

계면활성제 무첨가 세정제의 배합 및 물성/세정성 평가 연구

이재령, 윤희근, 이민재, 배재흠*, 배수정[†], 이호열[†], 김종희[†]

수원대학교 화학공학과
445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우안길 17
[†](주)에이케이캡텍
300-345 대전광역시 유성구 신성남로 120

(2013년 6월 17일 접수; 2013년 7월 27일 수정본 접수; 2013년 7월 29일 채택)

A Study on Formulation of Surfactant-free Aqueous Cleaning agents and Evaluation of Their Physical Properties and Cleaning Ability

Jae Ryoung Lee, Hee Keun Yoon, Min Jae Lee, Jae Heum Bae*
Soo Jeong Bae[†], Ho Yeoul Lee[†], and Jong Hee Kim[†]

Department of Chemical Engineering, The University of Suwon
17, Wauan-gil, Bongdam-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-743, Korea
[†]AK-Chemtech Co., Ltd
120, Sinseongman-ro, Yuseoung-gu, Deajeon 300-345, Korea

(Received for review June 17, 2013; Revision received July 27, 2013; Accepted July 29, 2013)

요 약

본 연구에서는 계면활성제에 의한 수계 세정제의 문제점을 해결하고자 친환경적이고 계면활성제가 없는 수계세정제 개발 연구를 진행하였다. 이를 위하여 전자 부품 세정대상의 주 오염물인 플럭스(flux)에 대해 용해력이 있고 수용성인 propylene glycol과 propylene glycol alkyl ether계 용제를 주성분으로 하고 여기에 여러 첨가제를 가하여 수계 surfactant-free 세정제 S-1, S-2를 배합하였고, 이들 개발세정제와 비교대상의 수계 surfactant-free 수입 세정제의 물성을 측정하여 세정성능을 예측하고 오염물인 플럭스와 솔더(flux and solder) 대하여 중량법을 이용한 초음파 세정성 평가를 진행하였다. 물성 측정 결과 비교대상 세정제인 수입세정제 V는 본 연구에서 개발한 배합세정제 S-1과 S-2의 세정제와 전반적으로 비슷한 결과 값을 가짐을 확인할 수 있었다. 비교대상 세정제 V와 배합세정제 모두 원액을 희석함에 따라 pH가 저하되다가 다시 상승하는 것이 관찰되었으며 습윤지수값은 세정능력에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다. 다양한 초음파 주파수(28, 45, 100 kHz)를 사용한 세정성 평가 실험 결과에서 솔더(solder)의 세정은 주파수 45 kHz에서 세정 성능이 가장 좋게 나타났고 플럭스(flux)의 세정 성능 결과는 실험 대상의 모든 세정제가 주파수 28 kHz에서 세정 성능이 가장 좋게 나타났다. 희석하지 않은 원액세정제의 플럭스 및 솔더(flux and solder) 세정의 경우 배합세정제 S-1, S-2 모두 수입세정제 V보다 빠른 세정력을 보여 주었다. 그러나 수입세정제 V의 권장 사용농도인 25%에서는 수입 세정제 V가 배합세정제 보다 초기 세정효율이 좋음이 확인되었다. 따라서 본 실험결과를 가지고 판단할 때, 본 연구에서 개발한 배합세정제 S-1, S-2는 충분히 산업현장의 플럭스 및 솔더(flux and solder) 세정에 적용이 가능할 것으로 판단되어진다.

주제어 : 수계 세정제, 계면활성제 무첨가, 플럭스세정, 솔더세정, 초음파 세정

Abstract : Environment-friendly and surfactant-free aqueous cleaning agents have been developed in order to solve various problems generated by surfactants in the aqueous cleaning agents. Aqueous surfactant-free cleaning agents, S-1 and S-2 have been formulated with water-soluble solvents such as propylene glycol and propylene glycol ether on their main components and with some additives. These solvents were chosen because of their good solubility in water and excellent solubility of fluxes which are major contaminants of printed circuit board in the electronic industry. Physical properties of the formulated and the imported cleaning agents were measured to predict their cleaning performance, and their cleaning abilities of flux and solder contaminants were evaluated under the various ultrasonic frequencies by a gravimetric method. The measurement results show that the physical properties of cleaning agent V are generally similar with those of formulated cleaning agents S-1 and S-2. Both the cleaning agent V and the formulated

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: jhbae@suwon.ac.kr

doi:10.7464/ksct.2013.19.3.219

cleaning agents S-1 and S-2 showed similar trends that their pH decrease in the beginning and then increases later on with the increase of their dilution in water. It is considered that the wetting indices of the cleaning agents calculated with experimental values do not have any influence on their cleaning ability. In ultrasonic cleaning tests under three ultrasonic frequencies of 28, 45, and 100 kHz, their best performances of cleaning solder and flux were obtained at 45 kHz and 28 kHz, respectively, and the cleaning performance of the formulated cleaning agents S-1 and S-2 was better than that of the cleaning agent V. However, in the case of the recommended diluted concentration of 25 wt% cleaning solution, the cleaning performance of the cleaner V for solder and flux was better in the initial stage of cleaning compared to the formulated cleaners. And it may be concluded that the formulated cleaning agents S-1 and S-2 can be applied to cleaning of solder and flux in the industry, based on the experimental results in this study.

Keywords : Aqueous cleaning agents, Surfactant-free, Flux cleaning, Solder cleaning, Ultrasonic cleaning

1. 서론

근래에 들어 국내외적으로 대체세정제로 각광을 받고 있는 수계 세정제는 순수, 수돗물과 같이 물만을 사용하거나 물을 주성분으로 하고 여기에 산, 알칼리, 계면활성제를 소량 첨가하여 이용하고 있다. 수계 세정제는 친수성 오염물질인 무기 물질이나 극성 오염물질의 세정에 주로 사용되고 화재나 인체의 유해성이 매우 적거나 전혀 없어 다른 세정제에 비하여 보다 환경 친화적이라 할 수 있다. 그러나 수계세정제의 특성상 대부분 습윤성, 유화력을 증가시키기 위해 계면활성제를 필수적으로 함유하고 있다. 그러나 계면활성제를 함유한 수계세정제는 행금액의 화학적 산소 요구량(chemical oxygen demand, COD)이 높은 문제점을 지니고 있으며, 건조 후 피세정물에 계면활성제가 잔류하여 세정불량을 발생시키거나 후속공정에 문제를 일으킬 수 있다. 또한, 계면활성제는 오염물질을 세정한 후에 오염물질과 에멀전을 형성하여 세정에 필요한 계면활성제의 농도를 저하시켜 세정력이 감소하며 세정제의 사용시간을 단축시키는 문제점이 있다[1].

대체 세정제로서 계면활성제를 함유한 수계세정제의 연구는 많이 이루어져 왔다[2-5]. 하지만 계면활성제를 함유하지 않은(surfactant-free) 수계 세정제에 대한 연구발표는 지금까지 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 계면활성제를 사용하지 않아 계면활성제에 의한 수계 세정제의 문제점을 해결하고 인체 유해성과 환경 위험성이 없는 친환경 수계 세정제를 개발하고자 하였다.

계면활성제를 함유하고 있는 기존의 수계 세정제의 경우, Lange[6]이 제시한 롤링업메카니즘(rolling-up mechanism)원리로 오염물질의 피세정물 접촉부에 침투하여 오염물질을 탈착시키고 유화시켜 제거한다. 이에 비하여 Figure 1과 같이 계면활성제 무첨가(surfactant-free) 수계 세정제의 경우, 극성/비극성 용제의 용해성과 기계적 에너지에 의하여 세정이 진행된다. 초음파, 스프레이 등 외부의 기계적 에너지에 의하여 세정제 중에 함유되어 있는 용제가 피세정물의 오염물질과 접촉하여 이를 용해시킨 후에 용해된 오염물이 피세정물에서 떨어져 나가 세정이 된다. 피세정물에서 떨어진 오염물들은 물에 대하여 불용성을 띄어 Figure 1에 나타난 바와 같이 용제와 마이크로상(micro phase) 형태로 세정액에 존재하게 되고 표면으로 부상되어 쉽게 오염물질을 제거할 수 있게 된다[7-9].

이러한 계면활성제를 함유하지 않은 수계 세정제 내에 존재하는 용제의 유기 오염물질에 대한 용해성은 Hildebrand의 이

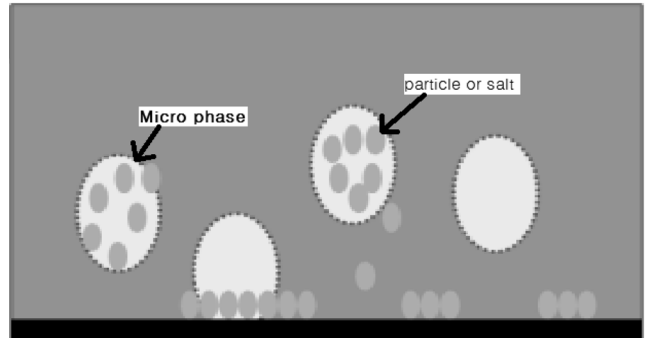


Figure 1. Cleaning principle of surfactant-free aqueous cleaning agents.

론에 따라 용해도매개변수(solubility parameter)로 나타낼 수 있다[10,11]. 세정제에 함유되어 있는 용제는 오염물질을 제거하기 위해서 이들 오염물질과 유사한 용해도매개변수 값을 가져야만 세정제가 오염물질을 보다 쉽게 용해시킬 수 있다. 세정용제, 고분자 수지, 유기오염물 등과 같은 물질의 용해도매개변수(solubility parameter)는 Hildebrand의 이론에 따라 아래 식 (1)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\delta = \sqrt{\frac{E_{coh}}{V}} = \sqrt{\frac{\Delta H - RT}{V}} \quad (1)$$

δ : Solubility parameter

E_{coh} : Cohesive energy density

ΔH : Heat of vaporization

R : Gas constant

T : Temperature

V : Molar volume

Hildebrand의 이론에 따르면 용제, 고분자 수지, 유기오염물질은 분산력(dispersion force) 이외에 극성력(polar force)그 룩과 수소결합력(hydrogen bonding force)의 상호작용의 영향을 받고 있어 용해도 매개변수를 추정할 수 있으며 용해도 매개변수가 서로 근접할 경우 고분자 수지나 유기오염물질은 용제에 잘 용해할 수 있다는 것이다[12].

본 연구에서는 용해도 매개변수를 기반으로 전자부품 세정 대상의 주 오염물인 플럭스(flux)에 용해력이 있고 수용성인 용제를 주성분으로 계면활성제를 함유하지 않은 배합세정제를 개발하였다. 또한 이들 세정제와 비교대상인 계면활성제 무첨

가 수입세정제의 물성을 측정하여 세정성능을 예측하고 오염물인 플럭스와 솔더(flux and solder)에 대하여 중량법을 이용하여 초음파 세정성 평가를 진행하였다.

2. 실험방법

2.1. 배합세정제의 원료물질 선정 및 세정제의 배합

본 연구에서는 인쇄회로기판(printed circuit board, PCB) 등 전자 부품 세정대상의 주 오염물인 플럭스(flux)에 용해력이 있고 수용성인 프로필렌글리콜과 프로필렌글리콜 알킬에테르계 용제를 주성분으로 하고 여기에 여러 첨가제를 가하여 수계 계면활성제 무첨가 배합세정제를 개발하였다. 이들 용제들의 용해도 매개변수는 Table 1과 같으며 플럭스(flux)의 용해도 매개변수 값은 $21.93 \text{ Ma}^{1/2}$ 이다[4].

글리콜에테르계 물질은 유화력이 좋아 여러 종류의 세정제 배합에 기초 원료로 현재 사용되고 있으며 플럭스, 오일, 잉크(flux, oil, ink) 등을 제거하거나 반도체로부터 유기물 제거에 사용되는 등 여러 산업 분야에서 용제로 많이 사용되고 있어 이들 물질이 유기물질에 대한 용해력이 좋고 특히, 프로필렌글리콜에테르계 용제는 친환경적인 용제이다. 그리고 습윤제 역할을 할 첨가제로 아세틸기를 가진 유기물질을 선정하였다.

배합세정제의 주요 원료 물질인 프로필렌글리콜과 프로필렌글리콜 알킬에테르 용제(G₁, G₂, G₃, G₄)의 물성을 Table 1에 나타내었고 배합세정제 S-1, S-2의 원료물질 혼합비율을 Table 2에 나타내었다.

2.2. 세정대상 오염물 선정 및 오염물 도포방법

플럭스(flux)는 인쇄회로기판(printed circuit board, PCB)과 인쇄배선조립기판(printed wiring board, PWB)의 조립 생산 과정의 납땜작업에서 접합부를 깨끗이 하고 접합시 산화물이 생기는 것을 방지하며 접합을 원활히 하기 위해서 사용되고 있다. 플럭스의 주원료인 아비에틱산(abietic acid)은 납땜 전에 재

오염을 방지하기 위하여 세정된 납을 도포할 때 사용된다. 따라서 이들은 작업공정 후 모두 제거되어야 할 오염물질에 해당한다. 본 연구에서 사용된 아비에틱산(abietic acid)은 한국 알드리치(Aldrich)의 제품으로 순도 75%의 제품을 정제 없이 사용하여 실험에 임하였다.

솔더(solder)는 금속납땜용 합금이라고도 한다. 녹는점과 경도에 따라 연납과 경납으로 나뉘지는데, 어느 것이나 납땜 대상 금속의 녹는점보다도 낮은 온도에서 녹아야 하며, 납땜 후 대상금속과 잘 밀착되어야 한다. 본 실험에서 사용된 솔더(solder paste)는 한국 서울합금사의 무연솔더 Sn-3.0, Ag-0.5, Cu (20~38 μm) LST309-M제품을 사용하였다.

플럭스(flux)는 아비에틱산(abietic acid, aldrich, 75%)을 이소프로필알콜(isopropyl alcohol, 98%) 용액에 용해시켜 표면 처리된 구리(copper)재질의 $20 \times 100 \times 0.1 \text{ mm}$ 시편 위에 마이크로 피펫으로 흐르지 않도록 도포한 후 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 24시간 구워낸 후 실험에 임하였으며 솔더(solder paste) 역시 같은 시편을 사용하였지만, 세정제와의 용해력 및 결합력을 관찰하기 위하여 라텍스 글러브를 이용해 시편위에 일정량의 솔더(solder paste)를 균일하게 도포하여 사용하였다.

2.3. 물성 측정 방법

본 연구에서는 비교대상의 계면활성제 무첨가 수입세정제 V와 배합세정제 2종(S-1, S-2)의 물리적 성질을 측정하였다. 물성측정항목으로는 pH (HANNA HI8424, Korea), 비중(표준 비중계 B type, 정밀도: 0.005, 길이: 165 mm), 점도(AND SV-10, Japan), 표면장력(SEO DST160, Korea), 화학적 산소 요구량(chemical oxygen demand, COD) (KMnO₄ method, KSM 0111 15~18), 수분함유량(Mettler Toledo, V20 Volumetric KF Titrator) 등을 측정하였고 습윤지수를 계산하여 세정성능을 예측하였다.

2.4. 세정성능 평가 방법

세정성능 평가 방법으로 초음파 세정(ultrasonic cleaning)을 각각 28, 45, 100 kHz에서 수행하였다. 세정제의 세정성능 평가 절차는 비교대상 세정제 V와 배합세정제 2종을 각각 10, 15, 20, 25 wt%를 초순수로 희석 제조한 후 희석된 세정액과 희석하지 않은 100 wt% 세정제 원액을 50 mL 바이알에 40 mL를 담은 후 1시간 동안 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 항온조에 넣은 후 세정액의 온도를 일정하게 유지시켰다. 그리고 시편의 도포 전후 무게를 측정하여 실험 준비를 하였다. 그리고 각 시편을 세정제가 담겨진 바이알에 28, 45, 100 kHz의 초음파를 가하여 도포된 시편을 침지시켜 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30분 단위로 초음파 세정을 한 후 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온풍건조기에 넣어 10분 동안 건조하였다. 건조 후 2분간 방냉 후, 시편의 무게를 측정하여 아래 식 (2)에 의하여 세정효율을 계산하였으며, 각 조건의 변화에 따른 세정성능을 평가하여 상호 비교하였다.

$$\text{Cleaning efficiency (\%)} = \frac{(\text{Initial contaminant weight} - \text{Residual contaminant weight})}{\text{Initial contaminant weight}} \times 100 \quad (2)$$

Table 1. Physical properties of various propylene glycol-type solvents for formulation of surfactant-free cleaning agents

Raw Materials	Physical properties	Density (g/cm ³)	Vapor pressure (hPa, 25 ^o C)	Boiling point (°C)	Solubility parameter (MPa ^{1/2})
G1		0.919	15.70	118	20.7
G2		0.879	1.39	171	18.9
G3		0.951	0.55	190	17.6
G4		1.036	0.17	188	25.8

Table 2. Formulation ratio of formulated cleaning agents

Cleaning agents	Raw materials	DI water	Propylene glycol ether (G ₁ ~G ₄)	Wetting agent	Total
S-1		10	90	-	100
S-2		10	85	5	100

Table 3. Physical properties of surfactant-free formulated cleaning agents (S-1, S-2) and their dilute solution at ambient temperature

Physical properties		pH	Moisture content(%)	COD (ppm) 10,000 × 1,000	Surface tension (dyne/cm)	Density (g/cm ³)	Viscosity (cP)	Wetting index
Cleaning agent V	100 wt%	4.61	10.12	149,600	28.87	0.937	4.78	6.79
	25 wt%	3.41	-	80,000	28.96	1.000	2.23	15.48
	20 wt%	3.47	-	73,000	29.43	1.000	1.71	19.86
	15 wt%	3.52	-	42,800	30.34	1.000	1.43	23.04
	10 wt%	3.61	-	35,300	33.62	1.000	1.23	24.18
S-1	100 wt%	5.27	10.82	150,600	27.97	0.935	2.63	12.71
	25 wt%	5.22	-	96,000	27.90	0.994	2.09	17.04
	20 wt%	5.31	-	82,000	28.62	0.996	1.81	19.22
	15 wt%	5.41	-	66,000	29.05	0.998	1.51	22.75
	10 wt%	5.47	-	46,600	31.77	0.998	1.49	21.08
S-2	100 wt%	5.30	10.93	150,000	27.68	0.931	2.73	12.32
	25 wt%	4.83	-	104,000	26.89	0.992	1.98	18.63
	20 wt%	4.96	-	86,000	26.95	0.994	1.88	19.61
	15 wt%	5.06	-	75,400	27.57	0.995	1.65	21.87
	10 wt%	5.20	-	50,000	28.95	0.996	1.50	22.93

3. 실험 결과

3.1. 물성 측정 결과

3.1.1. 물성 측정 결과

비교대상 세정제 V와 본 연구에서 배합한 계면활성제 무첨가 수계 세정제 2종인 S-1, S-2에 대하여 농도에 따른 물성 결과값을 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 보듯이 배합세정제 모두 비교대상 세정제와 유사한 물성을 나타냈다.

Figure 2에 비교대상세정제 V와 배합세정제 S-1, S-2 그리고 이들 세정제의 주요 원료가 되는 프로필렌글리콜 에테르의 물의 희석에 따른 pH 변화를 나타내었다. 그림에서 보는 바

와 같이 세정제 희석 농도에 따라 pH가 변하는 특이한 경향을 나타내었다. 세정제 V의 원액에서 물로 희석함에 따라 50 wt% 희석 농도까지는 pH가 저하 되고 50 wt% 희석 농도 이상부터는 용액 중에서 물의 양이 많아지면서 pH가 다시 상승하는 값을 보여주고 있다. 배합세정제 S-1, S-2의 pH도 비교대상 세정제와 같이 원액 세정제가 희석되면서 pH가 감소하다가 다시 증가하였지만 비교대상의 세정제 V와 비교하여 그 변화의 폭이 매우 적음이 확인되었다. 이러한 현상은 실험결과에서 확인할 수 있듯이 세정제에 함유된 프로필렌글리콜 알킬에테르계 용제가 물의 희석 비율에 따라 해리도가 달라지면서 발생하는 것으로 확인되었다.

표면장력은 세정제의 친수성이나 소수성을 구별하거나 습윤지수를 통하여 세정제의 침투력을 예측 가능하게 하는 지표로서 비교대상 세정제 V의 경우 표면장력은 희석비율에 따라 28.87~33.62 dyne/cm이었고 배합세정제 S-1은 27.97~31.77 dyne/cm과 같이 물에 희석함에 따라 그 값이 증가하였다. 배합세정제 S-2는 26.89~28.95 dyne/cm로 희석비율에 무관하게 비교적 적은 표면장력을 가지는데 이는 배합시에 습윤제를 첨가하였기 때문으로 판단된다. 비교대상 세정제 V보다 S-1, S-2의 세정제가 표면장력이 약간 더 낮은 값을 보여주고 있어 오염물에 대해 침투력이 조금 더 좋을 것으로 판단된다.

비교 대상 세정제 V와 배합세정제 S-1, S-2 모두 원액은 물보다 밀도가 적은 용제가 함유되어 있어 물의 밀도인 1.000 보다 작았지만 10~25 wt%로 희석함에 따라 물과 거의 비슷한 값을 나타내었다.

일반적으로 세정제의 점도는 작을수록 세정액 속에서 오염물의 이동이 빠르게 되어 오염물이 피세정물에서의 제거가 용이하게 되고 그에 따라 세정효율도 증가될 수 있는 물성으로

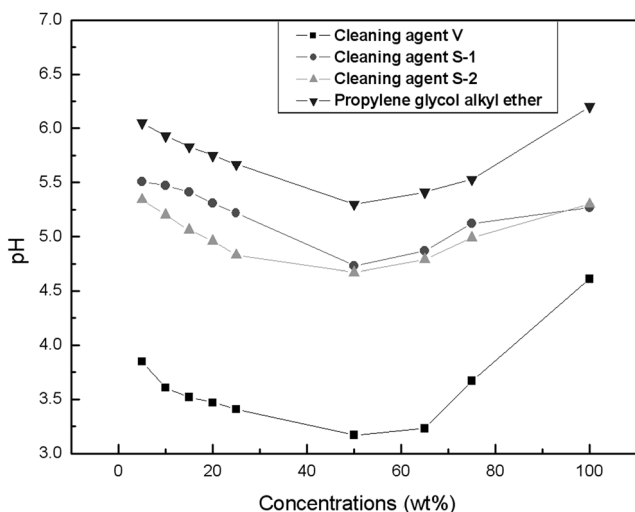


Figure 2. Behavior of pH change of cleaning agents V, S-1 and S-2 with their dilution.

서 원액에서 물에 희석할수록 낮아짐을 확인할 수 있었고 비교 대상 세정제 V의 점도가 배합세정제 S-1, S-2 보다 4.78 cP로 높았지만 10~25 wt% 희석했을 때 1.23~2.23 cP로 배합세정제 S-1, S-2 보다 낮음을 보여주었다.

3.2. 세정성 평가 결과

본 연구에서 개발한 배합세정제 S-1, S-2와 비교대상 세정제 V의 초음파 주파수 변화에 따른 플럭스와 솔더(flux and solder)의 세정성 평가 결과 주파수가 28, 45 kHz일 때는 우수하였지만 100 kHz에서의 세정은 모두 세정효율이 매우 저조함을 보여주었다. 이것은 초음파 주파수가 100 kHz일 경우 캐비테이션 효과에 의한 힘이 약하기 때문에 세정이 거의 이루어지지 않은 것으로 추정된다. 그리고 이들 세정제의 희석 농도 변화에 따른 세정성 평가 결과 배합세정제 S-1, S-2와 비교대상 세정제 V 모두 원액 세정제와 25 wt% 희석세정제가 우수함을 보여주었다. 아래에 주파수가 28, 45 kHz에 따른 원액 세정제와 25 wt%로 희석된 세정제에 대한 연구결과를 제시하였다.

3.2.1. 플럭스(flux)의 세정성 평가 결과

본 연구에서 개발한 배합세정제 S-1, S-2와 비교대상 세정제 V와 초음파 주파수 변화에 따른 플럭스(flux) 세정성 평가 결과를 Figure 3~6에 나타내었다.

Figure 3과 4는 원액 세정제의 초음파 세기에 따른 플럭스(flux) 세정을 보여주는 실험결과이다. 비교대상의 원액 세정제 V의 경우 초음파의 세기 변화에 관계없이 28, 45 kHz 모두 2분 이내에 세정이 완료되는 것을 확인할 수 있었다. 배합세정제 S-1의 경우 28, 45 kHz 모두 1분 이내에 세정이 완료되었고, 28 kHz의 경우 30초에 100% 세정이 완료됨을 보여주어서 가장 세정효율이 좋음을 확인할 수 있었다. 이에 비하여 습윤제가 함유된 배합세정제 S-2의 경우 28 kHz에서 1분만에 세정이 완료되었지만, 45 kHz에서는 5분만에 세정이 완료되어 다른 세정제보다 세정효율이 떨어짐을 확인할 수 있었으며 원액 세정제의 경우 실험 대상 세정제 모두 28 kHz가 세정력이 우수한 것으로 나타났다.

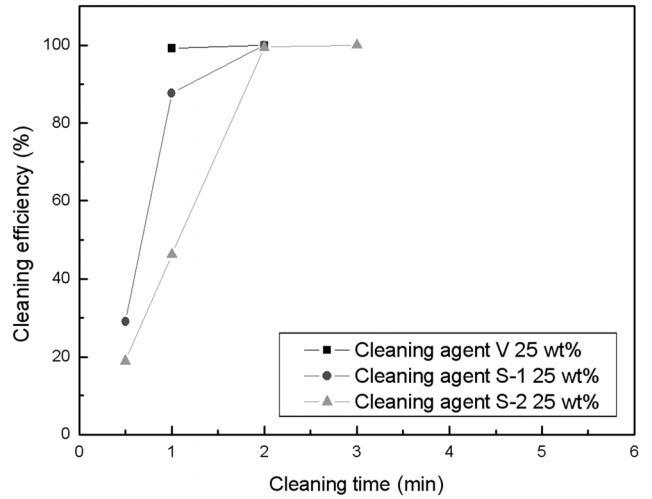


Figure 4. Comparison of flux cleaning efficiency of 25 wt% diluted cleaning agents at 28 kHz ultrasonic frequency.

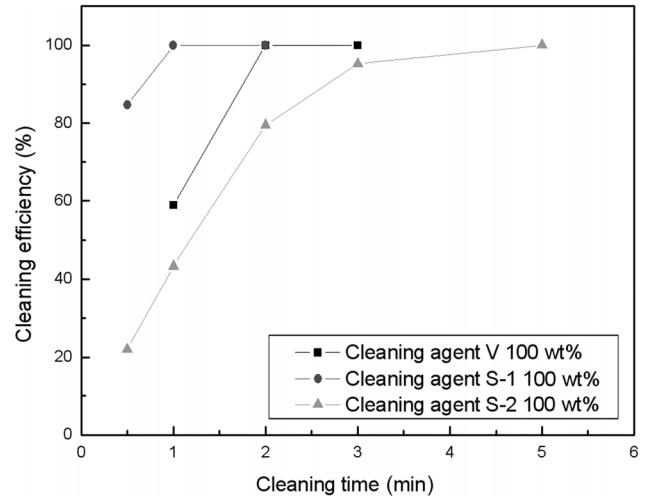


Figure 5. Comparison of flux cleaning efficiency of undiluted cleaning agents at 45 kHz ultrasonic frequency.

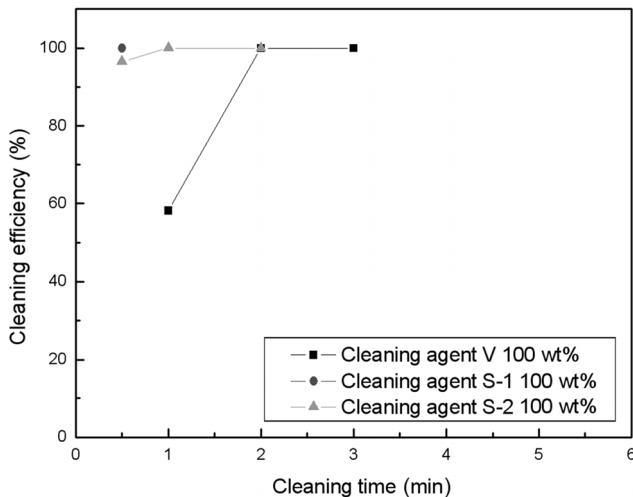


Figure 3. Comparison of flux cleaning efficiency of undiluted cleaning agents at 28 kHz ultrasonic frequency.

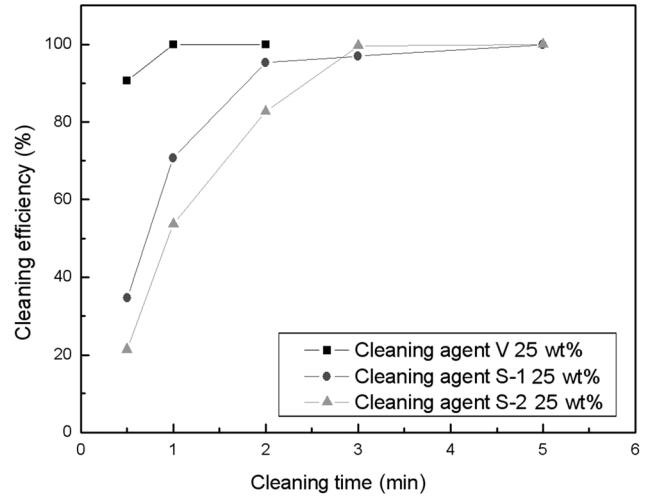


Figure 6. Comparison of flux cleaning efficiency of 25 wt% diluted cleaning agents at 45 kHz ultrasonic frequency.

Figure 5와 6에서는 비교대상의 희석 세정제 V의 경우 28, 45 kHz 모두 1분 안에 세정이 완료됨을 확인할 수 있었다. 배합세정제 S-1의 경우 28, 45 kHz에서는 2분에 세정이 완료됨을 확인할 수 있었다. 그리고 습윤제가 함유된 배합세정제 S-2의 경우 28 kHz에서는 2분에, 45 kHz에서는 3분에 세정이 완료되어 실험대상의 세정제 중에 가장 세정력이 저조함을 확인할 수 있었다. 따라서 25% 희석 세정제의 경우 세정제 V가 가장 세정력이 좋음이 확인되었고 습윤제가 들어간 세정제 S-2가 가장 저조함을 보여주었다. 이것은 플럭스(flux) 세정은 세정제의 습윤력보다 주로 용해력에 기인한 것으로 추측되고 25 wt% 희석 세정제의 경우도 초음파세기가 28 kHz 가 45 kHz 보다 세정력이 우수함을 보여주었다.

3.2.2. 솔더(solder)의 세정성 평가 결과

본 연구에서 개발한 배합세정제 S-1, S-2와 비교대상 세정제 V와 초음파 주파수 변화에 따른 솔더(solder) 세정성 평가 결과를 Figure 7~10에 나타내었다.

Figure 7과 8은 원액 세정제의 초음파 세기에 따른 솔더(solder) 세정을 보여주는 실험 결과이다. 습윤제가 함유된 배합세정제 S-2의 경우 초음파 세기가 28 kHz일 때는 2분 45 kHz일 때는 1분 안에 세정이 완료되어 세정율이 가장 우수하였다. 비교대상 세정제 V의 경우 28, 45 kHz 모두 6분 이상까지 세정을 진행시켜야 세정이 완료됨을 보여주었고 배합세정제 S-1의 경우 28, 45 kHz에서 각각 3분, 2분안에 세정이 완료되어 세정제 S-2 보다 세정 효율이 떨어지지만 비교대상 세정제 V보다 좋은 세정율을 보여주었다. 그리고 원액 세정제의 경우 28 kHz 보다 45 kHz가 우수함을 보여주었다.

Figure 9와 10은 세정제를 25 wt%로 희석하였을 때의 세정 효율을 나타내는 실험 결과이다. 28 kHz의 초음파 주파수를 사용할 경우 습윤제를 함유한 배합세정제 S-2가 2분안에 세정이 완료되어 비교 대상의 세정제 V와 배합세정제 S-1보다 우수함을 보여주었고 45 kHz의 초음파 주파수를 사용할 경우

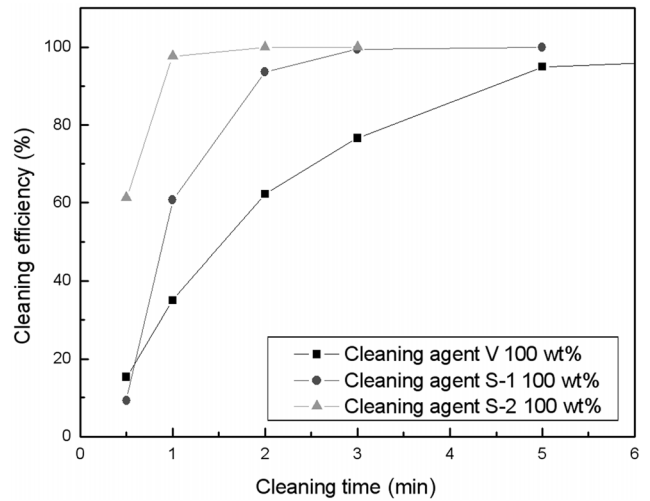


Figure 8. Comparison of solder cleaning efficiency of undiluted cleaning agents at 28 kHz ultrasonic frequency.

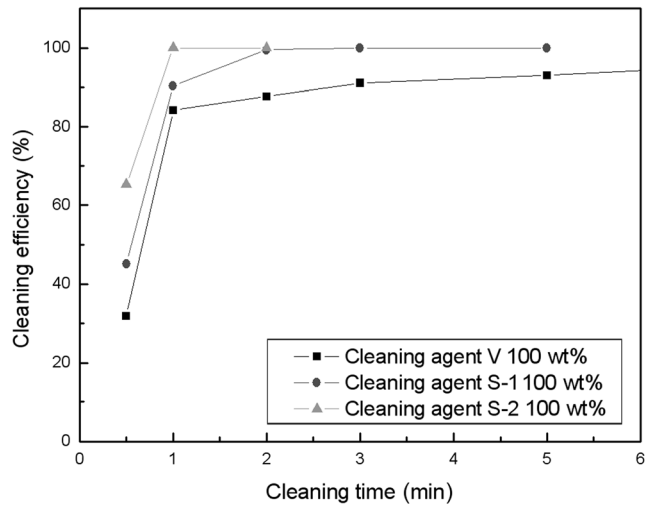


Figure 9. Comparison of solder cleaning efficiency of undiluted cleaning agents at 45 kHz ultrasonic frequency.

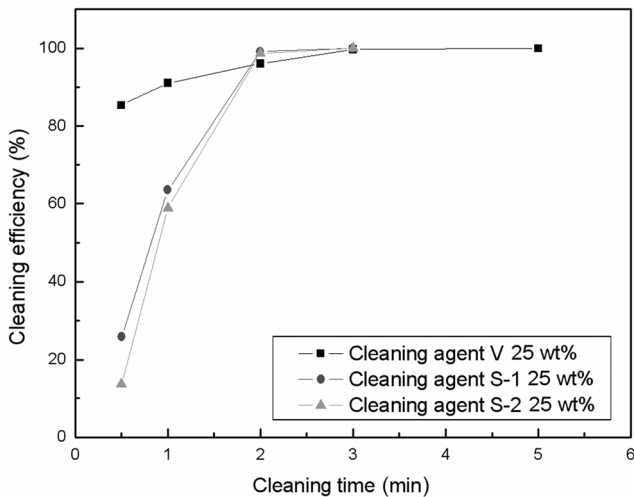


Figure 7. Comparison of solder cleaning efficiency of 25 wt% diluted cleaning agents at 45 kHz ultrasonic frequency.

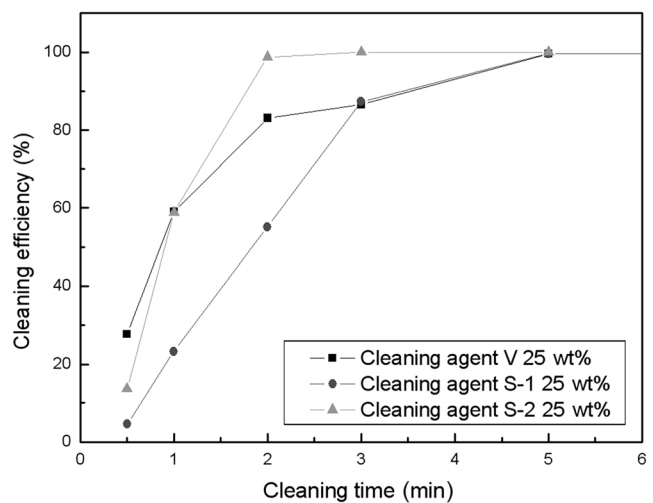


Figure 10. Comparison of solder cleaning efficiency of 25 wt% diluted cleaning agents at 28 kHz ultrasonic frequency.

배합세정제 S-1, S-2와 비교대상 세정제 V 모두 3분 이내 세정이 완료되지만 세정 초기에는 비교대상의 세정제 V가 우수함을 보여주고 있다. 그리고 원액 세정제의 솔더(solder) 세정효율과 마찬가지로 초음파 세기 45 kHz가 28 kHz 보다 솔더(solder) 세정이 좋은 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 계면활성제가 함유된 수계 세정제에 문제점을 해결하고자 인쇄회로기판(printed circuit board, PCB) 등 전자 부품 세정대상의 주 오염물인 플럭스(flux)에 용해력이 있고 수용성이 있는 프로필렌글리콜과 프로필렌글리콜 알킬에테르계 용제를 주성분으로 하고 여기에 여러 첨가제를 가하여 친환경적이고 계면활성제가 없는 계면활성제 무첨가 수계 배합세정제 S-1, S-2를 개발하였고 이의 물성과 세정성 평가를 비교 대상의 수입세정제 V와 비교하여 실험하였다.

이들 배합세정제와 비교대상의 수계 계면활성제 무첨가 세정제 V의 물성측정 결과 비교대상세정제인 수입세정제 V는 본 연구에서 배합한 배합세정제 S-1과 S-2의 세정제와 전반적으로 비슷한 물성 값을 가짐을 확인할 수 있었다. 그리고 비교대상 세정제 V와 배합세정제 모두 원액을 희석함에 따라 pH가 저하되다가 다시 상승하는 것이 관찰되었으며 앞에서 구한 표면장력과 밀도 그리고 점도 등으로 구한 습윤지수는 세정성 평가 결과로 판단할 때, 세정능력에는 크게 영향을 끼치지 않는 것으로 판단되었다.

다양한 초음파 주파수를 사용한 세정성 평가 실험 결과에서 플럭스(flux)의 세정 성능 결과는 초음파 주파수 값이 가장 작은 28 kHz에서 세정 성능이 가장 좋게 나타났고 솔더(solder)의 세정은 45 kHz 초음파 주파수에서 세정 성능이 좋게 나타났다. 원액세정제의 플럭스(flux)세정의 경우 배합세정제 S-1, S-2의 결과가 비교 대상세정제 V의 세정율보다 우수하고 습윤제가 함유되지 않은 S-1이 가장 우수함을 확인할 수 있어 플럭스(flux) 세정은 습윤력보다 용해력이 주로 세정에 기여하는 것으로 판단된다. 28 kHz의 경우 다른 초음파 주파수보다 더욱 강한 캐비테이션 효과 덕분에 플럭스(flux) 용해를 촉진하여 세정이 더욱 빨리 진행된다고 판단된다. 솔더(solder)의 경우 배합세정제가 비교 대상세정제보다 세정 성능이 좋았고 특히 습윤제가 함유된 S-2의 세정율이 가장 좋았는데, 이는 습윤제 역할을 하는 첨가제가 금속과 플럭스(flux) 혼합고형물에 침투를 촉진시켜 솔더(solder) 세정성능이 좋은 것으로 판단된다. 그리고 25 wt% 희석 세정제의 45 kHz에서 비교 대상 세정제 V가 배합세정제 S-1, S-2보다 초기 세정효율이 좋음이 확인되었다.

참고문헌

1. Lee, J. R. "A Study on Formulation of Surfactant-free Aqueous Cleaning Agents and Evaluation of Their Physical Properties and Cleaning Ability," Master's Thesis, The University of Suwon, Hwaseong, 2012.
2. Kim, H. S. "A Study on Development of Aqueous/Semi-Aqueous Cleaning Agents," Ph. D. Dissertation, The University of Suwon, Hwaseong, 2004.
3. Kim, H. S., and Bae, J. H. "Evaluation of Cleaning Ability of Aqueous Cleaning Agents according to their Additives," *Clean Tech.*, **12**(1), 1-9 (2006).
4. Jeung, J. Y., Lee, M. J., and Bae, J. H., "A Study on the Performance Variations of Liquid-crystal Aqueous Cleaning Agents with Their Formulating Components and Mixing Ratios," *Clean Tech.*, **16**(2), 103-106 (2010).
5. Bae, S. J., Lee, H. Y., Lee, J. G., Bae, J. H., and Lee, D. G. "Development of Cleaning Agents for Solar Silicon Wafer," *Clean Tech.*, **48**(1), 43-50 (2012).
6. Lange, K. R., *Detergents and Cleaners*, Hanser Publishers, NewYork, 1994, pp. 43-47.
7. www.Zestron.com MPC[®] Technology-Effectiveness of MPC Cleaning Agents.
8. Riess-Frokveng, J., and Harein, A., "Economical Cleaning of Misprints-New Cleaning Concepts Help," *Epp Europe*, (2008).
9. Rodolphe, A., "Environmentally Sound Cleaning," *The Magazine of Onboard Technology*, 54-55 (2010).
10. Brandrup, J., Immergut, E. H., and Grulke, E. A., *Polymer Handbook*, 4th ed., A Wiley Interscience, NewYork, 1999, pp. 671-716.
11. Barton, A., and F. M. Bartin, *The CRC Handbook of Solubility Parameters and Other Cohesion Parameters*, 2nd ed., CRC Boca Raton, 1991, pp. 169-185.
12. Jung, Y. W., "Influencing Factors on Cleaning Ability in the Formulated Hydrocarbon-Based Cleaning Agents," *Clean Tech.*, **13**(2), 143-150 (2007).