

# Superoxide Dismutase(SOD) 효소: 항산화 제형·식품 소재·화장품·바이오 연구용 초과산화물 제거 원료

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

**Superoxide dismutase** 뜻은 “초과산화물 불균등화효소”로, 반응성 산소종인 초과산화물 라디칼을 산소와 과산화수소로 전환하는 항산화 효소군을 말합니다. SOD는 식품·영양 소재, superoxide dismutase skin care 제형, 식물 스트레스 연구, 세포 산화 스트레스 모델, SOD mimetic 및 나노자임 연구에서 “초과산화물 제거”라는 구체적 기능으로 사용됩니다 <sup>[1]</sup>. Enzymes.bio는 제조사나 시험기관이 아니라 온라인 효소 공급업체이며, Superoxide Dismutase 제품은 1kg 단위로 직접 구매할 수 있고 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다.

## Superoxide Dismutase 뜻과 핵심 기능

Superoxide dismutase, 흔히 SOD 또는 sod superoxide dismutase로 검색되는 이 효소는 산소 대사 중 생기는 초과산화물 음이온 라디칼을 처리하는 대표적인 항산화 효소입니다. “Superoxide dismutase function”을 한 문장으로 정리하면, 초과산화물 두 분자를 서로 다른 방향으로 산화·환원시켜 하나는 산소로, 다른 하나는 과산화수소 형성 경로로 보내는 촉매 기능입니다. 이 반응은 단순한 라디칼 흡착이 아니라 효소 활성 부위의 금속 중심이 전자를 주고받는 촉매 과정이며, 식물·동물·미생물에서 산화 스트레스 방어의 기초 축으로 설명됩니다 <sup>[2]</sup>.

SOD가 중요한 이유는 초과산화물이 다른 반응성 산소종, 금속 중심 단백질 손상, 지질 산화, 세포 신호 교란의 출발점이 될 수 있기 때문입니다. SOD는 초과산화물 자체를 낮추지만 반응 산물로 과산화수소를 남기므로, 실제 생체 방어에서는 catalase, glutathione peroxidase 같은 후속 과산화물 처리 시스템과 함께 작동합니다. 이 때문에 관련 검색어인 “superoxide dismutase catalase”는 단순 병렬 조합이 아니라, SOD가 초과산화물을 과산화수소로 바꾸고 catalase가 과산화수소를 물과 산소로 분해하는 연속 방어 구조를 가리키는 경우가 많습니다 <sup>[3]</sup>.

산업적 관점에서 SOD는 “항산화제”라는 넓은 표현보다 “초과산화물 라디칼을 대상으로 하는 효소 원료”로 이해하는 편이 정확합니다. 폴리페놀, 비타민류, 환원성 화합물이 넓은 라디칼 소거 또는 산화환원 완충 역할로 설명되는 반면, superoxide dismutase enzyme은 특정 ROS인 초과산화물에 대해 효소적 변환 반응을 수행합니다. 이런 특성 때문에 SOD는 항산화 콘셉트 식품 소재, 화장품 원료, 세포 배양 연구, 식물 스트레스 모델, 생체재료 표면 설계에서 서로 다른 의미로 활용됩니다 <sup>[1]</sup>.

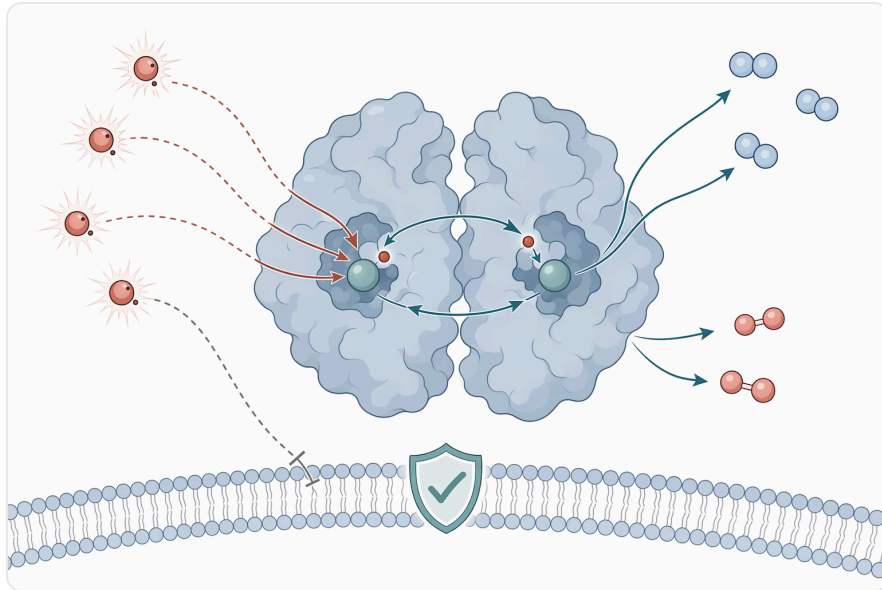
## 반응 메커니즘: 초과산화물 불균등화와 금속 중심

SOD 반응의 중심은 “불균등화”입니다. 두 개의 초과산화물 라디칼 중 하나는 산화되어 산소가 되고, 다른 하나는 환원되어 과산화수소 생성으로 이어집니다. 효소는 반응 중 영구적으로 소비되지 않고, 활성 부위 금속이 산화 상태를 오가며 전자 전달을 매개합니다. 이 금속 중심이 무엇이냐에 따라 Cu/Zn-SOD, Mn-SOD, Fe-SOD, Ni-SOD 같은 계열명이 붙습니다 [4].

Cu/Zn superoxide dismutase는 구리와 아연을 포함하는 형태로 널리 연구되어 왔고, “superoxide dismutase 1” 또는 “SOD1”이라는 검색어는 일반적으로 사람과 동물에서 세포질 Cu/Zn-SOD를 지칭하는 맥락에서 자주 나타납니다. 구리는 전자 전달에 직접 관여하고, 아연은 구조 안정성과 활성 부위 배치에 기여하는 것으로 설명됩니다. Cu/Zn-SOD 단백질은 이황화 결합, 금속 결합 상태, 변성 조건에 따라 구조 안정성이 달라질 수 있으며, 특정 조건에서는 비정상적 응집이나 섬유화 연구의 모델로도 사용됩니다 [5].

Mn-SOD는 미토콘드리아 또는 일부 미생물계에서 핵심적인 SOD 형태로 다뤄집니다. 미토콘드리아는 산소 소비와 전자전달계가 밀접한 장소이기 때문에 초과산화물 관리가 중요하며, Mn-SOD는 이 위치에서 산화 스트레스 방어와 연결됩니다. 최근에는 망간 SOD의 열안정성 및 기능 향상을 목표로 하는 단백질 공학 연구도 진행되고 있으며, 이는 항산화·항염증·스킨케어 응용 가능성을 염두에 둔 효소 설계 흐름과 연결됩니다 [6].

Fe-SOD와 Ni-SOD는 주로 미생물 및 일부 식물·조류 계통에서 논의됩니다. 식물과 녹조류에서는 SOD 종류가 세포 내 위치별로 분화되어 있으며, 엽록체, 미토콘드리아, 세포질, 과산화소체 등에서 서로 다른 ROS 발생원을 관리합니다. Arabidopsis와 Chlamydomonas를 다룬 최근 리뷰는 식물·조류 SOD가 종류, 위치, 조절 방식, 스트레스 반응에서 높은 다양성을 갖는다고 정리합니다 [2].



**Figure 1.** 슈퍼옥사이드 디스뮤타아제는 두 개의 슈퍼옥사이드 라디칼과 두 개의 양성자를 산소와 과산화수소로 전환하는 반응을 촉매한다.

## SOD 계열별 특징 비교

구분	대표 금속 중심	주로 논의되는 위치·출처	제품 개발에서의 해석
Cu/Zn-SOD	구리·아연	동물 세포질, 세포 외 공간, 일부 미생물	"superoxide dismutase 1" 검색과 연결되는 경우가 많고, 구조 안정성·금속 결합·단백질 응집 연구가 풍부합니다 [5].
Mn-SOD	망간	미토콘드리아, 세균, 일부 산업용 후보 효소	산화 스트레스 방어, 열안정성 개선, 바이오·스킨케어용 효소 공학 연구에서 자주 다루집니다 [6].
Fe-SOD	철	세균, 식물·조류의 특정 세포 구획	식물·조류 ROS 방어 네트워크를 이해할 때 중요하며, 계통과 위치에 따라 조절 양상이 다릅니다 [2].
Ni-SOD	니켈	일부 미생물	천연 SOD 다양성의 한 축으로, 특수 미생물 항산화 시스템 연구에서 언급됩니다 [4].
SOD mimetic·나노자임	금속복합체, 세리아, 실리카 기반 구조 등	합성 촉매, 생체재료, 센서	천연 효소의 안정성 한계를 보완하려는 연구 분야이며, 실제 원료 SOD와는 구분해 해석해야 합니다 [7].

이 표에서 중요한 점은 "SOD"가 하나의 단일 물질명이 아니라 기능적으로 묶인 효소군이라는 사실입니다. 같은 superoxide dismutase sod라고 해도 금속 중심, 생물학적 출처, 구조 안정성, 사용 환경이 다를 수 있습니다. 따라서 B2B 원료 설명에서는 SOD를 "초과산화물 제거 효소군"으로 넓게 이

해하되, 특정 제품이나 연구 결과를 모든 SOD에 그대로 일반화하지 않는 것이 중요합니다.

## SOD와 Catalase: 항산화 네트워크에서의 역할 분담

SOD가 초과산화물을 처리하면 과산화수소가 생성됩니다. 과산화수소는 초과산화물보다 상대적으로 안정하지만, 축적되면 금속 촉매 반응을 통해 더 반응성이 큰 산화종을 만들 수 있고 단백질·지질·핵산 손상에 관여할 수 있습니다. 따라서 생체 항산화 네트워크에서는 SOD가 첫 단계 방어를 맡고, catalase와 glutathione peroxidase가 과산화수소를 이어서 처리하는 구조가 일반적으로 설명됩니다 [3].

이러한 연속 반응 개념은 “superoxide dismutase catalase” 조합을 이해하는 핵심입니다. 예를 들어 당뇨병성 신경병증 환자 연구에서는 erythrocyte superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase와 말초 신경 전도 사이의 관계가 함께 다뤄졌습니다. 이는 SOD 하나만이 아니라 여러 항산화 효소가 산화 스트레스 상태를 설명하는 지표로 함께 평가될 수 있음을 보여줍니다 [3].

제형 개발에서도 같은 원리가 적용됩니다. SOD를 배합하면 초과산화물 부담을 낮추는 방향으로 설계할 수 있지만, 과산화수소가 문제가 되는 조건이라면 후속 분해 시스템, 다른 항산화 성분, 완제품의 산화환원 환경을 함께 고려해야 합니다. 즉 SOD는 “모든 ROS를 제거하는 만능 효소”가 아니라, ROS 네트워크 중 초과산화물 노드에 작용하는 촉매입니다.

## 식품·영양 소재에서의 SOD

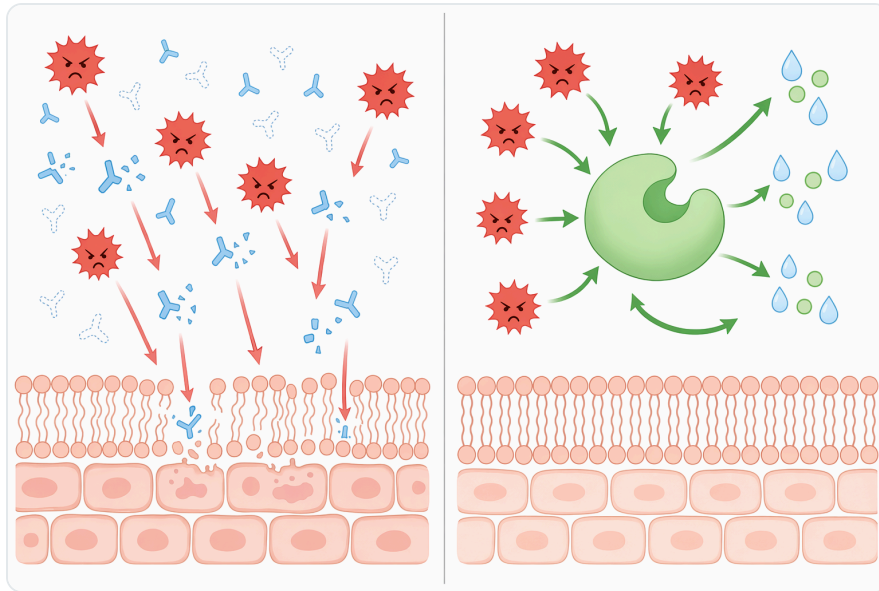
식품과 영양 소재에서 SOD는 항산화 콘셉트, 산화 스트레스 관리, 기능성 원료 차별화와 연결됩니다. “superoxide dismutase foods”라는 검색어는 SOD가 들어 있는 식물성 원료, 견과류, 과일, 발효 소재, SOD 함유 보충 제품에 대한 관심을 반영합니다. 예를 들어 *Juglans regia*와 *Ribes nigrum*을 다룬 연구는 이들 소재를 열안정성 SOD 효소의 잠재적 뉴트라슈티컬 원천으로 평가했습니다 [8].

다만 식품·영양 분야에서 SOD를 해석할 때는 경구 섭취 후 효소 단백질의 안정성, 소화 과정, 전달 기술, 생체 내 작용 위치를 구분해야 합니다. 사람 대상 사용 가능성을 검토한 리뷰는 SOD 투여가 여러 분야에서 제안되어 왔지만, 외인성 SOD의 전달성, 생체이용률, 적용 목적별 근거 수준을 신중히 보아야 한다고 정리합니다 [1]. 따라서 제품 문구에서는 “질환 치료”나 “체내 항산화 효소를 직접 증가시킨다” 같은 단정적 표현보다 “항산화 콘셉트 원료”, “초과산화물 제거 효소 기반 소재”처럼 기능 범위를 명확히 하는 편이 적합합니다.

식물 유래 또는 미생물 유래 SOD를 식품 소재 관점에서 검토할 때도 원료명만으로 최종 효능을 판단하기 어렵습니다. 효소가 완제품 제조 과정에서 어떤 열·pH·수분활성·보관 조건을 거치는지, 식품 매트릭스가 단백질 구조를 보호하는지, 최종 소비자가 실제로 어떤 형태로 섭취하는지가 결과에 영향을 줍니다. 이 부분은 특정 제품의 표시·광고 범위와도 연결되므로, B2B 기술 문서에서는 생화학적 기능과 소비자 효능 표현을 분리하는 것이 안전합니다.

## Superoxide Dismutase Skin Care와 퍼스널케어 적용

화장품과 퍼스널케어에서 SOD는 피부 산화 스트레스, 도시 오염, 자외선 노출, 노화 개념과 함께 자주 언급됩니다. "superoxide dismutase skin care", "niod superoxide dismutase saccharide mist" 같은 검색어는 소비자 제품 영역에서 SOD가 항산화 원료 이미지로 인식되고 있음을 보여줍니다. 그러나 기술적으로는 "피부에 좋다"가 아니라 "초과산화물 라디칼을 효소적으로 전환하는 원료"라는 설명이 먼저 와야 합니다 [1].



**Figure 2.** 주요 SOD 계열과 동종효소는 금속 보조인자와 생물학적 위치가 서로 다르지만, 슈퍼옥사이드 불균등화라는 동일한 핵심 기능을 수행한다.

스킨케어 제형에서는 SOD의 단백질 구조 안정성이 중요합니다. 물 기반 미스트, 세럼, 젤, 에멀전과 같은 제형은 pH, 방부 시스템, 계면활성제, 금속 이온, 향료, 보관 온도에 따라 효소 안정성이 달라질 수 있습니다. 최근 Mn-SOD 공학 연구는 항산화·항염증·스킨케어 응용을 염두에 두고 열안정성과 기능 향상을 다루고 있어, 천연 효소의 취약성을 개선하려는 연구 방향을 보여줍니다 [6].

피부 항노화 연구에서는 SOD 전달 방식도 중요한 주제입니다. *Caenorhabditis elegans*를 이용한 연구에서는 엑소좀 매개 SOD 전달이 항노화 연구 모델에서 검토되었습니다. 이는 SOD 자체의 생화학적인 기능뿐 아니라, 어떤 전달 플랫폼이 효소를 안정적으로 목표 환경에 도달시키는지의 응용 결과를 좌우할 수 있음을 시사합니다 [9].

따라서 화장품 원료 설명에서 SOD는 "피부 산화 스트레스 관리 개념에 적합한 항산화 효소"로 표현하는 것이 기술적으로 적절합니다. 반대로 주름 치료, 피부 질환 치료, 확정적 항노화 효과처럼 의약적 의미로 해석될 수 있는 표현은 피해야 합니다. B2B 배합 관점에서는 SOD를 브랜드 스토리용 항산화 키워드가 아니라, pH·온도·수상 안정성·보존 시스템과 맞물리는 단백질 효소 원료로 다루어야 합니다.

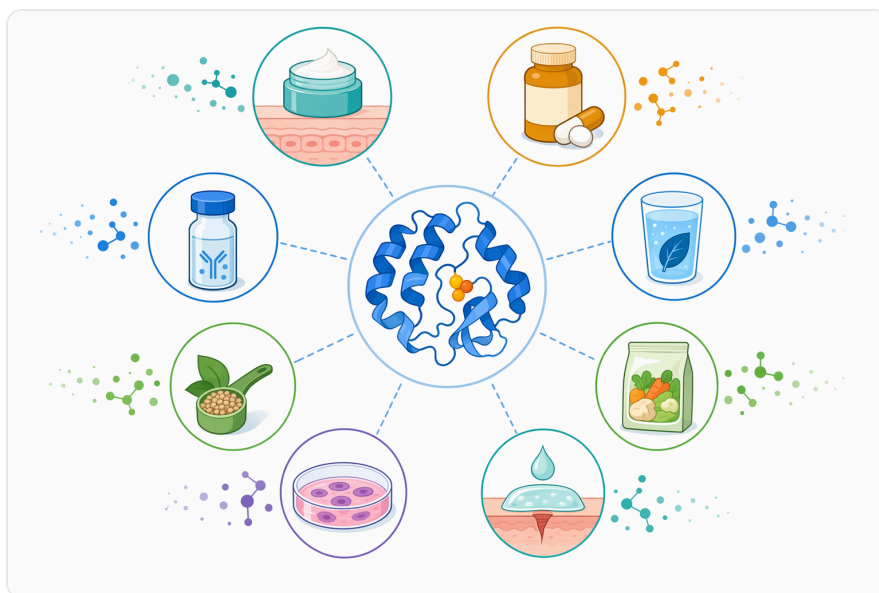
## 식물 스트레스, 농업·원에 및 수확 후 품질 연구

“Superoxide dismutase activity in plants”는 식물 생리학에서 매우 중요한 검색어입니다. 식물은 광합성, 호흡, 염분 스트레스, 건조, 중금속, 저온·고온 등 다양한 환경에서 ROS를 만들며, SOD는 엽록체와 미토콘드리아 등 ROS 발생 부위에서 초과산화물을 처리합니다. Arabidopsis와 Chlamydomonas 연구를 종합한 리뷰는 식물·조류 SOD가 위치별로 분화되어 있고, 환경 스트레스와 발달 상태에 따라 조절된다고 설명합니다 [2].

유채(Brassica napus) SOD 유전자군을 분석한 연구는 호르몬과 비생물적 스트레스 조건에서 SOD 유전자 발현이 달라질 수 있음을 보여줍니다. 이는 SOD가 단순한 항산화 지표가 아니라 식물의 스트레스 적응 네트워크에 깊게 관여한다는 의미입니다 [10]. 피마자 연구에서도 염분 및 삼투 스트레스 조건에서 품종별 발아성·유묘 성능과 사전에 형성된 SOD 활성의 관계가 다뤄졌습니다 [11].

수확 후 품질 분야에서도 SOD는 항산화 능력 지표로 등장합니다. 리치 과실 연구에서는 산화 스트레스 조절과 수확 후 품질 유지 맥락에서 항산화 능력 유도가 논의되었습니다 [12]. 이러한 연구들은 SOD가 농업용 효소 원료로 직접 사용된다는 뜻이라기보다, 식물 품질·스트레스 저항성·저장 안정성 연구에서 SOD activity가 핵심 생화학 지표로 쓰인다는 점을 보여줍니다.

염분 스트레스 완화 연구도 같은 흐름에 속합니다. Trichoderma harzianum과 biochar를 함께 사용한 시금치 연구에서는 염분 스트레스 개선과 식물 항산화 반응이 함께 평가되었습니다 [13]. 이런 문헌은 SOD가 식물 스트레스 상태를 해석하는 지표이자, 산화 스트레스 완화 전략의 효과를 읽는 생화학적 창으로 쓰인다는 점을 뒷받침합니다.



**Figure 3.** SOD는 보충제, 화장품, 식품 및 음료, 연구 분야와 관련이 있는데, 각 분야에서 표적화된 슈퍼옥사이드 조절을 서로 다른 방식으로 활용할 수 있기 때문이다.

## 바이오 연구, 세포 모델, 생체재료에서의 SOD

바이오 연구에서 SOD는 산화 스트레스 모델의 해석 도구이자, 초과산화물 조절을 위한 기능성 단백질로 사용됩니다. 세포나 동물 모델에서 SOD 수준 또는 SOD activity가 변하면, 연구자는 이를 ROS 부담, 항산화 방어 능력, 염증 경로, 미토콘드리아 기능과 연결해 해석합니다. 커큐민의 신경보호 효과를 다룬 리뷰에서도 SOD는 산화 스트레스 조절과 관련된 핵심 표적으로 논의됩니다 [14].

심혈관·폐·신장·신경계 연구에서도 SOD는 자주 등장합니다. 예를 들어 심근 허혈-재관류 손상 연구에서는 cardioprotective biocatalysis를 목표로 SOD를 공학적으로 개선하려는 접근이 보고되었습니다 [15]. *Bacillus amyloliquefaciens* 포자가 SOD를 분비하도록 한 연구는 폐섬유화 모델에서 산화 스트레스 조절을 겨냥한 생물학적 전달 전략을 검토했습니다 [16].

생체재료와 나노기술 영역에서는 SOD 기능을 모방하는 표면, 입자, 나노자임이 개발되고 있습니다. Micro-bio-chemo-mechanical systems 리뷰는 마이크로모터, 미세유체, 나노자임이 생의학 응용에서 ROS 조절 기능과 연결될 수 있음을 다룹니다 [7]. 이때 “superoxide dismutase mimetic”은 천연 효소 SOD가 아니라 SOD 유사 활성을 보이도록 설계된 합성 촉매를 의미할 수 있으므로, 천연 효소 원료와 명확히 구분해야 합니다.

## Superoxide Dismutase Activity를 읽는 법

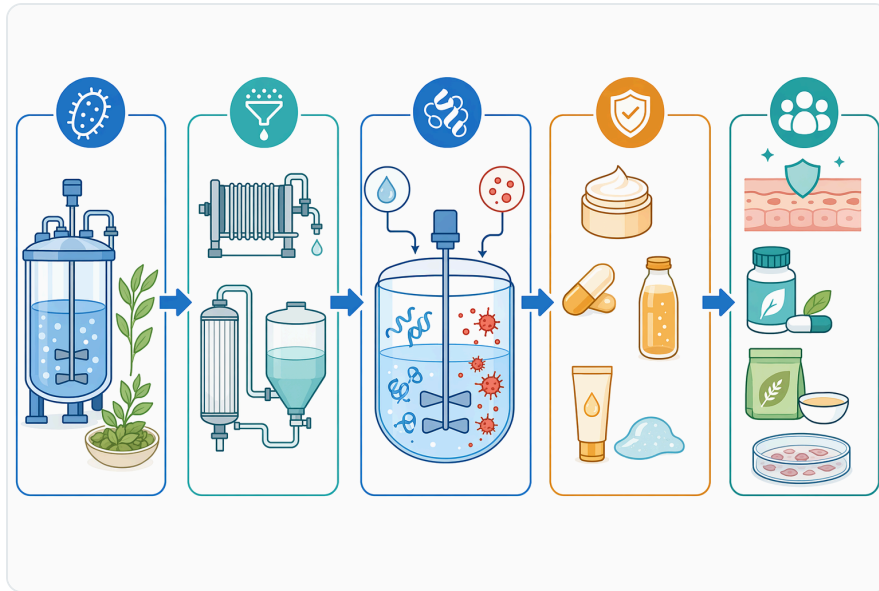
“Superoxide dismutase activity”는 SOD가 초과산화물 관련 반응을 억제하거나 전환하는 능력을 뜻하지만, 실험 조건에 따라 해석이 달라질 수 있습니다. Beyer의 SOD 활성 분석 관련 논문은 조건의 작은 변화가 결과 해석에 큰 영향을 줄 수 있음을 지적한 고전적 문헌으로 자주 인용됩니다 [17]. 따라서 서로 다른 논문, 원료 설명, superoxide dismutase test 결과, 또는 superoxide dismutase sod colorimetric activity kit 결과를 단순 숫자만으로 비교하는 것은 적절하지 않습니다.

활성 평가는 기질 생성 방식, pH, 온도, 완충 조건, 금속 이온, 방해 물질, 검출 원리의 영향을 받습니다. 특히 색 변화 기반 키트는 편리하지만, 시료 자체의 색, 환원성 성분, 폴리페놀, 금속 킬레이터, 단백질 안정성 등이 결과에 간섭할 수 있습니다. 이 문서는 특정 분석법이나 시약 사용 절차를 제시하지 않지만, “SOD activity”라는 표현을 볼 때는 항상 어떤 조건에서 얻은 값인지 맥락을 확인해야 한다는 점이 중요합니다 [17].

식물 연구에서 SOD activity는 스트레스 저항성의 지표로 사용되지만, 그 의미는 식물 종류와 조직, 채취 시점, 스트레스 강도에 따라 달라집니다. 동물·세포 연구에서도 SOD activity 변화가 반드시 원인인지 결과인지는 연구 설계에 따라 해석해야 합니다. 예를 들어 중금속에 노출된 꿀벌 연구에서는 Cu, Pb, Cd의 아치사 농도가 redox status, SOD, catalase에 미치는 영향이 함께 평가되었습니다 [18].

## 천연 SOD, SOD Mimetic, 폴리페놀 항산화의 차이

SOD 관련 문헌을 읽다 보면 천연 효소, SOD mimetic, 나노자임, 폴리페놀 항산화제가 함께 언급됩니다. 그러나 이들은 같은 범주의 원료가 아닙니다. 천연 SOD는 단백질 효소이고, SOD mimetic은 초과산화물 불균등화와 유사한 반응을 촉진하도록 설계된 저분자 금속복합체 또는 무기 촉매일 수 있습니다. 폴리페놀은 라디칼 소거와 산화환원 상호작용을 통해 SOD 유사 효과처럼 보이는 현상을 낼 수 있지만, 효소 단백질 SOD와는 다릅니다 [19].



**Figure 4.** 경구용 SOD 콘셉트에서는 단백질 효소의 안정성, 기질과의 적합성, 전달 방식, 그리고 적절히 제한된 항산화 지원 관련 표시를 고려해야 한다.

항목	천연 Superoxide Dismutase	SOD Mimetic·나노자임	폴리페놀 기반 SOD 유사 효과
본질	금속 중심을 가진 단백질 효소	합성 금속복합체, 세리아, 실리카 기반 촉매 등	식물성 저분자 항산화 성분
주요 장점	생물학적으로 확립된 초과산화물 전환 기능	열·pH·보관 안정성 개선 가능성, 표면 기능화 가능성	식품·식물 원료 스토리와 결합 쉬움
주요 한계	단백질 변성, 금속 결합 상태, 제형 안정성 영향	생체적합성, 선택성, 안전성 해석 필요	SOD 효소와 동일한 촉매라고 표현하면 부정확
대표 연구 맥락	산화 스트레스 방어, 식품·화장품·바이오 연구	생체재료, 센서, ROS 조절 플랫폼 [20]	방향족 폴리페놀과 초과산화물 상호작용 연구 [19]

세리아 기반 hollow sphere가 SOD-like 기능을 활용해 아스코르빈산 광전기화학 바이오센싱에 사용된 연구는 SOD mimetic 분야의 한 예입니다 [20]. 또한 hollow mesoporous silica microsphere 기반 artificial superoxide dismutase 연구는 천연 효소 기능을 모방하려는 재료공학적 접근을 보여줍니다 [21]. 이런 연구는 흥미롭지만, 천연 superoxide dismutase enzyme 원료의 기능·규제·표시와 동일하게 다루면 안 됩니다.

폴리페놀도 주의해서 해석해야 합니다. 2022년 연구는 방향족 폴리페놀의  $\pi$ - $\pi$  상호작용이 초과산화물 라디칼 소거와 SOD 유사 활성화에 기여할 수 있다고 설명합니다 [19]. 이는 폴리페놀이 SOD 효소라는 뜻이 아니라, 특정 조건에서 초과산화물과 상호작용해 SOD-like activity로 측정될 수 있는 현상을 설명하는 것입니다.

## 안정성: 단백질 구조, 금속 중심, 제형 조건

SOD는 효소이므로 3차 구조, 금속 결합, 이황화 결합, 표면 전하, 수화 상태가 기능 유지에 중요합니다. Cu/Zn-SOD 연구는 거의 생리적 조건에서도 이황화 결합과 변성 조건이 단백질의 섬유화 및 구조 상태에 영향을 줄 수 있음을 보여주었습니다 [5]. 이는 제품 개발에서 효소를 일반 분말 원료처럼만 다루기보다, 단백질 안정성을 고려해야 한다는 점을 시사합니다.

PEG 결합 SOD 연구는 SOD의 구조적·약동학적 특성이 화학적 변형 방식에 따라 달라질 수 있음을 보여줍니다 [22]. 이는 효소 전달성, 체내 지속성, 제형 안정성을 개선하려는 연구가 오래전부터 이어져 왔다는 의미입니다. 다만 이러한 변형 SOD의 결과를 일반 원료 SOD에 그대로 적용해서는 안 되며, 특정 변형 방식과 실험 목적에 한정해 해석해야 합니다.

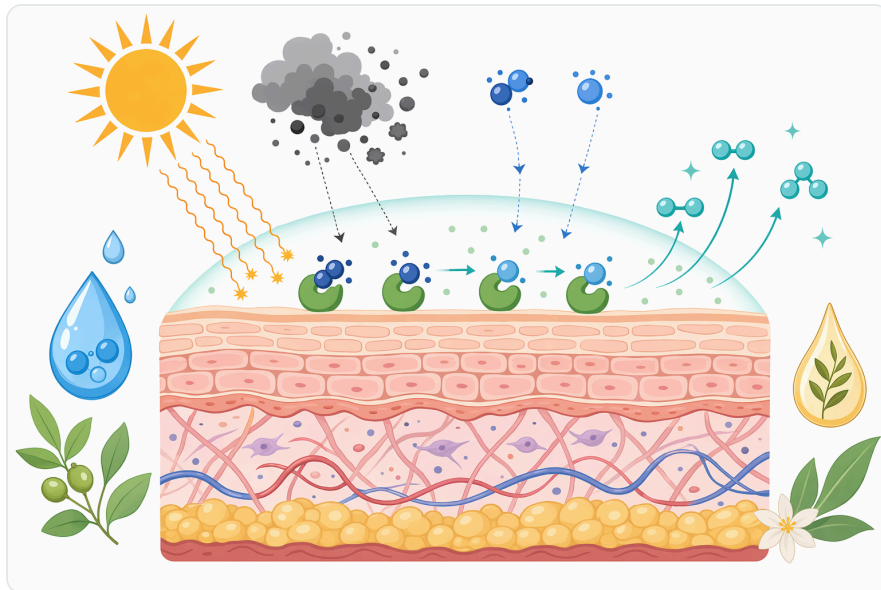
최근에는 계산 기반 단백질 설계와 language model을 이용해 SOD의 활성·열안정성을 개선하려는 연구가 나오고 있습니다. Computational mining and redesign 연구는 activity-thermostability improvement를 목표로 SOD 서열을 발굴·재설계하는 접근을 보여줍니다 [23]. Mn-SOD를 대상으로 한 단백질 언어모델 기반 공학 연구도 항산화·항염증·스킨케어 응용 가능성을 염두에 두고 안정성 향상을 다루었습니다 [6].

이러한 연구 흐름은 산업 적용에서 “효소 안정성”이 단순 부가 조건이 아니라 핵심 성능 요소임을 보여줍니다. 수상 화장품, 음료형 식품, 분말 블렌드, 캡슐, 세포 배양 첨가물, 표면 코팅 소재는 모두 서로 다른 pH, 수분, 염, 계면활성제, 산화제, 금속 이온 환경을 갖습니다. 따라서 SOD의 생화학적 기능은 확립되어 있더라도, 완제품에서의 실제 작용은 제형과 보관·사용 조건에 따라 달라질 수 있습니다.

## 응용별 해석: 강한 근거와 제한해야 할 표현

SOD의 가장 강한 근거는 초과산화물 불균등화라는 생화학적 기능입니다. 이 기능은 식물·동물·미생물에서 널리 보존되어 있고, 산화 스트레스 방어에 중심 요소로 반복적으로 확인되어 왔습니다 [2]. 따라서 “SOD는 초과산화물 라디칼을 산소와 과산화수소로 전환하는 효소”라는 설명은 기술 문서에서 사용할 수 있는 핵심 표현입니다.

그다음 수준의 근거는 산화 스트레스 관련 연구에서 SOD가 지표 또는 개입 요소로 사용된다는 점입니다. 당뇨병성 신경병증, 신경보호, 폐섬유화, 심근 허혈-재관류, 생식독성, 미세플라스틱 노출 모델 등 다양한 연구에서 SOD가 산화 스트레스 평가 축으로 등장합니다 [24]. 그러나 이러한 연구 결과는 특정 모델, 특정 원료, 특정 전달 방식, 특정 질환 맥락의 결과이므로 일반 산업용 원료 설명에서 치료 효과로 확장하면 안 됩니다.



**Figure 5.** 국소 적용 SOD 개념은 피부와 관련된 산화 환경에서 슈퍼옥사이드 라디칼을 표적으로 삼는 데 기반하지만, 최종 성능은 제형과 시험에 따라 달라진다.

가장 제한적으로 표현해야 할 영역은 최종 소비자 효능입니다. 경구 섭취 제품, 스킨케어 제품, 스포츠 피로 회복 개념, 항노화 개념 등은 시장에서 관심이 크지만, 원료 SOD의 존재만으로 완제품 효능이 보장되는 것은 아닙니다. 사람 대상 사용을 검토한 리뷰도 SOD의 잠재적 응용을 폭넓게 다루면서 동시에 전달성과 생체이용률, 적용별 근거 차이를 중요한 고려사항으로 제시합니다 [1].

## Enzymes.bio Superoxide Dismutase 제품 안내

Enzymes.bio의 Superoxide Dismutase는 B2B 고객이 온라인에서 직접 구매할 수 있는 효소 원료입니다. Enzymes.bio는 제조사나 실험실이 아니며, 효소를 직접 생산하거나 분석 서비스를 제공하는 기관으로 표현되어서는 안 됩니다. 제품은 1kg 단위로 판매되며, 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다.

이 제품 페이지에서 SOD는 항산화 콘셉트 제품, 식품·영양 소재 개발, superoxide dismutase skin care 배합, 세포 산화 스트레스 연구, 식물 스트레스 관련 연구 설계 등에서 검토할 수 있는 효소 원료로 설명할 수 있습니다. 다만 구체적인 최종 적용 가능성은 완제품의 pH, 수분, 온도, 배합 성분, 규제 범주, 표시 목적에 따라 달라집니다. 특히 SOD는 과산화수소를 생성하는 효소이므로, 산화 환경 전체와 후속 과산화물 관리 개념을 함께 이해하는 것이 바람직합니다 [3].

“Superoxide dismutase pdf”나 “superoxide dismutase test”를 찾는 사용자는 흔히 문헌 자료, 활성 해석, 실험 결과 비교를 원합니다. 이때 SOD activity 수치만을 분리해 판단하기보다, 어떤 SOD 계열인지, 어떤 제형 조건인지, 어떤 연구 모델인지, 천연 SOD인지 SOD mimetic인지 구분해야 합니다. 특히 colorimetric activity kit 기반 자료는 조건 민감성이 있으므로, 문헌 간 비교에서는 시험 맥락을 함께 읽어야 합니다 [17].

### 결론: SOD는 초과산화물 제거에 특화된 항산화 효소 원료

Superoxide Dismutase는 초과산화물 라디칼을 산소와 과산화수소로 전환하는 금속효소군입니다. SOD의 과학적 강점은 특정 ROS인 초과산화물에 대한 효소적 촉매 기능이 명확하다는 데 있으며, 이 때문에 식품·영양, 화장품, 식물 스트레스 연구, 세포 기반 산화 스트레스 모델, 생체재료 및 SOD mimetic 연구에서 폭넓게 다뤄집니다 [2].

그러나 SOD는 모든 산화 문제를 단독으로 해결하는 만능 항산화제가 아닙니다. 반응 산물인 과산화수소 관리, 단백질 안정성, 금속 중심 유지, 제형 조건, 생체이용률, 연구 모델별 한계가 함께 고려되어야 합니다. B2B 제품 개발에서 SOD를 가장 정확하게 포지셔닝하는 방법은 “초과산화물 제거 기능을 가진 항산화 효소 원료”로 설명하고, 최종 제품 효능은 해당 제형과 적용 범위 안에서 별도로 검토하는 것입니다.

## Superoxide Dismutase 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.

[Superoxide Dismutase 구매하기 →](#)

## 참고문헌

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

1. Rosa, A. C., Corsi, D., Cavi, N., Bruni, N., & Dosio, F. (2021). Superoxide Dismutase Administration: A Review of Proposed Human Uses. *Molecules*, 26.
2. Shams, M., Pokora, W., Khadivi, A., & Aksmann, A. (2024). Superoxide dismutase in Arabidopsis and Chlamydomonas: diversity, localization, regulation, and role. *Plant and Soil*, 503, 751 - 771.
3. Djordjević, G., Djurić, S., Djordjević, V., Apostolski, S., & Živković, M. (2011). The Role of Oxidative Stress in Pathogenesis of Diabetic Neuropathy: Erythrocyte Superoxide Dismutase, Catalase and Glutathione Peroxidase Level in Relation to Peripheral Nerve Conduction in Diabetic Neuropathy Patients.
4. Xiaoli, M. (2010). Research Advances in Superoxide Dismutase.
5. Khan, M. A. I., Respondek, M., Kjellström, S., Deep, S., Linse, S., & Akke, M. (2017). Cu/Zn Superoxide Dismutase Forms Amyloid Fibrils under Near-Physiological Quiescent Conditions: The Roles of Disulfide Bonds and Effects of Denaturant. *ACS Chemical Neuroscience*, 8 9, 2019-2026 .
6. Zhang, N., Deng, Y., Li, R., Liu, F., Wei, D., Ren, Z., Jin, X., ... et al. (2025). Engineering a Manganese Superoxide Dismutase with Enhanced Thermostability and Activity via Protein Language Models: Toward Antioxidant and Anti-inflammatory Applications in Biomedicine and Skincare. *Free Radical Biology & Medicine*.
7. Mujtaba, J., Liu, J., Dey, K., Li, T., Chakraborty, R., Xu, K., Makarov, D., ... et al. (2021). Micro-Bio-Chemo-Mechanical-Systems: Micromotors, Microfluidics, and Nanozymes for Biomedical Applications. *Advances in Materials*, 33.
8. Selvaraj, K., Katare, D., Kumar, P., & Chaudhary, N. (2019). Juglans regia and Ribes nigrum as potential nutraceuticals: Source of thermostable superoxide dismutase enzyme. *Journal of food biochemistry*, 43 5, e12823 .
9. Shao, X., Zhang, M., Chen, Y., Sun, S., Yang, S., & Li, Q. (2023). Exosome-mediated delivery of superoxide dismutase for anti-aging studies in Caenorhabditis elegans. *International journal of pharmaceutics*, 123090 .

10. Su, W., Raza, A., Gao, A., Jia, Z., Zhang, Y., Hussain, M., Mehmood, S., ... et al. (2021). Genome-Wide Analysis and Expression Profile of Superoxide Dismutase (SOD) Gene Family in Rapeseed (*Brassica napus* L.) under Different Hormones and Abiotic Stress Conditions. *Antioxidants*, 10.
11. Cunha, D. P., Neto, V. G., Santos, I. D., Andrade, M., Takahashi, D., Loureiro, M., Fernandez, L. G., ... et al. (2024). Castor (*Ricinus communis* L.) differential cell cycle and metabolism reactivation, germinability, and seedling performance under NaCl and PEG osmoticum: Stress tolerance related to genotype-preestablished superoxide dismutase activity. *Plant physiology and biochemistry : PPB*, 207, 108372 .
12. Guo, X., Li, Q., Luo, T., Xu, D., Zhu, D., Li, J., Han, D., ... et al. (2024). Zinc Oxide Nanoparticles Treatment Maintains the Postharvest Quality of Litchi Fruit by Inducing Antioxidant Capacity. *Foods*, 13.
13. Sofy, M., Mohamed, H., Dawood, M., Abu-Elsaoud, A., & Soliman, M. (2021). Integrated usage of *Trichoderma harzianum* and biochar to ameliorate salt stress on spinach plants. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68, 2005 - 2026.
14. Khayatan, D., Razavi, S. M., Arab, Z., Hosseini, Y., Niknejad, A., Momtaz, S., Abdolghaffari, A., ... et al. (2023). Superoxide dismutase: a key target for the neuroprotective effects of curcumin. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 1-13.
15. Zhao, B., Peng, J., Chen, C., Fan, Y., Zhang, K., Zhang, Y., & Huang, X. (2024). Innovative engineering of superoxide dismutase for enhanced cardioprotective biocatalysis in myocardial ischemia-reperfusion injury. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137656 .
16. Kim, N., Kim, H., Lee, J. H., Chang, I., Heo, S., Kim, J., Kim, J. H., ... et al. (2023). Superoxide dismutase secreting *Bacillus amyloliquefaciens* spores attenuate pulmonary fibrosis. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 168, 115647 .
17. Beyer, W., & Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. *Analytical Biochemistry*, 161 2, 559-66 .
18. Nikolić, T. V., Kojić, D., Orčić, S., Batinić, D., Vukašinović, E. L., Blagojević, D., & Purać, J. (2016). The impact of sublethal concentrations of Cu, Pb and Cd on honey bee redox status, superoxide dismutase and catalase in laboratory conditions. *Chemosphere*, 164, 98-105 .
19. Caruso, F., Incerpi, S., Pedersen, J., Belli, S., Kaur, S., & Rossi, M. (2022). Aromatic Polyphenol  $\pi$ - $\pi$  Interactions with Superoxide Radicals Contribute to Radical Scavenging and Can Make Polyphenols Mimic Superoxide Dismutase Activity. *Current Issues in Molecular Biology*, 44, 5209 - 5220.
20. Mao, A., Zhang, Y., Xu, Q., Li, J., & Li, H. (2023). Superoxide dismutase-like cerium dioxide hollow sphere-based highly specific photoelectrochemical biosensing for ascorbic acid. *Talanta: The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry*, 269, 125472 .
21. Yu, J., Ge, L., Liu, S., Dai, P., Ge, S., & Zheng, W. (2011). Facile and scalable synthesis of a novel rigid artificial superoxide dismutase based on modified hollow mesoporous silica microspheres. *Biosensors & bioelectronics*, 26 5, 1936-41 .
22. Veronese, F., Sartore, L., Schiavon, O., & Caliceti, P. (1990). A Comparative Study of Enzymatic, Structural, and Pharmacokinetic Properties of Superoxide Dismutase Isolated from Two Sources and Modified by

Monomethoxypolyethylene Glycol Using Different Methods of Coupling. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 613.

23. Meng, G., Li, L., Wang, L., Zhang, Y., Zhang, L., Ji, J., Chen, S., ... et al. (2025). Computational mining and redesign of superoxide dismutase with activity-thermostability improvement. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141871 .
24. Hwang, Y., Sudirman, S., Wei, E., Kong, Z., & Hwang, D. (2023). Fucoidan from Cladosiphon okamuranus enhances antioxidant activity and prevents reproductive dysfunction in polystyrene microplastic-induced male rats. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 170, 115912 .


## 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

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