

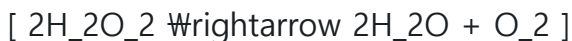
Catalase Enzyme For Wastewater Treatment: 폐수 처리에서 잔류 과산화수소를 물과 산소로 전환하는 효소

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

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment는 과산화수소를 사용하는 산화·표백·세정·고도처리 공정 이후 남은 H₂O₂를 물과 산소로 분해하는 효소 기반 보조제입니다. 이 제품의 핵심 용도는 폐수 내 모든 오염물을 직접 제거하는 것이 아니라, 잔류 산화제가 후단 생물학적 처리, 막 공정, 재이용 또는 방류 단계에 주는 산화 스트레스를 줄이는 데 있습니다. 과산화수소 기반 고도산화공정과 효소적 오염물 전환 기술은 폐수 처리 연구에서 각각 중요한 축으로 다루어지지만, catalase는 그중에서도 "산화제 잔류 관리"에 초점을 둔 효소로 이해해야 합니다^[1].

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment의 역할을 한 문장으로 정의하면

Catalase는 다음 반응을 촉진합니다.



폐수 처리 현장에서 이 반응은 매우 구체적인 의미를 가집니다. 과산화수소는 유기오염물 산화, 표백, 탈색, 살균, 세정, 약취 저감 또는 고도산화공정에서 유용하게 쓰일 수 있지만, 역할을 마친 뒤에도 남아 있으면 미생물 처리조, 막 생물반응기, 바이오필름 공정, 재이용수 품질 관리에 불필요한 산화 부담을 줄 수 있습니다. Catalase Enzyme For Wastewater Treatment는 바로 이 잔류 H₂O₂를 낮추는 데 사용되는 효소이며, 폐수 전체를 단독으로 정화하는 주처리 기술이 아닙니다.

이 구분은 중요합니다. 최근 폐수 처리는 단일 약품이나 단일 장치로 해결하기보다 생물학적 처리, 고도산화공정, 흡착, 막, 전기화학, 자연 기반 공정 등을 조합하는 방향으로 발전하고 있습니다. 우선 물질과 신흥오염물질 제거를 다룬 고도 도시하수 처리 기술 검토에서도, 고도처리 기술은 오염물 제거 효과뿐 아니라 에너지 사용, 부산물, 환경영향까지 함께 고려해야 한다고 설명합니다^[1]. Catalase는 이러한 복합 공정 속에서 특정 산화제, 즉 과산화수소의 잔류 문제를 다루는 보조 단계로 배치됩니다.

과산화수소가 폐수 처리에서 유용하지만 관리가 필요한 이유

과산화수소는 비교적 단순한 분자이지만, 폐수 처리에서는 여러 방식으로 활용됩니다. 단독으로 산화제로 쓰이기도 하고, 자외선, 금속 촉매, 전기화학 반응, 오존 또는 기타 활성화 조건과 결합해 더 반응성이 큰 라디칼을 만들기도 합니다. 이런 고도산화공정은 의약품질, 산업 유기물, 염료, 페놀류, 난분해성 유기화합물 같은 오염물 처리에서 연구되어 왔습니다. 고도 폐수 처리에서 미량오염물질 제거 기술을 정리한 문헌 역시 오존, 활성탄, 막, 고도산화 등 다양한 공정이 처리 목표와 수질 조건에 따라 조합될 수 있음을 보여줍니다^[2].

문제는 산화 공정이 끝난 뒤입니다. 산화제가 오염물과 반응한 후에도 일부 과산화수소가 남을 수 있습니다. 이 잔류 H_2O_2 는 후단 공정에서 세 가지 유형의 문제를 만들 수 있습니다. 첫째, 활성슬러지나 바이오필름 미생물에 산화 스트레스를 줄 수 있습니다. 둘째, 막 공정이나 재이용수 공정에서 원하지 않는 산화 반응을 지속시킬 수 있습니다. 셋째, peroxidase처럼 H_2O_2 를 기질로 사용하는 다른 효소 공정과 결합된 경우에는 반응 타이밍에 따라 목표 산화 반응을 방해하거나 종료시키는 역할을 할 수 있습니다. 실제로 soybean peroxidase를 이용한 2,4,6-trichlorophenol 분해 연구와 immobilized peroxidase를 이용한 azo dye 분해 연구는 H_2O_2 가 효소적 산화 반응에서 중요한 반응 성분이 될 수 있음을 보여줍니다^{[3][4]}.

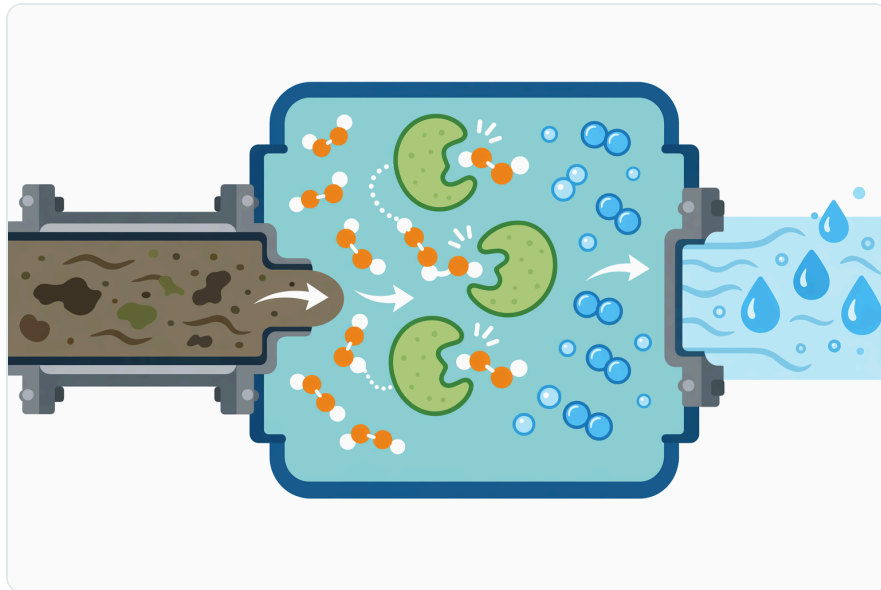


Figure 1. 카탈라아제는 산업 폐수에 남아 있는 과산화수소를 화학량론적 중화제를 추가하지 않고 물과 산소로 분해합니다.

따라서 catalase는 “과산화수소를 더 강하게 쓰기 위한 효소”가 아니라 “과산화수소를 멈추기 위한 효소”에 가깝습니다. 산화 반응이 아직 필요한 시점에 투입하면 H_2O_2 를 분해해 산화 효율을 떨어뜨릴 수 있습니다. 반대로 산화·표백·세정이 목표를 달성한 뒤에는 잔류 산화제를 빠르게 완화하는 방향으로 공정 안정성에 기여할 수 있습니다.

Catalase의 반응 메커니즘: 단순하지만 공정상 의미가 큰 분해 반응

Catalase의 핵심은 과산화수소 두 분자를 서로 다른 산화·환원 역할로 사용한다는 점입니다. 일반적인 heme catalase에서는 효소의 철 중심이 한 분자의 H_2O_2 와 먼저 반응해 산화된 중간체를 만들고, 두 번째 H_2O_2 가 이 중간체를 다시 원래 상태로 되돌리면서 산소와 물을 생성합니다. 전체 반응으로 보면 외부 환원제나 추가 유기 기질을 반드시 요구하지 않고 H_2O_2 자체가 반응 쌍으로 작동합니다.

폐수 처리 관점에서 이 메커니즘은 네 가지 실무적 결과를 갖습니다. 첫째, 생성물이 물과 산소이므로 특정 화학 환원제처럼 염류 부담을 직접 증가시키지 않습니다. 둘째, H_2O_2 가 충분히 남아 있는 조건에서는 반응이 빠르게 진행될 수 있지만, 현장 수질의 pH, 온도, 염도, 중금속, 잔류 살균제, 계면활성제, 유기용제성 성분이 효소 구조에 영향을 줄 수 있습니다. 셋째, 산소가 발생하므로 밀폐된 배관이나 탱크에서는 가스 발생과 혼합 조건을 고려해야 합니다. 넷째, catalase는 과산화수소에 특화된 효소이므로 오존, 염소, 과황산염, 퍼옥시모노황산염 같은 다른 산화제를 같은 방식으로 제거한다고 해석해서는 안 됩니다.

이 점은 효소적 폐수 처리 전반과도 연결됩니다. 백색부후균 배양 추출물과 ligninolytic enzyme이 올리브 밀 폐수의 생분해 가능성에 영향을 주는 연구, arugula peroxidase를 이용한 benzenediol 제거 연구, ligninolytic enzyme을 이용한 염료 탈색 연구는 효소가 폐수 내 특정 반응을 촉진할 수 있음을 보여줍니다^{[5][6][7]}. 그러나 효소마다 기질과 반응 목적이 다릅니다. Peroxidase는 H_2O_2 를 이용해 페놀류나 염료를 산화할 수 있지만, catalase는 H_2O_2 를 제거합니다. 같은 "효소"라는 범주에 있어도 공정 내 역할은 정반대가 될 수 있습니다.

Catalase가 적합한 폐수 처리 위치

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment가 가장 자연스럽게 들어가는 위치는 과산화수소가 이미 목적을 수행한 뒤입니다. 예를 들어 섬유 표백 후 세정수, 식품·음료 설비의 산화성 세정 배출수, 화학·제약 전처리 산화 공정 후 배출수, H_2O_2 기반 고도산화공정 후단, 막 세정 이후 배출되는 과산화수소 함유 세정수 등이 해당됩니다.

과산화수소 기반 산화공정 후단

고도산화공정은 난분해성 유기물이나 미량오염물질 저감에 활용될 수 있습니다. 하지만 산화 반응이 끝난 뒤에도 H_2O_2 가 남으면 생물학적 처리로 넘어가기 전에 조정이 필요할 수 있습니다. Catalase는 이때 산화제 quenching 단계로 사용될 수 있습니다. 이는 오염물의 1차 산화를 catalase가 대신한다는 의미가 아니라, 산화 공정 후 남은 반응성 H_2O_2 를 낮추는 역할입니다. 고도 폐수 처리 기술 검토에서 여러 처리 공정의 환경영향과 후속 영향이 함께 논의되는 것도, 단일 제거율만이 아니라 공정 간 연결성이 중요하다는 점을 보여줍니다^[1].

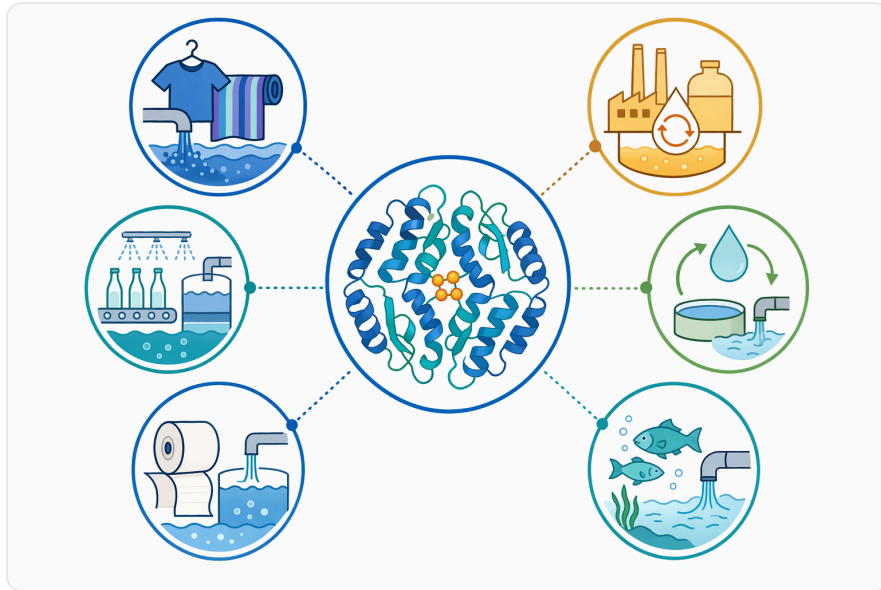


Figure 2. 과산화물이 포함된 폐수는 섬유 표백, 식음료 위생 처리, 유제품 관련 공정수, 펄프 및 제지 표백, 제약 설비 세정, 병원 소독, 화학적 산화, 산업용 세정 과정에서 발생할 수 있습니다.

생물학적 처리 유입 전

활성슬러지, 혐기·호기 조합, anammox 기반 질소 제거, 막 생물반응기, 생물막 공정은 모두 미생물 대사에 의존합니다. 질소 제거와 anammox 통합을 다룬 검토에서는 미생물 대사, 지속가능성, 운전 상 과제가 공정 성능의 핵심 요소로 제시됩니다^[8]. 과산화수소가 생물반응조 유입수에 잔류하면 특정 미생물군에 산화 스트레스를 줄 수 있으므로, catalase를 전단 완충 단계로 배치하는 것이 합리적입니다.

토양여과·자연 기반 처리 전후

토양대수층 처리나 인공습지 같은 자연 기반 공정에서는 미생물, 식물, 기질, 산소 전달이 복합적으로 작용합니다. 인공습지 검토 문헌은 이러한 시스템이 폐수 처리에 유용하지만 수리조건, 오염물 부하, 온도, 산소 전달, 장기 유지관리 등 여러 과제를 갖는다고 설명합니다^[9]. H₂O₂가 산소 공급 또는 산화 목적으로 쓰인 경우, 후단의 생태 기반 처리 단계에 과도한 산화제가 넘어가지 않도록 조절하는 관점에서 catalase의 역할을 검토할 수 있습니다.

막 공정 및 세정수 관리

막 공정에서는 유기오염물, 생물막, 무기 스케일, 세정약품 잔류가 모두 성능에 영향을 줍니다. Polyamide nanofiltration membrane의 green cleaning을 다룬 chemoenzymatic cascade 연구는 효소와 화학 반응을 조합해 막 오염을 다루는 접근이 연구되고 있음을 보여줍니다^[10]. Catalase는 막 자체를 세정하는 범용 효소라기보다, 과산화수소 기반 세정 이후 남은 H₂O₂를 낮춰 후단 공정이나 배출수 관리 부담을 줄이는 쪽에 더 직접적인 의미가 있습니다.

Catalase와 다른 폐수 처리 효소의 차이

효소 기반 폐수 처리는 하나의 범주로 묶이지만, 실제 기능은 크게 다릅니다. 다음 표는 catalase를 peroxidase, ligninolytic enzyme, amylase·protease와 비교해 공정상 역할을 정리한 것입니다.

효소 유형	주요 반응 초점	폐수 처리에서의 일반적 의미	Catalase와의 차이
Catalase	$H_2O_2 \rightarrow H_2O + O_2$	잔류 과산화수소 완화, 산화제 quenching, 후단 생물공정 보호	오염물 산화가 아니라 H_2O_2 제거가 핵심
Peroxidase	H_2O_2 를 이용한 유기물 산화	페놀류, 염료, chlorophenol 등 특정 유기오염물 전환 연구	H_2O_2 를 소비하지만 목적은 오염물 산화이며, catalase는 H_2O_2 자체를 제거함 ^[3]
Ligninolytic enzymes	방향족-리그닌 유사 구조 산화	염료 탈색, 올리브 밀 폐수 성분 전환, 난분해성 유기물 처리 연구	광범위 산화효소군이며 H_2O_2 잔류 관리용 효소와 구분됨 ^[5]
Amylase-Protease	전분·단백질 가수분해	식품·산업폐수의 고분자 유기물 분해 가능성	산화제 제어가 아니라 유기 고분자 분해가 목적 ^[11]

이 비교에서 볼 수 있듯이 catalase의 강점은 오염물 종류별 산화 분해 범위가 넓다는 데 있지 않습니다. 오히려 매우 좁고 명확한 기능, 즉 H_2O_2 분해에 있습니다. 이 좁은 기능이 폐수 처리에서는 장점이 될 수 있습니다. 공정 엔지니어가 원하는 것은 때때로 "더 많은 반응"이 아니라 "남은 반응성을 종료시키는 것"이기 때문입니다.

주요 산업 응용 분야

섬유·염색 및 표백 폐수

섬유·염색 공정에서는 과산화수소가 표백과 세정에 사용될 수 있습니다. 공정 후 잔류 H_2O_2 가 남으면 후속 염색 재현성, 색도 관리, 생물학적 처리 안정성에 영향을 줄 수 있습니다. Catalase는 표백 반응이 끝난 뒤 남은 H_2O_2 를 낮추는 단계에 적합합니다. 염료 탈색과 관련해 ligninolytic enzyme이 연구되는 것처럼, 섬유 폐수에서는 효소적 접근이 특정 반응을 조절하는 도구로 검토될 수 있습니다^[7].

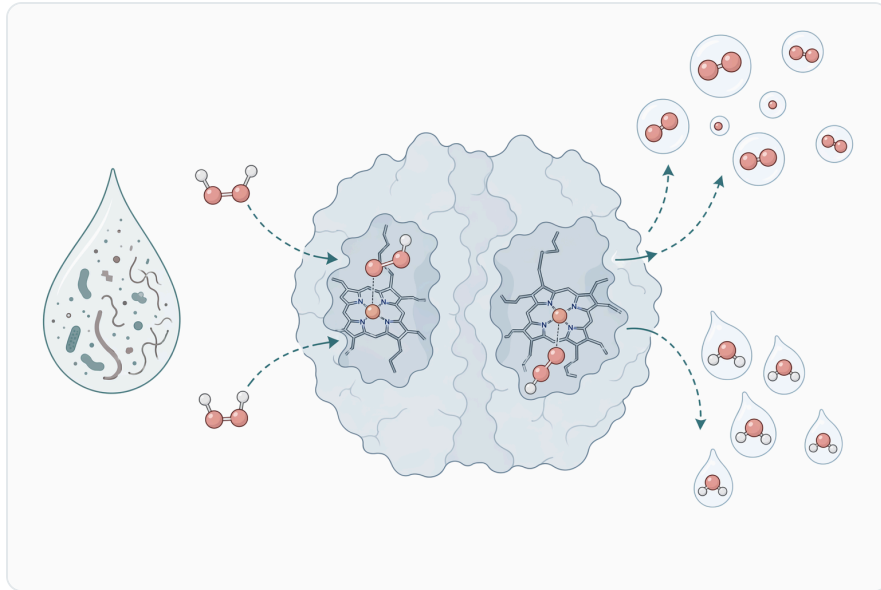


Figure 3. 카탈라아제는 활성 부위를 순환적으로 이용해 과산화수소 두 분자를 물 두 분자와 산소 한 분자로 전환합니다.

다만 catalase를 염료 제거 효소로 설명해서는 안 됩니다. 염료 분해나 색도 저감은 peroxidase, laccase, ligninolytic enzyme, AOP, 흡착, 응집, 막 처리 등 다양한 기술의 영역입니다. Catalase는 이들 처리 뒤 또는 사이에서 과산화수소 잔류를 조절하는 역할이 더 정확합니다.

식품·음료 및 농식품 산업 폐수

식품·음료 시설에서는 위생 세정, 설비 소독, 병·라인 세척 등에서 산화성 세정제가 사용될 수 있습니다. 농식품 산업 폐수는 유기물 부하가 높고 조성이 변동하기 쉬워 생물학적 처리의 안정성이 중요합니다. Agro-food industry wastewater treatment 검토에서는 농식품 폐수가 다양한 오염 특성을 가지며, 처리 기술 선택이 폐수 구성과 산업 특성에 따라 달라진다고 설명합니다^[12]. 과산화수소가 세정 후 배출수에 남는 경우 catalase는 후단 생물처리 전 산화 부담 완화에 사용할 수 있습니다.

미세조류를 이용한 농업 산업 폐수 bioremediation 연구 동향도 폐수 처리에서 생물 기반 접근의 관심이 커지고 있음을 보여줍니다^[13]. 이런 생물 기반 공정은 산화제 잔류에 민감할 수 있으므로, 과산화수소 사용 공정과 생물 공정 사이의 연결부에서 catalase가 의미를 가질 수 있습니다.

화학·제약·정밀화학 폐수

화학 및 제약 관련 폐수에는 난분해성 유기물, 반응 부산물, 용제성 성분, 생물학적 독성 성분이 포함될 수 있습니다. 이런 폐수에서는 전처리로 산화공정이 사용되는 경우가 있으며, 미량오염물질 및 신흥오염물질 제거를 위한 고도처리 기술도 지속적으로 검토되고 있습니다^[2]. H₂O₂ 기반 산화 후 잔류 과산화수소가 생물학적 처리나 막 공정으로 넘어가면 공정 안정성을 해칠 수 있으므로, catalase는 산화공정과 후단 처리 사이의 완충 단계로 배치될 수 있습니다.

이때도 catalase의 기능은 의약성분이나 유기합성 부산물을 직접 분해하는 것이 아닙니다. 오염물 자체의 산화는 AOP, 오존, 전기화학, 흡착, 막, 생물학적 처리 등 별도 공정에서 수행되며, catalase는 H₂O₂ 잔류를 낮춰 후속 공정 조건을 조정하는 역할을 합니다.

토양대수층 처리와 산소 공급형 전처리

토양대수층 처리에서 과산화수소를 활용해 미생물 활성을 촉진하려는 연구도 있습니다. Hydrogen peroxide가 soil aquifer treatment에서 미생물 활성 촉진과 관련해 검토된 것은 H₂O₂가 단순한 산화제일 뿐 아니라 산소 전달과 미생물 환경 조절의 맥락에서도 다뤄질 수 있음을 보여줍니다^[14]. 이 경우 catalase는 H₂O₂가 남아 있는 기간과 위치를 조절하는 관점에서 해석할 수 있습니다.

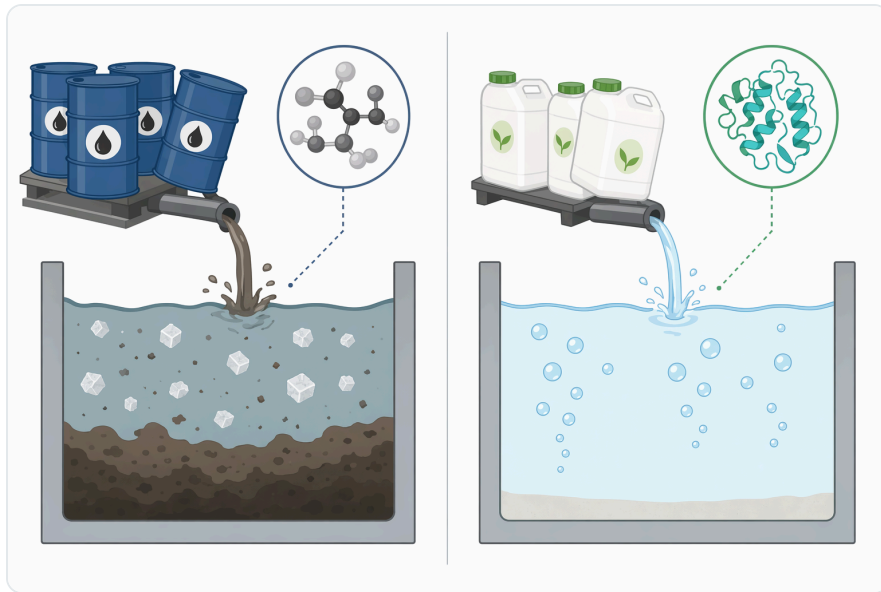


Figure 4. 카탈라아제는 과산화물 제거 반응이 중화제에서 유래한 용존 잔류물을 만들지 않고 물과 산소를 생성한다는 점에서 아황산염계 소거 방식과 다릅니다.

다만 H₂O₂를 이용한 산소 공급 효과가 필요한 단계에 catalase를 동시에 과도하게 사용하면 의도한 산소 전달 전략을 바꿀 수 있습니다. 따라서 공정 목적이 "H₂O₂ 유지"인지, "H₂O₂ 제거"인지가 먼저 구분되어야 합니다.

폐수 처리 공정별 catalase 적용 의미 비교

공정 또는 상황	과산화수소의 역할	Catalase 투입의 주된 목적	주의할 점
H ₂ O ₂ 기반 고도산화 공정 후단	유기오염물 산화, 라디칼 생성 보조	반응 후 잔류 H ₂ O ₂ 완화	산화 반응이 끝나기 전에 투입하면 처리효율 저하 가능

공정 또는 상황	과산화수소의 역할	Catalase 투입의 주된 목적	주의할 점
섬유 표백 후 세정수	표백 및 산화	후속 염색·생물처리 전 잔류 산화제 감소	색도 제거제와 혼동하지 않아야 함
식품·음료 설비 세정 배출수	위생 세정, 산화성 세척	생물처리 유입 전 산화 스트레스 완화	세정제가 H ₂ O ₂ 외 성분을 포함할 수 있음
막 세정 후 배출수	막 오염물 산화·세정	후단 배출수 또는 재순환수 내 H ₂ O ₂ 저감	막 소재와 세정 조건에 대한 별도 고려 필요
자연 기반 처리 또는 생물공정 전단	전처리 산화 또는 산소 공급	미생물 군집에 대한 잔류 산화제 부담 감소	H ₂ O ₂ 가 필요한 단계와 제거해야 하는 단계를 구분해야 함

이 표의 핵심은 catalase의 적용 위치가 “오염물을 공격하는 단계”가 아니라 “남은 산화제를 정리하는 단계”라는 점입니다. 폐수 처리 설계에서 이런 후단 보조 단계는 눈에 덜 띄지만, 실제 운전 안정성에는 큰 영향을 줄 수 있습니다.

생물학적 처리 보호: catalase가 간접적으로 기여할 수 있는 부분

생물학적 폐수 처리는 미생물 군집의 대사 균형에 기반합니다. 유기물 산화, 질산화, 탈질, anammox, 인 제거, 혐기성 소화 등은 모두 특정 미생물군과 환경 조건에 의존합니다. 질소 제거와 anammox 통합에 관한 검토는 기존 질소 제거 공정과 anammox를 통합할 때 미생물 대사, 지속가능성, 공정 안정성, 운전 조건이 핵심 도전과제라고 설명합니다^[8].

잔류 H₂O₂는 이러한 시스템에서 직접 독성 물질처럼 작용할 수도 있고, 미생물이 처리해야 할 산화 스트레스 부하로 작용할 수도 있습니다. 미생물은 자체적으로 catalase나 superoxide dismutase 같은 항산화 효소계를 갖고 있지만, 유입 부하가 크거나 반복적이면 군집 구조와 처리 성능에 영향을 줄 수 있습니다. 납을 포함한 도시·산업 폐수 관개 조건에서 식물의 phytoaccumulation potential과 항산화 효소 활성이 관련된다는 연구는 폐수 노출 환경에서 산화스트레스 방어 효소가 생물 반응의 중요한 지표가 될 수 있음을 시사합니다^[15].

외부 catalase 투입은 이런 생물학적 스트레스 상황을 완전히 제거하는 만능 방법이 아닙니다. 그러나 과산화수소가 명확한 원인으로 확인된 경우에는 H₂O₂를 생물반응조 유입 전에 낮추어 미생물 공정이 본래의 유기물·질소·인 처리 기능에 집중하도록 돕는 보조 전략이 될 수 있습니다.

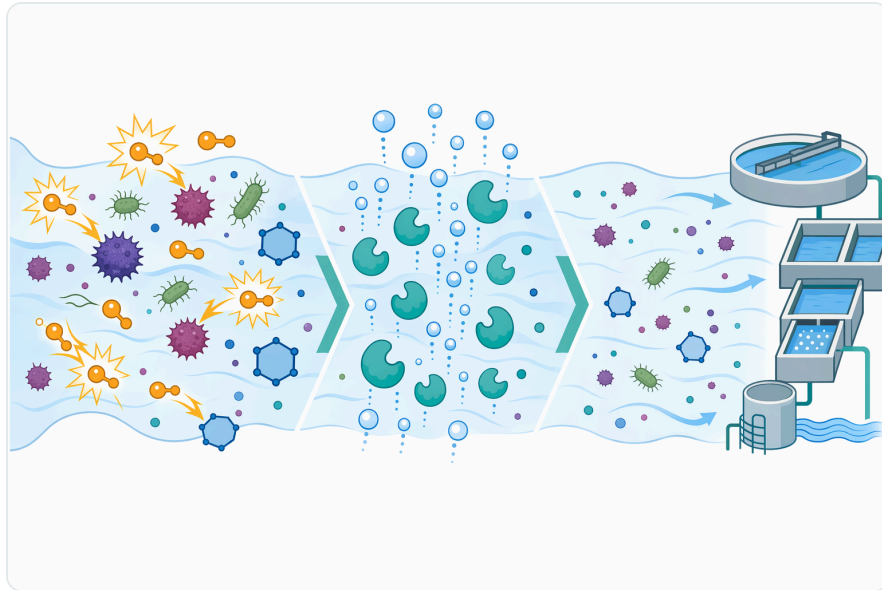


Figure 5. 카탈라아제는 과산화수소의 잔류 산화력을 제거하고 산소를 방출하지만, 그 자체로 다른 폐수 오염물질을 제거하지는 않습니다.

에너지·운전 안정성 관점에서의 의미

폐수처리장은 점점 더 에너지, 탄소, 자원 회수, 운전 자동화의 관점에서 평가됩니다. 폐수처리장의 전력 소비 절감에 SI가 미치는 영향을 검토한 문헌은 처리장의 에너지 최적화가 중요한 운영 과제이며, 데이터 기반 제어와 공정 최적화가 주목받고 있음을 보여줍니다^[16]. 또 도시 하수처리에서 에너지 회수와 절감 실무를 다룬 연구도 폐수처리가 단순 방류 기준 충족을 넘어 에너지 관리와 연결되고 있음을 설명합니다^[17].

Catalase가 에너지를 직접 생산하거나 처리장의 전력 사용량을 자동으로 줄이는 것은 아닙니다. 그러나 H₂O₂ 잔류로 인해 생물공정이 흔들리거나 막 공정 세정·회복이 잦아지거나 후단 처리 조건이 불안정해지는 상황이라면, 산화제 제어는 전체 운전 안정성의 일부가 됩니다. 즉 catalase의 가치는 독립적인 에너지 절감 장치가 아니라, 공정 간 조건을 안정화해 불필요한 교란을 줄이는 데 있습니다.

Catalase 사용 시 피해야 할 오해

첫 번째 오해는 catalase가 COD 제거제라는 주장입니다. Catalase는 H₂O₂를 분해합니다. H₂O₂가 COD 측정이나 생물처리 안정성에 간접 영향을 줄 수는 있지만, catalase 자체가 유기탄소를 산화해 COD를 직접 낮추는 주처리제는 아닙니다. COD, TOC, 색도, 독성, 미세오염물질, 질소, 인은 각각의 처리 목표에 맞는 공정 조합으로 다루어야 합니다.

두 번째 오해는 catalase가 모든 산화제를 제거한다는 주장입니다. Catalase의 핵심 기질은 과산화수소입니다. 오존, 염소, 과황산염, 퍼옥시모노황산염, permanganate, chloramine 등은 별도의 반응성을 갖습니다. 고도산화 또는 산화제 기반 공정의 문헌에서 여러 산화제가 함께 언급된다고 해서 catalase가 모두를 동일하게 처리한다고 볼 수는 없습니다^[2].

세 번째 오해는 catalase가 peroxidase와 같은 방식으로 오염물을 분해한다는 주장입니다. Peroxidase는 H₂O₂를 이용해 특정 유기오염물을 산화할 수 있습니다. 실제로 chlorophenol, azo dye, benzenediol 같은 물질을 대상으로 한 peroxidase 연구들이 존재합니다^{[3][4]}. 반면 catalase는 H₂O₂를 물과 산소로 전환해 peroxidase 반응에 필요한 H₂O₂를 없앨 수 있습니다. 두 효소를 같은 지점에 배치하면 목적이 충돌할 수 있습니다.

네 번째 오해는 효소이므로 모든 친환경 공정에 자동으로 적합하다는 생각입니다. 효소는 생분자이기 때문에 조건 민감성이 있습니다. 극단적 pH, 고온, 강한 잔류 산화제, 특정 금속, 살균제, 용제, 계면활성제는 효소 구조와 기능에 영향을 줄 수 있습니다. 따라서 catalase는 공정 내 목적과 위치가 명확할 때 가장 합리적으로 사용됩니다.

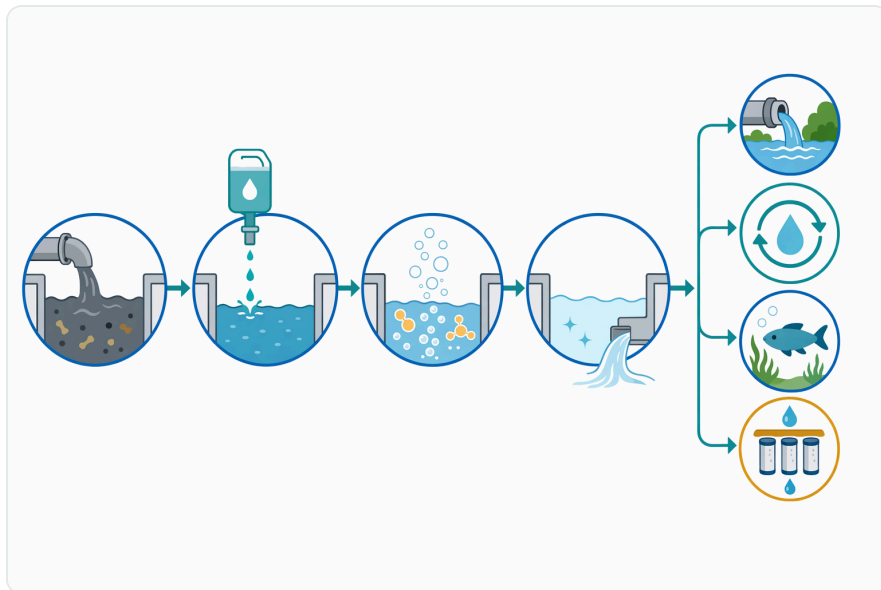


Figure 6. 실제 카탈라아제 처리 단계는 폐수 흐름과의 적합성, 효과적인 혼합, 충분한 접촉 시간, 산소 관리, 잔류 과산화수소 감소 여부 확인에 달려 있습니다.

현장 조건에서 고려할 변수

Catalase 적용은 “얼마나 넣을 것인가”만의 문제가 아니라 “언제, 어디에, 어떤 수질에서 반응시킬 것인가”의 문제입니다. 다음 변수들이 공정 해석에 중요합니다.

pH와 온도

효소는 단백질이므로 pH와 온도의 영향을 받습니다. 폐수가 강산성 또는 강알칼리성이거나 고온이면 catalase의 구조 안정성이 낮아질 수 있습니다. 반대로 너무 낮은 온도에서는 반응 속도가 느려질 수 있습니다. 따라서 산화 반응 후 pH 조정이나 냉각이 이미 필요한 공정이라면, catalase 단계는 이러한 조정 이후에 배치되는 편이 더 자연스럽습니다.

잔류 산화제의 종류

과산화수소가 실제 문제인지 확인하는 것이 중요합니다. 공정에서 오존, 염소, 과황산염, 기타 산화제가 함께 사용되었다면 잔류 산화력의 원인이 H₂O₂만은 아닐 수 있습니다. Catalase가 H₂O₂를 낮추더라도 다른 산화제가 남아 있으면 후단 공정 영향은 계속될 수 있습니다.

유기물과 부유물

고농도 유기물, 부유물, 콜로이드, 기름 성분은 효소와 H₂O₂의 접촉을 방해하거나 반응 환경을 복잡하게 만들 수 있습니다. 농식품, 양조, 유지, 염색, 화학 폐수처럼 조성이 큰 폭으로 변하는 폐수에서는 catalase 단계가 전체 전처리 체계와 함께 해석되어야 합니다. 예를 들어 양조 폐수와 미생물 연료전지를 함께 다룬 연구는 유기성 산업폐수에서 처리와 에너지 회수 가능성을 검토하지만, 이런 시스템 역시 유입수 조성과 미생물 활성에 크게 의존합니다^[18].

후단 공정의 민감도

후단이 단순 방류 전 저장조인지, 활성슬러지인지, MBR인지, RO 전처리인지, 자연 기반 처리인지에 따라 허용 가능한 잔류 산화제 수준과 운영 리스크가 달라집니다. 인공습지처럼 식물·미생물·기질이 함께 작동하는 시스템은 저에너지 장점이 있지만 수질 변동과 장기 운전 조건에 민감할 수 있습니다^[19]. 생물공정이 민감할수록 과산화수소 관리의 의미는 커집니다.

Enzymes.bio에서의 제품 이해

Enzymes.bio는 Catalase Enzyme For Wastewater Treatment의 공급업체이며, 제조사나 실험실로 제품 성능을 직접 보증하는 시험기관이 아닙니다. 이 제품은 1kg 단위로 온라인에서 직접 구매할 수 있으며, 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다. 제품 페이지에서 이 효소를 이해할 때 가장 중요한 문장은 다음과 같습니다. "이 제품은 폐수 전체를 단독 처리하는 약품이 아니라, 과산화수소 사용 공정 이후 잔류 H₂O₂를 물과 산소로 전환하는 효소 기반 보조제입니다."

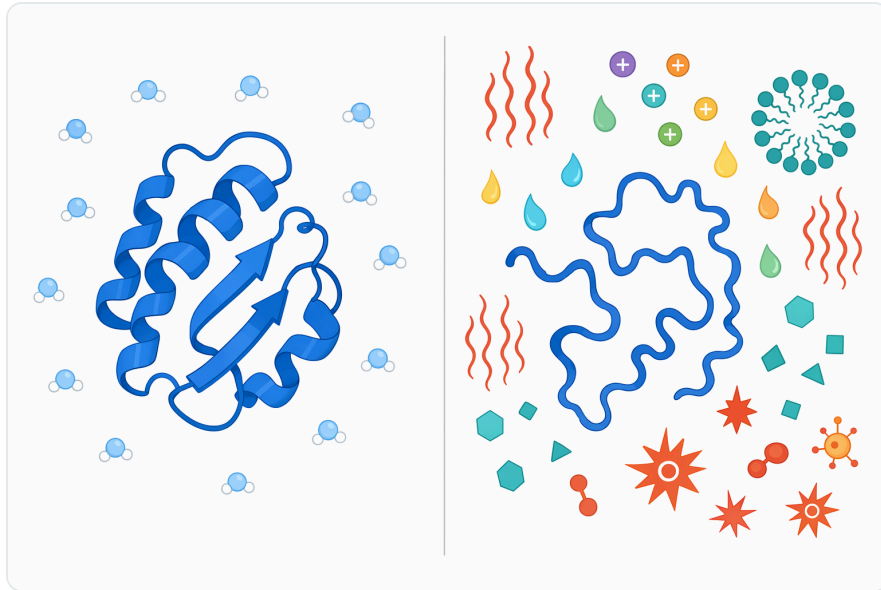


Figure 7. 폐수 조건이 단백질 구조를 손상시키거나 효소 활성 부위를 억제하면 카탈라아제의 성능이 저하될 수 있습니다.

이 설명은 구매자가 제품을 과대 해석하지 않도록 돕습니다. Catalase는 H₂O₂ 기반 산화공정, 표백, 세정, 막 세정, 생물처리 전단 안정화 같은 상황에서 의미가 있습니다. 반면 COD 직접 제거, 색도 직접 제거, 중금속 제거, 미세플라스틱 제거, 질소·인 제거, 오존·염소 제거를 주목적으로 하는 제품으로 설명하는 것은 정확하지 않습니다.

적용 메시지: catalase가 가장 잘 맞는 경우와 맞지 않는 경우

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment가 가장 잘 맞는 경우는 다음과 같습니다. 폐수 공정에서 과산화수소가 명확히 사용되었고, 그 반응이 이미 완료되었으며, 남은 H₂O₂가 후단 생물공정·막 공정·방류·재이용 단계에 부담이 될 가능성이 있는 경우입니다. 특히 H₂O₂ 기반 AOP 후단, 섬유 표백 후 세정수, 식품·음료 설비 세정 배출수, 과산화수소 함유 막 세정수, 생물학적 처리 유입 전 완충 단계에서 개념적으로 적합합니다.

반대로 적합성이 낮은 경우도 분명합니다. 산화 반응이 아직 진행 중이어서 H₂O₂가 계속 필요할 때, 주요 잔류 산화제가 H₂O₂가 아닐 때, 목표가 COD·색도·미량오염물질의 직접 분해일 때, 폐수가 효소가 견디기 어려운 극단적 조건일 때에는 catalase만으로 문제를 해결한다고 볼 수 없습니다. 폐수 처리 연구 전반이 복합 공정과 맞춤형 조합으로 발전하는 이유도, 한 가지 물질이나 한 가지 효소가 모든 처리 목표를 동시에 해결하기 어렵기 때문입니다^[1].

결론: 폐수 처리용 catalase의 정확한 가치

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment의 가치는 좁지만 명확합니다. 과산화수소를 물과 산소로 전환해 잔류 H₂O₂를 완화하고, 산화공정과 생물학적 처리·막 공정·재이용·방류 단계 사이의 연결을 안정화하는 것입니다. 이 역할은 고도산화공정, 효소적 폐수 처리, 생물학적 처리, 자연 기반 처리, 에너지 최적화가 함께 논의되는 현대 폐수 처리 환경에서 작지만 중요한 공정 제어 포인트가 될 수 있습니다.

Enzymes.bio의 Catalase Enzyme For Wastewater Treatment는 1kg 단위 온라인 직접 판매 제품으로, 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다. 제품을 검토할 때는 “폐수 오염물 전체 제거제”가 아니라 “과산화수소 잔류 관리용 catalase”로 이해하는 것이 가장 정확합니다.

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment 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.

[Catalase Enzyme For Wastewater Treatment 구매하기 →](#)

참고문헌

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

1. Pesqueira, J. F., Pereira, M. F. R., & Silva, A. (2020). Environmental impact assessment of advanced urban wastewater treatment technologies for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern: A review. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121078.
2. Lauesen, L. M. (2022). Advanced wastewater treatment of micropollutants – state of the art. *Technological Sustainability*.
3. Costa, R. A., Cunha, A. S., Peres, J., Azzoni, A., Laurenti, E., & Vianna, A. S. (2020). Enzymatic Degradation of 2, 4, 6-Trichlorophenol in a Microreactor using Soybean Peroxidase. *Symmetry*, 12, 1129.
4. Kim, G., Lee, K., Cho, S., Shim, J., & Moon, S. (2005). Electroenzymatic degradation of azo dye using an immobilized peroxidase enzyme. *Journal of Hazardous Materials*, 126 1-3, 183-8 .
5. Ntougias, S., Baldrian, P., Ehaliotis, C., Nerud, F., Merhautová, V., & Zervakis, G. (2015). Olive mill wastewater biodegradation potential of white-rot fungi–Mode of action of fungal culture extracts and effects of ligninolytic enzymes. *Bioresource Technology*, 189, 121-130 .
6. Saleh, H. S., Mahdii, B., & Altahir, B. M. (2025). Wastewater Benzenediol Removal Catalyzed by Crude Arugula Peroxidase. *Nature Environment and Pollution Technology*.

7. Agnestisia, R., Karelius, K., Oksal, E., & Nion, Y. A. (2025). DECOLORIZATION OF TEXTILE DYES WITH CRUDE LIGNINOLYTIC ENZYMES FROM *Corioliopsis caperata*. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia (JBBI)*.
8. Al-Hazmi, H., Hassan, G. K., Maktabifard, M., Grubba, D., Majtacz, J., & Małkinia, J. (2022). Integrating conventional nitrogen removal with anammox in wastewater treatment systems: Microbial metabolism, sustainability and challenges. *Environmental Research*, 114432 .
9. Vymazal, J., Zhao, Y., & Mander, Ü. (2021). Recent research challenges in constructed wetlands for wastewater treatment: A review. *Ecological Engineering*, 169, 106318.
10. Zhang, J., Zhang, H., Wan, Y., & Luo, J. (2022). Chemoenzymatic Cascade Reaction for Green Cleaning of Polyamide Nanofiltration Membrane. *ACS Applied Materials and Interfaces*.
11. Nandang, J. J. N., Sontsa-Donhoung, A., Biyé, E., Raducanu, D., Bârsan, N., Ayo, A., Wafo, G. V. D., ... et al. (2025). Bacillus amyloliquefacins Strains Isolated in a Wastewater Treatment Plant: Molecular Identification and Amylase/Protease Production Capacity. *Environments*.
12. Abdulla, H., Zamorano, M., Rodríguez, M., Shahawy, A. E., Hosny, S., Martín-Pascual, J., & El-Shatoury, S. (2022). An overview of agro-food industry wastewater treatment: a bibliometric analysis and literature review. *Applied Water Science*, 13.
13. Melo, J. M., Ribeiro, M. R., Telles, T. S., Amaral, H., & Andrade, D. (2021). Microalgae cultivation in wastewater from agricultural industries to benefit next generation of bioremediation: a bibliometric analysis. *Environmental science and pollution research international*, 29, 22708-22720.
14. Friedman, L., Chandran, K., Avisar, D., Taher, E., Kirchmaier-Hurpia, A., & Mamane, H. (2022). Accelerating Microbial Activity of Soil Aquifer Treatment by Hydrogen Peroxide. *Energies*.
15. Hussain, Z., Rasheed, F., Tanvir, M. A., Zafar, Z., Rafay, M., Mohsin, M., Pulkkinen, P., ... et al. (2020). Increased antioxidative enzyme activity mediates the phytoaccumulation potential of Pb in four agroforestry tree species: a case study under municipal and industrial wastewater irrigation. *International journal of phytoremediation*, 23, 704 - 714.
16. Esteves, F., Cardoso, J., Leitão, S., & Pires, E. (2023). Impact of artificial intelligence in the reduction of electrical consumption in wastewater treatment plants: a review. *Journal of Information Systems Engineering & Management*.
17. Gong, A., Wang, G., Qi, X., He, Y., Yang, X., Huang, X., & Liang, P. (2024). Energy recovery and saving in municipal wastewater treatment engineering practices. *Nature Sustainability*, 8, 112 - 119.
18. Desta, M., Tebeje, D. G., & Gebrehiwot, H. M. (2023). Potential of Electricity Generation and Wastewater Treatment of Organic Brewery Effluent Using Inoculated H-Type Microbial Fuel Cell. *Journal of Energy Research and Reviews*.
19. Stefanakis, A. (2020). Constructed Wetlands for Sustainable Wastewater Treatment in Hot and Arid Climates: Opportunities, Challenges and Case Studies in the Middle East. *Water*.


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