초순수를 전기분해 하여 OH <sup>-</sup> 와 H <sup>+</sup> 의 함유량에 따라 알칼리이온수, 산성 이온수를 제조하여 세정	·일본과 한국에서 주로 연구 개발되고 있고 아직까지 보편적으로 이용되고 있지 않는 공정
건식 세정	CO <sub>2</sub> Snow	·CO <sub>2</sub> 가스를 노즐을 통하여 팽창시켜 눈송이(snowflake)를 만들어 작은 미립자와 지문 제거	·오염부하 (heavy soli loading)가 큰 경우 부적합하고 세정 후 재오염 우려 ·고순도의 CO <sub>2</sub> 가스 필요
	CO <sub>2</sub> Pellet	·CO <sub>2</sub> Snow를 만든 다음 다시 Pellet로 만들어 이를 노즐을 통하여 고속으로 분사하여 세정	·CO <sub>2</sub> Pellet에 의하여 피세정물의 표면 손상이 우려되고 탄성을 가진 오염물은 제거 곤란
	초임계 CO <sub>2</sub>	·초임계상태에서 가스와 같은 침투력과 액체와 같은 세정력을 이용하여 세정하고 세정 후 감압시켜 오염물을 분리하고 CO <sub>2</sub> 재순환 사용	·고압운전에 따른 안전성문제 ·초기 투자비 과다 ·세정할 부품 크기가 제한되고 일부 플라스틱세정에 적용 불가 ·친수성 오염물에 세정성이 적음
	Plasma	·밀폐 반응기속의 가스에 주파 에너지나 직류전압을 가하여 Plasma가 형성시켜 세정에 이용 ·Plasma는 오염물을 반응 분해	·유기물만의 세정가능 ·초기 투자비 과다 ·세정력이 떨어져 많은 오염물 (gross soils) 제거가 어려움 ·세정후 세정물의 표면성질 변화
	Laser	·레이저의 열적, 기계적 및 광화학적 성질을 이용하여 세정	·피세정물과 오염물의 성질을 알아 최적의 흡수 주파수가 선정될 수 있도록 해야 함 ·장치가 비교적 고가
UV/O <sub>3</sub>	·UV lamp에서 두개의 파장을 가진 UV에너지를 방출함 ·이들 파장에서 한 개의 파장 에너지는 오존을 생성시키고 다른 파장의 에너지는 유기오염물이 흡수하여 활성화됨 ·이렇게 활성화된 오염물은 오존과 반응하여 산화 분해됨	·세정시간이 비교적 짧음(5-10min) ·박막의 유기물제거와 고정밀도를 요구하는 세정에 적합 ·실리콘 wafer, 유리 및 금속표면 세정에 적합하고 운전 용이	·UV lamp에서 나오는 UV, 오존, 수은 등의 적절한 관리 필요 ·입자나 염(salts)의 제거에 부적합 ·복잡한 부품세정에는 부적합



#### 4. 결론

지금까지 최근에 상용화 되었거나 개발되고 있는 대체세정제와 대체세정기술에 대하여 기술하였다. 비수계세정제는 Fig. 7과 같은 방향으로 세정성 향상과 환경규제에 대응하는 방향으로 꾸준히 연구 개발되고 있고 개발된 세정제는 현재 도입되어 산업현장에서 사용되고 있다. 그러나 비록 이들 세정제와 세정기술들은 특정한 적용 영역에서 우수한 기술들이라 평가할 수 있지만 이들 중 단일세정제 또는 세정기술로는 모든 종류의 오염물질을 완벽하게 세정할 수 있는 기술은 현재까지 존재하지 않는다.

따라서 보다 환경친화적이고 세정성이 좋은 건식세정기술들이 계속하여 개발될 것으로 전망되지만 지금까지 개발된 각각의 세정제와 세정기술들의 장점을 살리고 단점을 보완하는 하이브리드 세정기술(습식세정기술 + 여러 건식 세정기술)들이 유망한 기술로 평가된다. Fig. 8에 세정제를 사용하는 습식세정기술과 플라즈마세정인 건식세정기술의 조합인 하이브리드 세정기술의 세정공정도를 보여주고 있다. 현재에도 이러한 기술들이 일부 정밀세정기술에서 개발 도입 적용되고 있지만 앞으로 더욱 많이 이러한 기술들이 개발 도입될 것으로 추정된다.

우리나라에서는 지금까지 세정기술이 여러 제조공정에서 그리 대수롭지 않은 공정으로 취급되어 온 것은 사실이다. 그러나 미국에서는 이미 세정기술의 중요성을 인식하여 "Microcontamination", "Precision Cleaning" 이라는 연구저널 및 산업잡지를 매월 발간하고 매년 산업세정 관계자들이 대규모로 참여하는 Cleaning Technology Exposition을 매년 대규모로 개최하고 있다. 일본도 산업세정과 관련된 업체가 중심이 되어 산업세정협회가 조직되어 매년 산업세정 포럼(forum)을 개최하고 산업세정 관련서적과 회보를 주기적으로 발간하면서 회원 상호간 정보를 교환하고 산업 세정기술 발전과 산업체에서 환경친화적인 세정기술의 도입을 위하여 노력하고 있다. 또한 중국도 세정의 중요성을 인식하여 2004년부터 Cleaning-Tech Form and Expo를 개최하여 산업세정기술을 발표하고 세정장치 및 세정제 등의 산업세정기술 제품전시회를 개최한 바 있다. 따라서 현재 세계 제일의 반도체, LCD 등을 제조 생산하는 우리나라에서도 초정밀 전자제품의 경쟁력을 지속시키기 위하여 이들 제품의 생산에 극히 중요한 초정밀세정기술의 확보가 필수적이다. 이에 따라 산업세정기술 분야에 종사하는 산학연 전문가들이 힘을 합쳐서 첨단 대체세정제 및 대체 세정기술 개발이 절실하며 주기적으로 관련 정보를 주고 받는 장기적인 워크샵이나 포럼 개최가 있어야 한다. 이의 목적으로 국내에서 유일하게 산업세정연구회(수원대학교 환경청정기술연구센터)가 조직되어 있는데 이의 활성화가 긴요한 것으로 판단된다.

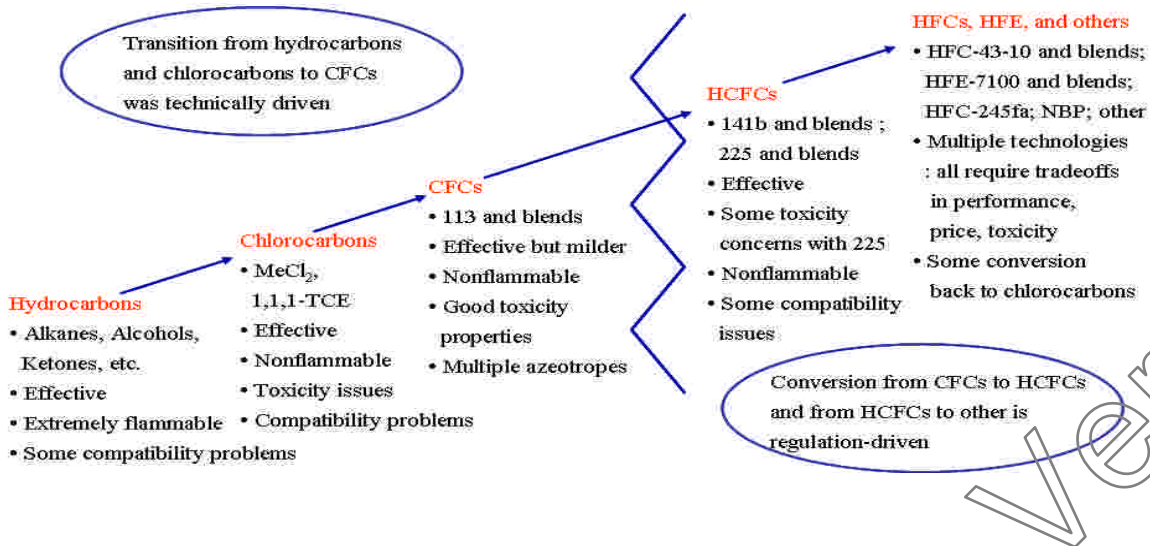


Fig. 7. Evolution of nonaqueous cleaning agents

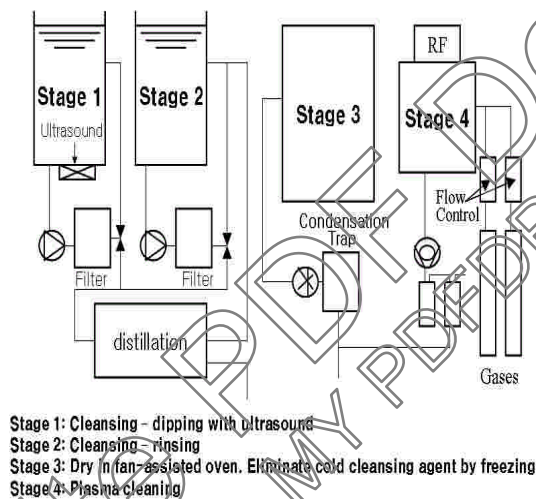


Fig. 8. Hybrid Cleaning System

참 고 문 헌

- 1,1,1-TCE 대체 제정을 위한 가이드, 한국정밀화학공업진흥회 (1995)
- K. Thomas, J. Laplante, and A. Buckley, uidebook of Part cleaning Alternatives "Making cleaning greening in Massachusetts", Toxics Use Reduction Institute, Univ. of Massachusetts at Lowell (1997)
- B. Kanegsoberg, Surface Cleaning Module, Toxics Use Reduction Planner Certification

- Course, Toxics Use Reduction Institute, Univ. of Massachusetts at Lowell (1999)
4. 제1회 청정산업세정기술 workshop, 산업세정연구회 수원대학교 (2002.11.25)
  5. 제3회 청정산업세정기술 세미나, 산업세정연구회 수원대학교 (2003.6.27)
  6. 제4회 청정산업세정기술 세미나, 산업세정연구회 수원대학교 (2003.12.18)
  7. 제6회 청정산업세정기술 세미나, 산업세정연구회 수원대학교 (2004.10.7)
  8. 계면화학특별세션 - 세제 및 나노세정기술, 2003년 한국공업화학회 추계학술대회, 서울대학교 (2003.10.31)
  9. 청정생산 대체세정기술 관련 Workshop, 한국기유화시험연구원 (2004.4.9~10)
  10. CFC 대체물질 활용기술개발에 관한 산업 동향분석, 산업자원부 (2004.8.31)
  11. Surface Cleaning Workshop NSF Center for Microcontamination Control, North Eastern University (2002.11.12~13)
  12. Clean Tech 2002, Surface Cleaning Solutions, Proceedings of 9th Annual International Cleaning Technology Exposition, Witter Publishing Corp. (2002)
  13. Clean Tech 2004, Proceedings Of 11th Annual International Cleaning Technology Exposition (2004)
  14. 일본국제산업세정전 Brochures Catalogues (2003, 2004)
  15. Proceedings of 2004 International CleanTech Form and Expo, China(2004.8.26 ~ 28)
  16. 배재흠, 신민철, 이은영, 조기수, "methylene chloride 대체 세정제 적용 사례 연구", 한국표면화학학회지, 32(2), pp.109~124 (1999)
  17. 이호열, 한지원, 이명진, 박병덕, 한상원, 이승기, 박선우, 황인국, 배재흠, "마이크로 에멀전형 준수계세정제의 배합조건 변화에 따른 물리적 특성 및 세정성능영향" 한국공업화학회지, 14(2), pp.142~151 (2003)
  18. 김한성, 차안정, 배재흠, 이호열, 이명진, 박병덕, "수계/준수계 세정제의 개발 및 전자부품세정공정 적용연구", Clean Technolgy, 10(2), pp.61~72 (2004)
  19. 박지희, 차안정, 김홍곤, 배재흠 "2,2,2-trifluoroethanol (TFEA)의 대체 세정제 적용연구", 한국공업화학회, 15(7), pp.773~778 (2004)
  20. B. Kanesberg and E. Kanesberg, "Handbook for Critical Cleaning", CRC Press (2001)
  21. 이종명, 레이저와 청정가공, 도서출판 한림원 (2002)
  22. 이종명, 반도체기술핸드북, 도서출판 한림원 (2002)
  23. 전성덕, 배재흠, 습습가공의 정제 및 유지 관리, 도서출판 성진사 (2003)
  24. 김한성, 수계/준수계 세정제의 개발 및 응용연구, 수원대학교 박사학위논문 (2004.12)