

프로테아제와 리파제가 직물의 세척에 미치는 영향

이정숙 · 정소화

경상대학교 의류학과

The Effects of Protease and Lipase on the Detergency of Fabrics

Jeong Sook Lee and So Wha Chung

Dept. of Clothing and Textiles, Gyeongsang National University, Chinju, Korea

Abstract : The effects of protease and/or lipase on the removal of protein soil and oily soil were investigated in this study. Cotton, rayon, nylon, and PET fabrics were soiled by padding of fresh bovine blood and spotting of mixed artificial sebum evenly. The soiled fabrics were aged at 130°C for 30 minutes. The fabrics were washed by using Terg-O-Tometer at various conditions. Protease and/or lipase were added in the alcohol ethoxylate (AE) detergent solution. The removal efficiency was evaluated by analysis of protein and/or oil on the fabrics before and after washing, respectively. The detergency of protein and/or oil on the fabrics was discussed with enzyme concentration, washing time, washing temperature, pH of washing solution and fiber characteristics. The hydrolysis of protease improved effectively the removal of oil as well as protein by increasing removal of protein·oil mixed soil at the same time. The effect of lipase added detergent solution was slightly shown on the removal of oil and/or protein. The removal of mixed soils from cotton fabrics was very low because of large amount of residual soils caused by the physical characteristics of cotton fiber.

Key words : protease, lipase, oily soil, protein soil, detergency

1. 서 론

최근 환경오염을 줄이고 에너지절약에 도움을 주기 위해 의류 세척에 생분해성이 높은 환경친화성 계면활성제를 사용하고(정혜원, 1996), 오구를 가수분해시킬 수 있는 효소를 이용하려는 경향이 높아지게 되었다(배정숙, 1998; 이난형 등, 1996; 이정숙과 심윤정, 1993; 이정숙과 김성련, 1996). 특히, 효소는 단백질 오구와 지질오구를 가수분해시킴으로써 오구의 제거에 기여할 수 있다(서수진과 박정희, 2000; Godfrey, 1983).

단백질 오구는 혈액, 표피조각, 모유 등의 인체 내부로부터의 오구와 육류, 두류 등의 외부의 단백질 식품 등인데 환경, 인종 및 개인 등에 의해 많은 차이가 있으나 모든 오구중에 20~25%를 차지하고 있는 것으로 보고되어 있다(이정숙과 심윤정, 1993). 이러한 단백질 오구는 섬유상에 부착된 초기에는 수용성이지만 시간이 경과함에 따라 물리적 화학적 작용에 의해 구조를 유지하는 수소결합이 없어지고 소수성 기질간에 상호작용이 붕괴되며, 분자내 S-S 결합이 변환되어 천연 단백질 본래의 질서인 고차원구조가 무너진 불용성의 변성단백질이 된다. 이러한 변성단백질은 섬유상에 고착되어 계면활성제만으로는 제거하기 어려운 상태가 된다(이정숙과 심윤정, 1993; 이정숙과 김성련, 1996).

또한 지질오구는 각종 지방산과 중성지방류로 인체에서 분비되는 피지가 주된 원천이며, 오구의 대부분을 차지하고 있다. 이들 지질오구는 물에 용해되지 않으므로 물만으로는 제거가 어려우나, 특수한 경우를 제외하고는 세제의 도움으로 물 속에 분산되므로 물세탁으로 제거가 가능하지만, 세척 과정에서 완전히 제거되지 않고 남게되어 백색 직물의 황변과 함께 세액 중의 고형오구를 흡착하여 재오염을 증가시키게 된다(Cutler, 1972).

그러므로 단백질 가수분해효소와 지질분해효소를 세척에 이용하여 섬유에 부착된 오구를 가수분해하여 수용성이 되게 하거나 물에 분산되기 쉽게 하면 지방이나 단백질을 매개로 부착되어 있던 다른 오구도 함께 제거되므로 세척이 보다 쉽고 깨끗하게 된다. 효소의 가수분해는 효소의 기질 특이성을 비롯한 여러 가지 특성에 따라 가수분해 정도가 달라지는데 대표적인 조건으로는 pH, 온도, 농도, 시간 등을 들 수 있다. 세척에 이용할 수 있는 효소는 기질 특이성이 광범위하고, 비교적 저온에서도 활성도가 큰 알칼리 프로테아제(alkaline protease)와 알칼리 리파제(alkaline lipase)가 효율적이다(이난형 등, 1996; 이정숙과 김성련, 1996).

따라서 본 연구에서는 환경친화성 계면활성제로서 효소와 적응성이 좋은 비이온계인 AE(alcohol ethoxylate)를 선택하고 오구포로는 물리 화학적 특성이 크게 다른 면, 레이온, 나일론 및 폴리에스테르 직물을 사용하여, 알칼리 프로테아제와 알칼리 리파제에 의한 단백질·지질의 혼합 오구의 효율적인 제거 및 제거 메커니즘을 규명하는 데 연구 목적이 있다. 이때 우혈액과

Corresponding author; Jeong Sook Lee
Tel. +82-55-751-5985, Fax. +82-55-753-9030
E-mail: jslee@nongae.gsnu.ac.kr

인체의 피지성분과 유사하게 만든 인공 지질 오구의 혼합오구를 시험포에 부착시킨 다음, AE 세액에 단독효소 및 혼합효소 첨가시 효소농도, 세척온도, 세척시간, 세액의 pH 등의 변화에 따른 세척성을 중점적으로 검토하였다. 세척성의 평가는 단백질 오구의 경우는 세척전후 오구포의 표면반사율을 이용하여 세척률을 산출하였고, 지질오구의 경우는 ¹⁴C로 label된 triolein을 지질 오구에 혼합 사용하여 세척 전후 오구포의 radioactivity를 liquid scintillation counter로 측정하여 세척률을 평가하였다.

2. 실험

2.1. 시험포 및 시약

시험포 : 사용한 직물은 4 종류로서, 한국 의류 시험 검사소에서 제작한 염색 견뢰도 시험용 백포(KS K 0905)를 사용하였으며 그 특징은 Table 1과 같다.

시약 : 프로테아제는 bacillus licheniformis로부터 얻은 alkaline protease인 Alcalase 3.0 T(Novo 산업), 리파제는 aspergillus oryzae로부터 얻은 alkaline lipase인 Lipolase 100 T(Novo 산업), 단백질 오구는 신선한 우혈을 사용하였으며, 지질오구는 시약 1급 이상의 tristearin, triolein, stearic acid, oleic acid, squalene, hexadecanol, cholesterol을 사용하였다. 지질오구의 방사성 동위원소 표지로 glycerol tri(1-¹⁴C)oleate(Specific activity 57 mCi/mmol, radioactive concentration 50 μCi/mmol, radiochemical purity 99%, T.L.C. on Silicagel, The Radio Chemical Center, Amersham)을 사용하였다. 계면활성제는 alcohol ethoxylate(AE, RO(CH₂CH₂O)_nH, n=7, C=12, LG화학), 2,5-diphenyl-oxazole(POP), 2,2'-p-phenylenbis-5-phenyl-oxazole(POPOP), toluene 등 기타 시약은 시약 일급 이상을 사용하였다.

2.2. 실험방법

오구포의 제작 : 시험포를 7.5 cm × 10.5 cm로 잘라서 신선한 우혈에 1장씩 침지시켜 15초 간격으로 뒤집으면서 1분간 균일하게 오염시켜 자연건조하여 단백질 오구포(우혈오구포)를 만들었다. 우혈오구포를 7.5 cm × 3.5 cm로 잘라서 ¹⁴C 트리올레인을 첨가한 인공지질 오구액을 micro pipet으로 100 μ씩 균일하게 점적하여 단백질과 지질의 혼합오구포를 만든 다음, 자연건조한 후 130°C의 오븐에서 30분간 열처리하여 오구포를 제조하였다. 이때 사용한 인공지질 오구액의 조성은 Table 2와

Table 1. Characteristics of fabrics

Material	Cotton	Rayon	Nylon	PET
Weave	Plain	Plain	Plain	Plain
Yarn No.				
Warp	30S	120D	70D	75D
Weft	30S	120D	70D	75D
Fabric count				
(ends × pick)	141 × 135	175 × 109	214 × 150	210 × 191
Weight (g/m ²)	99.81	71.99	57.52	73.14

Table 2. Composition of mixed oily soil

Components	Content (%)
Tristearin	23
Triolein	23
Stearic acid	15
oleic acid	15
Squalene	8
Hexadecanol	8
Cholesterol	8

Table 3. Composition of detergent solution (% , w/v)

Surfactant AE	Na ₂ SO ₄	STPP	Na ₂ SiO ₃	pH
0.02	0.08	0	0	7.0
0.02	0.04	0.04	0	9.5
0.02	0.028	0.04	0.012	11.0

같다. 이상과 같이 제조한 오구포는 데시케이터에 넣어 1~5°C 냉장고에 보관하여 사용하였다.

세척방법 : 세액은 Table 3과 같은 조성으로 제조하여 사용하였고, 세척은 Terg-O-Tometer(대영과학정기제작소, 일본)를 사용하여 각 종류의 오구포를 3장씩 500 ml 세액에 넣고 각 실험 조건에서 100 cpm으로 세척한 후, 세척시와 같은 조건에서 5분간 2회 행군 후 공기중에 자연건조하였다.

단백질오구의 세척률 평가 : 세척 전후 오구포의 표면 반사율 측정은 색차계(Model TC-8600, Tokyo Denshoku Co., Ltd)로 하였고, 각각 3장의 표면반사율의 평균치를 산출하였고, 세척률은 다음의 식에 의해 산출하였다.

$$\text{세척률}(\%) = \frac{R_w - R_s}{R_o - R_s} \times 100$$

R_O : 원포의 표면반사율

R_S : 오염포의 표면반사율

R_w : 세척포의 표면반사율

지질오구의 세척률 평가 : 세척 전후의 오구포에 존재하는 radioactivity를 측정하여 산출하였다. Liquid scintillation solution은 6.0 g의 PPO와 0.1 g의 POPOP를 1000 ml toluene에 용해시켜 만들었으며 세척한 오구포 1매를 20 ml vial병에 수직으로 붙여 세운 다음 scintillation 액을 17 ml 넣은 vial병을 liquid scintillation counter(Beckman 6500)에서 2분간 counting한 count per minute(c.p.m.)으로 다음식에 의하여 세척률을 산출하였다.

$$\text{세척률}(\%) = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100$$

D₁ : 세척전 오구포의 c.p.m.

D₂ : 세척후 오구포의 c.p.m.

3. 결과 및 고찰

3.1. 단백질 오구의 세척성

세탁에 첨가한 프로테아제의 농도가 단백질·지질 혼합오구포 중의 단백질 오구의 세척에 미치는 영향을 알아보기 위해 프로테아제의 농도를 0~500 mg/l로 변화시켜 면과 폴리에스테르 직물을 대상으로 실험한 결과는 Fig. 1과 같다. Fig. 1을 보면 프로테아제의 농도가 높아짐에 따라 50 mg/l까지 세척성이 급격하게 증가하였으나 그 이상의 농도에서는 세척률의 증가가 둔화되어 500 mg/l까지 세척률의 증가가 완만하였다. 이것은 세척시 프로테아제의 가수분해 작용이 오염의 제거에 중요한 인자로 작용한 결과로서 가수분해 작용이 커지면 세척률도 이에 따라 증대하는 것으로 생각된다(이정숙과 김성련, 1996-2). 본 실험에서는 효율적인 농도로 50 mg/l를 선택하여 사용하였다. 섬유별로 세척률을 보면 천연섬유인 면이 합성섬유인 PET 직물 보다 세척률이 전체적으로 낮았으며, 농도증가

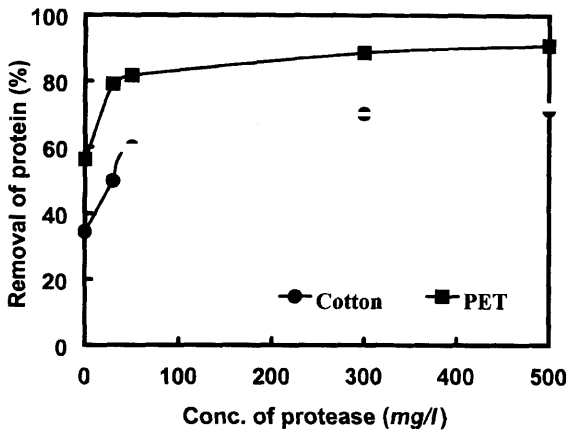


Fig. 1. Effect of protease concentration on the removal of protein in the mixed soil. Conditions : Detergent conc. 0.1%, pH 9.5, Temp. 40 ± 2°C, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

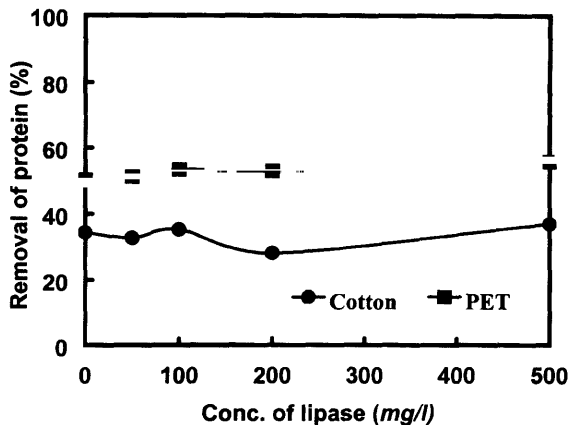


Fig. 2. Effect of lipase concentration on the removal of protein in the mixed soil. Conditions : Detergent conc. 0.1%, pH 9.5, Temp. 40 ± 2°C, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

에 따른 세척률 증가의 경향은 두 섬유 모두 비슷하였다.

세탁에 첨가한 지방분해효소인 리파제가 단백질·지질 혼합오구포 중의 단백질오구의 세척에 미치는 영향을 알아보기 위해 리파제와 농도를 0~500 mg/l로 변화시켜 실험한 결과는 Fig. 2와 같다. 리파제의 농도가 증가할 수록 초기에는 다소 세척률이 증가하였으나, 전체적으로 볼 때 프로테아제의 세척률 증가에 비해 그 증가의 폭이 미미하였다. 단백질·지질 복합오구포상의 지질이 리파제에 의해 분해되어 탈락할 때 단백질도 함께 제거될 것으로 기대하였으나, 리파제의 가수분해 작용에 의한 지질 제거의 증가효과가 미미하여 단백질의 세척률에 크게 영향을 미치지 못한 것으로 생각된다. 섬유 종류별로 보면 Fig. 1에서와 마찬가지로 면직물의 세척률이 PET 직물의 세척률 보다 낮았으나 전체적인 세척 경향은 비슷하였다.

세척시간의 변화가 단백질·지질 혼합오구포 중의 단백질 제거에 미치는 영향을 알아보기 위하여 면직물을 대상으로 프로테아제와 리파제를 단독 혹은 복합으로 세탁에 첨가하여 세척 실험한 결과는 Fig. 3과 같다. 프로테아제를 첨가한 경우 세척시간이 증가할 수록 세척률이 좋아졌으며, 특히 5~30분 이내의 단시간 세척에 높은 세척률의 증가를 나타내었으나 30분 이후에는 세척률의 증가가 완만해졌다. 이것은 실험에 사용된 프로테아제가 직물에 부착한 단백질에 작용할 때에는 입체장애를 받긴 하지만 효소가 매우 짧은 단시간내에 반응을 시작하는 특성을 가지고 있기 때문인 것으로 생각된다(이정숙과 김성련, 1996-1, 2). 리파제 첨가효과는 미미하여 AE 단독세탁이나 프로테아제 첨가세탁의 세척경향과 흡사하였으며, 복합효소에 의한 상승 작용은 나타나지 않았다. 특히, 프로테아제는 리파제가 존재하는 경우에도 단백질을 가수분해하는 활성에는 별다른 영향을 받지 아니하며(서수진과 박정희, 2000), 단백질 기질을 광범위하게 매우 효과적으로 가수분해하여(이정숙과 김성련, 1996-1) AE의 계면활성제와의 상호작용에 의하여 본 실험에서도 우수한 세척효과를 나타내었다고 생각된다.

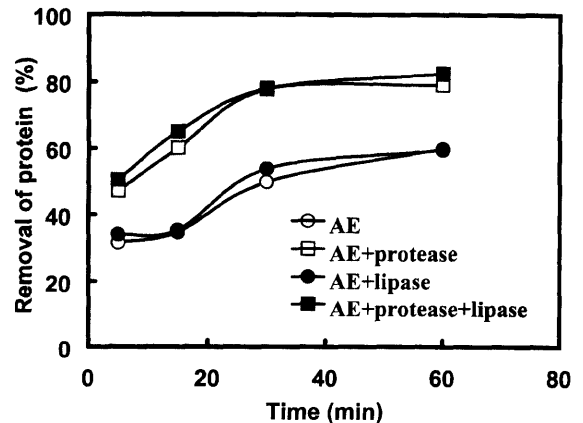


Fig. 3. Effect of washing time on the removal of protein in the mixed soil from cotton fabrics. Conditions : Detergent conc. 0.1%, Protease conc. 50 mg/l, Lipase conc. 100 mg/l, pH 9.5, Temp. 40 ± 2°C, Agitation Speed 100 cpm

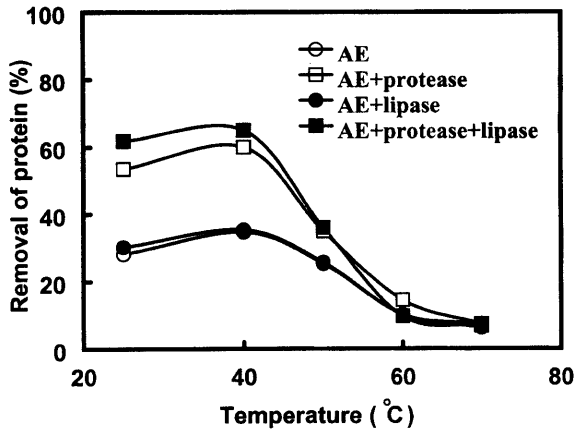


Fig. 4. Effect of washing temperature on the removal of protein in the mixed soil from cotton fabrics. Conditions : Detergent conc. 0.1%, Protease conc. 50 mg/l, Lipase conc. 100 mg/l, pH 9.5, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

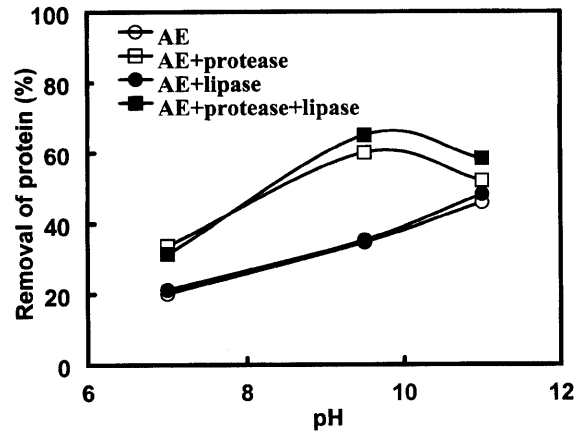


Fig. 5. Effect of pH on the removal of protein in the mixed soil from cotton fabrics. Conditions : Detergent conc. 0.1%, Protease conc. 50 mg/l, Lipase conc. 100 mg/l, Temp. 40±2°C, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

세척온도가 단백질·지질 혼합오구포 중의 단백질 오구의 세척에 미치는 영향을 알아보기 위해 세액의 온도를 25°C~70°C로 변화시켜 실험한 결과는 Fig. 4와 같다. 전체적인 세척 경향을 볼 때, 비교적 저온인 25°C에서도 오구의 제거율이 상대적으로 높게 나타났으며, 세척온도가 상승함에 따라 세척성이 증가하여 40°C에서 세척률이 가장 좋게 나타났으나 50°C 이상에는 세척률이 크게 둔화되어 60°C에서는 세척률이 급격하게 저하되었다. 비교적 저온에서도 세척 효과가 높게 나타난 것은 선행연구(岡本幾子和 皆川基, 1987)와도 일치하는 경향으로 프로테아제의 첨가효과는 25°C~40°C 부근에서 가장 좋았으나, 60°C 이상에서는 프로테아제의 효과는 현저하게 낮아졌다. 선행연구(이정숙과 김성련, 1996-1)에서는 50°C에서 효소의 활성이 가장 좋았으나 본 실험에 사용된 다량의 우혈이 함유된 단백질·지질 혼합오구포가 고온의 세액 중의 열과 물로 급격하게 변성되어 프로테아제의 가수분해작용이 크게 둔화되었고, AE의 계면활성 작용으로도 제거가 극히 어려운 상태로 단백질 오구가 직물에 고착되어 결과적으로 세척률이 현저하게 낮아진 것으로 생각된다. 그러나 50°C에서도 AE 단독세액에서보다 10% 내외의 세척률의 증가를 나타내었던 프로테아제의 첨가효과가 60°C, 70°C에서는 거의 나타나지 않아 일반적인 프로테아제의 온도 특성이 그대로 나타났다(Novo Nordisk, 1994).

세액의 pH가 단백질·지질 오구포 중의 단백질 오구의 세척성에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 pH 7.0~11.0까지 변화시켜 실험한 결과는 Fig. 5이다. 실험결과를 보면 세액의 pH가 알칼리 쪽으로 갈수록 단백질 오구의 제거가 증가하는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 세액의 pH가 알칼리성으로 될수록 단백질의 용해도가 증가함에 따라 단백질 오구포에서 단백질의 제거율이 높아진다(皆川基 등, 1970; 所康子 등, 1985; 이정숙, 1996-2). 또한, 알칼리에서 세척률이 증가하는 것은 오구중의 산성물질을 중화하여 가용성을 만들어 용해시키며, 세액의 계

면장력을 낮추고, 섬유와 오구의 지타전기를 증가시켜 재오염을 방지하고, 팽윤을 증진시키는 역할을 하기 때문이다. 세액에 프로테아제를 첨가한 경우 pH 7에서 약간의 세척률이 증가하였으며 9.5에서 급격한 증가를 보였다가 pH 11에서 약간 감소하였다. 이것은 프로테아제의 최적 pH 영역과 대체로 일치하는 경향이며, pH 11에서 세척률이 감소한 것은 프로테아제의 최적 pH영역을 벗어나 효소활성이 둔화되었기 때문으로 생각된다(이정숙, 1996-1). 전반적인 pH 변화에서 9.5~11에서 프로테아제와 리파제를 함께 첨가한 세액에서 오구의 제거가 잘 된 것은 리파제가 pH 11 부근에서 활성이 높기 때문인 것으로 사료된다(Novo Nordisk, 1992).

섬유의 종류별 단백질·지질 혼합오구포 중의 단백질 세척률을 알아보기 위해 세척 실험한 결과는 Fig. 6과 같다. 섬유의 종류별로는 레이온 > 나일론 > PET >> 면 직물의 순으로 세척률이 좋았으며, 어떤 섬유에서나 프로테아제를 첨가했을 때 세척률의 증가가 현저하게 높게 나타났으나, 리파제의 첨가 효과는 대체로 미미하였다. 면 직물의 경우에는 섬유의 구조가 꼬임이 있고 중공이 있으므로 섬유내부와 꼬임 주변에 다량의 오구가 침투함에 따라 세척후에도 오구의 잔존율이 높아서 결과적으로 오구의 제거가 가장 낮게 나타났으며(Obendorf와 Klemash, 1982), 이에 비하여 나일론이나 PET 직물은 섬유가 원통형으로 비교적 표면이 매끄러우며, 섬유의 내부 결정성이 발달하여 오구가 섬유내부로 침투하기 어렵기 때문에 상대적으로 오구의 제거율이 높게 나타난 것으로 생각된다. 본 실험의 경우 직물의 종류에 있어서 화학적 특성보다는 물리적 구조 특성이 오구의 제거에 더 많은 영향을 미친 것으로 보인다.

3.2. 지질오구의 세척성

세액에 첨가한 프로테아제가 단백질·지질 혼합오구포 중의 지질오구 세척에 미치는 영향을 알아보기 위해 세척 실험한 결

Fig. 6. Removal of protein in the mixed soil from the various fabrics. Conditions : Detergent conc. 0.1%, Protease conc. 50 mg/l, Lipase conc. 100 mg/l, pH 9.5, Temp. $40 \pm 2^\circ\text{C}$, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

과는 Fig. 7과 같다. 프로테아제의 농도가 증가할 수록 50 mg/l까지 세척성이 급격하게 증가하였으나 그 이후의 농도에서는 500 mg/l까지는 완만하게 증가하여, 단백질 오구의 세척률과 그 경향이 매우 유사하게 나타났다. 지질오구의 제거가 단백질오구의 제거와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있으며 이것은 단백질 오구가 프로테아제에 의해 가수분해되어 섬유에서 탈락되어 나갈 때 단백질 오구와 같이 부착되어 있던 지질오구도 함께 떨어져 나가기 때문일 것으로 생각된다. 친수성 섬유인 면 직물 보다 소수성 섬유인 PET 직물에서 지질오구의 제거율이 이 경우에서도 더 크게 나타나서 앞에서 고찰한 바와 같이 화

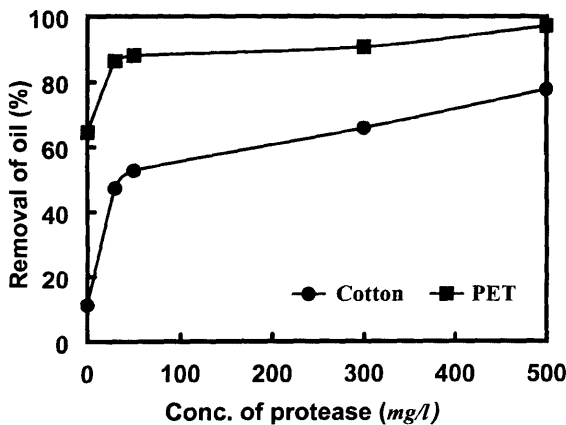


Fig. 7. Effect of protease concentration on the removal of oil in the mixed soil. Conditions : Detergent conc. 0.1%, pH 9.5, Temp. $40 \pm 2^\circ\text{C}$, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

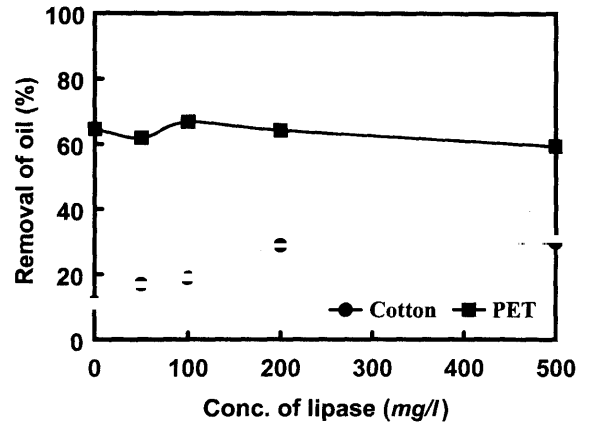


Fig. 8. Effect of lipase concentration on the removal of oil in the mixed soil. Conditions : Detergent conc. 0.1%, pH 9.5, Temp. $40 \pm 2^\circ\text{C}$, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

학적 특성 보다 섬유의 물리적 구조 특성이 오구의 제거에 더 큰 영향을 나타내었다(Obendorf와 Klemash, 1982).

세탁에 첨가한 지질분해 효소인 리파제가 지질오구의 단백질 · 지질 혼합오구포 중의 지질오구의 세척에 미치는 영향을 알아보기 위해 실험한 결과는 Fig. 8과 같다. 면직물의 세척성은 리파제의 농도가 증가함에 따라 세척률이 다소 향상되었으나, PET 직물에서는 100 mg/l이후 세척률이 오히려 저하되었다. 그러나 그 증가와 감소의 폭이 매우 적어 리파제의 첨가 효과가 크지 않음을 알 수 있다. 본 실험에서는 양쪽 직물의 결과를 고려하여 리파제의 농도를 100 mg/l로 결정하여 사용하였다.

세척시간의 증가가 단백질 · 지질 혼합오구포 중의 지질 오구 세척에 미치는 영향을 알아보기 위하여 세척 실험한 결과는 Fig. 9와 같다. 시간이 증가할 수록 세척률은 증가하였으며 프로테아제를 첨가한 경우 5~30분 범위에서 급격한 세척률의 증

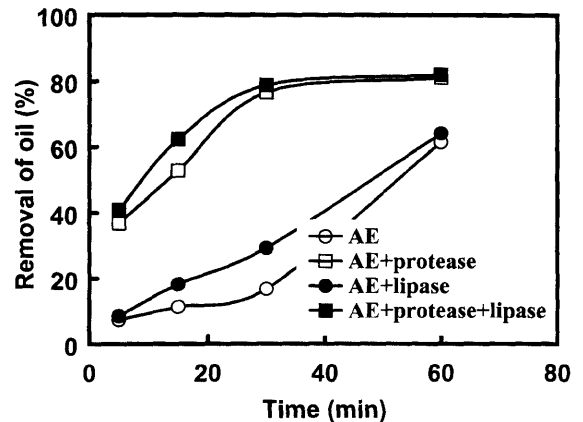


Fig. 9. Effect of washing time on the removal of oil in the mixed soil from cotton fabrics. Conditions : Detergent conc. 0.1%, Protease conc. 50 mg/l, Lipase conc. 100 mg/l, pH 9.5, Temp. $40 \pm 2^\circ\text{C}$, Agitation Speed 100 cpm

가를 보였으며, 30분 이후에는 거의 일정해졌다. AE 단독세액과, AE에 리파제를 첨가한 경우는 시간의 경과에 따라 거의 일정하게 계속적으로 증가함을 알 수 있으며, 리파제의 첨가에 의하여 지질 오구의 제거가 다소 향상되었다. 리파제와 프로테아제를 비교할 때 단시간내에 가수분해하는 프로테아제의 가수분해 특성이 세척에 그대로 나타났으며, 프로테아제에 의한 단백질 오구의 분해 및 제거는 단백질 오구에 함께 부착되어 있는 지질 오구의 제거에도 탁월한 효과가 있음을 나타낸다. 결과적으로 효소의 특성이 세척에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 한편, 효소 리파제는 프로테아제에 의하여 가수분해되지는 않으나(서수진과 박정희, 2000) 지질 분해 효과가 1회의 세척에 의해서는 뚜렷하게 나타나지 않았던 선행 연구의 결과(이난형 등, 1996)와도 관련이 깊다고 할 수 있다.

온도가 단백질·지질 혼합오구포 중의 지질오구의 제거에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험한 결과는 Fig. 10과 같다. AE 단독세액과 AE에 리파제를 첨가한 경우 세척률은 조금씩 계속 증가하였지만 프로테아제를 첨가한 경우는 40°C 부근에서 세척률이 가장 좋다가 50°C에서 점차 감소하여 60°C까지 현저하게 감소하다가 70°C에서는 세척률이 다소 상승하였다. 프로테아제의 첨가세액에서 40°C에서 세척률이 가장 좋다가 50°C에서 60°C까지 감소하는 것은 오구포의 단백질이 세액속의 온도와 물에 의해 변성되어 가수분해가 어려운 물질로 변해, 단백질을 가수분해시 함께 탈락되던 지질오구의 탈락도 아울러 어려워짐으로써 세척률이 저하되는 것으로 여겨진다. AE 단독세액과 AE에 리파제를 배합한 세액에서 온도의 상승으로 인한 세척률의 증가는 혼합오구에 사용된 일부 고체 유성오구가 온도가 상승함에 따라 액체로 되고, 일부는 액정을 형성하기 때문인 것으로 생각되며(Cutler 등, 1972) 프로테아제의 활성이 둔화되는 60°C 이상에서는 프로테아제 배합 세액에서의 세척률이 AE 단독세액과 AE에 리파제를 배합한 세액에서의 세척률 경향이 같아졌다. 온도에 따른 지질오구의 세척성에서 리파

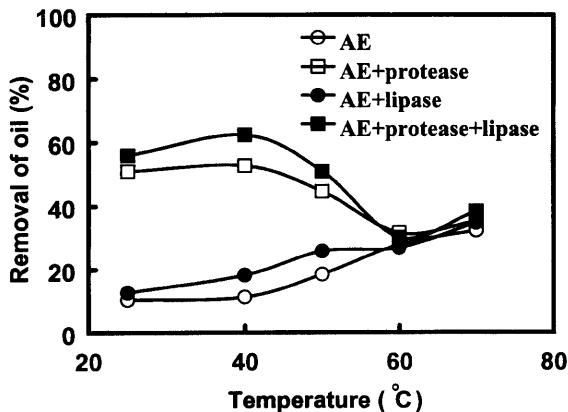


Fig. 10. Effect of washing temperature on the removal of oil in the mixed soil from cotton fabrics. Conditions : Detergent conc. 0.1%, Protease conc. 50 mg/l, Lipase conc. 100 mg/l, pH 9.5, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

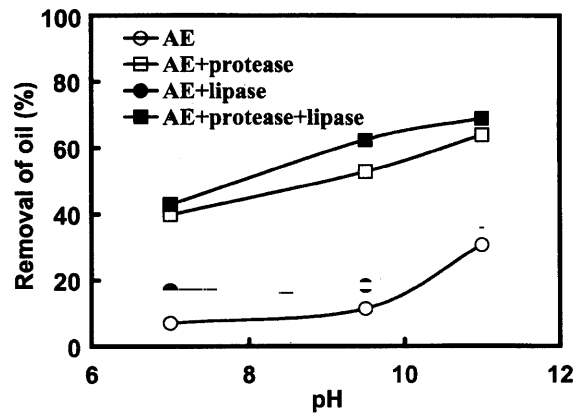


Fig. 11. Effect of pH on the removal of oil in the mixed soil from cotton fabrics. Conditions : Detergent conc. 0.1%, Protease conc. 50 mg/l, Lipase conc. 100 mg/l, Temp. 40±2°C, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

제의 첨가에 의하여 지질 오구의 제거 효과는 대체로 적게 나타났다.

세액의 pH가 단백질·지질 혼합오구포 중의 지질오구의 세척에 미치는 영향을 알아보기 위해 실험한 결과는 Fig. 11과 같다. 실험한 결과를 보면 세액의 pH가 증가할 수록 오구의 제거율이 대체로 향상된 것을 알 수 있다. 이 경우에도 세액에 프로테아제를 첨가한 경우 세척률의 증가가 컸으며, 특히 효소의 활성이 높은 pH 9.5~11 영역에서 프로테아제 단독과 프로테아제와 리파제 혼합시 오구의 제거율이 높게 나타났다. 특기할 만한 것은 배합효과가 매우 미미하기만 하던 리파제에 의한 세척률의 증가가 pH 7.5 부근에서 다소 높게 나타났다.

Fig. 12. Removal of oil in the mixed soil from the various fabrics. Conditions : Detergent conc. 0.1%, Protease conc. 50 mg/l, Lipase conc. 100 mg/l, pH 9.5, Temp. 40±2°C, Washing Time 15 min, Agitation Speed 100 cpm

섬유의 종류가 단백질·지질 혼합오구포 중의 지질오구의 세척에 미치는 영향을 알아보기 위해 실험한 결과는 Fig. 12와 같다. 섬유의 종류별로는 레이온 > 나일론 > PET >> 면 순으로 세척률이 좋았으며 면의 세척률은 다른 섬유에 비해 현저하게 낮았다. 이것은 앞에서 고찰한 단백질 오구의 세척성과 같은 결과이다. 어느 경우에서나 세액에 프로테아제를 첨가했을 때 세척률의 증가는 현저하게 높게 나타났으나 리파제의 효과는 상대적으로 매우 적게 나타났다. 그러나 리파제의 첨가에 의하여 단백질 오구의 경우와 비교할 때 지질오구의 제거는 조금 더 향상되었다.

이상의 단백질 오구와 지질오구의 세척성을 종합하여 볼 때, AE 세액에 프로테아제와 리파제의 단독 혹은 혼합 효소첨가는 오구의 제거율을 높이는 데 기여하였지만, 프로테아제의 효율성이 현저하게 높게 나타났으며, 계면활성제와 효소의 상승효과가 나타났다. 이때, 프로테아제는 단백질 오구를 가수분해 시킴으로써 단백질 오구의 제거율을 높임과 동시에 함께 붙어있던 지질오구의 탈락에도 많은 기여를 하였다. 따라서 단백질 오구는 물론이고 지질 오구의 제거에서도 프로테아제에 의해 주로 세척률이 향상되었다. 또한 섬유의 특성에서는 주로 물리적 구조특성이 오구의 제거에 많은 영향을 미쳐서 섬유의 구조가 복잡한 면직물에서 단백질 오구와 지질 오구의 제거율이 가장 낮게 나타났다.

4. 결 론

4 가지 직물을 대상으로 단백질·지질 혼합 오구포를 제작하여 AE 세액에 프로테아제와 리파제를 단독 혹은 혼합하여 소정의 조건하에 세척 실험한 다음에 세척포상의 단백질과 지질을 각각 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. AE 세액에 프로테아제를 첨가했을 경우 단백질 오구의 가수분해는 단백질 오구 뿐만 아니라 단백질 오구와 혼합된 지질오구 제거에도 현저한 영향을 미쳐 혼합오구의 제거율이 크게 증가하였고, 어느 농도까지는 프로테아제의 농도가 증가할수록 세척률도 함께 증가하였다. 리파제의 첨가에 의한 세척률의 증가는 프로테아제에 비해 매우 낮게 나타났다. 리파제와 프로테아제를 혼합하여 사용할 경우 프로테아제에 의해 세척률이 주로 향상되었으며 두 효소간의 상승작용은 나타나지 않았다.

2. 단백질·지질 혼합오구포의 세척성은 세척시간이 증가할수록 향상되어 비교적 30분 범위내에서도 효율이 높게 나타났다.

3. 세액온도에 따른 단백질·지질 혼합오구포의 세척성은 대체로 40°C 부근에서 크게 나타났으나 어느 온도 이상이 되면 세척률이 급격히 저하되었다.

4. 세액의 pH 변화에 따른 단백질·지질 혼합오구포의 세척성은 pH의 증가에 따라 향상되어 대체로 pH 9.5~11.0 사이에서 크게 나타났다.

5. 직물의 종류별 단백질·지질 혼합오구포의 세척성은 레이

온 > 나일론 > PET >> 면 직물 순으로 좋았으며 AE 세액에 프로테아제를 첨가하면 어느 경우에서나 단백질과 지질오구의 세척률은 크게 향상되었으며, 섬유의 물리적 구조특성에 의해 면 직물에서 세척률이 가장 낮게 나타났다.

감사의 글 : 이 논문은 1998년도 경상대학교 연구장학재단 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

배정숙 (1998) 시판 표백제가 효소 배합체제의 세척성에 미치는 영향. *한국염색가공학회지*, **10**(6), 55-66.

서수진 · 박정희 (2000) 프로테아제와 리파제의 혼합에 따른 세척성의 변화. *한국의류학회지*, **24**(2), 205-213.

이정숙 · 김성련 (1996) Protease(Subtilisin Carlsberg)가 혈액 단백질 오구의 제거에 미치는 영향(I) —Subtilisin Carlsberg에 의한 헤모글로빈의 가수분해. *한국의류학회지*, **20**(3), 550-559.

이정숙 · 김성련 (1996) Protease(Subtilisin Carlsberg)가 혈액 단백질 오구의 제거에 미치는 영향(II) —헤모글로빈 오구포의 세척성. *한국의류학회지*, **20**(4), 655-666.

이정숙 · 심윤정 (1993) 단백질 분해효소가 세척성에 미치는 영향1. *한국의류학회지*, **17**(3), 491-505.

이난형 · 유효선 · 김성련 (1996) 리파제에 의한 트리팔미틴의 가수분해. *한국염색가공학회지*, **8**(4), 25-30.

이난형 · 유효선 · 김성련 (1996) 트리팔미틴 오염포의 세척성에 미치는 리파제의 효과. *한국염색가공학회지*, **8**(4), 31-41.

정혜원 (1996) 혼합계면활성제 용액에서 Triolein의 세척성. *한국의류학회지*, **20**(2), 390-397.

B 259e-GB 3000 (1994) Novo Nordisk A/S.

B 434c-GB 3000 (1992) Novo Nordisk A/S.

岡本幾子 · 皆川基 (1987) たん白質汚れの洗淨に關する研究, 低温洗淨における酵素作用の影響について. *日本纖維製品消費科學會誌*, **28**(4), 167-172.

皆川基 · 重田美智子 · 奥山春彦 (1970) たん白質汚れの洗淨に關する研究(第三報) 血液汚染布の洗淨について. *日本纖維製品消費科學會誌*, **11**(5), 263-273.

所康子 · 皆川基 (1985) 血液たん白質汚れの洗淨に關する研究(第四報) プロテア-ゼの pH 特性ならびに溫度特性が洗淨性に及ぼす影響. *日本纖維製品消費科學會誌*, **26**(11), 479-484.

所康子 · 皆川基 (1986), 血液たん白質汚れの洗淨に關する研究(第五報) 變性たん白質 汚れの洗淨について. *日本纖維製品消費科學會誌*, **27**(10), 449-455.

所康子 · 皆川基 (1987) 血液たん白質汚れの洗淨に關する研究(第六報) 界面活性劑存 在下における, プロテア-ゼの活性の安定性が血液蛋白質汚れの洗淨舉動に及ぼす影響. *日本纖維製品消費科學會誌*, **28**(3), 116-122.

Cutler W. G. and Davis R. C. (1972) Detergency, Part 1. Marcel Dekker, Inc., New York, pp 105-152.

Godfrey T. and Reichelt J. (1983) Industrial Enzymology. The Nature Press, pp 284-293.

Obendorf S. K. and Klemash, N. A. (1982) Electron Microscopical Analysis of Oily Soil Penetration into Polyester/Cotton Fabrics. **52**, 434-442.

(2000년 11월 1일 접수)