



실리콘계 용제(Decamethylcyclopentasiloxane, D₅)와 실리콘계 계면활성제에 의한 면직물과 Polyester/Cotton(65/35)직물의 친환경 드라이클리닝 효과 향상

Improvement of Eco-friendly Dry Cleaning Performance of Cotton and Polyester/Cotton(65/35) Fabrics in Silicone Solvent(Decamethylcyclopentasiloxane, D₅) with Silicone Surfactants

김천희*

한남대학교 의류학전공

Kim, Chunhee*

Division of Clothing & Textiles, Hannam University

Abstract

The detergency and soil redeposition of cotton and polyester/cotton(65/35) fabrics in dry cleaning solvents, i.e. petroleum solvent, perchloroethylene, decamethylcyclopentasiloxane(D₅), with commercial detergents were studied. The dry cleaning detergency of cotton soiled fabric was not satisfactory regardless of cleaning conditions. However, the KS detergent noticeably improved wet detergency and also diminished the soil redeposition of cotton fabrics. Polyester/cotton(65/35) soiled fabrics displayed a similar tendency of dry cleaning detergency. Generally, wet cleaning exhibited a better detergency for both cotton and polyester/cotton(65/35) soiled fabrics than dry cleaning. Therefore, wet cleaning was more suited for those textiles if there were no deformation issues regarding the shapes and sizes of clothes. Even though the dry cleaning detergency of D₅ was not optimal, it was comparable to that of petroleum solvents and perchloroethylene. When commercial detergents were added to the dry cleaning solvents, the soil redeposition decreased regardless of solvent/fabric types with the following exception: The soil redeposition in D₅ with the commercial detergent dramatically increased with added water due to its lack of siliphilicity. Silicone surfactants were tested for detergency and soil redeposition in D₅ regarding their suitability as dry cleaning detergents. Among three candidate silicone surfactants, PEG/PPG-19/19 Dimethicone (high molecular weight) displayed an exceptionally good soil redeposition prevention effect, even though its dry cleaning detergency was not very satisfactory. It is rare that clothes are as heavily soiled as artificially soiled fabrics under real wearing conditions. Therefore, soil redeposition can be more crucial for commercial dry cleaning systems than detergency itself, especially for light-colored clothes. The siliphilicity of surfactants calculated with a three-dimensional hydrophile-lipophile balance (3D HLB) concept is an important factor in determining surfactants for D₅ dry cleaning purposes. In conclusion, PEG/PPG-19/19 Dimethicone (high molecular weight) is an appropriate surfactant in D₅ dry cleaning detergents for dry cleaning performance improvements of cotton and polyester/cotton fabrics.

Keywords: eco-friendly dry cleaning, silicone, surfactants, detergency, soil redeposition

이 논문은 2015년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

* Corresponding Author: Kim, Chunhee

Tel: +82-42-629-7524, Fax: +82-42-629-8335

E-mail: chunhee@hnu.kr

© 2017, Korean Association of Human Ecology. All rights reserved.

I. 서론

대표적인 드라이클리닝 용제인 석유계 용제, 염소계 용제, 불소계 용제는 인체와 환경에 대한 유해성 문제로 인해 사용이 규제되고 있다. 따라서 이들을 대체할 수 있는 용제 개발 및 세탁방법이 연구되고 있으나(Onasch, 2011; Rotman, 1997; Scheer & Moss, 2011; Troynikov et al., 2016; Roosmalen et al., 2004) 아직은 여러 가지 면에서 미흡한 상황이다. 미국 GreenEarth® Cleaning사에서는 친환경 실리콘 오일인 decamethylcyclotrisiloxane(D₃)을 드라이클리닝 용제로 사용하고 있는데, 국내에서도 [그린클리닝]에서 2008년 말 GreenEarth® 클리닝 기계를 최초로 도입하여 ‘친환경 세탁 서비스’를 시작했으나(Hwang, 2009), 세탁성 부족 등으로 소비자 수요가 없어 사업이 성공하지 못했다. 그러다 최근 GreenEarth® Korea가 서울지역에 12개의 매장을 열고 클리닝 서비스를 시작하고 있으나 세탁성 부족 문제는 계속 발생하리라 생각된다. 따라서 D₃의 드라이클리닝 세탁성 부족문제를 해결하기 위한 세제 개발이 시급하다 하겠다.

고리형 실리콘 오일은 hexamethylcyclotrisiloxane(D₃), octamethylcyclotetrasiloxane(D₄), decamethylcyclotetrasiloxane(D₅) 등이 있으며(Nakamura et al., 1991), 이 중 D₃는 현재 샴푸, 헤어 컨디셔너, 화장품 등에 널리 사용될 정도로 인체와 환경에 대해 안전하다고 인정되고 있다 (GreenEarth® Cleaning). 그러나 D₃를 용제로 사용한 드라이클리닝은 시작 단계로 이에 대한 체계적인 연구는 거의 없는 상황이다. Kim(2012)은 perchloroethylene과 석유계 용제의 경우 친유성 계면활성제가 첨가되면 세탁률과 재오염방지 효과가 향상되었으나, D₃의 경우는 계면활성제의 HLB(hydrophile-lipophile balance)와 무관하고 친실리콘성까지 고려한 3D HLB(O'Lenick & Parkinson, 1996) 적용이 필요하다고 보고하였다. Kim(2014)은 친환경 실리콘계 드라이클리닝 용제(D₃)의 모직물에 대한 세척성과 재오염성을 기존 드라이클리닝 용제와 비교한 후, D₃ 용제의 세척성을 향상시키기 위한 드라이클리닝 세제용 계면활성제로 실리콘계 계면활성제인 polyethylene glycol/polypropylene glycol(PEG/PPG)-19/19 Dimethicone (고분자량)을 제시하였다. 이 계면활성제는 모든 조건에서 D₃ 용제의 드라이클리닝 세척성을 월등히 향상시켰고 재오염방지 효과도 매우 우수하여 D₃ 용제용 드라이클리닝 세제 조성을 위한 계면활성제로 보고되었다.

드라이클리닝은 섬유, 의복의 형태 및 염료 등이 손상

되거나 변형되기 쉬운 모, 견 같은 단백질 섬유 제품에 주로 이용되지만, 의복의 용도와 형태가 다양해짐에 따라 면, 마와 같은 셀룰로오스 섬유나 합성섬유 및 합성섬유 혼방 제품도 드라이클리닝으로 세탁을 해야 하는 경우가 있다. 즉, 걸감이 셀룰로오스 섬유나 합성섬유 또는 합성섬유 혼방이라 하더라도 걸감/심감/안감 등과 같이 복합적인 소재가 사용되었을 경우, 또는 니트 제품처럼 물세탁 시 형태 변형이 우려될 경우에는 물세탁 보다는 드라이클리닝을 권하고 있다. 즉 면이나 합성섬유 및 합성섬유 혼방 소재로 제작된 기성복의 경우 [취급시 주의사항]에서 드라이클리닝을 권하는 경우가 매우 많은 것이 현실이다. 따라서 D₃ 용제가 상업적 드라이클리닝에 적용되기 위해서는 모직물뿐 아니라 면직물이나 합성섬유 또는 합성섬유 혼방 제품에서도 우수한 드라이클리닝 효과를 나타내는지 확인할 필요가 있다.

본 연구에서는 면과 polyester/cotton(P/C, 65/35) 시료에서, 첫째, 실리콘계 용제인 D₃의 드라이클리닝 세탁성과 재오염성을 석유계 용제 및 염소계 용제(perchloroethylene)와 비교하여 D₃가 상업적으로 사용될 수 있는 기본적인 성능을 갖고 있는지 확인한 후, 둘째, D₃의 드라이클리닝 세탁성과 재오염방지 효과를 향상시키기 위해, 상용 시판 세제보다 우수한 성능을 나타내는 실리콘계 계면활성제를 찾는 연구를 진행하였다. 즉, 특정 실리콘계 계면활성제가 모직물의 경우에서와 같이 면직물과 P/C(65/35)직물에서도 D₃ 세탁성을 향상시키고 동시에 우수한 재오염방지 효과를 나타내는지 확인하여 D₃와 실리콘계 계면활성제의 상업적 적용 가능성에 대해 고찰하고자 한다.

II. 실험

1. 시료 및 시약

시험용 면오염포 EMPA101과 EMPA118, 시험용 면원포 EMPA211과 EMPA221, 시험용 polyester/cotton(P/C, 65/35)오염포 EMPA104와 EMPA119, 시험용 P/C(65/35) 원포 EMPA213은 Testfabrics, Inc. USA 에서 구입하여 사용하였으며, 시험포의 특성은 <Table 1>과 같다. 오염포는 원포에 비해 무게와 두께가 증가한 것을 알 수 있다. EMPA104는 두께가 약 19% 증가하였고 반사율은 매우 낮으므로 다량의 carbon black으로 착색된 경우로 생각할 수 있는데, 이는 원포인 EMPA213의 밀도가 낮아 직물의

(Table 1) Physical properties of EMPA test fabrics

	Product details	Approx. weight	Surface reflectance (%)	Fabric count warp×filling (yarns/inch)	Thickness (mm)
EMPA101	standard soiling, cotton soiled with carbon black/olive oil	90g/m ² (5.8%)	16.9	125.7×125.7	0.162 (8.0%)
EMPA118	specific soiling, cotton soiled with sebum/pigment	205g/m ² (2.5%)	47.8	96.0×54.8	0.406 (9.1%)
EMPA211	unsoiled test fabric, cotton percale, bleached without optical brightener	85g/m ² (0%)	86.1	125.7×125.7	0.150 (0%)
EMPA221	unsoiled test fabric, cotton cretonne, bleached without optical brightener	200g/m ² (0%)	86.1	96.0×54.8	0.372 (0%)
EMPA104	standard soiling, polyester/cotton, 65/35, soiled with carbon black/olive oil	165g/m ² (6.4%)	11.7	71.3×62.3	0.292 (18.7%)
EMPA119	specific soiling, polyester/cotton, 65/35, soiled with sebum/pigment	160g/m ² (3.2%)	48.1	71.3×62.3	0.268 (8.9%)
EMPA213	unsoiled test fabric, polyester/cotton fabric, 65/35, bleached without optical brightener	155g/m ² (0%)	83.8	71.3×62.3	0.246 (0%)

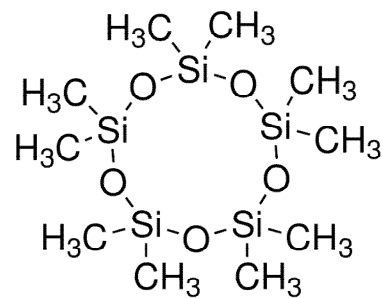
() represents % increase in weight or thickness compared to unsoiled fabrics

구조가 헐겁기 때문으로 생각된다.

드라이클리닝 용제로는 석유계용제, 염소계 용제(perchloroethylene), 실리코계 용제(decamethylcyclopentasiloxane, D₅)를 사용하였다. 석유계 용제는 대전세탁협회, perchloroethylene은 삼성화학약품(대전), D₅는 한국신에츠실리콘(주)에서 구입하였다. D₅의 화학구조는 [Scheme 1]과 같고, 화학구조와 물리적 특성은 전보에 자세히 보고되었다(Kim, 2012). PubChem에 의하면 용제의 수용성은 perchloroethylene이 0.15g/L(20℃), decane (C₁₀)은 0.009mg/L(20℃), D₅는 0.017mg/L(25℃)이다. 석유계 용제(stoddard solvent, Agency for Toxic Substances and Disease Registry)는 다양한 탄소길이(C₇-C₁₂)를 갖는 탄화수소의 혼합물로 알려져 있으므로 decane의 수용성을 대표로 하여 비교하였다. 따라서 용제의 극성을 살펴보면 물>perchloroethylene>D₅>석유계 용제 순으로 예측할 수 있다.

습식세탁용 세제는 KS 합성세제(KS M 2715)를 사용하였고, 드라이클리닝용 시판세제는 석유계용 2종(시판세제 1 & 2), perchloroethylene용 2종(시판세제 3 & 4), D₅용 1종(시판세제 5)을 사용하였다. 시판세제 1 과 시판세

제 3은 화인 TnC(대전), 시판세제 2와 시판세제 4는 크린스타상사(고양)에서 구입하였고, 시판세제 5는 금호세탁소(김해)에서 제공받아 사용하였다. 시판세제의 정확한 조성은 알려져 있지 않으나 주 계면활성제는 비이온계 계면활성제이고, 보조 계면활성제로 소량의 양이온계 또는 음이온계 계면활성제와 저분자량의 알코올이 첨가된 것으로 알려져 있다.



[Scheme 1] Chemical Structure of Decamethylcyclopentasiloxane (D₅)

D₅ 드라이클리닝 성능 향상을 위해 4종의 계면활성제 (계면활성제 1-4)를 선정하여 실험하였으며, 이들의 화학

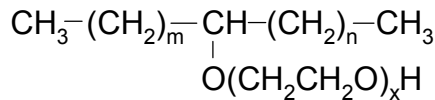
구조([Scheme 2-4])와 물리적 특성(<Table 2>)은 전보에 자세히 보고되었다(Kim, 2014). 계면활성제 1은 일반 비이온계 계면활성제로 금호세탁소(김해)에서 제공받았고, 계면활성제 2-4는 실리콘계 계면활성제로 Dow Corning Korea에서 제공받아 사용하였다. 계면활성제 1은 C₁₂₋₁₄ secondary alcohol, 계면활성제 2는 PEG/PPG-19/19 dimethicone(고분자량), 계면활성제 3은 PEG/PPG-18/18 dimethicone(저분자량), 계면활성제 4는 Lauryl PEG/PPG-18/18 methicone이고, 계면활성제 2와 계면활성제 3은 water in silicone(W/Si) 유화력이 있다. 이 중에서도 계면활성제 2는 고분자량 계면활성제로 3D HLB 이론에 의해 친실리온성이 특히 강할 것으로 예측할 수 있다.

2 세탁시험과 재오염성 시험

습식 세탁성과 습식세탁 재오염성은 Terg-O-Tometer를 사용하였고, 드라이클리닝 세탁성과 드라이클리닝 재오염성은 Launder-O-meter를 사용하였다.

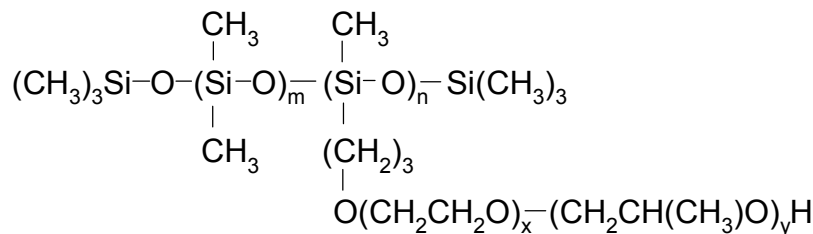
습식 세탁성 시험은 1.0g/L 계면활성제 수용액 1000ml에 5cmX10cm 크기의 오염포 4매씩 넣고 40℃ 40cpm으로 20분간 세탁하고, 같은 조건에서 증류수 1000ml로 3분간 2회 행군 후 자연 건조한다. 습식세탁 재오염성 시험은 1.0g/L 계면활성제 수용액 1000ml에 5cmX10cm 크기의 원포 4매, carbon black 0.1g/L를 넣고 40℃ 40cpm으로 20분간 작동하고, 같은 조건에서 증류수 1000ml로 3분간 2회 행군 후 자연 건조한다.

드라이클리닝 세탁성 시험은 3개의 표준병에 각각 1.0g/dL 계면활성제 용제용액 100ml, 5cmX10cm 크기의 오염포 1매, 10개의 강철구를 넣고 실온에서 20분간 세탁하고, 깨끗한 용제로 3분간 1회 행군 후 공기 중에서 자연



[Scheme 2] Chemical Structure of Surfactant 1:

$$m + n = 9-11, x = 3$$

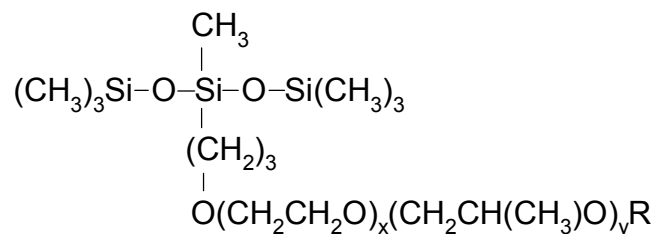


[Scheme 3] Chemical Structure of Surfactants 2 and 3

surfactant 2 (high molecular weight): x = y = average 19

surfactant 3 (low molecular weight): x = y = average 18

*m and n: not known



[Scheme 4] Chemical Structure of Surfactant 4:

x = y = average 18, R = lauryl (C₁₂)

<Table 2> Characteristics of surfactants: SOFTANOL30 and DOW CORNING® Silicone surfactants

	Product name	INCI name	Emulsion type	Description	% Actives	Specific gravity (25 °C)
Surfactant 1	SOFTANOL 30	C12-14 Sec-Pareth-3 (C12-14 secondary alcohol)	W/O	Slightly yellow clear, Liquid Nonionic surfactant	100%	0.932
Surfactant 2	DC BY 11-030	PEG/PPG-19/19 Dimethicone	W/O, W/Si, W/Si microemulsions	Clear 50% dispersion of high molecular weight silicone surfactant (polyoxyethylene/polyoxypropylene) in D ₅	50%	0.98
Surfactant 3	DC 5225C	PEG/PPG-18/18 Dimethicone	W/O, W/Si, Multiple	Low molecular weight surfactant in D ₅	10.5%	0.956
Surfactant 4	DC 5200	Lauryl PEG/PPG-18/18 Methicone	W/O, W/Wax, W/O/W Multiple	Liquid alkylmethyl siloxane copolyol of lauryl-(C12) and polyether-modified siloxane	100%	0.896

건조 한다. 드라이클리닝 재오염성 시험은 3개의 표준병에 각각 1.0g/dL 계면활성제 용제용액 100ml, 5cmX10cm 크기의 원포 1매, carbon black 0.01g/dL, 10개의 강철구를 넣고 실온에서 20분간 회전하고, 깨끗한 용제로 3분간 1회 행군 후 자연건조 한다.

색차계(Color and Color Difference Meter, Model TC-3600, Tokyo Denshoku Co., Ltd.)로 표면반사율을 측정하여 아래 식(2)에 의해 세탁률을 계산하였고, 식(3)에 의해 재오염률을 계산하였다(Kim, 1999; Kim & Park, 1999; Kim, 2012; Kim, 2014)

$$K/S = \frac{(1 - R)^2}{2R} \text{-----(1)}$$

$$D_{k/s}(\%) = \frac{(K/S)_s - (K/S)_w}{(K/S)_s - (K/S)_o} \times 100 \text{-----(2)}$$

R: surface reflectance

D: detergency

(K/S)_o : K/S value for original cloth

(K/S)_s : K/S value for soiled cloth

(K/S)_w : K/S value for washed cloth

$$\text{Soil Redeposition}(\%) = \frac{R_o - R_{sr}}{R_o} \times 100 \text{-----(3)}$$

R_o: surface reflectance for original cloth

R_{sr}: surface reflectance for soil redeposited cloth

III. 결과 및 고찰

1. 시판세제가 드라이클리닝 세탁성에 미치는 효과

<Table 3>은 면오염포 EMPA101(olive oil/carbon black)의 세탁성을 나타낸 것이다. 습식 세탁률은 KS 합성세제가 첨가되었을 때 35.8%에서 87.0%로 현저히 향상되었으나, 드라이클리닝 세탁성의 경우에는 세척 조건에 관계없이 전체적으로 매우 낮은 세탁률을 보여준다. 석유계 용제의 경우, 시판세제 1과 2가 첨가되면 세탁률이 8.7%에서 20.1% 와 15.0%로 각각 향상되었고, perchloroethylene 드라이클리닝 세탁률은 시판세제 3과 4가 첨가되었을 때 9.4%에서 22.3% 와 13.7% 로 각각 향상되었다. 그러나 D₅ 드라이클리닝 세탁성은 시판세제 5가 첨가되어도 거의 변화가 없었다. 드라이클리닝 용제에 1% 물이 첨가된 경우는 용제나 세제의 종류에 관계없이 전체적으로 드라이클리닝 세탁성이 약간 향상되었다. <Table 4>는 면오염포 EMPA118(sebum/pigment)의 세탁성을 나타낸 것으로 <Table 3>과 유사한 경향을 나타내며, 드라이클리닝 세탁률은 <Table 3>에 비해 전체적으로 높은 수치를 보인다. Kim(1999)는 합성 피그먼트와 합성 피지로 제작된 오염포가 EMPA 보다 더 높은 드라이클리닝 세탁성을 나타낸다는 이와 유사한 결과를 보고하였다. 이는 EMPA118의 피그먼트의 종류는 알려져 있지 않으나, EMPA101의 carbon black이 EMPA118의 피그먼트 보다 강하게 부착되어 있기 때문이라 추측된다.

〈Table 3〉 Detergency of soiled cotton fabric (EMPA101)

	Detergency(%)				Detergency with 1% water(%)			
	Water	Petroleum solvent	Perchloro ethylene	D ₅	Water	Petroleum solvent	Perchloro ethylene	D ₅
Without detergents	35.8 (2.1)	8.7 (0.7)	9.4 (0.7)	10.1 (1.8)	-	13.0 (1.1)	17.9 (5.1)	19.4 (1.1)
KS detergent	87.0 (2.1)	-	-	-	-	-	-	-
Commercial detergent 1	-	20.1 (1.5)	-	-	-	30.0 (0.5)	-	-
Commercial detergent 2	-	15.0 (1.3)	-	-	-	24.8 (3.0)	-	-
Commercial detergent 3	-	-	22.3 (0.4)	-	-	-	24.3 (0.8)	-
Commercial detergent 4	-	-	13.7 (0.8)	-	-	-	28.0 (1.1)	-
Commercial detergent 5	-	-	-	10.8 (0.5)	-	-	-	27.0 (1.0)

() represent standard deviations

〈Table 4〉 Detergency of soiled cotton fabric (EMPA118)

	Detergency(%)				Detergency with 1% water(%)			
	Water	Petroleum solvent	Perchloro ethylene	D ₅	Water	Petroleum solvent	Perchloro ethylene	D ₅
Without detergents	41.6 (1.0)	26.1 (0.3)	25.4 (0.4)	23.4 (0.6)	-	27.7 (0.5)	17.3 (2.9)	25.0 (0.8)
KS detergent	70.6 (1.1)	-	-	-	-	-	-	-
Commercial detergent 1	-	32.9 (0.9)	-	-	-	37.8 (0.6)	-	-
Commercial detergent 2	-	28.0 (0.8)	-	-	-	34.3 (1.5)	-	-
Commercial detergent 3	-	-	33.0 (0.8)	-	-	-	26.7 (2.4)	-
Commercial detergent 4	-	-	28.3 (0.5)	-	-	-	28.6 (5.3)	-
Commercial detergent 5	-	-	-	24.7 (0.6)	-	-	-	29.1 (0.2)

() represent standard deviations

<Table 5>는 polyester/cotton(P/C, 65/35)오염포 EMPA104(olive oil/carbon black)의 세탁성을 보여주고 있다. <Table 5>와 <Table 3>을 비교해 보면 EMPA104의 세탁성도 EMPA101과 유사한 경향을 보여주나 EMPA104의 세탁률은 EMPA101의 세탁률보다 전체적으로 낮으며 물이 첨가되었을 때 특히 낮게 나타난다. 이는 P/C(65/35)가 면에 비해 소수성 carbon black 과의 친화력이 크기 때문으로 생각되며, 물이 첨가되고 세제가 첨가되지 않은 경우 perchloroethylene의 세척성이 매우 낮게 나타나는 것은 물 분자가 면오염포의 경우처럼 기질에 부착되기 보다는 극성이 큰 용액 내에서 계면활성제가

없는 조건 하에서 안정적인 에멀전이 이루어지지 않기 때문으로 생각된다. 이는 또한 섬유 조성의 차이 때문만이 아니라 EMPA104의 낮은 밀도와 틈이 많은 표면구조에도 기인한다고 생각된다. 물 첨가 시, 석유계 용제+시판세제 2의 경우는 특히 낮은 세탁률을 나타내는데, 이에 대한 명확한 이론적 이유를 밝히긴 어렵고 복합적 요인이 작용했으리라 예측된다. Tagawa와 Gotoh(2010)에 의하면 carbon black 세탁성은 기질의 기하학적 구조에 영향을 받아서, 평탄한 필름보다 섬유물질에서 세탁성이 낮게 나타난다고 보고하였다.

<Table 3-5>의 결과를 종합해 보면 면오염포와 P/C

(65/35)오염포의 경우 습식세탁은 우수하나 드라이클리닝 세탁성은 매우 낮아서 드라이클리닝으로는 효과적인 오염 제거가 어려울 것으로 생각된다. 따라서 옷의 변형 문제가 없다면 면이나 P/C의 경우는 물세탁이 더 효과적이라 생각할 수 있다. 이는 모직물 오염포를 사용한 이전 연구(Kim, 2014)와 매우 다른 결과로, 모직물 오염포의 경우 드라이클리닝 세탁성이 전체적으로 우수하고 세제 첨가 시 드라이클리닝 세탁성이 더욱 향상되어 66%-81%의 우수한 세탁률을 보여주었다. Kim(1999)은 이와 유사한 결과를 보고하며, 이는 양모가 cellulose에 비해 유기 용제에 젖기 쉽고, polyester/면 혼방섬유에 비해 유성 오구 및 고형 오구와의 친화력이 낮기 때문이라고 설명하였다. D₅의 세탁성이 우수한 것은 아니지만 석유계 용제나 perchloroethylene의 세탁성과 비교했을 때 유사하게 나타나므로 상용 드라이클리

닝 시스템에의 적용은 가능하다고 생각된다.

2. 시판세제가 드라이클리닝 재오염성에 미치는 효과

면원포 EMPA211(percale)의 재오염성 결과가 <Table 6>에 제시되었다. 세제가 첨가되지 않았을 경우의 재오염률은 perchloroethylene이 가장 높게 나타났고, 석유계 용제가 가장 낮게 나타났다. Fowkes's study(as cited in Kim 1999)에 따르면 이는 perchloroethylene에서 고형입자가 적당히 작은 크기로 잘 분산이 되어 있고 섬유에 부착하기 쉬운 크기나 형태로 존재하기 때문이라고 설명하였다. KS 합성세제 첨가 시 습식세탁 재오염률은 10.9%로 급격히 저하되었고, 석유계 용제에 시판세제 1과 2가 첨가되었을 때에도 8.7%와 18.1%로 낮아졌다. Perchloroethylene의 경우는

<Table 5> Detergency of soiled polyester/cotton (65/35) fabric (EMPA104)

	Detergency(%)				Detergency with 1% water(%)			
	Water	Petroleum solvent	Perchloro ethylene	D ₅	Water	Petroleum solvent	Perchloro ethylene	D ₅
Without detergents	21.1 (0.2)	4.4 (0.7)	10.7 (0.6)	8.9 (1.2)	-	2.5 (0.2)	-1.2 (0.6)	5.1 (1.1)
KS detergent	83.6 (0.5)	-	-	-	-	-	-	-
Commercial detergent 1	-	15.7 (0.3)	-	-	-	28.0 (1.3)	-	-
Commercial detergent 2	-	12.9 (0.7)	-	-	-	-6.0 (2.5)	-	-
Commercial detergent 3	-	-	28.3 (0.6)	-	-	-	25.0 (1.8)	-
Commercial detergent 4	-	-	13.5 (1.3)	-	-	-	25.2 (0.7)	-
Commercial detergent 5	-	-	-	1.9 (0.6)	-	-	-	19.0 (0.6)

() represent standard deviations

<Table 6> Soil redeposition of cotton fabric (EMPA211)

	Soil redeposition(%)				Soil redeposition with 1% water(%)			
	Water	Petroleum solvent	Perchloro ethylene	D ₅	Water	Petroleum solvent	Perchloroethylene	D ₅
Without detergents	48.5 (0.5)	36.2 (0.6)	62.2 (2.9)	43.3 (0.5)	-	35.6 (3.3)	34.6 (2.2)	42.1 (0.6)
KS detergent	10.9 (0.6)	-	-	-	-	-	-	-
Commercial detergent 1	-	8.7 (0.7)	-	-	-	9.0 (1.4)	-	-
Commercial detergent 2	-	18.1 (0.9)	-	-	-	3.2 (1.1)	-	-
Commercial detergent 3	-	-	12.0 (1.1)	-	-	-	3.3 (0.8)	-
Commercial detergent 4	-	-	58.6 (3.7)	-	-	-	2.5 (0.3)	-
Commercial detergent 5	-	-	-	27.7 (4.2)	-	-	-	71.9 (0.3)

() represent standard deviations

시판세제 3이 첨가되면 12.0%로 급격히 낮아졌으나 시판세제 4가 첨가되면 58.6%로 큰 변화가 없었다. D₅의 경우도 시판세제 5가 첨가되면 27.7%로 저하된 것을 알 수 있다. 물 첨가 시에는 용제의 종류에 따라 재오염률은 달라진다. 석유계 용제와 perchloroethylene의 경우 시판세제 1-4가 첨가되면 면직물의 재오염방지 효과가 급격히 향상되나, D₅의 경우는 시판세제 5 첨가 시 재오염률이 42.1%에서 71.9%로 높아져서 세제 첨가가 도리어 역효과임을 알 수 있었다. 시판세제 5는 일반 비이온계 계면활성제를 주성분으로 하는데, 이는 친유성 계면활성제로 친실리콘성이 없어서 D₅에서 안정적인 역미셀을 형성하지 못하고 소수성 입자인 carbon black에 대한 분산력도 낮기 때문으로 생각된다.

P/C(65/35)원포 EMPA213의 재오염성(<Table 7>)은 면원포의 재오염성과 유사한 경향을 보여주지만 재오염률은 더 크게 나타났다. 물 첨가 시에는 석유계 용제에 세제를 첨가해도 재오염률이 크게 나타났으며, 특히 D₅의 경우는 면원포에서와 같이 세제가 첨가되면 재오염률이 77.4%로 매우 높게 나타나므로 재오염을 방지하기 위한 세제개발이 시급하다고 생각된다. 특히 현재 D₅의 경우 흰색 웨딩드레스의 상업적 드라이클리닝에 많이 사용되므로 재오염 방지 효과가 특히 중요하다고 생각된다.

<Table 6-7>의 결과를 종합해 보면, D₅의 경우 물 첨가 시 시판세제를 첨가하면 재오염률이 석유계 용제 및 perchloroethylene에 비해 매우 높아서 실제 드라이클리닝 시 심각한 문제가 발생하리라 생각된다. 따라서 면원포

및 P/C(65/35)원포의 D₅에서의 재오염을 방지할 수 있는 계면활성제를 찾는 것이 매우 중요하다고 생각된다.

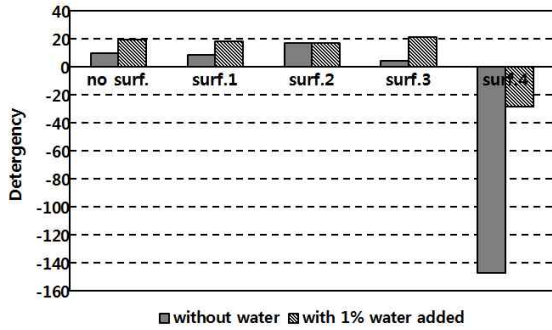
3. 실리콘계 계면활성제를 이용한 D5 용제의 드라이클리닝 세탁성 향상 효과

[Figure 1]은 D₅에서 면오염포 EMPA101(olive oil/carbon black)의 드라이클리닝 세탁성에 미치는 계면활성제 효과를 보여준다. 계면활성제 1은 D₅용 시판세제 5의 주 계면활성제이므로, 계면활성제 1보다 세척력이 우수한 계면활성제를 찾는 것이 중요하다 하겠다. 용제에 물 무첨가/계면활성제 무첨가의 경우와 비교했을 때, 계면활성제 1의 세탁률은 큰 변화가 없고, 계면활성제 2는 향상된 것을 알 수 있다. 반면 계면활성제 3과 4는 세탁률이 저하되었고 특히 계면활성제 4는 세탁률이 현저히 저하되어 음의 세탁성을 나타내었다. 용제에 물 첨가/계면활성제 무첨가 시와 비교해 보면 계면활성제 1, 2, 3 모두 드라이클리닝 세탁률 향상 효과가 거의 없었고, 계면활성제 4는 드라이클리닝 세탁률이 향상되었으나 여전히 음의 세탁성을 나타냈다. [Figure 2]는 면오염포 EMPA118 (sebum/pigment)의 드라이클리닝 세탁성을 나타내고 있는데 전체적인 경향은 [Figure 1]과 유사하나, 세탁률은 전체적으로 약간 높게 나타났다. 이는 <Table 4>와 같은 이유로 생각할 수 있는데, 용제에 오염포를 침지하면 지용성 성분이 용해되고 고히오구의 탈락/재오염이 일어나는데 olive oil/carbon black이 더 견고하게 부착되어 있기 때문이라 생각된다.

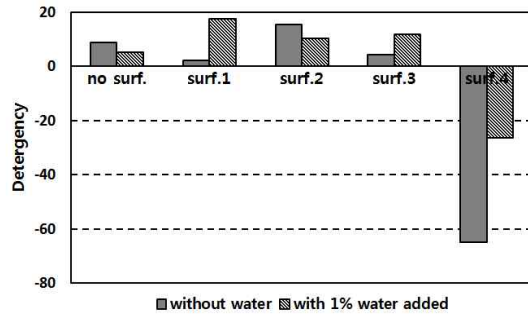
<Table 7> Soil redeposition of polyester/cotton (65/35) fabric (EMPA213)

	Soil redeposition(%)				Soil redeposition with 1% water(%)			
	Water	Petroleum solvent	Perchloroethylene	D ₅	Water	Petroleum solvent	Perchloroethylene	D ₅
Without detergents	52.8 (0.9)	58.2 (0.1)	65.9 (0.5)	59.6 (1.3)	-	58.5 (0.7)	62.2 (1.6)	57.4 (1.1)
KS detergent	11.4 (0.7)	-	-	-	-	-	-	-
Commercial detergent 1	-	19.5 (1.4)	-	-	-	33.7 (1.1)	-	-
Commercial detergent 2	-	24.5 (1.2)	-	-	-	45.6 (0.3)	-	-
Commercial detergent 3	-	-	14.8 (0.2)	-	-	-	9.4 (0.3)	-
Commercial detergent 4	-	-	47.5 (0.5)	-	-	-	6.3 (1.8)	-
Commercial detergent 5	-	-	-	42.4 (2.1)	-	-	-	77.4 (0.5)

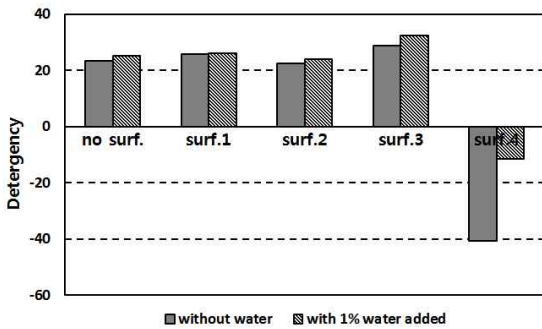
() represent standard deviations



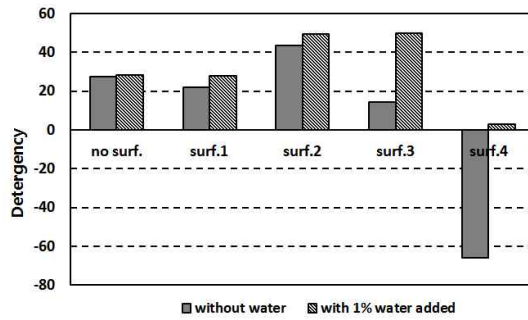
[Figure 1] Detergency of soiled cotton fabric (EMPA101) in D₅ with/without water.



[Figure 3] Detergency of soiled P/C(65/35) fabric (EMPA104) in D₅ with/without water.



[Figure 2] Detergency of soiled cotton fabric (EMPA118) in D₅ with/without water.



[Figure 4] Detergency of soiled P/C(65/35) fabric (EMPA119) in D₅ with/without water.

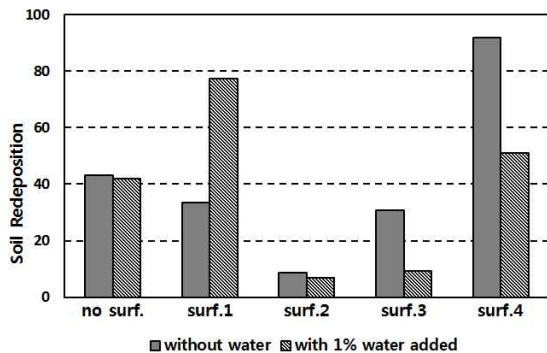
[Figure 3]은 P/C(65/35)오염포 EMPA104(olive oil/carbon black)의 드라이클리닝 세탁성을 보여준다. 물이 첨가되지 않았을 경우는 계면활성제 2의 효과가 가장 좋았고, 물이 첨가되었을 경우는 계면활성제 1의 효과가 가장 좋게 나타났다. 면오염포의 경우와 마찬가지로 계면활성제 4 첨가 시 역효과로 세탁률이 매우 나빠진 것을 알 수 있다. P/C(65/35)오염포 EMPA119(sebum/pigment)의 경우([Figure 4])는 계면활성제 2의 효과가 가장 좋게 나타났고, 면오염포에서와 마찬가지로 피지 오염포인 EMPA119의 세탁률이 EMPA104보다 더 높게 나타났다.

[Figure 1-4]의 결과를 종합해 보면, 면오염포와 P/C(65/35)오염포, 용제에 물이 첨가된 경우와 첨가되지 않은 경우 등을 전체적으로 고려했을 때 계면활성제 2의 세탁성은 상업용 계면활성제인 계면활성제 1과 유사하거나 조건에 따라 약간 우수한 것을 알 수 있었다.

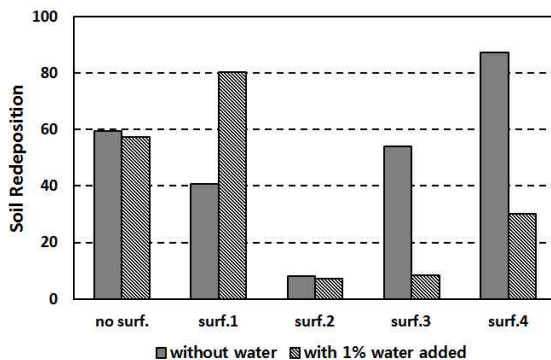
4. D₅ 용제에서 실리콘계 계면활성제의 재오염방지 효과

재오염방지 효과도 앞서와 같은 이유로 계면활성제 1보다 성능이 우수한 계면활성제를 찾는 것이 연구의 목적이라 하겠다. 계면활성제를 첨가하지 않은 경우, 4종의 계면활성제의 면원포(EMPA211)에 대한 재오염성이 [Figure 5]에 나타나 있다. 용제에 물 무첨가 시 계면활성제 1, 2, 3은 재오염률이 감소하였고, 특히 계면활성제 2의 재오염률은 매우 낮게 나타나서 재오염방지 효과가 매우 우수하였다. 반면 계면활성제 4는 계면활성제 첨가 시 재오염률이 급격히 높아져서 재오염방지에 역효과를 보였다. 용제에 물 첨가 시 계면활성제를 첨가하지 않은 경우와 비교하면, 계면활성제 1과 4의 경우 재오염률이 증가하였고, 계면활성제 2와 계면활성제 3 경우에는 재오염률이 감소하여 재오염방지 효과가 좋았다. 특히 계면활성제 2의 재오염방지 효과는 매우 우수하였다. 계면활성제 1은 <Table 6>에서 설명했듯이 친실리콘성이 없기 때문이며, 계면활성제 2와 3은 친실리콘성을 갖고 있어서 water in silicone(W/Si)이 가능하여 D₅에서 안정적인 역미셀을 형성하기 때문이라 생각된다. 특히 계면활성제 2는 가장 친실리콘성이 강한 계면활성제이기 때문에 재오염방지 효과

가 우수하였다. P/C(65/35)원포 EMPA213의 재오염성 ([Figure 6])은 면원포 EMPA211과 전체적으로 유사한 경향을 나타낸다. 즉, 계면활성제 2의 재오염방지 효과가 다른 계면활성제들에 비해 월등히 우수하였다. 상업용 D₅ 드라이클리닝 시스템에서 사용되었던 시판세제 5의 주 계면활성제인 계면활성제 1의 경우 드라이클리닝 용제에 물이 존재할 경우에는 재오염률이 매우 높아서 실제 드라이클리닝 시 문제가 크게 발생했으리라 예측된다. [Figure 5-6]의 결과를 종합해 보면, 면오염포와 P/C(65/35)오염포 모두에서 계면활성제 2의 재오염방지 효과가 월등히 우수하였다.



[Figure 5] Soil redeposition of cotton fabric (EMPA211) in D₅ with/without water.



[Figure 6] Soil redeposition of P/C(65/35) fabric (EMPA213) in D₅ with/without water.

이제까지의 결과를 종합해 볼 때 면오염포 및 P/C(65/35)오염포의 드라이클리닝 세탁성은 모오염포의 경우(Kim, 2014)에 비해 낮아서 드라이클리닝이 용이하지 않으나 실제 의복착용 중에는 실험에 사용된 오염포처럼 옷 전체에 오염이 심한 경우가 드물며, 오염이 심한 부

분은 부분세탁을 한 후에 드라이클리닝을 하므로 실제로는 큰 문제없이 드라이클리닝이 가능하다고 생각된다. 또한 밝은 색의 경우에는 드라이클리닝 세탁성 보다는 재오염방지 효과가 더 중요하므로 D₅와 계면활성제 2 시스템은 현재의 상용 D₅ 드라이클리닝 시스템인 D₅와 시판세제 5(계면활성제 1)보다 월등히 우수한 성능을 나타내리라 생각된다.

IV. 결론

석유계 용제, 염소계 용제(perchloroethylene), 친환경 실리콘계 용제(decamethylcyclopentasiloxane, D₅)에 드라이클리닝용 시판세제 첨가 시의 드라이클리닝 세탁성과 재오염성을 비교 고찰하였다. 면원포 2종, 면오염포 2종, polyester/cotton(P/C, 65/35)원포 1종, P/C(65/35)오염포 2종을 사용하였다. 드라이클리닝용 시판세제는 석유계 용제용 2종, perchloroethylene용 2종, D₅용 1종을 사용하였고, D₅ 드라이클리닝 성능 향상을 위한 목적으로 4종의 계면활성제가 연구되었다. 4종의 계면활성제 중 계면활성제 1은 비이온계 계면활성제로 D₅용 시판세제에 사용된 계면활성제이고, 계면활성제 2-4는 실리콘계 계면활성제이다.

1. 면오염포의 경우 습식세탁 세탁률은 KS 합성세제가 첨가되었을 때 현저히 향상되었으나 드라이클리닝 세탁률은 세척 조건에 관계없이 전체적으로 매우 낮게 나타났다. 용제에 물이 첨가된 경우에는 용제나 세제의 종류에 관계없이 전체적으로 드라이클리닝 세탁률이 약간 향상되었다. P/C(65/35)오염포의 세탁성도 면오염포와 유사한 경향을 보여주나 면오염포의 세탁률보다 전체적으로 낮게 나타나는데, 이는 섬유 조성의 차이 때문만 아니라 P/C(65/35)오염포의 낮은 밀도와 틈이 많은 표면구조에도 기인한다고 생각된다.

2. 세제가 첨가되지 않았을 경우, 면원포의 재오염성은 perchloroethylene이 가장 높게 나타났고 석유계 용제가 가장 낮게 나타났다. 이는 perchloroethylene에서 고품입자가 섬유에 부착하기 쉬운 크기나 형태로 존재하기 때문이라고 생각된다. 습식세탁의 경우 KS 합성세제 첨가 시 재오염방지 효과가 매우 우수하였다. 석유계 용제, perchloroethylene, D₅에서도 시판세제 첨가 시 재오염률은 감소하였다. 1% 물이 첨가된 경우 석유계 용제와

perchloroethylene에 시판세제가 첨가되면 재오염방지 효과가 우수하나, D₅의 경우는 시판세제 첨가 시 재오염률이 급격히 높아져서 세제 첨가가 오히려 역효과임을 알 수 있었다. P/C(65/35)원포의 재오염정도 면원포의 재오염정과 유사한 경향을 보여주지만 재오염률은 더 크게 나타났다. 특히 D₅의 경우는 면원포에서와 같이 세제가 첨가되면 재오염률이 매우 높게 나타났다. 이는 D₅용 시판세제의 주 계면활성제가 친실리코성이 없어서 안정적인 water in silicone(W/Si) 에멀전을 형성하지 못하기 때문으로 생각된다. 따라서 D₅의 경우 시판세제를 사용하여 드라이클리닝을 했을 경우 밝은 색 옷에 대한 재오염 문제가 발생했으리라 예측할 수 있으며 재오염을 방지하기 위한 세제개발이 시급하다고 생각된다.

3. D₅ 용제에 4종의 계면활성제가 사용되었을 때 면오염포와 P/C(65/35)오염포의 드라이클리닝 세탁성은 비교적 낮게 나타난다. 그러나 실제 의복착용 중에는 실험에 사용된 오염포처럼 옷 전체에 오염이 심한 경우가 드물며, 오염이 심한 부분은 부분세탁을 한 후에 드라이클리닝을 하므로 실제로는 면섬유 제품과 P/C혼방제품에서 D₅ 친환경 드라이클리닝 적용이 가능하다고 생각된다.

4. 면원포와 P/C(65/35)원포의 경우 D₅ 용제에 계면활성제 1, 4가 첨가되어도 재오염성 문제가 심각하였다. 계면활성제 3(PEG/PPG-18/18 Dimethicone, 저분자량)은 1% 물이 첨가되었을 경우에만 재오염방지 효과가 우수하였고, 계면활성제 2(PEG/PPG-19/19 Dimethicone, 고분자량)의 경우에는 물이 첨가되지 않았을 경우와 물이 첨가되었을 경우 모두에서 재오염방지 효과는 매우 우수하였다. 이는 계면활성제 2의 친실리코성이 강하기 때문이며, D₅의 드라이클리닝 성능 향상을 위한 계면활성제 선택 시 3 dimensional hydrophile-lipophile balance (3D HLB)에 따른 친실리코성을 고려하는 것이 필수적이라 생각된다. 면섬유 제품과 P/C(65/35) 제품의 경우, 특히 밝은 색의 경우에는 드라이클리닝 세탁성 보다는 재오염방지 효과가 더 중요하다고 생각되므로 PEG/PPG-19/19 Dimethicone(고분자량)은 D₅의 드라이클리닝 효과를 향상시키기 위한 최적의 드라이클리닝 세제용 후보 계면활성제라고 생각된다.

5. 계면활성제 1과 비교했을 때 계면활성제 2(PEG/PPG-19/19 Dimethicone, 고분자량)는 이전 연구

에서 모직물의 드라이클리닝 세탁성과 재오염방지 효과를 월등히 향상시켰다. 본 연구에서 계면활성제 2의 면직물과 P/C(65/35)직물의 드라이클리닝 세탁성은 계면활성제 1과 유사하거나 약간 우수하였고, 재오염방지 효과는 매우 우수하였다. 따라서 계면활성제 2는 친환경 드라이클리닝 용제인 D₅에의 상업적 적용이 가능하다고 생각된다.

주제어: 친환경 드라이클리닝, 실리코, 계면활성제, 세탁성, 재오염성

REFERENCES

- Fowkes, F. M. (1967). Surfactant Science Series, Vol.2, Solvent Properties of Surfactant Solutions: The Interactions of Polar Molecules, Micelles and Polymers in Nonaqueous Media. New York: Marcel Dekker Inc., p65.
- GreenEarth® Cleaning. Environmental Fate and Human Health. Retrieved April 10, 2017, from https://www.greenearthcleaning.com/about-us/greenearth-literature/#landlord_booklet21.
- Hwang, K. N. (2009, January 12). Eco-friendly cleaning process approved in the U.S. first introduced in Korea. Retrieved October 24, 2016, from <http://www.hankyung.com/news/app/newsview.php?aid=2009011178381>.
- Kim, C. (2012). Detergency and Soil Redeposition of Wool Fabric in Eco-friendly Drycleaning Solvent(Decamethylcyclopentasiloxane). *Textile Coloration and Finishing*, 24(2), 138-144.
- Kim, C. (2014). An Investigation of Surfactants for Drycleaning Detergents to Improve Detergency of Wool Fabric in Eco-friendly Silicone Drycleaning Solvent(Decamethylcyclopentasiloxane, D₅). *Textile Coloration and Finishing*, 26(3), 209-217.
- Kim, J. Y. (1999). Detergency and Soil Redeposition in a Drycleaning System -The effect of Surfactant Type and Their Mixture-. master's thesis, Seoul National University, Korea.
- Kim, J. Y. & Park, J. (1999). Detergency and Soil

- Redeposition in a Drycleaning System -The effect of Surfactant Type and Their Mixture-. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 23(7), 1030-1039.
- Nakamura, K., Refojo, M. F., Crabtree, D. V., Pastor, J., & Leong, F.-L. (1991). Ocular Toxicity of Low-Molecular-Weight Components of Silicone and Fluorosilicone Oils. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 32(12), 3007-3020.
- O'Lenick, A. J. Jr. & Parkinson, J. K. (1996). Three-Dimensional HLB: This revolutionary development helps formulators choose surfactants for stable oil, water and silicone emulsions. *Cosmetics & Toiletries Magazine*, 111(10), 37-46.
- Onasch, J. (2011). A feasibility and cost comparison of perchloroethylene dry cleaning to professional wet cleaning: case study of Silver Hanger Cleaners, Bellingham, Massachusetts. *Journal of Cleaner Production*, 19, 477-482.
- PubChem, Open Chemistry Database, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/>
- Roosmalen, M. J. E., Woerlee, G. F., & Witkamp, G. J. (2004). Surfactants for particulate soil removal in dry-cleaning with high-pressure carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 30, 97-109.
- Rotman, D. (1997). CO₂ drycleaning makes debut. *Chemical Week*, 159(23), 38.
- Scheer, R. & Moss, D. (2011, October 23). Wet cleaning. *The Environmental Magazine*, Retrieved October 24, 2016, from <https://emagazine.com/wet-cleaning/>
- Stoddard solvent. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Retrieved December 26, 2016, from <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp79-c3.pdf>.
- Tagawa, Y. & Gotoh, K. (2010). Removal of Carbon Black Particles from Polymer Substrates in Water/Ethanol Mixtures. *Journal of Oleo Science*, 59(2), 109-112.
- Troynikov, O., Watson, C., Jadhav, A., Nawaz, N., & Kettlewell, R. (2016). Towards sustainable and safe apparel cleaning methods: A review. *Journal of Environmental Management*, 182, 252-264.

Received 30 December 2016;

1st Revised 7 March 2017;

Accepted 22 March 2017