

〈연구논문(학술)〉

친환경 실리콘계 드라이클리닝용제(Decamethylcyclopentasiloxane)에서 모직물의 세척성과 재오염성

김천희

한남대학교 의류학과

Detergency and Soil Redeposition of Wool Fabric in Eco-friendly Drycleaning Solvent(Decamethylcyclopentasiloxane)

Chunhee Kim

Department of Clothing and Textiles, Hannam University, Daejeon, Korea

(Received: May 8, 2012/Revised: May 23, 2012/Accepted: June 7, 2012)

Abstract: Detergency and soil redeposition of wool fabric in 8 nonionic surfactants (Span 20, 40, 60, 80/Tween 20, 40, 60, 80) and 4 solvents (water, petroleum, perchloroethylene(PCE), decamethylcyclopentasiloxane(D₅)) were studied. Detergency of wool fabric in water was very low with and without surfactants due to the low wetting and difficulty in penetration of water into the fabric. Lipophilic surfactants improved the detergency of wool fabric in petroleum solvent and PCE. The detergency of wool fabric in D₅ was similar to that in petroleum solvent without surfactants. When water was solubilized, Span 20 addition to petroleum solvent and PCE increased the detergency of wool fabric. The detergency for D₅ was improved with solubilized water, however, it was lowered when the surfactants were added to the system. Therefore, it is important to formulate appropriate detergents which have good solubility and affinity to silicone for D₅ charge system. Hydrophilic surfactants were effective for water and lipophilic surfactants were effective for petroleum solvent and PCE in soil redeposition prevention of wool fabric. The soil redeposition prevention effects are not found in D₅ with both Span 20 and Tween 20. The same tendency of results in soil redeposition of wool fabric is observed when water is solubilized.

Keywords: wool fabric, eco-friendly, drycleaning, decamethylcyclopentasiloxane(D₅), nonionic surfactants

1. 서 론

드라이클리닝은 일반적으로 물 대신 유기용제를 사용하여 세탁하는 방법을 말한다. 드라이클리닝용 유기용제는 석유계용제, 염소계용제인 perchloroethylene (PCE), 불소계용제 등이 있다. 석유계용제는 가연성 액체로 화재의 위험이 있으며, PCE는 인체에 대한 유해성과 지하수·대기·토양오염 등의 문제가 있고, 불소계용제는 오존층 파괴 등 환경오염 문제를 야기하는 등 현재 사용 중인 모든 드라이클리닝용제는 인체와 환경에 대한 유해성 문제로 대체 용제의 개발이 시급한 실정이다.

이제까지의 드라이클리닝 관련 연구는 용제로 석유계용제와 염소계용제를 사용한 재오염에 관한 연구¹⁾, 미생물 제거효과²⁾, 차지법 드라이클리닝에

의한 견직물 세척성³⁾, 계면활성제 종류와 혼합이 드라이클리닝 세척성에 미치는 영향⁴⁾, 드라이클리닝에 따른 견직물 물성 변화⁵⁾, 드라이클리닝에 의한 모직물 형태 안정성 연구^{6,7)} 기존 드라이클리닝에 대한 대안으로서의 웨트클리닝 관련 연구^{8,9)}, 다양한 용제를 이용한 초음파 드라이클리닝¹⁰⁾, 이산화탄소를 이용한 드라이클리닝 관련 연구¹¹⁾ 등이 보고되어 있다.

기존의 드라이클리닝 용제 문제를 해결하기 위해 개발된 친환경 용제로는 높은 인화점을 갖는 하이드로카본, 액체 실리콘, 액체 이산화탄소^{12,13)} 등이 있다. 이 중 decamethylcyclopentasiloxane(D₅) 실리콘 오일은 미국의 GreenEarth® Cleaning사에서 개발한 친환경 드라이클리닝 용제로 현재 그린 드라이클리닝 시스템에서 제한적으로 사용되고 있다¹⁴⁾. D₅는 무색투명하고 냄새가 없는 액체 실리콘으로 화학적으로 불활성이며 끈적임이 없고 퍼짐성이 좋은 특성을 갖고 있기 때문에 샴푸, 헤어 콘디셔너, 스킨

†Corresponding author: Chunhee Kim (chunhee@hnu.kr)
Tel.: +82-42-629-7524 Fax.: +82-42-629-8335
©2012 KSDF 1229-0033/2012-06/138-144

크림, 디오더란트, 화장품 등에 폭 넓게 사용되고 있다. 섭취, 피부접촉, 흡입 시 무독성이며 면역 억제효과가 없고, 휘발성 유기화합물(VOC)이 아니며 오존층 파괴물질도 아니다. D₅는 수일 내에 실리카(SiO₂)와 소량의 물, 이산화탄소로 분해되므로 드라이클리닝 용제로 사용되었을 때 환경 친화적이고 인체에 안전하다고 말할 수 있다. D₅는 표면장력이 낮아 옷감 내 침투와 오염제거가 쉽고 옷감과 작용하지 않기 때문에 옷의 형태나 염색에 손상을 주지 않으며 구김이나 정전기 발생도 적다^{14,15}. 그러나 일각에서는 D₅의 환경과 인체에 대한 효과가 아직 완전히 입증된 것은 아니라는 의견도 있다¹⁶. 그러나 현재까지의 광범위한 연구 결과로 볼 때 D₅가 기존의 드라이클리닝 용제에 비해서는 훨씬 환경 친화적이며 안전하다고 말할 수 있다¹⁷. 그러나 이를 이용한 세척성이나 D₅ 차지법(charge system)에 이용될 수 있는 계면활성제에 대한 학술 논문 자료는 현재 거의 보고된 것이 없다. 또한 국내에서도 D₅를 그린클리닝에 한때 사용하였으나 세척성 부족 등으로 현재는 거의 사용되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 Span, Tween 계 비이온계 계면활성제를 이용하여 D₅의 드라이클리닝 세척성과 재오염성, 물 가용화시의 드라이클리닝 세척성과 재오염성을 습식세척성 및 기존의 드라이클리닝 용 용제인 석유계 용제와 PCE의 세척성과 비교 고찰하여 친환경 드라이클리닝용제인 D₅의 실용 가능성을 연구하고자 하였다. 더 나아가 후속연구로 각각의 용제에 시판 드라이클리닝용 세제(드라이소프, dry soap) 첨가 시 용제의 표면장력, 최대 가용화 수분량, 세척성, 재오염성의 변화를 비교 고찰하고, D₅의 세척성을 향상시킬 수 있는 D₅ 차지법용 드라이클리닝 세제 개발을 위한 계면활성제와 보조 계면활성제에 대해 연구하고자 한다.

Table 1. HLB values of Span and Tween series surfactants¹⁹⁾

Commercial name	Chemical name	HLB
Span 20	sorbitan monolaurate	8.6
Span 40	sorbitan monopalmitate	6.7
Span 60	sorbitan monostearate	4.7
Span 80	sorbitan monooleate	4.3
Tween 20	polyoxyethylene(20) sorbitan monolaurate	16.7
Tween 40	polyoxyethylene(20) sorbitan monopalmitate	15.6
Tween 60	polyoxyethylene(20) sorbitan monostearate	14.9
Tween 80	polyoxyethylene(20) sorbitan monooleate	15.0

2. 실험

2.1 시료 및 시약

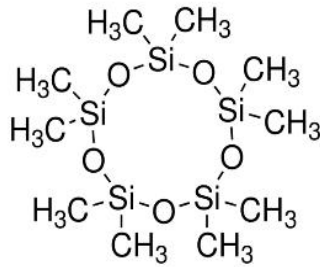
시험용 원포 EMPA217(unsoiled test cloth, wool fabric, muslin, washed)과 오염포 EMPA107(EMPA standard soiling, wool soiled with carbon black/olive oil)은 Testfabrics, Inc. USA에서 구입하여 사용하였으며, 물리적 특성은 전보¹⁸⁾에 보고되었다.

Span 20, 40, 60, 80 과 Tween 20, 40, 60, 80 (Sigma: biochemicals and reagents for life science research) 등 8종의 비이온계 계면활성제는 정제하지 않고 사용하였으며 각 계면활성제의 HLB(Hydrophile-Lipophile balance)값¹⁹⁾은 Table 1과 같다. Span 계와 Tween계 계면활성제를 사용한 이유는 현재 시판되는 드라이클리닝용 세제가 비이온계 계면활성제를 주성분으로 하고 있고, 계면활성제의 HLB 값으로 각 계면활성제의 친수성과 친유성의 정도를 계면활성제의 화학적 구조와 연관시켜 이해하기 쉽기 때문이다.

석유계용제는 대전세탁협회, PCE 용제는 삼성화공약품(대전)에서 구입하였다. D₅ 실리콘 용제는 한국신에츠실리콘(주)¹⁵⁾에서 구입하였으며 제품명은 KF995 이고 특성은 Table 2, 화학구조는 Scheme 1과 같다.

Table 2. Characteristics of decamethylcyclopentasiloxane(D₅)^{14,15)}

Molecular Formular	C ₁₀ H ₃₀ O ₅ Si ₅
Molecular Weight	370
Surface Tension (25℃)	17.42dynes/cm
Viscosity (25℃)	4cSt
Specific Gravity (25℃)	0.956
Refractive Index	1.396
Melting Point	-40℃
INCL name	Cyclopentasiloxane



Scheme 1. Chemical Structure of Decamethylcyclopentasiloxane(D₅)

2.2 세척시험

습식세탁 시험은 Terg-O-Tometer를 사용하여 1.0g/l 계면활성제 수용액 1000ml에 5x10cm²로 자른 오염포 4매씩 넣고 40℃ 40cpm으로 20분간 세탁한다. 같은 조건에서 증류수 1000ml로 3분씩 2회 헹군 후 자연건조 한다.

드라이클리닝 시험은 Launder-O-meter를 사용하여 1.0g/dl 계면활성제 용제용액 100ml, 5x10cm²로 자른 오염포 1매, 10개의 stainless steel ball을 표준병에 넣고 실온에서 20분간 세척한 후 깨끗한 용제로 3분 1회 헹군 후 자연건조 한다. 물가용화 시 드라이클리닝 시험은 증류수를 0.5ml 첨가한 후 드라이클리닝 시험과 동일한 방법으로 실험한다.

건조한 후 원포, 오염포, 세척포의 반사율을 색채계(Color and Color Difference Meter, Model TC-3600, Tokyo Denshoku Co., Ltd.)로 Y값을 측정하여 Kubelka-Munk 식에 따른 K/S 값으로 환산하여 다음 식에 의해 세척률을 계산한다.

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

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

- 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

2.3 재오염성 시험

습식세탁에서의 재오염성 시험은 Terg-O-Tometer를 사용하여 1.0g/l 계면활성제 수용액 1000ml에 5x10cm²로 자른 원포 4매, carbon black 0.1g/l를 넣고 40℃ 40cpm으로 20분간 세탁한다. 같은 조건에서 증류수

1000ml로 3분씩 2회 헹군 후 자연건조 한다.

드라이클리닝에서의 재오염성 시험은 Launder-O-meter를 사용하여 1.0g/dl 계면활성제 용제용액 100ml, 5x10cm²로 자른 원포 1매, carbon black 0.01g/dl, 10개의 stainless steel ball을 표준병에 넣고 실온에서 20분간 회전시킨 후 깨끗한 용제로 3분 1회 헹군 후 자연건조 한다. 물 가용화 시 드라이클리닝에서의 재오염성 시험은 증류수를 0.5ml 첨가한 후 드라이클리닝에서의 재오염성 시험과 동일한 방법으로 실험한다.

건조한 후 원포와 재오염포의 반사율을 색채계(Color and Color Difference Meter, Model TC-3600, Tokyo Denshoku Co., Ltd.)로 Y값을 측정하여 다음 식에 의해 재오염률을 계산한다.

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

- R_o : Surface reflectance for original cloth
- R_{sr} : Surface reflectance for soil redeposited cloth

3. 결과 및 고찰

3.1 습식세척성과 석유계, PCE, D5 용제에서의 드라이클리닝 세척성

모 오염포(EMPA107)의 습식세척성이 Figure 1에 표시되었다. 습식세척성은 계면활성제가 첨가되지 않았을 때 매우 낮아 음수(negative detergency)로 나타나고 있다. 세척성이 0보다 작은 경우는 다른 연구자들의 연구²⁰⁻²²⁾에서도 종종 나타나는데 이 경우는 세척성이 매우 낮다고 해석할 수 있다. 4종의 Span계 계면활성제와 4종의 Tween계 계면활성제를 첨가한 후에도 세척성이 매우 낮으며, 특히 친수성이 가장 작은(HLB=4.3) Span 80의 경우 이 현상이 현저하였다. 이는 이전 연구¹⁸⁾에서도 예측할 수 있었는데, 발수성(Cosθ<0) 모 오염포에 Span 20과 Tween계 계면활성제를 첨가해도 표면적심과 액체 보유력 향상은 미미하였고, 비이온계 계면활성제의 친유성이 커질수록 효과가 나빠지며 전 기공 부피 중 6-13%에만 물이 채워질 수 있어 습식세탁이 용이하지 않음을 알 수 있었다. 즉, 계면활성제 수용액이 모 오염포로 용이하게 침투하지 못하므로 세척성이 매우 낮다고 해석할 수 있다. 또한 세탁 후 모 오염포가 수축하고 형태가 심하게 변형된 것을 알 수 있었다. 석유계용제에서 모 오염포의 세척성을 보면(Figure 2), 계면활성제가 없을 때도 세척성은 우수한 편이며 Span계 계면활성제를 첨가하였을 때 더 향상되었다.

그러나 친수성 계면활성제인 Tween계 계면활성제를 첨가하였을 때는 세척성이 모두 음으로 나타났다. Perchloroethylene(PCE)의 경우 계면활성제가 있을 때나 없을 때 모두 세척성이 우수하였다(Figure 3). 계면활성제가 없을 때와 비교하면 친유성 계면활성제인 Span계 계면활성제 첨가 시 세척성이 향상되었으나 친수성 계면활성제인 Tween계 계면활성제 첨가 시 세척성이 약간 저하되었다. D₅의 세척성을 보면(Figure 4) 계면활성제가 없을 때의 세척성은 석유계 용제와 유사하였다. Span 40과 Span 60을 첨가하였을 때는 세척성이 약간 향상되었으나 그 이외의 다른 계면활성제 첨가 시는 세척성이 매우 낮았다. 계면활성제 미첨가 시 D₅의 세척성은 비교적 좋으므로 적절한 계면활성제와 보조계면활성제를 선택하여 드라이클리닝용 세제를 만들어 사용하면 D₅의 세척성을 향상시켜 실용 가능성을 높일 수 있으리라 기대할 수 있다.

드라이클리닝 차지법(charge system)에 사용되는 세제는 드라이클리닝 용제에 용해되어 역미셀(reverse micelle)을 형성하며, 이때 소량의 물이 미셀 속에

가용화되어 친수성 오염제거 효과가 높아진다. 석유계 용제나 PCE의 경우는 친유성 계면활성제가 용제에 용해되어 세척성을 향상시키는 것을 알 수 있었으나, D₅의 경우는 계면활성제의 친수성/친유성에 관련 없이 대부분의 계면활성제에서 세척성 향상 효과가 없었다.

이제까지는 용도에 따른 비이온계 계면활성제의 선택 시 HLB가 가장 편리한 기준이 될 수 있었으나 D₅의 경우는 HLB 외에 실리콘 용해도, 실리콘 친화도, 3D HLB²³⁻²⁵⁾ 등 다른 기준으로 계면활성제를 선택해야 되며 이에 대한 후속 연구가 필요하다고 생각된다.

3.2 물 가용화 시 석유계, PCE, D₅ 용제에서의 드라이클리닝 세척성

Figure 5를 보면 0.5ml의 증류수가 첨가되었을 때 계면활성제 미첨가 시 세척성은 PCE>D₅>석유계 순이었다. 친유성 계면활성제인 Span 20이 첨가되었을 때는 석유계와 PCE의 경우 세척성이 향상되는데 비해

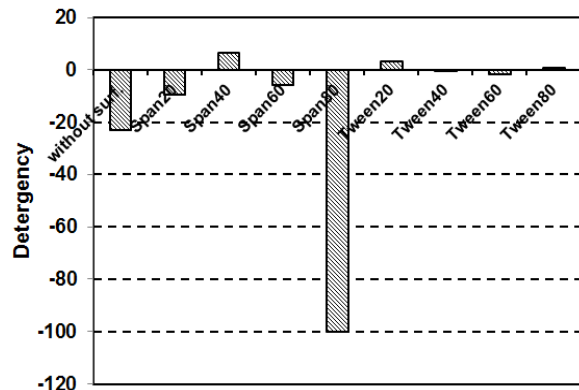


Figure 1. Detergency of nonionic surfactants on soiled wool cloth in water.

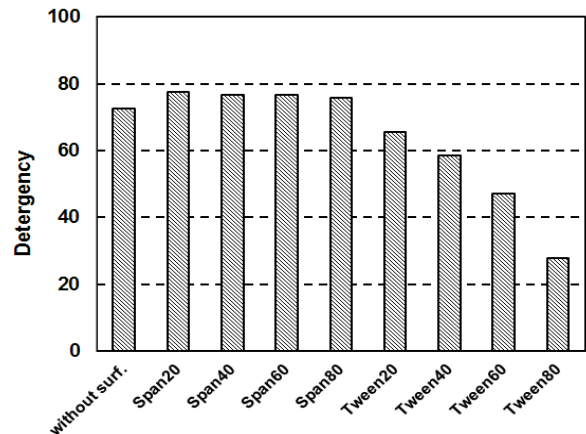


Figure 3. Detergency of nonionic surfactants on soiled wool cloth in perchloroethylene(PCE) drycleaning solvent.

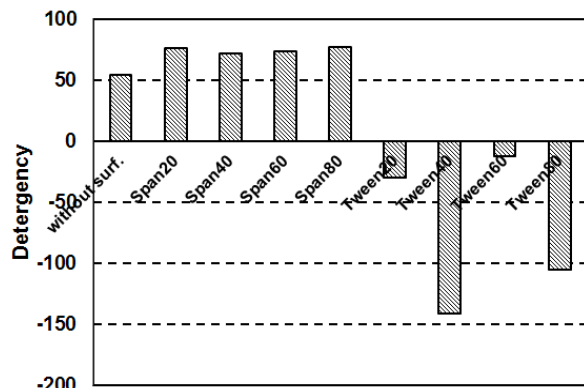


Figure 2. Detergency of nonionic surfactants on soiled wool cloth in petroleum drycleaning solvent.

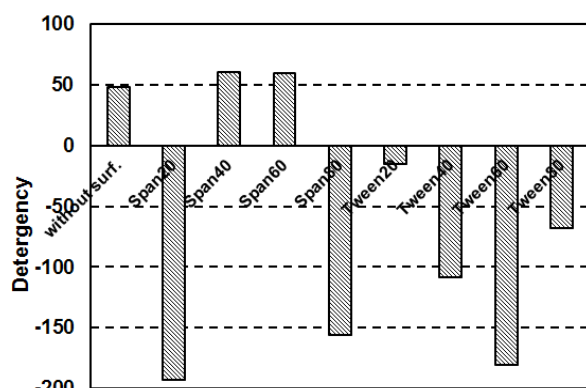


Figure 4. Detergency of nonionic surfactants on soiled wool cloth in decamethylcyclopentasiloxane(D₅) drycleaning solvent.

D₅의 세척성은 저하되었다. 친수성 계면활성제인 Tween 20이 첨가되었을 때는 3종의 용제 모두에서 세척성이 매우 낮아 음수로 나타났다. 물 가용화의 효과를 보면(Table 3) 석유계 용제는 Span 20 첨가 시에 물 가용화가 세척성을 향상시켰고, PCE의 경우는 계면활성제가 없을 때와 Span 20 첨가 시 물 가용화가 세척성을 향상시켰다. D₅는 계면활성제가 없는 경우에는 물 가용화로 세척성이 향상되었지만 이에 계면활성제가 첨가될 경우 Span 20, Tween 20 모두에서 세척성이 저하되었다. D₅는 물 가용화 시 세척성이 향상되므로 실용화를 위해서는 D₅ 차지 시스템을 위한 드라이클리닝용 세제 개발이 중요하다 하겠다.

3.3 습식 재오염성과 석유계, PCE, D5 용제에서의 재오염성

용제에 따른 모 원포(EMPA217)에의 재오염성 결과가 Figure 6에 표시되었다. 재오염성은 계면활성제 미첨가 시 물>D₅>석유계>PCE 순 이었다.

물에서는 계면활성제 첨가 시 재오염성이 감소하였고 특히 친수성 계면활성제인 Tween 20의 효과가 우수하였다. 반면 석유계 용제와 PCE의 경우는 친유성 계면활성제인 Span 20의 재오염 방지 효과가 우수하였고 친수성 계면활성제인 Tween 20은 효과가 없었다.

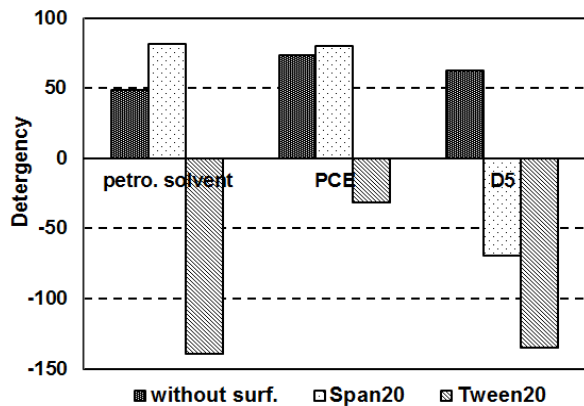


Figure 5. Detergency of nonionic surfactants on soiled wool cloth in drycleaning solvents with solubilized water.

D₅의 경우는 계면활성제의 친수성/친유성에 상관없이 재오염 방지 효과가 없었다.

3.4 물 가용화 시 석유계, PCE, D5 용제에서의 재오염성

물 가용화 시의 재오염성(Figure 7)은 물을 가용화시키지 않았을 때와 동일한 경향을 보여준다. 물 가용화의 효과는 Table 4에 표시되었다. 물이 가용화되었을 때를 물이 가용화되지 않았을 때와 비교하면, 석유계 용제의 경우 계면활성제가 없을 때와

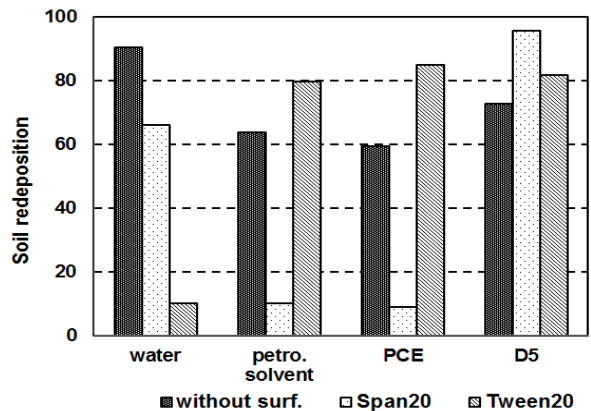


Figure 6. Surfactant effects of soil redeposition on wool cloth in water and drycleaning solvents.

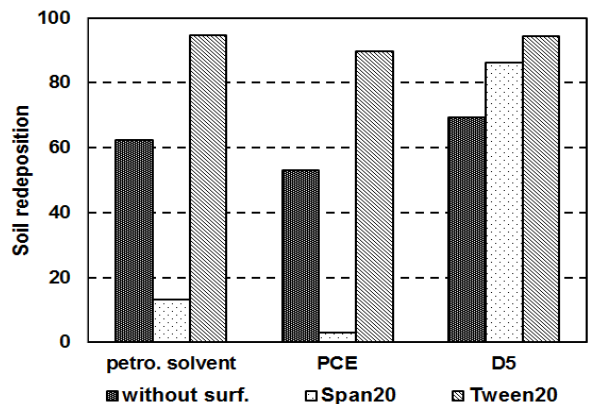


Figure 7. Surfactant effects of soil redeposition on wool cloth in drycleaning solvents with solubilized water.

Table 3. Effect of water solubilization on detergency of soiled wool cloth in drycleaning systems

solvents surfactants	Detergency in drycleaning solvents			Detergency in drycleaning solvents with solubilized water		
	petroleum solvent	PCE	D ₅	petroleum solvent	PCE	D ₅
without surf.	54.1(0.8)	72.6(0.8)	48.5(4.4)	49.1(1.4)	73.8(1.7)	62.7(2.0)
Span 20	76.3(0.3)	77.4(0.5)	-192.2(0.6)	81.5(1.2)	80.2(1.4)	-69.1(0.3)
Tween 20	-30.3(2.9)	65.4(1.4)	-15.1(5.5)	-139.2(2.3)	-31.1(0.7)	-134.8(4.9)

*() represent standard deviations

Table 4. Effect of water solubilization on soil redeposition of wool cloth in drycleaning systems

solvents surfactants	Soil redeposition in drycleaning solvents			Soil redeposition in drycleaning solvents with solubilized water		
	petroleum solvent	PCE	D ₅	petroleum solvent	PCE	D ₅
without surf.	63.6(1.5)	59.4(1.1)	72.6(1.9)	62.4(0.9)	53.0(1.2)	69.3(1.1)
Span 20	10.1(0.7)	8.9(1.0)	95.6(0.1)	13.2(1.3)	3.1(1.1)	86.2(0.4)
Tween 20	79.8(2.0)	84.8(2.7)	81.7(1.8)	94.7(0.4)	89.9(1.1)	94.4(0.1)

*() represent standard deviations

친유성 계면활성제인 Span 20이 첨가되었을 때는 재오염성에 큰 변화가 없으나 친수성 계면활성제인 Tween 20 첨가 시 재오염성이 커졌다. PCE와 D₅의 경우는 계면활성제가 없을 때와 친유성 계면활성제 Span 20 첨가 시 재오염성이 감소하였고 친수성 계면활성제인 Tween 20 첨가 시 재오염성이 약간 커졌다.

4. 결 론

본 연구에서는 D₅의 드라이클리닝 세척성을 기존의 드라이클리닝용 용제인 석유계용제와 PCE의 세척성과 비교 고찰하였다. 모 원포는 EMPA217, 모 오염포는 EMPA107을 사용하였고, 계면활성제는 비이온계 계면활성제 8종(Span 20, 40, 60, 80/Tween 20, 40, 60, 80)을 사용하였다. 실험결과로부터 다음의 결론을 얻었다.

1. 모 오염포의 습식세척성은 비이온계 계면활성제 8종 모두에서 매우 낮게 나타났는데 이는 계면활성제 수용액의 모 오염포 내 침투가 어렵기 때문으로 생각된다.
2. 석유계용제로 드라이클리닝한 경우, 계면활성제가 없을 때와 비교해서 친유성 비이온계 계면활성제 첨가 시 세척성이 향상되었다.
3. PCE로 드라이클리닝한 경우 세척성이 석유계용제보다 전반적으로 우수하였다. PCE의 경우도 친유성 계면활성제가 세척성 향상에 더 효과적이었다.
4. D₅로 드라이클리닝한 경우 계면활성제가 없을 때는 석유계용제와 세척성이 유사하였다. Span 40/60을 첨가했을 때는 세척성이 약간 향상되나 다른 6종의 계면활성제를 첨가했을 때는 세척성이 저하되어 음의 세척성을 나타내었다.
5. 물이 가용화되었을 경우, 석유계용제와 PCE는 친유성 계면활성제인 Span 20 첨가 시 세척성이 향상되었다. D₅는 물이 가용화되었을 때 세척성이 향상되나, 이에 계면활성제가 첨가되면 친수성/친유성 계면활성제 모두에서 세척성이 저하되었다.

6. 재오염성의 경우, 습식세탁의 경우는 계면활성제가 없을 때 재오염성이 가장 크고 친수성 계면활성제인 Tween 20이 첨가되었을 때 재오염성이 가장 낮았다. 석유계용제와 PCE의 경우는 습식세탁과 반대로 친수성 계면활성제인 Tween 20 첨가 시 재오염성이 가장 크고, 친유성 계면활성제인 Span 20 첨가 시 재오염성이 가장 낮았다. 그러나 D₅의 경우 Tween 20과 Span 20 첨가 시 모두 재오염성이 크게 나타났다.
7. 물 가용화 시의 재오염성도 물이 가용화 되지 않은 조건의 재오염성과 같은 경향을 보여준다.

참고문헌

1. O. S. Cha and I. S. Kang, A Study on the Soil-Redeposition in Drycleaning Process, *J. Korean Soc. Clothing and Text.*, **12**(3), 383(1988).
2. J. S. Shin and O. S. Cha, The Effect of Removing Microorganism on Textile Products in Drycleaning, *J. Korean Soc. Living. Environ. Sys.*, **4**(2), 37 (1997).
3. I. J. Yun and J. S. Lee, The Detergency of Silk Fabrics by Dry Cleaning Charged with Detergents, *J. Natural Science(Gyeongsang National University)*, **7**, 119(1991).
4. J. Y. Kim and C. Park, Detergency and Soil Redeposition in a Drycleaning System -The Effect of Surfactant Type and Their Mixture, *J. Korean Soc. Clothing and Text.*, **23**(7), 1030(1999).
5. S. J. Lee and J. H. Chang, A Study on Physical Property Change of Silk Fabrics by Dry Cleaning Solvents, *Human Life Science(Sungkyunkwan University)*, **3**, 139(2000).
6. J. W. Jee and D. H. Lee, Changes in Physical Properties of Wool-Blended Fused Fabrics after Pressing and/or Dry Cleaning(part I), *J. Korean Soc. Clothing and Text.*, **25**(10), 1809(2001).
7. J. W. Jee, Changes in Dimensional Stability and

- Total Appearance Value (TAV) of Wool-Blended Fused Fabrics after Pressing and/or Dry Cleaning, *J. Korean Soc. Clothing and Text.*, **27**(12), 1359 (2003).
8. S. E. Chung, C. Yun, C. H. Park and H. S. Kim, Effect of Wet Cleaning on Shrinkage and Detergency of Wool and Rayon Fabrics, *J. Korean Soc. Clothing and Text.*, **36**(2), 127(2012).
 9. J. Onasch, A Feasibility and Cost Comparison of Perchloroethylene Drycleaning to Professional Wet Cleaning: Case Study of Silver Hanger Cleaners, Bellingham, Massachusetts, *J. of Cleaner Production*, **19**, 477(2011).
 10. R. E. McCall, F. M. A. Patel, G. N. Mock and P. L. Grady, Solvent and Ultrasonic Alternatives to Perchloroethylene Drycleaning of Textiles, *Textile Chemist and Colorist*, **30**(11), 11(1998).
 11. M. J. E. V. Roosmalen, G. F. Woerlee and G. J. Witkamp, Surfactants for Particulate Soil Removal in Dry-cleaning with High-pressure Carbon Dioxide, *J. of Supercritical Fluids*, **30**, 97(2004).
 12. D. Rotman, CO₂ Drycleaning Makes Debut, *Chemical Week*, **159**(23), 38(1997).
 13. M. McCoy, CO₂-based Dry-Cleaning Chain Launched in Germany, *Chem. Eng. News*, **84**(22), 7(2006).
 14. <http://www.greenearthcleaning.com>
 15. <http://www.shinetsu.net>
 16. K. Huddy (GHRI), Green Dry Cleaning, *Good House-keeping*, **252**(1), 121(2011).
 17. Assessment of the Human Health Risk and the Environmental Fate and Effect of GreenEarth® (Decamethylcyclpentasiloxane(D₅)) Used in Dry Cleaning, Prepared for the Drycleaner Environmental Response Trust Fund of Illinois (DERTFI) By GreenEarth® Cleaning, 2006.
 18. C. Kim, Improvement of Liquid Wetting and Retention Properties of Wool Fabric in Nonionic Surfactant Solutions, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dyers & Finishers)*, **21**(2), 7(2009).
 19. D. Attwood and A. T. Florence, "Surfactant Systems; Their chemistry, pharmacy and biology", Chapman and Hall, New York, USA, p.6, 1983.
 20. F. D. Snell, Detergents and Detergency, *Chem. Eng. News*, **27**(32), 2256, 2301(1949).
 21. N. Yamamoto and T. Tsunoda, Detergency of Oily Soil from Cotton by Photo-Catalytic Action with Titanium Dioxide, *J. Oleo Sci.*, **51**(9), 607 (2002).
 22. K. Gotoh, Evaluation of Detergency Using Artificially Soiled Multifiber Fabrics, *J. Oleo Sci.*, **59**(9), 477 (2010).
 23. P. Somasundaran, S. C. Mehta and P. Purohit, Silicone Emulsions, *Advances in Colloid and Interface Science*, **128-130**, 103(2006).
 24. A. J. O'Lenick, Silicone Emulsions and Surfactants, *J. Surfactants Deterg.*, **3**(3), 387(2000).
 25. A. J. O'Lenick and J. K. Parkinson, Applying the Three-Dimensional HLB System, *Cosmet. Toiletries*, **112**(11), 59(1997).