

알칼리성 엔도프로테아제 (Alkaline Endo-Proteases) for Leather Industry: 가죽 탈모·베이팅·습식 공정용 효소

Enzymes.bio 연구팀 · 뉴질랜드 웰링턴 · June 18, 2026

알칼리성 엔도프로테아제는 알칼리 조건의 가죽 습식 공정에서 모근 주변 단백질과 비콜라겐성 단백질을 내부 절단 방식으로 분해해 탈모, 섬유 개방, 베이팅 품질을 돕는 효소입니다. 가죽 산업에서는 석회-황화물 의존도를 낮추고 폐수 부담을 줄이면서도 콜라겐 골격의 과분해를 피하는 방향으로 연구·적용되어 왔습니다 [1]. Enzymes.bio의 해당 제품은 제조·시험 서비스가 아니라 1 kg 단위로 온라인 구매 가능한 효소 공급 품목이며, 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다.

알칼리성 엔도프로테아제가 가죽 공정에서 하는 일

알칼리성 엔도프로테아제는 단백질 사슬의 말단이 아니라 내부 펩타이드 결합을 절단하는 프로테아제입니다. 가죽 원피에서 목표가 되는 기질은 완성 가죽의 핵심 골격인 콜라겐 자체라기보다, 모낭 주변을 지지하는 단백질, 알부민-글로불린 등 수용성 또는 비구조성 단백질, 섬유 다발 사이의 점질성 단백질성 성분입니다. 이들 성분이 부분적으로 절단되면 모발이 느슨해지고, 섬유 다발 사이 공간이 열리며, 이후 태닝제·염료·가지제가 더 균일하게 이동할 수 있는 상태가 됩니다. 가죽 산업 폐수에서 알칼리성 프로테아제 생산균을 분리·동정한 연구가 존재한다는 점은, 이러한 효소가 실제 태너리 환경과 밀접한 알칼리성 단백질 분해 생태에서 반복적으로 발견된다는 점을 보여 줍니다 [2].

가죽 공정에서 “알칼리성”이라는 조건은 단순한 명칭이 아닙니다. 빔하우스 단계의 수침, 석회 처리, 탈모, 일부 베이팅 전후 조건은 중성보다 높은 pH 영역으로 이동하는 경우가 많습니다. 이때 산성 또는 중성 프로테아제보다 알칼리 조건에서 구조 안정성과 촉매 활성을 유지하는 효소가 공정 적합성이 높습니다. *Bacillus megaterium*-TK1 유래의 내열성 알칼리성 프로테아제가 세제와 가죽 산업을 대상으로 보고된 사례는, 알칼리성 단백질 분해 효소가 세정·가죽 처리처럼 고알칼리성 또는 복합 조성 환경에서 산업적 의미를 갖는다는 점을 뒷받침합니다 [1].

다만 가죽용 효소 처리는 “단백질을 많이 분해할수록 좋다”는 방식으로 이해하면 안 됩니다. 가죽의 물성은 콜라겐 섬유 네트워크가 유지될 때 확보됩니다. 효소가 모근과 비구조성 단백질에는 충분히 작용하되, 그레인층과 콜라겐 다발을 과도하게 절단하지 않도록 공정 시간을 관리해야 합니다. 양가

죽 탈모제로 Bacillus cereus TD5B 유래 알칼리성 프로테아제를 적용한 연구처럼, 효소 탈모 연구는 대개 "탈모 효과"와 "피혁 품질 보존"을 함께 평가합니다 [3].

가죽 제조에서 적용되는 주요 단계

수침과 원피 재수화 보조

염장 원피는 수분을 잃고 염분, 혈액성 잔류물, 가용성 단백질, 오염물이 함께 존재합니다. 수침은 이를 다시 물에 적응시키고 후속 공정의 반응성을 확보하는 단계입니다. 알칼리성 엔도프로테아제가 수침 단계에 보조적으로 쓰일 경우, 주된 역할은 콜라겐 골격을 공격하는 것이 아니라 가용성 또는 느슨하게 결합된 단백질성 물질을 부분적으로 절단해 수분 이동과 섬유 팽윤의 균일성을 돕는 것입니다. 가죽 산업 폐수에서 알칼리성 프로테아제 생산균을 선별한 연구는 이러한 효소가 태너리 유래 단백질성 오염물과 알칼리성 환경에 적응한 미생물 대사와 관련됨을 보여 줍니다 [4].

수침 보조에서 중요한 점은 효소가 원피 표면에서만 빠르게 반응하면 표면 세정 효과는 보이더라도 내부 재수화에는 제한이 생길 수 있다는 점입니다. 반대로 수침이 충분히 진행되어 원피가 균일하게 물을 회복하면, 이후 탈모나 베이팅에서 효소가 더 일정하게 확산될 가능성이 커집니다. 따라서 알칼리성 엔도프로테아제는 단독 공정이라기보다 원피의 보존 상태, 염장 정도, 두께, 드럼 또는 패들 장비의 기계적 작용과 함께 이해해야 합니다.

효소 탈모

효소 탈모는 알칼리성 엔도프로테아제의 대표적인 가죽 산업 응용입니다. 전통적인 석회-황화물 탈모는 모발 제거 성능이 강하지만, 황화물 함유 폐수, 악취, 슬러지, 작업환경 부담을 동반합니다. 효소 탈모는 모근 주변 단백질과 모낭 구조를 약화시켜 모발이 피부에서 분리되도록 유도하므로, 화학 탈모제 사용량을 낮추거나 일부 조건에서 대체하는 방향으로 연구되어 왔습니다. 양가죽에서 효소 탈모 후 회수되는 울 가수분해물과 지방을 분석한 연구는, 효소 탈모가 단순히 털을 제거하는 단계를 넘어 부산물 회수와 폐기물 가치화 관점에서도 검토될 수 있음을 시사합니다 [5].

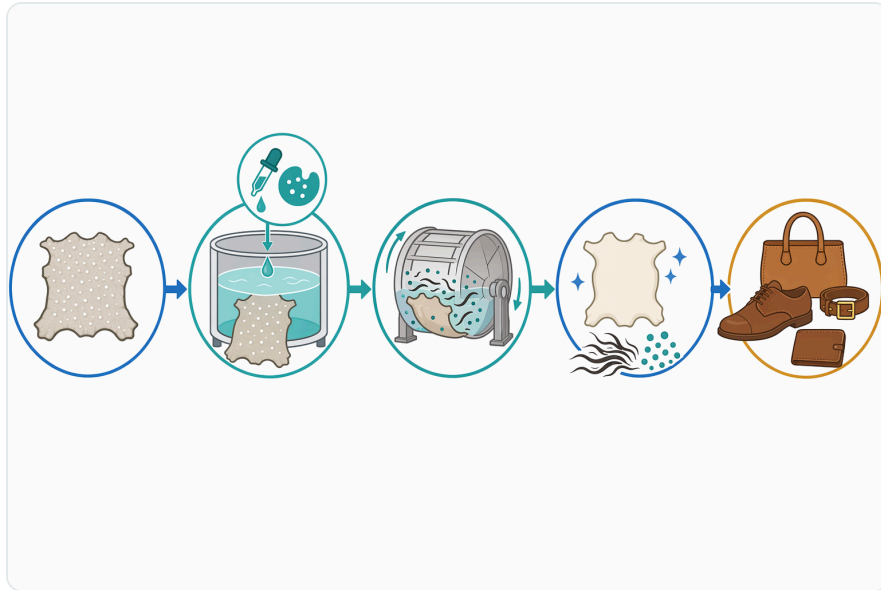


Figure 1. 알칼리성 엔도프로테아제는 주로 제혁 준비공정과 습식 가공 단계에 적합하며, 침수부터 베이팅, 일부 웨트블루 또는 폐기물 처리 공정까지 활용된다.

효소 탈모의 핵심은 모발 자체를 잘라 없애는 것이 아니라 “모근을 붙잡고 있는 단백질성 접착 구조”를 약하게 만드는 것입니다. 모발 케라틴은 비교적 저항성이 높은 단백질이므로, 일반적인 알칼리성 엔도프로테아제의 목표는 모낭 주변의 비케라틴성 단백질과 표피·진피 접합부의 단백질성 매트릭스입니다. 이 부분이 느슨해지면 기계적 회전이나 마찰에 의해 모발이 분리됩니다. *Bacillus cereus* TD5B 유래 알칼리성 프로테아제를 양가죽 탈모제로 적용한 연구는 이러한 효소 기반 접근이 실제 원피 탈모에 사용될 수 있음을 보여 주는 사례입니다 [3].

그러나 효소 탈모는 공정 제어가 더 섬세합니다. 효소 침투가 부족하면 털 뿌리 부분이 남고, 표면에서만 작용하면 불균일 탈모나 표면 손상이 생길 수 있습니다. 특히 두꺼운 원피에서는 효소가 모낭 깊이까지 도달하기 전 표면 단백질이 먼저 분해될 수 있기 때문에, 수침 상태와 기계적 작용이 중요합니다. 효소 탈모가 친환경 공정이라는 이유만으로 모든 화학 처리를 동일하게 대체한다고 보는 것은 적절하지 않으며, 원피 종류와 최종 제품에 따라 효소 단독, 저항화물 병행, 또는 단계적 전환 방식이 선택될 수 있습니다.

베이팅과 섬유 개방

베이팅은 알칼리성 엔도프로테아제가 가장 전통적으로 사용되어 온 가죽 공정 중 하나입니다. 탈회 후 또는 알칼리 조건 조정 중에 남아 있는 비구조성 단백질을 제거하고 콜라겐 섬유 다발 사이의 결합을 완화해, 최종 가죽의 부드러움·유연성·탄성·그레인 세밀도에 영향을 줍니다. 베이팅에서 효소가 충분히 작용하면 섬유 사이 공간이 열리고 후속 태닝제와 염료의 침투가 균일해질 수 있습니다. 최근 식물성 태닝제와 효소 탈모를 함께 검토한 연구처럼, 프로테아제 기반 전처리는 크롬 의존도를 낮추거나 식물성 태닝과 결합하려는 지속가능 가죽 제조 논의와도 연결됩니다 [6].

베이팅의 목적은 콜라겐 섬유를 무너뜨리는 것이 아니라, 섬유를 둘러싼 잔류 단백질성 성분을 조절해 “가죽다운” 촉감과 균일한 내부 구조를 만드는 것입니다. 과도한 베이팅은 강도 저하, 루즈 그레인, 면 손상으로 이어질 수 있습니다. 반대로 베이팅이 부족하면 딱딱하고 탄성이 낮으며 염색이 고르지 않은 결과가 나올 수 있습니다. 따라서 알칼리성 엔도프로테아제는 베이팅에서 촉감 개선용 보조제라기보다, 콜라겐 네트워크 주변의 비구조성 단백질을 선택적으로 조절하는 공정 도구로 보는 것이 정확합니다.

재베이팅과 후속 습식 공정 보정

일부 가죽 제조에서는 wet blue 또는 후속 습식 단계에서 효소적 재처리를 검토합니다. 이 접근은 이미 태닝이 진행된 반제품의 촉감, 두께 방향 균일성, 염료 침투, 재태닝 반응성을 보정하기 위한 목적을 가질 수 있습니다. 효소를 후공정에 적용할 때는 탈모 전 원피와 달리 콜라겐 구조가 이미 안정화되어 있거나 화학적으로 변형되어 있기 때문에, 효소의 접근성과 반응 양상이 달라집니다. 지속 가능한 가죽 및 모피 제품 생산 기술 개선을 다룬 문헌에서도, 효소와 같은 생물공정 기술은 화학적 부담을 낮추는 수단 중 하나로 검토됩니다 [7].

재베이팅에서의 효소 효과는 탈모처럼 눈에 띄는 “털 제거”가 아니라, 촉감·충만감·표면 균일성 같은 품질 지표로 나타나는 경우가 많습니다. 따라서 적용 목적이 분명해야 합니다. 부드러움을 높이려는지, 염색 균일성을 개선하려는지, 두꺼운 부위의 경직을 완화하려는지에 따라 공정 설계가 달라집니다. 알칼리성 엔도프로테아제가 모든 후공정 문제를 해결하는 보편적 첨가제는 아니지만, 단백질성 잔류물과 섬유 간 결합 상태가 품질 병목일 때는 의미 있는 선택지가 됩니다.

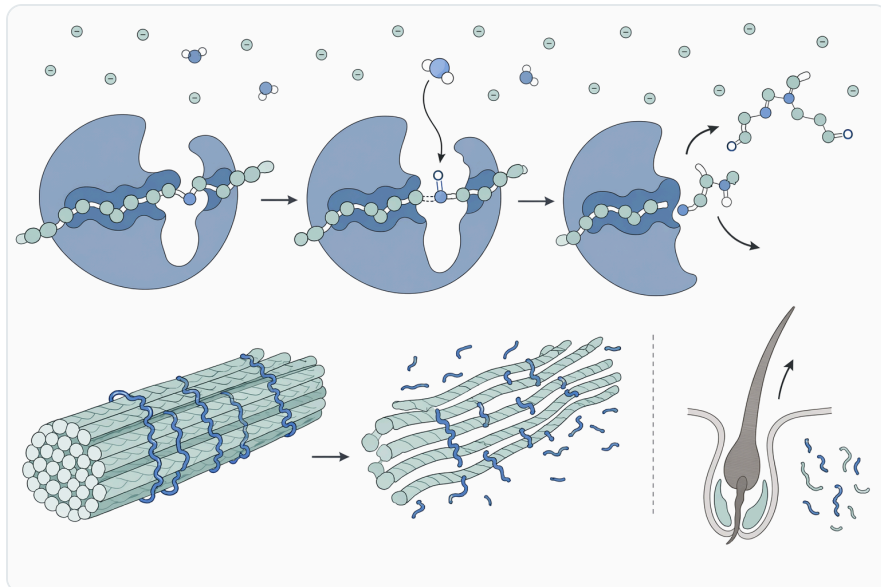


Figure 2. 엔도프로테아제는 접근 가능한 비콜라겐성 단백질의 내부 펩타이드 결합을 절단해, 큰 기질 물질을 원피 구조 밖으로 이동할 수 있는 작은 조각으로 전환한다.

작용 기전: 모근 약화, 비콜라겐 단백질 제거, 콜라겐 보존

내부 절단 방식이 섬유 개방에 유리한 이유

엔도프로테아제는 단백질 사슬 내부 결합을 절단해 고분자 단백질을 더 작은 펩타이드 조각으로 나눕니다. 가죽 원피의 비구조성 단백질은 섬유 사이에 끼어 있거나 모근과 모낭 주변에서 접착 역할을 합니다. 이들이 부분적으로 절단되면 분자량이 낮아지고 물에 더 쉽게 이동하거나 세척될 수 있는 상태가 됩니다. 결과적으로 콜라겐 다발 사이의 물리적 장벽이 낮아지고, 드럼 회전에 따른 기계적 개방 효과가 커집니다. Bacillus 계열 알칼리성 프로테아제가 세제와 가죽 산업용으로 반복 보고되는 이유도, 알칼리 조건에서 단백질성 오염물 또는 매트릭스를 분해하는 능력이 두 분야 모두에서 중요하기 때문입니다 [8].

이 작용은 표면 세척과는 다릅니다. 단순 계면활성제 세정은 지방과 오염물을 분산시키는 데 강점이 있지만, 단백질성 접착 구조를 효소처럼 선택적으로 절단하지는 못합니다. 알칼리성 엔도프로테아제는 모근 주변의 단백질 장벽을 약화시키고, 물리적 움직임이 털을 분리할 수 있는 상태를 만듭니다. 베이팅에서는 같은 원리가 섬유 다발 사이의 단백질 제거와 촉감 조절로 이어집니다.

콜라겐 과분해를 피해야 하는 이유

가죽의 강도, 인열 저항, 형태 안정성은 콜라겐 네트워크에 의존합니다. 효소가 비구조성 단백질만 조절하면 품질이 좋아질 수 있지만, 콜라겐 자체가 과도하게 손상되면 그레인층이 약해지고 물성이 낮아질 수 있습니다. 따라서 알칼리성 엔도프로테아제의 가죽 적용은 "효소 활성화"보다 "선택적 반응과 침투 제어"가 중요합니다. 내열성 알칼리성 프로테아제를 포함한 여러 연구가 가죽 산업 적용을 다루지만, 실제 현장에서는 효소의 안정성뿐 아니라 원피 내부에서 어디까지 작용하는지가 품질을 좌우합니다 [9].

콜라겐 보존은 효소 선택만으로 결정되지 않습니다. 원피가 충분히 수화되지 않았거나, 표면과 내부의 pH 차이가 크거나, 기계적 작용이 불균일하면 효소 반응도 불균일해집니다. 한 부위에서는 탈모가 부족하고 다른 부위에서는 과분해가 생길 수 있습니다. 이 때문에 효소 탈모 또는 베이팅은 단일 투입제가 아니라 습식 공정 전체의 물질 이동, 팽윤, 온도, 시간, 회전 조건과 결합된 기술로 이해해야 합니다.

미생물 유래 효소가 자주 연구되는 배경

산업용 알칼리성 프로테아제 연구에서는 Bacillus 계열이 자주 등장합니다. Bacillus megaterium, Bacillus infantis, Bacillus cereus, Bacillus paramycoides 등 다양한 종에서 알칼리성 또는 내열성 프로테아제가 보고되었고, 이들 연구는 세제·가죽·단백질성 폐기물 처리와 같은 응용을 함께 언급하는 경우가 많습니다 [1]. 이는 Bacillus가 알칼리성 조건에서 분비형 단백질 분해 효소를 생산하는 산업 미생물로 널리 연구되어 왔기 때문입니다.

해양 또는 특수 환경 미생물도 연구 대상입니다. 해조류 관련 *Nocardiopsis dassonvillei* 균주에서 생산된 내열성 알칼리성 프로테아제의 정제·특성·산업 응용 연구는, 알칼리성 프로테아제 자원이 토양 또는 태너리 폐수에만 국한되지 않음을 보여 줍니다 [10]. 특수 환경 유래 효소는 염, 온도, 알칼리성 조건, 계면활성제 존재 등 복합 스트레스에 대한 내성이 기대될 수 있지만, 가죽 적용 가능성은 각 효소의 기질 선택성과 공정 적합성을 함께 보아야 합니다.

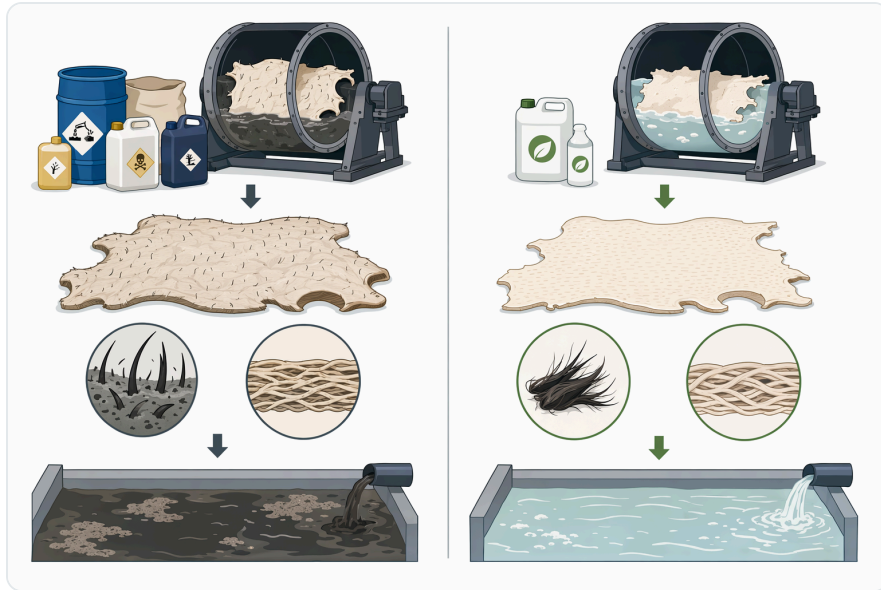


Figure 3. 산성, 중성, 알칼리성 프로테아제는 선호하는 pH 환경과 피혁 습식 가공 조건에 자연스럽게 부합하는 정도가 서로 다르다.

기존 화학 공정과 효소 공정의 비교

알칼리성 엔도프로테아제는 전통적인 화학 공정을 무조건 대체하는 단일 솔루션이라기보다, 화학 부하를 낮추고 품질 제어 폭을 넓히는 생물공정 도구에 가깝습니다. 아래 표는 가죽 탈모·베이팅 관점에서 전통적 화학 중심 공정과 효소 보조 또는 효소 중심 공정의 차이를 정리한 것입니다.

구분	석회-황화물 중심 탈모·화학 베이팅	알칼리성 엔도프로테아제 보조 또는 중심 공정
주요 작용	강한 알칼리와 황화물에 의한 모발·표피 구조 파괴	모근 주변 단백질과 비구조성 단백질의 선택적 가수분해
환경 측면	황화물 폐수, 악취, 슬러지 부담이 커질 수 있음	황화물 및 강한 화학 처리 의존도를 줄이는 방향으로 연구됨
품질 영향	강한 팽윤과 화학 반응으로 공정 안정성은 높지만 과처리 위험 존재	섬유 개방과 촉감 개선 가능성이 있으나 침투·시간 제어가 중요

구분	석회-황화물 중심 탈모·화학 베이팅	알칼리성 엔도프로테아제 보조 또는 중심 공정
공정 민감도	화학 농도와 pH에 크게 의존	원피 수화, 효소 확산, 기계적 작용, 온도·pH 균일성에 민감
적용 위치	탈모, 석회 처리, 탈회, 전통적 베이팅	수침 보조, 탈모, 베이팅, 재베이팅, 단백질성 부산물 처리
한계	환경·작업환경 부담, 폐수 처리 비용	과분해, 불균일 침투, 원피별 조건 차이 관리 필요

염을 사용하지 않는 피클링과 크롬을 쓰지 않는 태닝 기술 연구처럼, 가죽 산업 전반은 폐수 염부하와 중금속 의존도를 낮추는 방향으로 기술 전환을 모색하고 있습니다 [11]. 이 흐름 속에서 알칼리성 엔도프로테아제는 탈모와 베이팅 단계의 단백질 분해를 더 선택적으로 수행함으로써, 빔하우스 공정의 환경 부담을 줄이는 데 기여할 수 있는 기술 중 하나로 위치합니다.

지속가능 가죽 제조에서의 의미

가죽 산업의 환경 문제는 한 가지 화학물질만의 문제가 아닙니다. 수침 염분, 석회와 황화물, 크롬 태닝, 염료와 가지제, 폐수 처리 에너지, 슬러지 관리가 모두 연결됩니다. 효소는 이 중 단백질성 성분 제거가 핵심인 단계에서 화학 반응을 일부 대체하거나 완화할 수 있습니다. 알데하이드-식물성 복합 태닝처럼 크롬 프리 가죽 제조를 목표로 한 최근 연구도, 지속가능 공정이 단일 대체제가 아니라 여러 단계의 화학·생물학적 개선을 조합하는 방식으로 발전하고 있음을 보여 줍니다 [12].

알칼리성 엔도프로테아제의 장점은 특정 단백질성 구조를 비교적 온화한 조건에서 절단할 수 있다는 점입니다. 황화물처럼 전체 모발과 주변 조직을 강하게 붕괴시키는 방식보다, 목표 단백질을 점진적으로 약화시키는 접근이 가능합니다. 이로 인해 폐수 내 황화물 부하를 낮추거나, 모발을 더 온전한 형태로 회수하거나, 부산물의 가치를 높이는 공정 설계가 가능해집니다. 양가죽 효소 탈모에서 울 가수분해물과 지방 회수를 다룬 연구는, 탈모 공정을 폐기물 발생 단계가 아니라 자원 회수 단계로 재해석할 수 있음을 보여 줍니다 [5].

다만 효소 공정도 폐수가 전혀 없거나 환경 영향이 없는 공정은 아닙니다. 단백질이 분해되면 펩타이드와 아미노산성 물질이 액상으로 이동할 수 있고, 이는 생물학적 산소 요구량과 관련될 수 있습니다. 따라서 지속가능성은 효소 사용 여부만으로 판단하기보다 황화물 감소, 슬러지 특성, 부산물 회수, 물 사용량, 후속 폐수 처리 적합성을 함께 검토해야 합니다. 직업보건과 안전 개선을 지속가능 가죽 제조의 핵심 요소로 다룬 연구도, 환경 개선과 작업환경 개선이 동시에 고려되어야 함을 강조합니다 [13].

공정 변수: pH, 온도, 시간보다 중요한 “균일성”

가죽용 알칼리성 엔도프로테아제는 알칼리 조건에서 작동하도록 선택되는 효소군입니다. 그러나 실제 공정 결과는 명목상 pH나 온도보다 원피 내부에서의 균일성이 더 크게 좌우될 수 있습니다. 같은 드럼 안에서 두꺼운 부위와 얇은 부위, 목·배·엉덩이 부위의 구조, 염장 상태, 수침 회복 정도가 다르기 때문입니다. *Bacillus infantis* SKS1에서 얻은 내열성 알칼리성 프로테아제의 특성 연구처럼, 효소 자체의 안정성 연구는 중요하지만, 가죽 현장에서는 원피라는 불균일 기질의 물질 이동이 별도의 변수로 작용합니다 [9].

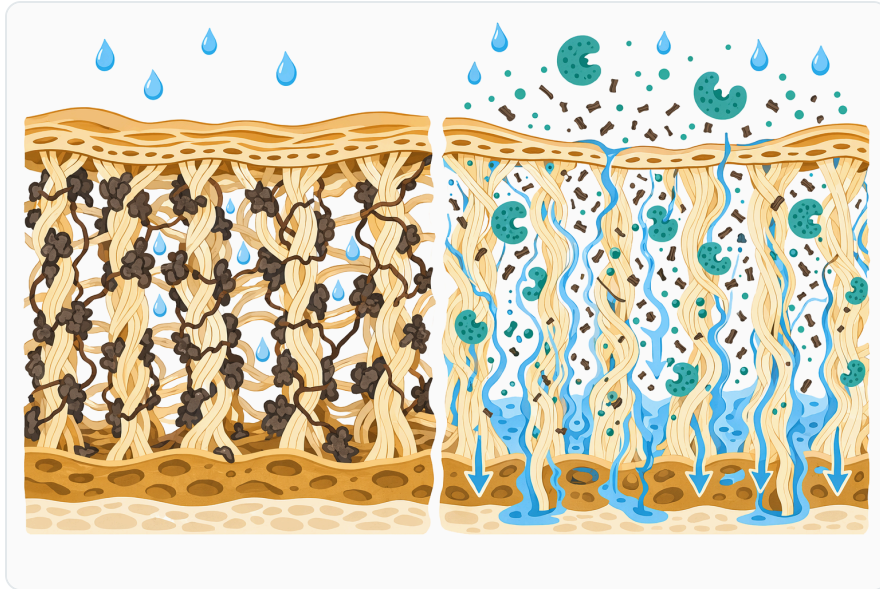


Figure 4. 침수 공정에서 프로테아제에 의한 가수분해는 수분 흡수와 균일한 재수화를 방해하는 용해성 및 약하게 결합된 단백질을 제거하는 데 도움을 준다.

pH는 효소의 전하 상태와 원피 단백질의 팽윤 상태를 동시에 바꿉니다. 알칼리성이 너무 낮으면 알칼리성 프로테아제의 반응성이 충분히 발현되지 않을 수 있고, 너무 강한 알칼리 팽윤은 원피 구조와 효소 확산 양상을 바꿀 수 있습니다. 온도도 마찬가지입니다. 온도가 높아지면 효소 반응은 빨라질 수 있지만, 원피 구조 변화와 미생물 안정성, 공정 안전성을 함께 고려해야 합니다. 내열성 알칼리성 프로테아제가 연구되는 이유는 이러한 공정 변동성을 견디는 효소가 산업적으로 유리하기 때문입니다 [10].

시간은 과소 처리와 과처리를 가르는 직접 변수입니다. 탈모에서 시간이 부족하면 모근이 남고, 베이팅에서 시간이 부족하면 섬유 개방이 제한됩니다. 반대로 시간이 길면 콜라겐 주변 구조까지 과도하게 약화될 수 있습니다. 따라서 효소 공정은 “강하게 오래”가 아니라 “목표 단백질이 충분히 약화되는 지점에서 멈추는” 방식으로 설계되어야 합니다.

기계적 작용도 효소 공정의 일부입니다. 드럼 회전, 패들링, 원피 간 마찰은 효소가 도달한 부위에서 약화된 모발과 단백질성 잔류물을 실제로 분리하는 힘을 제공합니다. 효소가 화학적 가위라면, 드럼 작용은 절단된 구조를 열고 씻어 내는 물리적 힘입니다. 이 둘의 균형이 맞지 않으면 효소가 충분히 작용해도 제거가 늦거나, 반대로 기계적 충격이 지나쳐 그레인 손상이 커질 수 있습니다.

원피 종류별 고려점

소가죽, 염소가죽, 양가죽은 두께와 모낭 구조, 지방 함량, 섬유 치밀도가 다릅니다. 소가죽은 두껍고 부위별 차이가 커서 효소 침투 균일성이 중요합니다. 염소가죽은 상대적으로 얇지만 그레인 품질이 민감해 표면 과분해를 주의해야 합니다. 양가죽은 울 또는 털 회수, 지방성 부산물, 모낭 밀도와 관련된 변수가 큽니다. 양가죽 효소 탈모 연구가 별도로 수행되는 이유도, 원피별 구조가 효소 반응과 부산물 회수 방식에 직접 영향을 주기 때문입니다 [3].

보존 상태 역시 중요합니다. 염장 원피는 수분 회복이 충분해야 효소가 균일하게 이동할 수 있습니다. 건조 또는 부분 부패가 진행된 원피는 단백질 구조가 이미 변형되어 효소 반응이 예측과 다를 수 있습니다. 지방 함량이 높은 원피에서는 탈지와 효소 베이팅의 순서, 계면활성제 존재, 지방막에 의한 효소 접근 제한이 문제가 될 수 있습니다. 이런 변수들은 효소 제품 자체의 성능과 별개로 공정 결과를 바꾸는 실무적 요인입니다.

또한 최종 제품의 목표가 다르면 효소 처리 강도도 달라져야 합니다. 부드러운 의류용 가죽, 견고한 신발 갑피, 장갑용 얇은 가죽, 가구용 가죽은 요구 물성이 다릅니다. 알칼리성 엔도프로테아제는 섬유 개방과 촉감에 영향을 주지만, 그 결과가 항상 같은 방향으로 "좋다"고 말할 수는 없습니다. 부드러움이 필요한 제품에는 장점이 될 수 있는 변화가, 형태 안정성과 촉만감이 중요한 제품에는 과처리로 평가될 수 있습니다.

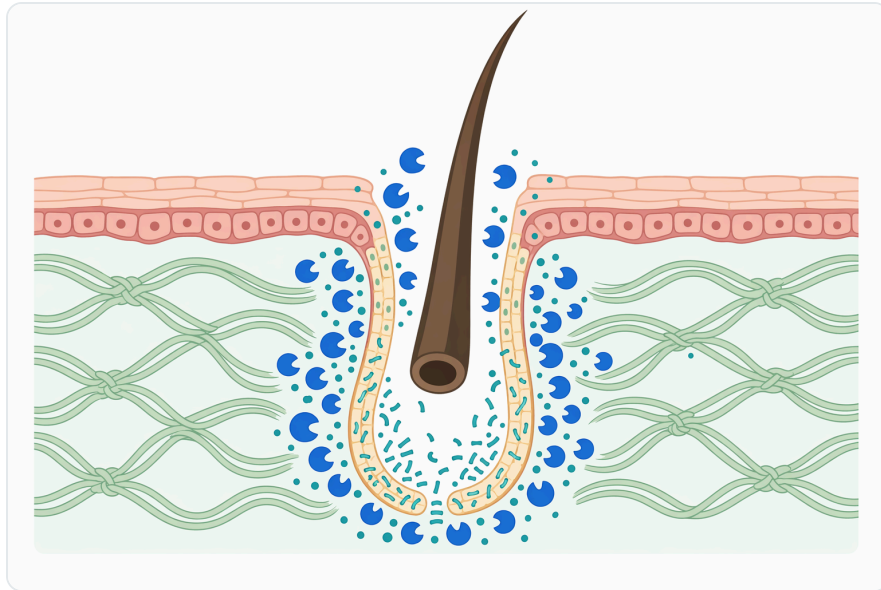


Figure 5. 효소 탈모는 모간 전체를 용해하기보다 모낭과 표피의 고정 단백질을 약화시켜 털이 빠지도록 할 수 있다.

효소 기술과 크롬 프리·식물성 태닝 흐름의 연결

최근 가죽 산업에서는 크롬 프리 태닝, 식물성 태닝, 바이오 기반 가교제, 염부하 감소 기술이 함께 연구되고 있습니다. 밤나무 추출물과 같은 식물성 태닝제를 효소 탈모 공정과 함께 검토한 연구는, 빔하우스 단계의 효소 기술과 태닝 단계의 대체 화학이 별개가 아니라 하나의 지속가능 공정 체계 안에서 연결될 수 있음을 보여 줍니다 ^[6].

효소 처리가 태닝과 연결되는 이유는 섬유 개방과 침투성 때문입니다. 태닝제가 콜라겐 섬유 내부까지 균일하게 이동해야 열안정성, 충만감, 염색성, 촉감이 안정됩니다. 비구조성 단백질이 과도하게 남아 있으면 태닝제 침투가 방해될 수 있고, 반대로 효소가 과도하게 작용하면 섬유 구조가 약해질 수 있습니다. 따라서 크롬 프리 또는 식물성 태닝을 검토하는 공정에서는 효소 베이팅의 정도가 태닝제 선택만큼 중요해질 수 있습니다.

바이오매스 유래 dialdehyde carboxymethyl cellulose와 미모사 탄닌을 활용한 크롬 프리 복합 태닝 연구처럼, 지속가능 태닝은 콜라겐과의 결합 방식, 가교 밀도, 식물성 폴리페놀의 침투성을 함께 다룹니다 ^[12]. 이러한 태닝 시스템에서 전처리 효소가 섬유 다발을 어떻게 열어 주는지는 최종 품질과 연결될 수 있습니다. 즉 알칼리성 엔도프로테아제는 탈모제나 베이팅제의 범위를 넘어, 대체 태닝 기술이 안정적으로 작동할 수 있는 원피 구조를 만드는 전처리 도구로도 볼 수 있습니다.

Enzymes.bio 제품으로서의 위치

Enzymes.bio의 Alkaline Endo-Proteases For Leather Industry는 가죽 습식 공정에서 단백질성 성분 조절을 검토하는 기업 고객을 위한 효소 공급 품목입니다. Enzymes.bio는 제조사나 시험기관이 아니며, 특정 공장의 공정 설계·분석·성능 보증을 대신 수행하지 않습니다. 제품은 온라인에서 1 kg 단위로 직접 구매할 수 있고, 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다.

이 제품은 가죽 탈모, 베이팅, 수침 보조, 재베이팅 등 단백질 분해가 품질과 환경부하에 영향을 주는 단계에서 검토될 수 있습니다. 다만 효소는 원피 상태와 공정 조건에 따라 결과가 달라지는 생물 촉매입니다. 따라서 제품 설명은 특정 활성 단위, 분석법, 등급, 단위 정의를 중심으로 이해하기보다, 알칼리 조건에서 비구조성 단백질을 조절하는 효소군이라는 기능적 관점에서 읽는 것이 적절합니다.

기대 효과와 현실적 한계

알칼리성 엔도프로테아제의 가장 큰 기대 효과는 화학 부하 감소와 섬유 구조 제어입니다. 탈모 단계에서는 황화물 의존도를 낮추는 방향으로, 베이팅 단계에서는 비구조성 단백질 제거와 촉감 개선 방향으로, 후속 습식 공정에서는 침투성·균일성 개선 방향으로 작용할 수 있습니다. *Bacillus paramycoides* WSA 유래 알칼리성 프로테아제의 생산 최적화 연구처럼, 알칼리성 프로테아제는 세계 산업뿐 아니라 단백질성 오염물 제거와 지속가능 공정 설계에서 계속 연구되는 효소군입니다 [8].



Figure 6. 털, 양모, 육편, 절단 부산물, 슬러지 분획과 같은 단백질을 풍부한 잔류물은 더 쉽게 취급하거나 추가 가공할 수 있도록 작은 펩타이드가 풍부한 물질로 가수분해될 수 있다.

현실적 한계도 명확합니다. 첫째, 효소가 원피 내부로 균일하게 침투하지 못하면 탈모와 베이팅이 불균일해질 수 있습니다. 둘째, 과도한 효소 반응은 콜라겐 주변 구조를 손상시켜 그레인 결함이나 물성 저하로 이어질 수 있습니다. 셋째, 원피 종류와 보존 상태, 장비, 공정 순서가 달라지면 같은 효소라도 결과가 달라질 수 있습니다. 넷째, 효소 공정은 화학 공정의 모든 환경 문제를 자동으로 해결하지 않으며, 폐수와 부산물 관리가 함께 설계되어야 합니다.

그럼에도 알칼리성 엔도프로테아제는 가죽 산업에서 의미 있는 도구입니다. 지속가능 가죽 제조 연구가 염 무침가 피클링, 크롬 프리 태닝, 효소 처리, 작업환경 개선, 폐수 저감으로 확장되는 가운데, 단백질성 성분을 선택적으로 분해하는 효소는 빔하우스 공정의 핵심 개선 수단 중 하나입니다 [11]. 특히 섬유 개방과 탈모를 더 온화하게 달성하려는 공정에서는, 알칼리성 엔도프로테아제가 기존 화학 처리의 강도를 낮추는 실질적 선택지가 될 수 있습니다.

정리: 가죽 공정에서 알칼리성 엔도프로테아제를 보는 정확한 관점

알칼리성 엔도프로테아제는 가죽 제조에서 모근 주변 단백질과 비콜라겐성 단백질을 내부 절단해 탈모, 베이팅, 섬유 개방을 돕는 알칼리 조건용 효소입니다. 연구 문헌은 Bacillus, Nocardiosis 등 다양한 미생물 유래 알칼리성 프로테아제가 가죽 산업 및 세제 산업과 연결되어 있음을 보여 주며, 효소 탈모와 베이팅은 환경 부담 저감과 품질 제어라는 두 목표 사이에서 계속 발전하고 있습니다 [10].

가장 중요한 실무적 이해는 “효소가 강할수록 좋다”가 아니라 “필요한 위치에서 필요한 만큼 작용해야 한다”는 점입니다. 모근 주변과 비구조성 단백질은 충분히 약화되어야 하지만, 콜라겐 골격은 보존되어야 합니다. 이 균형이 맞을 때 알칼리성 엔도프로테아제는 석회-황화물 중심 탈모의 부담을 낮추고, 베이팅 품질을 개선하며, 후속 태닝·염색 공정의 균일성을 높이는 데 기여할 수 있습니다.

Enzymes.bio의 Alkaline Endo-Proteases For Leather Industry는 이러한 목적에 맞춰 검토할 수 있는 1 kg 온라인 구매 효소 품목입니다. 제조사나 실험실 서비스가 아니라 공급 품목으로 이해해야 하며, 주문 시 제공되는 CoA와 SDS는 제품 취급과 문서 관리에 필요한 기본 자료입니다. 효소는 가죽 공정의 화학을 완전히 없애는 만능 대체제가 아니라, 더 제어된 단백질 분해와 더 낮은 환경 부담을 목표로 하는 현대적 습식 공정의 실무적 도구입니다.

Alkaline Endo-Proteases For Leather Industry 온라인 주문

1kg 단위로 판매되며 재고 보유, 즉시 출고됩니다. 온라인 스토어에서 바로 결제하시면 주문을 처리해 드립니다. 모든 주문에는 시험성적서(CoA)와 물질안전보건자료(SDS)가 포함됩니다.

[Alkaline Endo-Proteases For Leather Industry 구매하기 →](#)

참고문헌

최초 인용 순서로 번호를 매겼습니다. 모든 출처는 발행 시점에 접근 가능 여부를 확인한 오픈 액세스 자료이며, 본문의 인용 번호가 이곳으로 연결됩니다.

1. Manavalan, T., Manavalan, A., Ramachandran, S., & Heese, K. (2020). Identification of a Novel Thermostable Alkaline Protease from Bacillus megaterium-TK1 for the Detergent and Leather Industry. *Biology*, 9.
2. Masi, C., Gemechu, G., & Tafesse, M. (2021). Isolation, screening, characterization, and identification of alkaline protease-producing bacteria from leather industry effluent. *Annals of Microbiology*, 71.
3. Fitriyanto, N., Musthofiyah, M., Muhlisin, M., Pertiwiningrum, A., Kurniawati, N., Prasetyo, R. A., Azkariahman, A. R., ... et al. (2021). Enzymatic activity of alkaline protease from Bacillus cereus TD5B and its application as sheep skin dehairing agent. *Leather and Footwear Journal*.
4. Masi, C., & Gemechu, G. (2021). Isolation, Screening, Characterization and Identification of Alkaline Protease Producing Bacteria from Leather Industry Effluent.
5. Chebon, S., Wanyonyi, W. C., Onyari, J., Maru, S. M., & Mulaa, F. (2023). Enzymatic dehairing of sheep skin: Recovery and characterization of commercially important wool hydrolysate and fats. *European journal of sustainable development research*.
6. Parameswari, A. A., Pertiwiningrum, A., & Erwanto, Y. (2024). Study of Alkaline Protease in Dehairing Process and Chestnut as Vegetable Tanning Agent. *IOP Conference Series: Earth and Environment*, 1360.
7. Temirova, G., Tashpulatov, S., Tyurin, I., Kudratov, S., & Subkhonova, I. (2024). Methods for improving sustainable technology for the production of leather and fur products. *E3S Web of Conferences*.
8. Alshehri, W., Alhothifi, S. A., Khalel, A. F., Alqahtani, F. S., Hadrich, B., & Sayari, A. (2025). Production optimization of a thermostable alkaline and detergent biocompatible protease by Bacillus paramycoides WSA for the green detergent industry. *Scientific Reports*, 15.
9. Saggi, S. K., & Mishra, P. (2017). Characterization of thermostable alkaline proteases from Bacillus infantis SKS1 isolated from garden soil. *PLoS ONE*, 12.
10. Majithiya, V., Ghoghari, A. M., & Gohel, S. (2025). Purification, characterization, structural elucidation, and industrial applications of thermostable alkaline protease produced by seaweed-associated Nocardioopsis dassonvillei strain VCs-4. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141147 .
11. Liu, X., Wang, Y., Wang, X., Han, T., Wang, W., & Jiang, H. (2022). A Salt-free Pickling and Chrome-free Tanning Technology: Sustainable Approach for Cleaner Leather Manufacturing. *Green Chemistry*.
12. Bastanian, M., Olad, A., & Ghorbani, M. (2025). Sustainable chrome-free leather manufacturing through the aldehyde-vegetable combination tanning method based on biomass-derived dialdehyde carboxymethyl cellulose and mimosa tannin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 306 Pt 2, 141554 .
13. Hamja, A., Marma, M., Haq, M. M., Mustafa, M. A., Morshed, M. S., Ahsan, D., & Vang, J. (2025). A systematic review of occupational health and safety improvements in sustainable leather manufacturing practices. *Discover Sustainability*, 6.


Enzymes.bio 문의

주문에 관해 궁금한 점이 있으신가요? 기꺼이 도와드리겠습니다.


이메일 wholesale@enzymes.bio

전화 (미국) **+1 (507) 428-6057**

[문의하기 →](#)

 **400+** B2B 고객사

 **60+** 대학 연구 파트너

 **54** 전 세계 54개국 공급

© 2026 Enzymes.bio · 산업용 및 식품 가공용 효소 공급 · 인체 섭취 또는 소매 판매용이 아님