

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber: 산성 셀룰라아제의 섬유 가수분해·추출·바이오폴리싱 응용

Enzymes.bio 연구팀 · 뉴질랜드 웰링턴 · June 17, 2026

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber는 산성 조건에서 셀룰로오스의 β -1,4-글리코시드 결합을 효소적으로 절단해 식물성 섬유의 구조를 완화하거나 당화하는 셀룰라아제 제품입니다. 과일·식물 추출, 리그노셀룰로오스 바이오매스 처리, 면직물 바이오폴리싱, 재생지 탈묵, 사료·사일리지 보조 공정처럼 "섬유가 유용 성분 방출이나 표면 품질을 방해하는" 공정에서 특히 유용합니다. Enzymes.bio는 제조사나 시험기관이 아니라 온라인 공급업체이며, 해당 제품은 1 kg 단위로 직접 구매할 수 있고 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다.

산성 셀룰라아제가 처리하는 대상: 셀룰로오스 섬유의 구조적 장벽

셀룰로오스는 포도당 단위가 β -1,4 결합으로 길게 연결된 선형 고분자이며, 식물 세포벽·면섬유·농업 부산물·펄프·식이섬유 원료의 핵심 골격을 이룹니다. 문제는 이 구조가 수소결합과 결정성 영역을 통해 단단히 배열되어 있어 물, 추출 용매, 미생물, 다른 효소가 원료 내부로 접근하는 것을 제한한다는 점입니다. 최근 미생물 셀룰라아제 리뷰도 셀룰라아제가 식품, 사료, 섬유, 제지, 바이오연료 등 여러 산업에서 이 셀룰로오스 장벽을 제어하는 핵심 효소군이라고 정리합니다 ^[1].

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber의 핵심 용도는 "섬유를 무조건 녹이는 것"이 아니라 산성 공정에서 셀룰로오스 표면과 내부 접근성을 조절하는 것입니다. 과일 매시에서는 세포벽을 느슨하게 만들어 주스·색소·폴리페놀 방출을 돕고, 바이오매스에서는 전처리된 셀룰로오스를 발효 가능한 당으로 전환하는 데 기여하며, 면직물에서는 표면 보풀과 미세 섬유를 완만하게 제거해 촉감과 외관을 바꿉니다. 셀룰라아제 보조 추출 연구들은 식물성 부산물에서 펙틴, 폴리페놀, 단백질, 식이 섬유 특성이 효소 처리에 의해 달라질 수 있음을 보여주며, 이는 세포벽 분해가 단순한 당화뿐 아니라 물질 이동 개선에도 중요하다는 점을 뒷받침합니다 ^[2].

산성 조건이라는 특징은 과일·베리류·포도 부산물·일부 식물 추출 슬러리·산 전처리 바이오매스처럼 원료 자체가 산성이거나 전처리 후 산성 환경을 갖는 공정에서 실무적 의미가 큼니다. 산성 셀룰라아제는 이러한 조건에서 셀룰로오스에 작용하도록 선택되는 효소군이며, 중성 또는 알칼리성 공정

용 셀룰라아제와 동일하게 취급해서는 안 됩니다. *Schizophyllum commune* 유래 셀룰라아제 연구처럼 산성·알칼리성 및 열 조건 내성을 함께 평가한 문헌도 있으며, 이는 셀룰라아제의 적용성이 pH와 온도 안정성에 크게 좌우됨을 보여줍니다 [3].

작동 기전: 한 가지 절단이 아니라 세 단계의 협동 가수분해

셀룰라아제는 보통 단일 반응만 수행하는 효소라기보다 여러 기능 성분이 협동하는 시스템으로 이해하는 것이 정확합니다. 엔도글루카나아제는 셀룰로오스 사슬 내부의 접근 가능한 비결정성 영역을 절단해 새로운 사슬 말단을 만들고, 셀로비오하이드롤라아제는 이 말단에서 셀로비오스 같은 짧은 올리고당을 순차적으로 떼어냅니다. 마지막으로 β -글루코시다아제는 셀로비오스와 짧은 셀로올리고당을 포도당으로 전환해 생성물 축적에 따른 저해를 줄이고 당화의 완결성을 높입니다 [1].

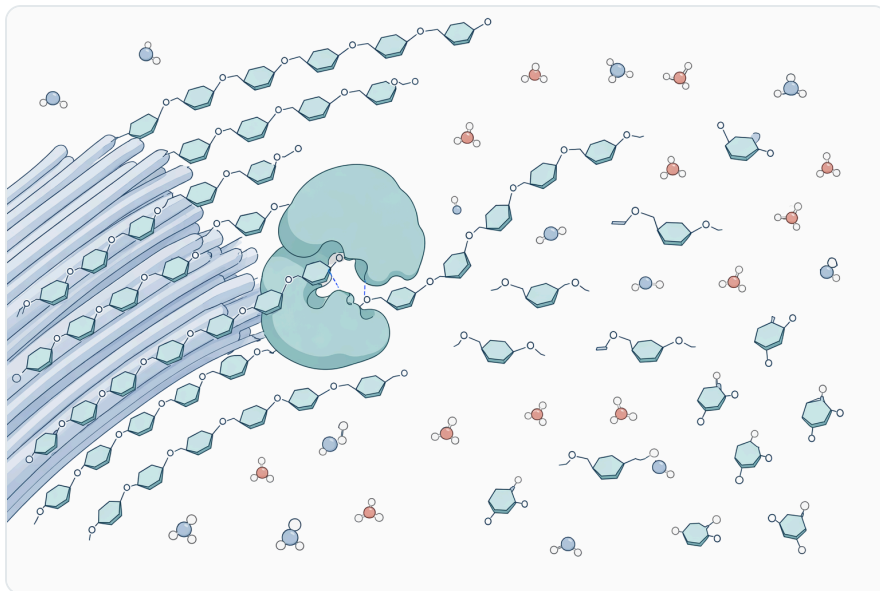


Figure 1. 산성 셀룰라아제는 수화된 셀룰로오스에서 접근 가능한 베타-1,4 결합을 가수분해해 사슬을 짧게 만들고 식물 섬유 네트워크를 약화시킵니다.

이 협동 작용 때문에 실제 식물성 원료에서는 “셀룰로오스가 존재한다”는 사실만으로 반응성이 결정되지 않습니다. 결정성 셀룰로오스는 효소가 결합할 수 있는 표면이 제한적이고, 리그닌과 헤미셀룰로오스는 셀룰라아제의 접근을 물리적으로 막거나 비생산적 흡착을 유발할 수 있습니다. 메타게놈 유래 신규 셀룰라아제가 결정성 셀룰로오스 분해를 향상시킨 연구는, 셀룰로오스의 결정성 및 효소 접근성이 가수분해 성능을 좌우하는 핵심 변수라는 점을 잘 보여줍니다 [4].

산성 셀룰라아제의 실무적 효과는 이 미세한 절단들이 누적되어 나타납니다. 과일 또는 식물 추출에서는 세포벽 네트워크가 느슨해져 세포 내 성분이 빠져나오고, 섬유에서는 돌출된 표면 피브릴이 제거되어 보풀과 필링 가능성이 줄어듭니다. 바이오매스 당화에서는 셀룰로오스 사슬이 짧아지고 포

도당 또는 발효 가능한 당류로 전환되어 젖산, 에탄올, 부탄올 같은 후속 발효 공정의 탄소원이 됩니다. *Lactobacillus bulgaricus*를 이용한 동시당화발효 연구는 리그노셀룰로오스 전환에서 셀룰라아제 사용량과 발효 미생물 성능이 함께 공정 효율을 결정할 수 있음을 보여줍니다 [5].

산성 조건이 유리한 공정과 그렇지 않은 공정

산성 셀룰라아제는 과일, 포도 부산물, 산 전처리 식물성 잔사처럼 이미 낮은 pH 영역에 있는 원료에서 공정 조정 부담을 줄일 수 있습니다. 예를 들어 포도 부산물에서 항산화 폴리페놀을 회수하는 효소 보조 추출 연구는 세포벽 분해 효소와 추출 조건이 유용 성분 회수에 영향을 준다는 점을 다루며, 산성 식물성 매트릭스에서 효소 선택이 추출 효율과 직접 연결될 수 있음을 시사합니다 [6].

반대로 알칼리 세제, 강알칼리 펄핑 단계, 고온 알칼리 세척처럼 pH가 높은 공정에서는 산성 셀룰라아제가 최적 선택이 아닐 수 있습니다. 이 경우에는 알칼리 안정성, 계면활성제 내성, 산화제 내성 같은 별도 특성이 더 중요해집니다. 크라프트 흑액에서 고순도 리그닌을 얻기 위해 알칼리 내성 자일라아제와 셀룰라아제를 사용한 연구는, 알칼리성 공정에는 산성용 효소가 아니라 해당 환경에 맞는 효소 안정성이 요구됨을 보여줍니다 [7].

또한 산성이라는 조건이 항상 “강한 분해”를 의미하지는 않습니다. 효소 반응은 pH뿐 아니라 기질의 입자 크기, 수분, 전처리 정도, 교반, 반응 시간, 생성물 축적, 리그닌 함량에 영향을 받습니다. 산 전처리 옥수수대에서 셀룰라아제 활성 저해 요인을 줄이려는 연구는, 전처리 부산물과 억제물질이 효소 가수분해를 제한할 수 있음을 보여주며 산성 공정에서도 기질 화학이 중요하다는 점을 강조합니다 [8].

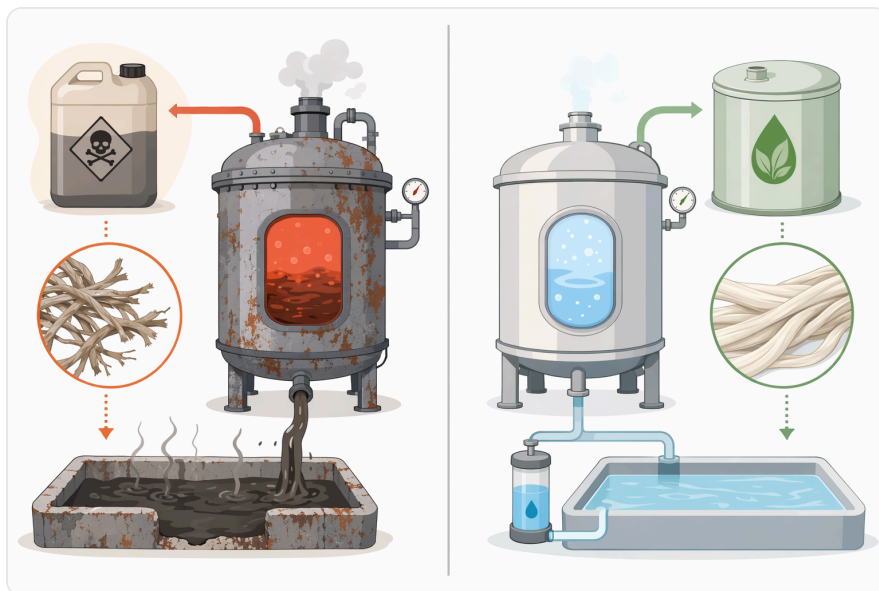


Figure 2. 산성, 중성, 알칼리성 셀룰라아제는 공정의 pH 화학 조건과 해당 조건에 대한 기질의 내성에 따라 선택됩니다.

주요 응용 분야 비교

아래 표는 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber가 산성 또는 약산성 섬유 처리 공정에서 어떤 방식으로 쓰일 수 있는지 정리한 것입니다. 표는 조달 체크리스트가 아니라 공정 이해를 돕기 위한 비교입니다.

| 응용 분야 | 주요 기질 | 셀룰라아제의 역할 | 기대되는 공정 효과 | 주의할 점 |
|-------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| 과일·주스·와인 가공 | 과일 매시, 포도 부산물, 껍질 조직 | 세포벽 셀룰로오스 완화 | 착즙성, 색·향·폴리페놀 방출, 여과성 개선 가능 | 펙틴·헤미셀룰로오스도 함께 영향 |
| 식물 추출 | 식물 분말, 껍질, 잎, 부산물 | 세포벽 개방 및 용매 접근성 향상 | 기능성 성분 회수 보조 | 목표 성분의 산·열 안정성 고려 |
| 바이오매스 당화 | 전처리 볏짚, 바가스, 목질계 잔사 | 셀룰로오스 사슬 절단 및 당화 | 발효 가능한 당 생성 | 리그닌·억제물질·고형분 부하 영향 |
| 면직물·데님 | 면섬유 표면 피브릴 | 표면 미세섬유 제거 | 바이오폴리싱, 보풀 감소, 촉감 개선 | 과처리 시 강도 저하 가능 |
| 재생지·탈묵 | 폐지 섬유, 잉크 부착 섬유 | 섬유 표면 변형 | 잉크 분리와 배수성 개선 가능 | 섬유 단축·과분해 방지 |
| 사료·사일리지 | 목초, 옥수수대, 식물성 조사료 | 세포벽 분해 보조 | 발효 품질·영양소 접근성 개선 가능 | 미생물 접종, 수분, 원료 조성 영향 |

과일·식물 추출에서의 역할: 세포벽을 열어 물질 이동을 개선

과일과 식물성 부산물은 셀룰로오스, 펙틴, 헤미셀룰로오스, 단백질, 리그닌성 물질이 얽힌 세포벽 구조를 갖습니다. 이 구조가 유지되면 주스, 색소, 방향 성분, 폴리페놀, 펙틴 같은 유용 성분이 조직 안에 남거나 추출 시간이 길어집니다. 피타야 껍질에서 셀룰라아제 보조 추출로 펙틴 수율을 극대화하려는 연구는, 셀룰라아제가 펙틴 자체를 주요소로 분해한다기보다 세포벽의 셀룰로오스 장벽을 완화해 회수 공정에 기여할 수 있음을 보여줍니다 [2].

포도 부산물과 같은 산성 식물 매트릭스에서도 셀룰라아제는 폴리페놀 회수와 관련된 물질 이동을 개선하는 보조 효소로 해석할 수 있습니다. Pisco 포도박에서 항산화 폴리페놀을 회수하는 효소 보조 추출 연구는 효소 처리와 가압액 추출 조건을 함께 검토했으며, 식물 부산물의 지속가능한 고부가가치에서 세포벽 효소가 중요한 도구가 될 수 있음을 보여줍니다 [6].

식물성 단백질 또는 식이섬유 원료에서도 셀룰라아제 처리는 구조와 기능성을 바꿀 수 있습니다. 팜 커널 단백질의 효소 보조 추출 연구는 효소 처리가 단백질의 구조적·기능적 특성에 영향을 줄 수 있음을 다뤘고, 코코넛 케이크 식이섬유 연구는 셀룰라아제 가수분해, 산 처리, 입자 크기 분포가 물리·화학적·기능적 특성을 변화시킬 수 있음을 보여줍니다 [9], [10]. 이는 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber가 단순히 당을 만들기 위한 효소가 아니라 식물성 소재의 기능성 조절에도 연결될 수 있음을 의미합니다.

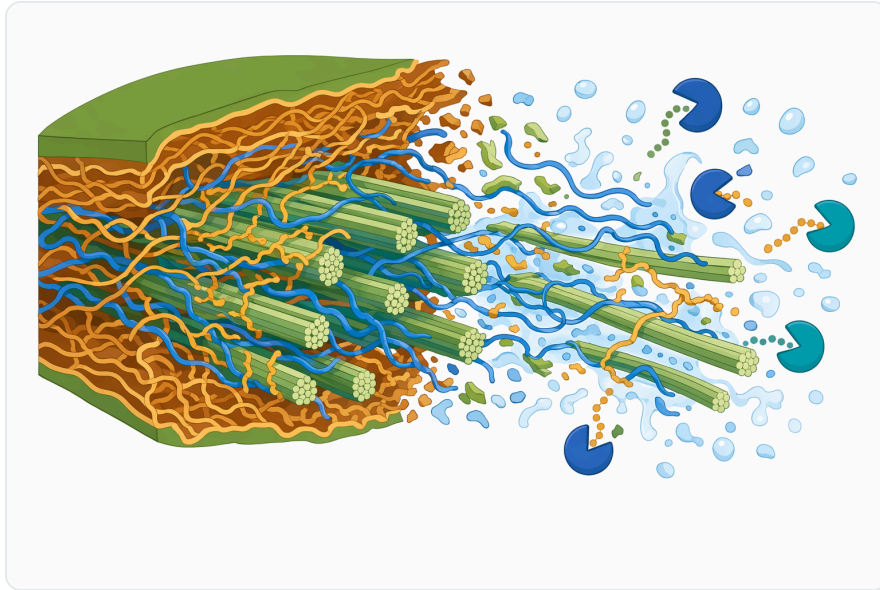


Figure 3. 전처리, 수화, 물리적 파쇄는 산성 셀룰라아제가 접근할 수 있는 셀룰로오스 부위의 수를 늘립니다.

바이오매스 당화: 산 전처리 후 셀룰로오스 접근성을 활용

리그노셀룰로오스 바이오매스는 셀룰로오스 함량이 높지만, 자연 상태에서는 효소 접근성이 낮습니다. 산, 열, 산화, 기계적 처리 등으로 리그닌·헤미셀룰로오스 장벽을 일부 제거한 뒤 셀룰라아제를 투입하면 셀룰로오스 사슬이 짧은 당류와 포도당으로 전환됩니다. 사탕수수 바가스의 산 전처리 후 당화 조건을 다룬 연구는, 전처리된 농업 부산물이 셀룰라아제 생산·당화 평가의 대표 기질로 사용될 만큼 바이오매스 전환에서 셀룰라아제가 핵심이라는 점을 보여줍니다 [11].

고형분 농도가 높은 슬러리에서는 효소가 기질 표면에 도달하기 어렵고, 점도와 혼합 문제가 커집니다. 아세트산-과산화물 또는 아세트산 전처리 포플러의 고고형분 효소 가수분해 및 셀룰라아제 재이용 연구는, 실제 바이오매스 공정에서 효소 투입만큼이나 고형분 부하, 전처리 방식, 효소 회수 전략이 중요하다는 점을 보여줍니다 [12].

발효와 결합한 공정에서는 셀룰라아제가 만든 당을 미생물이 즉시 소비하므로 생성물 저해가 완화될 수 있습니다. 리그노셀룰로오스에서 D-젖산을 만들기 위한 동시당화발효 연구는 미생물 적응과 셀룰라아제 사용량 절감이 함께 논의될 수 있음을 보여주며, 효소 반응과 발효 생리의 균형이 공정

경제성에 연결됨을 시사합니다 [5].

섬유·데님 가공: 면 표면을 선택적으로 다듬는 바이오폴리싱

면섬유는 셀룰로오스가 주성분이므로 셀룰라아제의 직접 기질이 됩니다. 그러나 섬유 가공에서 목표는 천 전체를 약하게 만드는 것이 아니라 표면의 돌출된 피브릴과 보풀을 제한적으로 제거하는 것입니다. Thermotolerant *Bacillus subtilis* F3 유래 셀룰라아제 연구는 면직물 폴리싱 활성을 함께 평가했으며, 셀룰라아제가 직물 표면 품질 개선에 적용될 수 있음을 보여줍니다 [13].

Bacillus amyloliquefaciens M7 유래 내열성 셀룰라아제 연구 역시 합성·최적화·특성 평가와 함께 바이오폴리싱 활성을 다루었습니다. 이러한 문헌들은 셀룰라아제의 섬유 응용이 단순한 이론이 아니라 면 표면 개질, 보풀 감소, 촉감 조절이라는 구체적 공정 목표와 연결된다는 점을 뒷받침합니다 [14].

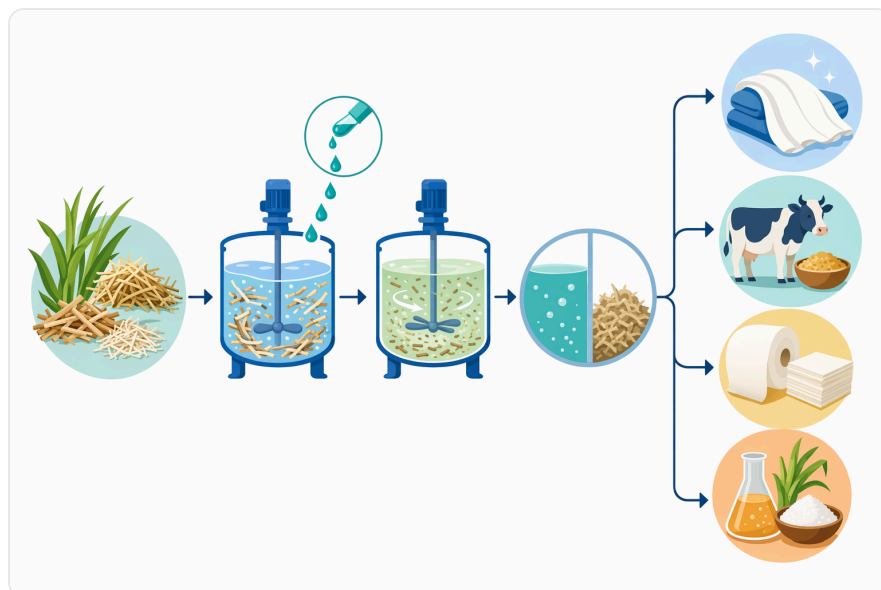


Figure 4. 바이오매스 전환에서는 전처리를 통해 잔류물 구조를 열고, 셀룰라아제가 수용성 당을 방출하며, 이후 발효나 축매 공정을 통해 그 당을 바이오 기반 제품으로 전환합니다.

다만 산성 셀룰라아제의 섬유 응용에서는 반응 강도 관리가 중요합니다. 처리 시간이 길거나 물리적 마찰이 과하면 표면 피브릴 제거를 넘어 실 강도 저하, 중량 손실, 색상 변화가 나타날 수 있습니다. 따라서 데님 워싱이나 면직물 바이오폴리싱에서는 효소 반응과 기계적 마찰이 함께 작동한다는 점을 고려해야 하며, “더 많이 분해할수록 좋다”는 접근은 적합하지 않습니다.

펄프·제지와 탈묵: 섬유 표면과 잉크 분리성 조절

재생지 공정에서 잉크는 섬유 표면, 미세섬유, 충전제와 복잡하게 결합합니다. 셀룰라아제는 섬유 표면의 미세 구조를 완화해 잉크 입자 분리를 돕고, 부상 탈묵 또는 세척 단계의 효율을 높이는 데 기여할 수 있습니다. 폐지 탈묵에서 세균성 셀룰라아제를 효과적인 효소 촉매로 사용한 연구는 생물학적 탈묵 접근이 화학적 처리의 보완 수단이 될 수 있음을 보여줍니다 [15].

펄프 분야의 셀룰라아제 처리는 배수성, 섬유 유연성, 정련 에너지, 표면 특성에 영향을 줄 수 있습니다. 그러나 펄프와 종이의 품질은 섬유 길이와 결합 능력에 민감하므로, 과도한 가수분해는 오히려 강도 저하로 이어질 수 있습니다. 따라서 이 분야에서 산성 셀룰라아제는 “분해제”라기보다 섬유 표면을 제한적으로 조절하는 공정 보조제로 이해하는 것이 적절합니다.

사료·사일리지: 미생물 발효와 함께 작동하는 세포벽 완화

목초, 옥수수대, 농업 부산물 같은 조사료는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스가 많아 동물의 소화율을 제한할 수 있습니다. 사일리지 제조에서 젖산균과 셀룰라아제를 함께 처리한 연구는 자연 초지와 전형 초지 원료의 발효 품질을 다루며, 셀룰라아제가 식물 세포벽을 부분적으로 분해해 젖산균 발효에 이용 가능한 기질을 늘릴 수 있음을 시사합니다 [16].

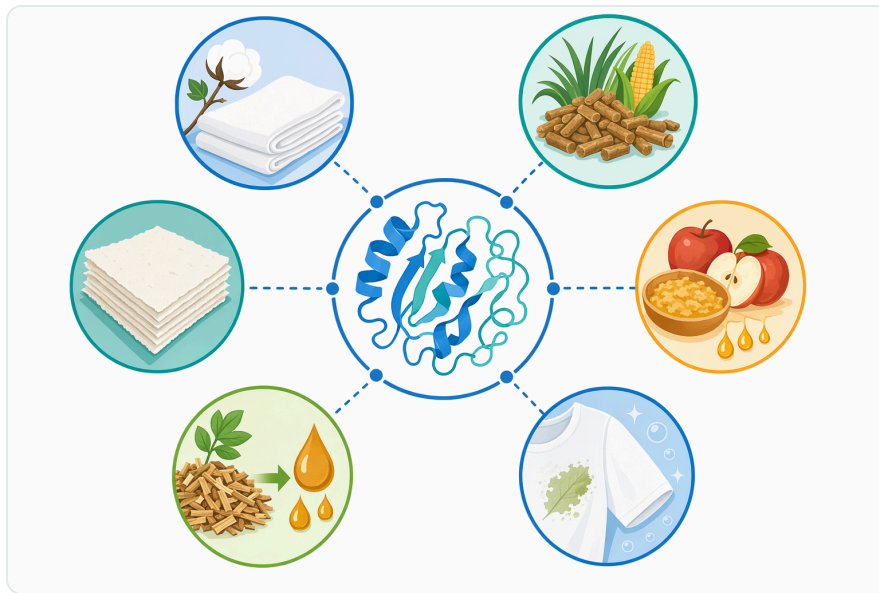


Figure 5. 산성 셀룰라아제는 바이오매스 당화, 식물 추출, 식이섬유 개질, 사료 가공, 섬유 마감 처리, 펄프 또는 종이 섬유 처리에 활용될 수 있습니다.

옥수수대에 *Lactobacillus plantarum*과 셀룰라아제를 처리한 뒤 후양의 반추위 발효와 미생물군을 평가한 연구도 있습니다. 이 연구는 사료 원료에서 셀룰라아제 처리가 단순히 원료를 부드럽게 만드는 수준을 넘어, 반추위 발효 양상과 미생물 생태에 영향을 줄 수 있음을 보여줍니다 [17].

다만 사료 응용은 동물종, 원료 조성, 수분, 저장 조건, 열처리, 다른 효소와의 조합에 따라 결과가 크게 달라집니다. Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber를 이 분야에서 이해할 때는 특정 영양 효과를 단정하기보다, 고섬유 식물성 원료의 세포벽 접근성을 개선하는 보조 효소로 보는 것이 타당합니다.

다른 효소와의 시너지: 셀룰로오스만 분해해서는 부족한 경우

식물 세포벽은 셀룰로오스 단독 구조가 아닙니다. 헤미셀룰로오스, 자일란, 펙틴, 리그닌, 페룰산 결합, 단백질성 성분이 서로 연결되어 있어 셀룰라아제만으로는 완전한 세포벽 개방이 어렵습니다. 셀룰라아제와 자일라아제의 산업적 시너지를 다룬 리뷰는 두 효소군이 리그노셀룰로오스 분해, 사료, 식품, 섬유, 펄프 분야에서 상호 보완적으로 작용할 수 있음을 설명합니다 [18].

자일라나아제/페룰로일 에스터라아제 이기능 효소와 셀룰라아제의 상승 효과를 평가한 연구는, 헤미셀룰로오스와 페룰산 가교를 동시에 완화하면 셀룰로오스 접근성이 개선될 수 있음을 보여줍니다 [19]. 이는 복잡한 농업 부산물이나 목질계 원료에서 셀룰라아제를 단독으로 쓰는 것보다, 기질 구조에 맞춘 효소 조합이 더 합리적일 수 있음을 의미합니다.



Figure 6. 데님과 면 마감 처리에서 공정을 적절히 제어하면 산성 셀룰라아제는 주로 노출된 표면 미세섬유에 작용합니다.

펙틴이 많은 과일 원료에서는 펙티나아제, 자일란이 많은 곡물 부산물에서는 자일라아제, β -글루칸이 많은 원료에서는 β -글루카나아제가 함께 고려될 수 있습니다. 다만 Enzymes.bio의 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber 자체는 산성 셀룰로오스 가수분해를 위한 제품으로 이해해야 하며, 다른 효소의 필요성은 공정 원료와 목표 성분에 따라 달라집니다.

공정 성능을 좌우하는 변수: pH, 온도, 기질 접근성, 저해물질

셀룰라아제 반응에서 pH는 효소의 활성 부위 전하 상태와 기질 결합에 직접 영향을 줍니다. 산성 셀룰라아제는 산성 영역에서 작동하도록 선택되지만, 실제 성능은 원료 완충능, 유기산, 염, 금속 이온, 용매 성분에 따라 달라질 수 있습니다. 콜린 기반 딥 유텍틱 용매가 셀룰라아제의 구조 안정성과 활성에 미치는 영향을 평가한 연구는, 용매 환경과 고온 조건에서도 효소 구조 안정성이 중요한 변수임을 보여줍니다 [20].

온도 역시 양면성을 갖습니다. 온도가 올라가면 반응 속도와 물질 이동이 개선될 수 있지만, 효소 단백질이 불안정해지면 활성이 감소합니다. 내열성 *Bacillus* 유래 셀룰라아제들의 특성 평가 연구가 반복적으로 보고되는 이유는, 섬유·바이오매스·공정수 처리처럼 온도 변동이 있는 산업 공정에서 안정성이 실질적 성능과 연결되기 때문입니다 [13].

기질 접근성은 특히 중요합니다. 같은 셀룰로오스 함량을 가진 원료라도 입자 크기, 전처리 정도, 결정성, 리그닌 잔존량, 수분 분포가 다르면 효소 반응은 크게 달라집니다. 셀룰라아제 처리 섬유와 산 가수분해로 생성된 셀룰로오스 나노크리스털을 특성화한 연구는, 효소 전처리가 섬유 구조와 후속 산 가수분해 산물의 특성에 영향을 줄 수 있음을 보여줍니다 [21].

안전·취급 및 Enzymes.bio 구매 정보

셀룰라아제는 단백질성 효소이므로 분말 또는 에어로졸 흡입, 눈·피부 접촉, 장시간 노출을 피하는 것이 중요합니다. 산업 효소는 일반 화학물질과 달리 낮은 사용량에서도 감작성 문제가 발생할 수 있으므로, 작업장에서는 SDS에 따른 보호구와 분진 관리가 필요합니다. Enzymes.bio에서 판매되는 제품에는 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공되며, 실제 취급·보관·작업장 안전 관리는 해당 문서를 기준으로 해야 합니다.

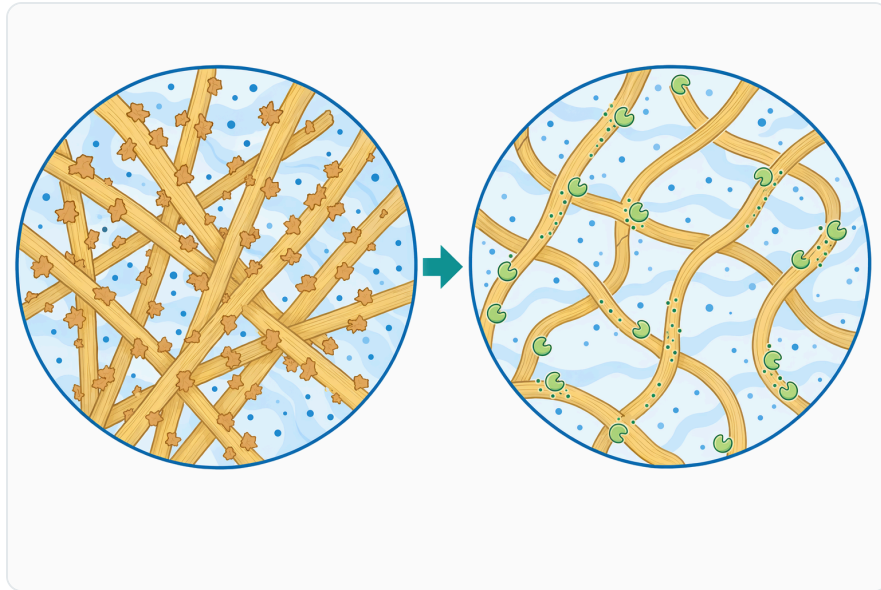


Figure 7. 펄프와 재활용 섬유에서 제어된 셀룰라아제 처리는 셀룰로오스를 당으로 완전히 전환하기보다는 접근 가능한 섬유 표면을 개질합니다.

Enzymes.bio는 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber를 제조하거나 시험하는 실험실이 아니라 온라인 공급업체입니다. 제품은 1 kg 단위로 온라인에서 직접 구매하는 방식이며, 이 문서는 특정 활성 단위, 분석법, 등급, 제조 조건을 제시하기 위한 문서가 아니라 산성 셀룰라아제의 응용 원리와 공정상 의미를 설명하기 위한 기술 자료입니다.

결론: 산성 섬유 공정에서 세포벽·표면·당화를 제어하는 생물촉매

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber는 산성 조건에서 식물성 섬유의 셀룰로오스 결합을 절단해 세포벽 접근성, 표면 품질, 당화 가능성을 조절하는 효소입니다. 과일·식물 추출에서는 유용 성분 방출을 돕고, 바이오매스에서는 전처리된 셀룰로오스를 발효 가능한 당으로 전환하는 데 기여하며, 면직물과 재생지에서는 표면 미세구조를 완만하게 조절하는 공정 보조제로 활용될 수 있습니다.

가장 중요한 점은 이 효소를 "범용 섬유 제거제"가 아니라 "산성 환경에서 셀룰로오스 접근성과 분해를 제어하는 선택적 생물촉매"로 이해하는 것입니다. 실제 성능은 pH, 온도, 수분, 기질 입자 크기, 결정성, 리그닌과 헤미셀룰로오스의 존재, 다른 효소와의 조합에 의해 결정됩니다. 따라서 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber는 산성 과일 매시, 식물성 부산물, 전처리 바이오매스, 면섬유 표면, 재생섬유처럼 셀룰로오스가 공정 장벽이 되는 원료에서 가장 실질적인 가치를 제공합니다.

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber 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.

[Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber 구매하기 →](#)

참고문헌

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

1. Sutaoney, P., Rai, S., Sinha, S., Choudhary, R., Gupta, A., Singh, S. K., & Banerjee, P. (2024). Current perspective in research and industrial applications of microbial cellulases. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130639 .
2. Al-Ezzi, M., Muhammad, K., Gannasin, S. P., & Shukri, R. (2025). Maximising pitaya (Hylocereus polyrhizus) peel pectin yield through cellulase-assisted extraction: A study on enzyme optimisation. *Bioresources and Environment*.
3. Kumar, B., Bhardwaj, N., Alam, A., Agrawal, K., Prasad, H., & Verma, P. (2018). Production, purification and characterization of an acid/alkali and thermo tolerant cellulase from Schizophyllum commune NAIMCC-F-03379 and its application in hydrolysis of lignocellulosic wastes. *AMB Express*, 8.
4. Adab, F. K., Yaghoobi, M. M., & Gharechahi, J. (2024). Enhanced crystalline cellulose degradation by a novel metagenome-derived cellulase enzyme. *Scientific Reports*, 14.
5. J., V. P., Sahoo, T. K., S., N., & Jayaraman, G. (2020). Evolutionary engineering of Lactobacillus bulgaricus reduces enzyme usage and enhances conversion of lignocellulosics to D-lactic acid by simultaneous saccharification and fermentation. *Biotechnology for Biofuels*, 13.
6. Poblete, J., Aranda, M., & Quispe-Fuentes, I. (2025). Efficient Conditions of Enzyme-Assisted Extractions and Pressurized Liquids for Recovering Polyphenols with Antioxidant Capacity from Pisco Grape Pomace as a Sustainable Strategy. *Molecules*, 30.
7. Xie, Y., Ji, X., Tian, Z., Wang, Y., Mo, X., Zhang, F., & Zhou, J. (2025). Extraction of high-purity lignin from the kraft pulping black liquor by enzyme purification process with alkaline-resistant xylanase and cellulase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139574 .
8. Du, J., Liang, J., Xiu-Zhang, Wang, J., Li, W., Song, P., & Feng, X. (2021). Identifying the negative cooperation between major inhibitors of cellulase activity and minimizing their inhibitory potential during hydrolysis of acid-pretreated corn stover. *Bioresource Technology*, 126113 .
9. Tong, S., Siow, L., Tang, T., & Lee, Y. (2025). Effect of Enzyme-Assisted Extraction on Structural and Functional Properties of Palm Kernel Protein. *Journal of food biochemistry*.

10. Zheng, Y., & Li, Y. (2018). Physicochemical and functional properties of coconut (*Cocos nucifera* L) cake dietary fibres: Effects of cellulase hydrolysis, acid treatment and particle size distribution. *Food Chemistry*, 257, 135-142 .
11. Jain, L., Kurmi, A., & Agrawal, D. (2021). Conclusive selection of optimal parameters for cellulase production by *Talaromyces verruculosus* IIPC 324 under SSF via saccharification of acid-pretreated sugarcane bagasse. *Biofuels*, 12, 61 - 69.
12. Ying, W., Zhu, J., Xu, Y., & Zhang, J. (2021). High solid loading enzymatic hydrolysis of acetic acid-peroxide/acetic acid pretreated poplar and cellulase recycling. *Bioresource Technology*, 340, 125624 .
13. Fouda, A., Alshallash, K. S., Atta, H. M., Gamal, M. S. E., Bakry, M. M., Alawam, A. S., & Salem, S. (2023). Synthesis, Optimization, and Characterization of Cellulase Enzyme Obtained from Thermotolerant *Bacillus subtilis* F3: An Insight into Cotton Fabric Polishing Activity. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34, 207 - 223.
14. Fouda, A., Alshallash, K. S., Atta, H. M., El-Gamal, M., Bakry, M. M., Alghonaim, M., & Salem, S. (2023). A thermo-tolerant cellulase enzyme produced by *Bacillus amyloliquefaciens* M7, an insight into synthesis, optimization, characterization, and bio-polishing activity. *Green Processing and Synthesis*, 12.
15. Indumathi, T., Jayaraj, R., Kumar, P., J. M. I. S., Krishnaswamy, V., Ghfar, A. A., & Govindaraju, S. (2021). Biological approach in deinking of waste paper using bacterial cellulase as an effective enzyme catalyst. *Chemosphere*, 287 Pt 2, 132088 .
16. Hou, M., Gentu, G., Liu, T., Jia, Y., & Cai, Y. (2016). Silage preparation and fermentation quality of natural grasses treated with lactic acid bacteria and cellulase in meadow steppe and typical steppe. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30, 788 - 796.
17. Wang, L., Wang, J., Wang, P., Liu, C., Li, X., Chang, J., Jin, S., ... et al. (2024). Effect of Corn Straw Treated with *Lactobacillus plantarum* and Cellulase on Ruminal Fermentation and Microbiota of Hu Sheep. *Fermentation*.
18. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
19. Wang, H., Qi, X., Gao, S., Zhang, Y., & An, Y. (2022). Biochemical characterization of an engineered bifunctional xylanase/feruloyl esterase and its synergistic effects with cellulase on lignocellulose hydrolysis. *Bioresource Technology*, 127244 .
20. Yadav, N., Chahar, D., Bisht, M., & Venkatesu, P. (2023). Assessing the compatibility of choline-based deep eutectic solvents for the structural stability and activity of cellulase: Enzyme sustain at high temperature. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125988 .
21. Beyene, D., Chae, M., Dai, J., Danumah, C., Tosto, F., Demesa, A. G., & Bressler, D. (2018). Characterization of Cellulase-Treated Fibers and Resulting Cellulose Nanocrystals Generated through Acid Hydrolysis. *Materials*, 11.


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