

탄화수소계 배합세정제에서의 세정성 영향인자 연구

정용우, 이호열[†], 배재흠*

수원대학교 화공생명공학과
445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산2-2번지

[†](주)네오팜
306-800 대전광역시 유성구 어은동 52번지 생명공학연구원 바이오벤처센터 207호
(2007년 5월 2일 접수 2007년 6월 15일 채택)

Influencing Factors on Cleaning Ability in the Formulated Hydrocarbon-based Cleaning Agents

Young Woo Jung, Ho Yeoul Lee[†], and Jae Heum Bae*

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

[†]NeoPharm, Co., Ltd.
KRIBB BVC-207, 52 Oeun-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-800, Korea

(Received for review May 2, 2007; Revision accepted June 15, 2007)

요 약

본 연구에서는 플럭스, 솔더, 그리스와 같은 오염물질을 효과적으로 세정하기 위하여 글리콜 에테르계, 파라핀계 및 실록산계 물질을 배합한 탄화수소계 세정제를 제조하고 습윤지수, 아닐린점 그리고 용해도 매개변수 등의 세정성능에 대한 영향을 조사하였다.

탄화수소계 세정제의 배합은 단일물질의 물성에 기초하여 제조되었다. 제조된 세정제의 습윤지수와 아닐린점은 실험을 통하여 측정하였으며 용해도 매개변수는 Hansen의 추정식을 사용하여 계산하였다. 본 연구에서는 플럭스, 솔더, 그리스의 오염물을 사용하여 세정제의 세정성능 평가를 진행하였다.

실험결과 배합 세정제의 세정성능이 플럭스, 솔더, 그리스의 오염물 세정에 매우 우수하게 나타났으며 오염물에 따라 세정효율에 영향을 미치는 변수가 다르게 나타났다. 플럭스 세정에서는 플럭스(21.3MPa^{1/2})와 유사한 용해도 매개변수의 MC(20.3MPa^{1/2}), DF-1(24.2MPa^{1/2}), DF-2(21.5MPa^{1/2}) 세정제가 3분 이내에 100%의 세정효율을 보였다. 그리고 솔더 세정에서는 -20℃ 이하의 아닐린점인 CFC-113, MC, 1,1,1-TCE가 높은 세정효율을 보였다. 그리스 세정에서는 그리스의 용해도 매개변수(15.0~17.0 MPa^{1/2})와 가장 유사한 DG-1 세정제(16.2 MPa^{1/2})와 DG-2 세정제(15.5 MPa^{1/2})의 세정효율이 비교적 저조하였고 습윤지수가 크고 아닐린점이 낮은 CFC-113과 MC가 세정효율이 우수하였다.

본 연구를 통해 플럭스, 솔더, 그리스의 오염물을 세정하기 위해 글리콜 에테르계, 파라핀계 및 실록산계 물질을 알맞게 배합하여 CFC-113, MC, 1,1,1-TCE와 같은 규제물질을 대체할 수 있는 탄화수소계 세정제를 개발할 수 있었다. 그리고 습윤지수, 아닐린점, 용해도 매개변수 등과 같은 세정성 영향을 검토하여 비수계 세정제의 세정성능을 예측하고 세정제의 배합에 적용할 수 있었다.

주제어 : 탄화수소계 세정제, 대체세정제, 산업세정제, 용해도 매개변수, 아닐린점, 습윤지수, 세정효율

Abstract – The objective of this study is to develop hydrocarbon-based cleaning agents by blending paraffins, glycol ethers and siloxanes in order to effectively clean contaminants such as flux, solder and grease. And the effect of cleaning ability by wetting index, aniline points and solubility parameter of the formulated

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

hydrocarbon-based cleaning agents were studied in this work.

The formulated hydrocarbon-based cleaning agents were prepared on the base of physical properties of their individual components. Wetting indexes and aniline points of their were measured through experiments and solubility parameters of their were calculated based on the *Hansen's* equation. In this study, evaluation of cleaning ability by cleaning agents were carried out using contaminants such as flux, solder, and grease.

The experimental results showed that the cleaning ability of the formulated cleaning agents was excellent in cleaning contaminants such as flux, solder and grease and that the influencing parameters on their cleaning efficiency were found to be different according to contaminant types. MC(20.3MPa^{1/2}), DF-1 (24.2MPa^{1/2}) and DF-2(21.5MPa^{1/2}) with similar solubility parameter as flux (21.3MPa^{1/2}) showed 100% cleaning efficiency within 3 minutes in flux cleaning. And CFC-113, MC and 1,1,1-TCE with low aniline point less than -20°C showed excellent cleaning efficiency in solder cleaning. DG-1(16.2 MPa^{1/2}) and DG-2(15.5 MPa^{1/2}) with similar solubility parameter as grease(15.0~17.0 MPa^{1/2}) showed relatively low cleaning efficiency of grease, but CFC-113 and MC with high wetting index and low aniline point showed good cleaning efficiency in grease cleaning.

As a result of this study, the hydrocarbon-based cleaning agents alternative to regulated cleaning agents such as CFC-113, 1,1,1-TCE and MC were able to be developed through properly blending paraffins, glycol ethers and siloxanes for cleaning flux, solder and grease. And it can be shown that various influencing parameters of cleaning efficiency such as wetting index, aniline point, solubility parameter and etc. of the non-aqueous cleaning agent should be reviewed for prediction of their cleaning ability and can be applied to formulation of cleaning agents.

Key words : Hydrocarbon-based cleaner, Alternative cleaning agent, Solubility parameter, Aniline point, Wetting index, Cleaning efficiency

1. 서 론

CFC 화합물(chlorofluorocarbon compounds)은 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. 산업세정분야에서는 그동안 광범위하게 사용되어온 CFC-113과 1,1,1-TCE가 오존층 파괴물질로써 사용이 규제됨에 따라 환경친화적인 세정제로의 대체가 절실히 요구되고 있어 현재 이에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다[1].

환경친화적인 세정제로 수계 및 준수계 세정제가 많이 개발되어 사용되고 있지만, 이들 세정제의 특정 유기오염물질에 대한 저조한 용해력과 물을 사용함에 따르는 부식성 등의 문제점이 있어 탄화수소계, 알콜계, 불소계 등의 비수계 세정제가 산업현장에서는 요구되고 있으며, 보다 환경친화적이며 세정력이 우수한 세정제의 개발이 필요하다.

비수계 세정제는 카우리-부탄올값(KB value), 아닐린점(aniline point) 등으로 나타내는 오염물질에 대한 용해력, 표면장력, 습윤지수 등으로 표현되는 오염물질에 대한 침투력, 그리고 용해도 매개변수(solubility parameter)와 같이 용제와 고분자와 같은 오염물질 간의 상대적인 상호 결합력(interaction) 등에 의하여 세정 메커니즘을 설명할 수 있다[2].

따라서, 세정제의 물성과 세정성능에 연관되는 표면장력, 습윤지수, 카우리-부탄올값, 아닐린점, 용해도 매개변수 등을 알면 산업세정 목적에 적합한 세정제를 개발하고 산업현장에 적

절한 세정제의 선정에 도움이 될 수 있다.

습윤지수는 세정제의 오염물에 대한 침투정도를 나타낸 값으로 다음과 같이 밀도, 점도, 표면장력의 함수이다. 일반적으로 습윤지수 값이 클수록 세정력이 클 것으로 기대할 수 있다.

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

카우리-부탄올값은 부틸알코올(n-butyl alcohol)에 카우리수지를 녹인 카우리-부탄올 용액 20g에 시험 용액을 가하고, 카우리-부탄올 용액이 규정된 백탁도를 갖게 될 때까지 사용된 시험용액의 부피(ml)를 말하며 탄화수소계 용제의 상대적 용해력을 나타내는 값으로 값이 클수록 용해력이 크다. 그러므로 세정성능을 간접적으로 알아볼 수 있는 파라미터로 표준시험 방법으로 ASTM D 1113법이 있다. 그러나 카우리-부탄올값 측정에 사용되는 카우리-부탄올 수지를 구하기 어려워 현재 국내에서 측정이 거의 불가능하다. 아닐린점은 탄화수소 혼합물의 방향족 함량을 추정하는데 가장 많이 사용되며 탄화수소계 용제의 용해성을 나타내는 수치로 시료를 같은 용량의 아닐린과 혼합해서 냉각했을 때 서로 용해할 수 없게 되어서 혼탁이 보이기 시작했을 때의 온도를 아닐린점이라 한다. 다시 말해 같은 용량의 탄화수소계 용제와 아닐린이 균일한 용액으로 존재하는 최저온도를 말하는 것으로 표준 시험방법으로는 KS M 2053 시험법이 있다. 아닐린점은 유기 오염물질에 대한 용해력을 나타내는 카우리-부탄올값과 상관관계가 있고 일반적으로 아닐린점이 낮으면 낮을수록 유기오염물질의 용해력이 크다고 알려져 있다 [2].

세정성에 영향을 미치는 인자로는 표면장력, 습윤지수, 카우

리-부탄올 값, 아닐린점 이외에 용해도 매개변수가 있다. 용해도 매개변수에 대한 연구는 고분자물질의 용해 및 특정 물질의 추출에 적합한 용제 선정에 많이 사용되었으며 Hoftyzer와 Van Krevelen[3]은 여러 가지 고분자 화합물 구조에 따른 작용하는 힘을 계산하는 방법을 고안하여 여러 물질에 대한 용해도 매개변수의 계산이 가능하게 되었으며 Lee[4]는 고분자 물질과 용매간의 상호작용에서 용해도 매개변수의 개념을 적용하여 용해력을 추정하기도 하였다. 세정분야에서는 Row and Lee[5]가 세정제에서의 아비에틱산(abietic acid)의 용해도 매개변수를 예측하였고, Kang et al.[6]이 용해도 매개변수를 추정하는 식을 이용하여 친연물의 용해도 예측 결과를 문헌에서 찾아볼 수 있었다. 이와 같이 물성이 잘 알려진 물질뿐만 아니라 미지의 물질에 대한 용해도 매개변수의 국내외적인 연구가 진행되고 있다.

용제, 고분자 수지, 유기오염물 등과 같은 물질의 용해도 매개변수(solubility Parameter)는 화합물 구조사이의 분산력인 결합에너지(cohesion energy)의 함수로 나타내어지는 Hildebrand의 이론에 따라 식 (2)와 같이 나타 낼 수 있다 [7].

$$\delta = \sqrt{\frac{E_{coh}}{V}} = \sqrt{\frac{\Delta H - RT}{V}} \quad (2)$$

용제, 고분자 수지, 유기오염물은 분산력 이외에 극성(polar) 그룹과 수소결합(hydrogen bonding) 그룹사이의 상호작용의 영향을 받고 있어 Hansen은 이것을 전체 결합 에너지를 분산력 이외에 극성력(polar force)과 수소결합력(hydrogen bonding force)을 추가하여 식 (3)과 같이 용해도 매개변수를 추정하였다. Kang et al.[6]과 Brandrup[7] 등은 Hansen의 이론에 따라 단일 물질에 대한 용해도 매개변수를 추정하였다.

$$E_{coh} = E_d + E_p + E_h \quad (3)$$

시중에 많이 사용되고 있는 여러 용제에 대하여 Brandrup

et al.[7]의 자료를 이용하여 용해도 매개변수를 계산한 값과 문헌에 발표된 값을 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 특정용제에 대한 용해도 매개변수의 값이 문헌치와 근사하게 추정되었으며 오차의 원인은 실제 화합물의 몰부피와 분자를 구성하는 원자사이의 영향성에 의해 발생한 것으로 판단된다.

또한, 혼합 용제의 경우 각 용제의 부피비율(Φ)과 용해도 매개변수의 성분($\delta_d, \delta_p, \delta_h$)과의 비례식으로 다음과 같이 혼합용제의 용해도 매개변수를 추정할 수 있다 [8].

$$\delta_d = \sum \Phi_i \delta_{di} \quad (4)$$

$$\delta_p = \sum \Phi_i \delta_{pi} \quad (5)$$

$$\delta_h = \sum \Phi_i \delta_{hi} \quad (6)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2} \quad (7)$$

여기서, δ 는 전체 용해도 매개변수로 단위는 $(\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2} = 2.046 \times 10^{-3} (\text{J}/\text{m}^3)^{1/2} = 2.046 \text{ MPa}^{1/2}$ 이다.

이와 같이 세정성에 영향을 미치는 인자로는 표면장력, 습윤지수, 카우리-부탄올 값, 아닐린점, 용해도 매개변수 등이 있다. 하지만, 지금까지 탄화수소계 배합세정제에 대한 용해도 매개변수, 아닐린점, 습윤지수 등과 같은 세정성능에 대한 여러 영향인자에 대한 관련 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 CFC 대체 탄화수소계 세정제를 개발하기 위해서 세정제 구성 성분 중 단일성분의 물성과 습윤지수 등을 측정하였고 용해도 매개변수를 추정하였다. 그리고 이들 단일성분들을 일정비로 혼합해 배합세정제를 제조하고 세정성능과 관계되는 물성을 측정하고 용해도 매개변수를 추정하였다. 또한, 플럭스, 솔더, 그리스의 오염물에 대한 세정효율을 측정하여 본 연구를 통해 세정효율과 세정제의 물성 및 용해도 매개변수와의 상관성을 조사 분석하여 보았다.

Table 1. Comparison of predicted solubility parameters and reference values[7]

Solvent	Predicted values ($\text{MPa}^{1/2}$)					Reference values ($\text{MPa}^{1/2}$)				
	Vm	δ_d	δ_p	δ_h	δ	Vm	δ_d	δ_p	δ_h	δ
n-Hexane	130.5	14.7	0	0	14.7	147.4	14.9	0	0	14.9
n-Octane	162.2	15.1	0	0	15.1	163.5	15.6	0	0	15.6
n-Decane	194.9	15.4	0	0	15.4	195.9	15.8	0	0	15.8
Acetone	73.5	15.3	10.5	5.2	19.3	74.0	15.5	10.4	7.0	20.1
Methyl ethyl ketone	89.6	15.6	8.6	4.7	18.4	90.1	16.0	9.0	5.1	19.6
Diethyl ketone	105.7	15.8	7.3	4.3	17.9	106.4	15.8	7.6	4.7	18.2
Benzaldehyde	101.6	18.7	8.0	6.7	21.4	101.5	19.4	7.4	5.3	21.5
Methanol	40.5	15.5	12.3	22.2	29.8	40.7	15.1	12.3	22.3	29.7
Ethanol	58.4	15.4	8.6	18.5	25.6	58.5	15.8	8.8	19.4	26.6
Isopropanol	76.5	14.8	6.5	16.2	22.9	76.8	15.8	6.1	16.4	23.5

2. 실험

2.1. 세정제의 구성성분 및 배합

2.1.1. 세정제의 구성성분

본 연구에서 배합한 세정제의 주성분으로 글리콜 에테르계(이하 GE)와 파라핀계(이하 IP)를 사용하였다. 글리콜 에테르계 물질은 물성이 다른 같은 계열의 메틸렌-글리콜-에테르(methylene glycol mono-methyl ether, GE-M, 한농화성, 99.9%)와 에틸렌-글리콜-에테르(ethylene glycol mono-ethyl ether, GE-E, 한농화성, 99.9%)를 사용하였다. 파라핀계 물질은 아로마틱 및 나프텐계 성분을 함유하지 않은 비교적 환경친화형 무취용제로서 탄소수가 C₇~C₈인 ISOL-C(파라핀 혼합물, SK Chem., 이하 IP-C)와 C₁₀~C₁₃인 ISOL-G(파라핀 혼합물, SK Chem., 이하 IP-G)를 사용하였다.

파라핀과 글리콜에테르계 물질 이외에 배합세정제 첨가물은 실록산(siloxane)을 사용하였다. 실록산은 낮은 표면장력(약 20.4mN/m)을 가지고 있고 바깥쪽을 가리키는 메틸 그룹은 강한 소수성의 막을 나타내는 특성이 있다. 이것은 실록산을 함유한 세정제가 비수용성 오염물에 침투하여 세정력을 촉진시킬 수 있는 성질을 가진다. 또한, 온도에 따른 점도변화가 적으며 낮은 표면장력으로 인하여 실록산을 함유한 세정제가 오염물에 침투하여 세정력을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단되어 사이클로테트라실록산(cyclotetrasiloxane : TS, Daw Corning, 60%)과 사이클로펜타실록산(cyclopentasiloxane : PS, Daw Corning, 60%)을 정제 없이 사용하였다.

2.1.2. 세정제의 배합

세정성능 평가에 사용되는 오염물은 금속, 전기, 전자분야에서 많이 사용되는 플럭스(abietic acid), 메탈마스크에 잔류하게 되는 솔더(solder paste)와 유동성 및 가공성을 좋게 사용하기 위해 사용되는 그리스로 선정하여 실험을 수행하였다.

세정제의 배합은 상기와 같은 오염물인 플럭스, 솔더, 그리스의 성질을 고려하여 원료 구성성분인 파라핀계, 글리콜에테르계, 실록산계 등의 특정 용해도 매개변수를 고려하여 구성물질의 적절한 배합으로 오염물의 용해도 매개변수와 유사한 용해도매개변수를 지니는 세정제를 제조 할 수 있을 것으로 판단하여 Table 2와 같이 배합하였다. Table 2에서 DF-1, DF-2

세정제는 플럭스 세정용으로, DS-1, DS-2 세정제는 잔류 솔더 세정용으로, DG-1, DG-2 세정제는 그리스 세정용으로 배합·제조한 세정제이다.

2.2. 물성 측정 및 세정성능 평가

2.2.1. 물성 측정

물성은 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-110M, 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. 용해력의 지표인 아닐린점(aniline point)은 한국표준 시험방법인 KS M 2053의 시험관법을 사용하여 측정하였다 [9].

2.2.2. 배합세정제의 세정성능 평가

세정성능 평가에 사용된 오염물은 위에서 언급한 바와 같이 플럭스, 솔더, 그리스를 사용하였으며 플럭스(flux)는 아비에틱산(abietic acid, Aldrich, 85%)을 이소프로필알코올(isopropyl alcohol, Aldrich, 98%)용액에 용해시켜 SUS 재질로 만든 25 x 75 x 2mm 크기의 시편 위에 마이크로 피펫으로 흐르지 않도록 도포하여 1시간 동안 상온 건조 후 60℃에서 12시간 구워 실험에 임하였다. 솔더(solder paste, Koki Co.)는 시편 위에 일정량의 솔더를 균일하게 도포하고 플럭스의 조건과 같이 60℃에서 구워 실험에 임하였다. 그리스(MPA-GBR, 천미광유)는 솔더의 도포 방법과 동일하게 일정량의 오염물을 도포한 후 12시간동안 정착시켜 실험에 임하였다.

세정성능 평가 방법으로는 중량법(gravimetric test), 육안 판정법, 닦아내기법(wiping test), 수막법(water-break test), 분무법(atomizer test), 접촉각 측정법(contact angle test), 증발농축법, 추출분석 평가법 등이 있으며 본 연구에서는 오염물질의 정량적인 평가를 위하여 중량법(gravimetric test)을 사용한다. 중량법에 의한 세정성능 평가방법은 세정 후 피세정물 시편에 잔류한 오염물의 무게를 1.0×10⁻⁴ g까지 측정하여 초기 시편에 오염된 양과 비교하여 세정성능을 평가하는 방법으로 세정효율은 아래의 식(8)로 계산하였다.

$$\text{Cleaning efficiency}(\%) = \frac{(\text{Initial contaminant} - \text{Remaining contaminant})}{\text{Initial contaminant}} \times 100 \quad (8)$$

세정방법은 세정과 건조의 2단계로 진행하였다. 세정공정에서 도포한 시편을 세정제에 일정시간 교반 없이 담가 침적세정 하였고, 60℃ 강제대류오븐(forced convection oven)에서

Table 2. Formulation ratio of cleaning agents

Cleaning agents	Formulation ratio of cleaning agents (v/v)
DF-1	GE-M : GE-E = 70 : 30
DF-2	GE-M : GE-E : TS = 45 : 30 : 25
DS-1	IP-C : IP-G : GE-E = 74 : 16 : 10
DS-2	IP-C : IP-G : GE-E : PS = 70 : 15 : 10 : 5
DG-1	IP-G : GE-E = 70 : 30
DG-2	IP-G : GE-E : PS = 76 : 19 : 5

Table 3. Physical properties of cleaning agent components

Cleaning agent component	Physical properties	Density (g/cm ³)	Viscosity (cP, 25°C)	Surface tension (dyne/cm)	Wetting Index	Flash point (°C)	Vapor pressure (kPa, 37.8°C)
GE-M		0.9782	1.70	28.0	20.55	44	17.2
GE-E		0.9306	2.19	25.7	16.53	47	12.9
IP-G		0.7472	1.52	21.9	22.45	48	17.9
IP-C		0.7050	1.55	17.7	25.70	<25	25.3
TS		0.9559	2.19	17.0	25.68	56	-
PS		0.9687	4.38	21.9	10.10	81	9.3

Table 4. Predicted solubility parameters of glycol ethers, paraffins and siloxanes

Single components	Molar volume (cm ³ /mol)	Solubility parameter(MPa ^{1/2})				
		δ_d	δ_p	δ_h	δ	
Glycol ethers	GE-M	79.3	16.0	8.1	17.0	24.7
	GE-E	96.9	15.9	6.6	15.4	23.1
Iso-paraffins	IP-C	161.4	14.4	0.0	0.0	14.4
	IP-G	220.9	15.2	0.0	0.0	15.2
Siloxanes	TS	299.2	15.4	2.1	3.5	15.9
	PS	370.0	15.5	1.9	3.9	16.1

10분간 잔류 세정제를 건조시킨 후 무게를 측정하는 방법을 사용하였으며 위의 실험을 3번 반복하여 측정하고 평균하여 측정값으로 하였다 [10].

3. 결과 및 고찰

3.1. 단일성분의 물성측정 결과

배합세정제를 구성하는 단일 성분들에 대한 물성은 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 보는 바와 같이 배합세정제의 구성성분들 모두가 물보다 밀도가 낮게 측정되었는데 낮은 밀도는 세정제와 세정 후 오염물의 분리에 유리할 것으로 판단된다. 점도는 실록산계 물질이 다른 구성성분들 보다 높았지만 낮은 점도를 나타내고 있어 오염물의 이동이 쉽게 일어나 세정에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 표면장력은 파라핀계 물질 중 IP-C와 실록산계 물질인 TS가 표면장력이 가장 낮았고 낮은 표면장력은 피세정물과 오염물 사이로 세정제의 침투력을 증가시킬 것으로 판단된다. IP-C와 TS의 습윤지수를 계산한 값이 커서 이들 물질이 세정제에 배합될 경우 높은 습윤력을 나타낼 것으로 판단된다. 인화점은 파라핀계 물질인 IP-C를 제외한 모든 구성성분들이 44°C보다 높은 것으로 나타났다. 증기압은 IP-C를 제외한 대부분의 물질이 낮아 비교적 안전한 물질임을 확인할 수 있었다.

3.2. 단일성분의 용해도 매개변수 추정

용제에 대한 용해도 매개변수는 용해도 매개변수 계산식을 사용하여 추정된 값을 Table 4에 나타내었다. 글리콜 에테르계 물질의 용해도 매개변수 추정값은 24.7 MPa^{1/2}(GE-M)과 23.1 MPa^{1/2}(GE-E)로 추정되었으며 파라핀계 물질의 용해도

매개변수 추정값은 구성성분들의 평균값으로 IP-C는 14.4 MPa^{1/2}로 IP-G는 15.2 MPa^{1/2}로 추정되었다. 그리고 실록산 TS와 PS의 용해도 매개변수는 15.9 MPa^{1/2}, 16.1 MPa^{1/2}으로 추정되었다[7, 8]. 본 연구에서 사용된 오염물의 용해도 매개변수와 유사하게 세정제 성분을 배합하여 제조할 경우 세정제의 오염물 용해력이 증가하여 높은 세정성능을 기대할 수 있다.

3.3. 배합세정제의 물성측정 결과

규제대상 오염물질인 CFC-113, MC, 1,1,1-TCE의 물성과 본 연구에서 배합 제조한 세정제의 물성을 Table 5에 나타내었다.

Table 5에서 보는바와 같이 플럭스 제거용 세정제 DF-1이 DF-2와 밀도와 점도는 비슷하나 표면장력이 50% 이상 크기 때문에 DF-2가 습윤지수가 비교적 높고, 따라서 침투력이 클 것으로 예상된다. 용해력을 나타내는 아닐린점은 DF-1 세정제가 아주 낮기 때문에 높은 용해력을 갖는 것으로 측정되었다. 이는 세정제에 첨가된 실록산의 영향으로 DF-2 세정제의 아닐린에 대한 용해력이 떨어진 것으로 추정된다.

솔더 제거용 세정제 DS-1, DS-2는 밀도와 표면장력이 모두 낮았고 점도는 DS-2가 DS-1에 비해 매우 커서 DS-1의 습윤지수가 크게 나타났다. 습윤지수의 차이로 침투력에 의한 세정은 DS-1이 더 좋을 것으로 예상되었다. 아닐린점은 DS-1, DS-2 모두가 높지만 DS-1이 더 높아 DS-2가 용해력에 의한 세정효율은 더 높을 것으로 추정되었다. 반면, 두 물질 모두 표면장력이 낮아 오염물에 대한 세정제의 침투력이 좋을 것으로 판단되었다. 그리고 잔류 솔더 제거용 세정제의 인화점은 낮았으나 솔더 세정공정이 대부분 밀폐하여 작업(Closed

Table 5. Physical properties of regulated and formulated cleaning agents

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)
CFC-113	1.5136	0.65	20.7	112.49	<-20	-	123.7
1,1,1-TCE	1.3105	0.86	28.7	53.10	<-20	-	29.9
MC	1.3170	0.40	27.84	118.27	<-20	-	140.89
DF-1	0.9564	2.19	30.8	14.18	<0	45.0	4.4
DF-2	0.9544	2.16	20.6	21.45	50	40.0	6.5
DS-1	0.7398	1.61	20.0	22.98	90	21.0	5.7
DS-2	0.7415	2.94	19.6	12.87	83	21.0	5.2
DG-1	0.7893	1.23	21.3	30.13	75	36.0	5.2
DG-2	0.7798	1.32	20.7	28.54	76	38.0	4.9

system)하고 있음을 감안하면 특별한 문제가 되지 않은 것으로 판단된다.

그리스 제거용 세정제 DG-1, DG-2의 물성 측정결과 밀도와 점도, 표면장력이 비교적 낮고 유사하게 측정되었고 아닐린 점은 높았으나 플릭스 및 솔더 제거용 세정제(DF-1, DF-2, DS-1, DS-2)보다 습윤지수가 높아 용해력보다 침투력에 의한 세정이 높을 것으로 예상되었다.

3.4. 배합세정제의 용해도 매개변수 추정

플릭스의 주성분인 아비에틱산의 용해도 매개변수는 추정식으로 계산했을 때 $\delta t = 21.3 \text{ MPa}^{1/2}$ ($\delta_d = 20.1, \delta_p = 1.9, \delta_h = 6.7$)로 계산되었다. 솔더는 금속입자와 플릭스의 혼합물로 입자에 의해 세정제의 침투가 어려워 용해력만으로는 세정이 어려울 것으로 판단되며, 습윤력이 우수한 세정제가 좋은 세정 성능을 보일 것으로 예상된다. 그리스의 주성분은 팜유계 파라핀, 나프텐, 방향족 성분의 혼합물로 알려져 있으며, 여러 종류의 첨가제가 혼합되어 있어 용해도 매개변수를 추정할 수 없었지만, 문헌[11]에 의하면, 그리스의 용해도 매개변수는 대략 $\delta t = 15.0 \sim 17.0 \text{ MPa}^{1/2}$ 인 것으로 추정된다.

배합세정제의 용해도 매개변수는 위에서 추정한 각 성분의

용해도 매개변수를 혼합용제의 농도에 비례하는 용해도 매개변수 계산식 (4), (5), (6), (7)에 대입하여 계산한 결과를 Table 6에 나타내었으며 CFC-113, 1,1,1-TCE 및 MC는 문헌의 값을 사용하였다. 규제대상 물질의 용해도 매개변수 값은 MC, 1,1,1-TCE, CFC-113의 순으로 낮았으며 플릭스 제거용 세정제 중 MC와 DF-2는 세정대상 오염물인 플릭스(abietic acid)와 거의 유사한 계산 값을 가지고 있어 플릭스 세정이 잘 될 것으로 판단된다. 그리고 잔류 솔더 제거용 세정제는 오염물이 플릭스와 납땀용 금속과의 혼합물이므로 세정제가 오염물 중의 금속입자 사이를 원활하게 침투하기 위해 표면장력이 작고 습윤지수가 큰 파라핀계 물질을 다량 첨가하여 침투력이 향상되어 세정이 잘 될 것으로 판단된다. 그리스 제거용 세정제에서는 DG-1, DG-2가 문헌을 바탕으로 추정한 그리스의 용해도 매개변수와 유사하여 세정효율이 좋을 것으로 판단되었다.

3.5. 배합세정제의 세정성능 평가 결과

3.5.1. 플릭스(Flux) 세정 결과

Figure 1에 규제대상 세정제와 플릭스 제거용 배합세정제 DF-1, DF-2에 의한 플릭스 세정효율을 도시하였다. CFC-113

Table 6. Predicted solubility parameters of regulated and formulated cleaning agents

Cleaning agents	Solubility parameter(MPa ^{1/2})			
	δ_d	δ_p	δ_h	δ
CFC-113*	14.7	1.6	0.0	14.7
1,1,1-TCE*	17.0	4.3	2.0	17.6
MC*	18.2	6.3	6.1	20.3
DF-1	16.0	7.7	16.5	24.2
DF-2	15.8	6.2	13.1	21.5
DS-1	15.1	0.7	1.6	15.2
DS-2	15.3	0.9	1.9	15.5
DG-1	15.4	2.0	4.6	16.2
DG-2	15.3	0.8	1.7	15.5

* : Reference value [7]

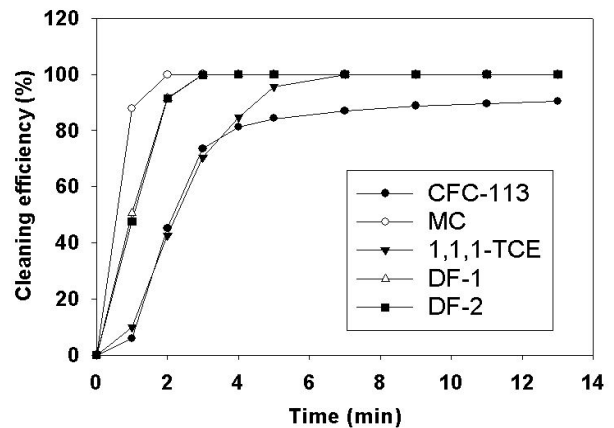


Figure 1. Cleaning efficiency of regulated and formulated cleaning agents for defluxing.

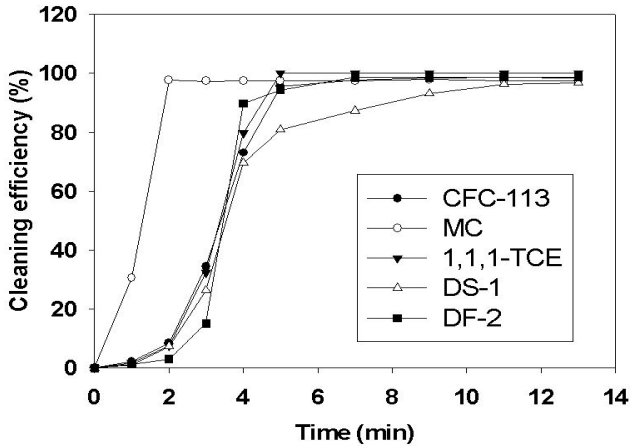


Figure 2. Cleaning efficiency of regulated and formulated cleaning agents for desoldering.

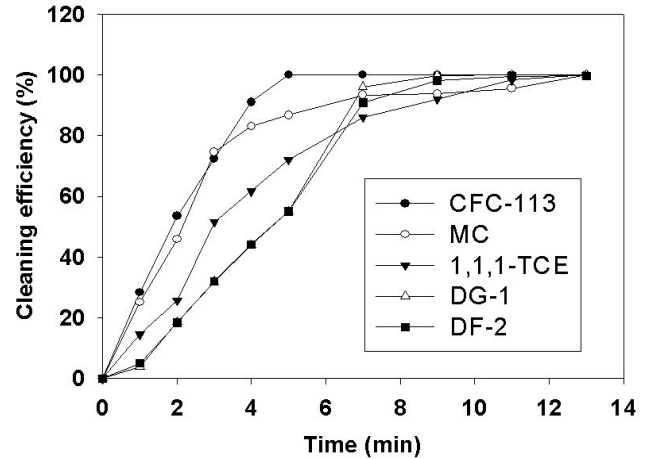


Figure 3. Cleaning efficiency of regulated and formulated cleaning agents for degreasing.

은 0°C 이하로 아닐린점이 낮아 용해력이 우수하고 습윤지수 (112.49)가 높아 침투력이 우수하여 높은 세정력이 기대되었으나, 세정성능 측정결과 CFC-113이 가장 저조한 세정효율을 나타내었다. 이는 플럭스의 주성분인 아비에틱산의 용해도 매개변수(21.3 MPa^{1/2})와 CFC-113의 용해도 매개변수(14.7 MPa^{1/2})가 가장 많은 차이를 보여 플럭스에 대한 용해력이 약하기 때문에 세정효율이 저조한 것으로 판단된다. 이에 비하여 용해도 매개변수가 플럭스와 비교적 유사한 세정제인 MC(20.3 MPa^{1/2}), DF-1(24.2 MPa^{1/2}), DF-2(21.5 MPa^{1/2})가 높은 세정효율을 보였다. 따라서 플럭스의 세정에서는 습윤지수나 아닐린점 보다는 용해도 매개변수가 더욱 큰 세정변수가 되는 것을 확인할 수 있었다.

3.5.2. 솔더(Solder) 세정 결과

Figure 2에 규제대상 세정제와 솔더 제거용 배합세정제 DS-1, DS-2에 대한 세정효율을 도시하였다. 솔더의 세정에서 규제대상 세정제 중 MC가 세정효율이 가장 우수하였고 DS-1 세정제가 가장 저조한 세정효율을 보였다. 솔더의 주성분인 플럭스의 용해도 매개변수와 용해도 매개변수가 많은 차이가 있는 CFC-113의 세정효율이 우수하였으며 많은 차이가 없는 1,1,1-TCE도 세정효율이 우수하였다. 이것은 두 세정제 모두 낮은 아닐린점을 가지고 있어 높은 세정효율을 나타낸 것으로 판단되며 DS-1 세정제는 DS-2 세정제에 비하여 표면장력, 습윤력이 모두 높았지만 세정효율은 낮게 나타났다. 이것은 DS-2 세정제의 아닐린점이 DS-1 세정제보다 낮아 높은 용해력이 높은 것으로 판단된다. 따라서 솔더의 세정에서는 습윤지수와 용해도 매개변수 보다는 아닐린점이 큰 역할을 하는 것으로 판단된다.

3.5.3. 그리스(Grease) 세정 결과

Figure 3에 규제대상 세정제와 그리스제거용 배합세정제 DG-1, DG-2에 대한 세정효율을 도시하였다. 그리스제거용 세정제의 세정성능 평가결과 그리스의 용해도 매개변수(15.0~17.0 MPa^{1/2})와 유사한 DG-1 세정제(16.2 MPa^{1/2})와

DG-2 세정제(15.5 MPa^{1/2})의 세정효율이 비교적 저조했으며 높은 습윤지수와 낮은 아닐린점을 갖는 CFC-113, 1,1,1-TCE, MC 등의 규제대상 세정제가 높은 습윤력과 낮은 아닐린점에 따른 우수한 용해력으로 인해 세정효율이 우수한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 배합세정제에 의한 그리스의 세정에서는 용해도 매개변수보다 습윤지수와 아닐린점이 큰 변수로 작용하는 하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 글리콜 에테르계 물질과 파라핀계 물질을 혼합하고 실록산계 물질을 첨가하여 비수계 세정제를 제조하였다. 그리고 제조한 세정제의 물성과 습윤지수, 아닐린점 등을 측정하고 배합세정제에 대한 용해도 매개변수를 추정하여 세정성능을 예측하였다. 세정성능 측정결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

플럭스 세정에서는 습윤지수나 아닐린점 보다는 용해도 매개변수가 더욱 큰 세정변수가 되고 솔더 세정에서는 습윤지수와 용해도 매개변수 보다는 아닐린점이 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었으며, 본 연구의 배합세정제에 의한 그리스에 대한 세정에서는 용해도 매개변수보다 습윤지수와 아닐린점이 더욱 큰 세정변수가 되는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구로 세정성능이 우수한 비수계 세정제를 배합 제조할 수 있었으며 세정대상 오염물에 따라 세정효율에 대해 습윤지수, 아닐린점, 용해도 매개변수의 영향을 조사할 수 있었다. 그 결과 세정제를 배합할 때 습윤지수, 아닐린점, 용해도 매개변수 등의 복합적인 고려가 필요하며 세정제의 세정성능을 예측하기 위해서는 오염물과 세정제의 특성에 따른 세정변수를 우선적으로 예측, 측정, 확인의 단계를 거쳐야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Shin, M. C., "A Study on Field Application and Cleanliness

- Evaluation of Alternative Cleaning Agents”, Master’s Thesis, University of Suwon, 1999, pp.6-8.
2. Bae, J. H., “Environmental-friendly wet cleaning technology and cleaning mechanism”, Seminar on CFC-alternative Technology, Korea Speciality Chemical Industry Association, 2006, pp.19-46.
 3. Hoftyzer, P. J. and Van Krevelen, D. W., Properties of Polymers, Elsevier, 2nd ed., 1990, pp.189-224.
 4. Lee, J. O., "Use of the Solubility Parameter in the Estimation of Polymer-Solvent Interactions.", *Polymer(Korea)*, **12**(1), 1-9 (1988).
 5. Row, K. H. and Lee, Y. Y., “Prediction of Solubility of Abietic Acid in Cleaning Solvent”, *HWAHAK KONGHAK*, **31**(6), 623-627 (1993).
 6. Kang, J. H., Chung, S. T., and Row, K. H., “Estimation of Solubility of the Useful Components in Some Natural Products”, *HWAHAK KONGHAK*, **39**(4), 390-396 (2001).
 7. Brandrup, J., Immergut, E. H. and Grulke, E. A., Polymer Handbook, 4th ed., Wiley Interscience, 1999, pp.671-716.
 8. Allan, F. M. Bartin, Handbook of Solubility Parameters and Other Cohesion Parameters, CRC, 2nd ed., 1991, pp.60-63 and 169-185.
 9. Korean Standards Association, “Testing Methods for Aniline Point and Mixed Aniline Point of Petroleum Products,” KS M 2053 (2004).
 10. Cha, Y. C., “A Study on Cleaning Ability and Environmental Evaluation of Commercial Aqueous/Semi-Aqueous Cleaning Agents”, Master’s Thesis, University of Suwon, 2003, pp.48-49.
 11. Naphthenic oils advantageous in grease making, Naphthenics Magazine, Nynas Co., **1**(1), 2006, pp. 14-15.
 12. Row, K. H., Choi, D. K., and Lee, Y. Y., “Comparison of Cleaning Performance of 1,1,1-TCE and Methylene Chloride”, *Chemical Industry and Technology*, **13**(3), 283-291 (1995).
 13. Park, J. N., Kim, E. J., Jung, Y. W., Kim, H. G., and Bae, J. H., “Physical Properties and Cleaning Ability of Fluoride-Type Cleaning Agents Alternative to Ozone Destruction Substances”, *Clean Tech.*, **11**(3), 129-139 (2005).