

Flux, Solder 및 Grease 세정용 CFC 대체 비수계 세정제 배합 연구

정용우, 이호열[†], 이명진[†], 송아람, 배재흠*

수원대학교 화공생명공학과
445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산 2-2

[†](주)네오팜
306-800 대전광역시 유성구 어은동 52 생명공학연구원 바이오벤처센터 207

(2006년 11월 22일 접수; 2006년 12월 23일 채택)

Formulation of Alternative Non-Aqueous Cleaning Agents to Chlorofluorocarbon Compounds for Cleaning Flux, Solder and Grease

Young Woo Jung, Ho Yeoul Lee[†], Myoung Jin Lee[†], Ah Ram Song, and Jae Heum Bae*

Department of Chemical and Biochemical Engineering, The University of Suwon
San 2-2, Wawoo-ri, Bondam-eup, Hwaseong-shi, Gyeonggi-do 445-743, Korea

[†]NeoPharm, Co. Ltd.

BVC-207, KRIBB, 52 Oeun-dong, Yuseong-Gu, Dae-Jeon 305-800, Korea

(Received for review November 22, 2006; Revision accepted December 23, 2006)

요 약

CFC-113과 1,1,1-trichloroethane 등과 같은 CFC 화합물은 화학적 안정성 및 열역학적 특성 등이 우수하고, 불연성이며, 부식성이 없는 화합물로 오랜 시간 동안 전 산업에 걸쳐 널리 사용 되어 왔다. 하지만, 1989년 지구 환경의 보호를 위해 이들의 생산과 사용을 규제하는 국제협약인 '오존층 파괴물질에 관한 몬트리올 의정서'가 체결되어 대체 세정제가 요구되고 있다. 본 연구에서는 세정 시스템을 변화시키지 않고 세정력이 우수 하면서 환경 친화적이며 인체 유해도가 낮으며 부식성 물질을 발생 시키지 않는 비수계 세정제를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 글리콜 에테르계의 용매와 파라핀계 탄화수소 물질을 일정 비율로 혼합, 배합하면서 실록 산을 첨가하여 비수계 세정제를 배합 제조하였다. 그리고 이들 세정제의 물성과 세정성을 평가하여 대체 세정제로서의 가능성을 평가하였다.

배합세정제의 물성측정 결과 밀도와 표면장력이 낮아 오염물에 대한 침투력이 우수할 것으로 예상되었고 인 화점과 증기압 측정값으로 세정제의 안전성을 평가할 수 있었다. 플럭스, 솔더 및 그리스에 대한 세정성능 측정 결과 높은 세정성능을 보여주었고 피세정물의 표면에 잔류물이 생성되지 않았다. 결과적으로, 규제물질과 동등한 세정능력을 지니며 침투력이 우수하고 인체 유해도가 낮은 세정제를 개발할 수 있었다.

주제어 : 산업세정, 비수계세정제, 플럭스세정, 솔더세정, 그리스세정

Abstract—CFC compounds such as CFC-113 and 1,1,1-TCE, etc. have been used in various industries due to their excellent chemical stability, thermodynamic characteristics, non-inflammability and anti-corrosiveness. However, in order to protect the earth environment, "the Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer" was adopted in 1989 for prevention of production and utilization of these CFC compounds and alternative cleaning agent have been required in the industry. The objective of this

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: jhbae@suwon.ac.kr

study is to develop non-aqueous cleaning agents that do not require major change of cleaning system, have excellent cleaning efficiency, are favorable to the environment, are harmless to the human body, and are not generated corrosive materials. In this work, non-aqueous cleaning agents have been formulated with glycol ether series and paraffinic hydrocarbon series with siloxane, and their physical properties and cleaning efficiencies were analyzed and compared with those of regulated materials.

As a result of physical properties measurement of the formulated cleaning agents, it is expected that they may have good penetration ability into contaminated materials due to their properties with low density and low surface tension. Measurement of flash point and vapor pressure of the cleaning agents will be helpful for evaluation of their safety and working environment. The experimental results of cleaning flux, solder and grease by the formulated cleaning agents show that their cleaning abilities of soils were good and that there were no residues on the substance after cleaning. Therefore, alternative cleaning agents which have equivalent cleaning ability to regulated materials, good penetration ability and low hazard to human body, have been developed in this work.

Key words : Industrial cleaning, Non-aqueous cleaning agents, Defluxing, Desoldering, Degreasing

1. 서 론

CFC 화합물(Chlorofluorocarbon compounds)은 1930년대에 유독성의 NH_3 , SO_2 등을 대체하는 냉매로 개발된 Freon-12(CCl_2F_2)와 같이 염소, 불소등 할로젠 원소와 탄소로 구성된 화합물을 의미한다. 일반적으로 CFC, Halon 등은 화학적 안정성 및 열역학적 특성 등이 우수하고, 불연성이며, 부식성이 없는 화합물로 오랜 시간 동안 화학공업, 정밀기기, 전자산업, 식품공업, 유통산업, 의약품 산업 및 일상생활에서 냉장고와 에어컨 등의 냉매, 전자제품 및 정밀기기의 세정제, 단열재와 포장용 플라스틱의 발포제, 에어졸의 분사 추진제, 소화제 등으로 거의 전 산업에 걸쳐 널리 사용 되어 왔다. 그러나 1974년 Molina 와 Rowland 등이 CFC 및 Halon 가스가 성층권의 오존층을 파괴한다는 학설을 발표하고 여러 선진국에서 실측을 통하여 이를 확인함에 따라 지구 환경의 보호를 위해 이들의 생산과 사용을 규제하기 위해 1985년 ‘오존층 보호를 위한 비엔나 협약’, 1989년 ‘오존층 파괴물질에 관한 몬트리올 의정서’를 채택하게 되었으며, 현재까지 수차에 걸쳐 의정서의 개정과 매년 가입국 회의를 통해 규제 품목을 확대하고 전폐일정을 단축하고 새로운 대체물질을 찾는 노력을 기울이고 있다 [1].

산업세정분야에서는 그동안 광범위하게 사용되어온 CFC-113과 1,1,1-TCE가 오존층 파괴물질로써 사용이 규제됨에 따라 선진국(OECD 가입국)들은 95년 말에 이미 전폐하였으나, 우리나라는 96년 OECD에 가입하였고 개발도상국으로 분류되어 개발도상국 규제 일정에 따라 CFC류는 1995-97년 3개년 평균 소비량 기준으로 2004년 말까지 50% 감축, 2009년 말까지 전폐하여야 하며, 1,1,1-TCE는 2014년 말까지 전폐되어 생산 및 사용이 금지된다. 규제 일정과는 별도로 미국은 2003년, 일본은 2004년부터 잠정적 대체세정제인 HCFC마저 사용하지 않는다고 발표하였으며 EU에서는 오존층 파괴물질을 사용한 제품에 대해 수입규제 및 관세부과를 한다고 발표하는 등 선진국의 환경무역장벽은 날로 강화되고 있는 추세이기 때문에 환경친화적인 세정제로의 대체가 절실히 요구되고 있어 현재 이에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다 [2].

대체 세정제로서 수계, 준수계, 탄화수소계, 불소계, 비염소계 등 일부 세정제들이 상용화되어 시판되고 있으며 이들 대체 세정제는 염소계 용제와 달리 휘발성이 그다지 높지 않아 피세정물에 잔류한 세정제 성분의 제거에 문제가 알려져 있는 것으로 알려져 있다. 특히, 이들 세정제 중 탄화수소계 세정제는 비수용성으로 염소계 용제의 대체물질로서 최근에 글리콜 에테르계 화합물과 탄화수소를 포함하는 세정제가 개발되어 사용하는 것으로 알려져 있으며 탄소수 8에서 12 정도의 지방족탄화수소와 극성유기화합물을 포함한 세정용 조성물과 글리콜 에테르계 화합물과 탄화수소를 포함하는 세정제가 그 예가 된다[4].

일반적으로 세정제의 세정능력은 세정제의 습윤지수와 용해력과 같은 물성을 통해 간접적으로 추정할 수 있다. 세정제의 습윤지수(Wetting Index)는 피세정물에 부착되어 있는 오염물에 세정제가 침투하여 오염물질을 제거하는 과정에서 세정제의 피세정물과 오염물질 계면에의 침투력을 간접적으로 나타내는 지수이며 표면장력, 점도, 밀도의 물성으로부터 식(1)과 같이 표현할 수 있다. 일반적으로 습윤지수가 클수록 높은 침투력을 나타낸다고 말할 수 있다[3].

$$\text{Wetting Index} = \frac{\text{Density} \times 1000}{\text{Viscosity} \times \text{Surface Tention}} \quad (1)$$

비수계 세정제에서 주로사용하는 세정제의 오염물질 용해도(solvency power)는 KB값(Kauri-Butanol Value), 아닐린점(Aniline Point), 용해도 매개변수(Solubility Parameter) 등으로 나타낼 수 있다. KB값은 ASTM D 1113에 따라 측정할 수 있다. 측정순서는 n-butyl alcohol에 카우리 수지를 녹인 카우리-부탄올 용액 20g에 시험 용액을 가하고, 카우리-부탄올 용액이 규정된 백탁도를 갖게 될 때까지 사용된 시험용액의 부피(ml)를 측정하여 식(2)로 계산한다. 이때 KB값은 순수한 톨루엔을 105로, 75% 헵탄과 25% 톨루엔의 혼합액을 40으로 규정하여 표준화 하도록 하고 있다.

$$KB = 65 \times \frac{(C - B)}{(A - B)} \quad (2)$$

- A : 20g의 카우리-부탄올 용액의 적정에 사용된 톨루엔의 부피
- B : 20g의 카우리-부탄올 용액의 적정에 사용된 헵탄-톨루엔의 부피
- C : 20g의 카우리-부탄올 용액의 적정에 사용된 시험용액의 부피

KB값은 탄화수소계 용제의 상대적 용해력을 나타내는 값으로 KB값이 클수록 용해력이 크다.

아닐린점(Aniline point)은 같은 부피의 아닐린과 시료가 균일한 용액으로서 존재하는 최저의 온도를 말하며 혼합 아닐린점은 아닐린 2 부피, 시료 1 부피 및 규정 순도의 헵탄 1 부피가 균일한 용액으로서 존재하는 최저의 온도를 말하며 일반적으로 아닐린점이 낮으면 용해력이 커지며 분자량이 크고 용해력이 낮을수록 아닐린점이 높다 [4]. 본 연구에서는 전반기에서 KB값을 후반기에서 아닐린점을 측정하였다.

용해도 매개변수(Solubility Parameter)는 Hildebrand의 이론에 따라 식(3)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\delta = \sqrt{\frac{E_{coh}}{V}} = \sqrt{\frac{\Delta H - RT}{V}} \quad (3)$$

여기서, δ 는 전체 용해도 매개변수로 단위는 $(\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2} = 2.046 \times 10^{-3} (\text{J}/\text{m}^3)^{1/2} = 2.046 (\text{MPa})^{1/2}$ 이고, E_{coh} 는 응집에너지(cohesion energy), ΔH 는 증발엔탈피(evaporation enthalpy), R 은 이상기체상수, T 는 절대온도, V 는 몰부피(molar volume)를 나타낸다.

물질의 결합에너지에 대한 예측은 몇 가지 그룹 첨가방법에 의해서 계산된다. Hildebrand에 의한 식(3)은 화합물 구조사이의 분산력으로 설명되었지만 많은 용매와 고분자 물질은 polar 그룹과 hydrogen bonding 그룹사이의 상호작용의 영향을 받고 있다. 그러므로 전체 결합 에너지는 분산력 이외에 polar force와 hydrogen bonding force를 추가하여 식(4)와 같이 나타내어진다.

$$E_{coh} = E_d + E_p + E_h \quad (4)$$

여기서, E_d 는 dispersion force, E_p 는 polar force, E_h 는 hydrogen bonding force이다. 따라서 전체 용해도 매개변수(6)는 위의 세부분의 매개변수로 나뉘어져 Hansen에 의한 식(5)와 같이 표현될 수 있다.

$$\delta = \sqrt{\delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2} \quad (5)$$

여기서, δ_d , δ_p , δ_h 는 각각 용해도 매개변수의 dispersion, polar 및 hydrogen bonding component를 나타낸다.

물질의 용해도 매개변수가 같을 경우 서로 잘 용해되는 성질이 있어 본 연구에서는 오염물의 용해도 매개변수와 근접한 세정제를 배합제조하여 산업현장에서 많이 발생되고 있는 오염물(flux, solder, grease)에 대해 높은 세정성능을 가지는 세정제를 배합 제조하고자 하였다 [5].

본 연구에서는 종전의 세정 시스템을 크게 변화시키지 않고 시설의 재투자를 최소화 하며 세정력이 우수 하면서 환경 친화적이며 인체 유해도가 낮고 부식성 물질을 야기시키지 않는 비수계 세정제의 개발을 목표로 하였다. 이를 위하여 글리콜 에테르계의 용매와 파라핀계 탄화수소 물질을 일정 비율로 혼합, 배합하면서 첨가제로서 실록산을 첨가하여 비수계 세정제를 배합 제조하여 이들 세정제의 물성과 세정성능을 평가하여 대체 세정제로서의 가능성을 조사 분석 하였다. 그리고 세정제의 물성을 측정하여 습윤지수, KB값, 아닐린점 등을 구하고 용해도 매개변수 값을 추정하여 배합세정제의 세정성과 상관성을 조사하여 보았다.

2. 실험

2.1. 실험재료

세정제의 주성분은 글리콜 에테르계(이하 GE)와 파라핀계(이하 IP)로 용도가 용제로 많이 사용되는 물질이며 아로마틱 및 나프텐계 성분을 함유하지 않은 비교적 환경친화형 무취용제이다. 글리콜 에테르계 물질은 용해도 매개변수가 다른 같은 계열의 물질을 사용하였으며 Table 1에 글리콜 에테르계 성분의 몰부피와 용해도 매개변수를 나타내었다. 파라핀계 물질은 이성분 이상의 파라핀 혼합 물질을 원료로 사용하였으며 단일 파라핀계 물질의 몰부피와 용해도 매개변수를 Table 2에 요약하였다. 첨가물은 cyclotetrasiloxane(이하 TS)와 cyclopentasiloxane(이하 PS)을 사용하였으며 실록산은 낮은 표면장력으로 인하여 실록산을 함유한 세정제가 오염물에 침투하여 세정력을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 실리콘 화합물의 점도는 탄화수소의 점도보다 온도에 덜 의존하여 온도에 따른 점도변화가 적으며 영향을 극소화 하는 장점을 가진다. 이러한 이유로 실록산계 물질은 화장품과 두발용품 분야에서 현재 많이 사용되고 있으며 세정제에 사용되는 경우 세정 성능에 좋은 영향을 미칠 것으로 판단되어 첨가물로 채택하여 사용하였다.

세정 대상 오염물질로는 금속, 전기, 전자분야에서 많이 사용하는 플릭스(abietic acid, Aldrich), 메탈마스크에 잔류하게 되는 솔더(solder paste, Koki Co.)와 유동성 및 가공성을 좋게 사용하기 위한 그리스(KBR, 한국셀)를 오염물로 선택하여 세정성을 평가하였다. 플릭스와 솔더의 주성분인 abietic acid의 용해도 매개변수는 $\delta_t = 19.8 \text{MPa}^{1/2}$ ($\delta_d = 17.4$, $\delta_p = 2.7$, $\delta_h = 9.0$)이다 [6]. 따라서 abietic acid의 용해도 매개변수값은 Table 1, 2에서 보는 바와 같이 글리콜 에테르의 용해도 매개변수보다 작고 파라핀계 탄화수소의 용해도 매개변수보다 커서 적절히 배합하여 세정제를 제조한다면 배합 세정제의 용해도 매개변수값이 abietic acid와 비슷하게 할 수 있어 플릭스와 솔더의 세정력이 좋을 것으로 기대할 수 있다. 그리고 그리스의 주성분은 광유계 파라핀으로서 세정제에 파라핀 혼합 용제인 IP의 함량이 높을수록 용해도 매개변수값이 서로 같아져 그리스의 세정성능이 높을 것으로 판단되어 파라핀계 성분을 주성분으로 그리스 세정제를 제조하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 배합 세정제의 물성 측정

본 연구에서는 배합 세정제의 성분에 따라 대상 오염물의 세정력의 차이가 생길 것으로 판단하여 2차례 배합제조하여 실험에 임하였다. 비수계 세정제를 배합할 때 1차적으로 IP와 GE를 주 성분으로 하고 실록산을 첨가제로 하여 배합세정제(P-1 ~ P-9)를 제조하였고 그 배합세정제들을 Table 3에 나타내었다. 이들 배합세정제의 물성과 세정성을 토대로 2차적으로 플럭스 제거용 세정제(F-1 ~ F-8), 솔더 제거용 세정제(S-1 ~ S-6), 그리스 제거용 세정제(G-1 ~ G-8)를 배합 제조하였다. 그 배합조성을 Table 4~6에 나타내었다. 그리고 이들 배합세정제의 세정 성능 평가에 앞서 세정제의 밀도(density), 점도(viscosity), 표면장력(surface tension)을 측정하였으며 비수계 세정제의 안전성을 측정하기 위해 인화점(flash point), 증기압(vapor pressure)을 측정하였다. 밀도는 density/specific gravity meter (DA-I10M, KEM Kyoto Electronics, Japan), 점도는 Brookfield viscometer(LDV II+CP, USA), 표면장력은 surface tension meter(Suface Tensionmat 21, Fisher Scientific, USA)를 이용하여 25±1℃에서 측정하였다. 인화점은 MINIFLASH FLPH Tester(Grabner, Austria)를 사용하였고 증기압은 Automatic vapor pressure tester(TANAKA scientific limited, AVP-30D, Japan)를 사용하여 측정하였다.

2.2.2. 배합 세정제의 세정성능 평가

세정성능 평가에 사용되는 오염물의 도포방법은 다음과 같다. 플럭스(flux)는 abietic acid를 isopropyl alcohol 용액에 용해시켜 스테레스 재질로 만든 25×75×2mm 크기의 시편 위에 마

Table 3. Formulation weight % of primary cleaning agents

Cleaning agent	Component			
	IP-C	GE-P	TS	PS
P-1	50	50	-	-
P-2	50	50	5	-
P-3	50	50	-	5
P-4	30	70	-	-
P-5	30	70	5	-
P-6	30	70	-	5
P-7	70	30	-	-
P-8	70	30	5	-
P-9	70	30	-	5

Table 4. Formulation weight % of secondary cleaning agents for defluxing

Cleaning agent	Component				
	GE-M	GE-E	GE-B	TS	PS
F-1	70	30	-	-	-
F-2	70	30	-	15	-
F-3	70	30	-	-	5
F-4	40	30	30	-	-
F-5	40	30	30	15	-
F-6	40	30	30	-	5
F-7	45	30	-	25	-
F-8	45	30	-	-	25

Table 1. Hansen solubility parameter of glycol ether at 25℃

Glycol ether	Molar volume (cm ³ /mol)	Solubility parameter (MPa ^{1/2})			
		δ _d	δ _p	δ _h	δ
GE-M	79.1	16.2	9.2	16.4	24.8
GE-E	97.8	16.2	9.2	14.3	23.5
GE-B	131.6	16.0	5.1	12.3	22.3
GE-P	-	-	-	-	-

Table 2. Hansen solubility parameter of paraffin at 25℃

Paraffin	Molar volume (cm ³ /mol)	Solubility parameter (MPa ^{1/2})			
		δ _d	δ _p	δ _h	δ
n-Octane	163.5	15.6	0	0	15.6
n-Nonane	179.7	15.8	0	0	15.8
n-Decane	195.9	15.8	0	0	15.8
n-Dodecane	228.6	16.0	0	0	16.0
n-Hexadecane	294.1	16.4	0	0	16.4

이크로 피펫으로 흐르지 않도록 도포하여 1시간 동안 상온 건조 후 60℃에서 12시간 구워 실험에 임하였다. 솔더는 용융 솔더가 아닌 메탈 마스크 잔류 솔더를 세정하기 위한 것이기 때문에 시편 위에 일정량의 솔더를 균일하게 도포하고 flux의 조건과 같이 60℃에서 구워 실험에 임하였다. 그리스는 솔더의 도포 방법과 동일하게 일정량의 오염물을 도포한 후 12시간동안 정착시켜 실험에 임하였다.

세정성능 평가 방법으로는 품질이나 후속 공정에서 요구조건에 적합여부를 육안으로 오염의 정도와 상태, 평활도, 거친 정도, 광택, 색상, 청정도 등의 항목을 선정하여 평가하는 육안판정법(Visual test), 천이나 여과지로 입자를 탐색하는 방법인 닦아내기법(Wiping test), 피세정물 표면의 친수성 및 소수성을 이용한 수막법(Water-break test), 물방울을 분사시켜 표면의 친수성에 따라 수막의 형성을 측정하는 분무법(Atomizer test), 물방울과 피세정물과 맺는 각을 측정하여 오염의 정도를 측정하는 접촉각 측정법(Contact angle test), 비점이 낮은 유기용제를 사용하여 시편의 부착유분을 추출하여 용제를 증발시켜 측정하는 증발농축법, FT-IR, HPLC, GC-MS와 오메가메터를 사용하여 잔류오염물을 정량적으로 측정하는 추출분석 평가법 등이 있다. 본 연구에서는 오염물질의 정량적인 평가를 위하여 증

Table 5. Formulation weight % of secondary cleaning agents for desoldering

Cleaning agent	Component				
	IP-G	IP-C	GE-E	TS	PS
S-1	75	20	5	-	-
S-2	75	20	5	15	-
S-3	75	20	5	-	5
S-4	70	15	10	-	-
S-5	70	15	10	15	-
S-6	70	15	10	-	5

Table 6. Formulation weight % of secondary cleaning agents for degreasing

Cleaning agent	Component			
	IP-G	GE-E	TS	PS
G-1	70	30	-	-
G-2	70	30	15	-
G-3	70	30	-	5
G-4	80	20	-	-
G-5	80	20	15	-
G-6	80	20	-	5
G-7	40	10	50	-
G-8	40	10	-	50

Table 7. Experimental conditions for measuring the cleaning ability of cleaning agents

Cleaning agents		CFC-113, 1,1,1-TCE, MC, IP/GE/siloxane blend cleaning agents
Soils		Flux, Solder, Grease
Substrates		SUS 304(25x75x2 mm)
Cleaning methods	Cleaning stage	Immersion cleaning (25°C, 1~3min)
	Drying stage	Hot air drying (60°C, 10min)
Analytical method		Gravimetric test

량법(Gravimetric test)을 사용하였으며 세정 후 피세정물 시편에 잔류한 오염물의 무게를 10⁻⁵g까지 측정하여 초기 시편에 오염된 양과 비교하여 세정성능을 평가하는 방법으로 세정효율은 아래의 식과 같이 계산한다.

$$\text{세정효율(\%)} = \frac{(\text{초기오염물량} - \text{잔류오염물량}) \times 100}{\text{초기오염물량}} \quad (6)$$

세정방법은 세정, 건조의 단계로 진행 하였다. 세정공정에서

도포한 시편을 세정제에 일정시간 교반 없이 담가 침적세정하였고, 60°C 강제대류 오븐(forced convection oven)에서 10분간 잔류 세정제를 건조시킨 후 무게를 측정하는 증량법을 이용하여 세정효율을 측정하였다. 실험 측정값은 95% 신뢰도 수준으로 측정오차가 오염물이 플럭스와 솔더의 경우 5%, 그리스의 경우 10% 이내이었다. 그리고 매번 세정 실험을 3회 반복하여 평균값을 측정값으로 사용하였다. 세정성능 평가 조건은 Table 7에 요약하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 세정제의 물성 평가 결과

Table 8에 CFC-113, 1,1,1-TCE, MC의 물질에 대한 일부 물성과 배합 세정제의 물성을 나타내었다. 1차적으로 배합제조한 세정제의 물성 중 밀도는 CFC-113, 1,1,1-TCE, MC에 비하여(1.29 g/cm³) 0.74~0.83 g/cm³로 비교적 낮은 값을 나타내었다. 점도는 0.65~1.48 cP로 CFC-113, 1,1,1-TCE, MC에 비하여 비교적 큰 값을 보여주었다. 표면장력은 22~24 dyne/cm로 CFC-113보다는 크지만 1,1,1-TCE와 MC보다는 작았다. 습윤지수는 CFC-113과 MC가 매우 높게 나타났으며 배합세정제는 비교적 낮게 나타나 배합세정제의 침투력이 좋지 않은 것으로 나타났다. 그러나 KB값은 P-1~P-6의 배합 세정제는 200 이상으로 측정되어 용해력이 높을 것으로 예상되었으며 P-7~P-9의 세정제는 CFC-113과 같이 비교적 낮은 KB값을 나타내었다. 인화점 측정에서 모든 배합세정제의 인화점이 11°C이하로 상온보다 낮은 측정값을 보였으며 증기압 또한 12.2 kPa이상으로 측정되어 안전성에 주의가 필요한 것으로 판단되었다. 따라서 2차적으로 세정제를 배합할 시에는 인화점의 향상과 증기압을 낮추기 위해 인화점이 높고 증기압이 낮은 원료물질을 사용해 플럭스 제거용, 솔더 제거용, 그리스 제거용 세정제를 제조하였다.

위의 실험을 토대로 2차적으로 배합 제조한 세정제의 물성을 Table 9~11에 나타내었다. 2차 실험 이후에서는 KB값 측정이 곤란하여 KB값 대신 세정제의 용해력을 나타내는 또다른 지표인 아닐린점을 측정하였다. 이렇게 배합한 플럭스 제거용 세정제(deflux : F-1~F-8)의 물성을 측정한 결과를 Table 9에서 보듯이 밀도는 0.93~0.95 g/cm³로 1차 배합 세정제의 0.75~0.84 g/cm³ 보다 높았으며 점도는 F-1, F-2, F-3, F-4, F-6이 5.22~5.92 cP이며 F-3, F-5, F-7, F-8은 2.00~3.34 cP로 1차 배합세정제 보다 높게 측정되었다. 표면장력측정 결과에서 F-1은 30.8 dyne/cm로 가장 높았고 F-8이 가장 낮게 측정되었으며 F-7, F-8을 제외한 나머지 배합세정제들은 1차 배합세정제보다 비교적 높은 값을 나타내었다. 습윤지수는 전반적으로 낮아 배합세정제가 오염물 침투력이 좋지 않을 것으로 생각되며 아닐린점은 F-1, F-3, F-4, F-5, F-6의 세정제가 낮게 측정되어 오염물 용해력이 좋을 것으로 판단되었다. 인화점과 증기압의 측정결과 상온 이상의 인화점(제 2석유류)과 5 kPa내외의 증기압이 측정되어 첫번째 조성의 세정제보다 향상된 것을 확인 할 수 있었다.

솔더 제거용 세정제(desolder : S-1~S-6)의 물성을 측정한 결과는 Table 10에 나타내었으며 밀도는 0.73~0.76 g/cm³로 1차 배합 세정제와 유사한 값으로 측정되었고 점도 또한 0.99~2.94 cP로 1차 배합세정제와 비슷하였다. 표면장력도 20 dyne/cm로 1차 배합세정제 보다 낮은 값을 보이고 CFC-113과 비슷한 값을 나타냈다. 파라핀계 성분이 증가하면서 습윤지수는 높아져 오염물 침투력이 증가될 것으로 추정되었으며 아닐

린점은 다른 배합 세정제와 비교해 높은 측정값을 보여 오염물 용해력이 떨어질 것으로 판단되었다. 인화점은 첫 번째 조성의 세정제보다 향상되었으나 상온보다 낮게 측정되었다. 하지만 솔더를 사용하는 산업 현장의 작업환경 특성상 대기 중에 노출되지 않는 점(closed system)을 고려할 때 상용성이 있는 세정제로 판단된다. 증기압 측정결과 4.0~5.7 kPa로 1차 배합세정제 보다 훨씬 낮아 향상된 것을 확인 할 수 있었다.

Table 8. Physical properties of primary formulated cleaning agents

Physical properties Cleaning agent	Density (g/cm ³)	Viscosity (cP, 25 °C)	Surface tension (dyne/cm)	Wetting Index	KB value	Flash point (°C)	Vapor pressure (kPa, 37.8°C)
CFC-113	1.5136	0.65	20.7	112	32	-	45*
1,1,1-TCE	1.3105	0.86	28.7	53.1	124	-	16*
MC	1.2933	0.17	31.8	239	136	-	47*
P-1	0.7974	1.33	22.2	27.0	>200	<11.0	15.0
P-2	0.7914	1.33	22.7	26.2	>200	<11.0	14.5
P-3	0.7947	1.32	22.7	26.5	>200	<11.0	13.5
P-4	0.8341	1.34	24.4	25.5	>200	<11.0	12.2
P-5	0.8386	1.30	24.2	26.7	>200	<10.0	20.3
P-6	0.8390	1.48	24.1	23.5	>200	<11.0	13.7
P-7	0.7407	0.96	22.6	34.1	57.3	<11.0	13.0
P-8	0.7484	1.15	22.8	28.5	54.2	<11.0	15.4
P-9	0.7500	0.80	22.5	41.7	53.0	<11.0	14.0

* : measured at 25°C

Table 9. Physical properties of secondary cleaning agents for defluxing

Physical properties Cleaning agent	Density (g/cm ³)	Viscosity (cP, 25 °C)	Surface tension (dyne/cm)	Wetting Index	Aniline Point (°C)	Flash point (°C)	Vapor pressure (kPa, 37.8°C)
F-1	0.9564	5.92	30.8	5.25	<0	45.0	4.4
F-2	0.9584	5.42	25.5	6.93	11	40.0	4.1
F-3	0.9568	2.00	25.0	19.1	<0	40.0	4.0
F-4	0.9373	5.62	29.2	5.71	<0	46.0	5.6
F-5	0.9392	2.69	23.9	14.6	<0	45.0	5.1
F-6	0.9520	5.22	23.7	7.70	<0	41.0	5.0
F-7	0.9544	2.86	20.6	16.2	50	40.0	6.5
F-8	0.9566	3.34	17.6	16.3	66	41.0	6.1

Table 10. Physical properties of secondary cleaning agents for desoldering

Physical properties Cleaning agent	Density (g/cm ³)	Viscosity (cP, 25 °C)	Surface tension (dyne/cm)	Wetting Index	Aniline Point (°C)	Flash point (°C)	Vapor pressure (kPa, 37.8°C)
S-1	0.7519	1.11	20.1	33.7	94	17.0	4.5
S-2	0.7684	1.36	19.7	28.7	85	20.0	4.2
S-3	0.7570	0.99	19.6	39.0	89	17.0	4.0
S-4	0.7398	1.40	20.0	26.4	90	21.0	5.7
S-5	0.7564	1.24	19.8	30.8	84	19.0	5.6
S-6	0.7415	2.94	19.6	12.9	83	21.0	5.2

Table 13. Cleaning efficiency of primary and secondary formulated cleaning agents for desoldering

Time(min) \ Efficiency(%)	1	2	3	4	5	7	9	11	13
CFC-113	2.31	8.45	34.48	73.00	95.60	97.66	98.41	98.53	98.40
MC	30.55	97.68	97.30	97.33	97.37	97.40	97.83	97.42	97.42
1,1,1-TCE	1.82	7.48	32.36	79.68	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
P-1	2.60	8.16	96.53	99.92	99.93	100.00	100.00	100.00	100.00
P-2	2.73	9.15	99.82	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
S-4	1.09	7.41	26.31	69.55	80.87	87.27	93.10	96.21	96.69
S-5	0.66	2.67	5.86	13.40	35.08	57.66	70.18	85.58	96.95

Table 14. Cleaning efficiency of primary and secondary formulated cleaning agents for degreasing

Time(min) \ Efficiency(%)	1	2	3	4	5	7	9	11	13
CFC-113	28.3	53.48	72.44	91.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
MC	25.12	45.80	74.57	83.08	86.73	93.39	93.72	95.58	100.00
1,1,1-TCE	14.47	25.59	51.61	61.67	71.94	85.99	91.92	98.31	100.00
P-7	24.52	48.98	69.21	85.99	91.90	100.00	100.00	100.00	100.00
P-9	26.17	51.21	71.57	84.72	99.10	100.00	100.00	100.00	100.00
G-1	3.92	18.53	31.92	44.03	54.95	96.04	99.82	100.00	100.00
G-6	4.96	18.35	32.06	44.19	55.05	90.87	98.10	99.59	99.70

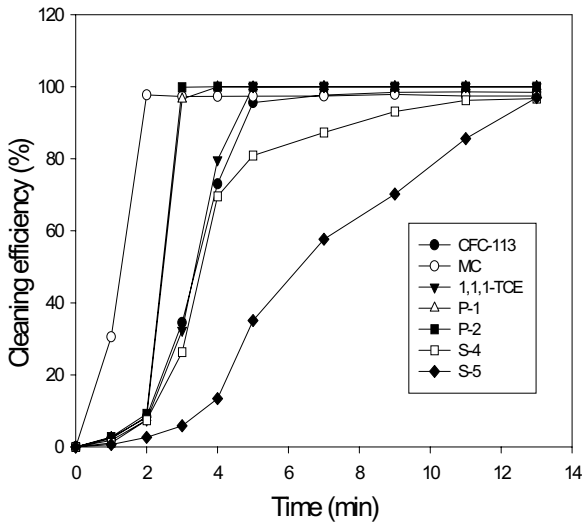


Figure 2. Cleaning efficiency of formulated cleaning agents for desoldering.

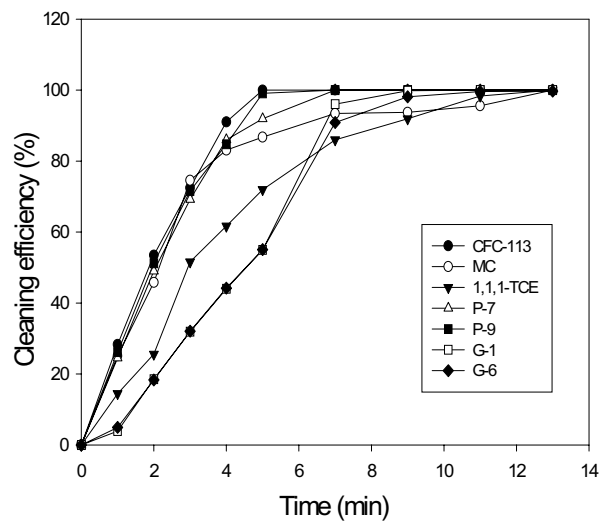


Figure 3. Cleaning efficiency of formulated cleaning agents for degreasing.

능을 나타낸 것이다. 솔더의 높은 점도와 여러 금속물질의 함유 그리고 높은 접착력 때문에 세정이 어렵지만 P-1, P-2의 세정 효율이 좋게 측정되었다. 배합 세정제의 성분 GE-P와 IP-C의 배합비가 같고 PS를 첨가 하는 것 보다 TS를 첨가하는 것이 세정 성 향상에 도움이 됨을 확인할 수 있었다. 금속분말과 플럭스 혼합물이 피세정물에 강하게 부착되어있는 솔더의 제거에서 플럭

스 제거용 세정제와 비교하여 파라핀 성분이 함량이 증가하면서 표면장력을 낮추고 습윤지수를 높여 세정제의 침투력이 증가하여 세정을 촉진한 것으로 판단된다. 그리고 실록산을 첨가 하는 것이 첨가하지 않은 배합 세정제보다 세정 후 시편에 남아있는 잔사가 적어 세정 후 제품의 품질유지에 도움이 될 것으로 판단 되었다. 또한 S-4, S-5 배합 세정제가 높은 효율을 보였으며 인

화점과 증기압이 개선되어 1차 배합세정제 보다 안전성에서 더욱 향상시켰다고 할 수 있다.

Table 14와 Figure 3은 그리스에 대한 배합 세정제의 세정능을 나타낸 것이다. P-7, P-9의 배합 세정제가 높은 세정 효율을 보였으며 7분 이내에 세정이 완료되었다. G-1과 G-6은 11분 이후에 세정이 완료되었다. 이것은 세정제 성분 중 파라핀 성분이 표면장력을 낮추고 습윤지수를 높여 오염물에 대한 침투력을 향상시키며 그리스의 용해도 매개변수와 파라핀 성분의 용해도 매개 변수가 유사하여 상호 응집력에 의하여 세정능이 향상되는 것으로 판단되었다.

이 실험으로 배합 세정제의 세정효율과 규제대상 물질의 세정효율을 비교결과 세정 효율이 규제대상 물질보다 오염물 성분에 따라 세정효율이 대부분 좋았거나 동등하였고 일부 세정제는 조금 낮은 효율을 보였지만 세정효율의 차이가 크지는 않았다. 그리고 비교대상의 세정제에 비하여 인화점을 상승시키고 증기압을 감소시켜 안전성면에서 더욱 향상된 세정제로 판단할 수 있다.

4. 결 론

대체 세정제의 목적으로 배합 제조한 세정제의 물성 측정결과 밀도, 점도, 표면장력의 많은 차이는 보이지 않았다. 하지만, 1차 배합 세정제에서 낮은 인화점과 높은 증기압의 문제점이 들어나 이를 보완하여 인화점과 증기압의 개선이 이루어진 플릭스, 솔더, 그리스 제거용 2차 배합 세정제를 제조하여 안전성을 확보할 수 있었다.

플릭스 제거용 배합세정제의 플릭스 세정실험에서 플릭스와 유사한 용해도 매개변수를 가진 글리콜 에테르계 용제를 많이 함유하였고 용해력의 척도가 되는 KB값이 큰 세정제가 비교적 세정 효율이 높았다. 솔더 제거용 배합세정제의 솔더 세정실험에서 표면장력이 낮고 습윤지수가 큰 침투력이 강한 파라핀계 용제의 조성이 증가된 세정제에 저분자량의 실록산을 첨가한 세정제가 높은 세정능력을 보여주었다. 그리스 제거용 배합세정제를 이용한 그리스세정에 있어서는 그리스 조성과 유사한 광물계 파라핀계 용제를 많이 함유하여 용해도 매개변수값이 유사한 파라핀계 용제를 많이 함유된 세정제가 세정력이 높은 것을 알 수 있었다. 그리고 습윤지수, KB값, 아닐린점 용해도매개변수 값들이 배합 세정제의 오염물에 대한 세정성과 연관이 되기도 하

지만 일치하지 않는 경우도 있어 세정제 선정에 있어서 오염물에 따른 세정성 평가 실험은 반드시 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서 플릭스, 솔더, 그리스 등의 오염물에 따라 용해력과 침투력이 높아 세정효율이 높은 세정제를 실험적으로 배합할 수 있었고 앞으로 현장의 세정시스템에서도 이들 세정제의 적합성 연구가 있어야 할 것이다.

참고문헌

1. Shin M. C., "A Study on Field Application and Cleanliness Evaluation of Alternative Cleaning Agents", Master's Thesis, University of Suwon, 1999.
2. Cha A. J., "A Study on Cleaning Ability and Environmental Evaluation of Commercial Aqueous/Semi-aqueous Cleaning Agents", Master's Thesis, University of Suwon, 2003.
3. Park J. N., and Bae J. H., "Physical Properties and Cleaning Ability of Fluoride-Type Cleaning Agents Alternative to Ozone Destruction Substances", *Clean Technol.*, **11**(3), 129-139 (2005).
4. "Testing Methods for Aniline Point and Mixed Aniline Point of Petroleum Products", KS M 2053, Korean Standards Association, 2004.
5. Kang J. H., Chung S. T., Row K. H., "Estimation of Solubility of the Useful Components in Some Natural Products", *HWAHAK KONGHAK*, **39**(4), 390-396 (2001).
6. Row K. H., "Comparison of Cleaning Performance of 1,1,1-TCE and Methylene Chloride", *Chem. Ind. Technol.*, **13**(3), 283-291 (1995).
7. Barton, Allan F. M., "CRC Handbook of Solubility Parameters and Other Cohesion Parameters", CRC Press, Boca Raton 1991.
8. <http://www.cheric.org/ippage/g/ipdata/2005/01/file/g200501-1101.pdf>
9. http://cpnet.kncpc.re.kr/upload_files/publish_things/%C8%AF%C4%A3%BB%EA%BE%F7%C0%FC%B7%AB%BA%B8%B0%ED%BC%AD-03.5.3.pdf