

## 고형오구 입자크기가 고형오구의 세척성에 미치는 영향

문미화 · 강인숙<sup>†</sup>

창원대학교 자연과학대학 의류학과

## The Effect of Particle Size on the Detergency of Particulate Soil

Mi-Hwa Mun · In-Sook Kang<sup>†</sup>

Dept. of Clothing &amp; Textiles, Changwon National University

접수일(2010년 2월 2일), 수정일(2010년 3월 18일), 게재확정일(2010년 4월 7일)

## Abstract

This study investigates the effect of particle size on the detergency of particulate soil using an  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle as the model. Monodispersed spherical  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles were prepared by the hydrothermal aging of an acidic FeCl<sub>3</sub> and HCl solution. The  $\zeta$ -potential of PET fiber was measured by the streaming potential method. The potential energy of interaction between the particle and fiber was calculated using the heterocoagulation theory for a sphere-plate model. The  $\zeta$ -potential of PET fiber and potential energy of interaction between particles and fiber increased with a decreasing particle size in a DBS solution. However, in the nonionic surfactant solution, the  $\zeta$ -potential signs of PET fiber and  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles were (-) and (+), respectively; there was no repulsive power between the particles and substrate. The adhesion of particles to the fabric increased with increasing particle size in the anionic surfactant solution and their removal from the fabric increased with a decreasing particle size. The adhesion of particles to the fabric and their removal from the fabric was biphasic with a maximum and minimum at 0.1% concentration of the surfactant solution. In the nonionic surfactant solution the adhesion of particles to fabric and their removal from the fabric were greater than the ones in the anionic surfactant DBS solution.

**Key words:** Particle size, Surfactant solution, Interaction energy between particle and the substrate, Detergency of particulate soil; 입자크기, 계면활성제 용액, 입자와 기질 간의 상호작용에너지, 고형오구의 세척성

## I. 서 론

의복에 부착되어 있는 고형오구는 의부로부터 온 불용성 고형물인데, 20~100 $\mu$ m 정도의 비교적 큰 고형입자는 직물표면의 요철 부위나 간극 등에 물리적으로 부착되어 세척과정에서 쉽게 제거되지만, 입자의 크기가 1 $\mu$ m 이하인 경우는 이러한 물리적인 힘의

기여는 극히 적고, 고형오구 입자와 섬유직물의 전위에 기인하는 계면전기적 현상이 고형입자의 직물체에 부착과 탈락에 주된 작용을 한다(Nelligan et al., 1982). 왜냐하면, 일반적으로 세액에서 기질과 고형입자는 이온화, 이온흡착, 이온용해현상에 의해 표면전하를 갖게 되고 그에 따라 전기이중층에 의한 반발력이 형성되기 때문에 계면전기적 조건이 고형오구의 세척성에 중요한 역할을 한다는 가정이 쉽게 성립되기 때문이다(Tagawa & Gotoh, 1986). 계면전기적 측면에서 고형오구의 부착과 제거에 영향을 주는 근본 요인은 반데르발스 인력과 섬유기질 및 고형입자의 표

<sup>†</sup>Corresponding author

E-mail: kangis@changwon.ac.kr

본 연구는 한국학술진흥재단 우수여성과학자 지원(2007-531-00080)으로 수행되었음.

면전하에 따른 전기이중층에 따른 반발력이다. 섬유 기질과 고휘입자 간에 작용하는 반데르발스 인력은 두 물체 간의 거리에 반비례하고 물체의 크기에 비례하여 입자의 크기가 인력에 큰 변수로 작용한다. 한편 기질과 입자 간에 작용하는 전기이중층에 기인하는 반발력은 전해질의 존재에 따른 표면전하와 그에 따른 상호작용에너지, 그리고 계면활성제와 같은 물질의 표면흡착에 의한 입체적 안정화 효과에 주로 영향을 받는다(Zhigang et al., 2004). 기질과 입자 간에 작용하는 반발력은 반데르발스 인력에 비하여 용액의 특성에 따라 크게 차이를 보이고 있지만 입자의 크기에 따라 전기이중층에 의한 반발력도 변한다. 따라서 고휘 오구의 세척성의 영향 요인으로 오구의 입자크기는 다른 조건과는 달리 인력과 반발력에 동시에 작용하기 때문에 고휘오구의 입자크기가 고휘오구의 세척성에 주는 영향에 대한 검토는 필요할 것으로 생각된다.

고형오구 입자크기가 고휘오구의 세척성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 기초 환경인 입자의 분산안정성과 입자의  $\zeta$ -potential, 입자와 입자 간의 상호작용에너지 등에 관한 입자의 크기의 효과에 대한 보고가 있었다(문미화, 강인숙, 2009). 그리하여 본 연구는 그에 관한 후속연구로 입자와 섬유기질 간의 상호작용에너지와 고휘오구의 세척성을 고찰하고 이들 간의 관련성을 검토하였다. 세척은 오구를 직물로부터 분리하여 세액 중에 분산시키는 과정과 분산된 오구가 재부착되는 과정을 동시에 포함하기 때문에 부착과 제거현상을 정량적으로 정확하게 분리 규명하기는 어렵지만 부착과 제거현상을 각각 분리하여 세척현상을 검토하였다. 고휘오구의 모델로 크기가 다른 5가지  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자를 제조하여 사용하였다.

## II. 실험방법

### 1. 시료

한국의류시험검사소에서 제작한 섬유류제품의 염색견뢰도시험용 폴리에스테르 침부백포(오염포 KS K O905)를 아염소산나트륨 0.2%, 포름산 0.2%, 질산 0.1% 용액에 액비 30:1로 60°C에서 60분간 처리하고, 암모니아수로 중화한 후 증류수로 충분히 씻어 자연 건조하고, 이를 benzene:ethanol(2:1)의 공비 혼합물로 8시간 속슬레 추출기로 추출한 후 자연 건조시켜 사용하였다.

### 2. $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자의 제조

$\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자의 크기를 변화시키기 위하여 1~5×10<sup>3</sup> mol/l HCl과 0.18~5×10<sup>2</sup> mol/l FeCl<sub>3</sub>의 농도를 달리한 혼합용액을 밀폐하여 100°C 항온조에서 14일간 숙성시켜,  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자를 제조(Matijevic et al., 1981)하였다. 입자가 분산된 액을 원심분리한 후 수세하는 과정을 10회 반복하여 과잉의 Fe<sup>3+</sup>와 Cl<sup>-</sup>를 제거하여 80°C에서 12시간 건조하고 200°C에서 1시간 열처리하였다. 제조된 입자의 크기는 입자의 크기는 <Fig. 1>과 같이 160~760nm 로 비교적 균일하며, 형태는 방형이었다. 농도에 따른 입자의 크기변화에 관한 내용은 전보(문미화, 강인숙, 2009)에서 검토되었다.

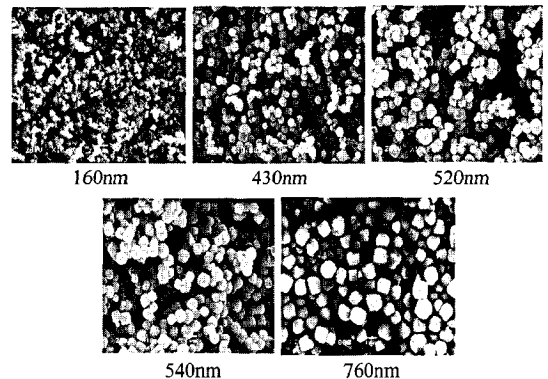


Fig. 1. Scanning electron micrographs of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles obtained by changing the concentration of FeCl<sub>3</sub> and HCl.

### 3. 계면전기적 현상

#### 1) 입자의 $\zeta$ -potential

계면활성제 용액에  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자를 넣은 50ml용액을 5분간 초음파로  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자를 충분히 분산시켜서 Zeta-meter(Zeta-meter Inc.)를 사용하여 현미경 전기영동법으로 측정하였다(문미화, 강인숙, 2009).

#### 2) 기질의 $\zeta$ -potential

Zeta potential(ELS-8000)을 측정하기 위해 시료를 평판셀에 장착한 다음 10mM NaCl용액을 베이스로 한 모니터 용액을 흘려주면서 계면동전위를 측정하였다.

#### 3) 입자와 기질 간의 상호작용에너지

$\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자와 섬유 간의 상호작용에너지는 구(sphere)

-평판(plate)모델의 헤테로 응집이론에 기초를 두어 Imamura(Imamura & Tokiwa, 1973)가 유도한 식으로 계산하였다.

$$V_A = -\frac{A_{123}}{6} \left[ \frac{2a(H+a)}{H(H+2a)} - \ln\left(\frac{H+2a}{H}\right) \right]$$

$A_{123}=(A_{113} \cdot A_{223})^{\frac{1}{2}}$ : 수중에서 기질과 입자의 Hamaker 상수

$A_{113}$ : 수중에서 입자 간의 Hamaker상수

$A_{223}$ : 수중에서 기질 간의 Hamaker상수

$a$ : 입자의 반경

$H$ : 입자와 기질 간의 거리

$$V_E = -\frac{\alpha\epsilon}{4} \left[ \psi_1^2 + \psi_2^2 \ln\left(\frac{\exp(2xH)-1}{\exp(2xH)}\right) + 2\psi_1\psi_2 \ln\left(\frac{\exp(2xH)+1}{\exp(2xH)-1}\right) \right]$$

$\epsilon$ : 용액의 유전상수

$e$ : 전자전하

$\kappa$ : Debye-Hückel상수

$N$ : Avogadro수

$T$ : 절대온도

$\psi_1, \psi_2$ : 입자와 기질의 표면전하

$$x: \sqrt{\frac{8\pi e^2 N}{1000\epsilon K T}} \sqrt{I}$$

$K$ : Boltzmann상수

$I$ : 이온강도

$$V_T = V_A + V_E$$

#### 4. 고형오구의 세척성

##### 1) 고형오구 부착

40°C 항온 진탕기에서 0.02%  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 분산된 계면활성제 용액 50ml에 5×5cm<sup>2</sup> 직물 1매를 넣고 120rpm으로 20분간 진탕시켜 직물에 입자를 부착시킨 후  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자를 정량하여 직물무게에 대한 부착량을 산출하였다.

##### 2) 고형오구 제거

직물에  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자가 0.0025g 함유된 오염액 0.2ml를 첨적시켜 오염포를 만들고, 표준상태에서 일주일간 숙성한 후 사용하였다. 40°C 항온 진탕기에서 계

면활성제 용액 50ml에 오염포 1매를 넣고 250rpm으로 1시간 동안  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자를 제거한 후 직물에 잔류한  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자와 제거된 용액 내의  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자를 동시에 정량하여 다음 식에 의해 제거율을 산출하였다.

$$\text{제거율(\%)} = \frac{\text{세액 내에 제거된 입자량}}{\text{직물에 잔류한 입자량} + \text{세액 내에 제거된 입자량}}$$

##### 3) $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자의 정량

6N HCl용액으로 직물 또는 용액내의  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 용해시켜 증류수로 희석하고, hydroxylamine hydrochloride로 환원시킨 후, O-phenanthroline으로 발색시켜, UV-VIS spectrophotometer(HP 8452)로 510nm에서 흡광도를 측정하여 미리 작성한 검량선에 의하여  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>량을 산출하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 입자와 기질 간의 상호작용에너지

일반적으로 세척용액에서 고형입자는 이온화, 이온흡착, 이온용해현상에 의해 표면전하가 생긴다. 기질과 입자 간의 계면전기적 현상인 전기 이중층의 특성 및 상호작용에너지, 그리고 안정화 정수와 에너지 장벽과 같은 계면전기적 환경은  $\zeta$ -potential에 따라 변하므로  $\zeta$ -potential은 계면전기적 측면에서 기질에의 오구의 탈락과 부착에 영향을 주는 기초 환경이다. 기질의  $\zeta$ -potential를 유동전위법으로 측정한 결과는 <Table 1>과 같다.

PET섬유의 등전점은 pH 3.5 부근(강인숙, 1995)이고 실험용액의 pH는 5.5 정도이기 때문에 음·비이온 계면활성제에 관계없이 섬유기질의  $\zeta$ -potential의 부호는 (-)이었다. 비이온 계면활성제 용액보다 음이온 계인 DBS용액에서 섬유의 (-) $\zeta$ -potential값이 더 큰 것은 입자의 경우와 마찬가지로 섬유기질표면에 계면활성제의 음이온이 흡착이 되면서 (-)값이 상대적으로 증가하였기 때문이다.

섬유와 고형입자 간의 상호작용에너지는 van der Waals 인력과 전기이중층의 반발력의 합으로 얻어진다.

Table 1.  $\zeta$ -potential of PET fiber in 0.1% surfactant solutions

surfactant	DBS	NPE
PET fiber	-49mV	-30mV

본 연구에서 사용된 식은 입자와 섬유와의 관계 모델로 생각될 수 있는 구-평판모델을 위한 것으로, Imamura (Imamura & Tokiwa, 1973)가 헤테로 콜로이드입자와 평행한 평판과의 상호작용에 적용시키기 위하여 상호작용에너지를  $kT$ 단위로 취급하고 있는 Hogg식을 변환시킨 것이다.

$\alpha$ - $Fe_2O_3$ 입자와 PET직물 간의 van der Waals 인력에 의한 상호작용에너지  $V_A$ 를 구하기 위하여 수중에서  $\alpha$ - $Fe_2O_3$ 입자의 Hamaker상수는  $4.5 \times 10^{-13}$ erg, PET 직물의 Hamaker상수는  $5 \times 10^{-14}$ erg, 그 결과 수중에 있어서  $\alpha$ - $Fe_2O_3$ 입자 및 PET직물의 Hamaker상수는  $1.5 \times 10^{-13}$ erg로서 Imamura결과를 그대로 사용하였고,  $V_E$ 를 구하기 위하여 실제로 기질과 입자의 표면전하  $\psi_1, \psi_2$ 를 구할 수 없기 때문에  $\zeta$ -potential로 대신하였다.

<Table 1> 섬유기질의  $\zeta$ -potential과 <Table 2>(문미화, 강인숙, 2009)에서 검토했던 입자의  $\zeta$ -potential을 표면전하로 간주하여 계면활성제 종류에 따른  $\alpha$ - $Fe_2O_3$  입자와 PET직물 간의 거리의 함수로서 입자크기에 따른 상호작용에너지를 검토한 결과는 <Fig. 2>-<Fig. 3>과 같다. PET섬유와  $\alpha$ - $Fe_2O_3$ 입자 간 상호작용에너지

는 계면활성제의 종류와 입자크기에 관계없이 거리  $H$ 가 증가함에 따라 급격히 증가하다가 최대높이  $V_{Tmax}$ 를 지나면 감소하여 기질과 입자 간의 거리가 300nm 정도 되면 X축에 거의 접근하고 있다. <Fig. 2>는 음이온 계면활성제 용액 속에서 고형오구 입자크기에 따른 PET직물과  $\alpha$ - $Fe_2O_3$ 입자 간의 상호작용에너지를 나타낸 것으로 입자의 크기에 관계없이 입자와 기질 모두 (-)표면전하를 가지고 있어 이들 간의 전기이중층에 의한 반발력이 형성되어 기질과 입자 간의 상호작용에너지가 높게 나타났다. 입자의 크기에 관계없이 입자와 기질 간의 상호작용에너지는 섬유기질과 입자의 거리가 100nm 이하인 경우 상호 간의 반발력은 크지만 입자와 기질 간 거리가 멀어지면 작용하는 전기적 반발력은 급속히 감소한다. 그리고 입자의 크기에 따른 입자와 기질 간의 상호작용에너지는 입자의 크기가 작으면 입자와 섬유기질 간 거리에 따른 상호작용에너지도 크고, 기질에 부착되기 위하여 입자가 극복해야 할 에너지 장벽이 높아서 기질에의 입자접근이 쉽지 않을 것으로 생각된다. 한편 입자가 큰 경우는 입자와 기질 간의 거리가 멀어지면 입자가 작은 경우

Table 2.  $\zeta$ -potential of particle in 0.1% surfactant solutions

Particle size		160nm	430nm	520nm	540nm	760nm
Surfactant solutions						
DBS	0.1%	-75.7	-68.5	-62.3	-57.1	-48.1
NPE	0.1%	+58.0	+50.1	+44.3	+39.1	+38.2

자료출처: 문미화, 강인숙. (2009). p. 337.

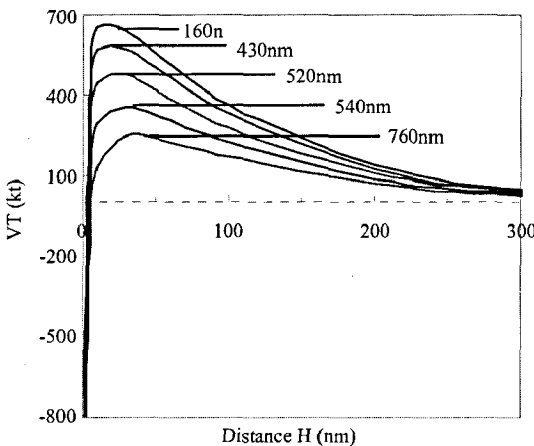


Fig. 2. Total potential energy between PET fabric and  $\alpha$ - $Fe_2O_3$  particle with various particle size as a function of distance H in 0.1% DBS solution.

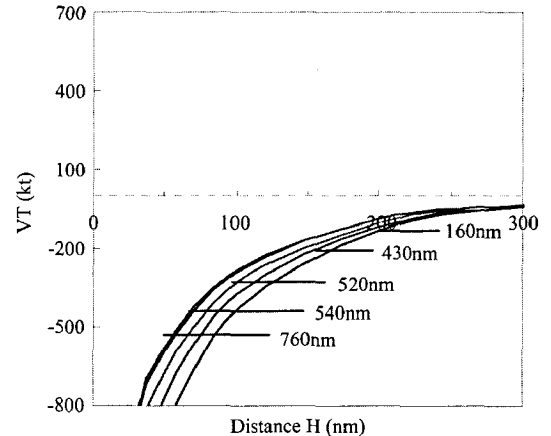


Fig. 3. Total potential energy between PET fabric and  $\alpha$ - $Fe_2O_3$  particle with various particle size as a function of distance H in 0.1% NPE solution.

에 비해 전기적 반발력은 완만하게 감소하고, 입자와 기질 간의 상호작용에너지가 작게 나타났다. 이는 입자크기가 클수록 입자의 표면전하의 (-)값이 감소하여 (-)표면을 가진 섬유기질과의 반발에 따른 상호작용은 감소하기 때문이다. <Fig. 3>은 비이온 계면활성제 용액에서 고형오구 입자크기에 따른 PET직물과  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 입자 간의 상호작용에너지를 나타낸 것으로 기질의 표면전하는 (-),  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 입자의 표면전하는 (+)로 기질과 입자의 표면전하의 부호가 다르므로 전기이중층에 의한 반발력은 없고 인력만이 존재하였다.

입자와 기질 간의 인력은 입자와 섬유기질 간의 거리가 증가할수록 감소하는데 이는 입자와 기질 간의 거리가 증가할수록 반데르발스 힘이 급속히 감소하기 때문이다. 그리고 입자와 섬유기질 간의 인력은 입자의 크기가 작을수록 증가하였다.

2. 고형오구의 세척성

일반적으로 세척용액에서 기질과 고형입자는 이온화, 이온흡착, 이온용해현상에 의해 표면전하가 생긴다. 이에 따라 세척과정에서 오염입자의 섬유기질에의 부착과 제거거동이 계면전기적 요소에 의해 영향을 받으니라는 가정은 쉽게 성립되어 계면전기적 요소로 고

형오구의 세척거동을 설명할 필요가 있다(Jacobasch, 1981). 그리고 세척은 오구를 직물로부터 분리하여 세액 중에 분산시키는 과정과 분산된 오구가 재부착되는 두 과정을 동시에 포함하고 있어 고형오구의 부착·제거현상을 정량적으로 분리하여 규명하기는 어렵다. 그러나 총괄적으로 세척효율에 대한 폭넓은 이해를 하기 위하여 고형오구의 기질에서의 탈락과 부착을 독립적으로 파악하는 것이 중요하리라 생각된다.

1) 직물에 부착된 고형입자의 형태

직물에 부착된 고형입자의 부착형태를 관찰하기 위하여 0.02%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 입자가 들어있는 DBS 및 NPE 0.1%용액에 PET직물을 침지하여 입자를 부착시킨 후 SEM관찰을 한 결과는 <Fig. 4>~<Fig. 5>와 같다. 이에 의하면 PET섬유기질의 지름이 150 $\mu\text{m}$  정도였고, 입자의 크기는 160~760nm로 섬유기질의 굵기가  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 입자의 크기에 비하여 월등히 크기 때문에 입자와 기질 간의 상호작용에너지는 구-평판모델의 헤테로 응집이론의 적용에 무리가 없을 것으로 생각된다.

계면활성제의 이온성에 따라 섬유기질에 부착되는  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 양에 차이가 많았다. 이는 앞서 검토된 입자와 기질 간의 상호작용에너지로 설명될 수 있는데, 음이온 계면활성제에서는 기질과 입자 모두 표면전하가 (-)

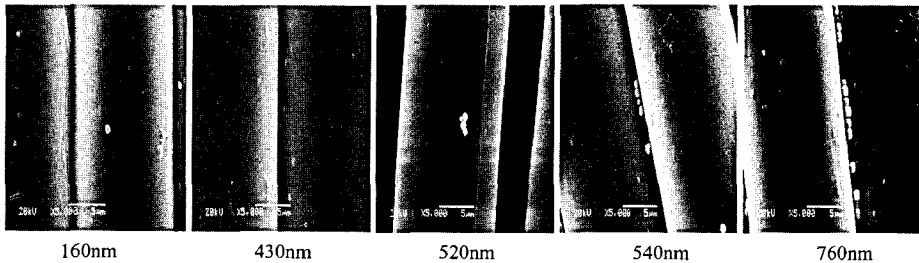


Fig. 4. Scanning electron micrographs of the adhesion of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  particles with various size to PET fabric in 0.1% DBS solution.

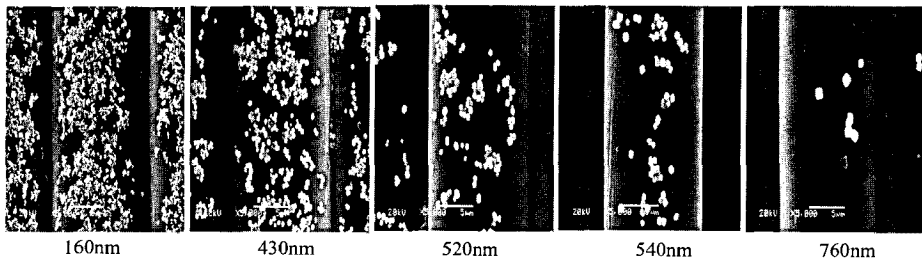


Fig. 5. Scanning electron micrographs of the adhesion of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  particles with various size to PET fabric in 0.1% NPE solution.

이기 때문에 서로 반발력을 가지게 되어 기질에의 입자 부착이 어렵다.

그러나 비이온 계면활성제의 경우, 기질과 입자의 표면전하가 달라 섬유와 입자 간의 전기이중층에 의한 반발력은 존재치 않고 인력만이 지배적으로 작용하였기 때문에 입자의 부착량이 많은 것으로 생각된다. 그리고 입자의 크기에 따른 부착량에 있어 계면활성제의 이온성에 따라 다른 경향을 보이고 있다. DBS 용액에서 입자의 크기가 증가할수록 섬유에 부착되는 입자의 양은 다소 증가하지만 기질의 표면적에 비해 부착되는 양은 아주 미미하다. 이는 섬유기질표면에 흡착된 계면활성제가 보호막 역할을 하여 입자의 접근을 막아 직물에의 입자부착을 어렵게 하는데 특히 계면활성제에 이온화하는 원자단이 들어있으면 입자와 섬유기질 간의 전기이중층 반발이 증가되고 기질과 입자 사이의 반데르발스 인력이 약해지기 때문이다. 그리고 NPE용액에서 입자를 부착시킨 결과, 섬유기질에의 고품오구 입자의 부착량은 많고 고품오구 입자크기 간의 차이가 많았는데 입자크기가 작을수록 입자와 섬유기질 간의 인력이 증가하므로 섬유 표면에 부착되는 양은 증가하였다.

2)  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  입자의 PET직물에서의 부착  
 고품오구 입자크기에 따른 직물에서의  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  입자의

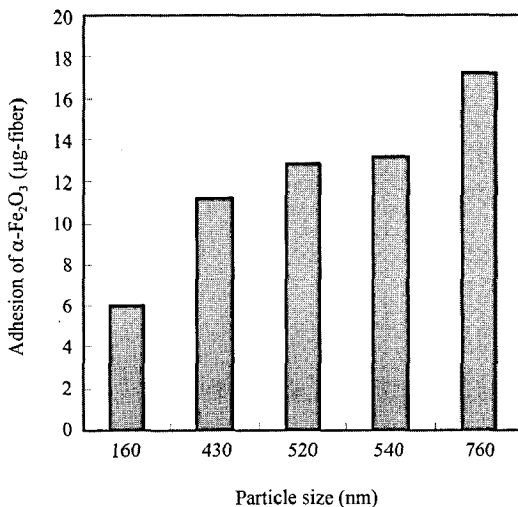


Fig. 6. Effect of particle size on the adhesion of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  particles to the polyester fabric in 0.01% DBS solution (Electrolyte : NaCl, Ionic strength :  $1 \times 10^{-3}$ ).

부착량을 검토하기 위하여 계면활성제의 농도에 변화를 주어 섬유기질에 고품입자를 부착시킨 결과는 <Fig. 6>—<Fig. 8>과 같고, 계면활성제 종류에 따른 결과는 <Fig. 9>와 같다. <Fig. 6>—<Fig. 8>에 의하면 음이온 계면활성제 농도에 관계없이 입자크기가 클수록 섬유

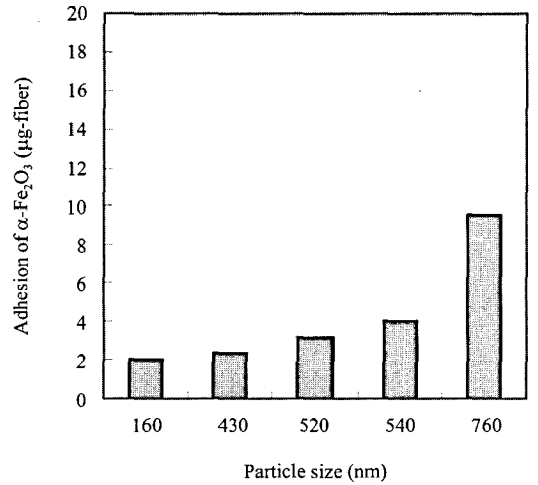


Fig. 7. Effect of particle size on the adhesion of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  particles to the polyester fabric in 0.1% DBS solution (Electrolyte : NaCl, Ionic strength :  $1 \times 10^{-3}$ ).

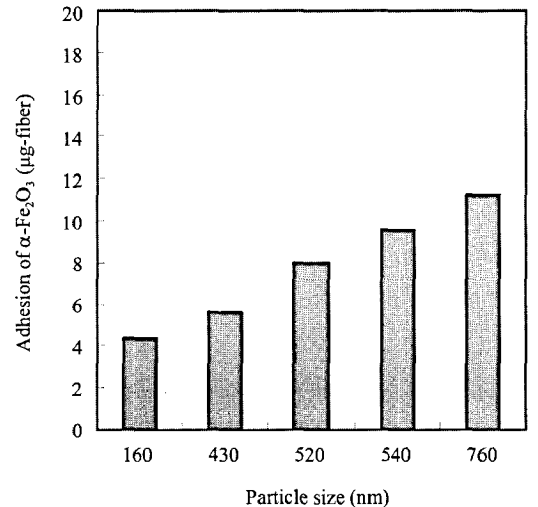


Fig. 8. Effect of particle size on the adhesion of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  particles to the polyester fabric in 1% DBS solution (Electrolyte : NaCl, Ionic strength :  $1 \times 10^{-3}$ ).

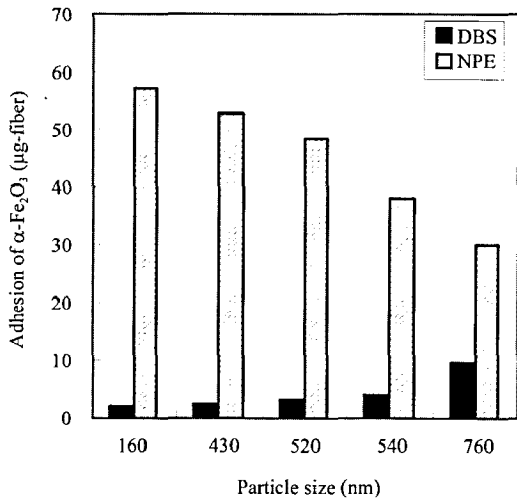


Fig. 9. Effect of particle size on the adhesion of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles to the polyester fabric in 0.1% surfactant solutions (Electrolyte : NaCl, Ionic strength :  $1 \times 10^{-3}$ ).

직물에 부착되는 오구의 양이 증가한다. 이는 입자의 크기가 작으면 입자와 입자 간에 작용하는 반데르발스 인력이 감소하여 확산과 대류의 영향으로 입자의 유동성이 증가하여 응집이 잘 안되지만, 입자의 크기가 큰 경우는 서로 간에 작용하는 반데르발스 인력도 증가하여 입자 간 회집이 용이해져 입자경은 증가하고 그에 따라 증가된 밀도는 분산매의 밀도와 큰 차이를 보이므로 중력으로 섬유기질에 침강하는 속도가 증가하기 때문이다. 그리고 계면활성제 농도에 따른 섬유기질에의 입자의 부착 정도는 입자의 크기에 관계없이 DBS 0.1%일 때 부착량이 가장 적고, 계면활성제 농도 0.01%에서 섬유기질에 부착되는 입자량이 가장 많았다. 계면활성제 용액 0.1%에서 섬유기질에의 부착량이 제일 적은 것은 DBS의 cmc가 0.1% 부근으로, 이 농도에서 가용화 현상에 따른 입자의 분산안정성이 한 원인으로 생각된다. DBS용액에서 고형오구의 세척성이 0.1%일 때 가장 우수한 결과를 보이는 것은 전보(강인숙, 정선영, 2005)결과와 같다. DBS 0.01%에서 입자의 부착이 용이한 것은 가용화 현상에 의한 입자의 분산안정성도 기대할 수 없고 또한 음이온 계면활성제의 농도가 낮아서 섬유표면에 흡착되는 계면활성제의 양이 적어 입체적 안정화 효과가 제한적으로 나타났으며, 낮은 (-)표면전하에 의해 입자와 기질간의 반발적 상호작용도 낮아 기질에의 입자부착

이 많았을 것으로 생각된다. 계면활성제 농도 1%에서 계면활성제의 흡착량은 많지만 입자 및 기질 주위의 음이온성이 지나치게 증대되어 이중층의 확산부가 압축되어 반발에너지가 감소하고, 반발에너지의 작용범위가 좁아지면서 입자 및 기질표면에 흡착된 전해질 이온이 다른 입자 및 기질표면에 흡착된 전해질 이온과 접촉이 많아 다리놓기가 용이하여 입자의 분산안정성이 감소하고, 입자와 기질 간은 입자의 부착에 대한 저항성이 감소되어 기질에의 입자부착이 촉진된 것으로 생각된다.

계면활성제 종류에 따른 섬유기질에의 입자의 부착량을 검토하기 위하여 DBS용액과 동일조건으로 비이온 계면활성제인 NPE용액에서 섬유기질에의 입자의 부착량을 검토한 <Fig. 9>에 의하면 음이온 계면활성제 DBS와 다른 양상을 보이고 있는데, 비이온 계면활성제 NPE 경우  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자의 기질에의 부착량이 DBS에 비해서 급격히 증가하여 입자의 크기에 따라 다소 차이는 있지만 DBS용액에 비해 섬유기질에 부착되는 양은 약 15배 이상이었다. 이는 비이온 계면활성제 용액에서 입자와 기질 간의 표면전하의 부호가 다르기 때문에 앞서 검토된 입자와 기질 간의 상호작용에너지는 인력만 존재하기 때문이다. 또한 고형오구 입자크기에 따른 부착량을 살펴보면 DBS 0.1%에서는 오구의 크기가 클수록 부착되어지는 양도 증가하였으나 NPE 0.1%에서는 오구의 크기가 작을수록 부착되어지는 입자의 양이 많아져 DBS와 NPE는 서로 상반되는 양상을 보였다. 음이온 계면활성제 용액에서 계면활성제의 농도에 관계없이 입자의 크기가 클수록 기질에 부착되는 양이 증가하는 것은 입자의 크기가 클수록 입자와 기질 간에 작용하는 상호작용에너지가 감소하기 때문이고, 비이온 계면활성제 용액에서 입자의 크기가 클수록 섬유기질에 부착하는 고형오구의 양은 감소하는데, 이는 앞서 입자와 기질 간에 존재하는 인력이 입자의 크기가 증가할수록 감소하기 때문으로 생각된다.

### 3) PET직물에서의 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>입자의 제거

세척과정에서 오구입자의 기질에서의 탈락과 기질에의 재부착이 가역적으로 진행되지만 고형입자의 세척성에 직접적인 영향을 주는 것은 직물에서의 입자의 제거량이다. 고형입자 크기에 따른 기질에서의 입자의 제거량을 검토하기 위하여 음이온 계면활성제 DBS의 농도를 0.01%, 0.1%, 1%로 변화를 주어 PET직물에

서의  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  입자의 제거를 검토한 결과는 <Fig. 10> <Fig. 12>와 같다.

일반적으로 입자의 크기에 관계없이 계면활성제 농도에 따른 섬유기질에서 입자가 제거되는 정도는 입자

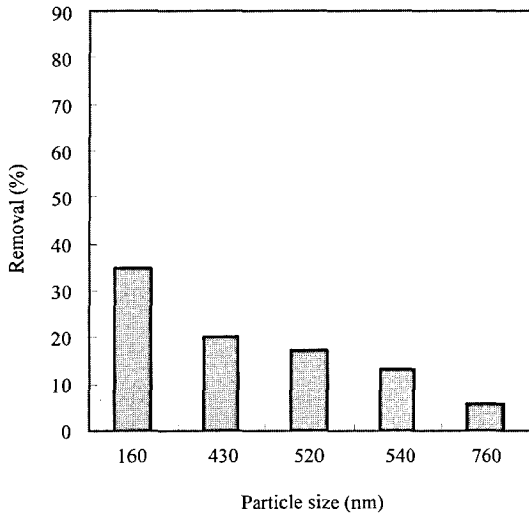


Fig. 10. Effect of particle size on the removal of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  particles from the polyester fabric in 0.01% DBS solution (Electrolyte : NaCl, Ionic strength :  $1 \times 10^{-3}$ ).

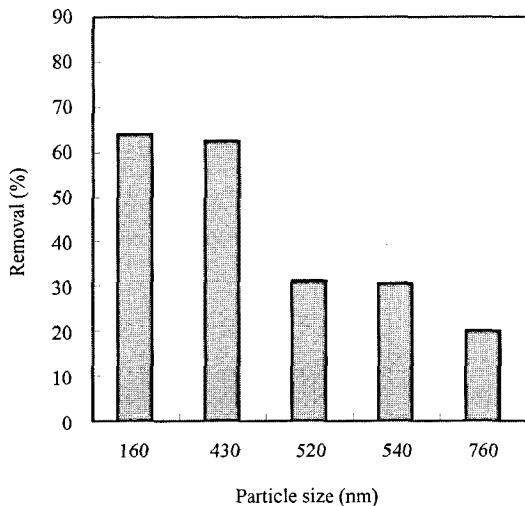


Fig. 11. Effect of particle size on the removal of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  particles from the polyester fabric in 0.1% DBS solution (Electrolyte : NaCl, Ionic strength :  $1 \times 10^{-3}$ ).

의 크기에 관계없이 DBS 0.1%일 때 가장 많고, 0.01%에서 가장 적었다. 이러한 결과는 앞서 검토된 섬유기질에의 입자부착량이 계면활성제 농도 0.1%일 때 가장 적고, 0.01%에서 가장 많은 결과와 세척효율의 측면에서 계면활성제의 농도에 따른 효과가 동일한 것이다. 따라서 부착현상에 대한 계면활성제의 기질 및 입자에의 흡착에 따른 입체적 안정화와 입자와 기질 간의 상호작용에너지로 설명되는 계면전기적 효과로 섬유기질에서의 입자제거현상에 대한 설명이 가능할 것으로 생각된다. 그리고 계면활성제의 농도에 관계없이 입자의 크기가 작을수록 섬유기질에서 제거되는 입자의 양은 증가하는데, 이 역시 섬유기질에의 부착과 마찬가지로 세척효율의 측면에서 동일한 효과를 나타내고 있다. 일반적으로 입자의 크기가 크면 섬유와의 결합력이 증가하여 입자와 기질 간에 작용하는 반발력의 크기가 감소하기 때문에 입자의 부착은 쉽고, 섬유기질에서 입자의 제거는 어렵기 때문이다.

계면활성제 종류에 따른 섬유기질에서의  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  입자 제거량을 검토하기 위하여 DBS의 용액조건과 방법을 동일하게 하여 NPE용액에서 섬유기질에서의  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  입자를 제거한 결과는 <Fig. 13>과 같다.

이에 의하면 입자의 크기에 관계없이 음이온 계면활성제보다 비이온 계면활성제 NPE용액에서 섬유기

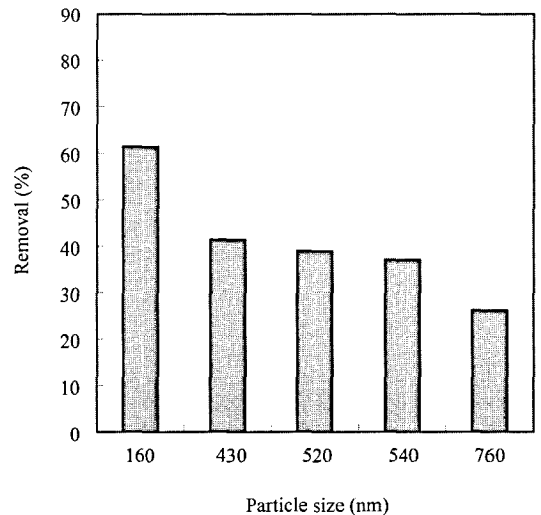


Fig. 12. Effect of particle size on the removal of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  particles from the polyester fabric in 1% DBS solution (Electrolyte : NaCl, Ionic strength :  $1 \times 10^{-3}$ ).



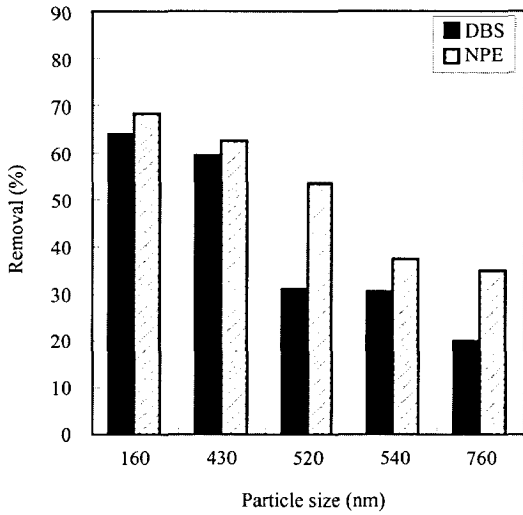


Fig. 13. Effect of particle size on the removal of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles from the polyester fabric in 0.1% surfactant solutions (Electrolyte : NaCl, Ionic strength :  $1 \times 10^{-3}$ ).

질에서의  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자 제거율이 높게 나타났다. 그리고 DBS 용액과 마찬가지로 입자의 크기가 클수록 섬유기질에서의 입자의 제거량은 감소하는데, 이는 입자의 크기에 따른 섬유기질에의 입자의 부착경향이 DBS와 NPE 용액에서 상호반대의 결과와는 상이한 내용이다. 일반적으로 섬유기질과 입자 간의 상호작용은 계면활성제의 흡착에 의한 입체적 안정화와 표면전하에 의한 계면전기적 효과로 설명되지만 두 요인의 작용 정도 및 한계는 섬유기질, 입자, 그리고 용액의 특성에 따라 차이가 있을 것으로 생각되기 때문에 단순히 입자의 섬유에의 부착과 섬유기질에서의 입자 제거를 세척효율의 측면에서 같은 경향으로 이해하는 것은 다소 무리가 있을 것으로 생각된다. 특히 계면활성제의 이온성이 다른 경우 계면활성제의 흡착에 따른 부차적인 효과가 상당히 다를 수가 있다. 비이온 계면활성제의 산화에틸렌 사슬의 수화성이 음이온 계면활성제의 분자에 비하여 강하기 때문에 음이온에 비하여 비이온 계면활성제의 흡착이 증대되고 그에 따라 입자와 용매 사이의 증대된 친화성 엔트로피적 메커니즘으로 입체적 안정화가 증가하므로 입자와 섬유기질 간의 결합력 약화를 가져와 음이온보다는 비이온 계면활성제 용액에서 제거율이 높은 것으로 생각된다.

## IV. 결 론

고형오구 입자크기가 고형오구의 세척성에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 음이온 계면활성제 용액에서 입자와 기질 모두 (-)ζ-potential 값을 가지므로 전기이중층에 의한 반발력이 형성되며, 입자와 섬유 간의 상호작용에너지는 고형오구 입자크기가 작을수록 증가하였다. 비이온 계면활성제 NPE 용액에서 ζ-potential 값은 입자는 (+), 기질은 (-)이므로 전기이중층에 의한 반발력이 없고, 인력만이 지배적으로 작용하였다. 음이온 계면활성제 용액에서 고형오구의 입자크기가 커질수록 섬유에의 입자의 부착량은 증가하고, 섬유기질에서의 입자의 제거량은 감소하였다. 그리고 계면활성제 농도 0.01%와 1%에 비하여 0.1%에서 섬유기질에의 입자부착은 적고 섬유기질에서 제거되는 입자량은 많아 세척효율의 측면에서 부착과 제거현상은 같은 경향을 가졌다. 음이온 계면활성제 용액에 비하여 비이온 계면활성제 용액에서 입자의 섬유기질에의 부착량과 섬유기질에서의 입자의 제거량이 많았고, 입자크기에 따른 효과는 음이온 계면활성제와 다소 차이가 있어 입자의 크기가 클수록 섬유에 부착되는 양은 감소하고 섬유에서 제거되는 양도 감소하였다.

## 참고문헌

강인숙. (1995). Polyester 직물에의 Hematite 입자의 부착과 제거에 관한 계면전기적 고찰 (제2보). *한국의류학회지*, 19(5), 765-773.

강인숙, 김병주. (2001). 계면활성제 용액 내에서 고형오구의 직물에의 부착에 영향을 주는 전해질 효과. *한국의류학회지*, 25(8), 1465-1474.

강인숙, 정선영. (2005). 음/비이온 혼합계면활성제 용액에 있어 계면활성제의 흡착에 의한 입체적 안정화가 고형오구의 세척성에 미치는 영향(I). *한국섬유공학학회지*, 42(3), 166-173.

문미화, 강인숙. (2009). 고형오구 입자크기가 고형오구의 세척성에 미치는 계면전기적 효과-고형오구의 입자크기와 입자의 분산안정성-. *한국섬유공학학회지*, 46(6), 334-341.

Kua, R. J., & Matijevic, E. (1979). Particle adhesion and removal in model systems-Part2.-Monodispersed chromium hydroxide on steel-. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions, 1*(75), 2014-2023.

Imamura, T., & Tokiwa, F. (1973). The effect on the deposition of ferric oxide particles onto various fabrics. *Nippon Kagaku Kaishi*, 4, 648-659.

- Jacobasch, H. J. (1981). *Physicochemical aspects of polymer surfaces* (2, 637). New York: Plenum.
- Matijevic, E., Kuo, R. J., & Kolny, H. (1981). Stability and deposition phenomena of monodispersed hematite sols. *Journal of Colloid and Interface Science*, 80, 94–107.
- Nelligan, J. D., Kallay, N., & Matijevic, E. (1982). Particle adhesion and removal in model systems-interpretation of the kinetics of particle detachment. *Journal of Colloid and Interface Science*, 89, 9–20.
- Zhigang, L., Deshun, G., Xinsheng, Y., Siren, L., Yongping, X. (2004). Particle size correction of suspended sediment concentration measured by ADCP with IN-SITU particle size analyzer. *Oceanologia et limnologia Sinica*, 35(5), 385–392.
- Tagawa, M., & Gotoh, K. (1986). Removal of Iron (III) oxide particles from a quartz plate by liquid flow. *Colloid & Polymer Science*, 264, 1072–1085.