

지용성/고형오구의 혼합오염 계에서 지용성오구의 극성에 따른 Polyester직물에서의 오구부착

강 인 숙[†]

창원대학교 자연과학대학 의류학과

Adhesion of Soil to Polyester Fabric According to Polarity of Oily Soil in Oily/Particulate Mixed Soil System

In-Sook Kang[†]

Dept. of Clothing & Textiles, Changwon National University

접수일(2010년 5월 6일), 게재확정일(2010년 5월 31일)

Abstract

This study investigates the effect of polarity of oily soil on adhesion of oily and particulate soil to PET fabric in oily/particulate mixed soil systems. The potential energy of interaction between two particles was examined as a fundamental environment of adhesion of soil to fabrics. The ζ -potential of α -Fe₂O₃ particles was measured by a microelectrophoresis method, and the potential energy of interaction between two particles was calculated by using the Verwey-Overbeek theory. The ζ -potential of particle and the potential energy of interaction between two particles was slightly influenced by the polarity and type of oily soil, but increased with the increased anionic surfactant concentration and amount of oily soil. The adhesion of oily soil to fabric increased with the additional amount of polarity of oily soil and decreased surfactant concentration that was relatively high at a temperature of 60°C surfactants solution. The adhesion of α -Fe₂O₃ particle to PET fabric decreased with an increased amount and polarity of oily soil and increased surfactant concentration. Although some similarity exists, the general trend of the adhesion to fabric by particulate soil differ from oily soil.

Key words: PET fabric, Polarity of oily soil, Potential energy of interaction between two particles, Adhesion of soil to fabric; PET직물, 지용성오구의 극성, 입자와 입자 간의 상호작용에너지, 직물에서의 오구의 부착

I. 서 론

일반적으로 의복에 부착되어 있다가 탈락되어 형성된 오구의 분산액은 미세 불균일계 콜로이드 서스펜션으로, 표면자유에너지가 커서 열역학적으로 불안정

하기 때문에 섬유기질로 다시 재침착하는 성질을 가지고 있다. 섬유기질에의 오구의 재침착은 기질과 오구 간의 van der Waals 힘에 의한 인력과 같은 부호로 하전된 전기이중층 사이의 반발작용과 입자와 용매간의 친화성 등에 영향을 받게 된다. 특히 계면전기적 측면에서 오구의 재침착은 분산된 오구의 안정성에 따라 좌우되고, 오구의 분산안정성은 오구와 오구 간의 상호작용에너지에 큰 영향을 받고 있다(Kua & Matijevic, 1980; Robert & Marjorie, 1983). 오구

[†]Corresponding author

E-mail: kangis@changwon.ac.kr

본 연구는 한국학술진흥재단 기초과학분야 기초연구과제 지원사업(KRF-2006-311-C00655) 지원으로 수행되었음.

간에 작용하는 힘은 인력과 반발력의 정성적인 면을 조합하여 정량적으로 표현한 것이 DLVO이론(Hogg et al., 1966; Watanabe & Sakamori, 1977)으로 오구 간의 상호작용에너지가 거리에 의하여 어떻게 변화하는가를 산정하고 있다. 오구가 회집되면 분산매와의 큰 밀도 차에 의해 중력으로 표면에 축적되는 경향이 있는데, 약 $10^{-8}ms^{-1}$ 까지는 확산과 대류에 의하여 방해 받지만 오구가 응집되면 침강은 촉진되어 세척과정에서 재오염을 초래하게 된다(Kang & Kim, 2001).

실제로 의류 오염은 여러 오구가 혼재된 상태로 부착되어 있는데 대체적으로 지질성분과 고흡입자들이다. 고흡입자 오구는 토사와 매연, 금속이온 등이 주성분으로 되어 있고 지용성오구는 유리지방산, 트리글리세리드, 탄화수소, 콜레스테롤 등으로 이루어진 복잡한 혼합물이다. 지질 및 고흡입자가 분산된 콜로이드액의 재침착은 계면전기적 환경이 주도하게 된다. 계면환경을 예측하기 위한 좋은 지표는 입자 간의 상호작용에너지인데, 이는 입자의 전기적 요소가 강할 때 효과가 확연히 나타날 수 있어, 고흡입자의 모델로 산화철이 많이 이용된다. 한편 지용성오구는 복잡한 혼합물이지만 물을 매개로 하는 세탁에서 세척성에 영향을 줄 수 있는 요인은 지용성오구의 극성 및 비극성과 같은 화학적 특성일 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서 고흡 및 지용성오구가 혼재된 불균일 콜로이드 용액에 있어 지용성오구의 극성에 따른 입자 간의 상호작용에너지를 먼저 검토하고, 지용성 및 고흡입자의 재부착 거동을 지용성오구의 극성에 따라 각각 독립적으로 검토하여 상호 간 지용성오구의 극성효과를 비교하였다.

II. 실험

1. 시료 및 시약

1) 시료

KS K 0905의 염색견뢰도 시험용 백 폴리에스테르를 사용하였으며 특성은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Characteristics of fabric

Material	Polyester 100%
Yarn number	75d×75d
Weave	plain
Fabric count (ends×picks/5cm)	210×191
Thickness (mm)	0.107

2) 시약

고형오구($\alpha-Fe_2O_3$ 입자), 지용성오구(올레산, 도데실알콜, 트리올레인, 액체과라핀), 방사선동위원소, scintillation용액, 계면활성제 등의 시약은 1급 이상을 사용하였다.

2. 실험방법

1) 시료의 준비

한국의류시험검사소에서 제작한 섬유류제품의 염색견뢰도시험용 폴리에스테르 침부백포(오염포 KS K 0905)를 60°C 아염소산나트륨, 포름산, 질산혼합용액에서 60분간 처리하고, 암모니아수로 중화하여 건조하고, 이를 benzene:ethanol (2:1)의 공비 혼합물로 8시간 속슬레 추출한 후 사용하였다.

2) $\alpha-Fe_2O_3$ 입자의 제조(Matijevic & Scheiner, 1978)

0.005M HCl용액에 0.3M의 $FeCl_3$ 용액(pH 3)을 밀폐하여 100°C 항온기에서 14일간 숙성시켜, $\alpha-Fe_2O_3$ 입자를 제조하여 원심분리한 침전물을 80°C에서 3시간 건조한 후, 다시 150°C에서 1시간 열처리하였다.

3) 고흡입자의 ζ -potential

계면활성제 용액에 0.05%의 $\alpha-Fe_2O_3$ 입자를 넣고 초음파로 $\alpha-Fe_2O_3$ 입자를 충분히 분산시켜서 Zeta-meter (Zeta-meter Inc.)를 사용하여 현미경 전기영동법으로 측정하였다.

4) 입자 간의 상호작용에너지

입자의 ζ -potential을 표면전하로 간주하여 Verwey-Overbeck이론(Imamura & Tokiwa, 1974)을 적용하여 입자 간의 상호작용에너지를 계산하였다.

$$V_A = \frac{A}{6KT} \left(\frac{2}{S^2 - 4} + \frac{2}{S^2} + \frac{S^2 - 4}{S^2} \right)$$

$$V_R = \frac{eay^2}{2KT} \ln \{ 1 + \exp(-kH_0) \}$$

$$V_T = V_A + V_R$$

$$S = 2a + H_0/a$$

V_A : van der Waals에 의한 인력에너지

V_R : 전기이중층에 의한 반발에너지

V_T : 입자와 입자 간의 상호작용에너지

- A: Hamaker 상수
- K: Boltzmann 상수
- T: 절대온도
- ϵ : 용액의 유전상수
- a : 입자의 반경
- ψ : 입자의 표면전하
- k : Debye-Hückel 상수
- H_0 : 입자와 입자 간 거리

Diode Array Spectrophotometer)로 510nm에서 흡광도를 측정하여 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 양을 산출하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 입자와 입자 간의 상호작용에너지

세척과정에서 섬유 및 오구는 이온화, 이온흡착, 이온용해 현상에 의해 표면전하가 생기고, 하전된 표면전하 사이에 전기이중층이 만들어져 전기이중층 확산부의 중첩으로부터 반발작용에너지가 형성된다. 따라서 오구의 분산안정성은 오구와 오구 간의 상호작용에너지에 많은 영향을 받게 된다. 이러한 오구의 분산안정성에 관련된 하나의 지표는 입자와 입자 간의 상호작용에너지로, 이는 입자의 ζ -potential이 기본적으로 작용하고 있다.

5) 지용성오구의 섬유기질에의 부착

계면활성제가 첨가된 50ml 용액에 지용성오구(^{14}C -triolein과 ^3H -oleic acid) 및 고형오구($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)를 분산시키고 $5 \times 5\text{cm}^2$ 직물 1매를 넣고 일정온도의 항온 진탕기에서 120rpm으로 20분간 진탕시켜 직물에 오구를 부착하였다. 증류수로 1회 행구어 자연 건조한 다음 방사선 분석법인 liquid scintillation counter(wallac 1414)로 1분간 counting하여 c.p.m.으로 측정하였다.

<Table 2>는 음이온 계면활성제인 DBS(sodium dodecyl benzene sulfonate) 용액에 혼입한 지용성오구의 종류에 따라 고형오구의 ζ -potential을 검토한 결과이다. 고형오구 분산액에 지용성오구가 혼입되면 지용성오구의 종류에 관계없이 고형오구의 (-) ζ -potential 값은 증가하지만 지용성오구의 극성에 따른 차이는 없었다. 그리고 한 종류의 지용성오구를 혼입하는 것보다 2가지 지용성오구를 함께 혼입하면 (-) ζ -potential의 값이 다소 감소하였다.

6) 고형오구의 섬유기질에의 부착

계면활성제가 첨가된 250ml 용액에 지용성 및 고형오구를 분산시키고 칭량된 $5 \times 5\text{cm}^2$ 직물 1매를 넣고 일정온도의 항온 진탕기에서 120rpm으로 20분간 진탕시켜 오구를 부착하였다. 증류수에 1회 행구어 자연 건조한 다음 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 입자의 정량법으로 측정하였다.

<Table 3>은 음이온 계면활성제의 농도와 계면활성제의 종류에 따른 고형오구의 (-) ζ -potential의 값을 나타낸 것이다. 계면활성제의 농도가 증가하면 혼입된 지용성오구의 유무 및 종류에 관계없이 입자의 (-) ζ -

7) $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 입자의 정량

6N HCl 용액으로 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 를 용해하여, hydroxylamine hydrochloride로 환원, o-phenanthroline으로 발색시켜, UV-Vis spectrometer(Hewlett-Packard 8452

Table 2. Effect of oily soil type on the ζ -potential (mV) of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ particles in 0.1% surfactant solution

Oily soil type	None	Oleic acid	Dodecyl alcohol	Liquid paraffin	Triolein	Oleic acid +Triolein	Oleic acid +Dodecyl alcohol	Triolein +Liquid paraffin
ζ -potential (mV)	-36	-42.2	-49.8	-39.4	-48.6	-40	-38	-37

Table 3. Effect of surfactant concentration and type on the ζ -potential (mV) of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ particles

Surfactant solutions	Oily soil type		None	Oleic acid	Triolein	Oleic acid+Triolein
DBS	0.01%		-28.3	-30.5	-33.6	-29
DBS	0.1%		-36	-42.2	-48.6	-40
DBS	1%		-38.7	-47.2	-57.8	-44.2
NPE	0.1%		+42.7	+40	+38.4	+37.6

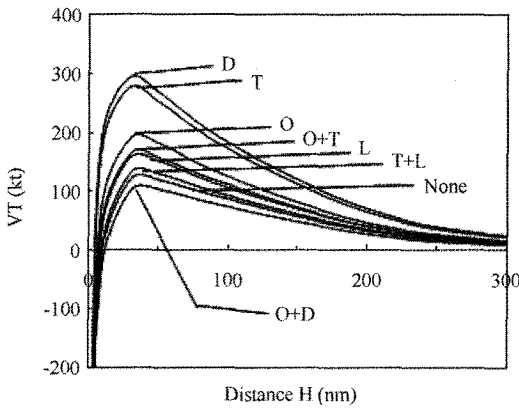


Fig. 1. Total potential energy between two particles as a function of distance H in various oily soil with particulate mixed soil system (Particulate soil : oily soil = 1 : 1, Surfactant : 0.1% DBS).

potential의 값은 증가하였다. 음이온 계면활성제의 농도가 증가하면 고형오구의 (-) ζ -potential값이 증가하는 것은 계면활성제의 농도가 증가하면 고형오구 입자에 흡착되는 계면활성제의 흡착량이 증가하기 때문이다(Kang & Jung, 2005). 그리고 비이온 계면활성제 용액에서 고형오구의 ζ -potential값은 (+)값을 나타내고 있는데, 이는 고형오구의 등전점보다 실험용액의 pH가 낮기 때문에 입자의 표면전하는 (+)값을 갖기 때문이다.

<Fig. 1>은 <Table 2>의 고형오구의 ζ -potential을 표면전하로 가정하여 Verwey-Overbeek이론을 적용하여 입자 간의 상호작용에너지를 구한 결과이다. 입자 간의 상호작용에너지는 ζ -potential의 절대값에 대한 합

수이기 때문에 ζ -potential의 절대값의 경향과 동일하며 입자의 ζ -potential의 절대값이 클수록 입자와 입자 간의 상호작용에너지는 증가한다. 고형오구의 분산액에 지용성오구가 혼합되면 지용성오구의 종류에 관계없이 입자 간의 상호작용에너지와 에너지 장벽은 증가하는데, 지용성오구의 극성 및 비극성 여부에 따른 차이는 크지 않았다. 대체적으로 지용성오구를 2종으로 혼합하는 것이 단독으로 지용성오구를 첨가하는 것보다 입자 간의 상호작용에너지는 낮았다.

<Fig. 2>는 <Table 3>의 음이온 계면활성제의 농도에 따른 고형오구의 (-) ζ -potential로 입자 간의 상호작용에너지를 구한 결과이다. 음이온 계면활성제의 농도가 증가할수록 지용성오구 유무 및 종류에 관계없이 고형오구 입자 간의 상호작용에너지는 증가하였다. 이는 음이온 계면활성제의 농도가 증가하면 고형오구 입자에 흡착되는 음이온 양이 증가하여 고형오구의 (-) ζ -potential값은 증가하고 증가된 potential값은 입자와 입자 간의 회집을 방해하는 전기이중층의 반발력으로 작용하기 때문이다. 그리고 계면활성제의 농도가 증가할수록 최대에너지 장벽은 증가하고, 최대에너지 장벽이 높아질수록 이 장벽이 존재하는 입자와 입자 간의 거리는 짧아졌다.

<Fig. 3>은 0.1% NPE용액에서 고형오구의 ζ -potential을 나타낸 것인데, 입자 간의 상호작용에너지는 ζ -potential의 절대값에 비례하는 것으로 입자와 입자가 같은 전하를 가지면 입자 간의 반발력은 형성된다. DBS용액과는 달리 NPE용액에선 지용성오구가 혼재되어 있는 용액에 비하여 고형오구가 단독으로 분산된 용액에 있어 입자 간의 상호작용에너지와 에너지 장벽도 높았다.

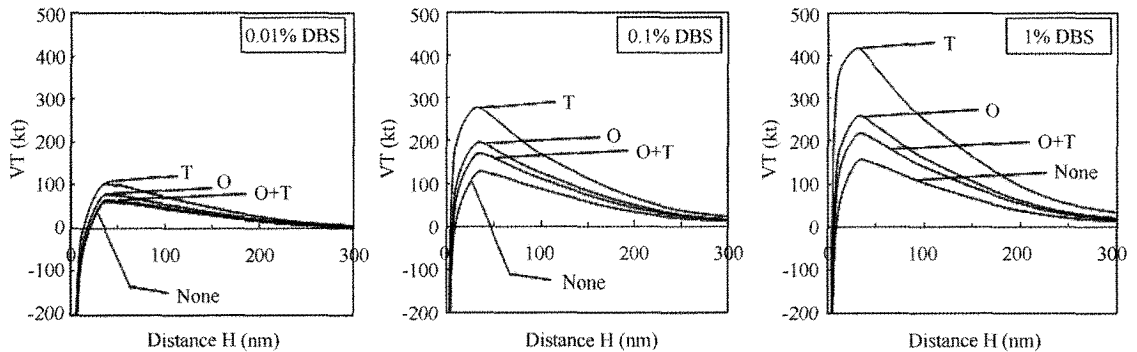


Fig. 2. Total potential energy between two particles as a function of distance H in various surfactant concentration with oily/particulate mixed soil system (Particulate soil : oily soil = 1 : 1, Surfactant : DBS).

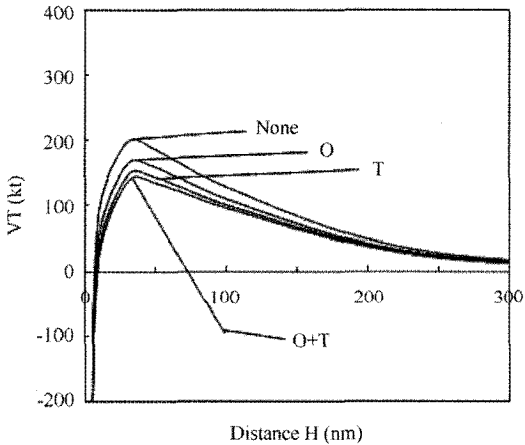


Fig. 3. Total potential energy between two particles as a function of distance H in 0.1% NPE solution with oily/particulate mixed soil system (Particulate soil : oily soil = 1 : 1).

2. 지용성오구의 섬유기질에의 부착

앞서 오구 분산액의 안정성을 예측하기 위하여 계면전기적 측면에서 고형오구 입자 간의 상호작용에너지를 검토하였다. 세액에 분산된 오구의 안정성은 계면전기적 측면과 유화 및 가용화 현상도 직접적으로 지용성오구의 분산안정성에 관여하는 인자로 생각되는데, 이들 환경은 지용성오구의 극성에 영향을 받는

다(Kim & Chung, 1995). <Fig. 4>는 지용성오구 ¹⁴C로 표지된 triolein과 ³H로 표지된 oleic acid의 함량에 변화를 주어 지용성오구를 부착시킨 다음 방사선 분석법에 의하여 부착량을 검토한 결과이다. 지용성오구의 함량에 관계없이 극성오구인 올레산이 비극성오구인 트리올레인보다 섬유기질에 부착되는 양이 많고, 고형오구에 혼입되는 지용성오구의 함량이 증가할수록 섬유기질에 부착되는 올레산의 양도 급격히 증가하여 올레산과 트리올레인 간의 부착량의 차이가 증가하였다. 비극성오구에 비하여 섬유기질에 극성오구가 많이 부착하는 것은 극성용매인 물에서 극성오구가 보다 표면활성이 크기 때문으로 생각되며 혼입되는 지용성오구의 함량이 증가하면 섬유기질에 부착되는 지용성오구가 증가하는 것은 부착될 수 있는 오구량이 많기 때문이다. 단독으로 지용성오구를 고형오구에 혼입한 경우보다 올레산과 트리올레인을 혼합하여 혼입하면 지용성오구의 함량증가에 따른 지용성오구의 기질에의 부착량의 증가폭은 크지 않았다.

<Fig. 5>는 <Fig. 4>와 같은 조건에서 계면활성제의 종류 및 농도에 변화를 주어 섬유기질에 부착하는 지용성오구의 양을 알아본 결과이다. 음이온 계면활성제인 DBS용액에 있어서 계면활성제의 농도가 증가하면 PET섬유기질에 부착하는 지용성오구의 양은 급격히 감소한다. 대체적으로 2종의 지용성오구 혼입

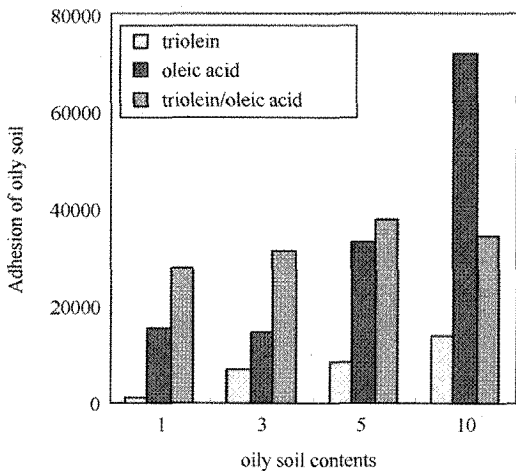


Fig. 4. Effect of oily soil contents on the adhesion of oily soil to the PET fabric in anionic surfactant solution (Surfactant : 0.1% DBS, Temperature : 40°C).

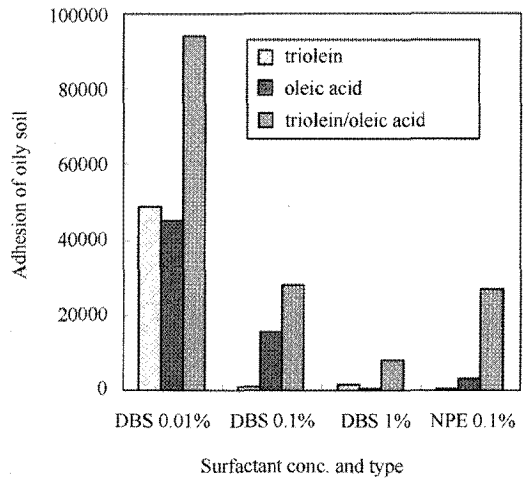


Fig. 5. Effect of surfactant concentration and type on the adhesion of oily soil to the PET fabric in surfactant solution (Particulate : oily soil = 1 : 1, Temperature : 40°C).

보다는 단독 지용성오구의 혼입이 섬유기질에 부착하는 지용성오구의 양이 적었고, 지용성오구의 극성에 따른 효과는 계면활성제의 농도에 따라 다소 차이를 보이고 있다. 그리고 음이온 계면활성제인 DBS와 비이온 계면활성제인 NPE용액에서 섬유기질에 부착되는 지용성오구의 양은 트리올레인, 올레산, 트리올레인과 올레산 혼합 순으로 많아 계면활성제 부착 경향이 유사하였다.

<Fig. 6>은 DBS용액의 온도에 변화를 주어 지용성오구의 종류에 따른 PET섬유직물에 부착하는 지용성오구의 양을 검토한 결과이다. 용액의 온도가 20°C에서 40°C로 증가하면 지용성오구의 종류에 따라 다소 차이는 있지만 섬유기질에 부착하는 지용성오구의 양에는 큰 변화가 없었다. 그러나 용액의 온도가 40°C에서 60°C로 증가하면 지용성오구의 종류에 관계없이 섬유기질에 부착하는 지용성오구의 양은 급격히 증가하였다. 그리고 섬유기질에 부착되는 지용성오구의 양은 용액의 온도에 관계없이 트리올레인, 올레산, 올레산과 트리올레인의 혼합 순으로 증가하였다. 세척온도에 따른 부착효과가 일정하지 않는 것은 세척온도가 올라가면 열에너지를 공급하여 분자운동이 커지고, 반응속도가 커져 세척효율의 측면에서 긍정적인 측면과 미셀이 불안정하여 가용화가 어렵고, 섬유 팽윤과 오구의 유동성의 부정적 측면이 복합적으로 작용하기 때문으로 생각된다.

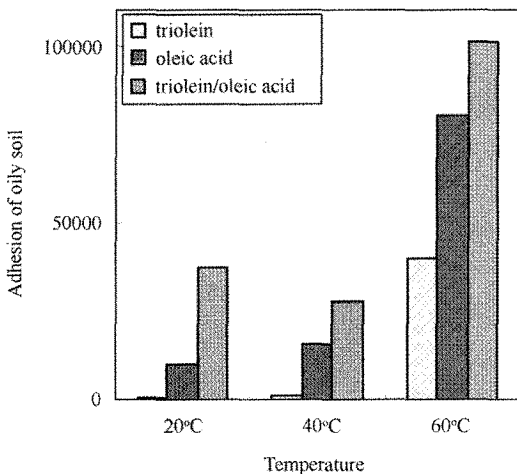


Fig. 6. Effect of temperature on the adhesion of oily soil to the PET fabric in anionic surfactant solution (Particulate : oily soil = 1 : 1, Surfactant : 0.1% DBS).

3. 고형오구의 섬유기질에의 부착

고형오구의 섬유기질에의 부착은 용액 속에 존재하는 고분자물질의 표면흡착에 따른 입체적 안정화 즉 엔트로피적 안정화에 영향을 받기도 하지만, 주로 고형입자와 입자 간의 van der Waals 인력과 전기이중층의 반발작용과 같은 전기적 효과에 많은 영향을 받게 된다(Rema et al., 1999). 고형오구의 기질에의 부착에 영향을 주는 계면전기적 효과는 용액의 계면 화학적 특성에 따라 다르고, 이러한 용액의 계면 화학적 특성은 전해질과 같은 첨가제에 영향을 받기도 하지만 공존하는 지용성오구의 종류에도 많은 영향을 받을 것으로 생각된다.

<Fig. 7>은 고형 및 지용성오구가 혼재된 40°C, 0.1% DBS용액에 직물을 넣고 20분간 교반하여 오구를 섬유기질에 부착한 후 혼입된 지용성오구의 종류에 따라 PET섬유직물에 부착된 고형오구의 양을 검토한 결과이다. 비극성 지용성오구의 조합인 트리올레인을 제외하면 대체적으로 고형오구 단독 분산액에 비하여 지용성오구가 혼입되면 섬유기질에 부착되는 고형오구

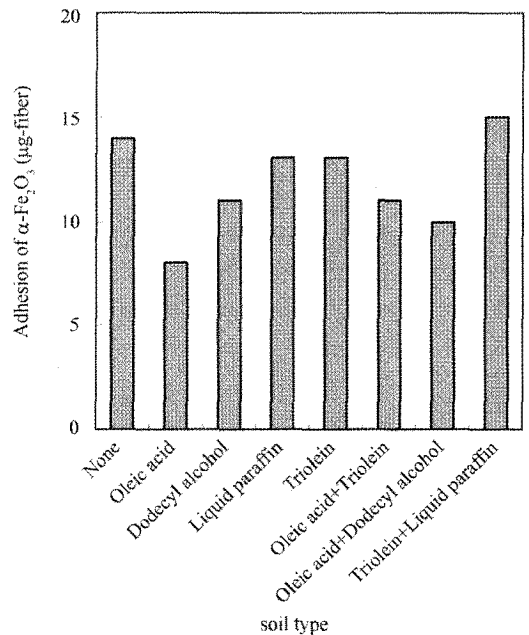


Fig. 7. Effect of oily soil types on the adhesion of α -Fe₂O₃ particles to the PET fabric in anionic surfactant solution (Particulate : oily soil = 1 : 1, Surfactant : 0.1% DBS, Temperature : 40°C).

의 양은 감소하는데, 극성인 올레인산과 도데실알콜에서 감소효과가 컸다. 그리고 두 종류의 지용성오구를 혼합하면 다소 부착량이 저하하지만, 비극성끼리 조합하면 단독 혼합보다 섬유에의 부착하는 양이 증가하였다. 지용성오구의 섬유기질에의 부착량은 비극성인 트리올레인에 비하여 극성인 올레산이 많게 부착되지만, 고형오구의 부착량은 트리올레인이 혼합된 경우가 많아 두 오구 간의 부착 경향에 차이가 있었다.

<Fig. 8>은 <Fig. 7>과 같은 용액조건에서 고형오구의 분산액에 혼합되는 지용성오구의 첨가량에 변화를 주어 섬유기질에의 고형오구 부착량을 검토한 내용이다. 지용성오구의 섬유에의 부착은 혼합되는 지용성오구의 양이 증가할수록 증가하지만, 고형오구의 섬유기질에의 부착량은 지용성오구의 종류에 관계없이 혼합되는 지용성오구의 함량이 증가하면 다소 감소한다. 이는 DBS용액에 지용성오구의 함량이 증가되면 지용성오구의 유희 (-)ζ-potential값은 상승하고 (Kim & Chung, 1995; Lee & Park, 1997), 지용성오구의 혼합에 따른 유희입자의 전기적 반발력이 에멀전의 안정에 기여하고, 분자가 가깝게 배열하여 계면 점도가 상승되어 고형오구의 분산안정성이 확보되기 때문에 고형오구의 섬유기질에의 부착이 방해받기 때문으로 생각된다.

<Fig. 9>는 계면활성제 농도에 변화를 주어 섬유기

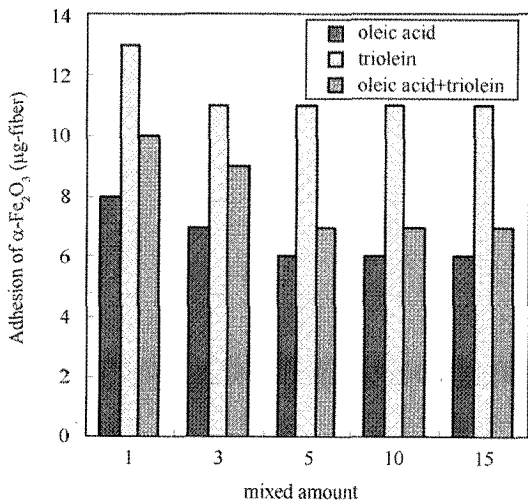


Fig. 8. Effect of oily soil amount on the adhesion of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ particles to the PET fabric in anionic surfactant solution (Surfactant : 0.1% DBS, Temperature : 40°C).

질에 고형오구를 부착시킨 결과이고, <Fig. 10>은 계면활성제 종류를 달리하여 섬유기질에의 고형오구의 부착량을 혼합되는 지용성오구의 종류에 따라 검토한 결과이다. 고형오구 단독 분산액에 비하여 지용성오구의 혼합된 용액에서 계면활성제의 농도가 섬유기질에의 고형오구의 부착에 미치는 영향이 커서, 계

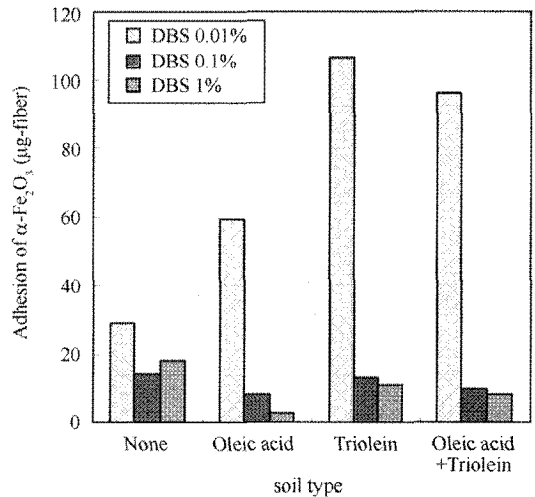


Fig. 9. Effect of surfactant concentration on the adhesion of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ particles to the PET fabric in anionic surfactant solution (Particulate : oily soil = 1 : 1, Surfactant : DBS, Temperature : 40°C).

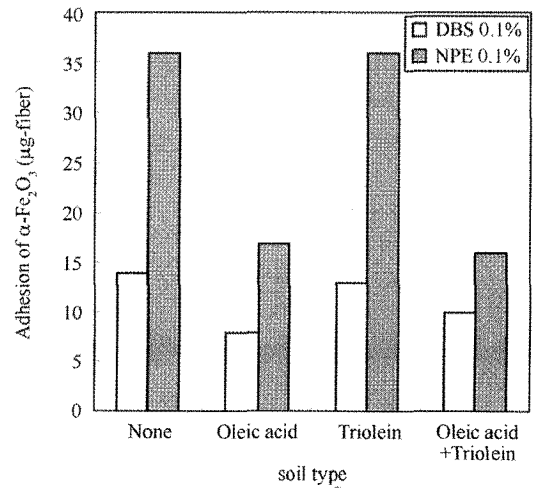


Fig. 10. Effect of surfactant type on the adhesion of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ particles to the PET fabric in surfactant solution (Particulate : oily soil = 1 : 1, Surfactant conc.: 0.1%, Temperature : 40°C).

면활성제의 농도가 0.01%로 낮으면 섬유기질에 부착되는 고형오구의 양은 급격히 증가한다. 이러한 현상은 0.04%인 DBS의 cmc 이하 농도에서는 기질 및 고형오구 입자에의 계면활성제의 흡착량이 미미하여 계면활성제의 흡착에 의한 입체적 안정화 효과도 낮고, cmc농도 이상에서 나타나는 가용화 현상도 기대할 수 없기 때문으로 생각된다. 단독 고형오구 분산액에서는 계면활성제의 농도가 0.1%에서 1%로 증가하면 섬유기질에의 고형오구의 부착량은 증가하지만 지용성오구가 혼입된 경우는 부착량이 다소 감소하여 부착거동에 차이를 보였다. 계면활성제 농도가 0.1%에서 1%로 증가하더라도 계면활성제 농도 증가가 고형오구의 섬유기질에의 부착에 큰 영향을 주지 못하는 것은 cmc부근에서 섬유기질과 고형오구의 계면활성제 흡착이 포화상태에 이르렀기 때문에 포화 계면활성제 흡착 농도 이상에서는 계면활성제 흡착에 의한 입체적 안정화 효과에 변화가 없기 때문이다. 비이온 계면활성제인 NPE용액에서 혼입된 지용성오구의 종류에 관계없이 섬유기질에 부착하는 고형오구의 양은 급격히 증가하였다. 이는 음이온 계면활성제인 경우는 계면활성제의 흡착에 따른 계면전지적 효과와 입체적 안정화 효과가 섬유기질에의 입자부착을 방해하지만 비이온 계면활성제 용액에서는 섬유기질 및 고형오구의 입자의 표면전하가 달라서 기질과 고형입자 간의 전기이중층에 의한 반발력을 기대할 수 없기 때문이다.

<Fig. 11>은 DBS용액의 온도에 변화를 주어 지용성오구의 종류에 따른 PET섬유직물에 부착하는 고형오구의 양을 검토한 내용이다. 용액의 온도가 고형오구의 부착량에 미치는 영향은 용액의 조건에 따라 차이를 보이고 있는데, 단독으로 고형오구가 분산된 용액에서 용액의 온도가 상승하면 섬유기질에의 고형오구의 부착량은 증가하지만 올레산이 혼입된 용액에 있어선 용액의 온도가 상승하면 섬유기질에의 고형오구의 부착량은 감소하고, 트리올레인과 트리올레인과 올레산이 혼합된 경우 20°C보다 40°C에서 부착량이 많지만 60°C에서는 오히려 부착량이 감소한다.

지용성/고형오구 혼합계에 있어 입자 간의 상호작용에너지가 고형오구의 기질에의 부착에 미치는 영향은 용액의 조건에 따라 다소 차이는 있지만 상호간에 관련성은 낮았다. 이는 고형오구가 단독으로 존재할 때 고형오구 입자의 ζ -potential과 입자 간의 상호작용에너지가 계면전지적 측면을 주도하면서 고형오구의 섬유기질에의 부착성과 깊은 관계를 가지고 있는

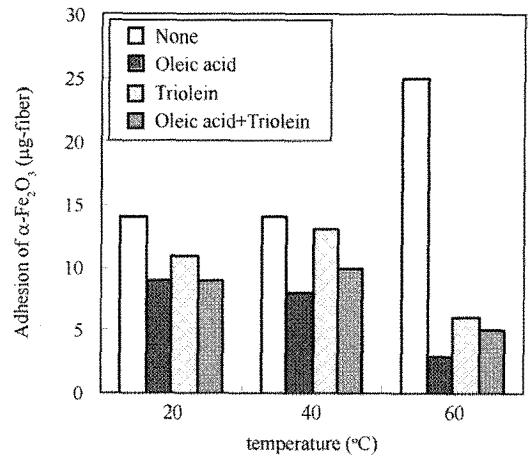


Fig. 11. Effect of temperature on the adhesion of α -Fe₂O₃ particles to the PET fabric in anionic surfactant solution (Particulate : oily soil = 1 : 1, Surfactant : 0.1% DBS).

결과(Kang & Jung, 2005)와 상당한 차이가 있었다. 한편 같은 조건에서 고형오구 및 지용성오구의 섬유기질에의 부착성을 비교하면 계면활성제의 농도에 따른 섬유기질에의 고형오구와 지용성오구의 부착량은 경향이 유사하지만 지용성오구의 극성여부, 지용성오구의 혼입 함량과 세척온도에 따른 지용성오구 및 고형오구의 섬유기질에의 부착거동에 상당한 차이가 있었다.

IV. 결 론

지용성/고형오구의 혼합 오염계에 있어 고형오구 입자 간의 상호작용에너지, 그리고 섬유기질에의 지용성오구 및 고형오구의 부착성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고형오구 간의 상호작용에너지는 지용성오구가 고형오구의 분산액에 혼입되고, 음이온 계면활성제의 농도가 증가할수록 증가하지만 지용성오구의 극성과 지용성오구의 함량에 따른 효과는 낮았다.

2. 지용성오구가 극성이고, 혼입되는 함량이 증가하면 섬유기질에 부착되는 지용성오구의 양이 증가하고, DBS에 비하여 NPE용액에서 섬유기질에 부착되는 지용성오구의 부착량이 적었다. 용액의 온도 20°C와 40°C에서 섬유기질에 부착하는 지용성오구의 양에 차이가 없지만, 60°C에서는 지용성오구의 종류에

관계없이 부착량이 급격히 증가하였다.

3. 고형오구가 단독으로 존재하는 용액에 비하여 극성의 지용성오구가 고형오구에 혼입되면 섬유기질에 부착하는 고형오구의 양은 감소하지만, 지용성오구의 함량 증가에 따른 효과는 크지 않았다. 그리고 계면활성제 농도가 증가하면 섬유기질에서의 고형오구의 부착량은 감소하고 DBS에 비하여 NPE용액에서 고형오구의 섬유기질에서의 부착량은 증가하였다.

4. 지용성 및 고형오구가 혼재한 용액에 있어 용액의 조건에 따라 다소 차이가 있지만, 입자 간의 상호작용에너지와 섬유기질에서의 지용성오구 및 고형오구의 부착과의 상호관련성은 낮았다.

참고문헌

- Hogg, R., Healy, T. W., & Ferstenau, D. W. (1966). Mutual coagulation of colloidal dispersion. *Transactions of the Faraday Society*, 62, 1638-1645.
- Imamura, T., & Tokiwa, F. (1974). Consideration of interfacial electrical conditions of soil-deposition onto fabrics. *Nippon Kagaku Kaishi*, 3, 406-414.
- Kang, I. S. (2002). Effect of stability by adsorption of surfactant on the detergency of particulate soil anionic/nonionic surfactant mixed solution (II). *Journal of Korean Fiber Society*, 39, 485-492.
- Kang, I. S., & Jung, S. Y. (2005). Effect of steric stability by adsorption of surfactant on the detergency of particle soil in anionic/nonionic surfactant mixed solution (Part I). *Textile Science and Engineering*, 42(3), 166-173.
- Kang, I. S., & Kim, B. J. (2001). Effect of electrolyte on the adhesion of particulate soil to fabric in the surfactant solution. *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles*, 25, 1465-1474.
- Kim, Y. H., & Chung, D. J. (1995). Studies on the detergency of oily soils (Part II)-Detergency of liquid oily soils by the emulsification and rolling up-. *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles*, 19(2), 356-365.
- Kua, R. J., & Matijevic, E. (1980). Particle adhesion and removal in model systems monodispersed ferric oxide on steel. *Journal Colloid and Interface Science*, 78, 407-414.
- Lee, S., & Park, C. (1997). Removal mechanism of oily soils (I)-Rolling-up of triolein and oleic acid-. *Journal of Korean Fiber Society*, 34, 40-48.
- Matijevic, E., & Scheiner, P. (1978). Ferric hydrous oxide soils. *Journal Colloid and Interface Science*, 63, 509-524.
- Rema, I. S., Anuradha, M., & Kumar, V. G. (1999). Effect of charge and hydrophobicity on adsorption of modified starches on polyester. *Journal of Colloid and Interface Science*, 220, 260-268.
- Robert, D. V., & Marjorie, J. V. (1983). *Colloid and interface chemistry*. London: Addison-Wesley.
- Watanabe, A., & Sakamori, Y. (1977). The coagulation of lyophobic colloids in unsymmetric electrolytes. *Colloid & Polymer Science*, 255, 782-789.