

1,1,1-TCE 및 CFC-113의 대체세정

<연 재>

김 조 응 박사
국립기술품질원 유기화학과장

I. 서 론

1,1,1-Trichloroethane(이하 1,1,1-TCE)와 Trichlorotrifluoroethane(이하 CFC-113)은 산업 전반에서 세정제로 광범위하게 사용되어 왔으나 오존층 파괴물질로 알려져, 1992년 몬트리올 개정 의정서에 따라 1996. 1. 1 부터 생산 및 사용을 전면 금지하도록 하였다.

그러나 우리나라의 경우, 개발도상국으로 분류되어 2005년까지 사용이 가능하나 1,1,1-TCE나 CFC-113의 사용량의 대부분을 수입에 의존하고 있고, 미국에서는 오존층 파괴 물질의 사용을 억제하기 위해 제정된 공기오염방지법(Clean Air Acts, CAA)과 환경보호청(Environment Protection Agency, EPA)의 규제에 따라 1993. 5. 15부터 오존층 파괴 물질을 생산공정에 사용할 경우 경고 라벨을 의무적으로 붙이게 하여 수출하는데 어려움이 있는 상황이어서 시급히 대체 방안을 수립해야 한다.

현재 많은 종류의 대체세정제 및 장치가 개발되어 판매되고 있으나 1,1,1-TCE나 CFC-113 에 준하는 세정력, 건조력 등을 갖춘 대체세정제는 개발되지 못한 상황에서 장치를 보완하여 기존의 세정효율을 얻기 위한 활동이 활발히 진행되고 있다.

또한 1,1,1-TCE 및 CFC-113을 세정제로 사용하는 업체의 대상제품의 생산공정이 독특하고 세정공정이 일률적이지 못하기 때문에 대체세정제 및 장치를 적용하는데 곤란한 점이 있고, 정보 역시 입수하기 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 산업부문을 크게 자동차, 프레

스가공, 열처리가공, 도금가공, 도장·전처리, 전기·전자, 정밀기계·금속, 유리광학 분야로 크게 8가지로 분류하여 각 부문별로 업체가 요구하는 대체세정제를 선정하여 기존의 1,1,1-TCE나 CFC-113와 동등한 세정효율을 얻기 위한 대체 세정공정을 개발하였다.

대체 세정공정 개발을 위하여 세정의 기본요소인 세정, 행균, 건조 등이 고려되어야 한다. 또한, 이 3가지 요소를 만족시키기 위하여 대체 세정제, 세정장치, 건조장치, 세정성 평가방법이 한시스템으로 조합을 이루어야 한다.

II. 대체 세정 공정 확립

1. 대체세정제

1,1,1-TCE 및 CFC-113의 대체세정제로는 수계 세정제, 준수계세정제, 비수계(용제계)세정제로 나눈다. [표 1]에 대체세정제의 종류를 나타냈다.

각종 대체세정제의 특징을 국내에서 대표적으로 사용되고 있는 것을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 수계세정제

장 점 : 불연성이다. 독성이 적다. 오존층파괴가 없다. 거의 수지류에 영향을 주지 않는다. 세정제는, 비교적 가격이 싸다(물로 희석 가능).

단 점 : TCE에 비하여 세정력이 약하다. 세정, 린스공정도 미세한 구멍에 침투되지 않는다. 금속에

실무 환경

[표 1] 대체세정제의 종류

대 체 세 정 제	수 계	순수 알칼리 중성(계면활성제계) 산계
	준수 계	물+메틸피로리돈+첨가제(비가연물) 물+글리콜에테르+계면활성제(비가연물) 물+탄화수소+계면활성제(비가연물) 터어펜+계면활성제(가연물) 실리콘+계면활성제(가연물)
	비수 계 (용제 계)	탄화수소계(이소파라핀)(가연물) (노르말파라핀)(가연물) (나프텐)(가연물) 알코올계(에탄올, IPA)(가연물) 실리콘계(가연물) 불소계(HCFC-225)(비가연물) 완전불소계(퍼플루오로카본)(비가연물) 염소계(메틸렌)(비가연물) (트리클로로에틸렌)(비가연물) (테트라클로로에틸렌)(비가연물)

대하여 방청대책이 필요하다. 재생이 불가능하다. 폐수처리(BOD, COD, n-hexane추출분)가 필요하다. 건조가 늦다. 신설 세정설비, 폐수처리 설비가 필요하다(투자가 많다). 공정이 길고, 설치장소가 넓다.

단점보완대책 : 샤워, 스프레이, 초음파, 액분류, 세정장치에 병용할 수 있다. 세정제에 방청제첨가(알칼리성 세정제는 방청력을 갖는 것이 많다)한다. ③ 린스후에 방청제 조를 설치한다. ④기름오염을 세정제로 유수분리 한다(계내에서 기름의 제거. 세정제의 수명을 연장시킨다). ⑤저렴한 폐수처리 장치의 탐색. 린스하지 않는 것을 검토하여야 한다. 예) 수분증발, 막(RO, UF막), 활성탄처리, 이온교환수지처리 ⑥진공건조, 에어나이프, 원심분리의 이용, IPA 치환 건조, 퍼플루오르카본 건조(치환, 증류)를 이용한다. ⑦저렴한 장치탐색이 필요하다. ⑧컴팩트한 세정기를 탐색한다.

(2) 준수계세정제

장 점 : 플럭스, 왁스, 그리스 등의 세정에 적합하다. 세정시 미세한 구멍에 침투력이 있다. 독성이 적다. 오존층 파괴가 없다.

단 점 : 세정제가 비교적 고가이다(원액 그대로 사용). 물 첨가품은 세정시 가연성이다. 재생불능이다. 플라스틱부품에는 예비 내용제성 테스트가 필요하다. 린스시 방청대책이 필요하다. 건조가 늦다. 폐수처리(BOD, COD, n-hexane)대책이 필요하다. 신설 세정, 폐수처리 설비가 필요하다.

단점보완대책 : 사용량의 절약을 필요로 한다. 물 첨가품은 수분리 관리가 필요하다. 물의 무첨가품의 방폭대책이 필요하다. 내용제성 테스트 실시가 필요하다. 린스후에 방청제 조를 설치한다. 수계세정제와 동일하다.

(3) 탄화수소계세정제

장 점 : 기계유에 대한 용해력이 강하다. 침투력이 있다(미세한 구멍에도 세정가능). 일반적으로 증류재생이 가능하다. 금속에 대하여 변색, 얼룩 등의

실 무 환 경

영향이 없다. 오존층 파괴가 없다. 독성이 극히 적다. 가격이 싸다.

단 점 : 인화, 폭발성이 있다. 증기세정이 불가능하다(폭발 염려). 건조가 늦다.(제2석유류, 제3석유류) 소방법에 의한, 저장, 취급량 등의 규제를 받는다. 특히 대형 세정조는 지정 수량을 넘으면 규제를 받는다.

단점보완대책 : 가능한 한 위험물 제4류 2~3 석유류를 선택. 최근 제안되고 있는 세정제는 등유보다 인화점이 높다. 전기장치등 방폭, 안전에 대처하여야 한다. N₂ 기류중 또는 감압하에서 증기세정등 대책은 있지만, 일반적으로는 침식세정으로 조를 늘릴것에 대처하여야 한다. 에어나이프의 병용, 진공건조, 열풍건조의 병용. 방폭에 주의한다(열풍은 1 pass, 열풍 온도 저하, 히터 국부 가열은 불가). 소방법 규제에 적합한 세정설비가 필요하다.

(4) 불소계세정제(HCFC-141b, HCFC-225a)

장 점 : 일반적으로 불연성이다. 증기세정이 가능하다. CFC-113 정도의 세정력이 있다. 플라스틱 부품은 침식하기 어렵다. 설비투자가 적다.

단 점 : 세정제가 고가이다. TCE와 비교하여 기름의 세정력이 낮다. 오존파괴지수가 있고 2030년에 거의 전폐, 또는 전폐가 빨라질 가능성이 있다. 독성 테스트가 완료되지 않은 것이 있다. 오존층 파괴가 커 HCFC-141b는 미국의 SNAP*에서는 세정용도의 사용을 금지하고 있다. HCFC-225는 SNAP*에서 사용이 인정되도록 제안되었다. HCFC-141b의 비점 32°C로 휘발성이 있어 손실이 많다.

단점보완대책 : 완전 밀폐식 세정방식, 폐가스 회수장치를 설치하여야 한다. 세정시간 연장, 물리력이 수반되어야 한다. 대체세정제로서 잠정적으로 고려중이다. 안전위생면에 관심. 가능하면 흡입하지 말아야 한다. 냉각수에 칠러를 붙인다. 세정설비는 가능한 밀폐시켜야 한다.

*SNAP : Significant New Alternatives Policy Program(주요 대체품 정책 프로그램)

(5) 염소계세정제

장 점 : 불연성이다. 침투성이 양호하다(미세한 구멍에도 침투). 증기세정이 가능하다. TCE와 비점이 근사하여 세정장치 수리가 필요하다. 증류재생이 가능하다. 세정력이 강하다. 가격이 비교적 낮다. 오존파괴지수가 극히 적다(ODP=0.005).

단 점 : 법규제가 많다. 개방계 용도의 양이 제한되어 있다. 테트라트리클로로에탄에 대하여 발암성이 의심된다. TCE는 거의 의심되지 않는다. 플라스틱 부품의 일부는 침식된다.

단점보완대책 : 법규제를 지키기위해 설비투자 할 필요가 있다(취급장소를 콘크리트화). 증류 회수장치, 활성탄 회수장치를 부설할 때 절약형이어야 한다. 발암성 의심에 관계없이 증기 흡입, 접촉을 가능한 피한다. ACGIH*에서 발암성이 의심된다. 세정온도, 세정시간의 조절. 플라스틱 부품의 종류는 내 용제성이 있는 것으로 바꾼다(불소 수지 등).

* ACGIH : 미국 산업 위생 전문가 회의

2. 세정장치

세정목적을 달성하기 위해 세정장치의 선정은 피세정물에는 영향을 주지않는 적절한 선정이 필요하다. 또, 설비가격은 물론 운전비가 저렴하면 바로 세정제가격, 폐액·배출수 처리가격, 전력이나 열 등의 에너지가 싸고, 유지비가 용이한 자원 절약장치가 있는 것도 장치의 선택기준이 된다.

세정장치를 선정할 때에 고려할 사항을 [표 2]에 나타냈다.

단순히 피세정물을 침지하는 경우, 그 작용 효과는 100% 세정제의 성능에 따라 결정된다. 그러나 물리·기계적 요소를 가하면 상승 효과에 의한 세정성은 한층 향상된다.

대표적으로 사용되는 세정방법을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 샤워 세정

[표 2] 세정장치 선정요인

1	피세정물 현상
2	피세정물 크기
3	부착오염
4	처리량과 처리기간 처리량과 처리기간 · 적은부품을 다량처리 → 형상에 의한 세정방식을 선정 · 정리하여 세정 · 일매(또는 일개) 계속 세정
5	피세정물에 대한 손상 · 장치(손상) · 세정제(얼룩, 화학변화)
6	경제성 · 설비비 · 운전비 · 설치면적

98kPa(약 1kg/cm²)정도까지의 압력으로 세정액을 노즐에서 분사하여, 그 힘으로 부품에 부착된 유분, 이물을 제거하는 방법을 말한다.

특징과 유의점 : ①샤워의 닿는 부분과 닿지않은 부품과의 세정효과 방청효과도 다르므로 세정액을 부품전체에 닿도록하기 위해 노즐의 종류, 수, 위치, 압력의 검토가 필요하다. ②샤워압력에 의한 부품의 날아가며, 위치변동도 주의하여야 한다. ③저발포의 세정제를 선정하여야 한다. ④인화점이 있는 것은 사용하지 못한다.

(2) 고압스프레이 세정

수백~수천kPa (약 수~수십kg/cm²)의 압력으로 세정액을 노즐에서 분사하여, 그 힘으로 부품에 부착된 유분, 이물을 제거하는 방법을 말한다.

특징과 유의점 : ①깊은 구멍, 비관통구멍 내부의 이물질 제거 방향으로 설치하여야 한다. ②샤워세정보다 효과가 높지만 국부적이므로 노즐의 위치, 방향에 주의가 필요하다. ③저발포의 세정제를 선정하여야 한다. ④인화성이 있는 세정제는 사용하지 못한다. ⑤고압펌프의 유지를 확실히 하여야 한다.

(3) 침지세정

용기에 들어있는 세정액에 부품을 담구어 세정제의 힘으로 유분, 이물을 제거하는 방법이다.

특징과 유의점 : ①에어교반, 분류 등을 이용한 부품 표면의 세정액을 움직이는 것에 따라 세정제의 능력을 효율이 좋게 발휘시키는 것이 가능하다. ②에어교반시 저발포의 세정제를 선정하거나 인화성이 있는 것은 안된다. ③부품은 상하로 요동하는 것도 교반과 같은 효과를 갖는다.

(4) 초음파세정

초음파에 의해 생긴 압력의 파는 정밀파로서 액중에 전달되어, 수천기압이 되어 부품표면에 부딪치어, 기포를 발생시켜, 캐비테이션에 의해 강한 교반이 이루어져 세정하는 방법이다.

특징과 유의점 : ①주파수, 에너지 밀도는 피세정물의 크기 형태에 따라 선정한다. ②초음파는 직진성이 있어 회절하면 음(-)으로 된 부분은 효과가 낮다. ③조내에서 초음파의 효과에 강약이 가능하므로 부품을 요동시키는 것은 보다 균일한 효과가 얻어진다. ④초음파에 의해 세정액의 온도가 올라가므로 인화성세정제의 경우는 냉각이 필요하다.

(계 속)