

<연구논문>

## 비이온계 계면활성제 수용액에서 Polyester/Cotton(65/35) 오염포의 습윤특성과 세척성

김천희

한남대학교 의류학과

### Detergency and Liquid Wetting/Retention Properties of Soiled Polyester/Cotton(65/35) Cloth in Nonionic Surfactant Solutions

Chunhee Kim

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

(Received: April 18, 2011/Revised: May 12, 2011/Accepted: May 18, 2011)

**Abstract**— The effects of nonionic surfactant solutions of 0.1g/dL on detergency and liquid wetting/retention properties of soiled polyester/cotton(65/35) cloth were studied. Soiled polyester/cotton(65/35) cloth (EMPA 104) and 10 different nonionic surfactants (Span 20, Tween 20, 40, 60, 80, 21, 61, 81, 65, 85) were used in the study. The water retention and liquid retention capacity values of soiled cloth were decreased compared with those of unsoiled cloth. The wetting and water retention of soiled cloth improved with addition of surfactants, whereas water retention ratio(W/H) values didnot change markedly. Generally surfactants with low surface tension and high HLB (Hydrophile-lipophile balance) were more effective in improving the wetting/retention properties of soiled cloth. Nonionic surfactants having high ethylene oxide contents of 20 moles; i.e., Tween 20, 40, 60 & 80, showed better detergency than low ethylene oxide contents of 4 moles; i.e., Tween 21, 61 & 81. As HLB values of surfactants and  $\cos \theta$  of the soiled cloth increase, the detergency values of soiled cloth increased.

**Keywords:** detergency, wetting, liquid retention, nonionic surfactants, EMPA 104

## 1. 서 론

의복은 착용 중에 수용성, 지용성, 고형 오구 등으로 오염되며 이때의 습윤특성은 오염되기 전과는 다르리라 예측할 수 있다. 오염된 의복은 세척에 의해 오구를 제거하여 재착용하게 되는데, 의복에 부착된 오구를 제거하기 위해서는 우선 세액이 용이하게 침투해야 한다. 표면적심(wetting)은 고체/액체 접촉각 형성, 고체 표면에 액체의 퍼짐(spreading), 액체의 침투(wicking)를 포함하므로 기질의 습윤특성은 세척성과 밀접한 관련성이 있다<sup>1)</sup>. 또한 polyester/cotton(65/35)은 polyester 섬유와 면 섬유의 단점을 상호 보완한 실용적인 소재로 다양한 용도로 널리 사용되고 있으므로, polyester/cotton(65/35) 직물 오염포의 습윤특성과 세척성을 연구할 필요성이 있다.

섬유제품의 습윤특성에 대한 연구는 여러 선행 연구자들에 의해 진행되어 왔으나<sup>2-9)</sup> 오염포의 습윤특성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 저자는 면오염포의 습윤특성을 원포와 비교하여 다음과 같이 보고하였다<sup>10)</sup>. 면오염포의 접촉각은 원포와 유사하고 수분보유량비는 감소하였다. 계면활성제 첨가시 면오염포의 접촉각은 현저히 감소하고 수분보유량비는 증가하나 계면활성제 종류에 따른 경향성은 오염포의 종류에 따라 다르게 나타났다. 면오염포의 세척성은 습윤특성과 특별한 관련성을 보이지 않고, 계면활성제의 특성인 HLB (hydrophile-lipophilic balance)에 영향을 받아 HLB가 증가하면 세척성이 전반적으로 증가하였다. Polyester/cotton(65/35) 원포의 습윤특성을 고찰한 결과 다음의 결론을 얻었다<sup>11)</sup>. Polyester/cotton(65/35) 혼방직물의 접촉각은 계면활성제 첨가시 현저히

<sup>†</sup>Corresponding author. Tel.: +82-42-629-7524; Fax.: +82-42-629-8335; e-mail: chunhee@hnu.ac.kr

감소하나 수분보유량비는 큰 변화가 없었다. 친수기 구조가 동일한 경우 친유기 길이가 짧거나 친유기가 불포화 구조인 경우 접촉각이 감소하였다. 계면활성제 수용액의 표면장력이 낮고 HLB가 클수록 접촉각이 감소하였는데, 특히 Span 20과 Tween 81이 시료의 습윤특성 향상에 효과적이었다. 혼방직물의 접촉각은 각각의 섬유로 된 직물 접촉각의 사이 값을 나타낸다.

Polyester/cotton(65/35) 혼방직물은 매우 다양한 용도로 흔히 사용되는 소재임에도 불구하고 polyester/cotton(65/35) 혼방직물 오염포의 습윤특성 및 세척성에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 비이온계 계면활성제 수용액의 특성을 polyester/cotton(65/35) 오염포의 습윤특성 및 세척성과 관련하여 고찰하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 시료 및 시약

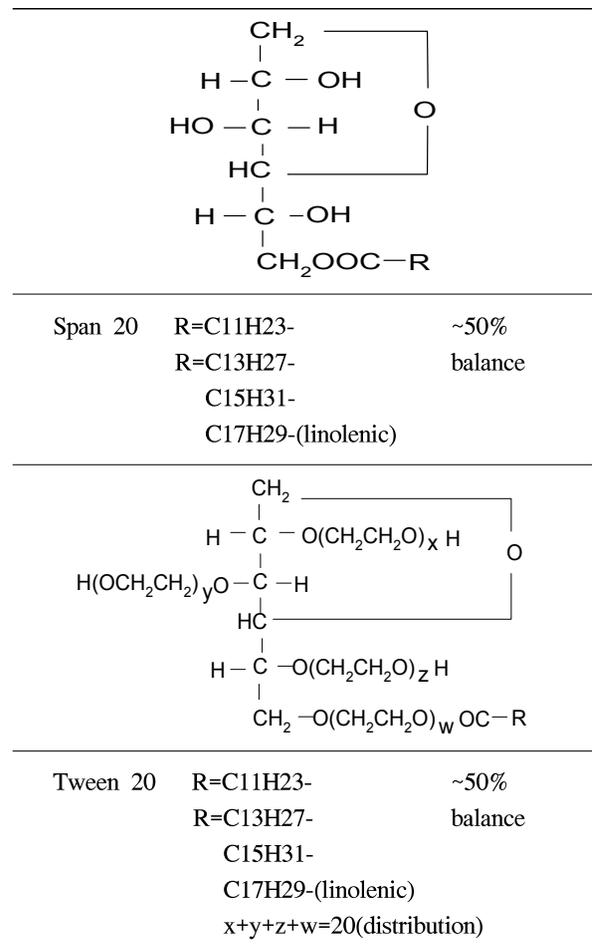
Span 20, Tween 20, 40, 60, 80, 21, 61, 81, 65, 85 (Sigma: biochemicals and reagents for life science research) 등 10종의 비이온계 계면활성제를 정제하지 않고 사용하였으며 이들 계면활성제의 구조 및 분자면적과 계면장력 거동 등은 전보에 자세히 보고되었다<sup>12)</sup>. 참고로 Span 20과 Tween 20의 구조와 조성은 Scheme 1에 표시하였다.

계면활성제 용액의 표면장력은 processor tensiometer (K14, KRUSS)를 사용하여 측정하였다. Certified grade hexadecane (Acros organics,  $\gamma = 26.6 \text{ dyne/cm}$ )을 사용하였고, 물은 Millipore Mill-Q water system에 의한 순수를 사용하였으며 표면장력은  $72.4 \text{ dyne/cm}$ ,  $\text{pH}=6.4$ 였다.

시험용 오염포 EMPA 104 (EMPA standard soiling, polyester/cotton(65/35) soiled with carbon black/olive oil)는 Testfabrics, Inc. USA에서 구입하여 사용하였으며, 평균 표면반사율은  $10.5 \pm 1\%$ 였다.

### 2.2 습윤특성 측정

섬유제품의 습윤특성 측정은 이전 방법을 따른다<sup>7-10,13)</sup>. 모든 시료는 72시간 항온습습기에서 표준상태로 컨디셔닝 후 사용한다. 폭이 6.35mm 이고 길이가 25.4mm인 직물조각(경사방향)을 마이크로밸런스에 수직으로 매달고, 액체를 일정 속도로 상승시켜 직물조각의 아래 끝을 액체와 접촉하도록 하여 저울의 눈금이 변하지 않을 때의 값( $\Delta B_1$ )을



Scheme 1. Structure and composition of Span 20 and Tween 20.

읽고, 직물을 액체로부터 분리시킨 후의 값( $\Delta B_2$ )을 읽는다. 이때  $\Delta B_2$ 는 직물에 남아있는 액체의 무게 ( $W_l$ )이다. 모든 직물조각은 물과  $0.1 \text{ g/dl}$  계면활성제 수용액을 이용하여 측정한다.

$$F_w = (\Delta B_1 - \Delta B_2)g = (\Delta B_1 - W_l)g \quad (1)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{F_w}{p\gamma} \quad (2)$$

이때,  $F_w$ =fabric wetting force,  $g$ =중력가속도,  $p$ =fabric-liquid perimeter,  $\gamma$ =liquid surface tension 이다.

물과 계면활성제 수용액을 이용한 측정이 끝난 후, 각 시료는 다시 항온항습기에서 표준상태로 72 시간동안 건조 표준화되었다. 표준화된 시료는  $p$  (fabric-liquid perimeter)를 구하기 위하여 hexadecane과 접촉되었으며, 이때  $\theta=0^\circ$  즉  $\cos\theta=1$ 로 가정한다.

$$p = \frac{F_w}{\gamma_{hexa}} \quad (3)$$

수직상태에서의 액체보유량은 다음 식에 의해 구하며, 이때 W는 무게, ρ는 액체의 밀도를 나타낸다.

$$H = \frac{W_{hexa}}{\rho_{hexa} W_{fabric}} \quad (4)$$

$$W = \frac{W_{surf}}{\rho_{water} W_{fabric}} \quad (5)$$

H (hexadecane, μl/mg)는 직물의 액체보유능력으로 기공부피를 나타내고 W (water, μl/mg)는 실제 보유된 물의 부피를 나타내며, W/H 는 이 두 값의 비를 나타낸다.

### 2.3 세척시험

오염포를 5x10cm<sup>2</sup> 크기로 잘라서 표면반사율을 측정한다. Terg-O-Tometer를 사용하여 0.1g/dl 계면활성제 수용액 1000ml에 오염포 4매씩 넣고 계면활성제 수용액의 온도가 40℃가 되면 40cpm으로 20분간 세탁한다. 같은 조건에서 증류수 1000ml로 3분간 2회 행균 후 자연 건조한다. 건조한 후 각 세척포의 표면반사율을 측정한다. 원포, 오염포, 세척포의 표면반사율은 색차계(Color and Color Difference Meter, Model TC-3600, Tokyo Denshoku Co., Ltd.)로 Y 값을 측정한다. 원포, 오염포, 세척포의 표면반사율로부터 다음의 Kubelka- Munk식에 의해 세척율을 계산한다.

Kubelka-Munk

$$K/S = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad (6)$$

$$D_{ks}(\%) = \frac{(K/S)_s - (K/S)_w}{(K/S)_s - (K/S)_o} \times 100 \quad (7)$$

R : surface reflectance

(K/S)<sub>o</sub> : K/S value for original cloth

(K/S)<sub>s</sub> : K/S value for soiled cloth

(K/S)<sub>w</sub> : K/S value for washed cloth

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 EMPA 104의 습윤특성

Table 1은 0.1g/dl 비이온계 계면활성제 수용액에서 polyester/cotton(65/35) 오염포인 EMPA 104와 원포인 EMPA 213<sup>11)</sup>의 습윤특성 변화를 보여준다. EMPA 213과 비교해 볼 때 EMPA 104의 접촉각(θ)은 전반적으로 낮게 나타나는데 이는 시료가 오염되었을 경우 표면이 젖기 어려운 상태로 되어 접촉각이 커질 것이란 예상과는 다른 결과이다. 그러나 동일한 결과가 면 오염포에서도 관찰되었다<sup>10)</sup>. 물보유량(W)과 기공부피(H)는 EMPA 104에서 약간 감소하는데 이는 오구 부착에 의한 결과라 생각된다. 계면활성제 첨가시 종류에 관계없이 θ는 감소하나 액체보유량비(W/H)는 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이는 순수에서의 W/H가 0.96으로 매우 커서 계면활성제 첨가에 따른 효과를 확인할 수 없기 때문이라 생각된다. 계면활성제 중에서 Span 20과 Tween 21이 EMPA 104의 습윤특성 향상에 가장 효과적이었다. 이는 Span 20과 Tween 21의 분자면적<sup>12)</sup>이 다른 계면활성제에 비해 현저히 작아 기질에의 흡착 밀도가 크기 때문으로 해석할 수 있다. Tween 20 → 40 → 60의 경우에는 계면활성제 친유기가 탄소수가 많아지고 분자면적도 커져서 흡착밀도가 낮아져서 대부분의 경우 θ가 커지는데, EMPA 104는 반대로 θ가 작아진다. 또한 Tween 60 → 80의 경우 계면활성제 친유기 tail이

Table 1. Wetting and retention properties of EMPA 104 & EMPA 213 in 0.1g/dl nonionic surfactant solutions

	EMPA 104 (soiled cloth)					EMPA 213 (unsoiled cloth) <sup>11)</sup>				
	θ(°)	W(μl/mg)	H(μl/mg)	W/H	Wad (dyne/cm)	θ(°)	W(μl/mg)	H(μl/mg)	W/H	Wad (dyne/cm)
Water	58.2 (0.92)	0.98 (0.02)	1.02 (0.02)	0.96 (0.01)	110.6	61.7 (1.39)	1.06 (0.02)	1.08 (0.02)	0.98 (0.01)	106.7
Span 20	22.0 (1.72)	0.95 (0.02)	0.93 (0.03)	1.02 (0.02)	51.4	25.7 (2.53)	1.05 (0.02)	1.05 (0.02)	0.99 (0.01)	50.8
Tween 20	33.3 (0.75)	0.94 (0.02)	0.96 (0.03)	0.98 (0.01)	63.7	35.5 (1.95)	1.05 (0.03)	1.06 (0.01)	0.98 (0.02)	62.9
Tween 40	30.1 (1.03)	0.95 (0.02)	0.98 (0.02)	0.97 (0.01)	72.5	47.8 (0.42)	1.07 (0.02)	1.10 (0.03)	0.97 (0.01)	65.0
Tween 60	26.5 (2.64)	0.92 (0.02)	0.97 (0.02)	0.94 (0.01)	75.4	49.5 (2.17)	1.07 (0.02)	1.13 (0.02)	0.95 (0.01)	65.6
Tween 80	31.8 (1.96)	0.96 (0.02)	1.00 (0.03)	0.97 (0.01)	73.1	36.5 (1.12)	1.06 (0.02)	1.12 (0.02)	0.95 (0.01)	71.3
Tween 21	20.7 (3.01)	0.94 (0.01)	0.95 (0.01)	0.99 (0.01)	63.5	38.2 (0.99)	1.08 (0.02)	1.10 (0.02)	0.98 (0.01)	58.6
Tween 61	44.0 (2.34)	0.95 (0.03)	0.98 (0.02)	0.97 (0.02)	63.9	48.3 (2.05)	1.11 (0.02)	1.09 (0.02)	1.02 (0.02)	62.0
Tween 81	29.7 (1.96)	1.00 (0.04)	1.03 (0.04)	0.99 (0.01)	67.3	27.2 (0.84)	1.13 (0.02)	1.16 (0.02)	0.98 (0.01)	68.0
Tween 65	40.7 (1.35)	0.85 (0.04)	0.96 (0.03)	0.89 (0.02)	67.7	58.2 (0.69)	1.03 (0.04)	1.10 (0.02)	0.94 (0.02)	58.8
Tween 85	39.0 (1.07)	0.95 (0.02)	0.98 (0.01)	0.97 (0.01)	69.3	36.3 (2.26)	1.12 (0.01)	1.13 (0.00)	0.99 (0.01)	70.4

\* ( ) represent standard deviations

불포화 구조일 경우 습윤특성이 향상되어  $\theta$ 가 작아지는데 EMPA 104는  $\theta$ 가 커진다. EMPA 101(면오염포<sup>10</sup>)에서도 동일한 결과가 나타나는데, 이를 명확히 설명할 수는 없지만 오구의 조성에 기인한

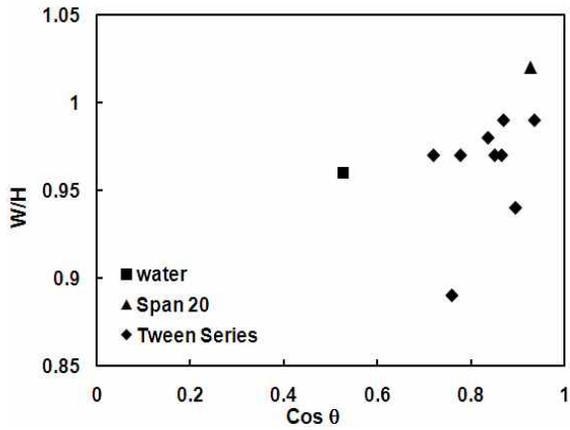


Fig. 1. Cosθ vs. water retention ratio(W/H) for EMPA 104 in 0.1g/dL nonionic surfactant solutions.

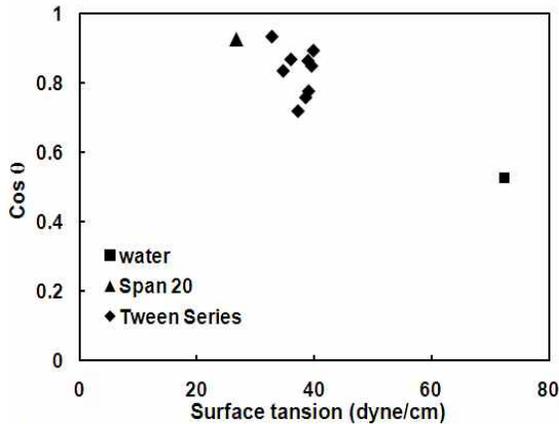


Fig. 2. Surface tension vs. cosθ for EMPA 104 in 0.1 g/dl nonionic surfactant solutions.

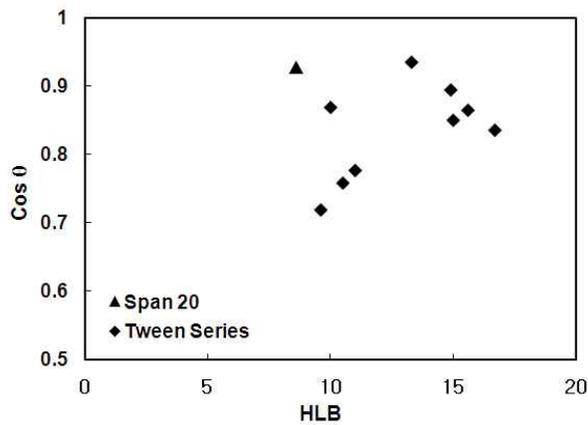


Fig. 3. HLB vs. cosθ for EMPA 104 in 0.1g/dL nonionic surfactant solutions.

다고 추측할 수 있다. Tween 21 → 61의 경우  $\theta$ 가 커지고, Tween 61 → 81, Tween 65 → 85의 경우  $\theta$ 가 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 1은 cosθ와 W/H이 정의 상관관계임을 보여준다. 이는 이전 연구<sup>5-7,9,10,13</sup>에서 반복적으로 보인 결과로 W/H의 증가는 cosθ의 증가, 즉  $\theta$ 의 감소에 영향을 받기 때문이다.

Fig. 2는 계면활성제 표면장력이 증가할 때 EMPA 104의 Cosθ가 감소하는 것을 보여준다. HLB가 커져서 계면활성제의 친수성이 증가하면 일반적으로 Cosθ도 증가하여 EMPA 104의 습윤특성이 향상되었다(Fig. 3). 단 Span 20은 소수성 계면활성제임에도 분자면적이 매우 작아 습윤특성 향상에 효과적이었다. 반면 Tween 20의 경우는 HLB가 큰 친수성 계면활성제임에도 Cosθ는 비교적 낮게 나타났다. 이는 오구 조성이 EMPA 104와 동일한 면오염포인 EMPA 101에서는 동일한 결과가 나타났고 오구 조성이 다른 면오염포에서는 나타나지 않는 것으로 보아<sup>10</sup> 오구 조성에 따른 차이로 보인다.

### 3.2 EMPA 104의 세척성

0.1g/dl 비이온계 계면활성제 수용액에서 EMPA 104의 세척성은 Table 2와 같다. Span 20의 경우  $\theta$ 가 매우 작아 표면적침이 용이했던 반면 세척성은 오히려 낮게 나타났다. 수차례 동일 실험을 반복해도 같은 결과를 얻었는데 이는 오염포의 특성 문제라고 생각 된다. Tween 20, 40, 60, 80에서 세척성이 전반적으로 높게 나타났다. 그러나 계면활성제 친유

Table 2. Soil removal from EMPA 104 by 0.1g/dL nonionic surfactant solutions

Surfactant	Soil removal (%)
Span 20	-43.3 (0.9)
Tween 20	46.6 (0.5)
Tween 40	40.3 (0.6)
Tween 60	41.5 (0.7)
Tween 80	41.3 (0.9)
Tween 21	34.2 (1.8)
Tween 61	32.9 (1.3)
Tween 81	24.0 (1.3)
Tween 65	35.3 (0.3)
Tween 85	31.6 (1.1)

\* ( ) represent standard deviations

기의 길이는 세척성에 큰 영향을 미치지 않았는데 이는 이전 연구와 일치하는 결과이다<sup>10,14)</sup>. Tween 20, 60, 80을 각각 Tween 21, 61, 81과 비교하면 Tween 20, 60, 80의 세척성이 높게 나타나는데, 이들 계면활성제는 동일한 친유기 구조에 Tween 20, 60, 80은 ethylene oxide (EO)가 20몰 첨가된 구조이고 Tween 21, 61, 81은 4몰 첨가된 구조이다. 이는 지방산 유도 비이온계 계면활성제는 일반적으로 EO 수가 커질수록 세척성이 향상되어 EO가 13-15 몰 첨가되었을 때 최고의 세척성을 보이고 EO 수가 이 보다 더 증가하여도 세척성은 그대로 유지된다고 보고한 Satkowski 등의 연구 결과와 일치한다<sup>14)</sup>.

Fig. 4는 계면활성제의 Hydrophile-Lipophile Balance (HLB)와 세척성의 관계를 보여준다. 계면활성제의 HLB가 커져서 친수성이 증가하면 세척성도 전반적으로 증가함을 보여준다. 이는 이전 연구<sup>10)</sup>에서도 보고된 결과로 오염포의 세척성은 비

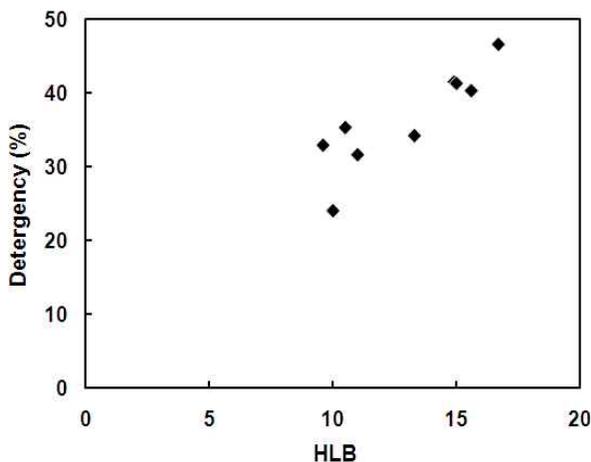


Fig. 4. HLB vs. detergency for EMPA 104 in 0.1g/dL nonionic surfactant solutions.

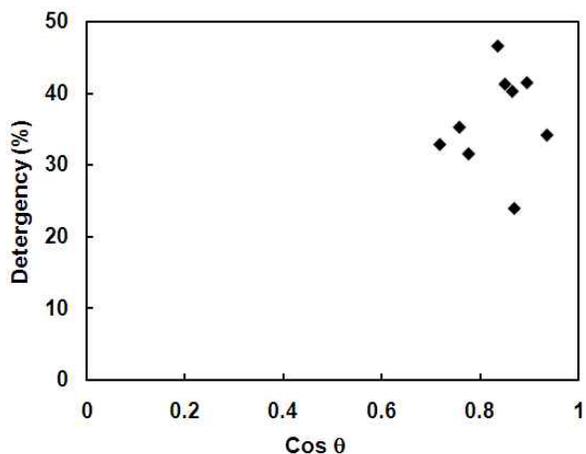


Fig. 5. Cosθ vs. detergency for EMPA 104 in 0.1g/dL nonionic surfactant solutions.

이온계 계면활성제의 HLB값에 영향을 받음을 알 수 있다. Tween 81을 제외하면, 오염포의 습윤특성인  $\cos\theta$ 는 전반적으로 세척성과 정의 상관관계를 보여주는데, 이는 오염포의 표면적침(wetting)이 향상되면 세척성이 향상되기 때문으로 생각할 수 있다(Fig. 5). 그 외 계면활성제 특성인 표면장력이나 오염포의 습윤특성인 W/H 등은 세척성과 연관성이 거의 없었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 EMPA 104 (polyester/cotton(65/35) soiled with carbon black/olive oil) 오염포를 사용하여 10종의 비이온계 계면활성제 수용액에서의 습윤특성과 세척성을 실험적으로 고찰하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 오염포의 습윤특성을 원포와 비교하면 오구 부착에 의한 결과로 물보유량(W)과 기공부피(H)는 감소하였다. 접촉각( $\theta$ )은 예상과 다르게 약간 낮게 나타났다.
2. 계면활성제 첨가시 종류에 관계없이  $\theta$ 가 감소하나 액체보유량비(W/H)는 큰 변화가 없었다. Span 20과 Tween 21이 오염포의 습윤특성 향상에 가장 효과적이었는데 이는 이들 계면활성제의 분자면적이 다른 계면활성제에 비해 현저히 작아 기질의 흡착밀도가 크기 때문이라 생각된다.
3.  $\cos\theta$ 가 증가하면 W/H가 증가하고, 계면활성제 수용액의 표면장력이 증가하면  $\cos\theta$ 가 감소하였다. 또한 계면활성제 HLB가 클수록  $\cos\theta$ 가 증가하였다. 즉, 일반적으로 계면활성제 수용액의 표면장력이 작고 HLB가 클수록  $\cos\theta$ 가 증가하고 W/H가 증가하여 기질의 습윤특성이 향상된다고 볼 수 있다.
4. 오염포의 세척성은 ethylene oxide (EO)가 20몰 첨가된 계면활성제인 Tween 20, 40, 60, 80이 EO가 4몰 첨가된 Tween 21, 61, 81보다 전반적으로 높게 나타났다.
5. 계면활성제의 HLB가 커져서 친수성이 증가하면 오염포의 세척성도 전반적으로 향상되었고, 오염포의  $\cos\theta$ 가 커지면 오염포의 표면적침이 향상되어 세척성도 향상되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년도 한남대학교 학술 연구조성비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. J. C. Berg, Role of Acid-Base Interactions in Wetting and Related Phenomena, In "Wettability: Surfactant Science Series", Vol. 49, Marcel Dekker, Inc., New York, USA, p.76, 1993.
2. Y.-L. Hsieh, J. Thompson, and A. Miller, Water Wetting and Retention of Cotton Assemblies as Affected by Alkaline and Bleaching Treatments, *Textile Res. J.*, **66**(7), 456-464(1996).
3. Y.-L. Hsieh and L. A. Cram, Enzymatic Hydrolysis to Improve Wetting and Absorbency of Polyester Fabrics, *Textile Res. J.*, **68**(5), 311-319 (1998).
4. Y.-L. Hsieh and L. A. Cram, Proteases as Scouring Agents for Cotton, *Textile Res. J.*, **69**(8), 590-597(1999).
5. C. Kim and Y.-L. Hsieh, Wetting and Absorbency of Fibrous Materials by Nonionic Surfactant Solutions, Second International TRI/Princeton Workshop, p.10, Princeton, NJ, USA, June 19-21, 2000.
6. C. Kim and Y.-L. Hsieh, Wetting and Absorbency of Nonionic Surfactant Solutions on Cotton Fabrics, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **187-188**, 385-397(2001).
7. C. Kim, Effect of Nonionic Surfactant Solutions on Wetting and Absorbency of Cotton Fabrics, *J. Korean Soc. Clothing & Text.*, **25**(8), 1444-1452(2001).
8. C. Kim, Effect of Nonionic Surfactant Solutions on Wetting and Absorbency of PET Fabrics I. Mixtures and Dilutions of Span 20 and Tween 20, *J. Korean Soc. Clothing & Text.*, **27**(9/10), 1153-1159(2003).
9. C. Kim, Effect of Nonionic Surfactant Solutions on Wetting and Absorbency of Polyethylene Terephthalate(PET) Fabrics (Part II) -Surfactants Characteristics and Fabric Properties-, *J. Korean Soc. Clothing & Text.*, **29**(12), 1546-1553(2005).
10. C. Kim, Detergency and Water Wetting/Retention Properties of Soiled Cotton Cloths in Nonionic Surfactant Solutions, *J. Korean Soc. Clothing & Text.*, **31**(3), 433-439(2007).
11. C. Kim, Water Wetting and Retention Properties of Polyester/Cotton(65/35) Cloth in Nonionic Surfactant Solutions, *Hannam University Collection of Papers (Natural Sciences & Engineering)*, **37**, 91-100(2007).
12. C. Kim, Molecular Area and Interfacial Tension Behavior of Span 20 and Tween Series Surfactants at Water/Air Interface, *J. Korean Soc. Clothing & Text.*, **24**(7), 1067-1072(2000).
13. C. Kim, Improvement of Liquid Wetting and Retention Properties of Wool Fabric in Nonionic Surfactant Solutions, *Textile Coloration and Finishing*, **21**(2), 7-13(2009).
14. W. B. Satkowski, S. K. Huang, and R. L. Liss, Polyoxyethylene Esters of Fatty Acids, In M. J. Schick (Ed.), "Nonionic Surfactants: Surfactant Science Series", Vol. 1, Marcel Dekker, Inc., New York, USA, pp.142-174, 1966.