

산업세정기술의 개요

배재흠

수원대학교 청정화학공정연구실

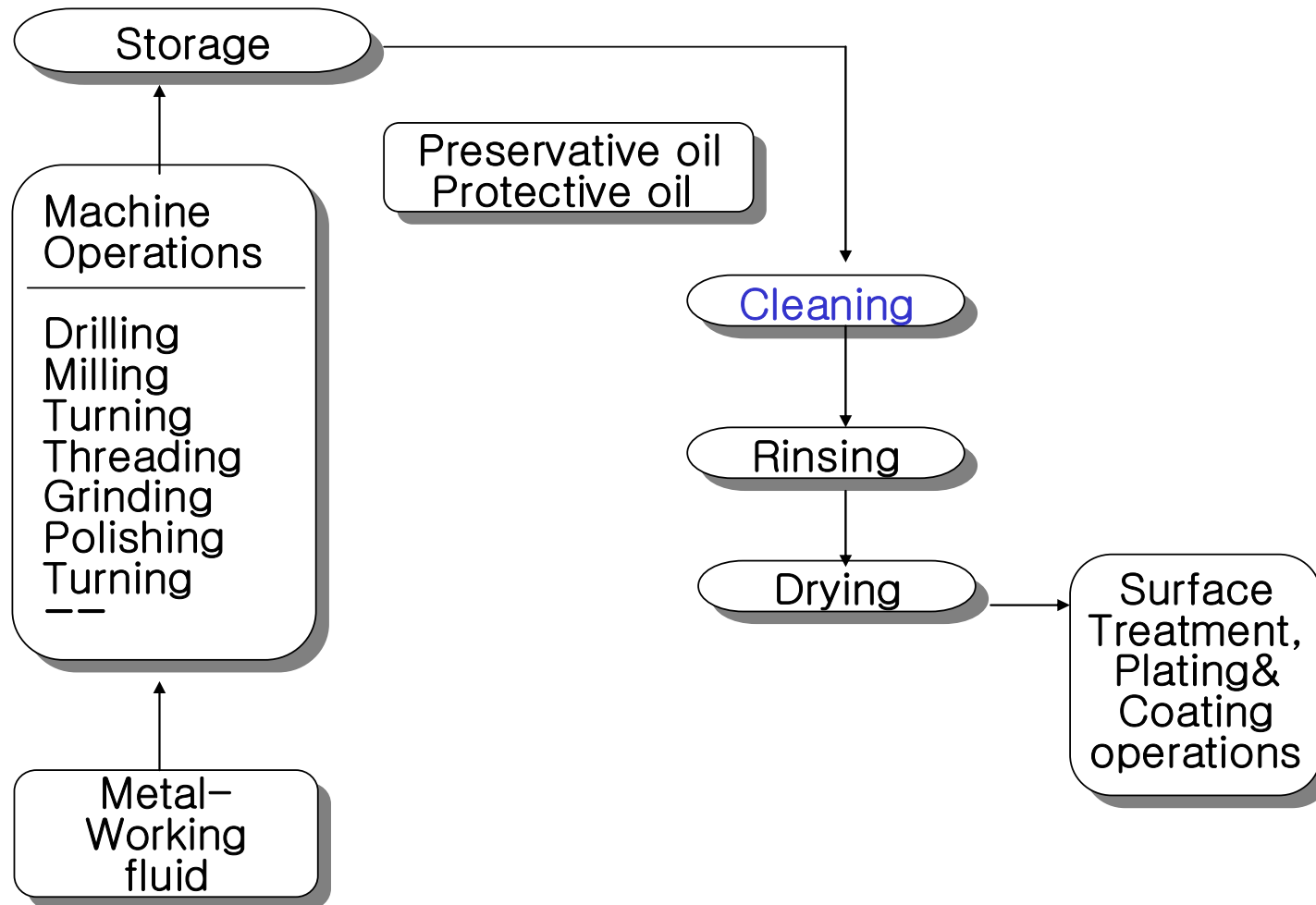
차 례

1. 서론
2. 산업세정의 필요성
3. 세정력의 주요인자 및 세정 메카니즘
4. 산업세정기술의 분류 및 특성
5. 산업세정제 관련 국내외 표준 규격 및 환경 관련 법

산업세정 공정의 필요성

1. 거의 모든 산업분야에서 세정공정이 적용되고 있음
2. 세정공정의 목적
 - ① 제품의 품질 및 가치 향상
 - ② 제품의 성능 및 기능 향상
 - ③ 순도가 높고 위생적인 제품 제조
3. 전기, 전자, 기계산업에서의 세정공정은 주요 오염물 발생원
 - ① 절삭 가공 공정 : 가공폐유 배출
 - ② 세정 공정 : ODS, VOC, 세정폐수 배출
 - ③ 도금 공정 : 도금폐수 배출
 - ④ 도장, 탈도장 공정 : VOC, 폐수(폐기물) 발생
4. 환경친화적이고 세정효율이 높으며 경제적인 세정공정 필요

세정 연관 작업도



전형적 세정대상 오염물질

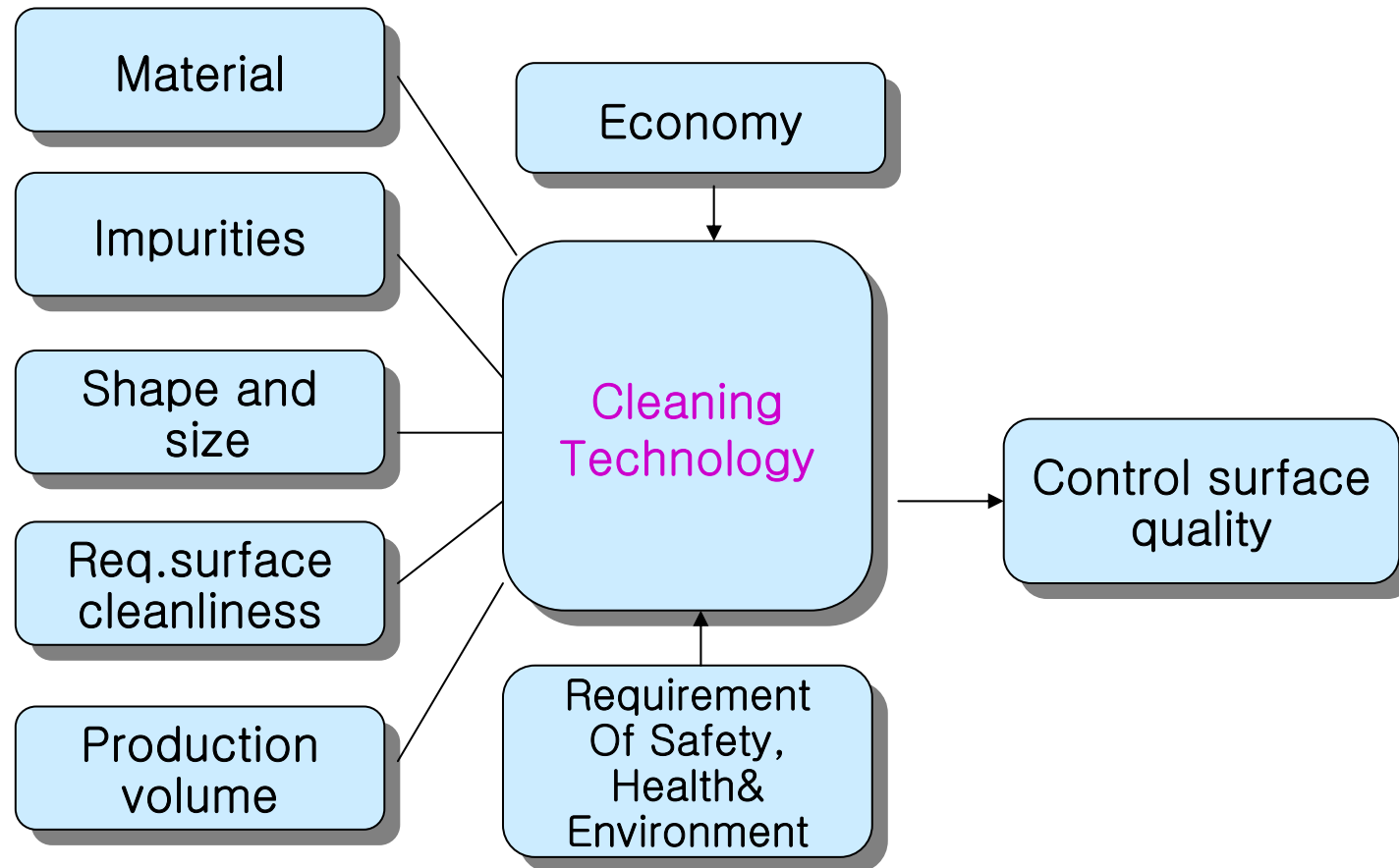
- **Machining oils**
 - **Water-Soluble oil**
 - **Mineral oil**
 - **Lard oil**
 - **Lubricating grease**
 - **Tapping or Polishing compounds**
- **Flux**
- **Masking Waxes**
- **Rust Inhibitor**
- **Finger Prints**
- **Coolants**
- **Particles**
- **Mold release**

국내 산업세정 적용 산업분야 및 세정목적

적용 산업분야 (사용비율% [*])	대표적인 피세정물	세정 목적
1) 기계/금속 산업(27%)	<ul style="list-style-type: none"> - 금속 가공 부품 - 분말 야금 부품 - 수지 가공 부품(bumper 등) 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈지 - 탈지, puff 연마 제거 - 이형제, 도장 전처리
2) 전기/전자 산업(20%)	<ul style="list-style-type: none"> - Print 기판 - 반도체 재료 및 부품 - 전동기 부품 - 금속 가공 부품 	<ul style="list-style-type: none"> - Flux 제거 - 탈지, 미립자 제거 - 탈지 도장 전처리 - 탈지
3) 자동차 산업(13%)	<ul style="list-style-type: none"> - 시계, 사진기 부품 - 분말 야금 부품 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈지, 미립자 제거 - 탈지, 미립자 제거
4) 정밀기기 산업(10%)	<ul style="list-style-type: none"> - 광학렌즈 부품 - 광필터 부품 - LCD 유리 부품 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈지, 미립자 제거 - 탈지, 미립자 제거 - 탈지, 미립자 제거
5) 유리 및 광학 산업(7%)	<ul style="list-style-type: none"> - 금속 가공 부품 - 수지 가공 부품 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈지, 미립자 제거 - 탈지
6) 표면처리 및 도금 산업(3%)	<ul style="list-style-type: none"> - 금속 가공 부품 - 열처리, 분말 야금 부품 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈지, puff 연마 제거 - 이형제 제거
7) 기타 산업(20%) 플라스틱, 고무, 화학, 인쇄, 화장품 등	<ul style="list-style-type: none"> - 사출, 프레스 부품 - 제판, 옵셋 - 플랜트 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈지, 이형제 제거 - 페인트, 잉크제거 - 각종 오일류 및 침적물 제거

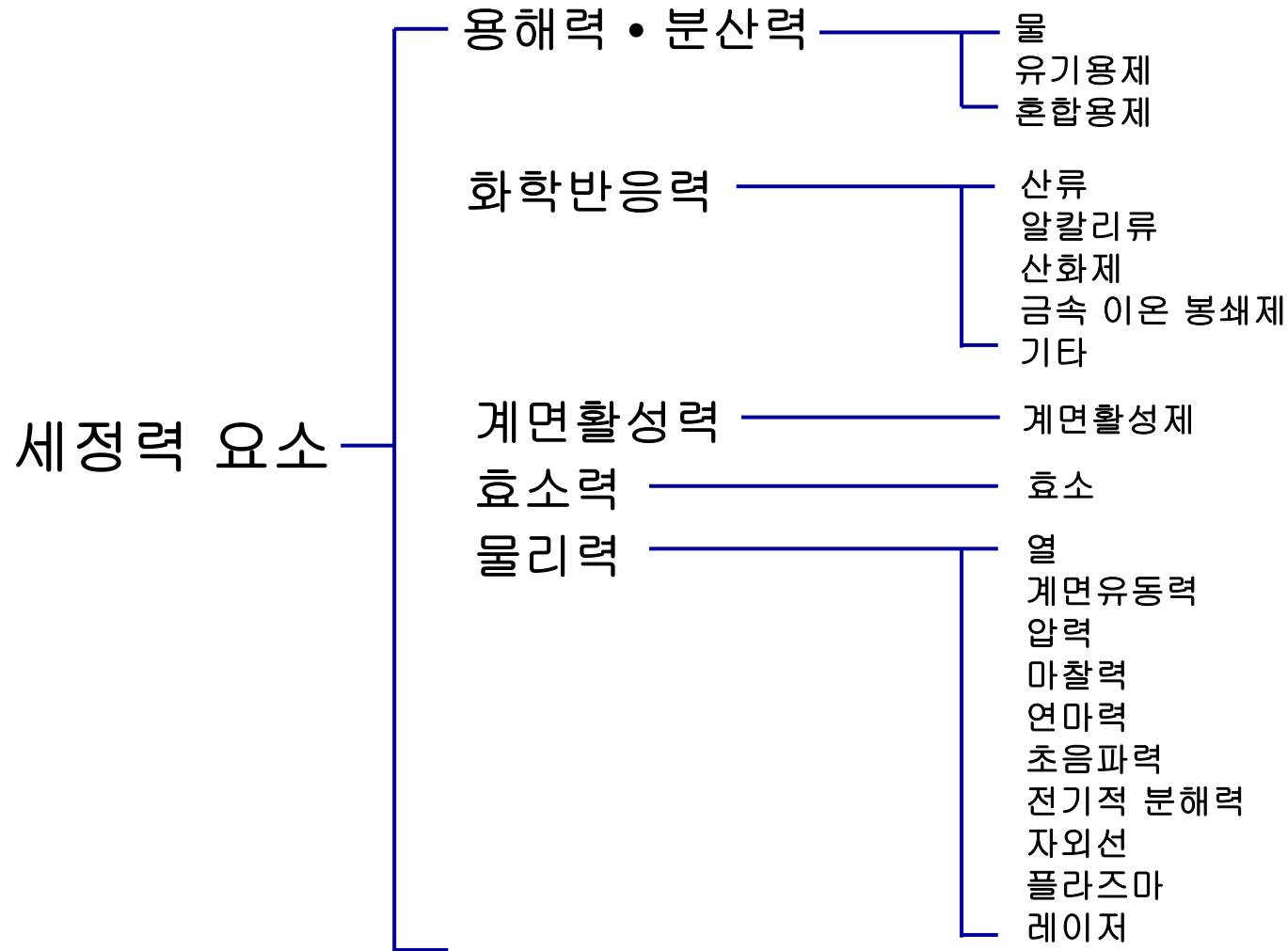
* 한국정밀화학공업 진흥회(2000년 3월)

산업세정기술의 결정 인자



Parameters for Cleaning Technology

세정력의 주요 인자



세정력의 주요 인자 및 세정 메카니즘

1. 화학적 요소

▶ 용해력 : 물, 용제

▶ 화학반응력

- 산: · 산화력에 의한 오염물의 분해 제거, 무기오염물 제거에 효과
· 피세정물의 손상 가능성

- 알칼리: · 동물성유지 등의 유기오염물을 비누화 반응시켜 제거
(광물성 유지 세정에는 부적합)
· 세정제 성분(소듐실리케이트 등)의 흡착 잔류 가능성

▶ 계면활성력

- 계면활성제 : 오염물의 해리·분산을 촉진

- 분무세정 효율에 영향을 주는 인자 : 압력, 노즐과 피세정물과의 거리, 분사각도

- 세정제의 영향 : 분무세정에는 기포발생이 적고 인화성이 없는 계면활성제이용

2. 물리적 요소

▶ 열

- 세정제 자체의 물성 변화 :
 - 화학반응 속도 촉진, 오염물의 용해속도 및 용해량 증가
 - 점도, 표면장력 감소: 분산성, 침투성 증가
- 오염물의 물성 변화
- 오염물의 열분해 : 오염물질을 기상물질로 전환시켜 제거
- 고온 운전의 단점: 산화피막 형성등 피세정물 변화 가능성

▶ 교반(계면유동)

- 세정액의 혼합 및 균일화에 의한 세정효과 증대
- 세정면에서 오염물의 탈착을 기계적으로 촉진
- 탈착된 오염물을 세정액중에 분산시켜 피세정물에 재부착 방지

▶ 압력

- 분사에너지에 의한 분무세정에 이용

▶ 초음파

- 주파수 : • 저주파 - 18 ~ 400kHz , • 고주파 - 700kHz ~ 수 MHz
출력: 100W ~ 10KW
- 세정력
 - 1) Cavitation 효과; 저주파로서 일반 정밀세정(1 μ m 이상 입자 제거 가능)
 감압파 : 공동(cavity) 발생
 가압파 : 공동이 파괴될 때 충격력(수천기압, 수천도($^{\circ}$ C)) 발생
 - 2) 입자 가속도(1,000,000G) 효과: 고주파로서 초정밀 세정(0.1 μ m 입자 제거 가능)
- 온도 증가 영향
 - 화학반응력, 표면장력, 점도, 가스의 용해도, 용존산소 등 변화초래
 - 캐비테이션 효과 증대(캐비테이션 효과는 수계의 경우 약 70 $^{\circ}$ C에서 최대)
- 용존 산소량 효과(세정효과는 수계의 경우 약 80 $^{\circ}$ C에서 최대)
 - 용존산소량이 적을수록 캐비테이션 효과가 증가하고 산화(녹)방지 효과 증대

▶ 전해력

- 전기에너지를 이용해서 금속표면의 오염을 제거하는 방법으로 전해탈지법과 전해세정법으로 구분

1) 전해탈지

- 알칼리 수용액 중에 피세정물을 넣고 양극(양극탈지) 또는 음극(음극탈지)으로 하여 발생된 기포(H_2 , O_2)가 표면에 부착되어 있는 오염물을 제거
- 알칼리 수용액은 또한 해리된 유분을 안정적으로 분산

2) 전해연마

- 산 또는 알칼리용액 중에서 전기에너지를 이용하여 피세정물의 산화층이나 오염층을 제거
- 일반적으로 피세정물을 양극으로 하고 직류전원을 사용하며 대부분의 금속세정에 적용 가능함

▶ 자외선

- 자외선(100~400nm)을 흡수한 물질은 강한 여기 상태로 되어 해리 또는 전리하는 성질을 이용하여 피세정물들에 부착된 유기물질 분해시켜 세정
- 또한 240nm 이하 파장의 자외선을 흡수한 공기중의 산소분자는 오존을 발생시켜 여기된 유기오염물질 분해를 촉진

▶ 플라즈마

- 저압(0.2~ 2mbar) 하에서 반응가스(산소, 헬륨, 아르곤, 수소 등)가 고주파에 의하여 자극되면 이 과정에서 형성된 플라즈마 상태의 이온들이 오염물질을 분해하여 세정
- 플라즈마 발생 및 진공유지 등에 따른 비용 문제
- 반도체의 기판 세정 등 정밀세정 분야에서 발전되고 있음

산업세정공정의 분류

- 수계 세정
 - Acid
 - Neutral
 - Alkali
 - Electrolytic
 - Waterjet
- 준수계 세정
 - Clean with Semi-Aqueous Agents + Rinse with Water
- 용제계 세정
 - Vapor Degreasing
 - Cold Cleaning
- 물리적 세정
 - Plasma
 - Laser
 - CO₂ (snow, aerosol, supercritical)
 - UV/Ozone

대표적인 세정제의 환경특성 및 안정성

분류	세정제	물 성		환경 특성			안 정 성			
		비중 (20℃)	비점 (℃)	세정 폐액 관리	배출수관리	대기	인화점 (℃)	허용 농도 (ppm)	비 고	
수 계	일반 수 계	알칼리계	1.0~1.2	100	· 자가처리 또는 위탁처리 · pH 12.5 이상의 알칼리와 pH 2.0 이하의 산은 특정 폐기물	· 헹굼수는 물사용 · 헹굼수는 배수 기준을 초과하지 않도록 위탁 처리	오염없음	없음	미 설정	· 물사용으로 인한 방청 대책 필요
		중성계(계면활성제)	1.0~1.1	100						
		산계	1.0~1.4	100						
	준 수 계	글리콜에테르(함수)	0.9~1.0	100~195	· 폐액은 가연성으로 자체 소각 또는 위탁처리	· 헹굼수는 물사용 · 헹굼수는 배수 기준을 초과하지 않도록 위탁 처리	· 저비점의 탄화수소는 VOC 규제 대상	· 처음 사용 용액은 인화점이 없지만 사용 중에 인화점이 나타날 수 있음	미 설정	· 제품에 소량의 물을 포함시켜 사용하여 인화점이 낮다 · 세정조의 수분 관리가 필요
		탄화수소계(함수)	0.8~1.0	100~205						
		N-메틸피로리돈계 (NMP, 함수)	1.0~1.1	100~205						
		터펜계	0.8~1.0	170~190				43~47		

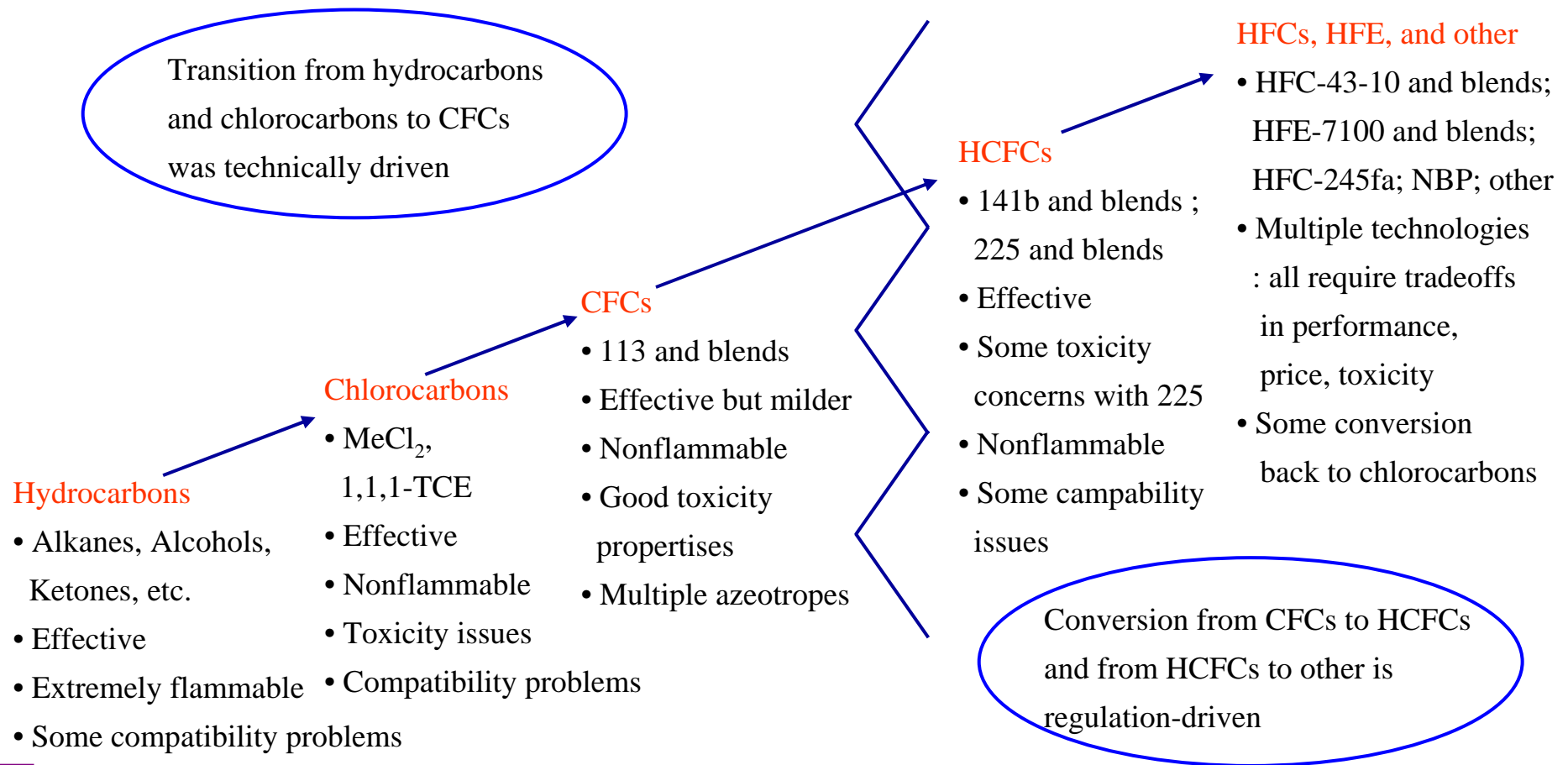
분류	세정제	물 성		환경 특성			안 정 성				
		비중 (20℃)	비점 (℃)	세정 폐액 관리	배출수관리	대기	인화점 (℃)	허용 농도 (ppm)	비 고		
비수계	용제계 [가연성]	탄화수소계	0.6~0.9	50~250	· 폐액은 가연성으로 자체 또는 위탁처리	· 헬륨공정은 동일한 세정제 사용 · 배출수 없음	· VOC 규제 대상	42~102	미설정	· 인화성이 낮은 (비점이 낮은) 것은 특별한 건조설비가 불필요한 경우도 있다. · 소방법규제 (방폭시설 필요)	
		글리콜에테르	0.7~1.0	100~220				41~112	미설정		
		알콜계	0.7~0.8	80~85				12~15	400		
		메틸피로리돈계 (NMP)	1.03	203~205				91~92	미설정		
		실리콘	0.7~1.0	150~200				0~77	미설정		
	용제계 [불연성]	불소계	HCFC-141b	1.23(25℃)	32	· 위탁처리	· 배출수 없음	2020년에 전폐 예정	없음	(500)	· HCFC는 오존파괴 지수 물질규제대상
			HCFC-225	1.55(25℃)	54					(50)	
			HFC-4310	1.58(25℃)	55					(200)	
			HFE(하이드로 플로오르에탄)	1.23(25℃)	60					(600)	
		염소계	영화메틸렌	1.33	40	· 특별관리 유해물질	· 대기환경 보전법 규제 물질	없음	50	· 염소계용제는 일반적으로 독성의 개념으로 허용농도가 정해져 있고 지하수 오염의 규제도 된다.	
트리클로로에틸렌	1.47		87	0.2mg/l 이하	0.3mg/l 이하				50		
테트라클로로에틸렌	1.63		121	0.1mg/l 이하	50						

대체세정제의 특성 및 유의점

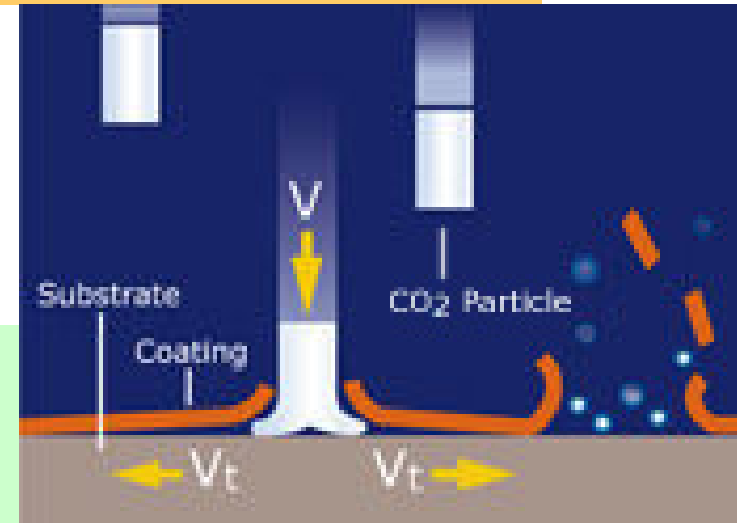
구분	특성	유의점
수계	<ul style="list-style-type: none"> • 많은 친수성 오염물에 적용 가능 • 세정후 친수성 표면 형성 • 화재나 인체의 유해 가능성이 작거나 전혀 없음 • 무기물질이나 극성물질형태의 오염물질 세정에 유용 	<ul style="list-style-type: none"> • 금속의 부식방지 대책 필요 • 시간과 온도에 따라 세정효과 변화 • 세정시간이 길고 건조시설 필요 • 넓은 설치장소 필요 • 물의 정제공정 및 폐수처리 시설 필요
준수계	<ul style="list-style-type: none"> • 플럭스, 왁스, 그리스 등에 높은 용해력에 의한 세정력 우수 • 일부 사용 용제에 의한 인화성, 위험성 존재 	<ul style="list-style-type: none"> • 부식 방지 대책 필요 • 비교적 사용후 용제의 회수가 어려움 • 폐수처리 대책 필요 • 세정제가 비교적 고가

구 분		특 성	유 의 점
비수계	탄화수소계	<ul style="list-style-type: none"> • 금속부품의 탈지 세정에 적합 • 용제의 가격이 비교적 저렴 • 용제의 증류 재생이 가능 • 독성이 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> • 인화성이 있어 방화, 방폭 대책 필요 • 소방법에 의한 규제 • 증기세정 불가능
	알콜계	<ul style="list-style-type: none"> • 광범위한 오염물에 양호한 세정력 • 비점이 낮고 건조가 용이 • 독성이 낮음 • 플럭스 세정에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 인화성이 있고 방화, 방폭 대책 필요 • 소방법에 의한 규제 • 분무세정 불가능 • 증발 손실 큼
	HCFE계	<ul style="list-style-type: none"> • 세정력 우수 • 재질 호환성 양호 • 건조 용이 • 에너지 소모 적음 	<ul style="list-style-type: none"> • 가격이 고가 • 오존파괴물질로 과도기적 사용
	염소계	<ul style="list-style-type: none"> • 세정력 우수 • 불연성 • 증기 탈지 가능 • 오존파괴 지수 적음 	<ul style="list-style-type: none"> • 유해물질로 지정됨 • 환경법, 산업안전법 등의 규제

Evolution of solvents for degreasing and precision cleaning



CO₂ Aerosol Cleaning Mechanism



- Kinetic energy of particles
- Thermal differential between film and substrate
- Volume expansion by sublimation
- Dissolution of contaminants

김선근, 청정산업세정기술 Workshop, 2002

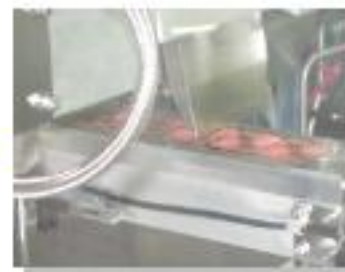
CO₂ Jet Cleaning



CO₂ Tank
T= 25 °C
P=54 bar



Purifier & liquefier



CO₂ snow
T= -78.5 °C
P=1 bar

Snocle⁺ Dry Ice Snow cleaning

- **세정대상**
Particles & Organic films
- **적용공정**
반도체, FPD, 정밀세정



Pressing of CO₂ snow
T= -78.5 °C
P=1 bar



Diameter 3 mm
Length 5-15mm
Hardness 2-3 Mohs
CO₂ Content 99.95%



Pellecle⁺

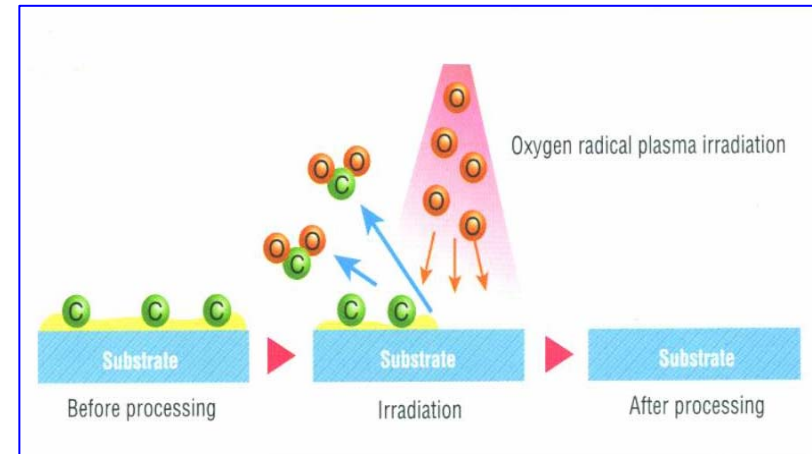
Dry ice pellet blasting

- **세정대상**
녹, 그리스, 페인트 등 제거
- **적용공정**
전 산업 분야

대기압 Plasma의 세정

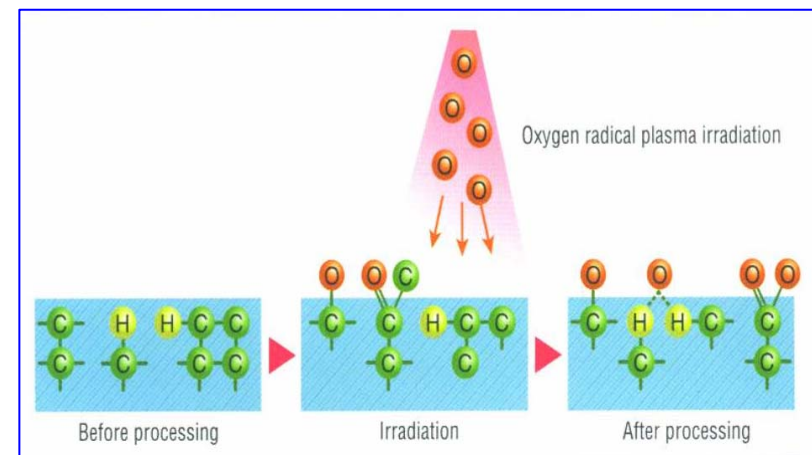
■ Plasma Cleaning

- Substrate(기판)에 부착된 유기물 “C” 분자들을 제거하기 위해 Oxygen Plasma를 조사하게 되면 Carbon과 결합된 산소결합들이 CO₂ 상태로 표면으로부터 이탈된다. 예를 들면 ITO Film의 유기물 오염체는 Plasma 조사에 의하여 제거되어 Contact Reliability, Bonding Strength 등을 크게 개선시킬수 있으며 전체 Product Quality 개선에 기여할 수 있다.



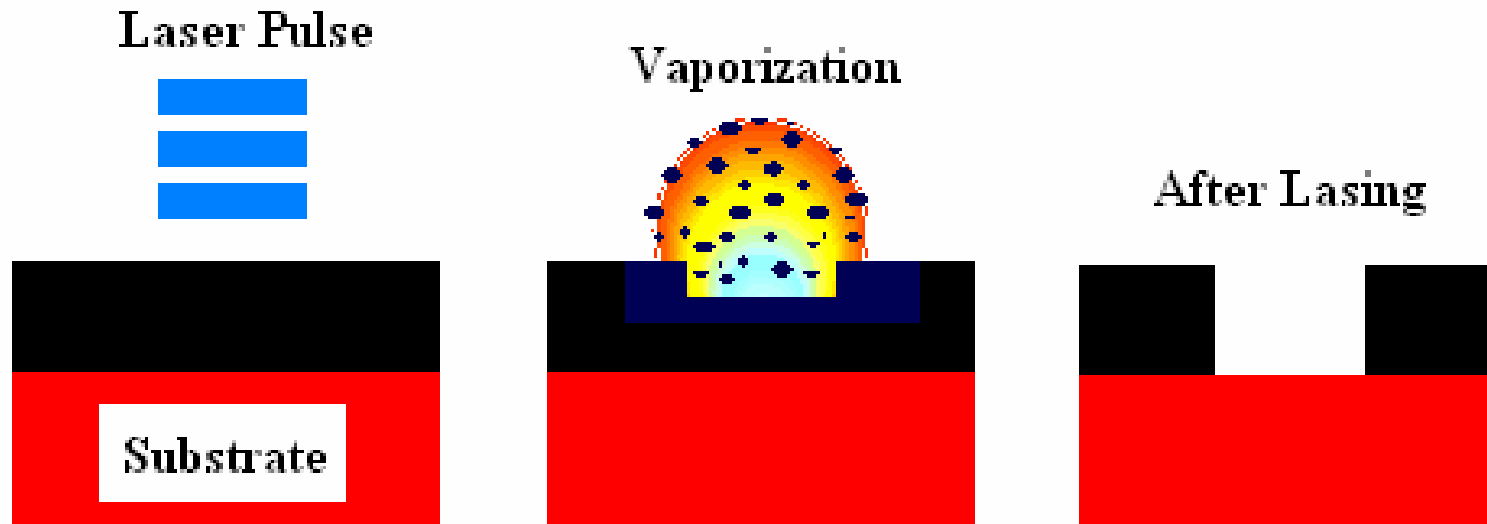
■ Plasma Modifying Surface

- 유기계 피조사체에 Oxygen Plasma를 조사하게 되면 Organic Coupling과 결합기를 절단하고 결합기에 산소가 부착된다. 동시에 Surface에 분자 Level의 Indentation과 Projection이 형성되고 이것이 현저하게 접착력을 개선시킬 수 있는 Activated surface를 만들어 준다.



레이저 클리닝(laser cleaning)

- 레이저빔이 가진 단색성 특성을 이용하여 모재의 손상 없이 표면의 오염물질만으로 선택적으로 제거하는 건식 세정 기술
 (Technology which removes contaminants selectively from a surface by inducing a proper laser-surface interactions)



참고서적: "레이저와 청정가공", 이종명저, 한림원, 2002

세정제의 물성 조사 관련 표준규격

물성	관련 특성	내용	규격
비중	액관리, 경제성	원유 및 비중 시험방법	KS M2002
인화점	안전성	원유 및 석유제품의 인화점 시험방법	KS M2010
동점도	세정액에서의 오염물의 이동도	원유 및 석유제품의 동점도 시험방법 및 석유제품 점도 지수 계산법	KS M2014
유동점	액관리, 경제성	원유 및 석유제품의 유동점과 석유제품의 담점 시험방법	KS M2016
황함유량	환경 안전성, 부식성	원유 및 연료유의 황분 시험방법	KS M2027
증기압	휘발성, 건조성, 경제성	원유 및 연료유 증기압 시험방법 (리드법)	KS M2030
비등점	비등점, 최적 세정 조건	석유제품의 증류시험방법	KS M2031

물성	관련특성	내용	규격
탄화수소 함유량	성분분석, 안전성	석유제품의 탄화수소 성분 시험방법 (형광지시약 흡착법)	KS M2085
용해도	용해도	<ul style="list-style-type: none"> • 석유제품의 아닐린점 측정방법 • 탄화수소계 용제의 Kauri-Butanol (KB)값 측정방법 	KS M2053 ASTM D1133
건조성	건조성, 경제성	건조성시험방법	KS M2109
지문 제거성	세정성능	지문제거성 시험방법	KS M2109
물 용해도	세정 액 관리, 경제성	항공연료의 물 용해도 시험방법	KS M2224
방향족성분 함유량	성분분석, 안전성	UV분광법에 의한 n-paraffine 속의 방향족 성분분석	UOP Method 495

세정제의 국내 관련법 및 환경 안전대책

사용 세정제		주요 관련 법규	환경 안전 대책
물	순수 수돗물 전해수		- 기름오염을 유수분리 (세정액의 세정제나 헹굼수의 수명을 연장함)
일반 수계	알칼리계 중성계 (계면활성제) 산계	- 수질환경보전법 - 폐기물관리법	- 폐수처리 장치의 설치 - 재생장치에 의한 물의 재활용 - 산업폐기물의 적절한 처리
	준수계 비수계 (가연성)	- 수질오염방지법 - 폐기물관리법 - 대기환경보전법 (VOC규제) - 소방법	-기름오염을 유수분리 (세정액의 세정제나 헹굼수의 수명을 연장함) - 재생장치에 의한 재활용 - 폐수처리 장치의 설치 (준수계) - 산업폐기물의 적절한 처리 - 배기가스 처리장치 설치 - 미스트(mist)에 의한 화재 방지용 미스트 콜렉터의 설치 (방폭시설 설치)
	비수계 (염소계)	- 수질오염방지법 - 폐기물관리법 - 대기환경보전법 - 유해화학물질관리법 - 산업안전보건법	- 사용량 제한 및 적정사용 유도 - 폐액처리 및 지하 침투 방지 - 산업폐기물의 적절한 처리 - 배기가스 처리장치 설치 - 특정산업폐기물 처리업체에 위탁처리 - 작업 환경 유지 대책

International Safety & Environmental Factors of Cleaners

Factor	Definition, Questions : Comments
VOC	<ul style="list-style-type: none"> - Volatile organic chemical, smog producer - Is the product considered a VOC nationally? Locally?
ODC	<ul style="list-style-type: none"> - Ozone depleting chemical - What is the regulatory status?
SNAP	<ul style="list-style-type: none"> - Significant new alternatives program (U.S. EPA) - Has there been SNAP submittal? - What is the status?
GWP	<ul style="list-style-type: none"> - Global warming potential - What is the global warming potential? - Does it have a long atmospheric lifetime?
MSDS	<ul style="list-style-type: none"> - Material safety data sheet - Ask for a copy. Insist on a copy before in-house testing - If uninformative: request more details - Legally required to be furnished with samples shipped to you
TLV	<ul style="list-style-type: none"> - Threshold limit value (Inhalation) - What is the TLV? - If the level is low (Below 100PPM) : Can you supply more toxicological data?
FP	<ul style="list-style-type: none"> - Flashpoint - If flammable (FP below 100 DEG F) or combustible (FP below 200 DEG F) : Can you recommend proper equipments for using these chemicals?
HAPS	<ul style="list-style-type: none"> - Hazardous air pollutants (U.S. EPA) - Is the material classed as a hazardous air pollutant?
MACT	<ul style="list-style-type: none"> - Maximum achievable control technology (U.S. EPA) - Regulates HAPS