

# Glucose Oxidase 제빵용 식품 가공 효소: 밀가루 반죽 강화, 가스 보유력, 빵 품질 개선

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

Glucose Oxidase, 즉 글루코스 산화효소는 반죽 속 포도당과 산소를 이용해 과산화수소를 만들고, 이 산화 환경이 글루텐 단백질과 아라비노자일란 네트워크의 결합 형성을 촉진해 반죽을 더 안정적으로 만드는 제빵용 효소입니다. 식빵, 번, 롤, 통밀빵, 저염 반죽처럼 반죽 강도와 가스 보유력이 품질을 좌우하는 배합에서 주로 검토되며, 효과는 밀가루 품질·수분·믹싱·산소 공급·다른 효소 조합에 따라 달라집니다. Enzymes.bio는 이 효소를 제조사가 아니라 B2B 온라인 공급업체로서 1kg 단위로 공급하며, 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다.

## Glucose Oxidase가 제빵에서 하는 일

Glucose Oxidase는 GOX 또는 GOD로도 표기되는 산화환원효소입니다. 이 효소의 기본 반응은  $\beta$ -D-glucose를 산소 존재하에서 산화해 D-glucono- $\delta$ -lactone과 hydrogen peroxide를 만들고, lactone은 물과 반응해 gluconic acid 계열 물질로 전환될 수 있다는 점으로 설명됩니다. 제빵에서 중요한 것은 포도당이 줄어드는 현상 자체보다, 이 과정에서 생기는 과산화수소가 반죽 내부의 산화 조건을 만들고 단백질-비전분 다당류 네트워크의 재배열을 유도한다는 점입니다 <sup>[1]</sup>.

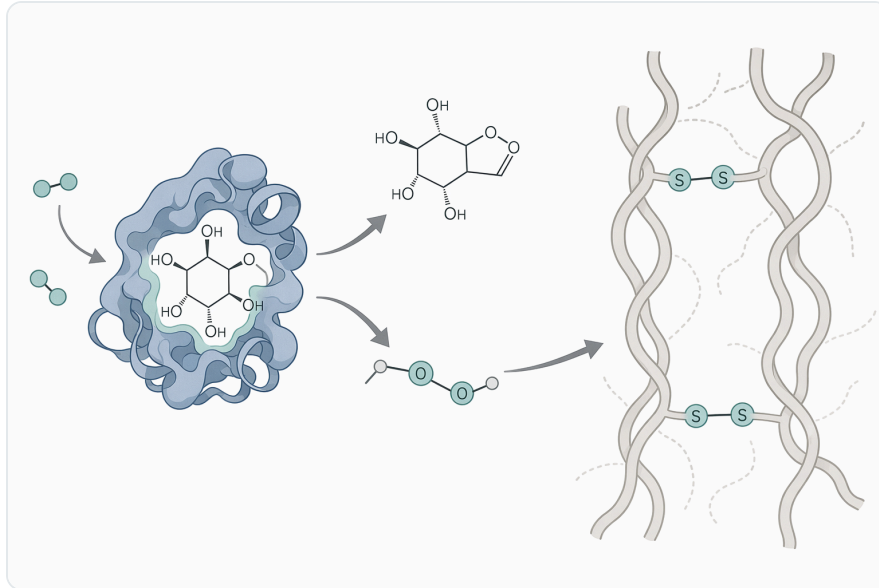
밀가루 반죽은 물을 흡수한 글리아딘과 글루테닌이 점탄성 네트워크를 이루고, 전분 입자와 펜토산-아라비노자일란 같은 비전분 다당류가 그 사이를 채우는 복합 매트릭스입니다. GOX는 이 매트릭스를 직접 "접착"하는 효소가 아니라, 산소와 포도당을 기질로 사용해 반죽 내부에 산화적 미세환경을 만들고, 그 결과로 글루텐 단백질 사이의 결합 형성이나 아라비노자일란의 산화적 겔화 가능성을 높입니다. Bonet의 연구는 GOX의 효과를 거시적 반죽 물성에서 분자 수준 변화까지 연결해 분석하며, 제빵 품질 변화가 단순한 부피 변화가 아니라 반죽 구조 변화와 관련된다는 점을 보여줍니다 <sup>[2]</sup>.

제빵 현장에서 이 효소가 관심을 받는 이유는 반죽이 "약한" 상황에서 취급성이 흔들리기 쉽기 때문입니다. 단백질 품질이 낮거나, 통밀·식이섬유·저염 배합처럼 글루텐 발달이 방해받는 조건에서는 분할·성형 중 끈적임, 발효 중 퍼짐, 오븐 스프링 저하, 빵 속 기공 불균일이 나타날 수 있습니다. GOX는 이런 문제를 무조건 해결하는 범용 개량제가 아니라, 반죽 산화 상태를 조절해 구조 형성을 보조하는 효소적 수단으로 이해하는 것이 정확합니다.

## 반응 메커니즘: 포도당 산화에서 반죽 강화까지

GOX 반응은 다음과 같이 요약할 수 있습니다.

Glucose + Oxygen → Glucono-δ-lactone → Gluconic acid 계열 물질 + Hydrogen peroxide



**Figure 1.** 글루코스 산화효소는 포도당과 산소를 글루콘산과 과산화수소로 전환하며, 이때 생성된 과산화수소가 반죽을 산화적으로 강화하는 효과를 제공합니다.

여기서 제빵 기능의 중심은 hydrogen peroxide입니다. 믹싱 중 반죽에는 공기가 유입되고, 이때 산소가 효소 반응에 쓰입니다. 반죽 안에 존재하는 소량의 포도당은 밀가루 자체, 손상 전분의 효소적 분해, 배합당 등에서 유래할 수 있습니다. 산소와 포도당이 동시에 존재해야 하므로 GOX의 주요 작용 시점은 일반적으로 믹싱 초반부터 반죽 발달 단계로 해석되며, 발효가 진행되면 효모와 다른 산화 시스템이 산소를 소비하면서 반응 환경이 달라집니다 [3].

### 글루텐 단백질의 산화적 결합 형성

밀가루 반죽의 탄성과 신장성은 글루텐 네트워크의 결합 상태에 크게 좌우됩니다. GOX가 만드는 과산화수소는 단백질의 sulfhydryl group을 산화시켜 disulfide bond 형성을 촉진할 수 있습니다. 이황화 결합이 증가하면 글루테닌 고분자 네트워크가 더 촘촘해지고, 반죽은 믹싱과 발효 중 붕괴에 더 저항하는 방향으로 변할 수 있습니다. Niu의 통밀 반죽 연구는 transglutaminase와 GOX가 단백질 중합에 미치는 영향을 비교해, GOX가 단백질 네트워크 재편에 관여할 수 있음을 보여줍니다 [4].

다만 반죽 강화는 항상 좋은 결과만 만들지는 않습니다. 이황화 결합과 기타 산화적 결합이 적절히 증가하면 가스 보유력과 성형 안정성이 개선될 수 있지만, 과도한 산화는 반죽을 지나치게 타이트하게 만들어 신장성을 떨어뜨릴 수 있습니다. 실제 제빵 품질은 "강도"와 "확장성"의 균형에 의해 결정

되므로, GOX는 부피를 무조건 키우는 성분이라기보다 반죽의 산화·환원 균형을 조절하는 효소로 봐야 합니다.

## 아라비노자일란과 통밀 반죽에서의 역할

통밀가루나 섬유질이 많은 배합에서는 겨 성분, 수용성·불용성 펜토산, 아라비노자일란이 물 분포와 글루텐 연속성을 바꿉니다. GOX에 의해 형성되는 산화 환경은 ferulic acid 잔기를 가진 아라비노자일란 사이의 결합 형성에 영향을 줄 수 있고, 이는 반죽의 수분 보유와 미세구조에 관여할 가능성이 있습니다. Liu의 통밀 반죽 연구는 pentosanase와 GOX가 통밀 반죽의 조성, 유변학, 미세구조에 미치는 영향을 함께 다뤄, GOX 효과를 글루텐 단백질만으로 설명하기 어렵다는 점을 뒷받침합니다

[5]

이 관점은 통밀빵 품질 개선에서 중요합니다. 통밀 반죽은 백밀가루 반죽보다 글루텐 네트워크가 끊기기 쉽고, 수분이 섬유질로 이동해 반죽이 거칠어지거나 부피가 낮아지는 일이 많습니다. GOX가 산화적 네트워크 형성을 유도하면 반죽이 더 응집된 구조를 가질 수 있지만, 동시에 xylanase 같은 효소가 아라비노자일란의 분자량과 수분 결합성을 바꾸면 GOX의 결과도 달라질 수 있습니다. 따라서 통밀 시스템에서 GOX는 단독 강화제가 아니라 펜토산·수분·글루텐의 상호작용 안에서 해석해야 합니다.

## 반죽 속 산소 경쟁

GOX의 반응에는 산소가 필요합니다. 그런데 빵 반죽에는 GOX만 산소를 쓰는 것이 아닙니다. 효모의 호흡, 밀가루 내 산화효소계, lipoxygenase 같은 산화 시스템도 산소를 소비하거나 산화 반응에 관여할 수 있습니다. Buche의 연구는 반죽 믹싱 중 glucose oxidase와 lipoxygenase를 포함한 산화 시스템 사이의 산소 경쟁이 효모 반죽의 유변학에 영향을 줄 수 있음을 다룹니다 [3].



**Figure 2.** 산화적 교차결합은 수화된 글루텐 매트릭스를 강화해 반죽을 더 응집력 있게 만들고, 덜 끈적하게 하며, 발효 가스를 더 잘 보유할 수 있게 합니다.

이 점은 공정적으로 중요합니다. 같은 효소를 같은 배합에 넣어도 믹싱 에너지, 믹싱 시간, 반죽 온도, 공기 포집 정도가 달라지면 GOX가 실제로 사용할 수 있는 산소량이 달라질 수 있습니다. 산소가 충분히 공급되는 믹싱 단계에서는 GOX 반응이 활발할 수 있지만, 발효가 진행되며 산소가 제한되면 반응 속도와 구조 형성 경로가 바뀔 수 있습니다. 따라서 GOX의 효과를 판단할 때는 “효소 존재 여부”보다 “반죽이 효소 반응을 허용하는 환경인지”가 더 실무적인 기준이 됩니다.

## 제빵 품질에서 기대할 수 있는 변화

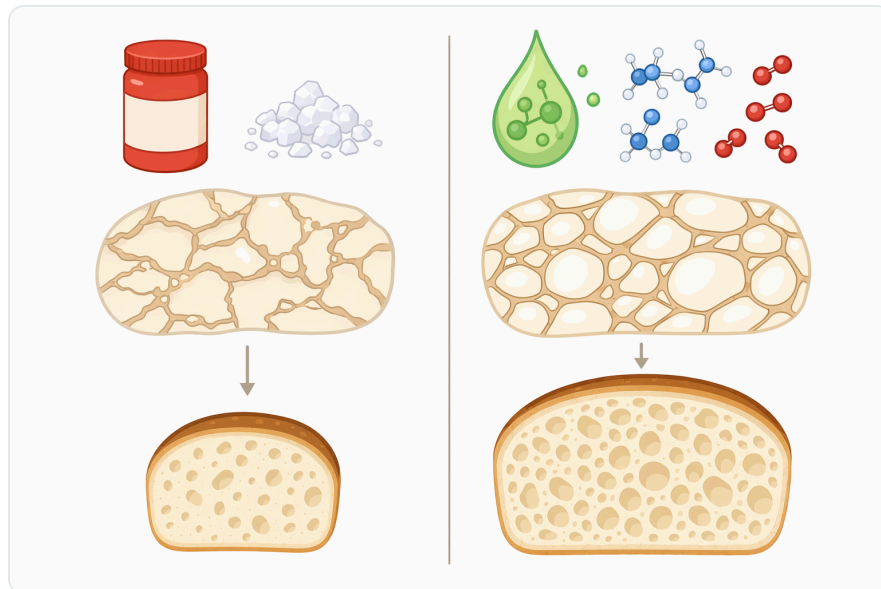
GOX 적용의 가장 직접적인 목표는 반죽 강도와 안정성 개선입니다. 반죽이 너무 약하면 분할기와 성형기를 통과하면서 표면이 찢기거나, 팬닝 후 발효 중 옆으로 퍼지거나, 오븐에서 가스 팽창을 유지하지 못해 부피가 낮아질 수 있습니다. GOX가 적절한 산화적 결합 형성을 유도하면 반죽은 더 균일한 응집성을 보이고, 발효 중 가스를 잡아두는 능력이 개선될 가능성이 있습니다. Abdul의 연구는 transglutaminase와 GOX가 반죽 안정성 및 믹싱 저항성에 미치는 영향을 다루며, 효소적 가교가 반죽 물성 설계와 연결될 수 있음을 보여줍니다 [6].

빵 속 구조도 영향을 받을 수 있습니다. 가스 세포벽이 약하면 발효 중 큰 기포가 합쳐지고, 구운 뒤에는 조밀하거나 불균일한 crumb이 나타날 수 있습니다. 반대로 반죽 네트워크가 충분히 형성되면 기포가 더 균일하게 분산되고, 오븐 스프링 중 기포벽이 무너지지 않아 내부 조직이 안정될 수 있습니다. Bonet의 연구처럼 GOX 효과를 거시적 품질과 분자 수준 변화로 함께 보는 접근은, loaf volume이나 crumb structure 변화를 단순한 “팽창 효과”가 아니라 반죽 네트워크의 물성 변화로 해석하게 해 줍니다 [2].

통밀 또는 고섬유 배합에서는 기대 효과와 한계가 동시에 나타납니다. GOX는 산화적 강화로 반죽 안정성에 기여할 수 있지만, 섬유질이 물을 강하게 잡거나 글루텐 발달을 물리적으로 방해하면 효소 반응만으로 전체 구조가 해결되지는 않습니다. Liu의 dough liquor 및 foam property 연구는 xylanase와 GOX가 통밀 반죽 액상부의 조성 및 거품 특성에 영향을 준다는 점을 보여주며, 반죽 품질이 고체 글루텐 네트워크뿐 아니라 수용성 성분과 기포 계면의 물성에도 의존함을 시사합니다 [7].

## 저염 반죽에서의 의미

염화나트륨은 풍미뿐 아니라 반죽 물성에도 관여합니다. 소금이 줄어들면 글루텐 네트워크의 이온 환경과 수분 분포가 바뀌고, 반죽이 더 끈적하거나 약하게 느껴질 수 있습니다. Hopkins의 연구는 특정 캐나다 봄밀 품종으로 만든 저염 모델 반죽에서 GOX와 유기산이 반죽 특성에 미치는 영향을 다루며, 저염 환경에서 반죽 물성을 보완하는 접근으로 GOX가 연구되어 왔음을 보여줍니다 [8].



**Figure 3.** 글루코스 산화효소는 산화제나 교차결합을 다른 방식으로 첨가하는 것이 아니라, 반죽 내부에서 효소적으로 과산화수소를 생성한다는 점에서 다른 반죽 강화 방법과 다릅니다.

Konieczny의 연구도 정상 염도와 감염 조건에서 효소적 가교가 반죽 취급성 개선에 활용될 수 있음을 다룹니다. 이는 소금 감량 제품에서 GOX가 “짠맛”을 대체하는 성분은 아니지만, 소금 감량으로 약해질 수 있는 반죽 구조를 일부 보완하는 기술 요소가 될 수 있음을 의미합니다 [9].

저염 반죽에 GOX를 적용할 때는 산화 강화와 신장성의 균형이 특히 중요합니다. 소금이 낮은 반죽은 발효 속도, 끈적임, 표면 장력, 가스 보유 특성이 동시에 변하므로, GOX만 추가하면 해결된다고 보기 어렵습니다. 유기산, 효소 조합, 수분 조정, 믹싱 조건이 함께 품질을 결정하며, GOX는 그중 반죽 네트워크를 강화하는 축에 위치합니다.

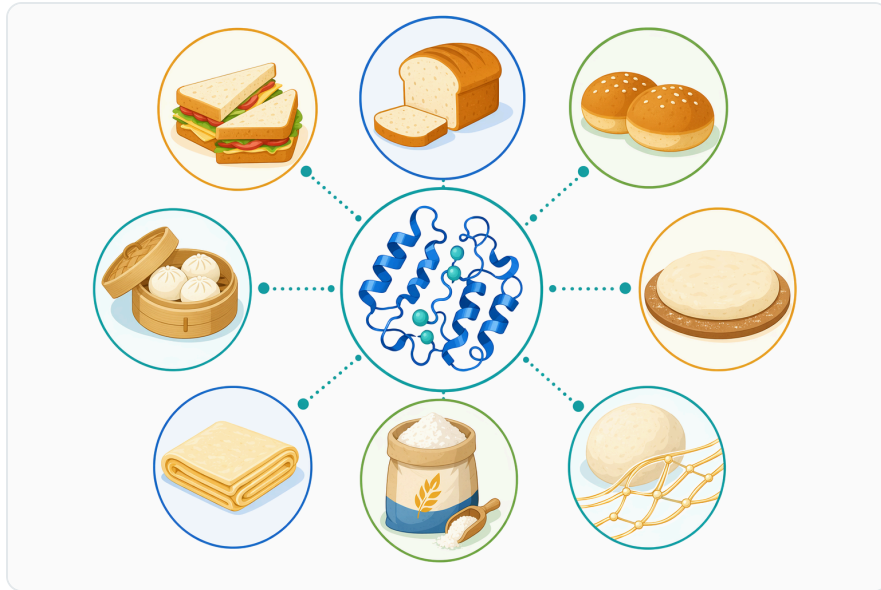
## 다른 제빵 개량 성분과의 비교

GOX는 제빵용 효소 시스템 안에서 종종 xylanase, transglutaminase, lipoxygenase, ascorbic acid, emulsifier 등과 함께 검토됩니다. 각 성분은 목표가 다르며, 같은 "반죽 개선"이라는 말로 묶이더라도 실제 기질과 반응 경로는 다릅니다.

구분	주된 작용 대상	제빵에서 기대되는 방향	GOX와의 차이
Glucose Oxidase	포도당과 산소를 이용한 과산화수소 생성	글루텐-아라비노자일란의 산화적 결합 형성, 반죽 안정성 강화	직접 글루텐을 절단하거나 전분을 분해하지 않고 산화 환경을 조성함 [1]
Transglutaminase	단백질의 glutamine-lysine 잔기	단백질 간 공유결합 형성, 반죽 탄성 및 조직 변화	산소 의존 반응이 아니며, GOX와 다른 방식의 단백질 가교를 형성함 [4]
Xylanase	아라비노자일란-펜토산	수분 분포 조절, 통밀 반죽 취급성 및 부피 개선 가능	다당류를 변형해 수분과 점도를 바꾸며, GOX의 산화적 결합 형성과 상호작용할 수 있음 [5]
Lipoxygenase	불포화지방산 관련 산화 반응	반죽 산화 및 색-풍미 관련 영향 가능	GOX와 산소를 경쟁적으로 사용할 수 있어 믹싱 조건에 민감함 [3]
Ascorbic acid	산화환원계에서 산화제로 작용	글루텐 강화, 반죽 안정성 개선	효소는 아니며, GOX처럼 포도당 산화 반응으로 과산화수소를 생성하는 방식은 아님

이 비교에서 가장 중요한 점은 GOX가 "강화"라는 결과를 낼 수 있어도 그 경로가 다른 성분과 다르다는 것입니다. 예를 들어 transglutaminase는 단백질 사이의  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamyl)lysine 결합을 형성하는 방향으로 작용하지만, GOX는 포도당 산화로 발생한 과산화수소를 통해 산화적 결합 환경을 만듭니다. Niu의 비교 연구는 통밀 반죽에서 두 효소가 모두 단백질 중합에 관여할 수 있으나, 그 영향 방식과 결과가 동일하지 않다는 점을 보여줍니다 [4].

xylanase와 GOX의 조합은 통밀 반죽에서 특히 자주 논의됩니다. xylanase가 아라비노자일란의 크기와 수분 결합성을 조절하면 반죽의 점도와 기포 안정성이 달라지고, GOX는 산화적 결합 형성으로 구조 안정성을 더할 수 있습니다. Liu의 통밀 반죽 연구들은 두 효소가 반죽 조성, 유변학, 미세구조, 액상부 거품 특성에 영향을 준다는 점을 각각 다루며, 통밀 제품에서 효소 조합을 단일 지표로 판단하기 어렵다는 사실을 보여줍니다 [7].



**Figure 4.** 연구와 적용 사례는 밀 식빵, 찐빵, 통밀 반죽, 냉동 반죽 시스템, 그리고 일부 글루텐 프리 제형에서 글루코스 산화효소의 활용 가능성을 뒷받침합니다.

## 제품 유형별 적용 관점

### 식빵과 팬브레드

식빵과 팬브레드는 발효 중 반죽이 팬 안에서 균일하게 팽창하고, 굽는 동안 기포벽이 무너지지 않아야 합니다. GOX는 반죽 네트워크를 강화해 가스 보유력과 오븐 스프링에 긍정적으로 작용할 수 있습니다. 다만 과도하게 단단한 반죽은 팬 모서리까지 충분히 확장되지 않거나, crumb이 조밀해질 수 있으므로 반죽 강도와 신장성의 균형이 핵심입니다 [2].

### 번, 롤, 성형 제품

번과 롤은 분할·라운딩·성형 과정에서 표면 장력과 복원성이 중요합니다. 반죽이 너무 끈적이면 설비 부착이 늘고, 너무 약하면 성형 후 퍼짐이 발생합니다. GOX는 산화적 결합 형성을 통해 성형 후 형태 유지에 도움을 줄 수 있지만, 제품 특성상 부드러운 식감과 신장성이 중요하므로 지나친 강화는 바람직하지 않을 수 있습니다.

### 통밀빵과 고섬유 제품

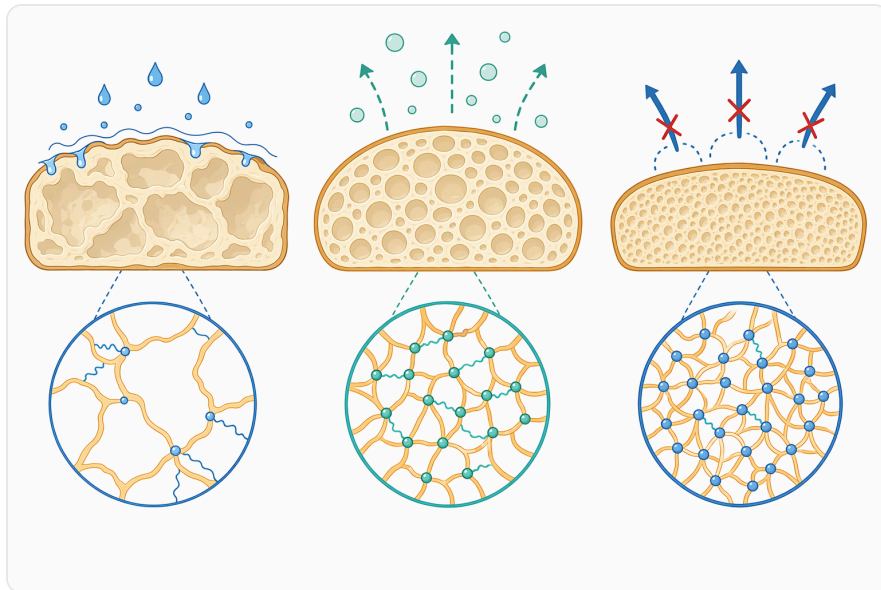
통밀빵은 겨 입자가 글루텐 네트워크를 물리적으로 끊고, 아라비노자일란과 섬유질이 물을 재분배합니다. GOX의 산화적 네트워크 형성은 이런 구조적 약점을 일부 보완할 수 있지만, xylanase와 수분 조정 없이 단독으로 사용하면 원하는 부피나 조직을 얻기 어려울 수 있습니다. Liu의 통밀 반죽 연구는 GOX가 통밀 시스템의 유변학 및 미세구조와 관련될 수 있음을 보여주며, 통밀 배합에서 효소 효과는 다당류와 단백질의 동시 변화로 봐야 함을 시사합니다 [5].

## 찐빵과 스팀드 브레드

GOX는 오븐 베이킹 제품뿐 아니라 밀가루 기반 증숙 제품에서도 연구됩니다. Jin의 연구는 GOX와 sodium stearoyl lactylate를 복합 개량제로 사용했을 때 밀가루 반죽과 steamed bread 품질 개선을 다룹니다. 찐빵류에서는 오븐 스프링보다 발효 안정성, 증숙 중 구조 유지, 표면과 내부 조직이 중요하므로 GOX의 반죽 강화 효과가 다른 방식으로 나타날 수 있습니다 [10].

## 공정 조건이 효과를 좌우하는 이유

GOX의 효과는 효소명만으로 결정되지 않습니다. 반죽 속 포도당, 산소, 수분, pH, 온도, 소금, 효모 활성, 믹싱 에너지, 밀가루 단백질 품질이 모두 반응 경로를 바꿉니다. 특히 산소는 제한 기질이 될 수 있으므로 믹싱 방식이 중요합니다. 반죽에 공기가 얼마나 들어가는지, 산소가 얼마나 빨리 소비되는지, 다른 산화효소계가 산소를 공유하는지가 GOX 작용에 직접적인 영향을 줄 수 있습니다 [3].



**Figure 5.** 글루코스 산화효소는 반죽이 팽창하기 어려울 정도로 너무 단단해지지 않으면서 산화가 점탄성 균형을 개선할 때 가장 유용합니다.

밀가루 품질도 중요한 변수입니다. 글루텐 품질이 약한 밀가루에서는 GOX가 반죽 강도 보완에 도움을 줄 여지가 있지만, 이미 강한 밀가루에서는 신장성 저하나 과도한 탄성 증가로 이어질 수 있습니다. 통밀이나 고섬유 배합에서는 산화 강화만으로 충분하지 않을 수 있으며, 수분 보정과 다당류 구조 조절이 함께 고려되어야 합니다. Renzetti의 연구는 수용성 섬유가 수소결합 밀도와 물 상호작용 변수를 통해 반죽 유변학과 글루텐 구조를 조절할 수 있음을 다루며, 섬유질 배합에서 물의 역할이 핵심이라는 점을 보여줍니다 [11].

효모와 당 조성도 간과하기 어렵습니다. GOX는 포도당을 기질로 사용하고, 효모도 발효 중 당을 소비합니다. 초기 믹싱 단계에서 GOX가 충분히 작용하더라도 발효 중 기질과 산소 조건은 계속 변합니다. 따라서 GOX는 발효 전체를 통제하는 성분이 아니라, 주로 반죽 형성 단계에서 산화적 구조 기반을 만들어 이후 공정 안정성에 영향을 주는 효소로 보는 것이 적절합니다.

## 품질 개선과 한계의 균형

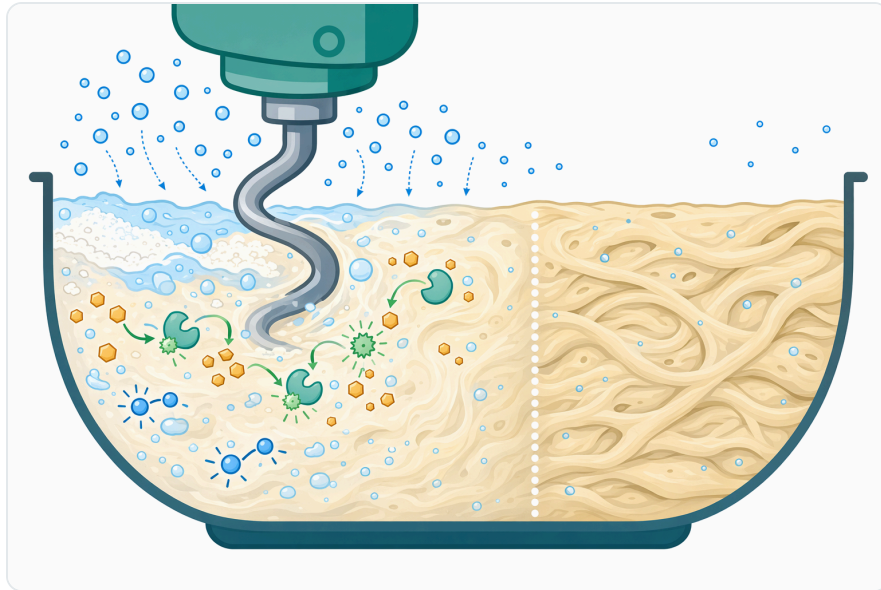
GOX가 적절히 작용하면 반죽의 끈적임이 줄고, 믹싱 후 안정성이 높아지며, 발효 중 형태 유지와 가스 보유력이 개선될 수 있습니다. 빵에서는 부피, 내부 기공 균일성, 슬라이스 안정성, 제품 간 편차 감소 같은 품질 지표로 나타날 수 있습니다. Khan의 연구는 immobilized glucose oxidase를 활용해 빵 품질과 저장성 향상을 검토했으며, GOX 기반 산화 시스템이 제빵 품질뿐 아니라 보존성 연구에서도 다뤄지고 있음을 보여줍니다 [12].

그러나 이런 결과를 모든 배합에 그대로 적용할 수는 없습니다. 연구에서 사용된 효소 형태, 밀가루, 배합, 공정 조건이 실제 산업 라인과 다를 수 있기 때문입니다. 특히 나노입자 고정화, 효소 캡슐화, 재조합 효소 안정화 같은 연구는 GOX의 가능성을 보여주지만, 일반 제빵용 분말 효소 제품과 동일한 적용 조건을 의미하지 않습니다. Yang의 연구처럼 xylanase와 GOX를 마이크로캡슐화하는 접근도 보고되지만, 이는 효소 방출과 안정성 설계에 관한 별도 기술 영역입니다 [13].

실무적으로 GOX의 한계는 “효과 없음”보다 “효과 방향이 배합에 따라 달라짐”에 가깝습니다. 약한 반죽에서는 안정성이 좋아지는 장점이 크지만, 강한 반죽에서는 지나친 탄성 증가가 문제될 수 있습니다. 통밀 반죽에서는 구조 강화가 유리할 수 있지만, 물 분포가 맞지 않으면 오히려 조밀한 crumb이 생길 수 있습니다. 저염 반죽에서는 취급성 보완이 가능하지만, 풍미와 발효 균형은 별도 설계가 필요합니다.

## Enzymes.bio에서 공급되는 제빵용 GOX의 위치

Enzymes.bio는 효소 제조사나 분석 실험실이 아니라, B2B 식품 가공 및 산업용 효소를 온라인으로 공급하는 업체입니다. Glucose Oxidase 제빵용 제품은 밀가루 반죽의 산화적 구조 형성을 지원하는 효소로 이해할 수 있으며, 제품은 1kg 단위로 온라인 직접 구매 방식으로 제공됩니다. 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공되므로, 실제 취급·보관·문서 관리는 해당 주문 문서를 기준으로 확인하는 것이 적절합니다.



**Figure 6.** 믹싱은 글루코스 산화효소 활성화에 필요한 산소를 공급하므로, 이 효소는 반죽 형성 초기 단계에서 가장 큰 영향을 미칩니다.

이 제품을 평가할 때는 제품명에 포함된 수치보다 반죽에서 기대하는 기능을 먼저 정의하는 편이 더 실용적입니다. 목표가 식빵의 부피와 crumb 균일성인지, 통밀 반죽의 성형 안정성인지, 저염 배합의 취급성인지에 따라 GOX가 기여하는 방식이 달라집니다. GOX는 포도당과 산소를 이용해 과산화수소를 만들고, 그 산화 환경이 단백질과 다당류 네트워크를 재편한다는 기전이 핵심이므로, 반죽 산화 조절이 필요한 제품에서 기술적 의미가 큼니다.

## 핵심 정리

Glucose Oxidase는 제빵 반죽에서 포도당과 산소를 기질로 사용해 과산화수소를 생성하고, 이 산화적 환경을 통해 글루텐 단백질과 아라비노자일란 네트워크의 결합 형성을 촉진하는 효소입니다. 이 과정은 반죽 강도, 가스 보유력, 성형 안정성, crumb structure와 연결될 수 있으며, 특히 약한 밀가루, 통밀·고섬유 배합, 저염 반죽처럼 구조 안정성이 품질의 병목이 되는 시스템에서 연구와 적용 가치가 큼니다 [2].

동시에 GOX는 모든 제빵 문제를 해결하는 단일 첨가제가 아닙니다. 산소 공급, 믹싱 조건, 밀가루 단백질 품질, 수분 분포, 효모 활동, xylanase나 transglutaminase 같은 다른 효소와의 상호작용에 따라 효과가 달라집니다. 따라서 GOX는 "부피 증대제"라기보다 반죽의 산화적 네트워크 형성을 조절하는 식품 가공용 효소로 이해하는 것이 가장 정확합니다 [3].

Enzymes.bio의 제빵용 Glucose Oxidase는 이러한 기술적 목적에 맞춰 온라인으로 공급되는 B2B 효소 제품입니다. 제조·분석 서비스를 제공하는 형태가 아니라 1kg 단위 제품 공급에 초점을 둔 온라인 공급 모델이며, 주문 시 제공되는 CoA와 SDS를 통해 제품 문서와 안전 정보를 확인할 수 있습니다.

## Glucose Oxidase 10,000 U/G Bread Flour Product Baking Food Grade 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.

[Glucose Oxidase 10,000 U/G Bread Flour Product Baking Food Grade 구매하기 →](#)

## 참고문헌

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

1. Khatami, S. H., Vakili, O., Ahmadi, N., Fard, E. S., Mousavi, P., Khalvati, B., Maleksabet, A., ... et al. (2021). Glucose oxidase: Applications, sources, and recombinant production. *Biotechnology and applied biochemistry*, 69, 939 - 950.
2. Bonet, A., Rosell, C., Caballero, P., Gómez, M., Pérez-Munuera, I., & Lluch, M. (2006). Glucose oxidase effect on dough rheology and bread quality : A study from macroscopic to molecular level. *Food Chemistry*, 99, 408-415.
3. Buche, F., Davidou, S., Pommet, M., Potus, J., Rouillé, J., Verté, F., & Nicolas, J. (2011). Competition for Oxygen Among Oxidative Systems During Bread Dough Mixing: Consequences of Addition of Glucose Oxidase and Lipoyxygenase on Yeasted Dough Rheology. *Cereal Chemistry*, 88, 518-524.
4. Niu, M., Xiong, L., Zhang, B., Jia, C., & Si-Zhao (2018). Comparative study on protein polymerization in whole-wheat dough modified by transglutaminase and glucose oxidase. *Lwt - Food Science and Technology*, 90, 323-330.
5. Liu, L., Yang, W., Cui, S., Jiang, Z., Chen, Q., Qian, H., Wang, L., ... et al. (2018). Effects of pentosanase and glucose oxidase on the composition, rheology and microstructure of whole wheat dough. *Food Hydrocolloids*.
6. Abdul, N. A., Wajeed, M., Saeed, M., Salih, A. M., Talb, S., Ali, R. A., Jawhar, S., ... et al. (2025). Enhancing Dough Quality: The Effects of Transglutaminase and Glucose Oxidase on Stability and Mixing Resistance. *International Journal of Scientific Research in Modern Science and Technology*.
7. Liu, L., Yuan-Sun, Yue, Y., Yang, J., Chen, L., Ashraf, J., Wang, L., ... et al. (2020). Composition and foam properties of whole wheat dough liquor as affected by xylanase and glucose oxidase. *Food Hydrocolloids*, 108, 106050.
8. Hopkins, E. J., Hucl, P., Scanlon, M., & Nickerson, M. (2019). Effects of glucose oxidase and organic acids on the properties of a model low sodium dough prepared from Harvest and Pembina CWRS wheat. *Journal of Cereal Science*.

9. Konieczny, D., Stone, A., Hucl, P., & Nickerson, M. (2020). Enzymatic cross-linking to improve the handling properties of dough prepared within a normal and reduced NaCl environment. *Journal of texture studies*.
10. Jin, Y., Tan, J., Yang, H., Liu, P., Wu, H., & Li, B. (2025). Effects of Glucose Oxidase and Sodium Stearoyl Lactate as a Compound Modifier on Improving the Quality of Wheat Dough and Its Steamed Bread. *Food Science & Nutrition*, 13.
11. Renzetti, S., Lambertini, L., Mocking-Bode, H. C., & Sman, R. G. (2025). Soluble fibres modulate dough rheology and gluten structure via hydrogen bond density and Flory-Huggins water interaction parameter. *Current Research in Food Science*, 10.
12. Khan, J., Khurshid, S., Sarwar, A., Aziz, T., Naveed, M., Ali, U., Makhdoom, S. I., ... et al. (2022). Enhancing Bread Quality and Shelf Life via Glucose Oxidase Immobilized on Zinc Oxide Nanoparticles—A Sustainable Approach towards Food Safety. *Sustainability*.
13. Yang, S., Feng, M., Xu, J., Deng, Z., & Zhang, H. (2024). Encapsulation, characterization and in vitro releasing of xylanase and glucose oxidase (GOD) into cellulose nanocrystals stabilized three-layer microcapsules. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135515 .


## 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