

## 세척시 섬유유 의 음이온계 계면활성제 흡착과 헹구기 효과에 관한 연구

박 선 경 · 김 성 련

서울대학교 가정대학 의류학과

### **A Study on the Adsorption of Anionic Surfactant by Various Textile Fibers and Rinsing Efficiency in Washing Process**

**Son Kyeong Park and Sung Reon Kim**

Dept. of Clothing & Textiles, College of Home Economics, Seoul National University  
(1992. 11. 7 접수)

#### **Abstract**

Authors have studied the adsorption of anionic surfactant from detergent solutions on cotton fabric during washing process and have measured the concentration of the residual surfactant in rinsing solution. The relations with temperature and pre-soaking time to rinsing process have been studied. The adsorption of sodium dodecylbenzene sulfonate by various textile fibers has also been investigated.

The results of this study are;

1. Three times rinsing is sufficient as, without pre-soaking, the concentration of the surfactant on fabric is stable from that time on.
2. The rinsing efficiency increases with temperature; at 25°C, 40°C, and 55°C, the concentrations of surfactant on the fabric after-rinsing are 68, 59, 51 mg/100 g of fiber respectively.
3. The longer the pre-soaking time, the lower the rinsing efficiency is; the 4hrs presoaked fabric shows increased surfactant concentration than the one without-soaking. And the increment is 35.8%.
4. The adsorption of sodium dodecylbenzene sulfonate on fabrics differs greatly with the chemical nature of the fiber; wool, silk and nylon which are thought to be ionic-adsorbants shows greater adsorption.
5. The adsorption of surfactant is more affected by the ionic character than the physical one, and the one with higher crystallinity such as cotton and polyester shows lower value than rayon or acetate.

## I. 서 론

세척제에서 세액중에 존재하는 계면활성제는 세액의 표면장력을 낮추어 세척장용을 돕기도 하지만 이보다 더욱 중요한 계면활성제의 작용은 계면활성제가 섬유나 오염에 흡착되었을 때 일어난다. 즉, 섬유와 오염에 흡착된 계면활성제는 섬유와 오염의 지타전위를 높이고, 섬유와 오염간의 결합력을 약화시켜 오염이 섬유 표면에서 분리되기 쉬운 상태로 만든다<sup>1)</sup>. 이와같이 계면활성제의 흡착이 세척에 중대한 영향을 미치므로 계면활성제 흡착에 관한 연구는 세척분야의 연구자들 사이에 오래전부터 관심의 대상이 되어 왔다.

섬유에의 계면활성제 흡착에 관한 연구는 주로 면과 양모에 관하여 이루어졌으며, 면에 관한 연구로는 Boyd<sup>2)</sup>, Epton<sup>3)</sup>, Ginn<sup>4)</sup>, Sexsmith<sup>5)</sup>, Flett<sup>6)</sup> 등의 연구가 있다. 이들은 면섬유에 의한 음이온 계면활성제의 흡착은 면의 wax 성분에서 의한 것이 대부분으로 wax를 제거한 면에서는 소량의 흡착만이 일어난다고 보고하였으며, 세제의 조제로 쓰이는 황산 나트륨은 계면활성제의 면섬유 흡착에 상승효과를 가지는 것으로 보고하였다. 또한, Schwarz<sup>7)</sup>와 Lambert<sup>8)</sup>는 음이온 계면활성제인 sodium dodecylbenzene sulfonate는 칼슘이온이 존재할 때 칼슘염의 형태로 전환되어 흡착됨을 radiotracer를 이용하여 밝혔다. 또, Fava<sup>9)</sup>는 면섬유에 대한 sodium dodecylbenzene sulfonate의 등온흡착곡선을 연구하여 최대흡착을 이루는 농도가 존재함을 밝혔다.

양모섬유에의 계면활성제 흡착에 관한 연구로는 Anderson<sup>10,11)</sup>과 Freeland<sup>12)</sup>의 보고가 있으며, Anderson은 양모섬유에의 nonylphenol ethoxylate 흡착량을 정량하는데 있어 섬유표면에 흡착된 양과 섬유 내부에 흡착된 양을 구분하여 정량한 결과, 양모섬유는 섬유 표면 보다는 내부에 많은 양의 계면활성제를 흡착한다는 것을 밝혔다. 또, Freeland는 양모에 흡착된 nonylphenol ethoxylate를 정량함에 있어 wool grease와 processing oil에 영향을 받지 않는 미량분석이 가능한 정량법인 HPLC(high pressure liquid chromatography) 방법을 제안하였다. 또한, Maclaren<sup>13)</sup>은 양모의 가공이나 염색과정에서 쓰이는 양이온계 계면활성제가 양모에 흡착된 양을 정량하고 양모에 단단하게 결합된 양이온계 계면활성제의 양은 7% o.w.f.에 이른다고

보고하였다. 음이온계 계면활성제의 양모 흡착에 관한 연구로는 Aickin<sup>14)</sup>의 연구가 있는데, 그는 용액의 PH가 증가함에 따라 Na alkyl sulfate의 양모에의 흡착이 증가하며, 염욕 내에서 Na alkyl sulfate는 양모의 basic group에 염료와 경쟁적으로 흡착하므로 염색시 완염 및 균염 효과를 가져온다고 보고하였다.

이외에도 폴리 아미드계 섬유등 다양한 섬유에 대한 계면활성제 흡착에 관한 연구가 있다<sup>15-18)</sup>.

헹굼과 관련된 계면활성제 부착연구로는 Ichihara<sup>19)</sup>의 보고가 있는데 그는 세척 및 헹굼과정에서 부착된 계면활성제를 직접 정량하지 않고, 헹굼액의 농도로 부터 섬유에 남아있는 계면활성제량을 계산하였으며, Kondoh<sup>20)</sup>는 세척 및 헹구기 과정에서 먼직물에 남아있는 음이온계 계면활성제를 정량하였는데 먼을 정량하지 않고 사용하여 그의 보고로서는 순수하게 세척시에 흡착된 계면활성제 량을 알 수 없다.

따라서, 본 연구에서는 세척 및 헹구기 과정에서 먼직물에 잔류하는 음이온 계면활성제량을 알아보고자 음이온계 계면활성제를 섬유로부터 추출하여 Abbott<sup>21)</sup>의 방법으로 정량하였다. 세척기기로는 가정용 세탁기를 사용하였는데 가정용 세탁기를 선택한 것은 가정용 세탁기의 원심탈수방식을 축소형 세탁기에 그대로 적용하기가 힘들기 때문이다. 또, 헹구기 과정에서 음이온 계면활성제의 직물 잔류량에 대한 온도 및 침지 시간의 영향을 조사하였으며, 이 과정에서 헹굼액에 남아있는 계면활성제량도 정량하였다. 아울러 다양한 섬유에 대한 sodium dodecylbenzene sulfonate의 흡착량을 조사하여 섬유 종류에 따른 흡착량의 차이를 검토하였다.

## II. 실험방법

### 1. 섬유의 종류에 따른 음이온 계면활성제의 부착량<sup>\*</sup>

#### 1) 시험포

본 실험에 사용한 직물의 특성을 Table 1에 나타내었다.

위 직물은 섬유에 존재하는 계면활성제, oil, wax 등을 제거하기 위하여 ethanol-benzene 공비 혼합물로 8 시간동안 속스레 추출하고 건조한 후, 다시 증류수로 2회 헹구어 자연건조 하였다. 단, acetate는 alcohol에 담가서 씻은 후 말려 증류수로 헹구고 자연건조하였다.

Table 1. Characteristics of fabrics

| Material      | Weave       | Fabric count (ends X pics/5cm) | Thickness (mm) | Weight (g/m <sup>2</sup> ) |
|---------------|-------------|--------------------------------|----------------|----------------------------|
| Cotton        | plain       | 145 X 140                      | 0.25           | 98                         |
| Polyester     | plain       | 224 X 208                      | 0.12           | 73                         |
| Nylon         | plain       | 228 X 192                      | 0.11           | 62                         |
| Wool          | twill (2/1) | 144 X 128                      | 0.49           | 223                        |
| Silk          | plain       | 320 X 400                      | 0.19           | 68                         |
| Acetate       | satin       | 176 X 144                      | 0.17           | 98                         |
| Viscose rayon | plain       | 192 X 112                      | 0.15           | 78                         |

## 2) 세척

Terg-O-tometer (Yasuda Seiki, Model No 1314)를 사용하여 30°C, 80 rpm에서 액비 1 : 30(약량 1리터)으로 하여 30분간 세척하였다. 세탁 용수로는 증류수를 사용하였고, 세제는 sodium dodecylbenzene sulfonate (유효성분 50%)를 사용하였으며 사용농도는 0.3%이다.

세척후 포를 꺼내어 각 시험포 사이에 filter paper를 넣고 위에서 무게 1.5 kg의 추로 1분 30초간 눌러서 탈수한 후에 손으로 가볍게 2회 행구어 자연건조 하였다.

### 3) 계면활성제 정량

위 2)에서 건조한 포를 속스레 추출기에서 97% 에탄올로 8시간동안 추출한 다음 추출이 끝난 포를 공기중에서 6시간동안 건조하고 오븐에서 건조하여 무게를 측정하였다. 추출후 플라스크에 남은 에탄올을 증류하여 제거하고, 액이 10 ml 정도 남았을때 액을 비이커에 옮겨 water bath에서 에탄올을 완전히 건조하였다. 비이커를 70°C의 물로 완전히 행구고, 행군물을 1 l volumetric flask에 넣고 희석한 다음 액중의 계면활성제의 양을 Abbott의 방법에 따라 정량하고 그 결과를 섬유 100 g에 대한 음이온계 계면활성제 (Manoxol O.T.)의 무게 (mg)로 표시하였다.

## 2. 헝겍시 계면활성제 잔류량

### 1) 시험포

한국의류시험검사소에서 제작한 섬유류제품의 염색건뢰도 시험용 첨부백면포 (KS K 9505)를 30×45 cm 크기로 잘라 에탄올로 8시간동안 추출한 후 세제잔류량 측정용 시험포로 사용하였다. 나머지 세탁물 무게는 광목으로 채우되 매 실험때마다 신선한 것을 사용하였으며,

탄산 나트륨으로 정련하여 실험에 사용하였다. 이때 총 세탁물 무게는 2.35 kg 이며 액비는 1 : 20으로 하였다.

### 2) 세제

시판되고 있는 효소세제를 사용하였다. 이 세제에 포함되어 있는 계면활성제의 종류는 직쇄알킬벤젠계, 알파 올레핀계, 고급 알코올계(음이온, 비이온), 지방산계(음이온)이다.

### 3) 시약

Alkaline borate solution : 0.05 M sodium tetraborate와 0.1 N Sodium hydroxide를 같은 부피로 섞는다.

- 0.1 N의 Sulphuric acid

- 0.025% Methylene blue 용액

- Manoxol O.T. 용액 : 1.00 g의 Manoxol O.T. (Sodium dioctyl sulphosuccinate)를 물에 녹여 1 l로 만들고, 이 용액 10 ml를 다시 1 l로 만들어 10 µg/ml의 용액을 만든다.

- Chloroform, 95% ethylalchol, benzene은 E.P. 급을 그대로 사용하였다.

### 4) 세척

국산 가정용 세탁기(와류식)를 사용하여 세탁하였으며, 세제잔류량 측정용 포 6매를 중간부분의 세탁물에 함께 넣고 세제농도를 0.1%로 하여 저수위에서 온도 25°C, 40°C, 55°C에서 세탁기 표준코스(표준코스)로 세탁을 하였다. 표준코스의 세탁시간은 12분이며 세탁후 약 3분간 탈수하고, 헝겍 탈수를 2회 되풀이 한다. 2회 헝겍 이후 세탁기 프로그램을 수동으로 작동시켜 5회까지 행구었고 매회 탈수시간은 동일하게 하였으며, 매 회마다 배수되기 직전에 분석용 헝겍액을 취하고 매 회 탈수후에 세제잔류량 측정용 포를 하나씩 꺼내었다.

침지시에는 세제를 녹인 일정온도의 세탁용수에 세탁 물을 넣은 후 전원을 끄고 세탁기 뚜껑을 덮어 온도를 유지하였으며, 침지후 2~3°C의 온도하강이 있었다.

5) **헝굼액에 잔존하는 세제량**

4)에서 채취한 헝굼액을 Abbott의 방법에 따라 다음과 같이 정량하였다.

0~200 µg이 들어있는 Manoxol O.T. 용액을 농도별로 4개이상 취하여 sample의 농도측정방법과 마찬가지로 chloroform으로 추출한 후 spectrophotometer (Shimadzu UV 240)를 사용하여 650 nm에서 optical density를 측정하고, 농도와 OD를 plot하여 검량선을 작성하였다.

Sample의 농도측정 방법은 다음과 같다. 250 ml 분액누두에 50 ml의 물과 10 ml의 alkaline borate 용액, 5 ml의 methylene blue 용액을 넣고, 10 ml의 chloroform을 가하여 30초동안 수평으로 흔든 후, chloroform 층을 완전히 따라내었다. 2~3 ml의 chloroform을 가한 후 chloroform 층을 따라내고, 위조작을 2번 반복한 다음 다른 분액누두에 100 ml의 물과 10 ml의 alkaline borate 용액, 5 ml의 methylene blue 용액을 넣고, 위에서와 같이 chloroform으로 두 번 씻어내었다.

첫번째 분액누두에 sample을 넣고, 15 ml의 chloroform을 넣은후 1초에 2회씩 수평으로 1분간 흔든다음 chloroform 층을 두번째 분액누두에 따라내고, 마찬가지로 1분간 흔든 뒤 cotton-wool을 채운 filter funnel을 통해 50 ml volumetric flask에 옮겼다. 15 ml의 chloroform으로 추출하는 것을 두번 반복한 후 chloroform을 flask의 mark까지 채운다음 650 nm에서 optical density를 측정하고 검량선에서 농도를 읽어 용액내의 음이온 계면활성제 농도를 구하였다.

헝굼액의 계면활성제 농도를 세척시 초기용액의 계면활성제 농도에 대한 백분율로 표시하였다.

6) **포에 잔존하는 세제정량**

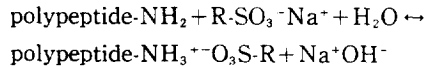
4)에서와 같이 매 회 탈수후 채취한 포를 에탄올로 추출한 후 항온항습실에 보존하여 무게를 측정하고, 3)의 방법에 따라 포에 잔존하는 계면활성제량을 정량하였다.

III. **결과 및 고찰**

1. **섬유의 종류에 따른 sodium dodecylbenzene sulfonate의 흡착량**

섬유의 종류에 따른 음이온 계면활성제의 흡착량을 그림 1에 나타내었으며, 이에 의하면 세면활성제의 흡착량은 견, 나일론, 양모 섬유가 가장 많고, 아세테이트와 레이온이 그 다음이며, 면과 폴리에스터는 흡착량이 매우 작다.

계면활성제가 섬유에 흡착되는 기구는 크게 두 가지로 구분되는데, 그 하나는 무극성 기질의 흡착기구인 hydrophobic bonding이며, 다른 하나는 이온성 기질의 흡착기구인 ion pairing이다. 본 실험에서는 음이온계 계면활성제인 sodium dodecylbenzene sulfonate를 사용하였으므로 양모, 실크, 나일론 섬유는 hydrophobic bonding에 의한 흡착외에 아미노기에 음이온계 계면활성제가 다음과 같이 이온결합하여 많은 양의 계면활성제를 흡착하는 것으로 보인다.



반면에 면, 레이온, 아세테이트, 폴리에스터에는 음이온계 계면활성제가 hydrophobic bonding에 의해서만 흡착되어 이온 흡착이 일어나는 경우보다 흡착량이

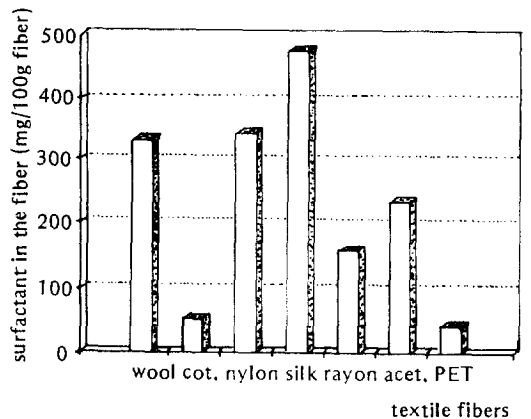


Fig. 1. The adsorption of sodium dodecylbenzene sulfonate by various textile fibers  
 surfactant concentration: 0.3%  
 temperature: 30°C  
 pre-soaking time: 0hrs

현저히 작다. 그러나, hydrophobic bonding에 의한 흡착이 일어나는 경우에도 면, 폴리에스터 섬유와 레이온, 아세테이트섬유 간에는 흡착량의 큰 차이를 보이는데 이는 섬유의 결정화도에 기인하는 것으로 생각된다.

예를 들면, 면섬유와 레이온섬유는 섬유의 화학적 조성이 동일하나 면 섬유의 결정화도가 레이온섬유 결정화도의 약 2배이므로, 레이온섬유의 경우, 섬유의 비결정 영역에 많은 양의 계면활성제가 흡착되어 섬유 100g을 기준으로 한 때의 계면활성제 흡착량이 면은 51.4 mg인데 비해 레이온은 161 mg에 이른다.

이외에 계면활성제의 흡착과 관련된 요인으로 각 섬유의 wet pick-up을 생각할 수 있다. 본 실험에서 압착 탈수 후 각 섬유의 wet pick-up은 다음 Table 2와 같다.

Table 2를 Fig. 1의 결과와 비교하면 섬유의 wet pick-up이 계면활성제 흡착에 미치는 영향은 섬유의 화학적 특성이 미치는 영향만큼 크지는 않으나 polyester 섬유에서의 적은 양의 흡착과 rayon과 cotton의 계면활성제 흡착량의 차이는 섬유의 결정화도 뿐만 아니라 wet pick-up의 차이에 의해서도 영향을 받음을 알 수 있다.

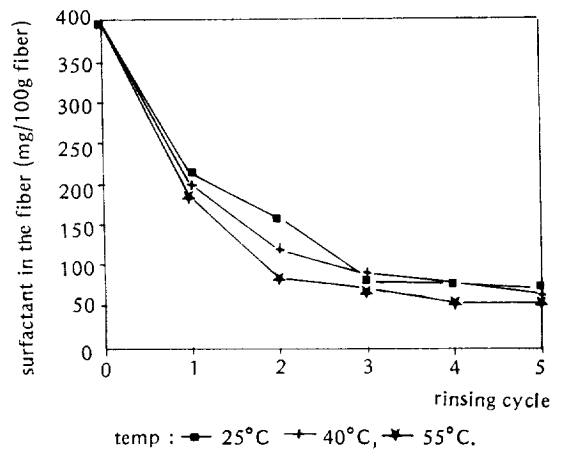
**2. 헹굼시 계면활성제 잔류량**

**1) 헹구기 온도가 헹구기 효과에 미치는 영향**

세척시 헹구기 횟수에 따른 세척포에서의 계면활성제 잔류량 변화를 25 C, 40 C, 55 C에서 각각 조사하고, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 헹구기 전에는 각 온도에서의 계면활성제 잔류량에 차이가 없다. 일반적으로 온도가 높을수록 계면활성제 흡착량이 많은 것으로 알려져 있는데, 세척 후 원심탈수만을 거친 포는 상당량의 세액을 포함하고 있으므로 섬유에 물리적 또는 화학적으로 결합되지 않고 남아있는 계면활성제의 양이 많아 온도별 차이를 보이지 않는다고 생각된다. 이러한 경우, 온도보다는 원심탈수 후의 세액함량 즉, 탈수율이 계면활성제 잔류량에 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다.

헹구기 횟수가 증가함에 따라 계면활성제 잔류량이 점차 감소하며, 온도가 높을수록 감소하는 속도가 커서 헹구기 효율의 차이를 보인다. 또한, 25°C와 40°C에서는 3회 이후, 55°C에서는 2회 이후에 감소율이 둔화하여 거의 일정치에 이르고 있어 3회 이상 헹구기를 반복하는 것은 별 효과가 없음을 보여주고 있다.

5회 헹구기 이후에 포에 남아있는 계면활성제의 양은 헹구기를 반복하여도 빠져나가지 않는 영구적 잔류량이라고 볼 수 있으며, 그 양은 섬유 100g을 기준으로 할 때 25°C에서는 68 mg, 40°C에서는 59 mg, 55°C에서는 51 mg으로 헹굼액의 온도가 높을수록 잔류량이 적다. 침지시에도 같은 경향을 보이기를 알아보기 위하여 25°C, 40°C, 55°C에서 2시간동안 침지한 후 직물에 남아있는 계면활성제량을 조사한 결과 헹구기 전에는 온도가 높을수록 잔류량이 약간 많으나 큰 차이는 없으며, 1회 헹군후에 잔류량이 비슷해지고 2회 헹구기에서는 55°C에서의 잔류량이 25°C에서 보다 작아 Fig. 2에서의 결



**Fig. 2.** The influence of rinsing cycle on the adsorption of anionic surfactant by cotton fabric at various temperature. initial detergent concentration: 0.1% pre-soaking time: 0hrs

**Table 2.** Wet pick-up of various fibers

| Fibers      | Rayon | Nylon | Cotton | Wool  | Silk  | Acetate | Polyester |
|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|---------|-----------|
| wet pick-up | 87.4% | 18.6% | 72.3%  | 51.8% | 61.4% | 24.6%   | 3.6%      |

과와 같은 경향을 보였다.

세척시 행구기 횟수에 따른 행굼액에서의 계면활성제 잔류량 변화를 25°C, 40°C, 55°C에서 각각 조사하고, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 1회와 2회 행구기에서 온도가 높을수록 액중 계면활성제 농도가 높아 많은 양의 계면활성제가 직물로부터 떨어져 나온다는 사실을 확인

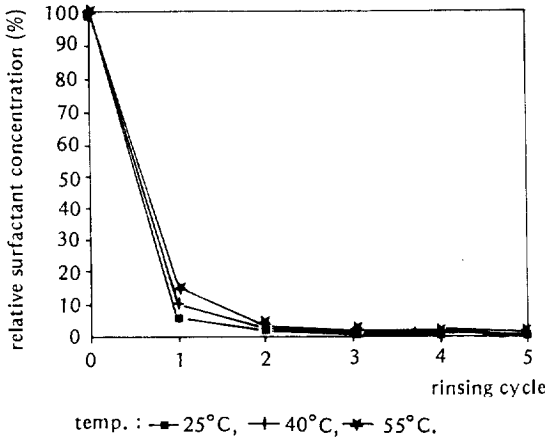


Fig. 3. The influence of rinsing cycle on the anionic surfactant concentration in rinsing liquid at various temperature. initial detergent concentration: 0.1% pre-soaking time: 0hrs

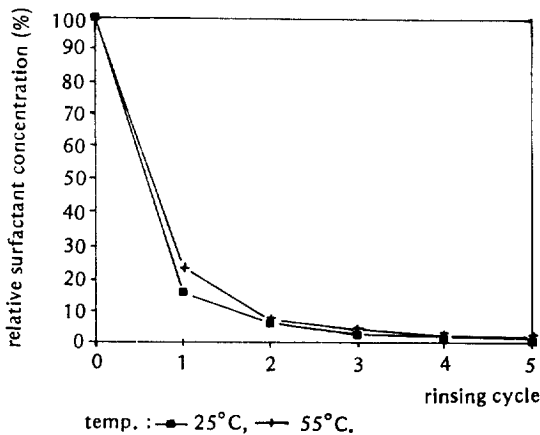


Fig. 4. The influence of rinsing cycle on the anionic surfactant concentration in rinsing liquid at various temperature after two hrs pre-soaking. initial detergent concentration: 0.1%

할 수 있다. 3회 행구기 이후 행굼액의 농도가 일정해지는 것은 Fig. 2에서와 마찬가지로 3회 이후에는 계면활성제의 탈락이 거의 이루어지지 않음을 보여준다. 2시간 침지 후 25°C와 55°C에서 행굼액중의 계면활성제 잔류량 변화를 Fig. 4에 나타내었으며, 이에 따르면 온도에 따른 행구기 효과는 Fig. 3에서와 동일하다.

2) 침지 시간이 행구기 효과에 미치는 영향

최근 효소세제의 사용량이 증가함에 따라 세탁물을 일정시간 동안 세액에 침지한 후에 세탁하는 세탁 방식이 일반화 되고 있어 침지가 행구기 효과에 미치는 영향에 대한 연구가 요구된다. 따라서, 세탁시 행구기 횟수에 따른 세척포에서의 계면활성제 잔류량 변화를 침지시간에 따라 조사하고, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

침지 시간의 증가에 따라 행구기전의 세제흡착량이 증가하였으며, 무침지시에는 행구기 3회 이후 포에 잔류하는 계면활성제량이 일정해 지나, 2시간 침지시에는 4회 이후에 일정해지고 4시간 침지시에는 5회 행구기에서도 일정치에 이르지 못하여 5회 이상의 반복 행굼을 필요로 한다. 따라서, 침지 시간이 증가함에 따라 행구기 횟수를 점차 늘려줄 필요성이 있음을 알 수 있다.

5회 행구기 이후 직물에 남아 있는 계면활성제 잔류량은 무침지시에는 59 mg, 2시간 침지시에는 65 mg, 4시간 침지시에는 80 mg으로 증가하였다. 이는 침지 시간

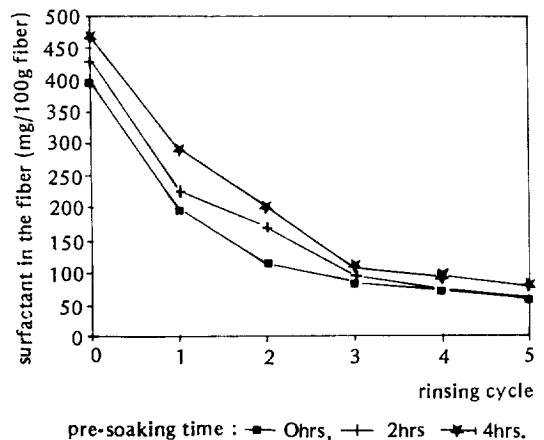


Fig. 5. The influence of rinsing cycle on the adsorption of anionic surfactant by cotton fabric at various pre-soaking time. initial detergent concentration: 0.1% temperature: 40°C

이 길수록 많은 양의 계면활성제가 섬유내부로 침투하여 행굼시에 빠져나가지 못하기 때문인 것으로 생각할 수 있다.

#### IV. 결 론

온도와 침지 시간에 따른 행구기 효과 및 여러가지 섬유에의 음이온계 계면활성제의 흡착량을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 행구기가 진행되어 감에 따라 섬유에 잔류하는 계면활성제의 양이 점차 감소하며, 침지를 하지 않은 경우, 3회 행구기 이후에 잔류량이 일정하여지므로 3회 행굼을 행구기의 종점으로 간주할 수 있다.

2. 5회 행굼시 섬유 100g에 잔존하는 계면활성제량은 25°C에서 68 mg, 40°C에서 59 mg, 55°C에서 51 mg으로 온도가 증가함에 행구기 효율이 증가한다.

3. 침지시간이 길어지면 섬유에 부착되는 계면활성제량이 증가하고, 많은 양이 섬유 내부로 침투하여 행구기 과정에서 빠져나오기 어렵게 되므로, 4시간 동안 침지한 경우 5회 행굼시 계면활성제 잔류량은 침지하지 않은 경우에 비해 35.8%의 증가를 보인다.

4. 섬유의 종류에 따른 sodium dodecylbenzene sulfonate의 흡착량은 섬유의 화학적 조성에 따라 흡착 기구가 달라 흡착량이 크게 달라지며 이온 흡착을 하는 것으로 생각되는 양모, 견, 나일론섬유는 계면활성제 흡착량이 현저히 많다.

5. 섬유에 계면활성제가 hydrophobic bonding에 의해 흡착되는 면, 폴리스에스테르, 레이온, 아세테이트 섬유는 이온 흡착에 의한 경우 보다 흡착량이 적으며, 이중 결정화도가 큰 면과 폴리에스테르 섬유는 흡착량이 작고, 결정화도가 작은 레이온과 아세테이트는 흡착량이 많다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 김성련, 세제와 세탁의 과학, 1987, 교문사, p 123, p 134
- 2) T.F. Boyd and R. Bernstein, An investigation of the adsorption of detergent and builders onto cotton and soil by radiotracer methods, *J. Am. Oil. Chemists' Soc.*, **33**, 614-19 (1956)
- 3) S.R. Epton and J.M. Preston, Some aspects of the

adsorption of anionic surface-active agents by cotton, *Congr. mondial detergence et prods. tensio-actifs, Congr. Paris 2*, Sect. 5-11, 471-7 (1954)

- 4) M.E. Ginn, F.B. Kinney, and J.C. Harris, Effect of cotton substrate characteristics upon surfactant adsorption, *J. Am. oil. Chemests' Soc.*, **38**, 138-43 (1961)
- 5) F.H. Sexsmith and H.J. White, The absorption of cationic surfactants by cellulosic materials, *J. Colloid Sci.*, **14**, 598-618 (1959)
- 6) L.H. Flett, L.F. Hoyt and J. Walter, Quantitative data on the adsorption of a detergent by cotton sheeting under textile processing conditions, *Am. Dyestuff Reprtr.* **41**, Proc. Am. Assoc. Textile Chem. Colorists, p 139-43 (1952)
- 7) W.J. Schwarz, A.R. Martin and R.C. Davis, The influence of calcium on the adsorption of sodium dodecylbenzene sulfonate of cotton, *Textile Res. J.*, **32**, No. 1, 1-8 (1962)
- 8) J.M. Lambert, Cationic adsorption and exchange as shown by radiocalcium tracer studies, *Ind. Eng. Chem.*, **42**, 1394-8 (1950)
- 9) A. Fava and H. Eyring, Equilibrium and kinetics of detergent adsorption-A generalized equilibration theory, *J. Phys. Chem.*, **60**, 890 (1956)
- 10) C.A. Anderson, R.G. Ganyl and G.F. Wood, Sorption of nonionic detergents by wool, *J. Textile Inst.*, **56**, T216-T217 (1965)
- 11) C.A. Anderson, R.G. Ganyl and G.F. Wood, The determination of nonylphenol ethylene oxide detergents in wool grease, *J. Pharm. Pharmacol.*, **18**, 809-814 (1966)
- 12) G.N. Freeland, G.B. Guise and I.M. Russell, Sorption and Analysis of some nonylphenol ethoxylate surfactants on wool, *Textile Res. J.*, **55**, 358-363 (1985)
- 13) J.A. Maclaren and J.A. Mcdermott, Some effects of the sorption of cationic surfactants by wool, *J. Text. Inst.*, **75**, 416-420, (1984)
- 14) R.G. Aickin, The adsorption of Na alkyl sulfates by wool and other fibers, *J. Soc. Dyers Colourists*, **60**, 60-65 (1944)
- 15) M. Mitsuishi, T. Ishiwatari, D. Yoshida, S. Takano, Affinity of alkylsulfates for nylon, *Sen'i Gakkaishi*, **37**, T108-T111 (1981)
- 16) E. A Sinevich, A.M. Prazdnichnyi and N.F. Bakeev, Surfactant adsorption in the microporous structure of poly (ethylene terephthalate) crazes, *CA.* **108**: 222367n

- 17) R.G. Mast and L. Benjamin, Sorption of dimethyldodecylphosphine oxide by cotton, nylon, rayon and selected particulate substrates, *J. Colloid Interface Sci.*, **31**, 31-38 (1969)
- 18) H.V. Evans, Fiber swelling and detergent adsorption in detergent/textile fiber systems, *J. Colloid Sci.*, **13**, 537-552 (1958)
- 19) E. Ichihara, Y. Matsumoto and Akihiko Yabe, Studies on rinsing, *Yukagaku*, **5**, 155-163 (1956)
- 20) K. Kondoh, M. Suzuki, T. Ogata, E. Ishi, M. Katoh, Consideration on rinsing in practical laundry, *J. Japan Res. Assn. Textile End-Uses*, **12**, 247-263 (1971)
- 21) D.C. Abbott, The colorimetric determination of anionic surface-active materials in water, *Analyst*, **87**, 286-293 (1962)