

CFC 대체물질을 이용한 세정기술

Cleaning Technology Using CFC Alternatives

노 경 호
K. H. Row
인하대학교 화학공학과



- 1959년생
- CFC대체세정제의 개발, 대체 세정기술, 세정성능 검사방법에 관심을 가지고 있다.

1. 서 론

몬트리올의정서에 의하여 오존층 파괴물질로 규정된 세정제인 CFC 113(1, 1, 2-trichlorotrifluoroethane)과 1,1,1TCE(1,1,1-trichloroethane)의 사용규제가 이미 시행됨에 따라서 이 세정제를 필수적으로 사용하는 전자 및 정밀기기 제조업체등에서는 이에 대응하는 방법에 상당한 관심을 기울이고 있다. 현재까지의 대응방안은 크게 나누어서 세가지로 나눌 수 있다.

(1) 기존세정기를 개조하여 대체세정제를 사용하는 방법

기존 세정제인 CFC 113 및 1,1,1TCE는 증기 탈지방식으로 규제 받지 않은 염소계 세정제(methylene chloride, trichloroethylene, perchloroethylene 등)는 비점이 낮아서 기존 세정기에 heater 또는 냉각능력을 보강하여 사용할 수 있으나 염소계 세정제의 작업장 허용농도가 낮고 휘발성 유기용매로서 대기오염문제를 일으킬 수 있는 단점이 있다.

(2) 대체세정제와 대체세정기를 사용하는 방법

수계 또는 준수계 대체세정제와 대체세정기를 사용하는 경우로서 대체세정제가 오존파괴지수가 대부분 0이기 때문에 규제를 받지 않는지만

세정제와 세정기를 대체해야 하는 경제적인 부담이 생긴다.

(3) 무세정방법

전자산업에서 납땜공정에서 사용되는 flux를 저잔사 flux를 사용하여 세정을 하지 않는 방법으로 전자제품의 신뢰도와 정확도가 요구되는 첨단 우주, 군사, 의료부문에는 사용하기가 곤란하다. 현재 개발중인 대체 윤활유는 건조한 형태로서 작업후에 표면에서 벗겨낼 수 있는 얇은 고분자막으로 되어있다.

이러한 제품은 초기단계이지만 탈지세정을 줄일 수 있는 가능성이 있는 방법이다. 생산공정중에 제품의 흐름순서를 재정렬하여 부품의 탈지 횟수를 줄이고 세정공정을 한 장소에서 통합하도록 하는 것이 중요하다. 많은 공장에서는 부품이 마무리되어 조립되기 전에 두세 번 정도 탈지공정을 지나가게 된다. 세정공정을 통합하여 세정제의 양과 폐기물을 줄일 수 있다.

현재 피세정물의 세정공정은 제조공정에서 핵심부분중의 하나이다. 제품의 기능, 품질, 사용기간은 이러한 세정절차의 효율성에 의존한다. 세척단계는 단위 제조 공정 사이에서 가공공정의 마지막 단계에서, 조립직전에서 할 수 있다. 산업에서 세정을 하여 작업 흐름을 개선시킬 수

는데 이는 보다 신속하고 정밀한 가공공정이 가능하기 때문이다. 자동측정기기를 사용할 때 철저하게 세정을 하는 것은 필수적이고 도금이나 도색을 하기 위한 깨끗한 표면을 제공한다. 원재료, 중간 제작품, 최종제품에 이르기까지 세정을 할 수 있으며 세정을 하는 주요산업으로서는 기계제작 및 자동차산업, 비행기 제작회사, 공장 및 공구제작업 등 다양하며 피세정물의 크기는 작은 반도체에서 비행기 날개에 이르기 까지 광범위하다. 에너지와 용매의 손실을 최소화 하기 위해서 밀폐된 세정기내에서 원활하게 조업하기 위한 경제성과 안전성에 대한 규격이 마련되어 있다. 부품의 기능, 품질, 사용기간을 향상시키는 것 뿐만 아니라 환경을 보호하고 작업조건을 개선하는 방향으로 새로운 세정기의 개발이 중요한 것이다. 본고에서는 대체세정제의 선정기준, 세정장치의 기본 특성과 CFC 113와 1,1,1TCE의 사용규제에 따른 대체세정기의 최근 개발 현황에 대해서 서술하였다.

2. CFC 대체 세정제의 선정을 위한 기준

비오존층파괴 CFC 대체세정물질의 선정을 위한 사용자가 명심해야 할 지침은 아래와 같이 구분될 수 있다.

2.1 조직내의 고려

오존층 파괴 물질을 점차로 줄여 가는 노력을 전개하는데 있어서 공장의 의사결정자와 경영자는 조직간의 원활한 협조가 이루어지도록 조절의 역할을 해야한다. 대체세정제에 대한 기업의 정책은 기업경영이 뚜렷한 목적을 가지고 이루어질 때 촉진된다. 대체 세정제의 선택에 관여하는 다른 중요한 인자들은 다음사항을 포함한다.

- (1) 공동의 환경정책과의 적합성
- (2) 다른 목적과의 부합성
- (3) 기존 조직에서의 유도성
- (4) 자금의 유용성

2.2 규제에 대한 고려

공장의 경영자는 정부 규제에 대하여 승인된 잠재적인 대체 세정제와 세정 공정을 고려하여야

한다. 대체 물질은 사용되는 나라에서 적용되는 특수한 규제에 부합되어야 한다. 이것은 국가적인 것과 지역적인 것이 포함된다. 예를 들어, 미국에서는 1990년의 Clean Air Act 개정안의 해당부분 뿐만 아니라 공업용수의 방류나 휘발성 유기물질(VOC)의 방출 같은 환경적인 면을 다루는 연방 및 지역 법안에 대하여서도 대체세정제를 평가하여야 한다. 유럽에서는 오존 파괴 물질을 사용하는 공정으로부터 휘발성 유기물질을 통제하기 위해서 “가장 좋은 이용 가능한 기술(BAT)” 지침이 정해졌다. 수출업자들은 반드시 수출할 나라의 해당 규제를 숙지하여야 한다.

2.3 경제적인 고려

세정공정의 경제성은 대체물질의 선정에서 핵심이 되는 요소이다. 대체세정제를 사용하는 공정에서의 기본적인 비용은, 장치비용, 폐기물처리비, 장비운용비용, 그리고 신규 건축이나 작동 절차에 소요되는 비용을 포함한다. 부수적인 비용은 재료, 노동, 유지, 그리고 공익시설을 위한 비용이다.

2.4 환경, 건강, 안전에 대한 고려

불행하게도 오존 파괴 물질 사용에 대한 완전한 대체물질은 없다. 공장 경영자는 종종 환경문제를 도외시 할 수도 있다. 적절하지 못한 대체세정제를 선정하지 않도록 하기 위해서 다음 사항을 특히 고려해야 한다.

- (1) 오존 파괴와 지구 온난화
- (2) 휘발성 유기 물질(Volatile Organic Compounds)
- (3) 에너지 효율
- (4) 독성과 작업자 안전
- (5) 인화성
- (6) 용매의 재사용
- (7) 지하수 오염

2.5 기술적인 고려

대체 세정공정이나 세정제에 대한 기술적인 고려는 경험적인 토대위에서 평가되어야 하고 여러 가지 중요한 고려사항을 집중적으로 검토해야만 한다. 이러한 고려사항들은 시설에 따라 크게 변

하고, 그들 중에도 공장의 위치와 생산 기능에 의존하기도 한다.

세정제는 오일, 그리이스와 같은 오염물질에 열선, 감화, 용해등에 의해서 제거하게 된다. 고형 오염물질은 세정제에 의해서 결합되어 피세정물에서 제거된다. 기존의 CFC세정제(CFC 113, 1,1,1TCE, CCl₄)가 오존층 파괴물질로 규제를 받게 됨에 따라서 다음의 대체세정제들이 산업용도로써 많이 사용될 것으로 기대된다.

- 염소계 세정제(methylene chloride, perchloroethylene, trichloroethylene)
- HCFC 세정제(HCFC 141b, HCFC 225 ca/cb 등)
- 수계(알카리, 산성 및 중성)
- 준수계(탄화수소, terpene 등)

세정공정중에서는 특정 세정제만을 사용해야 하는 경우가 있는데 중요한 피세정물일수록 사전에 시험을 통한 결과에 의해서 판단을 해야한다.

2.6 환경문제

세정제를 사용함에 있어서 발생하는 환경문제는 크게 대기오염과 폐수로 나눌 수 있다.

3. 세정장치의 사전조건

산업용 세정 기술은 전체적인 제조 공장과 각 구성의 공정들이 상호 조율이 되어야 한다. 최적 세정 효과를 얻기 위해서는 세정공정에 대한 포괄적인 지식과 다음 사항에 유의해야 한다.

- 피세정물, 오염정도, 요구 청결도
- 세정제의 조성과 영향
- 세정기, 온도, 세정시간과 세정제의 관계
- 법적 요구사항, 공식적인 기준과 지침사항
- 세정공정과 제작공정과의 연계성

적절한 세정공정을 설계하는데 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

3.1 피세정물

(1) 종류

크기, 무게, 개별적 또는 집합적, 단일품목 또는 복합품목

(2) 형태

단순성, 미끄럼성, 울퉁불퉁한 면, 부품내부에 통로 또는 드릴구멍이 있는 것, 폭이 좁은 통로가 있는 것, 나사선이 있는 것, 액이 담겨지는 부분이 있는 것

(3) 재질

철, 비철금속, 주물, 플라스틱, 세라믹, 유리, 복합재질

(4) 재질특성

기계적 응력, 화학물질, 산, 알카리, 유기물질, 수분, 온도에 따라 부식과 변형에 민감한지의 여부

(5) 오염물질의 종류

금속 절단 공정에서 작은 파편, 기계 가공 공정에서 마모부분, 접착제, 연마공구, 물감, 오일, 그리이스, 왁스, 실리콘, 레진, 보존제, 먼지, 모래, 물때, 경화, 용접 및 납땜공정에서 생기는 잔사, 섬유 등

(6) 오염정도

오염 물질의 양, 크기별 입자분포, 접착정도

(7) 청결 요구도 및 허용잔류정도

잔류 오일 또는 그리이스 성분이 없는가, 잔류 세정제가 없는가, 건조상태

3.2 세정장치

(1) 피세정물 운반

바구니, 고정대등의 부품 운반 수단을 사용하여, 한개씩 또는 집합적으로, 연속식 또는 회분식, 부품을 세정기로 들여보내고 나오게 하는 방식은 콘베이어 또는 승강장치, 자동식 또는 손으로 작동하는 방법

(2) 처리량

일정한 크기와 무게를 가진 부품들이 단위시간당 처리할 수 있는 속도

(3) 유동성

부품의 종류에 따라 온도, 세정시간, 부품의 이동성

(4) 연결성

제어기기가 설치된 자동화된 세정기로서 세정 이전 및 이후 단계로의 연결성

(5) 유효성

최적 공정제어 설비 및 안전장치

(6) 소요면적 및 폐기물처리

(7) 조업비

세정제 사용량, 물 및 에너지 사용량, 운영비

3.3 법적 규제

(1) 작업의 안전성

사고방지시설, 세정기의 기계적, 화학적, 전기적 안전성, 소음, 냄새, 열등의 방출기준, 작업장에서 위생상태

(2) 환경규제

대기오염방지, 수질, 토양 및 지하수의 보호, 폐기물의 최소화 및 처리방법

4. 세정장치에 사용되는 기계적 에너지

4.1 분 무

분무에서는 통상 1-40 기압에서 적용한다. 거품이 생기지 않는 수계세정제는 상온과 약 75°C까지에서, 할로겐 세정제는 종류에 따라 차이가 있기는 하지만 상온에서 또는 약 110°C까지의 온도에서 분무를 한다. 분무세정방식의 특징은 노즐에서 운동에너지를 통하여 집중적인 세정을 한다. 특히 수계 세정제에서는 낮은 조성으로도 가능하다. 전체적인 세정시간은 상당히 작고 세정시에 오염물질이 부품에 재축적 되지 않는 장점이 있다. 바구니 또는 고정대를 사용하여 세정을 하며 각기의 개별적인 부품의 세정에 주로 사용된다.

4.2 고압분무

고압분무는 일반분무에서보다 훨씬 높은 40~100 기압에서 사용되며 상온에서 약 50°C까지의 온도에서 물을 사용하는데 보존제를 첨가하기도 한다. 특징은 일반 분무보다 매우 큰 운동에너지를 이용하고 순수한 물만을 사용한다. 용도로서는 외부 표면에서 오염물질을 제거하거나 페인트나 얼룩을 지우는데 사용된다.

4.3 담금(dipping)

세정제를 담은 용기에 부품을 집어넣어서 사용하는데 세정효율을 높이기 위해서 초음파 진동자를 설치하기도 한다. 수계세정제의 온도는 60~90°C, 할로겐 세정제는 상온이나 약 121°C까지 사용이 가능하다. 이 세정 방식의 특징은 부품을 회전시키거나 좌우로 흔들거나 등으로 움직여서 부품의 모든 면이 세정제와 접촉하도록 한다. 고정대에 넣어서 여러 개를 한꺼번에 할 수 있고 물감 코팅제거에 유용하다.

4.4 증기탈지

부품의 표면에 세정제 증기를 응축시켜서 오염물질을 제거하는 방식으로 비등점(40~121°C)에서의 할로겐 세정제가 사용된다. 부품이 세정제 증기에 충분히 노출되어 골고루 오염물질이 제거된다. 세정제와 재질호환성이 적은 부품에 적합하며 분무방식과 혼합하여 추가로 세정효율을 높일 수 있다.

4.5 Flood-washing

부품을 세정제에 담그고 세정제는 계속 순환시키는 방식으로 dipping와 마찬가지로 부품의 모든 면이 골고루 세정제에 노출되고 심지어 복잡한 구조를 가진 부품에도 세정제가 쉽게 접근될 수 있고 열전달 효과가 좋다. 펌프에너지와 세정시간이 오래 걸릴 수 있고 높은 농도의 세정제를 사용한다. 주요 용도로서는 분해 또는 수리를 위한 부품등에서와 같이 오염물질이 많은 경우, 분무 방식으로는 접촉 효율이 좋지 않은 좁고 긴 구멍이 있는 부품, 다량의 부품에서 작은 파편을 제거하는데 사용된다.

4.6 Injection-flood wash

부품들을 조에 담그고 가압된 세정제를 노즐을 통하여 5-10 기압에서 분사하는 방식이다. 거품이 생기지 않는 수계세정제는 약 50~75°C까지에서, 할로겐 세정제는 상온에서 또는 약 100°C까지의 온도에서 사용된다. 이 방식의 특징은 dipping 또는 injection flood-wash보다 더욱 부품의 모든 면에 세정제가 접촉되도록 하며 복잡

한 구조를 가진 부분에도 철저하게 세정을 할 수 있다. 특히 허용 기준을 맞추기 위해서 잔류 오염물질을 제거하는데 특히 유용하다.

4.7 Blow-off

온도는 상온에서 또는 120°C까지 가열하여서 공기팬을 사용하여 공기유속을 약 50m/sec 정도로 흘려서 부품에 있는 오염들을 제거하는 방법이다. 표면이나 미세한 구멍속의 수분을 제거하는 건조목적으로 주로 사용된다. 다량의 부품을 처리할 수 있는 장점이 있다. 압축공기를 사용하는 blow-off는 상온에서 1-4 기압으로 적용하며 일반 blow-off에서 보다 더욱 복잡한 구조를 가진 부품의 건조에 사용된다.

5. 대체세정기의 특성

CFC 세정제의 사용규제에 따라 기존에 일부 사용되었던 세정방법인 수세정기술이 수용성 flux에 응용되는 것이 최근 각광을 받고 있으며 대체세정제의 일부는 준수제이기 때문에 이에 상응하는 장치가 상업화되기 시작하였다. 또한 근본적으로 세정하지 않는 방법과 세정을 필요하지 않도록 하는 기술이 개발중이다. 대체 세정기술이란 기존의 여러가지 기계적인 세정방법중에서 하나 또는 복합적으로 응용하여 대체세정제에 잘 적용될 수 있도록 세정하는 방법이다.

5.1 설계방법개선

용매의 방출을 최소화하기위해서 산업계에서는 증기를 잡아서 재 사용하고 폐용매를 최소화하여 재순환시키고 환경적으로 안전하게 처리하려는 노력을 하고 있다. HCFC(HCFC 123, HCFC 141b, HCFC 225s)는 기존 세정기의 설계개선을 하여 직접 사용할 수 있기 때문에 장치 투자비를 최소화할 수 있다. 용매손실에 주로 영향을 끼치는 사항은 적절하지 못한 열수지, 공기 흐름 및 작업환경등이다.

(1) 열수지의 개선

온도를 높여 가열하는 것이 반드시 좋은 세정력을 갖는 것은 아니다. 최소한의 열을 사용하여 용매를 천천히 끓게하여 적절한 양의 증기를 만

들어야한다. 냉각수는 증기지역의 중심부에서 순환하도록 해야하고 10°C 정도로 들어와서 30°C를 넘지 않는 상온에서 배출되도록 하는 것이 바람직하다. 또한 탈지기의 보온을 잘해서 대기밖으로의 열손실을 최소화해야 한다. 증기지역 위에 냉각기를 설치하여 찬공기를 만들어서 증기확산으로 인한 열확산을 막는다.

(2) 공기흐름의 차단

작업중이 아닐 때 탈지기의 상단부의 덮개를 덮는 것은 가장 간단하면서 중요한 절감대책중이다. 덮개를 잘 사용하면 용매손실을 55%까지 줄일 수 있다. 덮개는 경첩으로 연결한 것보다 슬라이딩 방식으로 하는 것이 난류를 적게 하여 유리하다. 팬, 공기조절기, 가열기, 창문, 문등위 공기흐름에 영향을 주는 기기는 용매의 증기를 탈지기 밖으로 배출시킬 수 있기 때문에 위치선정에 유의해야하며 이로 인해서 용매손실을 30%까지 줄일 수 있다. 또한 baffle을 탈지기내에 설치하여 증기의 흐름을 제어할 수 있다. freeboard의 높이를 탈지기 폭의 75~100%로 하면 50%로 하는 것보다 약 40%까지 손실을 줄일 수 있다. 최근 시판되는 세정기는 125~160%까지 freeboard의 높이를 갖는 것이 시판되고 있다. 증기지역위에서 분무를 하는 것은 직접으로 증기-공기의 혼합물을 일으켜서 손실될 뿐만 아니라 응축하여 떨어지는 용매의 방울이 증기 경계면을 파괴하며 이는 증기-공기 혼합물의 더 혼합이 일어나게 한다. 증기지역이하에서 분무하는 것이 용매손실을 약 5% 정도 줄일 수 있다. 증기방출의 배출속도를 제어하지 못하면 증기에 난류를 형성할 수 있다. 설계시에 공기통로를 최소화하여 공기흐름을 차단할 필요가 있다.

(3) 작업절차의 변경

부품이나 부품을 담은 용기를 천천히 움직여서 증기지역을 깨는 것과 공기와 섞이는 것을 방지할 수 있다. 부품을 끌어올리는 속도를 3m/min 이하로 유지하는 것이 권장된다. 부품에 묻어있는 용매는 탈지기 밖으로 나오면 즉시 증발되기 때문에 용기내에 부품을 배출이 잘 되도록 해야한다. 부품이나 용기를 회전시키거나 움직여서 묻어있는 용매를 탈지기내에서 잘 배출되도록 한

다. 부품들이 증기온도에 도달하여 응축이 멈출 때까지는 세정공정이 끝나는 것이 아니기 때문에 부품들의 온도를 제거수준까지 올려야한다. 또한 용기의 크기가 적절해야 하는데 탈지기의 출입구를 꼭 채우는 용기는 들어가고 나올 때 피스톤의 효과로 공기와의 혼합 및 증기가 밖으로 배출될 수 있다. 용기크기는 출입구의 반정도 크기가 바람직하다. 덮개, 밧줄위 재질이 나무나 천을 사용하게되면 부품교환시에 용매손실의 원인이 될 수 있다. 탈지기에서 용매가 새지 않도록 철저한 검사를 해야한다.

5.2 수세정기술

수세정장치는 크게 두가지로 나뉘는데 대량생산시의 in-line equipment와 소량생산시의 회분식장치이다. 각기 장치들은 immersion, 분무, 초음파세정기로 세분화될 수 있으며 각방법의 원리는 위에 언급되어있다. 표 1에서는 이 세가지 유형의 장치에 대해서 장단점을 비교하였다.

수세정에서는 세정제가 미세한 구멍이나 틈새에 남아있지 않도록 주의의 해야한다. 표면장력이 낮은 세정제들은 때로 빈공간에 들어가서 표

면장력이 높은 순수한 물과 쉽게 치환이 되지 않기 때문이다. 전자산업에서 PCB에 flux를 사용하는 공정에서 수세정공정에 대한 비교가 표 2에 나타나있다. 좁은 공간에 들어가는 침투력은 표면장력과 모세관 힘에 관계가 있다. 수계세정은 CFC 113이나 1,1,1TEC세정에 비해서 효율면에서 뒤떨어질 수 있기 때문에 올바른 설계와 공정제어가 상당히 중요하다. 이에 고려할 수 있는 변수는 온도, pH, 교반, 행금물의 순도, 세척조의 성능 등이다. 부품검사는 접촉각, 탁도, ASTM F24로서 확인할 수 있다. 이밖에 전도도/저항도, 입자 counter, TOC(total organic carbon)등이 있다. 수세정에서의 큰 문제중의 하나는 건조이다. 간단한 부품은 건조가 큰 문제가 되지 않으나 복잡한 부품의 건조는 재질 및 장치설계에 신중을 기해야 한다. 물을 증발하여 제거하는 것은 에너지사용이나 작업시간면에서 항상 실질적인 것은 아니다. 여과기가 설치된 소형 송풍기는 기계적으로 물을 90% 이상 제거할 수 있다. 송풍기의 선택사항에는 압력, 유속변화를 고려해야 한다. 손쉽게 얻을 수 있는 공기는 사용하기 전에 기름, 입자, 수분등을 여과해야 한다.

표 1 수계 세정 장치

	초음파발생기와 담그는 경우	기계적교반과 담그는 경우	분 무 세 척
장 점	<ul style="list-style-type: none"> - 최고수준의 세정 (복잡한부분의 세정에 복합) - 자동화가능 - tray위에 부품을 놓고사용 - 낮은 유지비 	<ul style="list-style-type: none"> - tray위에 부품을 놓고 사용 - chip도 세척가능 - 간단한 작동 - 복잡한 부분의 세정가능 - 약간의 장치변환으로 기존 탈지기를 사용가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 높은수준의 세정 - 경제적 - chip도 세척가능 - 간단한 작동 - 대용량 - 설치간편 - 짧은 작업시간
단 점	<ul style="list-style-type: none"> - 값이 비싸다 - 경우에따라 행금조가 필요 - 부품용기의 새로운 형태 - 긴 작업시간 - 비중이 큰기름성분은 처리 불가 - 부품이나 세정기의 크기제한 - 별도의 건조가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 경우에따라 행금조가 필요 - 자동화하기가 쉽지않다 - 용액중에서 부품의 방향변환을 해야한다. - 별도의 건조기가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 경우에따라 막잔사를 제거하기위해서 행금조 필요 - 복잡한부품에는 사용불가 - 별도의 건조기 필요

표 2 수계세정공정의 비교

공 정	순수한 물	비누화제 / 물	탄화수소/계면활성제/물	알코올/물
대상 flux	수용성	rosin	rosin+SA	RA+RMA+물
필수첨가제	-	2-6% MEA 비누화제	-	-
선택첨가제	킬레iting 중성화제	-	0.1% MEA 비누화제	-
회분조	가 능	가 능	불필요	-
폐수처리	세정기에 의존, 중금속	중화+세정기에 의존, 중금속	중력차이에 의한 분리	세정기에 의존
독성	낮 음	중간-높음	낮음-중간	낮음-중간
취급난이도	쉽 다	어렵다	중 간	중 간
대기오염	낮 다	낮 다	휘발성유기용매	휘발성유기용매
세정기 복잡성	간 단	간 단	복 잡	중 간
세정기형태	회분식, 대량생산 콘베이어이용	회분식, 대량생산 콘베이어이용	회분식, 대량생산 콘베이어이용	회분식 콘베이어이용
신뢰도	높 음	중간-높음	높음-매우 높음	중간-높음
잔류이온농도 (g /cm ³ eq. NaCl)	0.2-0.8	0.3-1.0	0.1-0.6	0.8-1.0
IPC-B-25B test SIR ohm/square, 35 oC, 95% RH	109-1012	109-1012	1010-1012	2×109
비교적에너지 소모량	중 간	중 간	높 음	중간-높음
소요면적	작 다	작 다	크 다	중 간
시설 및 유지비	작 다	아주작다	매우많다.	많 다

어느 정도 정확하게 습도제어 및 공기 조절여부에 따라 세정기의 장치비가 크게 달라질 수 있다. 기계적인 수분제거에 뒤이어 증발건조는 IR 가열이나 깨끗한 공기를 가열하여 대기온도 또는 진공가열건조하에서 할 수 있다. 건조기는 in-line이나 회분식으로 할 수 있는데 건조설계는 실험을 통하여 확인을 반드시 한후에 사용해야 한다.

폐수처리나 재순환도 결정되어야 할 중요한 사항이다. 일부 계면활성제나 세척제는 생분해성이기도 하지만 경우에 따라서 세척조를 갈아서 비교적 적은 양의 폐수를 배출해야한다. 또는 물을 증발시켜서 재순환시키고 농축된 폐기물을 처리하는 방법도 생각할 수 있다. 세정액의 재순환 및 재생은 oil skimming 기술, coalescing separator 및 여과기를 사용하기도 한다.

5.3 준수세정기술

전형적인 준수세정공정은 수세정공정과 유사하다. 세정공정에서 사용되는 네가지 주요공정은 다음과 같다.

- 탄화수소/계면활성제로 세척단계
- 물로 헹굼단계
- 남아있는 물을 제거하는 건조단계
- 폐수처리

매우 청결도가 중요한 경우에는 알카리 세척제와 비이온성 물로 헹구는 단계를 추가하면 된다. 수세정과 마찬가지로 세척과 헹굼단계가 모두 순환식으로 연속적으로 배출되는 것이 아니다. 수세정과 마찬가지로 세정기는 담금이나 분무장치로 in-line 또는 회분식장치로 사용될 수 있다.

세척단계에서는 탄화수소/계면활성제가 기계

적인 에너지로서 부품에 전달되어 세정된다. 탄화수소/계면활성제 세정제는 인화점이 낮기 때문에 일반적으로 가열하지는 않지만 일부는 회석하여 약간 가열하여 사용하기도 한다. 인화점이 높은 탄화수소/계면활성제 세정제는 오염물질을 제거하기 위해서 발화점보다 10~15°C보다 낮은 온도까지 가열하여 세정한다. 가연성이 있는 세정제는 비활성조건이나 화재 예방장치없이 증기 상태나 분무상태로 사용해서는 안된다. 즉 담금상태에서 분무, 담금상태에서 회전, 초음파를 사용해서는 안된다. 물로 회석된 탄화수소/계면활성제 세정제는 가열하여 사용하기도 한다. 수세정에 비해서 탄화수소/계면활성제 세정제의 용해력이 우수하기 때문에 기계적 에너지의 사용이 적게 소모된다.

고순도 물로 행굼단계에서는 세척단계에서 남아있는 잔사들을 제거한다. 농축된 탄화수소/계면활성제 세정제가 사용되면 행굼단계가 필요한데 휘발도가 낮기 때문에 세척단계를 지난 부품들에서 증발하지 않기 때문이다. 회석된 탄화수소/계면활성제 세정제를 사용하여 세척단계후의 청결도가 요구조건에 맞다면 행굼단계가 필요 없다. 알코올이 최종 행굼단계에서 사용되기도 한다. 최종 행굼단계에서는 부식 방지제를 넣기도 한다.

수세정에서의 건조와 마찬가지로 준수세정공정에서의 건조는 최종단계로서 부품을 다음 단계로 보내거나 녹을 방지하기 위해서이다. 공기를 가열하거나 상온에서 빠른 속도로 보내는 방법으로 건조시킨다. 녹방지제를 첨가한 행굼단계를 지나왔거나 즉시 사용되지 않거나 다음공정이 wet process이면 건조단계가 불필요하다.

폐수처리단계는 항상 세정공정에서 중요한 부분이다. 폐수에서 대부분의 오염물질은 재순환시킬 때 여과기나 침전에 의해서 제거된다. 일부 상용화된 탄화수소/계면활성제 세정제는 행굼단계에서 사용한 액을 쉽게 분리할 수 있도록 하였고 폐기물은 연료로 사용할 수 있도록 하였다.

5.4 무세정기술

CFC 대체물질의 사용규제가 앞당겨짐에 따라

서 그 대응전략 가운데 하나가 PCB의 무세정 방식이다. 이방식은 아직까지는 개발단계에서 일부 실용화단계에 있고 청결도 및 부품의 신뢰성에 있어서 세정제에 의한 방법에 필적하기 위해서는 거쳐야할 기술단계가 아직까지는 존재하고 있다. 정밀기기에서 보다는 전자제품을 인쇄회로기판에 탑재시키는 실장기술분야에서 두가지 기술개발이 활발히 진행중이다. 하나는 1996년 이후에는 CFC 사용의 전면 금지에 대비한 세척이 필요 없는 고밀도 실장기술의 개발이다. 또한 하나는 금년시장에 나온 0.3mm 리드피치의 LSI를 신뢰성을 떨어뜨리지 않고 탑재시키는 실장기술의 개발이다. 첫번째의 기술은 납땜이 손쉽게 되도록 사용하는 flux를 개량하여 전극부에 바르는 flux가 적어도 납땜이 되도록 하는 기술과 금속 표면에 산화를 방지하기위해 질소분위기중에서 납땜하는 장치를 이용하는 기술이다. 두번째 기술은 인쇄회로기판 표면의 동박이나 LSI 리드에 납을 프리코팅하는 기술과 전극부에만 납을 자체 정렬식으로 공급하는 super soldering 기술등을 포함한다. 전자제품의 기능이 다양화하고 복잡해지고 소형경량화의 추세에 따라서 이에 대응하여 LSI(Large-Scale Integrated Circuit)의 속도와 기능이 중요해지고 chip이 작아지고 LSI에 보다 많은 pin을 장착하게 되었다. 자동납땜업체들은 1.0×5.0mm 크기의 극소칩, 0.3mm 간격의 QFP(Quad Flat Package)등의 고밀도 실장이 구체화 되고 있는데 신뢰성 높은 납땜기술을 추구하고 있다.

표 3에는 CFC 113 또는 1,1,1TCE의 대체정제를 사용하는 세정기의 제조회사 및 특징을 간략하게 나열하였다. 대체세정제는 크게 수계, 준수계, 염소계 세정제로 나눌 수 있고 저잔사 flux를 사용하는 방법에서의 장치가 추가되었다.

6. 대체세정기의 기술적 가능성 및 경제성

CFC를 사용하지 않는 대체 세정공정에서 고려해야 할 중요한 사항으로서는 공정 호환성, 유동성, 세정성능, 장치 투자비(세정기 구입가격 및 필요한 경우의 폐수처리비용), 유지비, 안전

표 3 대체세정기의 종류 및 특성

분 류	사용세정제	상품명, 제조회사	특 성
수 계	수계 세정제	Ciga-Wave S&C Co.	수계 강력 초음파 세정기 복잡한 금속세정물
수 계	수계 세정제	SilentSonic Sharp	무소음의 초음파 진동자 정밀금속부품, PCB
수 계	수계 세정제 (Jet Power)	Jet Washer Nissin Seiki Co.	분무식 자동 부품 세정기
수 계	수계 세정제	Ultrasonic Eng. Co.	수계 5조식 초음파 세정기 고효율 건조기 사용
수 계	수계 세정제 (Chem-Crest)	Crest Ul trasonics Co.	조간의 오염을 최소화 하기위한 drain back을 설치 Recirculated hot-air drying Tunnel recirculated hot-air drying Capillary drying system
수 계	수계세정제	Formula Series OAC WESTEK	in-line system, SMT 전용 세정기 batch, for surface mount applications
수 계	수계세정제	Omni Jet-CBW224 CBW-218 SMD Stoelting	고유의 초고압 분무방식 PCB 기판 전용 세정기
수 계	초순수, 알카리 세정제	ORBIT Horsell Eng.	회전 분무방식
수 계	Safeclean E88 CastrolSafeclean	EcoClean series D rr	Flushing, dipping, ultrasonic에 의한 세정, 녹방 지 설비
수 계	순수한 물	CL series Hitachi	액정기판용 정밀세정장치
준수계	준수계세정제 (Axarel, Bioact)	EnviroSonik (J. M. Ney Co.)	PCB 세정, 금속세정 MilSpec 2000A에 의한 전자부품의 초음파 세정, 중력분리기
준수계	Axarel 32/52 Axarel 6100/9100 Cleanthru 750H	Heartec	일반금속세정, 정밀금속세정 PCB 세정
준수계	ST-100 S	Florm	PCB 기판 전용 세정 수동식, 자동식
준수계	Bioact 세정제	EnviroClean 3000 Vitronics Co.	0.025mm간격 침투의 완벽한 세정 IPC Phase II test pass 방폭설계, 물을 재사용
세정제	AVD solvating agent 19 RinsingAgent6000	AVD 3M, Petroferm Detrex	기존의 증기세정기의 개선 두가지의 세정제를 사용하여 세정효과를 증대

표 3 계속

분 류	사용세정제	상품명, 제조회사	특 성
세정제	FRW series FRV	Techno Care Toshiba	FRV 사용으로 건조성 향상 FRV로서 증기세정 가능
세정제	IPA, MEK	TEC	자동용제재생순환기능 초음파세정, 증기세정
세정제	AK 225ca/cb	ODM Co.	closed loop system 가변식 2단 냉각기
세정제	염소계세정제 (methylene chloride, 등)	ST-degreaser NIHON KAKOHKI KOGYO Co.	증기세정, 정밀금속부품 다양한 기계적 에너지의 조합
세정제	수계, 준수계 염소계세정제	Microcel Accel	모든 세정제를 사용가능, 원심력에 의한 세정, 큰 PCB에 사용가능 세정제 손실율이 적음
세정제	HCFC-123, 141b HCFC 225 ca/cb	Super TAKE DAIWA	HCFC계 대체세정제용 세정기 세정기, 회수기, 증류기가 함께 설치
수 계 준수계	수계 세정제 준수계세정제 준수계-물, 알코올	6300 P, 9300 6307 7300 ECD	Cleaning to Mil-Spec Standards 안전설계, 전자제어 설비방식 물과알코올사용으로 세정성능 향상
수 계 준수계	수계세정제 탄화수소계	AS 18 RD SAI 18 RD Corpane Co.	Saponifier, Surfactant spary IR/air dry 고압분무, 세정제 재순환 사용
수 계 준수계 세정제	초순수, 알카리계 Terpene, 탄화수소 염소계, HCFC	KAA KAS Kitamura Co. KAO	다양한 건조장치 초음파 세정
수 계 세정제	수계 세정제 AK 225 ca/cb	Ohtsuka Industry Co.	배수처리설비 고효율 냉각기 설비
알코올	IPA	CHI-250 Koki Co.	방폭설비 강화
무세정	저잔사 flux	AT & T Low Solid Fluxer	300-1,200 g/sq. in. for flux containing 2% solids
무세정	저잔사 flux N2 사용	Seho L tanlagen	질소분위기하에서 납땜공정을 한후에 기관을 세 정하지않음. 산소농도를 10ppm 이하로 하여 산 화 방지
무세정제	UV light	Sen Engineering Co.	세정제를 사용하지 않고 UV light를 피세정물의 표면에 조사 Silicon wafer 및 plastics에 주로 적용

및 환경문제 등이다. 대체 세정공정을 선정하기 위해서는 기술적 및 경제적인 측면에서의 가능성을 기존 세정공정과 비교하는 것이 바람직 하다. Northern Telecom 회사에서는 대체 세정공정들을 비교하기 위해서 표준화된 방법을 고안하였는데 이 방법을 사용하여 간단하게 여러 대체공정 중에서 예비적으로 기술적인 가능성을 검토하는데 사용될 수 있다. 기술적인 가능성의 기준에서는 비CFC 공정과 CFC 공정을 비교하여서 어려운 정도를 지수화(difficulty index, DI)하였다. CFC 113 또는 1,1,1TCE를 사용하는 경우 환경문제로 인해서 산업적인 추세가 이들 세정제를 사용하지 않기 때문에 산업적인 추세와 환경문제의 항목은 10으로, 예비장비와 향후가격에서는 5로 정하고 나머지 항목에 대해서는 기존의 표준 세정공정으로서 1로 정하였다. 대체 세정공정에 대해서 표 4에 나타난 각 항목에 대한 점수를 정하였는데 점수는 1에서 10까지로 세분하였다. 1

은 가장 좋은 방법이고 가장 바람직하지 않은 방법은 10이다. 표 4에 나타난 각 세정제의 점수는 절대적인 것이 아니고 유동적인 것이다. 이는 최종 사용자에 따라서 오염물질이 다르고 세정 요구 조건의 차이가 있기 때문에 일반적인 점수를 정하는 것은 상당히 곤란하지만 보통의 경우를 비교하기 위한 목적으로 정한 것이다. 각기의 대체 세정공정의 장점과 필요성을 표준화하여 점수를 정하였다. 가중치는 중요하게 고려해야 할 사항에 따라서 10에서 1까지 정하였다. 결과적으로 표 4에서 보는 바와 같이 기술적인 가능성의 항목에서 CFC 113과 대체 세정제의 DI를 비교하였다. 각 항목의 가중치와 점수를 곱하고 더하면 각기의 세정공정에서의 기술적 가능성의 점수가 된다. 상대적 지수는 CFC 113을 1로 하였을 때 세정공정에 따라서 상대적인 기술적 가능성을 나타내었다.

경제성은 최종적으로 어느 대체 세정공정이 최

표 4 CFC 113과 대체세정제의 DI(Difficulty Index)

Difficulty Criterion	가중치	CFC 113	HCFC	알코올	초순수	물+계면 활성제	준수계	무세정	Inerted Wave	Inerted IR
규격에의 적합성	9	1	2	5	6	6	7	10	10	10
불량률	9	1	1	1	1	1	1	4	2	2
산업적인 추세	8	10	7	8	7	4	7	5	8	8
PCB에의 적합성	7	1	1	1	1	1	2	5	1	1
공정의 유동성	7	1	2	3	3	2	2	5	2	2
SMT 사용	7	1	1	1	2	2	2	5	5	5
예비장비	7	5	5	10	6	6	10	1	1	1
공정제어	6	1	2	6	4	6	6	9	7	7
장치호환성	6	1	1	1	5	5	5	3	3	3
생산량	6	1	1	2	1	1	2	1	6	6
인체유해 및 안전문제	5	1	1	7	2	3	6	1	5	5
환경문제	4	10	8	1	3	5	3	1	2	2
공정의 유용성	4	1	10	1	1	1	1	1	1	1
향후 가격	4	5	5	1	3	3	4	1	1	1
설치의 편의성	2	1	2	5	6	6	5	1	6	6
장치의 면적	1	1	1	5	7	7	7	1	6	6
기술적 가능성의 지수		244	272	339	320	314	397	376	390	390
상대적 지수		1.0	1.1	1.4	1.3	1.3	1.6	1.5	1.6	1.6

적인가를 결정하는 중요한 요소이다. 각 세정공정의 NPV를 계산하여 비교할 수 있다. NPV를 계산하기 위해서 공정에 관련된 제반 비용은 장시간에 걸쳐서 결정해야 한다. 가장 단순한 방법은 세정공정에 대한 투자가 원년부터 시작하여 투자회수율이 20%로 가정하고 5년간의 NPV를 계산하는 것으로 다음의 식으로 표시된다.

$$NPV = Cost + \frac{Cost_1}{(1+i)} + \frac{Cost_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Cost_5}{(1+i)^5}$$

세정공정과 관련된 비용으로서는 (1) 장치투자비, 필요한 경우의 폐기물 처리 비용 (2) 원료 물질값, 노동비, 유지비, utility 비용등의 유지비이다. CFC를 사용하지 않는 공정의 추산가격은 공정의 설계변수를 평가하는 예비 공정 설계에 의해서 얻을 수 있다. 유지비는 초기의 개념적인 값으로 추산할 수 있다. 표 5에는 CFC 공정과 비CFC 공정의 NPV를 비교한 것이다. CFC 113 공정에서는 기존의 설치가 되어있고 작업중이기 때문에 투자비를 0으로 하였다. 그러나 CFC 113의 회수를 고려하여 장치를 개선하게 되면 투자비는 별도로 계상되어야 한다. CFC 113의 NPV는 \$329,000이고 알코올을 사용하는 경우는 \$754,000이다.

7. 대체세정공정의 선정

CFC 대체세정제의 세정기술이 표 6에 나타나 있다. 최적의 대체 세정공정을 정하기 위해서 기술적 및 경제적 가능성을 검토하기 전에 현재까지 응용 가능한 세정공정들에 대한 장단점을 파악해야 할 것이다. 대체 세정공정을 선택하기 위해서는 가능성이 있는 공정을 나열하고 각 공정의 DI와 NPV의 값을 계산한다. CFC 113 공정과 비 CFC 공정의 DI와 NPV를 비교하고 모든 공정에 대해서 이 두개의 값을 얻으면 DI vs. NPV의 그래프를 작성하여 최종사용자의 원하는 세정공정을 예비적인 결정을 하게 된다. 이러한 평가방법을 토대로 DI와 NPV를 적정수준에서 결정하는 것이 바람직하고 각 대체 세정공정에 대한 합리적인 분석을 통한 선택을 할 수 있게 된다. 최종 사용자는 자신의 경우에 맞도록 DI, NPV의 값을 조절한 후에 중요도에 따라서 결정해야 한다.

8. 결 론

대체세정제의 가장 중요한 점은 우선 최적의 대체세정제가 선정되어야 하는 점이다. 전자업체

표 5 CFC 113과 알코올을 사용하는 세정공정의 NPV의 비교*

	CFC 113(×1000, \$)	알코올(×1000, \$)
투자비		
세정기	—	250
폐수시설	—	100
총투자비	—	350
유지비		
용매가격	35	25
노동비	30	30
유지비	15	50
utility	30	30
총유지비	110	135
NPV(Net Present Value)	329	754

출처 : Northern Telecom

* : 위의 가격은 비교목적적이고 특정한 상황에서 얻은 것이다.

표 6 세정기술의 장단점

세정기술	장 점	단 점
기존 염소계 증기 세정기	<ul style="list-style-type: none"> - 세정제의 구입이 용이함 - 효율적인 증기 세정법 - 작은 회분식 방법에 효과적 - 건조공정이 불필요 - 재질호환성이 우수 - 불연성 	<ul style="list-style-type: none"> - 높은 독성 - 지구 온난화에 영향 - 궁극적인 대체 세정제가 아님
HCFC 세정제	<ul style="list-style-type: none"> - CFC 113의 증기세정기에 그대로 사용 가능 - 작은 규모의 세정공정에 이상적 - 효율적인 증기 세정법 - 건조공정이 불필요 - 불연성 	<ul style="list-style-type: none"> - 오존 파괴지수가 0이 아님 - 휘발성 유기용매 - 값이 매우 비쌈 - 광범위하게 사용되지 않아서 사용자의 경험이 부족
알코올계	<ul style="list-style-type: none"> - 유기 및 이온성 오염물질에 우수한 용해력 - 전자제품과의 우수한 재질호환성 - 전자부품 세정에 오래전부터 사용 - 건조공정이 불필요 - 낮은 독성 	<ul style="list-style-type: none"> - 가연성 - 휘발성 유기용매 - 증류 재사용
수계	<ul style="list-style-type: none"> - 오래전부터 광범위하게 사용 - 장치규모에 관계없이 적합 - 수용성 flux의 활성도는 매우 높음 - 로진계 flux에도 사용가능 - 불연성 - 낮은 독성 	<ul style="list-style-type: none"> - 비경제적인 건조공정 - SMT 부품은 고압분무기가 필요 - 작은 공정에는 고압분무기 설치가 힘들 - 노즐이 막히지 않도록 연수를 사용 - 물의 정제공정이 필요 - 폐수처리시설이 필요
준수계	<ul style="list-style-type: none"> - 오염물질에 대한 우수한 용해력 - 오염이 심한 용매에도 높은 용해력이 있음 - terpene인 경우 다양한 조제에 따라 광범위하게 여러 피세정물에 적용 가능 - 장치 규모에 관계없이 적합 - 낮은 독성 	<ul style="list-style-type: none"> - 건조공정이 필요 - SMT 부품에는 분무 세정장치가 필요 - 이온성 오염물질에는 낮은 용해력 - 고농도에서 냄새의 문제 - 유출물의 처리
무세정 flux	<ul style="list-style-type: none"> - 세정공정이 불필요 - 이온성 활성물질이 로진에 의해서 안전하게 규제 - Flux 잔사가 끈적하지않고 거의 투명 - 가장 경제적인 대체 기술 	<ul style="list-style-type: none"> - 사용가능성의 충분한 검토가 필요 - 우수한 no-clean flux의 성질을 갖는 제품이 현재 개발중 - 세정요구조건이 심한 경우에는 사용하기가 불가능
제어된 환경에서 납땜	<ul style="list-style-type: none"> - 세공공정이 거의 불필요 - 납땜성능의 향상 - 기존 장치에 설치 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 세정기 가격의 비경제적 - 고순도의 비활성기체가 필요 - 대기오염의 가능성 - 고효율세정공정에 사용하기가 부적합

의 flux 제거용 필수세정제인 CFC 113와 정밀 기기 산업에서의 1,1,1TCE가 널리 사용된 이유는 세정제로서의 낮은 표면장력과 점도, 불연성 등의 고유하고 탁월한 물성, 높은 화학적 안정성, 높은 작업장 허용농도를 갖고 있기 때문이다. 현재까지 개발된 대체 물질중에서 CFC 113 또는 1,1,1TCE에 필적할 만한 우수한 세정제는

아직까지는 구하기가 힘들다. 분류별로 대체세정제는 각기 고유의 특성을 지니고 있으며 장단점이 명백하기 때문에 현재로서는 대체세정기의 특성은 이미 사용자에 의해서 선택한 각기의 대체세정제에 대한 대체세정기가 사용화 되고 있는 실정이다.