

# Xylanase 효소: 제빵, 사료, 펄프 표백, 바이오매스 전환에서 자일란 분해를 돕는 산업용 효소

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

**직접 답변:** Xylanase는 식물 세포벽의 주요 헤미셀룰로오스인 xylan의  $\beta$ -1,4-자일로시드 결합을 절단해 자일로올리고당과 더 작은 당 조각을 만드는 효소입니다. 산업적으로는 제빵 반죽의 아라비노자일란 조절, 사료의 비전분성 다당류 관리, 펄프 표백 전처리, 농산 부산물-리그노셀룰로오스 바이오매스 분해 공정에서 자일란 장벽을 완화하는 데 사용됩니다. Enzymes.bio의 Xylanase는 제조·실험 서비스가 아니라 1kg 단위로 온라인 구매 가능한 효소 원료이며, CoA와 SDS는 주문 시 함께 제공됩니다.

## Xylanase란 무엇이며, 왜 산업 공정에서 중요한가

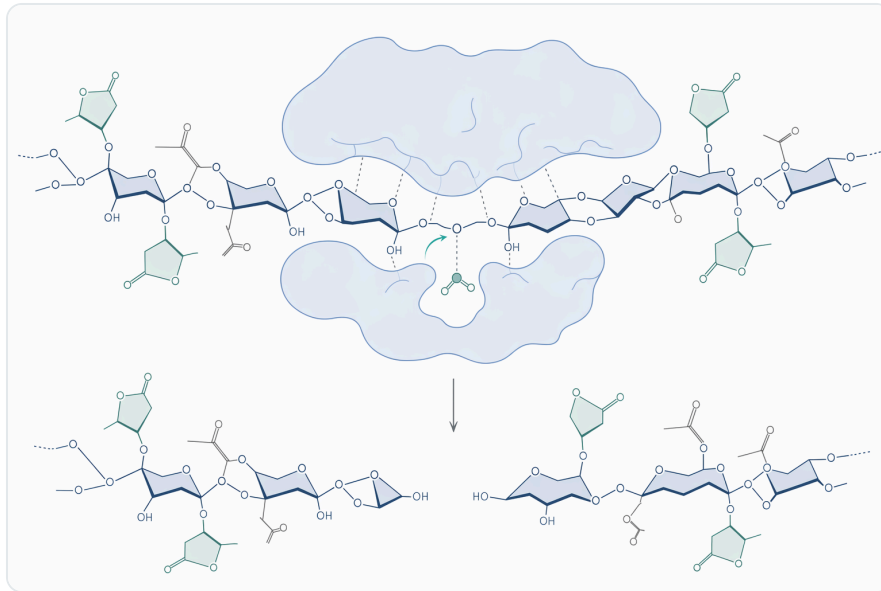
Xylanase, 즉 자일라나아제는 xylanase enzyme, xylanase 효소, xylanase enzyme function 같은 검색어로 자주 찾는 헤미셀룰로오스 분해 효소입니다. 그 핵심 기능은 식물 세포벽에서 셀룰로오스 미세 섬유와 리그닌 사이를 연결하는 xylan 또는 arabinoxylan 사슬을 부분적으로 절단하는 것입니다. Xylan은 목재, 곡물 외피, 밀기울, 옥수수 섬유, 농산 부산물, 초본계 바이오매스에 널리 존재하며, 자일란이 물·화학약품·다른 효소·장내 미생물의 접근을 막는 경우 xylanase function이 공정 효율에 직접 연결됩니다 <sup>[1]</sup>.

자일란은 단순한 직선형 고분자가 아니라, 원료에 따라 아라비노스, 글루쿠론산, 아세틸기, 페룰산성 결합 등이 붙은 복합 헤미셀룰로오스입니다. 따라서 xylanase substrate는 “순수 xylan” 하나로만 이해하기보다, 곡물의 water-extractable 또는 water-unextractable arabinoxylan, 목재 펄프 표면의 재 침착 xylan, 농산 부산물의 리그닌-탄수화물 복합체 속 xylan처럼 공정별로 다른 물리적 위치와 치환 구조를 가진 기질로 봐야 합니다. 이 때문에 동일한 xylanase enzyme이라도 제빵, 사료, 펄프, 바이오매스에서 관찰되는 효과는 서로 다르게 나타날 수 있습니다 <sup>[2]</sup>.

산업적으로 xylanase benefits는 “섬유를 많이 없앤다”가 아니라 “자일란 때문에 막혀 있던 접근성을 조절한다”에 가깝습니다. 제빵에서는 아라비노자일란이 반죽의 수분 분포와 점탄성에 영향을 주고, 사료에서는 비전분성 다당류가 영양소 포획·점도·장내 발효 양상과 연결되며, 펄프에서는 자일란이 리그닌 제거와 표백 화학물질 접근을 제한할 수 있습니다. 바이오매스 전환에서는 xylanase와 cellulase의 조합이 리그노셀룰로오스 분해에서 상호보완적으로 작동한다는 점도 산업 생명공학 문헌에서 반복적으로 논의됩니다 <sup>[3]</sup>.

## Xylanase structure와 촉매 기전: 자일란 사슬을 어떻게 자르는가

xylanase structure는 효소 계열에 따라 다르지만, 산업 응용에서 자주 언급되는 것은 glycoside hydrolase 계열, 특히 GH10과 GH11 xylanase입니다. GH11 xylanase는 비교적 작은  $\beta$ -jelly roll 형태의 접힘을 갖는 것으로 알려져 있으며, 좁고 길게 형성된 기질 결합 홈이 xylan 사슬을 따라 인식하는 데 관여합니다. GH10 xylanase는 더 넓은 기질 수용성을 보이는 경우가 많아 치환된 xylan 조각에도 상대적으로 작용할 수 있는 것으로 논의됩니다 [1].



**Figure 1.** 자일라나아제는 자일란 주쇄의 내부  $\beta$ -1,4 결합을 가수분해하여 더 짧은 자일로올리고당과 수용성 헤미셀룰로오스 조각을 형성한다.

촉매 수준에서 xylanase activity는 일반적으로 글루탐산 잔기 등 산/염기 촉매와 친핵성 촉매가 관여하는 당가수분해 반응으로 설명됩니다. *Bacillus circulans* xylanase 연구에서는 산/염기 촉매의 위치가 glycosidase 작용에 중요하다는 점이 다뤄졌고, 이는 xylanase enzyme activity가 단순한 표면 흡착이 아니라 활성 부위의 정확한 입체배치에 의존한다는 것을 보여줍니다 [4]. 효소가  $\beta$ -1,4-자일로시드 결합을 절단하면 긴 xylan 사슬은 자일로비오스, 자일로트리오스, 더 긴 xylo-oligosaccharides 같은 다양한 길이의 조각으로 나뉩니다.

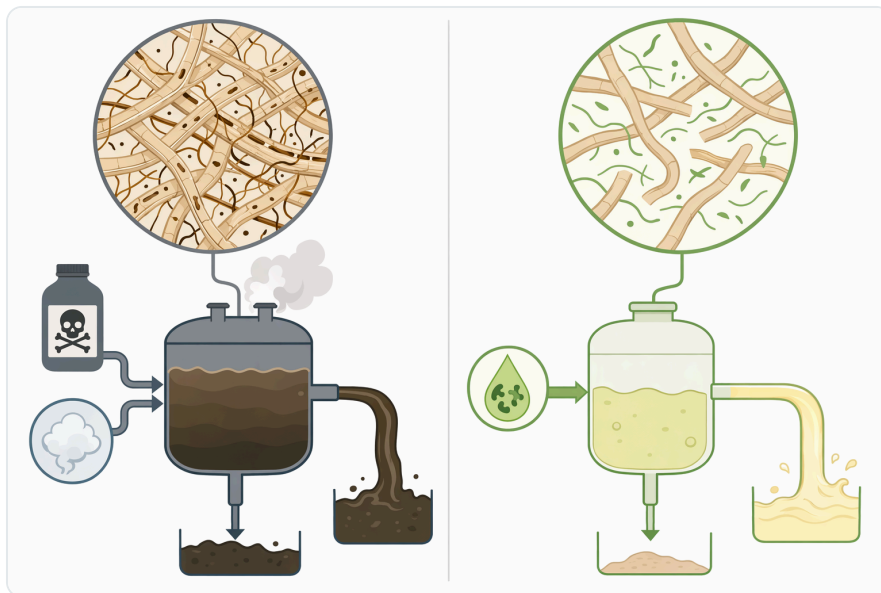
이 과정은 원료 구조에 의해 제한됩니다. 아라비노스 가지가 많은 arabinoxylan, 리그닌과 결합한 xylan, 결정성 셀룰로오스 표면에 묶인 헤미셀룰로오스에서는 효소가 결합 홈에 사슬을 정렬하기 어렵습니다. 그래서 실제 산업 공정에서는 xylanase 단독보다 arabinofuranosidase, esterase, cellulase, mannanase, laccase 등 다른 효소와 함께 검토되는 경우가 많습니다. 펄프 표백 연구에서도 laccase, xylanase, mannanase의 병용이 softwood kraft pulp 표백에서 상승효과를 낼 수 있는 전략으로 제시되었습니다 [5].

## 미생물 유래 xylanase: bacterial xylanase와 fungal xylanase의 차이

xylanase production은 세균, 방선균, 효모, 사상균 등 다양한 미생물을 기반으로 연구되어 왔습니다. bacterial xylanase는 *Bacillus*, *Streptomyces* 등에서 많이 보고되며, 알칼리 조건이나 열 안정성이 필요한 공정에서 관심을 받습니다. 예를 들어 *Bacillus halodurans* CM1의 xylanase enzyme production을 발효 조건 최적화로 다룬 연구는 알칼리성 세균 xylanase가 산업 조건 적응성 측면에서 연구되고 있음을 보여줍니다 [6].

*Bacillus* 계열 xylanase는 xylanase production by bacteria라는 검색어와도 밀접합니다. *Bacillus altitudinis* JYY-02에서 얻은 thermostable xylanase가 여러 다당류를 가수분해하고 산업 응용 가능성을 보였다는 연구는, 열 안정성과 기질 범위가 공정 적합성 평가에서 중요한 변수임을 시사합니다 [7]. 또 *Pichia pastoris*에서 열안정성 알칼리 xylanase 변이체를 고수준 발현시키기 위해 codon optimization, multiple gene insertion, high-density fermentation을 적용한 연구는 xylanase gene 설계와 재조합 발현이 생산성·안정성 개선의 주요 축임을 보여줍니다 [8].

반면 fungal xylanase는 *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Fusarium*, thermophilic fungi 등에서 널리 연구되어 왔고, 식물성 바이오매스나 농산 부산물 분해에 적합한 효소군으로 자주 검토됩니다. *Aspergillus tubingensis* FS7Y52의 xylanase production 조건 최적화와 농업폐기물 분해 적용 연구는, 곰팡이 유래 효소가 복합 식물 섬유 기질에서 사용될 수 있음을 보여주는 사례입니다 [9]. 효모 유래 또는 효모 발현 xylanase도 산성, 염내성, 저온 적응성 같은 특성을 부여하기 위한 플랫폼으로 연구되고 있습니다 [10].



**Figure 2.** GH10 자일라나아제는 일반적으로 치환된 자일란을 처리할 수 있는 더 넓은 활성 부위 틈을 가지는 반면, GH11 자일라나아제는 대체로 더 작은 효소로 접근 가능한 자일란 주쇄에 효율적으로 작용한다.

## 주요 응용 분야 비교: xylanase가 어디에서 무엇을 바꾸는가

응용 분야	주된 xylanase substrate	기대되는 공정 효과	기전의 핵심	해석상 주의점
제빵·곡물 가공	밀가루·브랜의 arabinoxylan	반죽 수분 분포, 점도, 빵 품질 변수 조절	아라비노자일란 부분 절단으로 수용성 올리고당과 반죽 구조 변화 유도	밀가루 품질, 수분, 산화효소 병용 여부에 따라 결과가 달라짐
사료·동물 영양	곡물성 비전분성 다당류	영양소 접근성, 장내 발효, XOS 생성 가능성	자일란 절단 및 xylo-oligosaccharides 생성, 미생물 대사 경로 변화	동물종, 원료, 섬유 수준, 장내 미생물 상태에 의존
펄프·제지	펄프 표면·세포벽의 xylan	표백 전처리, 화학약품 접근성, 밝기 개선 가능성	재침착 xylan 제거와 섬유 투과성 증가	펄프 종류, pH, 온도, 효소 조합, 셀룰로오스 손상 가능성 고려
바이오매스 전환	농산 부산물·목질계 헤미셀룰로오스	당화 접근성, 복합효소 분해 보조	헤미셀룰로오스 네트워크 완화, cellulase 접근성 보완	전처리 방식과 리그닌 구조에 따라 효율 차이 큼

이 표에서 보듯 xylanase enzyme function은 공정마다 다른 성능 지표로 번역됩니다. 같은 xylanase activity라도 제빵에서는 반죽 물성, 사료에서는 장내 발효와 영양소 이용성, 펄프에서는 표백 반응성, 바이오매스에서는 당화 접근성으로 관찰됩니다. 따라서 xylanase review 문헌에서 반복되는 결론은 "효소 자체의 기질 특이성"과 "원료 속 xylan의 실제 위치"를 함께 봐야 한다는 것입니다 [11].

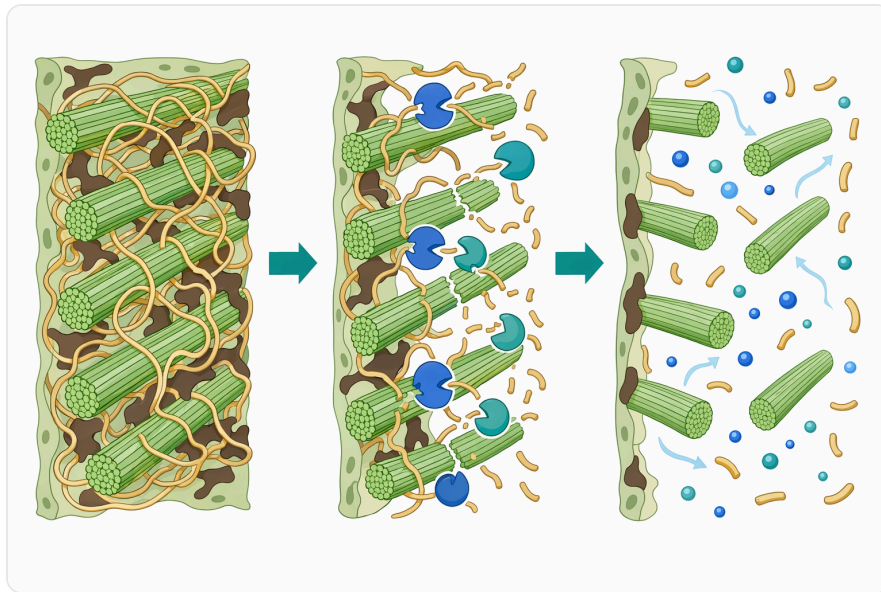
## Xylanase in bread: 제빵에서 반죽 구조와 아라비노자일란을 조절하는 방식

xylanase in bread는 산업적으로 가장 많이 검색되는 응용 중 하나입니다. 밀가루의 arabinoxylan은 물을 강하게 붙잡고 반죽 점도와 가스 보유성에 영향을 주며, 일부는 gluten 네트워크와 물 경쟁을 일으킬 수 있습니다. Xylanase가 water-unextractable arabinoxylan을 부분적으로 절단하면 더 작은 수용성 조각이 생기고, 반죽 내 수분 이동과 점탄성 균형이 달라질 수 있습니다. 빵 품질 개선을 위한 효소제 작용기전 연구에서도 xylanase는 제빵 품질에 관여하는 효소 중 하나로 다뤄졌습니다 [12].

제빵에서 중요한 점은 "많이 분해할수록 좋다"가 아니라 "적정 수준의 절단"입니다. 과도한 xylanase activity는 반죽을 지나치게 끈적하게 하거나 구조 안정성을 낮출 수 있고, 부족하면 아라비노자일란 장벽을 충분히 완화하지 못할 수 있습니다. 또한 glucose oxidase, amylase, protease 등 다른 효소

와 함께 쓰일 때 반죽의 산화 상태, 전분 분해, 글루텐 구조 변화가 동시에 일어나므로 xylanase 하나만으로 최종 빵 부피나 식감을 단정하기 어렵습니다. 기존 연구는 xylanase와 다른 제빵 효소의 상호작용을 다루지만, 결과는 밀가루 조성 및 공정 조건에 크게 의존합니다 [12].

곡물 가공 전반에서도 xylanase는 밀기울, 귀리, 옥수수 섬유, 보리 등에서 세포벽 접근성을 조절하는 효소로 해석할 수 있습니다. 식품 분야의 xylanase benefits는 추출 수율, 점도 관리, 기능성 성분 방출, 발효 접근성 같은 지표로 나타날 수 있지만, 특정 건강효과나 영양효과를 일반화해서 말하는 것은 적절하지 않습니다. 식품 원료는 아라비노자일란 치환도, 입자 크기, 열처리 이력, 수분활성 등이 모두 달라 동일한 xylanase enzyme도 서로 다른 결과를 냅니다 [13].



**Figure 3.** 엔도 자일라나아제는 셀룰로오스, 리그닌 함유 영역, 영양소 또는 수용성 추출물에 대한 접근을 제한하는 자일란 사슬을 짧게 만들어 식물성 물질을 느슨하게 한다.

## 사료 응용: 비전분성 다당류 관리와 XOS 생성

사료에서 xylanase는 밀, 옥수수, 보리, 호밀, 곡물 부산물의 arabinoxylan을 다루는 효소로 사용됩니다. 비전분성 다당류는 영양소를 세포벽 안에 가두거나 장내 내용물의 물성을 바꿔 에너지·단백질 이용에 영향을 줄 수 있습니다. Xylanase는 이러한 구조를 부분적으로 절단해 영양소 접근성을 높이고, 동시에 xylo-oligosaccharides를 생성해 장내 미생물 발효 기질을 바꿀 수 있습니다. 돼지의 불용성 옥수수 기반 섬유 급여 조건에서 xylanase 작용 기전을 조사한 연구도 이처럼 단순한 섬유 분해를 넘어 장내 환경과 연결된 해석을 제시합니다 [14].

최근 동물영양 분야에서는 xylanase를 “stimbiotic” 관점에서 설명하기도 합니다. 이는 효소가 직접 모든 섬유를 당으로 바꾸는 것이 아니라, 소량의 XOS를 만들어 장내 미생물의 섬유 분해 능력과 발효 경로를 자극할 수 있다는 개념입니다. 가끔 연구에서는 betaine, choline, ascorbic acid와

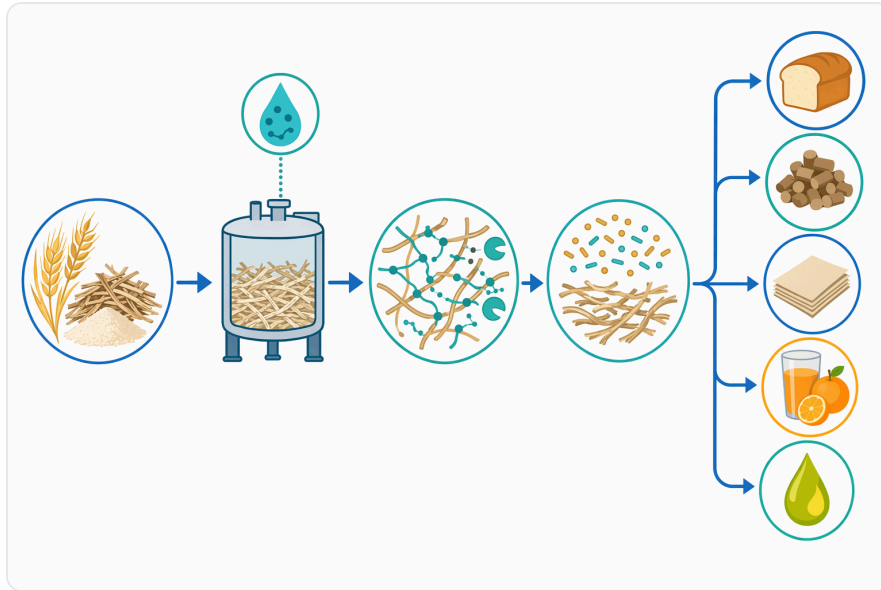
xylanase enzyme을 포함한 조합이 영양소 소화율과 생리적 반응에 미치는 영향을 다루며, xylanase 가 열 스트레스나 사료 조성 같은 복합 조건 속에서 평가된다는 점을 보여줍니다 [15].

다만 사료 분야에서 xylanase side effects라는 표현은 소비자 보충제나 동물용 첨가제 맥락에서 혼용되어 검색될 수 있으므로 신중히 구분해야 합니다. 산업용 효소 원료에 대해 일반적인 생리 효과나 부작용을 단정할 수 없으며, 실제 결과는 대상 동물, 배합비, 섬유 형태, 위장관 미생물, 사육 조건에 따라 달라집니다. Enzymes.bio의 Xylanase는 xylanase supplement로 소비자에게 복용을 권장하는 제품이 아니라, 산업·연구·제조 공정에서 자일란 분해 기능을 검토하는 효소 원료로 이해해야 합니다.

## 펄프·제지 응용: 표백 전처리와 자일란 장벽 완화

펄프 공정에서 xylanase는 표백 전처리 효소로 오래 연구되었습니다. Kraft pulping 이후 일부 xylan은 섬유 표면에 재침착되거나 리그닌과 함께 잔류해 표백 화학물질의 침투와 리그닌 제거를 방해할 수 있습니다. Xylanase가 이 표면 xylan을 부분적으로 가수분해하면 섬유벽의 투과성이 증가하고, 후속 표백 단계에서 리그닌성 발색 성분이 더 쉽게 제거될 수 있습니다. 밀짚 soda pulp와 산소탈리그닌 펄프에서 xylanase prebleaching의 가능한 기전을 다룬 연구도 이러한 설명과 연결됩니다 [16].

최근에는 xylanase를 단독 전처리로만 보지 않고 laccase, mannanase, cellulase 등과 조합해 표백 효율을 높이려는 접근이 활발합니다. Softwood kraft pulp 표백에서 laccase, xylanase, mannanase의 조합 효과를 다룬 연구는 서로 다른 세포벽 성분을 겨냥하는 효소들이 함께 작동할 때 더 넓은 구조 변화가 가능하다는 점을 보여줍니다 [5]. 다만 펄프 품질에서는 셀룰로오스 손상, 점도 변화, 섬유 강도, 공정 pH와 온도 안정성이 중요하므로 xylanase는 "선택적 헤미셀룰로오스 조절"이라는 범위 안에서 해석해야 합니다.



**Figure 4.** 펄프 예비 표백 과정에서 자일라나아제는 표면에 재침착된 자일란을 부분적으로 제거하여 표백 화학물질이 섬유에 더 효과적으로 침투하고 리그닌 유래 발색단이 빠져나갈 수 있게 한다.

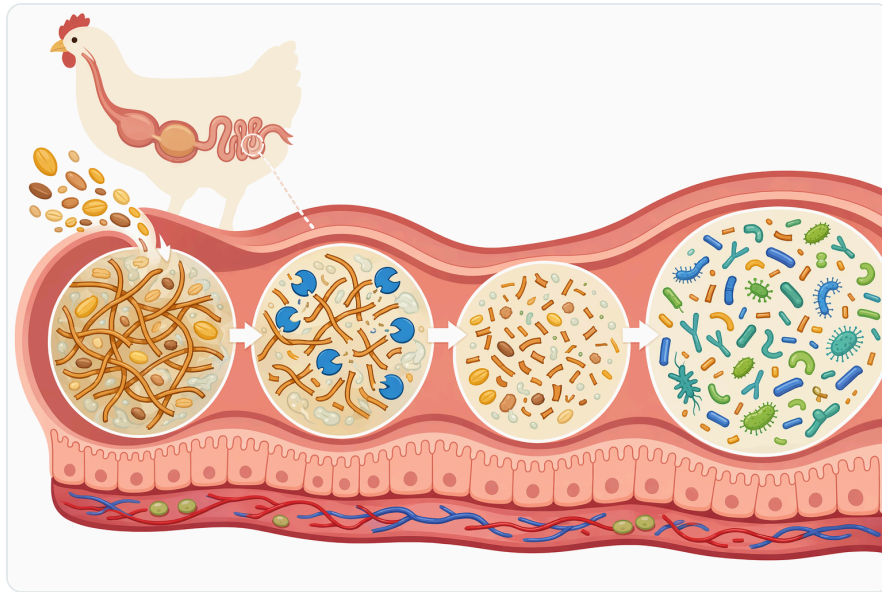
알칼리 내성 xylanase도 펄프·제지에서 특히 중요합니다. 일반적인 펄프 공정은 중성보다 높은 pH 영역을 포함하기 때문에, 효소가 알칼리 조건에서 기능을 유지하면 별도의 강한 pH 조정 부담을 줄일 수 있습니다. Kraft pulping black liquor에서 고순도 리그닌을 추출하기 위해 알칼리 저항성 xylanase와 cellulase를 활용한 연구는, xylanase가 표백뿐 아니라 리그닌 회수와 바이오리파이너리형 펄프 공정에서도 검토될 수 있음을 시사합니다 [17].

## 바이오매스와 농산 부산물: cellulase와의 협동 작용

리그노셀룰로오스 바이오매스는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌이 결합한 복합 구조입니다. 이때 cellulase만으로는 헤미셀룰로오스 장벽 때문에 셀룰로오스 표면에 충분히 접근하지 못할 수 있고, xylanase는 그 장벽을 열어주는 보조효소로 작동할 수 있습니다. Cellulase와 xylanase synergism을 다룬 산업생명공학 문헌은 두 효소가 바이오매스 분해에서 상호 보완적이라는 점을 강조합니다 [3].

농산 부산물을 이용한 xylanase production도 산업적으로 중요합니다. 고체발효 또는 submerged fermentation에서 밀기울, 맥주박, 농업폐기물 같은 저가 원료를 사용해 xylanase enzyme을 생산하려는 연구가 다수 보고되었습니다. Brewer's grains fermentation을 이용한 feed xylanase production 연구, agro-industrial waste 기반 고체발효 최적화 연구, tray bioreactor를 활용한 농산 잔재물 생물공정 연구는 모두 xylanase production이 원료 비용과 공정 형태의 영향을 크게 받는다는 점을 보여줍니다 [18].

Fungal xylanase 생산에서는 *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium* 같은 균이 자주 등장합니다. *Trichoderma* 속 효소 유도에 관한 리뷰는 기질 종류가 chitinase, glucanase, xylanase 같은 세포벽 분해효소 발현에 영향을 줄 수 있음을 설명하며, 이는 xylanase gene 발현이 환경 신호와 밀접하게 연결된다는 점을 보여줍니다 [19]. *Fusarium solani* 유래 xylanase의 submerged fermentation, 부분 정제, 특성 분석 연구도 다양한 곰팡이 자원이 생명공학 응용 후보가 될 수 있음을 보여줍니다 [20].



**Figure 5.** 사료에서 자일라나아제는 아라비노자일란 장벽을 줄이고, 이후 미생물 발효에 영향을 미치는 자일란 유래 조각을 생성할 수 있다.

## 온도, pH, 안정성: 공정 적합성을 좌우하는 변수

xylanase enzyme activity는 온도와 pH에 강하게 의존합니다. 제빵 반죽, 사료 펠릿화, 펄프 전처리, 바이오매스 당화는 모두 서로 다른 온도·pH·수분 조건을 가지므로, 효소의 최적 조건이 공정 조건과 맞아야 합니다. Thermophilic fungi 유래 thermostable xylanase에 관한 연구는 열 안정성이 산업 응용에서 중요한 특성임을 강조하며, 고온 공정에서는 효소가 짧은 시간이라도 구조를 유지해야 의미 있는 반응을 기대할 수 있습니다 [21].

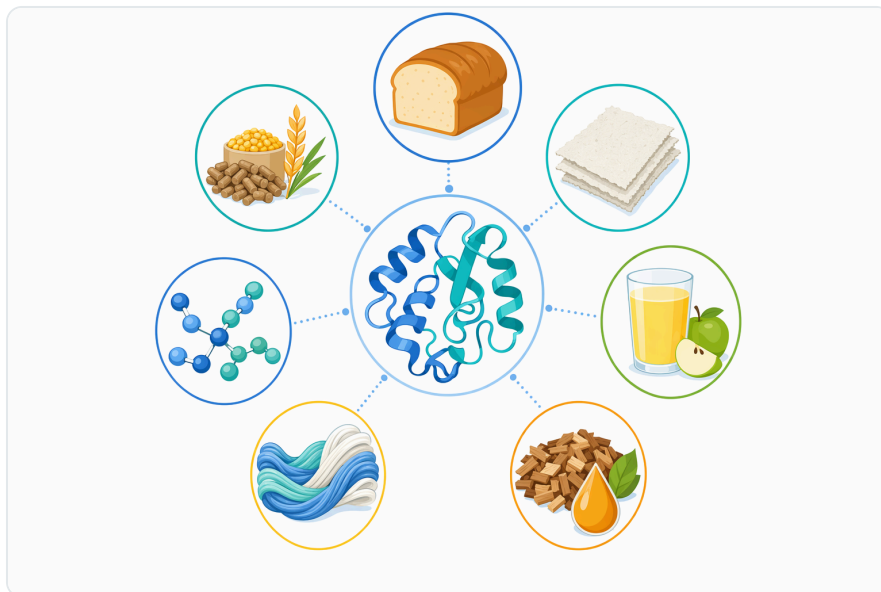
pH도 마찬가지로 중요합니다. GH11 xylanase의 pH 특성을 산업 목적에 맞게 이동시키는 engineering 연구는, 동일한 효소 골격이라도 아미노산 치환을 통해 산성 또는 알칼리 조건에 대한 적합성을 조절할 수 있음을 보여줍니다 [22]. 펄프에서는 알칼리 내성이, 사료와 식품에서는 중성 또는 약산성 조건에서의 작동성이, 특정 발효 공정에서는 산성·염내성·저온 적응성이 관심 대상이 될 수 있습니다.

최근에는 metagenome에서 산업 효소 후보를 찾기 위해 machine learning을 사용하는 접근도 등장했습니다. xylanase temperature dependence를 사례로 한 연구는 효소 서열과 온도 의존성을 연결해 산업적으로 유망한 후보를 선별하려는 방향을 보여줍니다 [23]. 이는 xylanase sigma 같은 연구시

약 검색과는 다른 맥락으로, 산업 효소 개발이 단순한 균주 탐색을 넘어 서열 정보, 구조 예측, 발현 플랫폼, 공정 조건 최적화와 결합되고 있음을 의미합니다.

## Xylanase gene, 발현 플랫폼, 생산 연구의 흐름

xylanase gene 연구는 크게 세 방향으로 진행됩니다. 첫째, 자연 미생물에서 새로운 xylanase 유전자를 탐색하는 생물자원 탐색입니다. 둘째, codon optimization과 다중 유전자 삽입 같은 재조합 발현 최적화입니다. 셋째, 단백질 공학을 통해 pH, 열 안정성, 염내성, 기질 특이성을 바꾸는 효소 engineering입니다. *Pichia pastoris*에서 개선된 열안정성 알칼리 xylanase 변이체를 고발현한 연구는 두 번째와 세 번째 흐름이 결합된 사례입니다 [8].



**Figure 6.** 식품 및 곡물 분야에서 자일라나아제의 활용은 반죽의 수분 분포, 점도, 추출, 여과, 결합 화합물의 방출에 미치는 아라비노자일란의 영향을 조절하는 데 달려 있다.

세균 기반 생산에서는 *Bacillus*와 *Streptomyces*가 자주 언급됩니다. Thermotolerant *Streptomyces* T7에서 얻은 xylanase의 배양 조건과 효소 특성을 다룬 초기 연구는 방선균 유래 효소가 오래전부터 산업 후보로 검토되어 왔음을 보여줍니다 [24]. *Bacillus* 계열에서는 알칼리성, 열 안정성, 분비 생산성 같은 특성이 관심을 받으며, xylanase production by bacteria는 펄프·세제형 조건·사료 가공과 같이 비교적 거친 공정 조건을 고려할 때 특히 많이 연구됩니다 [25].

곰팡이와 효모는 분비 발현과 복합 식물섬유 분해 능력 측면에서 장점이 있습니다. 새로운 fungal biobank에서 산업 생명공학용 효소와 생리활성 물질을 탐색한 연구는, 아직 산업적으로 활용되지 않은 균주 자원이 xylanase를 포함한 다양한 효소 후보를 제공할 수 있음을 보여줍니다 [26]. 효모 유래 cellulolytic-xylanolytic enzyme 리뷰도 효모가 단순 발효 미생물을 넘어 효소 생산 플랫폼과 산업 효소 자원으로 확장되고 있음을 정리합니다 [13].

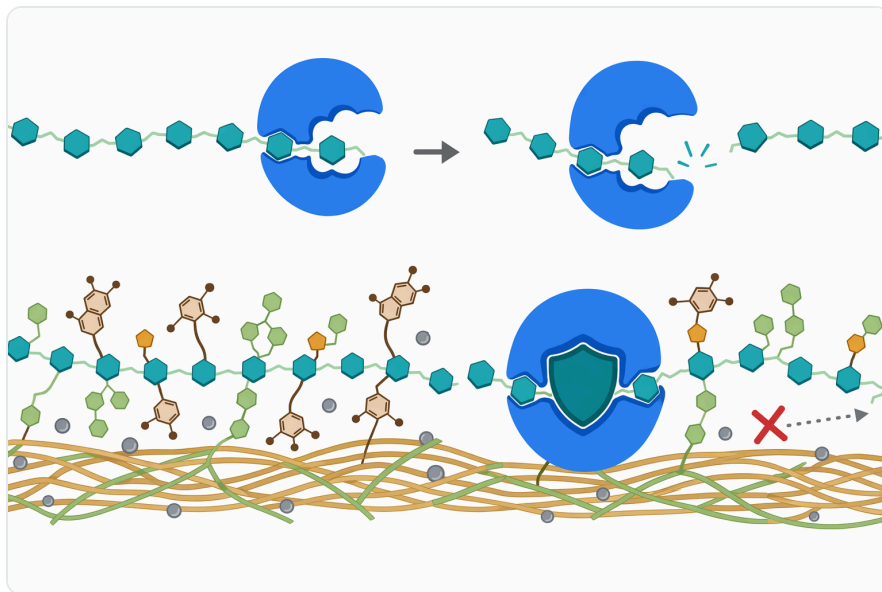
## 안전성, 취급, “xylanase side effects” 검색어의 올바른 해석

xylanase side effects라는 검색어는 보통 소비자용 소화효소 보충제, 동물 사료 첨가제, 또는 산업용 효소 취급 안전을 혼동해 사용됩니다. 그러나 산업용 xylanase 원료를 사람의 섭취용 xylanase supplement처럼 설명하는 것은 적절하지 않습니다. Enzymes.bio의 Xylanase는 산업·제조·연구 공정에서 자일란 분해 기능을 활용하는 효소 원료이며, 의학적 효능이나 소비자 건강효과를 전제로 판매되는 제품으로 해석해서는 안 됩니다.

효소 원료는 단백질성 물질이므로 일반적으로 분진 흡입, 피부·눈 접촉, 작업장 위생 같은 취급 관리가 중요합니다. 다만 구체적인 위험 문구, 보호구, 보관 조건은 제품별 SDS에 따라 확인해야 하며, Enzymes.bio에서는 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다. 이 문서는 제품의 제조사 시험법이나 활성 단위 정의를 설명하기 위한 자료가 아니라, xylanase enzyme function과 산업 응용을 이해하기 위한 기술적 개요입니다.

## Enzymes.bio에서 구매할 수 있는 Xylanase 원료의 위치づけ

Enzymes.bio는 xylanase를 제조하는 실험실이나 생산 공장이 아니라 공급업체입니다. 제품은 1kg 단위로 온라인 직접 구매할 수 있으며, 주문 후 처리·배송되는 방식입니다. 따라서 이 문서에서 다루는 내용은 특정 제조공정, 독점 균주, 분석법, 활성 단위 정의를 설명하는 것이 아니라, xylanase가 어떤 기질에 작용하고 어떤 산업 공정에서 의미를 갖는지 정리하는 데 초점을 둡니다.



**Figure 7.** 식물 자일라나아제 억제제와 복잡한 원료 조성 때문에 효소 성능은 정제된 자일란과 실제 곡물 또는 농업 부산물 기질에서 서로 다르게 나타날 수 있다.

구매 관점에서 Xylanase는 “자일란성 섬유를 선택적으로 완화해 공정 접근성을 바꾸는 효소 원료”로 이해하는 것이 가장 정확합니다. 제빵에서는 아라비노자일란과 반죽 물성, 사료에서는 비전분성 다당류와 XOS 생성, 펄프에서는 표면 xylan과 표백 접근성, 바이오매스에서는 cellulase 접근성 보완이 핵심 연결고리입니다. 이러한 응용은 xylanase review 문헌과 산업 응용 연구에서 폭넓게 다뤄져 왔지만, 실제 결과는 원료와 공정 조건에 따라 달라집니다 [11].

## 책임 있는 기술적 결론

Xylanase는 자일란을 표적으로 하는 효소이며, 그 산업적 가치는 자일란이 물리적·화학적 장벽으로 작용하는 지점을 조절하는 데 있습니다. xylanase structure와 활성 부위는  $\beta$ -1,4-자일로시드 결합 절단을 가능하게 하고, 생성된 올리고당은 제빵 반죽의 수분 분포, 사료의 장내 발효 기질, 바이오매스 당화 접근성, 펄프 표백 반응성에 각각 다른 방식으로 기여할 수 있습니다. 즉 xylanase enzyme function은 하나지만, 공정 효과는 제빵·사료·펄프·바이오매스라는 적용 환경에 따라 달라집니다 [1].

가장 근거가 강한 설명은 xylanase가 xylan 또는 arabinoxylan을 가수분해한다는 점, 그리고 이 반응이 식물성 원료의 세포벽 접근성·표면 투과성·올리고당 생성에 영향을 준다는 점입니다. 반면 특정 빵 품질, 동물 성장성, 표백 비용 절감, 기능성 성분 증가처럼 최종 성능 지표는 원료·공정·배합·효소 조합에 따라 달라지므로 일반화해서 보장할 수 없습니다. Enzymes.bio의 Xylanase는 이러한 자일란 분해 기능을 산업 공정에서 검토할 수 있는 1kg 단위 온라인 구매 효소 원료로, 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다.

### Xylanase 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.

[Xylanase 구매하기 →](#)

## 참고문헌

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

1. Abena, T., & Simachew, A. (2024). A review on xylanase sources, classification, mode of action, fermentation processes, and applications as a promising biocatalyst. *BioTechnologia*, 105, 273 - 285.
2. Kaur, D., Joshi, A., Sharma, V., Batra, N., & Sharma, A. (2023). An insight into microbial sources, classification, and industrial applications of xylanases: A rapid review. *Biotechnology and applied biochemistry*, 70, 1489 - 1503.

3. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
4. Lawson, S. L., Wakarchuk, W., & Withers, S. (1997). Positioning the acid/base catalyst in a glycosidase: studies with *Bacillus circulans* xylanase. *Biochemistry*, 36 8, 2257-65 .
5. Guo, W., Hui, L., Song, F., Qu, Y., Wang, Q., Zhang, Y., Xin, J., ... et al. (2025). A new strategy for biological enzyme bleaching: combined effects of laccase, xylanase, and mannanase in the bleaching of softwood kraft pulp – a synergistic effect of enzymes. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 40, 465 - 476.
6. Layly, I. R., Nandyawati, D., Abidin, K. Y., Wahjono, E., Helianti, I., Suhendar, D., Waltam, D. R., ... et al. (2025). Box–Behnken response surface methodology in optimising fermentation of *Bacillus halodurans* CM1 xylanase enzyme production. *Biocatalysis and Biotransformation*, 43, 629 - 641.
7. Tai, H., Guo, Q., Zhao, J., Liu, Y., Yu, H., Liu, Y., Qu, Y., ... et al. (2024). A thermostable xylanase hydrolyzes several polysaccharides from *Bacillus altitudinis* JYY-02 showing promise for industrial applications. *Carbohydrate Research*, 538, 109080 .
8. Lu, Y., Fang, C., Wang, Q., Zhou, Y., Zhang, G., & Ma, Y. (2016). High-level expression of improved thermo-stable alkaline xylanase variant in *Pichia Pastoris* through codon optimization, multiple gene insertion and high-density fermentation. *Scientific Reports*, 6.
9. Wang, T., Ma, J., Zhong, Y., Liu, S., Cui, W., Liu, X., & Fan, G. (2026). Study of Fermentation Conditions Optimization for Xylanase Production by *Aspergillus tubingensis* FS7Y52 and Application in Agricultural Wastes Degradation. *Foods*, 15.
10. Vangah, S. J., Kermani, A. A., Vali, H., Noghabi, K. A., & Zahiri, H. (2025). Engineering *Saccharomyces cerevisiae* for the secretion of an acidic, halotolerant, and cold-adapted xylanase derived from the camel rumen metagenome: Enzyme characterization and strain assessment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148805 .
11. Basit, A., Jiang, W., & Rahim, K. (2020). Xylanase and Its Industrial Applications. *Biotechnological Applications of Biomass*.
12. Tiejia, S. (2010). Studies on the Action Mechanism of Enzymic Preparations to Improve the Baking Quality of Bread. *Agricultural Science&Technology and Equipment*.
13. Sohail, M., Barzkar, N., Michaud, P., Jahromi, S. T., Babich, O., Sukhikh, S., Das, R., ... et al. (2022). Cellulolytic and Xylanolytic Enzymes from Yeasts: Properties and Industrial Applications. *Molecules*, 27.
14. Petry, A. (2020). An investigation into the mechanism of action of xylanase in pigs fed insoluble corn-based fiber.
15. Farooq, U., Khalid, M. F., & Hussain, J. (2022). Effect of blends of Betaine, Choline, Ascorbic Acid and Xylanase Enzyme on nutrient digestibility, hemato-serological properties and response to severe heat in broilers. *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*.
16. Mathur, S., Kumar, S., & Rao, N. (2005). Action of Xylanase Prebleaching on Wheat Straw and Oxygen Delignified Wheat Straw Soda Pulps - Probable Mechanisms.
17. 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 .

18. Vimalashanmugam, K., & Karuppaiya, M. (2021). Optimization of process and conditions for enhanced xylanase production under SSF using inexpensive agro-industrial waste. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*.
19. Srivastava, M., Pandey, S., Shahid, M., Sharma, A., Singh, A., & Kumar, V. (2014). Induction of chitinase, -glucanase, and xylanase taken from Trichoderma sp. on different sources: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 8, 3131-3135.
20. Adeseko, C., & Olajide, I. (2025). Submerged Fermentation, Partial Purification and Characterization of Xylanase Isolated from Fusarium solani for Biotechnological Applications. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*.
21. Carla, L. D. T., & Marina, K. K. (2017). Thermostable xylanase from thermophilic fungi: Biochemical properties and industrial applications. *African Journal of Microbiology Research*, 11, 28-37.
22. Kim, I. J., Kim, S., Bornscheuer, U., & Nam, K. H. (2023). Engineering of GH11 Xylanases for Optimal pH Shifting for Industrial Applications. *Catalysts*.
23. Shahraki, M., Farhadyar, K., Kavousi, K., Azarabad, M. H., Boroomand, A., Ariaeenejad, S., & Salekdeh, G. (2020). A generalized machine-learning aided method for targeted identification of industrial enzymes from metagenome: A xylanase temperature dependence case study. *Biotechnology and Bioengineering*, 118, 759 - 769.
24. Keskar, S. S. (1992). High activity xylanase from thermotolerant Streptomyces T7: Cultural conditions and enzyme properties. *Biotechnology Letters*, 14, 481-486.
25. Huilong, J., Xin, G., Wenxuan, W., Zhuang, M., & Qing, Q. (2021). Isolation of Xylanase Producing Strains, Optimization of Fermentation Conditions and Research on Enzymatic Properties. *Journal of Biology and Life Science*, 12, 1.
26. Kaur, J., Murray, P., & Collins, C. (2024). Bioprospecting of novel and biologically active compounds and enzymes from a new fungal biobank for industrial biotechnology. *Biotechnology for the Environment*, 1.


## Enzymes.bio 문의


주문에 관해 궁금한 점이 있으신가요? 기꺼이 도와드리겠습니다.


이메일 [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

전화 (미국) +1 (507) 428-6057

[문의하기 →](#)

 **400+** B2B 고객사

 **60+** 대학 연구 파트너

 **54** 전 세계 54개국 공급