

CFC 113과 대체세정제의 세정성능 비교

노경호¹ · 최대기 · 이윤용

CFC 대체기술센터

한국과학기술연구원

(1993. 11. 18. 접수)

Comparison of Cleaning Performance of CFC 113 and the Alternatives

Kyung Ho ROW¹, Dai-Ki CHOI, Youn Yong LEE

CFC Alternatives Technology Center

Korea Institute of Science and Technology, PO Box 131, Cheongryang, Seoul, KOREA

(Received Nov. 18, 1993)

요약: 몬트리올의정서에 의하여 오존층 파괴물질로 규정된 전자산업의 필수불가결한 세정제인 CFC 113(1,1,2-trichloro 1,2,2-trifluoroethane)의 사용이 앞으로 규제가 됨에 따라서 대체세정제의 개발이 활발히 진행되고 있다. 따라서 현재 시판중인 세정제의 종류는 상당히 많다. 이 중에서 Axarel 32(DuPont), Cleanthru 750H(KAO Chemical), EC-Ultra(Petroferm)를 선정하여 CFC 113과 세정성능을 비교하였다.

CFC 113과 대체세정제의 세정성능 검사방법은 기본적인 물성측정, 재질회환성에 대한 실험, 증발속도의 측정, 오염물질의 제거효율에 관한 실험으로 구성되어 있다. CFC 113과 대체세정제들의 기본적인 물성들은 서로 상이하였다. 대체세정제는 비점이 높고 표면장력과 점도가 CFC 113보다 큰 값을 가지고 있다. 전자산업에서의 로진계 flux를 오염물질로 하고 각기의 세정제와의 용해도를 비교한 결과 비극성 유기물질인 abietic acid에 대한 용해도는 서로 유사하였으나 대체세정제의 경우 극성 유기물질에 대한 용해도는 CFC 113에 비해서 월등히 좋았다. 또한 비점이 낮은 CFC 113의 건조성은 대체세정제와는 비교할 수 없을 정도로 우수하였고 특히 대체세정제 중에서 EC-Ultra는 건조성이 매우 낮았다. CFC 113과 대체세정제에서의 PCB의 구성 재질인 FR4와 Cu-coated FR4에 대한 재질회환성은 거의 비슷하였다. Abietic acid의 제거효율에 관한 실험에서는 초음파 세정에 의해서 우수한 세정효과를 보여 주었으며 침적에 의한 세정에서는 건조성이 좋은 세정제가 유리하지만 초음파 세정에 의해서 대체세정제간의 제거효율의 차이는 거의 없었다.

CFC 113의 대체세정제로서 로진계 flux를 제거하는 대체세정제간의 세정성능은 큰 차이는 없으나 최종 세정제로 선정하기 위해서는 세정장치의 적용, 환경문제 및 경제성의 고려가 병행되어야 한다.

Abstract: According to the Montreal Protocol, CFC 113, one of the ozone-depleting substances, will be prohibited to use as a cleaning solvent essentially in the electronic industry. Therefore, the development of the alternative cleaning solvents to CFC 113 is being accelerated. A number of the alternative cleaning solvents are available on the market. The alternatives of Axarel 32(DuPont), Cleanthru 750H(KAO Chemical), and EC-Ultra (Petroferm) are chosen for the comparison of cleaning performance with CFC 113.

The test methods for measuring the cleaning performance were composed of the measurement of the physical properties, the experiments on the material compatibility with cleaning solvents, the measurement of the evaporation rate, and finally the experiments of the removal efficiency. Normally the basic physical properties of the alternatives had higher boiling points, viscosity and surface tension, which were quite different to those of CFC 113. In terms of solubility of rosin-based flux, the solubilities of abietic acid (nonpolar organic) were similar, but those of the activator (polar organic) in the alternatives were better than CFC 113. The evaporation of the alternatives was very slow, compared to CFC 113, which had much lower boiling point. All the cleaning solvents showed the good material compatibility with FR4 and Cu-coated PCB. The better removal efficiencies of abietic acid were obtained when using the ultrasonic mechanical energy over the dipping method. The experiments also indicated the very slow-evaporating solvent was not desirable with the dipping cleaning method, and the differences in the removal efficiency of the alternatives with the ultrasonic cleaning method were negligible.

Among the alternatives, the overall cleaning performances were observed as almost similar. Before selecting the ultimate cleaning solvent, the application of cleaning machine, environmental issues, and economics are simultaneously considered with the cleaning performance.

Key words : CFC 113, Alternative Cleaning Solvents, Cleaning Performance, Abietic Acid, Cleaning Test Method

1. 서론

현재 전세계적으로 시급한 문제가 되고 있는 CFC에 의한 환경문제는 1970년대 초반까지 거슬러 올라간다. 안전하다고 여겨졌던 CFC가 지구의 환경을 보호하려는 취지에서 범세계적으로 감축 및 사용금지의 초점이 되고 있다. 이를 규제하지 않을 경우 하나뿐인 지구의 환경은 점점 파괴되어 인류 생존의 터기 되지 못할 것이라는 우려가 커짐에 따라 1987년 몬트리올 의정서가 채택되어 1989년 1월 1일 발효되었고 작년 코펜하겐에서 결정한 규제일정에 의하면 1996년 이후에는 CFC의 생산이 규제됨에 따라서 CFC 사용업체에서는 CFC를 합리적으로 사용하고 절감하는 방안을 강구하지 않으면 안 될 것이고 가능한 한 CFC가 아닌 기존의 대체물질로 대체하는 노력을 강구해야 한다.¹⁻³

기존의 CFC 113 세정제는 용매로서 다음과 같은 우수한 성질이 있기 때문에 널리 사용되었다.⁴

- 1 독성이 적어 작업환경에 쉽게 사용할 수 있고 불연성으로 안정성이 높다.
- 2 열적, 화학적 안정성이 우수하여 inhibitor가 불필

요하다.

- 3 유지 및 지방에 대한 용해력이 뛰어나고 탄화수소, 알코올, 케톤, 이스테르와 혼합이 잘 되어 혼합물로서 선택적인 용해력을 증가시킬 수 있다.
- 4 CFC 세정제의 물성 중 표면장력과 점도는 낮고 밀도가 커서 전자제품 및 정밀기기의 미세한 부분까지도 세척이 가능하다.
- 5 증기압이 높고 증발잠열이 작아서 세정 후에 건조속도가 빠르고 회수시 에너지 사용량이 작고 종류 재 생산성이 좋다.
- 6 피세정 물질의 재질이 금속 뿐만 아니라 플라스틱까지 호환성이 있으며 부식성이 없다.
- 7 물에 대한 용해성이 매우 적어 용액저장이 용이하다.

지금까지의 CFC 대체물질 개발 현황을 보면 냉매로서 HFC-134a와 HFC-152a, 발포제로서 HCFC-141b와 HCFC-123 등이 대체물질로 유력하고 세정제의 경우는 다양한 종류의 대체물질이 이미 상품화되어 있다.¹⁻⁷ 그러나 피세정물질의 범위가 상당히 크고 오염물질의 양이 서로 다르기 때문에 각종 대체물질들에 대한

세정성능, 특성, 환경영향성, 경제성 등의 종합적이고 체계적인 시험방법이 필요하다.⁸⁻¹¹ 본 연구의 목적은 몬트리올 의정서에 명시된 규제물질 중에서 전자산업의 필수 세정제로 사용되는 CFC 113의 대체물질로서 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra와 기존 CFC 113의 세정성능을 비교하는 것이다. 이 물질들은 준수제 대체세정제로서 세정효율이 높은 것을 특징으로 하고 있다. 이를 위해서 세정성능의 검사는 기본적인 물성측정, 재질호환성의 실험, 증발속도의 측정, 제거효율에 관한 실험을 하였다.

표면장력	Surface Tensiometer Model CBVP-A3 (KYOWA Interface Co.)
굴절지수	BAUSCH & LOMB ABBE-3L Refractometer
비점	NIST-traceable ASTM glass thermometer
pH	DP-880M pH/ion meter
점도	Cannon-Fenske routine 점도계
인화점	Cleveland Open Cup Flash Point Tester (ASTM D-56, Precision Scientific Inc.)
용해도	HPLC(Waters)

2. 실험

본 실험에서의 오염물질은 인쇄회로기판(PCB)에 잔류하는 로진계 flux이다. PCB에서 flux를 도포하여 납땀을 한 후에 잔류한 flux 성분으로 인해서 부식이 생기지 않도록 flux를 제거해야 하는데 현재까지는 거의 CFC 113에 의존하였다. 가장 널리 사용되는 로진계 flux는 abietic acid가 주성분이고 첨가되는 활성화제로서 adipic acid, salicylic acid가 일부 포함되어 있다.

2-1. 시약 및 세정제

Abietic acid는 Sigma Chemical Co.에서, adipic acid, salicylic acid는 Kanto Chemical Co.에서 구입하여 더 이상의 정제 없이 사용하였다. HPLC의 이동상으로 사용하는 methanol은 J. T. Baker에서 구입하였다. 세정제 CFC 113은 Daikin Chemical Co.의 S-3이고 Axarel 32는 DuPont, Cleanthru 750H는 Kao Chemical Co., EC-Ultra는 Petroferm Co.에서 각각 구입하였다.

2-2. 물성 측정¹²

실험으로 측정한 CFC 113과 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra의 기본적인 물성은 밀도, 표면장력, 비점, pH, 점도, 인화점, 용해도이다. 이들 물성을 측정하여서 세정제로서의 갖추어야 할 기본적인 성질과 적용되는 세정방법을 결정할 수 있게 된다. 물성측정에 사용된 기기의 목록은 다음과 같다.

물성	측정기기
밀도	Mettler AE 163(0.1mg까지 측정 가능), 25ml 비중병

2-3. 재질호환성

재질호환성의 실험은 PCB의 재질이 세정제에서 잘 적용될 수 있는지를 알아보기 위한 것이다. 선정된 PCB의 재질은 FR4와 FR4에 Cu를 입힌 판을 사용하였다.

2-3-1. 실험조건

Test Piece의 재질	FR4
Test Piece의 크기	80×80×1.5(mm)(±1.5%)
Test Piece의 형태	(1) FR4 PCB (2) Cu Coating이 된 PCB
Test Piece의 무게	(1) 16.0g(±5.0%) (2) 18.0g(±5.0%) (3) 22.0g(±1.0%)

2-3-2. 실험방법

Stainless steel로 제작되고 두 부분으로 나뉜 material compatibility box에 FR4 재질로 된 PCB를 3개씩 holder를 사용하여 고정하고 각기의 compartment에 넣고 CFC 113과 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra의 각 세정제를 약 600cm³를 채워서 완전히 test piece가 잠기도록 한다. 50℃에서 3시간 동안 Haake에 넣은 후에 material compatibility box에서 꺼낸 test piece는 70℃에서 1시간 건조하고 무게 감소가 더 이상 없음을 확인한 후에 무게, 길이 및 두께를 vernier caliper (0.01mm까지 측정)와 저울(0.1mg까지 측정)을 사용하여 측정하였다. Cu coating이 된 PCB에 대해서도 위와 같은 방법으로 실험을 하였다.

2-4. 증발속도

세정을 한 후에 피세정물을 건조해야 하는데, 증발속도가 빠를수록 건조공정에서의 에너지의 양을 절감하고 생산량을 증가시킬 수 있다. 유리 그릇(직경: 63mm, 깊이: 31.5mm)에 세정제 약 5.100g을 넣고 20℃의 온도에서 세정제를 담은 용기를 0.1mg까지 측정이 가능한 저울 위에 놓는다. 저울의 눈금이 정확히 5.000g을 가리키면 실험을 시작하여 0.1g씩 감소한 시간을 측정한다.

2-5. 제거효율

일정한 양의 오염물질을 유리판에 입힌 후에 일정한 온도(25, 35℃)에서 초음파 세정방법으로 CFC 113과 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra의 대체세정제에 대한 오염물질의 제거효율을 비교하였다.

2-5-1. 세정조건

Test piece	Micro slides(single frosted, No. 2948, Corning) size : 1"×3"×1.0mm
Contaminants	Abietic acid(Rosin flux의 주성분)
Coating weight of abietic acid	3.5, 45.0mg
Coating area	19.35cm ²
세정 방법	초음파 세정기(Branson Model B3200R-4)
세정 시간	2 min
세정 온도	25, 35℃

2-5-2. 실험방법

- (1) 초음파 세정기에 물을 반쯤 넣고 유리 세정기에 세정용액을 60cm³ 넣는다.
- (2) Abietic acid를 입힌 test piece를 holder에 고정하여 유리 세정기 안에 넣는다.
- (3) 초음파 세정을 하는 동안 용액의 온도상승이 되지 않도록 copper tube와 Haake를 사용하여 세정제의 온도를 일정하게 유지하였다.
- (4) 25℃의 온도와 2min 동안 초음파세정을 한 후에 test piece를 꺼내서 100℃에서 60분 동안 건조시킨 후 무게를 측정하여 제거된 abietic acid의 양을 계산한다.

(5) 제거효율은 다음의 식에 의하여 계산한다.

RE(Removal Efficiency, %) =

$$\frac{\text{제거된 오염물질의 양(mg)}}{\text{초기오염물질의 양(mg)}} \times 100$$

3. 결과 및 고찰

세정제로서 기본적인 성질은 비슷한 물질끼리 서로 녹인다는 것이다. 비극성 유기물질의 오염원은 비극성 유기용매에 의해서 가장 잘 제거되며 극성 무기물질의 오염원은 극성용매에 의해서 가장 잘 제거될 수 있다. 어떤 특정 오염물질에 대한 세정제를 선정하는 기준은 효율성, 안정성, 안전성, 경제성으로 나눌 수 있다. 본 기술 논문의 세정성능은 효율성과 안전성(인화점)에 관한 것이다.

3-1. 물성측정

CFC 113과 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra의 물성을 Haake를 이용하여 25℃에서 밀도, 표면장력, 굴절지수, 비점, pH, 점도, 인화점, 용해도를 측정된 결과가 Table 1에 나타나 있다.

세정제에서 밀도가 크면 효율적으로 피세정물의 복잡한 내부로의 침투성이 좋고 오염물질의 밀도가 급속 입자를 제외한 대부분이 밀도가 1보다 작기 때문에 중력분리기에 의해서 쉽게 분리할 수 있다. CFC 113의 밀도가 1.5618g/cm³인데 비해서 순수계 세정제인 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra는 각기 밀도가 1보다 작은 0.8487, 0.9430, 0.8551g/cm³이다.

세정제는 오염원을 제거하기 위해서 세정 중에 모든 면에서 유체의 흐름이나 접촉하도록 충분한 wetting characteristics를 가지고 있어야 한다. 일반적으로 wetting은 세정제의 점도와 표면장력에 밀접한 관련이 있다. PCB에서 fluxing을 하여 납땀을 하고 난 후에 flux를 제거할 때 CFC 세정제가 압도적으로 많이 사용되는 이유는 PCB 위에 있는 복잡한 부품들을 낮은 표면장력에 의해서 구석까지 침투하여 오염물질을 제거할 수 있기 때문이다. 우수한 CFC 113 세정제의 대표적인 물성인 표면장력과 점도는 다른 세정제에 비해서

Table 1. CFC 113과 대체세정제의 물성 비교*

물성 세정제	CFC 113	Axarel 32	Cleanthru 750H	EC-Ultra
밀도(g/cm ³)	1.5618	0.8437	0.9430	0.8551
표면장력(dyne/cm)	17.4	26.1	25.1	27.1
점도(cP)	0.7572	3.0487	7.5926	5.1008
비점(℃)	48.1	218.0	103.5	>260.0
pH	9.04	7.08	9.33	4.34
굴절지수	1.3580	1.4425	1.4310	1.4316
인화점**(TCC, ℃)	없음	99.0	없음	140.55
용해도(ppm***)				
abietic acid	76,140	73,479	52,021	70,738
adipic acid	1,220	93,567	93,567	7,677
salicylic acid	820	49,274	85,662	46,174

*: 25℃

**: 400℃까지 측정

***: µg/ml

매우 낮기 때문에 전자제품 및 정밀기기의 미세한 부분까지도 세척이 가능하다. 특히 표면장력이 작으면 복잡한 형태를 가진 피세정물의 오염물질을 용이하게 제거할 수 있다. CFC 113의 표면장력과 점도는 17.4 dyne/cm, 0.7572cP로서 현재 전체 세정제 중에서 HCFC 225 ca/cb(16.2 dyn/cm, 0.7048 cP) 다음으로 가장 낮은 물질이다. 대체세정제인 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra의 값과 비교하여 월등히 낮은 우수한 값을 CFC 113이 가지고 있다.

세정제 물성 중에서 가장 중요한 것 중의 하나가 비점이다. CFC 113의 비점은 매우 낮아서 48.1℃이다. 낮은 비점을 가진 CFC 113 세정제는 증기세정을 할 수 있고 세정 후에 건조속도가 빠르고 회수시에 에너지 사용량이 작아서 유리하고 증류재생산성이 좋다. Cleanthru 750H의 비점이 물과 비슷한 103.5℃이고 Axarel 32와 EC-Ultra는 비점이 매우 높은 200℃ 이상이었다. 따라서 이러한 고비점 세정제들은 많은 에너지가 소모되기 때문에 증기세정을 하기는 곤란하며 액상상태에서 보조의 기계적 에너지를 사용하여 세정을 해야 한다.

일반적으로 pH는 세정효율과는 무관하지만 수계 및 준수계의 세정제를 사용하고 난 후에 생기는 폐수의 처리와 관련하여 수계 세정제에서는 폐수 중의 pH는 황산이나 염산을 첨가하여 조절하고 준수계 공정에서 중화는 통상적으로 필요하지 않다. Axarel 32는 중성, Cleanthru 750H는 약알칼리성, EC-Ultra의 pH는 산성이다. 한편, 굴절지수는 물질 고유의 물성으로 미지의 세정제를 간편하게 확인하는 데 사용할 수 있다.

인화점은 TCC를 측정하였다. 상온에서 400℃까지의 온도 범위에서 작은 공간에서 불꽃(크기가 약 1.0cm)을 점화하여 발화하기 시작하는 온도를 측정하였다. 세정제가 궁극적으로 세정기에서 작업자에 의해서 다루기 때문에 세정제의 인화점은 안전상 중요하다. 수계 세정제인 Cleanthru 750H는 불연성이지만 Axarel 32와 EC-Ultra는 가연성으로 인화점이 각각 99.0℃, 140.6℃이다. 그러므로 이러한 물질들은 통상적으로 세정작업의 온도가 30~50℃인 경우에서 사용해야 하고 세정기에 특수한 화재방지 설비를 갖추고 있어야 한다.

특정 오염물질에 대한 용해도는 세정제가 갖추어야

할 가장 기본적인 특성이다.¹¹ CFC 113이 세정제로서 가장 널리 사용되는 전자산업에서의 rosin flux를 오염 물질로 정하였다. 또한 본 실험에 사용된 대체세정제들도 PCB에 잔존하는 잔사를 제거하기 위한 defluxing solvent이다. Rosin계 flux의 주성분인 abietic acid와 activator로서 첨가되는 유기산인 adipic acid 및 salicylic acid에 대한 CFC 113과 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra의 용해도를 HPLC를 사용하여 측정하였다. HPLC의 이동상으로 100% methanol을 1.0ml/min의 유속과 1.0 μ l의 sample의 조건에서 실험을 하였다. 용해도를 비교한 결과 abietic acid에 대해서는 다른 대체세정제보다 약간 우수하였다. 그러나 activator로 사용되는 유기산들의 용해도는 대체세정제들이 월등히 우수하였다. 실제적인 오염물질은 극성과 비극성의 물질이 같이 존재하기 때문에 세정제는 극성과 비극성의 양면 성질을 갖기 위해 용매 혼합물과의 공비혼합물로 주로 사용되고 있다. 비극성 용매는 대개 염소계 또는 불소계 물질이 사용되며 극성 용매는 대표적으로 메틸, 에틸, 이소프로필 알코올 등이 사용된

다. 따라서 CFC 113이 상호 세정제로서는 일정량의 극성 용매를 첨가하여 공비혼합물을 만들어서 극성과 비극성의 오염물질들을 제거한다.

3-2. 재질호환성

CFC 113의 abietic acid에 대한 용해도는 다른 대체세정제에 비해서 낮지만¹³, 이에 불구하고 널리 사용되는 이유는 PCB에 많은 flux가 사용되지 않아서 CFC 113의 용해도로 충분히 제거할 수 있기 때문이다. CFC 113이 다른 세정제와 다른 점은 특이한 선택적인 용해 능력과 재질호환성이다. 일반적으로 plastic, elastomer 등의 고분자 물질이나 금속에는 침투하지 않고 flux, 기름, grease 등의 오염물질만을 선별적으로 용해하여 제거한다. 즉 저분자량의 물질이나 무극성의 유기 화합물은 잘 용해하지만 고분자물질이나 극성이 높은 물질은 거의 용해하지 않는다. 따라서 부식성이 없고 재질호환성이 우수하여 전자기기의 구성원인 부품을 손상시키지 않는다. 세정제와 피세정물의 재질의 호환성에 대한 판단 기준은 육안에 의한 관찰이 우선한다.

Table 2. 재질호환성의 실험결과*

Test Piece No.		증감률(%)			
		CFC 113	Axarel 32	Cleanthru 750H	EC-Ultra
길이	1	0.000	0.007	0.003	-0.007
	2	-0.037	-0.003	0.000	-0.003
	3	0.000	-0.023	-0.010	0.000
	4	-0.023	0.003	-0.003	-0.007
평균		-0.015	-0.004	-0.003	-0.004
두께	1	0.000	-0.200	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	0.000	0.000
평균		0.000	-0.050	0.000	0.000
부계		-0.045	-0.107	-0.065	-0.231

*: FR4

이러한 방법에 의한 판단은 주관적인 요소가 많이 포함될 수 있기 때문에 가능한 한 같은 사람에 의해서 충분히 반복 관찰하는 것이 중요하다. 재질호환성의 실험에서 관찰한 항목은 다음과 같다.

- Flaking (얇은 박편으로 되어 떨어져 나갔는지의 여부)
- Pitting (곰보처럼 움푹 들어간 곳이 있는지의 여부)
- Cracks (금이 가거나 깨졌는지의 여부)
- Gloss change (광택의 변화가 있는지의 여부)
- Color change (색상의 변화가 있는지의 여부)
- Nonrisable films(제거되지 않은 막이 형성되었는지의 여부)
- Sluffing off (걸썩질이 벗겨지는지의 여부)
- Crazing (잔금이 있는지의 여부)

PCB의 재질인 FR4와 Cu-coated FR4에 대해서 재질호환성의 실험을 한 시험판을 육안 관찰한 결과는 CFC 113 뿐만 아니라 Axarel 32, Cleanthru 750H,

EC-Ultra의 경우 위에서 지적한 현상은 나타나지 않았다. 또한 재질호환성의 실험결과를 실험 전후에서 test piece의 4변 길이, 각 변의 중심에서의 두께, 무게를 측정하여 비교하였다. Tables 2, 3에서는 각기 재질이 FR4와 Cu를 입힌 FR4의 재질에 대해서 실험한 결과를 보여 주고 있다. 평균 두께 증감률, 길이와 무게 증감률은 다음의 식으로 계산하였다.

$$\text{증감률(\%)} = \frac{\text{나중의 길이(무게)} - \text{처음의 길이(무게)}}{\text{처음의 길이(무게)}} \times 100$$

CFC 113을 기준으로 한 증감률의 변화는 각기의 대체세정제에 따라서 차이가 별로 없어서 무게와 길이 및 두께의 증감률을 기준으로 한 대체세정제의 재질호환성은 우수하였다.

3-3. 증발속도

증발감소율은 다음과 같이 정의한다.

Table 3. 재질호환성의 실험결과*

Test Piece No.		증감률(%)			
		CFC 113	Axarel 32	Cleanthru 750H	EC-Ultra
길이	1	0.000	0.000	0.000	-0.003
	2	-0.003	0.000	-0.003	0.012
	3	0.000	0.003	0.000	-0.003
	4	-0.003	0.003	0.000	-0.003
평균		-0.002	0.002	-0.001	0.001
두께	1	0.000	0.000	0.200	0.200
	2	0.000	0.000	0.200	0.200
	3	0.000	-0.400	0.200	0.200
	4	0.000	0.000	0.200	0.200
평균		0.000	-0.100	0.200	0.200
무게		-0.016	0.003	-0.026	-0.026

* : Cu coated FR4

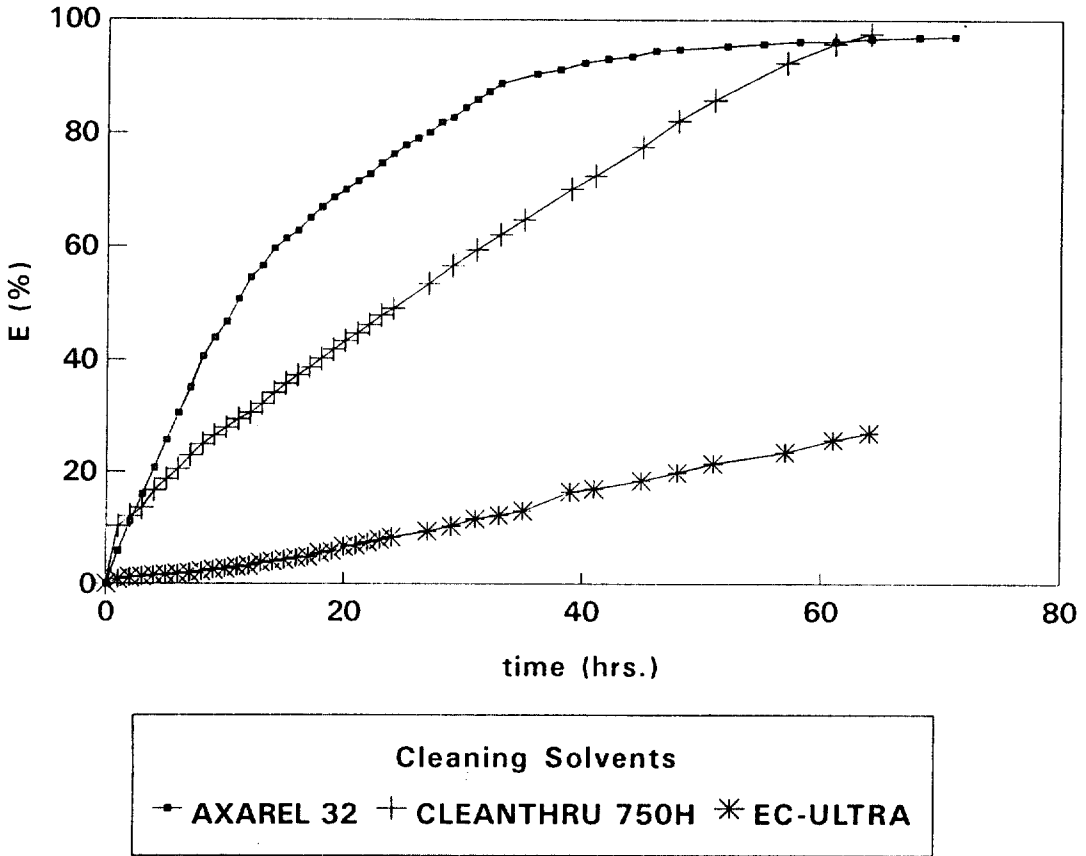


Fig. 1. Evaporation rate of alternative cleaning solvents

$$\text{감소율}(E, \%) = \frac{\text{초기의 양} - \text{남아 있는 양}}{\text{초기의 양}} \times 100$$

Fig. 1은 CFC 113과 Axarel 32, Cleanthru 570H, EC-Ultra의 시간 변화에 따른 감소율을 plot하였다. CFC 113의 비점이 48.1℃이고 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra는 고비점이다. CFC 113의 낮은 비점 물질로 증발이 훨씬 더 잘 되어서 5.000g의 세정제를 완전히 증발시키는 데 소요된 시간은 20.0℃에서 CFC 113은 50분인데 비해서 대체세정제들은 매우 증발속도가 느리다. 그 중에서 EC-Ultra는 증발속도가 매우 느림을 알 수 있다. 증발속도가 빠르면 건조성은 좋으나 증기방출에 의한 용매의 손실 및 대기오염, 지구 온난화에 미치는 영향이 단점이 될 수 있다.

3-4. 제거효율

CFC 113을 기준 세정제로 하여 유리 test piece에 3.5, 45.0mg coating된 abietic acid를 각기 대체세정제에 대해서 다음과 같은 세정방법에 의해서 한 후에 제거효율을 측정하였다.

(1) **세척단계**: 세정시간은 2분 동안 일정한 상태에서 세정온도는 25, 35℃를 변화시켰으며 기계적 에너지는 침적(dipping)과 초음파 세정의 두 가지 방법을 적용하였다. 사용한 초음파 세정기는 Branson Co.의 Model 3200이다.

(2) **헹굼단계**: HPLC용 물을 사용하여 250ml 비이커에 넣고 25℃의 항온에서 1분 동안 침적하였다.

(3) **건조단계**: 건조기는 Blue M(Model OV-510A-3)으로서 강제 순환용 오븐이고 온도와 건조시간은

Table 4. CFC 113과 대체세정제의 제거효율의 비교

세정온도		25℃			
세정방법	침적	CFC 113	Axarel 32	Cleanthru 750H	EC-Ultra
Abietic acid량	3.5mg	30.8%	22.8%	51.4%	0.0%
	45mg	0.0%	63.5%	30.7%	0.0%
세정방법	초음파				
Abietic acid량	3.5mg	63.9%	70.2%	59.4%	37.1%
	45mg	87.8%	97.4%	93.4%	97.7%
세정온도		35℃			
세정방법	침적	CFC 113	Axarel 32	Cleanthru 750H	EC-Ultra
Abietic acid량	3.5mg	29.5%	53.9%	100.0%	0.0%
	45mg	0.9%	75.8%	100.0%	0.0%
세정방법	초음파				
Abietic acid량	3.5mg	75.3%	96.1%	100.0%	93.3%
	45mg	88.2%	94.9%	100.0%	99.8%

각각 70℃에서 45분이다.

CFC 113은 비점이 낮기 때문에 주로 증기세정에 의해서 사용하지만 대체세정제와 같은 침적에 의한 세척단계만을 고려하였다. 그러나 CFC 113이 세척단계 후에 건조단계로 가는데 비해서 본 실험에 사용된 대체세정제가 준수계 세정제여서 행굼단계를 추가하였다. Table 4에서는 세정온도가 25, 35℃인 경우 제거효율을 비교하였다. 제일 명확한 사실은 세정제에 관계 없이 초음파 세정에 의한 제거효율은 침적보다 훨씬 좋은 세정효과를 얻었다는 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 CFC 113은 주로 증기세정에 의해서 이루어지고 있다. 그러나 준수계 세정제와의 세척조건을 같게 하기 위해서 3분간의 침적과 침적하에서 초음파 세정을 하였다. 대체세정제 중에서 특히 EC-Ultra는 증발속도가 매우 느리기 때문에 침적만으로는 제거하기가 힘들다. 건조단계에서는 행굼할 때에 시험판에 남아 있는 물과 세정제가 70℃, 45분의 건조조건에서도 건조되지 않기 때문에 제거효율이 0이 되었다. 초음파 세정에서의 실험 결과에 의하면 대체세정제간의 제거효율의 차이는 거의 없었다. 25℃와 35℃의 세정온도에 따른 제거효율의 변화는 CFC 113은 거의 변화가 없으나 온도가 35℃로

높아짐에 따라서 대체세정제 중에서 Cleanthru 750H는 제거효율은 100%에 도달하였다.

4. 결론

세정성능 검사는 기본적인 물성측정, 재질호환성에 대한 실험, 증발량의 측정, 제거효율의 실험에 관한 실험으로 구성할 수 있다. 오존층 파괴물질로서 생산과 사용이 규제될 CFC 113과 대체물질로서 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra를 비교한 것으로 결과는 다음과 같다.

(1) 측정된 물성 중에서 준수계 대체세정제 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra의 비점이 CFC 113보다 높고 CFC 113의 표면장력과 점도는 대체세정제에 비해서 우수하였다. Rosin flux의 주성분인 abietic acid 오염물질에 대한 용해도는 대체세정제와 CFC 113과 비슷하나 극성 오염물질인 activator에 대한 용해도는 CFC 113보다 우수하였다.

(2) PCB의 재질인 FR4와 Cu를 입힌 FR4판에서의 CFC 113과 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra 세정제에서의 재질호환성은 거의 비슷하였다.

(3) 비점이 낮은 CFC 113의 건조성은 월등히 우수하여 준수계 세정제 대체세정제는 세정방법 중에서 마지막으로 건조단계가 보완되어야 한다.

(4) Abietic acid에 대해서 침적과 초음파 세정을 통한 제거효율의 실험결과에서 Axarel 32, Cleanthru 750H, EC-Ultra 대체세정제의 제거효율은 일반적으로 CFC 113과 비교하여 우수하였다.

그러나 최종 사용자에 의해서 세정제가 완벽하게 사용되기 위해서는 위에서 언급한 세정성능은 가장 기본적인 검사방법이다. 이 방법 이외에 폐수 및 대기오염의 환경평가, 작업장에서의 최대 허용농도, 경제성 등을 동시에 종합적으로 비교해서 최종 사용자는 최적의 세정제를 선택해야 한다.

참고문헌

1. "국제환경협약의 진전과 기업의 대응방향", 대한상공회의소, 6월(1992).
2. UNEP Report : "Solvents, Coatings and Adhesives Technical Options Report", S. O. Anderson, Chairman(1991).
3. "오존층보호관련법령집", 한국정밀화학공업진흥회, 5월(1992).
4. "CFC 대체기술개발을 위한 사전조사연구", 한국과학기술연구원 보고서 UNQ24-4344-6, 11월(1991).
5. Report of EPA and ICOLP Technical Committee : "Conservation and Recycling Practices for CFC 113 and Methyl Chloroform"(1991).
6. Report of EPA and ICOLP Technical Committee : "Aqueous and Semi-Aqueous Alternatives for CFC 113 and Methyl Chloroform Cleaning of Printed Circuit Board Assemblies"(1991).
7. Report of EPA and ICOLP Technical Committee : "Alternatives for CFC 113 and Methyl Chloroform in Metal Cleaning"(1991).
8. 노경호, "세정제의 특성검사방법(I), (II)", 전자진흥(전자공업진흥회), 10월호, pp. 31, 11월호, pp. 23(1992).
9. 노경호, "CFC 113의 사용규제에 대비한 전자산업의 대응방안", 전자부품, 10월호, 70(1992).
10. 노경호, 최대기, 이윤용 : "CFC 대체세정제의 특성", 화학공업과 기술지, 10(5), 328(1992).
11. 노경호, 이윤용 : "CFC 113의 대체세정제", 분석과학, 5(3), 166A(1992).
12. 노경호, 이윤용 : "CFC 대체세정제의 물성비교", 분석과학, 6(1), 65(1993).
13. 노경호, 이윤용 : "세정제에서 abietic acid의 용해도 측정", 화학공학, 31(6), (1993).