

Transglutaminase: 식품 단백질 결합·조직감 개선에 쓰이는 Microbial Transglutaminase 효소

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

Transglutaminase는 단백질의 글루타민 잔기와 리신 잔기 사이에 공유결합성 가교를 형성해, 육가공·수산가공·유제품·식물성 단백질 매트릭스의 결합력과 조직 안정성을 높이는 효소입니다. 식품 분야에서 주로 논의되는 것은 microbial transglutaminase이며, 인체의 tissue transglutaminase 2, transglutaminase-1, transglutaminase 3와는 적용 목적과 생물학적 맥락이 다릅니다. Enzymes.bio의 Transglutaminase는 1kg 단위로 온라인 직접 판매되는 식품·산업 단백질 가공용 효소 제품이며, 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다.

Transglutaminase의 핵심 기능: 단백질을 “붙이는” 것이 아니라 가교 네트워크를 만든다

Transglutaminase function을 가장 정확히 설명하는 표현은 “단백질 간 transglutaminase crosslinking을 촉진하는 효소”입니다. 이 효소는 단백질 사슬에 존재하는 글루타민 잔기의 아실기와 리신 잔기의 아미노기 사이 반응을 촉매해 ϵ -(γ -glutamyl)lysine 형태의 이소펩타이드 결합을 만들며, 그 결과 개별 단백질 입자나 섬유가 더 연속적인 네트워크로 연결됩니다. 이런 결합은 단순한 점착, 물리적 흡착, 전분성 점도 상승과 구별되며, 단백질 자체의 구조적 연결성을 바꾸는 반응입니다 [1].

식품 제조 현장에서 이 차이는 중요합니다. 예를 들어 잘게 절단된 육류 조각, 수분이 많은 어육 페이스트, 점탄성이 약한 식물성 단백질 반죽은 혼합 직후에는 뭉쳐 보일 수 있지만, 절단·가열·냉각·포장·해동 과정에서 쉽게 균열이 생기거나 수분이 빠질 수 있습니다. Transglutaminase in food는 이 단계에서 단백질 사이의 연결점을 늘려 제품이 절단될 때 덜 부서지고, 성형 후 형태를 유지하며, 조리 중 구조 붕괴를 줄이도록 돕는 방향으로 작동합니다 [2].

“고기 접착제”라는 표현은 소비자 검색어에서는 자주 보이지만, 기술적으로는 불완전합니다. Transglutaminase는 접착제를 표면에 발라 외부 막을 만드는 물질이 아니라, 원료 내부 단백질의 반응 가능한 잔기를 이용해 네트워크를 형성하는 효소입니다. 따라서 효과는 효소 자체만으로 결정되지 않고, 단백질 종류, 수분, 염, pH, 온도, 혼합 강도, 성형 압력, 반응 시간, 후속 가열 조건의 영향을 함께 받습니다 [3].

Microbial transglutaminase와 인체 transglutaminase를 구분해야 하는 이유

Transglutaminase라는 이름은 하나의 제품만을 뜻하지 않습니다. 식품 가공에서 사용하는 microbial transglutaminase, 인체 조직에 존재하는 transglutaminase 2, 피부 장벽 형성에 관여하는 keratinocyte transglutaminase 또는 transglutaminase-1, 표피와 모발 관련 조직에서 논의되는 transglutaminase 3는 모두 “가교 반응”이라는 공통 화학을 공유하지만, 기원·기능·적용 맥락이 다릅니다. 식품 제조자가 관심을 갖는 것은 일반적으로 단백질 식품 매트릭스의 물성을 조절하는 microbial transglutaminase입니다 [1].

Transglutaminase 2, 즉 tissue transglutaminase는 세포외기질, 세포 생존, 신경계 질환, 염증 반응 등 생리·병리학 문헌에서 별도로 다루집니다. TG2는 효소적 가교 기능뿐 아니라 GTP 결합, 세포 신호, 단백질 상호작용과도 관련되는 다기능 단백질로 연구되며, 신경 질환 치료 표적으로도 논의됩니다 [4]. 이는 식품용 microbial transglutaminase의 공정 기능을 설명하는 문헌과 구분해야 합니다.

Anti tissue transglutaminase 또는 anti-tTG는 주로 자가면역 질환, 특히 글루텐 관련 질환의 진단·면역학 문맥에서 검색되는 용어입니다. 한 연구는 서로 다른 자가면역 조건에서 IgG anti-tTG 반응이 표적 에피토프와 subclass 사용 양상에서 차이를 보인다고 보고했으며, 이는 “transglutaminase test”가 식품 공정 효소의 성능 시험이 아니라 인체 면역 반응을 보는 임상적 개념임을 보여줍니다 [5]. 따라서 transglutaminase gluten, anti tissue transglutaminase, transglutaminase test를 검색할 때는 식품 효소와 인체 자가항체 검사를 같은 개념으로 취급하지 않는 것이 중요합니다.

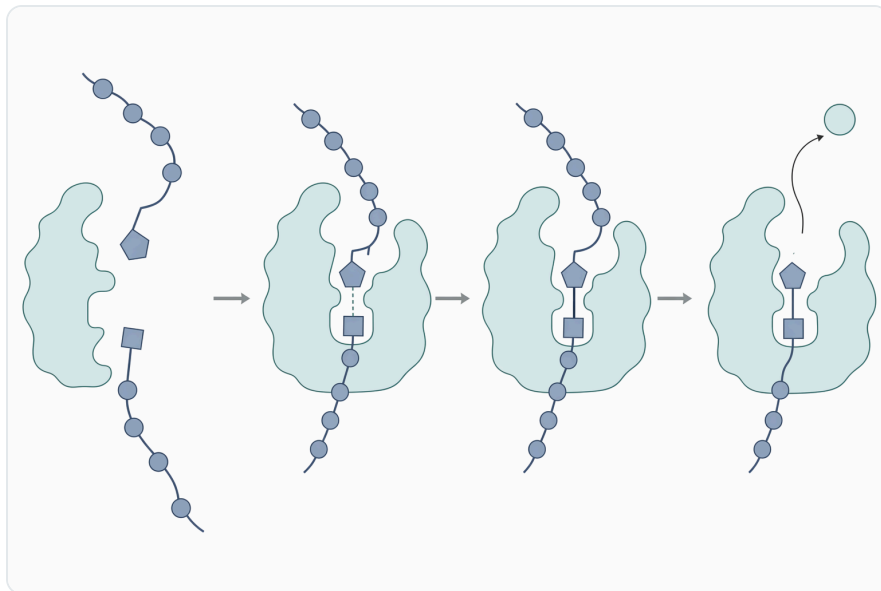


Figure 1. 트랜스글루타미나아제는 단백질에 결합된 글루타민 잔기와 리신 잔기 같은 아민 공여체 사이의 공유 교차결합을 촉매합니다.

구분	주된 맥락	주요 기능 또는 관심사	식품 제조와의 관련성
Microbial transglutaminase	식품·산업 단백질 가공	단백질 간 이소펩타이드 가교 형성, 결착·조직감 개선	육가공, 수산, 유제품, 식물성 단백질에 직접 관련
Transglutaminase 2 / tissue transglutaminase	인체 조직, 세포생물학, 질환 연구	가교 반응, 세포 신호, 세포외기질, 병리 기전	식품 효소와 명칭은 유사하나 적용 목적이 다름
Transglutaminase-1 / keratinocyte transglutaminase	피부 장벽, 각질세포 생물학	표피 단백질 가교, 피부 장벽 형성	식품 가공용 효소와 직접 동일시하면 안 됨
Transglutaminase 3	표피·모발 관련 조직 연구	구조 단백질 가교와 조직 특이 기능	식품 조직감 개선 용도와 구분 필요
Anti-tTG / transglutaminase test	임상 면역학	tissue transglutaminase에 대한 항체 반응 평가	식품용 TG의 공정 성능 시험이 아님

Transglutaminase enzyme function이 식품 물성으로 이어지는 단계

Transglutaminase enzyme function은 분자 수준에서는 비교적 간단하게 설명되지만, 제품 수준에서는 복합적인 물성 변화로 나타납니다. 첫째, 단백질 입자 또는 섬유 사이에 공유결합 연결점이 증가합니다. 둘째, 네트워크가 조밀해지면서 물이 갇히거나 이동하기 어려운 구조가 형성될 수 있습니다. 셋째, 절단·압축·가열 같은 기계적 또는 열적 스트레스에서 단백질 매트릭스가 더 일관된 저항성을 보일 수 있습니다 [6].

이때 “더 단단하다”는 결과만 기대하면 실제 개발 판단을 놓치기 쉽습니다. 육가공에서는 절단면의 부서러짐 감소, 슬라이스 두께의 균일성, 조리 후 형태 유지가 더 중요한 성능일 수 있습니다. 유제품에서는 겔의 탄성, 유청 분리 감소, 손가락으로 떠지는 질감이 핵심일 수 있습니다. 식물성 대체육에서는 씹힘, 섬유상 구조의 연결, 패티나 너겟 형태의 파손 감소가 목표일 수 있습니다 [2].

효소 반응은 단백질 잔기가 접근 가능해야 일어납니다. 원료 단백질이 과도하게 응집되어 있거나, 지방·전분·섬유질이 단백질 접촉을 가리거나, 수분이 부족해 효소가 이동하기 어려운 경우에는 같은 transglutaminase라도 기대한 결착을 보이지 않을 수 있습니다. 반대로 혼합과 수화가 적절하고, 반응 가능한 단백질이 노출되어 있으며, 성형 후 네트워크가 형성될 시간이 주어진다면 효소 효과가 더 분명하게 관찰될 수 있습니다 [7].

육가공에서의 transglutaminase: 결착, 절단성, 수율 안정화

육가공은 transglutaminase in food에서 가장 널리 알려진 응용 분야입니다. 원료육 절단면에는 근원섬유 단백질이 존재하고, 염지·혼합·텀블링 과정에서 단백질이 일부 추출되면 조각 사이 접촉면에서 가교 반응이 일어날 수 있습니다. 이 반응은 재구성육, 햄, 소시지, 롤 제품, portion-controlled meat에서 절단 안정성과 모양 유지에 기여할 수 있습니다 [1].

저염 육제품 개발에서도 transglutaminase가 주목됩니다. 염은 전통적으로 근원섬유 단백질 추출과 겔 형성에 중요한 역할을 하지만, 저염 제품에서는 단백질 네트워크가 약해지기 쉽습니다. 완두 단백질을 transglutaminase와 함께 변형해 저염 근원섬유 겔에서 인산염 사용을 줄이는 연구는, 효소적 단백질 가교가 염·인산염 의존적인 구조 형성을 일부 보완할 수 있음을 보여줍니다 [2].

다만 transglutaminase는 원료 품질이나 위생 관리를 대체하지 않습니다. 조각육을 결착해 균일한 제품을 만들 수 있다는 점은 공정상 장점이지만, 원료의 미생물 관리, 냉장 체인, 가열 검증, 표시 기준은 별도의 식품 안전 체계에서 관리되어야 합니다. 효소는 단백질 구조를 안정화하는 기술이지, 식품 안전 문제를 제거하는 처리법이 아닙니다 [1].

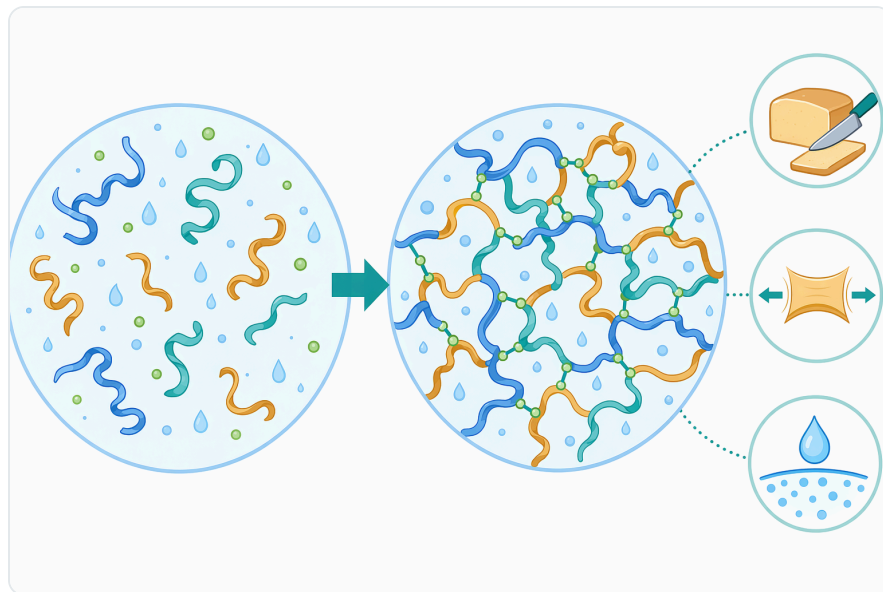


Figure 2. 단백질 교차결합은 느슨한 단백질 집합체를 서로 더 잘 결합된 식품 매트릭스로 바꾸어, 물리적 거동이 달라지게 합니다.

수산가공과 surimi 제품: 섬세한 단백질 매트릭스 보강

수산 단백질은 열과 기계적 처리에 민감하고, 해동 후 수분 이탈이나 조직 붕괴가 쉽게 나타납니다. Surimi 기반 제품에서는 염, 세척, 혼합, 가열 조건을 통해 어육 단백질 겔을 만들지만, 원료 어종과 냉동 이력에 따라 탄성이나 절단성이 달라질 수 있습니다. Microbial transglutaminase는 이런 단백질 매트릭스에서 가교점을 늘려 겔 구조를 보강하는 방식으로 활용될 수 있습니다 [1].

수산가공에서 기대되는 효과는 “강한 접착” 하나로 설명되지 않습니다. 생선 필레 조각을 균일한 portion으로 만들 때는 접촉면 결착이 중요하고, surimi 제품에서는 탄력과 절단면 안정성이 중요합니다. 새우·어묵류·모조 게살과 같은 제품에서는 씹힘, 물성 균일성, 가열 후 변형 억제가 더 직접적인 품질 지표가 됩니다. 이처럼 같은 transglutaminase라도 원료 단백질의 상태와 제품 목표에 따라 평가해야 할 물성이 달라집니다 [3].

유제품에서의 transglutaminase function: 겔 안정성과 수분 보유

유제품에서 transglutaminase는 카제인과 유청 단백질 네트워크에 영향을 줄 수 있습니다. 요구르트와 발효유에서는 단백질 겔이 pH 하강과 함께 형성되며, 이 네트워크가 약하면 유청 분리와 묽은 질감이 나타납니다. Transglutaminase는 단백질 간 연결을 강화해 더 안정적인 겔 구조를 만들 수 있으며, 이는 점도, 손가락 질감, 수분 보유성 개선과 관련됩니다 [3].

치즈와 단백질 강화 음료에서도 같은 원리가 적용될 수 있지만, 결과는 제품별로 다릅니다. 치즈에서는 절단성, 탄성, 수분 보유, 용융 특성이 중요하고, 음료에서는 침전 억제와 입안 질감이 중요합니다. 효소 가교가 과도하게 진행되면 원하는 부드러움보다 탄성 또는 점성이 커질 수도 있으므로, 유제품에서 transglutaminase의 가치는 “무조건 강한 겔”이 아니라 목표 질감에 맞춘 단백질 네트워크 조정에 있습니다 [8].

Lactoferrin-chitosan 복합 하이드로겔을 microbial transglutaminase로 유도한 연구는 식품·바이오소재 영역에서 이 효소가 단순 결착을 넘어 단백질 기반 전달 시스템의 구조 형성에도 사용될 수 있음을 보여줍니다. 특히 열에 민감한 생리활성 물질을 담는 매트릭스 설계에서 효소적 가교가 하이드로겔의 구조와 안정성에 관여할 수 있다는 점이 논의되었습니다 [8].

식물성 단백질과 대체육: 원료별 반응성이 성패를 가른다

식물성 단백질 시스템은 transglutaminase 적용에서 가장 빠르게 관심이 커지는 분야 중 하나입니다. 대두, 완두, 밀글루텐, 감자, 쌀, 해바라기 단백질은 각각 아미노산 조성, 용해성, 변성 이력, 입자 크기, 수분 흡수 특성이 다릅니다. 따라서 transglutaminase function in food를 식물성 대체육에 적용할 때는 “식물성 단백질이면 모두 동일하게 결착된다”는 전제를 피해야 합니다 [6].

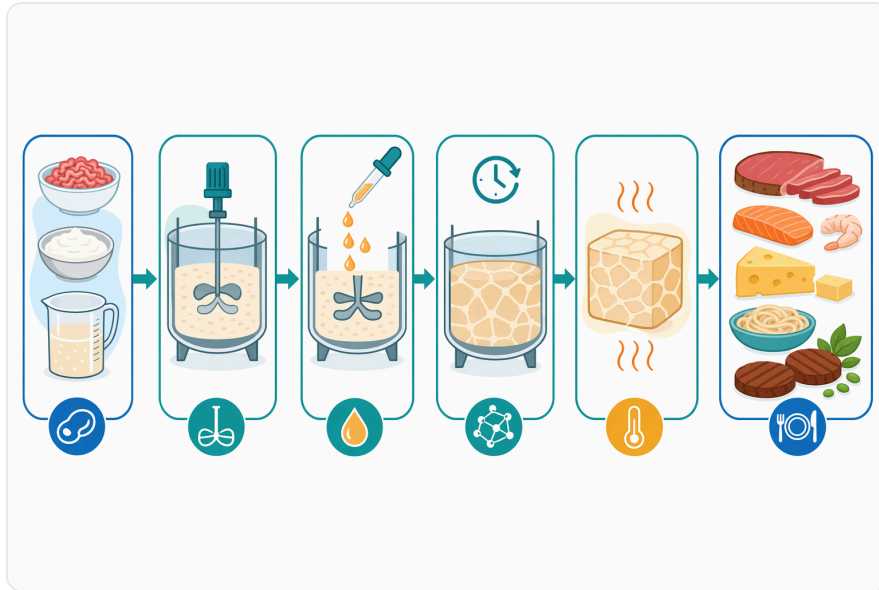


Figure 3. 육류 결착에는 노출된 살코기 단백질 표면, 효소의 고른 분포, 밀착, 반응 시간, 그리고 제품에 맞는 후속 취급이나 조리가 필요합니다.

완두 단백질 연구는 이 점을 잘 보여줍니다. 고수분 압출 조건과 관련된 농축 완두 단백질의 유변학 연구에서 transglutaminase 처리는 단백질 매트릭스의 흐름·탄성 거동에 영향을 주는 변수로 다뤄졌습니다. 대체육 제조에서 중요한 것은 단순히 반죽을 균히는 것이 아니라, 압출 중 전단과 열을 받으면서 형성되는 섬유상 구조가 최종 냉각 후에도 유지되도록 설계하는 것입니다 [6].

밀글루텐에서는 또 다른 양상이 나타납니다. 글루텐은 자체적으로 점탄성 네트워크를 형성하는 단백질이므로, transglutaminase gluten 적용은 반죽 강도, 신장성, 탄성의 균형과 직접 연결됩니다. 밀글루텐 반죽 품질을 transglutaminase 원천과 공정 조건으로 조절한 연구는 효소 종류와 처리 조건이 반죽 품질을 "구동"할 수 있음을 보여주며, 이는 제빵·대체육·식물성 단백질 구조 설계에서 공정 조건을 함께 봐야 한다는 점을 뒷받침합니다 [7].

공정 조건이 중요한 이유: 온도, pH, 수분, 시간의 결합 효과

Transglutaminase는 효소이므로 반응 조건의 영향을 받습니다. 온도와 pH가 효소 활성과 단백질 구조를 동시에 바꾸기 때문에, 같은 배합이라도 냉장 반응, 실온 성형, 가열 전 보관, 열처리 순서에 따라 최종 물성이 달라질 수 있습니다. Transglutaminase family의 온도·pH 레퍼토리가 확대되고 있다는 리뷰는 서로 다른 기원의 transglutaminase가 다양한 조건에서 작동할 수 있음을 설명하지만, 이는 제품별 공정 적합성 검토가 필요하다는 의미이기도 합니다 [3].

수분은 특히 중요합니다. 효소는 건조한 단백질 표면에서 충분히 이동하기 어렵고, 단백질 잔기가 서로 접근할 수 있는 물리적 환경이 필요합니다. 육가공에서는 염지액이나 혼합 중 추출 단백질이 접촉면을 채우고, 식물성 단백질에서는 수화와 혼련이 단백질 입자를 열어줍니다. 유제품에서는 수

상 매트릭스 자체가 효소와 단백질의 접촉을 가능하게 하지만, pH 변화와 열처리 시점이 결과를 크게 좌우할 수 있습니다 [6].

반응 시간도 단순히 길수록 좋은 것은 아닙니다. 충분한 시간이 없으면 가교가 미흡할 수 있지만, 제품에 따라 과도한 네트워크 형성은 질감을 지나치게 질기거나 탄성적으로 만들 수 있습니다. 따라서 “how to use transglutaminase”를 공정 문맥에서 해석할 때는, 투입 자체보다 원료 준비, 균일 분산, 성형, 반응, 효소 불활성화 또는 후속 열처리의 순서가 더 중요합니다 [7].

응용 분야별 기대 효과 비교

아래 표는 transglutaminase in food에서 자주 논의되는 주요 분야를 공정 목적과 물성 지표 중심으로 정리한 것입니다. 제품마다 원료와 공정이 다르므로, 표는 적용 가능성을 이해하기 위한 기술적 비교로 보는 것이 적절합니다.

적용 분야	주 단백질 매트릭스	transglutaminase crosslinking의 주요 목표	흔히 관찰하려는 품질 변화	주의할 공정 변수
육가공·재구성육	근원섬유 단백질, 육단백질 추출물	조각 간 결합, 성형 안정화	슬라이스 안정성, 조리 후 형태 유지, 절단 손실 감소	염지, 혼합, 수분, 냉장 반응, 가열 순서
수산·surimi	어육 단백질, 미오신계 겔	섬세한 겔 네트워크 보강	탄력, 절단면 안정성, 해동 후 구조 유지	어종, 냉동 이력, 염, 수분, 가열 조건
유제품	카제인, 유청 단백질	겔 구조 강화, 유청 분리 억제	점도, 크리미함, 수분 보유, 겔 강도	pH, 발효 시점, 열처리, 단백질 농도
식물성 대체육	완두·대두·밀글루텐 등	약한 매트릭스 결합, 섬유 구조 보조	씹힘, 파손 감소, 수분 보유, 성형성	단백질 원료, 수화, 전단, 지방·전분 비율
단백질 하이드로겔	기능성 단백질 복합체	3차원 네트워크 형성	구조 안정성, 물질 담지, 방출 특성	고분자 조성, pH, 열 민감 성분, 겔화 조건

Transglutaminase gluten과 글루텐 관련 검색어를 해석하는 법

Transglutaminase gluten은 두 가지 전혀 다른 질문을 포함할 수 있습니다. 하나는 밀글루텐 반죽이나 식물성 대체육에서 transglutaminase가 글루텐 네트워크를 어떻게 바꾸는지에 관한 식품공학 질문입니다. 다른 하나는 셀리악병, anti tissue transglutaminase, transglutaminase test처럼 인체 면

역 반응과 관련된 임상 질문입니다. 이 둘을 구분하지 않으면 식품 가공 기능과 질환 표지를 혼동하게 됩니다 [5].

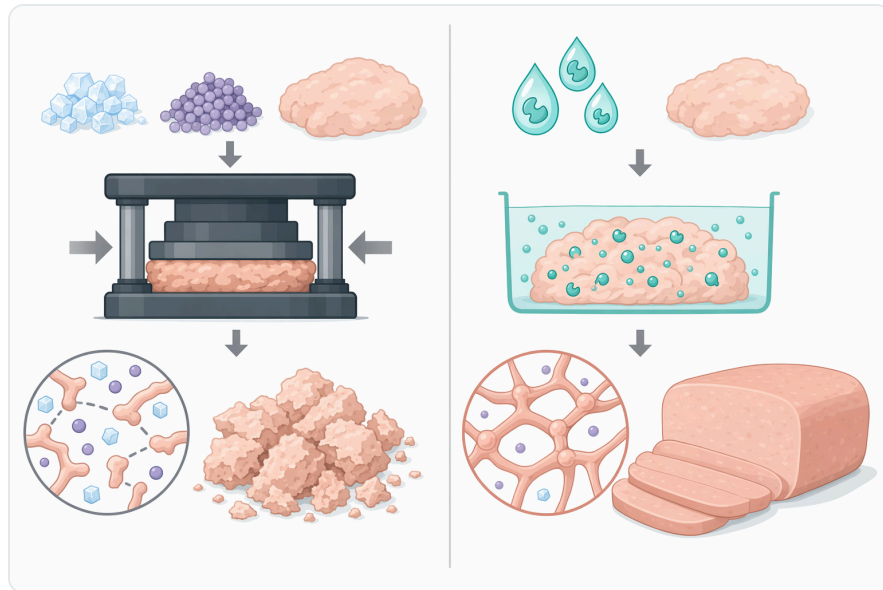


Figure 4. 유제품 시스템에서 트랜스글루타미나아제는 눈에 보이는 표면 접착제처럼 작용하기보다 단백질 네트워크의 연결성을 변화시킵니다.

식품공학 측면에서 글루텐은 점탄성 네트워크를 형성하는 대표적인 식물 단백질입니다. Transglutaminase 처리는 글루텐 단백질 사이의 가교를 바꾸어 반죽의 강도, 탄성, 신장성, 가공 적성을 변화시킬 수 있습니다. 밀글루텐 반죽 품질 연구는 효소 원천과 공정 조건이 반죽 특성에 영향을 준다는 점을 보여주며, 이는 제빵뿐 아니라 글루텐을 구조 단백질로 사용하는 식물성 대체육에도 관련됩니다 [7].

임상 측면에서 anti-tTG는 식품용 microbial transglutaminase 자체를 측정하는 검사가 아닙니다. Anti tissue transglutaminase 항체 반응은 인체 tissue transglutaminase를 표적으로 하는 면역 반응이며, 자가면역 조건별로 표적 에피토프와 항체 subclass가 달라질 수 있습니다 [5]. 따라서 “transglutaminase test”라는 검색어가 나오면, 그것이 식품 효소의 품질 분석을 말하는지, 임상 검사인 anti-tTG를 말하는지 먼저 구분해야 합니다.

Transglutaminase side effects를 논의할 때의 기술적 경계

Transglutaminase side effects라는 검색어는 종종 식품 효소 안전성, 글루텐 질환, 가공육에 대한 소비자 인식, 표시 문제를 한꺼번에 묶습니다. 기술 문서에서는 과장된 안전 주장도, 근거 없는 위험 주장도 피해야 합니다. 확인 가능한 범위에서 말할 수 있는 것은, 식품용 microbial transglutaminase는 단백질 가교를 통해 물성을 바꾸는 효소이며, 인체 tissue transglutaminase에 대한 자가항체 반응과는 개념적으로 구분된다는 점입니다 [1].

글루텐 관련 질환을 가진 소비자에게 중요한 것은 최종 제품의 원료, 교차오염 관리, 현지 표시 규정, 알레르겐 관리입니다. Transglutaminase가 글루텐 함유 원료에 사용되었다면 최종 제품은 여전히 글루텐 관련 표시와 관리 대상이 될 수 있습니다. 효소가 단백질 구조를 바꾼다고 해서 알레르겐 또는 글루텐 표시 의무가 자동으로 사라지는 것은 아니며, 이는 각 제조사의 규정 준수 체계에서 판단해야 합니다 [7].

또한 재구성육이나 결착육에서는 소비자가 원육 형태를 오해하지 않도록 표시와 조리 지침이 중요할 수 있습니다. Transglutaminase는 원료 조각을 결합해 균일한 외관을 만들 수 있으므로, 제품 유형과 시장 규정에 따라 적절한 표시가 필요합니다. 이 지점은 효소 자체의 생화학보다 식품 표시·위생·공정 검증의 영역에 가깝습니다 [1].

제품 형태와 안정성: 분말 효소에서 공정 성능까지

식품용 transglutaminase는 대개 분말 또는 혼합 제형으로 취급되며, 실제 공정에서는 분산성과 보관 안정성이 중요합니다. 효소가 단백질과 접촉하기 전에 응집되거나, 수분을 흡수해 보관 중 성능이 저하되거나, 배합에 균일하게 퍼지지 않으면 제품 물성의 편차가 커질 수 있습니다.

Transglutaminase의 동결건조 기반 미세캡슐화 조건을 최적화한 연구는 효소 제형화와 안정화가 실용적 성능에 영향을 줄 수 있음을 보여줍니다 [9].

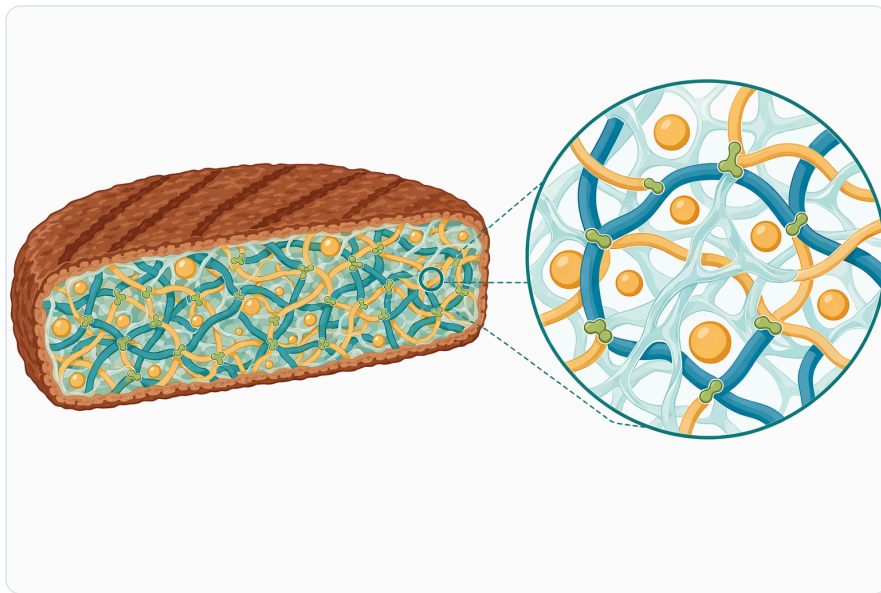


Figure 5. 식물성 대체육은 효소적 단백질 교차결합을 다른 구조 형성 시스템과 결합하여 씹는 식감과 형태 유지력을 만들 수 있습니다.

초음파 분무 동결건조 공정 조건을 평가한 연구도 transglutaminase 제형의 물리적 특성과 안정성 관리가 중요하다는 점을 다룹니다. 이런 문헌은 제조 공정의 세부 조건을 그대로 식품 제조자가 따라야 한다는 의미가 아니라, 효소 제품이 단순한 화학 첨가물이 아니라 단백질성 생촉매라는 점을 이해하는 데 도움이 됩니다 [10].

Enzymes.bio는 제조사나 실험실이 아니라 효소 공급업체입니다. Transglutaminase 제품은 1kg 단위로 온라인 직접 판매되며, 식품 및 산업 단백질 가공 용도에 맞춰 구매할 수 있습니다. 제품 관련 CoA와 SDS는 주문 시 함께 제공되므로, 수령 후 각 회사의 내부 품질·안전 절차에 따라 확인할 수 있습니다 .

“Moo gloo TI transglutaminase”와 산업용 TG 제품을 볼 때의 관점

Moo gloo TI transglutaminase 같은 제품명은 셰프·소규모 식품개발자·응용 레시피 커뮤니티에서 알려져 있지만, B2B 제조 관점에서는 브랜드명보다 효소의 기능, 적용 식품, 공정 적합성, 표시 요구 사항이 더 중요합니다. 산업 제조에서 transglutaminase buy를 검색하는 사용자는 대개 “고기 접착제”를 찾는 것이 아니라, 단백질 기반 제품의 결착·조직감·수분 보유 문제를 해결할 수 있는 효소 솔루션을 찾고 있습니다 ^[1].

특정 브랜드명과 달리 microbial transglutaminase라는 기술 범주는 더 넓습니다. 박테리아 유래 transglutaminase의 특성과 사용을 다룬 리뷰는 Bacillus 유래 효소를 포함해 다양한 미생물 기원의 transglutaminase가 연구되고 있음을 설명합니다. 이는 식품 공정에서 효소 선택이 단순 명칭이 아니라 기원, 조건 적합성, 단백질 매트릭스와의 상호작용까지 포함하는 문제임을 시사합니다 ^[1].

Enzymes.bio의 Transglutaminase는 온라인에서 1kg 단위로 직접 구매 가능한 효소 제품으로 제시됩니다. 이 문서의 목적은 구매 절차를 안내하는 것이 아니라, transglutaminase가 어떤 반응을 촉매하고 왜 육류·수산·유제품·식물성 단백질에서 사용되는지 기술적으로 이해하도록 돕는 것입니다 .

공정 적용을 이해하는 실무적 프레임

Transglutaminase를 실제 배합에 적용할 때는 먼저 제품의 문제를 물성 언어로 바꿔야 합니다. “조직감이 나쁘다”는 표현은 너무 넓습니다. 절단 시 부서지는가, 조리 후 수분이 빠지는가, 표면이 갈라지는가, 냉동·해동 후 스폰지처럼 되는가, 압출 후 섬유가 끊어지는가를 구체화해야 합니다. 문제를 구체화하면 transglutaminase crosslinking이 해결할 수 있는 부분과 다른 성분 또는 공정이 담당해야 하는 부분을 분리할 수 있습니다 ^[6].

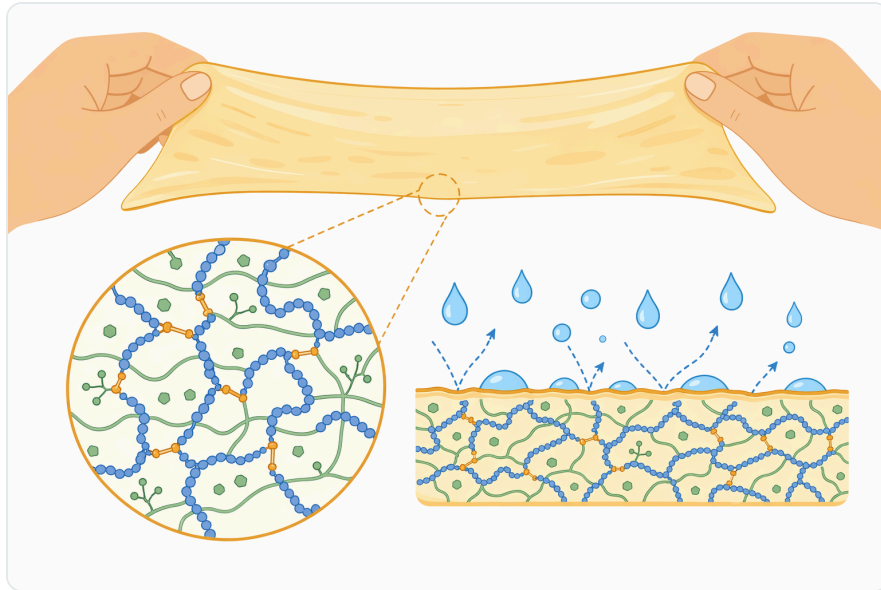


Figure 6. 교차결합은 단백질 기반 식용 필름의 연결성을 높이고 기계적 강도를 강화하며, 급격한 수분 변화에 덜 민감하게 만들 수 있습니다.

그 다음에는 단백질의 반응성을 봐야 합니다. 효소가 가교할 수 있는 잔기가 있어도, 단백질이 불용성 덩어리로 뭉쳐 있거나 지방에 둘러싸여 있거나 충분히 수화되지 않으면 반응 효율은 낮아질 수 있습니다. 반대로 과도한 기계적 전단이나 열처리로 단백질이 예상과 다르게 변성되면, 효소 반응 전후의 물성이 크게 달라질 수 있습니다 [7].

마지막으로 후속 공정과 연결해야 합니다. Transglutaminase가 형성한 네트워크는 가열 겔화, 산 발효, 압출 냉각, 냉동 보관, 진공 포장 같은 다음 단계와 함께 최종 제품 물성을 결정합니다. 따라서 이 효소는 “마지막에 넣는 첨가제”라기보다, 단백질 구조 형성 공정의 한 요소로 배치하는 것이 더 정확합니다 [3].

Enzymes.bio Transglutaminase를 이해할 때의 핵심 정리

Transglutaminase는 단백질의 글루타민과 리신 잔기 사이 가교를 촉진해 식품 단백질 네트워크를 안정화하는 효소입니다. 육가공에서는 결착과 절단성, 수산가공에서는 겔 탄력과 형태 유지, 유제품에서는 겔 안정성과 수분 보유, 식물성 단백질에서는 매트릭스 보강과 대체육 구조 형성에 활용될 수 있습니다 [2].

그러나 transglutaminase는 모든 식품에서 동일한 결과를 내는 범용 조직개선제가 아닙니다. 원료 단백질의 종류와 상태, 수분, pH, 염, 혼합, 온도, 반응 시간, 후속 가열 또는 냉각 조건에 따라 최종 물성이 달라집니다. 특히 식물성 단백질과 글루텐 시스템에서는 단백질 원료별 반응성이 크므로, 효소 기능을 배합 전체의 구조 설계 안에서 해석해야 합니다 [6].

인체 transglutaminase 2, transglutaminase-1, transglutaminase 3, anti tissue transglutaminase 검사는 식품용 microbial transglutaminase와 같은 이름을 공유하지만 적용 맥락이 다릅니다. 식품 제조 관점에서 중요한 것은 microbial transglutaminase가 단백질 기반 제품의 결착과 조직 안정성을 조절하는 효소라는 점이며, Enzymes.bio의 Transglutaminase는 이러한 식품·산업 단백질 가공 용도로 1kg 단위 온라인 직접 판매되는 제품입니다 .

Transglutaminase 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.

[Transglutaminase 구매하기 →](#)

참고문헌

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

1. Gün, B., & Yılmaz, S. (2022). BACILLUS ORIGINATED TRANSGLUTAMINASE: PROPERTIES AND USAGE. *Current Trends in Natural Sciences*.
2. Dong, C., Zhao, J., Wang, L., & Jiang, J. (2023). Modified pea protein coupled with transglutaminase reduces phosphate usage in low salt myofibrillar gel. *Food Hydrocolloids*.
3. Lerner, A., Ramesh, A., & Matthias, T. (2020). The temperature and pH repertoire of the transglutaminase family is expanding. *FEBS Open Bio*, 10, 492 - 494.
4. Keillor, J., & Johnson, G. (2021). Transglutaminase 2 as a therapeutic target for neurological conditions. *Expert opinion on therapeutic targets*, 25, 721 - 731.
5. Comerford, R., Kelly, J., Feighery, C., & Byrne, G. (2015). IgG anti-tTG responses in different autoimmune conditions differ in their epitope targets and subclass usage. *Molecular Immunology*, 67 2 Pt B, 369-76 .
6. Qin, J., Zhao, Y., Zhou, J., Zhang, G., Li, J., & Liu, X. (2022). Rheological properties of transglutaminase-treated concentrated pea protein under conditions relevant to high-moisture extrusion processing. *Frontiers in Nutrition*, 9.
7. Ceresino, E. B., Kuktaite, R., Hedenqvist, M., Sato, H., & Johansson, E. (2020). Processing conditions and transglutaminase sources to "drive" the wheat gluten dough quality. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 65, 102439.
8. Wang, K., Sun, H., Cui, Z., Wang, J., Hou, J., Lu, F., & Liu, Y. (2024). Lactoferrin-Chitosan Composite Hydrogels Induced by Microbial Transglutaminase: Potential Delivery Systems for Thermosensitive Bioactive Substances. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.




9. Iseroglu, H., Turker, I., Koç, B., & Tokatlı, M. (2019). Optimization of microencapsulation conditions of transglutaminase by freeze drying. *Journal of food science and technology*, 56, 4925 - 4937.
10. Iseroglu, H., & Turker, I. (2020). Evaluation of Process Conditions for Ultrasonic Spray Freeze Drying of Transglutaminase. *Food Technology and Biotechnology*, 58, 38 - 48.

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