

액상 풀룰라나아제: 전분 가수분해에서 포도당 시럽·맥아당 시럽 생산을 돕는 탈분지 효소

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

액상 풀룰라나아제는 전분 가공 공정에서 아밀로펙틴의 α -1,6 가지 결합을 절단해 당화 효소가 더 쉽게 작용하도록 돕는 전분 탈분지 효소입니다. 포도당 시럽 생산에서는 글루코아밀라아제의 접근성을 높이고, 맥아당 또는 고맥아당 시럽 생산에서는 β -아밀라아제가 가지 지점에서 멈추는 한계를 줄이는 데 사용됩니다 ^[1]. Enzymes.bio는 이 제품을 전분 가수분해 및 포도당·맥아당 시럽 생산용 액상 풀룰라나아제로 공급하며, 온라인에서 1kg 단위로 직접 구매할 수 있고 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다.

제품의 산업적 위치: “당을 만드는 효소”라기보다 “가지를 여는 효소”

전분 시럽 생산에서 풀룰라나아제의 역할은 단독으로 전분을 모두 포도당이나 맥아당으로 바꾸는 것이 아닙니다. 보다 정확히는 액화된 전분 또는 덱스트린 안에 남아 있는 가지 구조를 풀어, 글루코아밀라아제· β -아밀라아제· α -아밀라아제 같은 다른 전분 분해 효소가 더 효율적으로 작용할 수 있는 기질 구조를 만드는 효소입니다. 전분 가수분해 기술을 다룬 리뷰들은 전분 원료, 액화 조건, 효소 조합, 당화 단계가 포도당 시럽 품질과 수율에 직접 영향을 준다고 정리합니다 ^[2].

액상 풀룰라나아제는 특히 포도당 시럽, 맥아당 시럽, 고맥아당 시럽처럼 목표 당 조성이 명확한 공정에서 의미가 큼니다. 포도당 시럽에서는 잔류 가지 덱스트린이 적을수록 최종 당화가 유리하고, 맥아당 시럽에서는 β -아밀라아제가 비환원 말단에서 맥아당 단위를 연속적으로 방출하기 쉬운 직선 사슬이 필요합니다. 쌀 기반 고맥아당 시럽 연구에서도 전분 원료와 효소적 전환 방식이 최종 맥아당 중심 시럽 제조의 핵심 변수로 다뤄집니다 ^[3].

Enzymes.bio의 제품은 산업 및 식품 가공용 B2B 효소 공급 제품으로 이해해야 합니다. Enzymes.bio는 제조사나 실험실이 아니라 효소 공급업체이며, 이 제품은 최종 소비자용 섭취 제품이 아닙니다. 온라인 구매 단위는 1kg이며, 제품 관련 CoA와 SDS는 주문 시 함께 제공됩니다.

왜 전분 가수분해에 탈분지 효소가 필요한가

전분은 직선 사슬만으로 이루어져 있지 않다

전분은 크게 아밀로스(amylose)와 아밀로펙틴(amylopectin)으로 구성됩니다. 아밀로스는 주로 α -1,4 글리코시드 결합으로 이어진 비교적 직선적인 포도당 중합체이고, 아밀로펙틴은 α -1,4 결합으로 이어진 사슬에 α -1,6 결합이 가지 지점을 형성하는 고분자 구조입니다. 전분 유래 제품과 아밀로리틱 효소를 다룬 고전적 리뷰에서도 이러한 구조 차이가 전분 분해 효소 선택과 산물 구성에 중요한 영향을 준다고 설명됩니다 [4].

전분을 시럽으로 전환하는 공정에서는 먼저 전분 입자를 물과 열, 효소 조건에서 팽윤·젤라틴화하거나 액화해 효소가 접근 가능한 상태로 만듭니다. 그러나 액화가 진행되어도 아밀로펙틴의 가지 결합은 그대로 남을 수 있습니다. 이때 α -1,4 결합을 자르는 효소만으로는 가지 주변에 한계 덱스트린이 축적되기 쉽고, 그 결과 포도당이나 맥아당으로의 전환이 목표 수준까지 진행되지 않을 수 있습니다 [5].

α -1,6 결합은 당화의 병목이 될 수 있다

글루코아밀라아제는 전분 사슬의 비환원 말단에서 포도당을 순차적으로 방출하는 데 강점이 있지만, 가지 지점이 많으면 접근 가능한 말단 구조와 반응 경로가 제한됩니다. β -아밀라아제 역시 말단에서 맥아당 단위를 방출하지만, α -1,6 결합이 있는 가지 근처에서는 더 이상 진행하기 어려운 구조적 한계를 갖습니다. 따라서 아밀로펙틴 비율이 높거나 잔류 가지 덱스트린이 많은 기질에서는 탈분지 단계가 당화 효율을 좌우할 수 있습니다 [1].

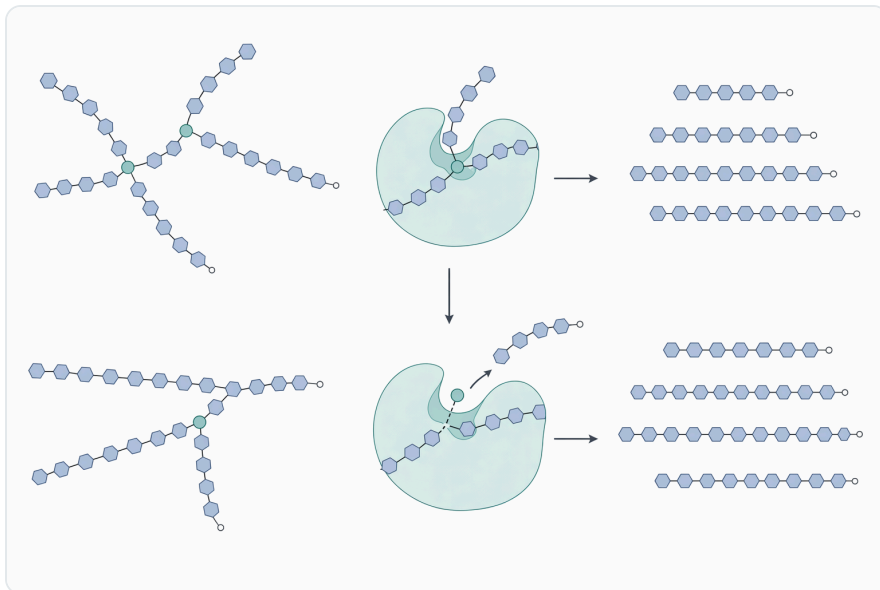


Figure 1. 풀루라나아제는 아밀로펙틴 유래 덱스트린의 α -1,6 분지 결합을 절단하여, 이후 가수분해에 더 적합한 선형 글루칸 사슬을 더 많이 생성합니다.

풀룰라나아제는 바로 이 α -1,6 가지 결합을 절단하는 효소입니다. 가지 결합이 끊어지면 길고 짧은 직선 사슬이 더 많이 드러나고, 이 사슬들은 글루코아밀라아제 또는 β -아밀라아제의 기질로 더 적합해집니다. 최근의 풀룰라나아제 연구도 전분 냉가수분해와 같은 저에너지 공정 가능성을 논의하면서, 풀룰라나아제의 핵심 기능을 전분 가지 구조의 선택적 절단으로 설명합니다 [6].

작동 기전: 풀룰라나아제가 당화 효소의 접근성을 바꾸는 방식

풀룰라나아제는 아밀로펙틴의 가지 지점을 절단한다

풀룰라나아제는 풀룰란과 아밀로펙틴 등에서 α -1,6 결합을 가수분해하는 탈분지 효소로 분류됩니다. 풀룰란은 말토트리오스 단위가 α -1,6 결합으로 연결된 다당류이며, 풀룰라나아제라는 이름도 이 기질에서 유래합니다. 전분 가공에서 중요한 것은 이 효소가 풀룰란뿐 아니라 아밀로펙틴의 가지 결합에도 작용해 가지 달린 덱스트린을 더 직선적인 덱스트린으로 바꾼다는 점입니다 [1].

이 변화는 단순히 “전분을 더 많이 분해한다”는 의미를 넘어섭니다. α -1,6 결합이 제거되면 전분 분자는 효소가 작용할 수 있는 선형 구간을 더 많이 갖게 되고, 당화 효소의 정지 지점이 줄어듭니다. 즉, 풀룰라나아제는 당화 효소가 실제로 절단할 수 있는 α -1,4 사슬을 더 많이 노출시키는 구조 조정자에 가깝습니다 [4].

포도당 시럽에서는 글루코아밀라아제의 보조 효소로 작용한다

포도당 시럽 생산에서 목표는 전분 유래 덱스트린을 가능한 한 포도당 중심의 당 조성으로 전환하는 것입니다. 액화 단계에서 α -아밀라아제가 전분 사슬 내부의 α -1,4 결합을 절단해 점도를 낮추고 덱스트린을 만들면, 당화 단계에서 글루코아밀라아제가 비환원 말단부터 포도당을 방출합니다. 그러나 가지 결합이 많으면 글루코아밀라아제가 완전히 진행하기 어려운 구조가 남습니다 [2].

풀룰라나아제를 함께 사용하면 가지 지점이 줄어들어 글루코아밀라아제가 더 긴 범위에서 작용할 수 있습니다. 이 때문에 풀룰라나아제는 포도당 시럽 생산에서 잔류 한계 덱스트린을 줄이고 목표 당화 방향으로 공정을 밀어주는 효소로 해석됩니다. 비전통 전분 원료를 포도당 시럽으로 전환하는 연구 검토에서도 효소 조합과 기질 구조의 적합성이 포도당 시럽 생산성에 중요한 요소로 정리됩니다 [7].

맥아당 시럽에서는 β -아밀라아제의 진행 한계를 줄인다

맥아당 또는 고맥아당 시럽에서는 β -아밀라아제의 역할이 중요합니다. β -아밀라아제는 전분 사슬 말단에서 맥아당 단위를 차례로 방출하지만, 아밀로펙틴의 가지 결합을 통과하지 못합니다. 따라서 가지가 많은 기질에서는 맥아당 생성이 중간에서 멈추고 가지 달린 덱스트린이 남을 수 있습니다

[8].



Figure 2. 전분당 공정에서 풀루라나아제는 일반적으로 호화와 액화 이후 단계에 투입되며, 이때 용해된 분지형 덱스트린이 탈분지와 당화에 이용될 수 있습니다.

풀룰라나아제가 α -1,6 결합을 절단하면 β -아밀라아제가 따라갈 수 있는 선형 사슬이 늘어납니다. 이 조합은 고맥아당 시럽 제조에서 실무적으로 중요한 이유가 있습니다. 맥아당 함량은 감미도, 점도, 결정화 경향, 발효성, 열처리 중 갈변 반응 등에 영향을 주기 때문에, 단순한 전분 분해율보다 목표 당 조성의 재현성이 더 중요할 수 있습니다 [3].

전분 시럽 공정에서의 사용 위치

액화 후 당화 단계에서 의미가 커진다

전형적인 전분 시럽 공정은 원료 전분의 분산, 젤라틴화 또는 액화, 당화, 정제 및 농축의 흐름으로 이해할 수 있습니다. 풀룰라나아제는 보통 전분이 이미 충분히 풀리고 덱스트린 형태가 된 이후, 당화 효소와 함께 또는 당화 전후의 적절한 지점에서 의미 있는 역할을 합니다. 전분이 입자 상태로 효소 접근성이 낮으면, 탈분지 효소가 작용할 수 있는 결합 자체가 충분히 노출되지 않기 때문입니다 [5].

액상 제형은 이러한 공정 흐름에서 균일 혼합이 쉽다는 실무적 장점이 있습니다. 고형 효소 제형과 비교해 투입과 분산이 단순하고, 액화액 또는 당화액 안에서 효소가 빠르게 퍼질 수 있습니다. 다만 실제 효과는 원료 전분, 액화 정도, 고형분 함량, 온도, pH, 반응 시간, 병용 효소 구성에 따라 달라지므로, 풀룰라나아제를 “단독 해결책”이 아니라 “당화 시스템의 탈분지 구성 요소”로 보는 것이 적절합니다 [2].

원료 전분이 달라지면 풀룰라나아제의 기여도도 달라진다

옥수수, 밀, 쌀, 카사바, 고구마, 감자, 콩류, 폐빵 유래 전분은 모두 같은 "전분"이라는 이름을 갖지만, 입자 구조와 아밀로스·아밀로펙틴 비율, 비전분 성분, 열처리 이력, 손상 전분 비율이 다릅니다. 밀 전분 포도당 시럽 연구는 원료 특성과 효소 가수분해 조건이 당 생성에 직접 영향을 준다는 점을 보여주며, 전분 원료가 바뀌면 같은 효소 조합도 다른 결과를 낼 수 있음을 시사합니다 [5].

최근에는 비전통 전분 원료나 부산물 기반 원료를 포도당 시럽으로 전환하려는 연구도 늘고 있습니다. 예를 들어 폐빵 또는 유통기한 경과 빵은 이미 열처리와 전분 젤라틴화 이력이 있는 원료로, 효소 전처리와 가수분해를 통해 포도당 시럽 기질로 검토되고 있습니다 [9]. 이러한 원료에서는 전분뿐 아니라 단백질, 지질, 식이섬유, 당류가 함께 존재하므로 풀룰라나아제의 효과도 전체 효소 시스템 안에서 평가되어야 합니다.

고구마 전분 시럽 생산 연구에서는 효소 공정의 확대와 최적화가 다루어지며, 원료 고형분과 효소 반응 조건이 시럽 특성에 영향을 줄 수 있음을 보여줍니다 [10]. 이는 풀룰라나아제 사용에도 같은 원칙이 적용된다는 뜻입니다. 가지 결합을 절단하는 생화학적 기능은 명확하지만, 그 기능이 최종 당 조성으로 얼마나 반영되는지는 원료와 공정 환경에 의해 결정됩니다.

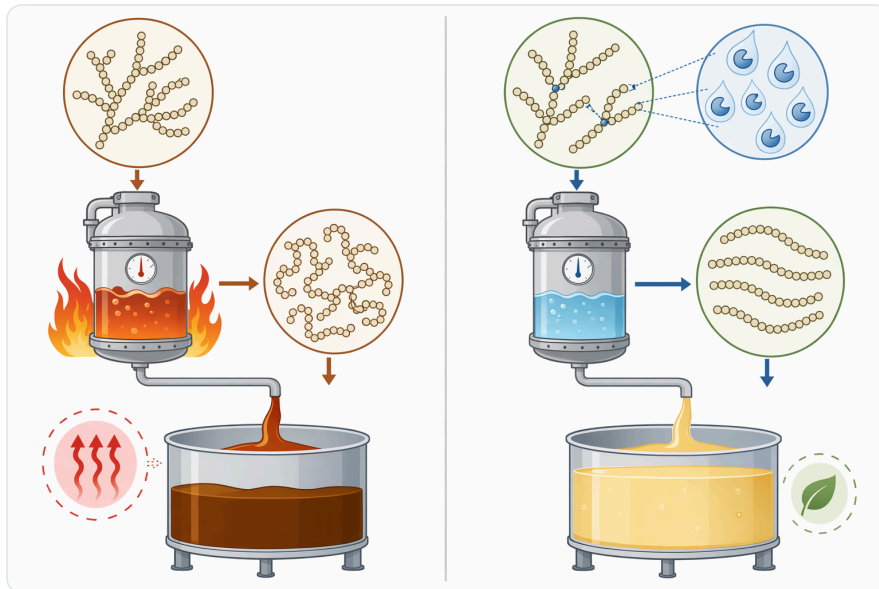


Figure 3. α -아밀라아제, 풀룰라나아제, 글루코아밀라아제, 말토오스 생성 효소는 전분의 서로 다른 구조적 특징에 작용하므로 당 시럽 생산에서 상호 보완적인 역할을 합니다.

효소별 역할 비교: α -아밀라아제, 글루코아밀라아제, β -아밀라아제, 풀룰라나아제

전분 시럽 공정에서 한 가지 효소만으로 목표 당 조성을 만들기는 어렵습니다. 각 효소는 절단 위치와 반응 산물이 다르기 때문에, 원하는 시럽 유형에 따라 조합이 달라집니다. 아래 표는 포도당 시럽과 맥아당 시럽 생산에서 주요 효소가 어떤 역할을 하는지 비교한 것입니다 [4].

효소	주된 작용 위치	공정상 주요 역할	포도당 시럽과의 관련성	맥아당 시럽과의 관련성
α -아밀라아제	전분 사슬 내부의 α -1,4 결합	액화, 점도 저감, 덱스트린 생성	글루코아밀라아제가 작용할 덱스트린을 만든다	β -아밀라아제가 작용할 사슬을 준비한다
글루코아밀라아제	비환원 말단의 α -1,4 결합 중심	포도당 방출, 당화 진행	포도당 중심 시럽의 핵심 효소	과도한 사용 시 맥아당보다 포도당 비율을 높일 수 있다
β -아밀라아제	비환원 말단에서 맥아당 단위 방출	맥아당 생성	포도당 시럽보다는 제한적 역할	맥아당·고맥아당 시럽의 핵심 효소
풀룰라나아제	아밀로펙틴·가지 덱스트린의 α -1,6 결합	탈분지, 당화 효소 접근성 향상	글루코아밀라아제의 포도당 생성 경로를 보조	β -아밀라아제의 맥아당 생성 경로를 보조

이 표에서 보듯 풀룰라나아제는 최종 당을 대량으로 직접 방출하는 효소라기보다, 다른 효소가 멈추는 구조적 장애물을 제거하는 효소입니다. 이러한 이유로 포도당 시럽 공정에서는 글루코아밀라아제와, 맥아당 시럽 공정에서는 β -아밀라아제와 조합될 때 의미가 커집니다. 풀룰라나아제 연구에서도 아밀로펙틴 전분에 대한 작용은 단순한 분해율보다 가지 구조 변화와 후속 효소 작용성의 관점에서 해석됩니다 [1].

포도당 시럽 생산에서 기대되는 기술적 효과

포도당 시럽 생산은 전분 유래 고분자를 가능한 한 포도당 중심의 저분자 당으로 전환하는 공정입니다. 산 가수분해도 역사적으로 사용되어 왔지만, 효소 공정은 결합 선택성과 공정 제어 측면에서 중요한 장점을 갖습니다. 효소적 전분 가수분해와 산 가수분해를 비교한 체계적 검토에서도 원료와 조건에 따라 생성 당 조성 및 품질 차이가 발생할 수 있음을 다룹니다 [2].

풀룰라나아제는 포도당 시럽 공정에서 글루코아밀라아제가 접근하기 어려운 가지 덱스트린을 줄이는 역할을 합니다. 가지 결합이 끊어지면 글루코아밀라아제가 더 많은 비환원 말단에서 포도당을 방출할 수 있고, 최종 시럽에서 잔류 고분자 덱스트린이 낮아지는 방향으로 공정이 진행될 수 있습니다.

다. 이 원리는 밀 전분, 카사바 전분, 기타 전분질 원료의 효소적 포도당 시럽 생산 연구와도 일관됩니다 [7].

다만 “풀룰라나아제를 넣으면 항상 같은 포도당 조성에 도달한다”는 식의 해석은 적절하지 않습니다. 기질이 충분히 액화되지 않았거나, pH와 온도가 병용 효소에 맞지 않거나, 원료에 효소 저해 성분이 존재하면 탈분지 효소의 기여가 제한될 수 있습니다. 전분질 원료가 아닌 리그노셀룰로오스 바이오매스 분야에서도 효소 가수분해 저해 요인은 반응성에 큰 영향을 주는 것으로 정리되어 있어, 원료 매트릭스와 효소 접근성은 항상 함께 고려되어야 합니다 [11].

맥아당 및 고맥아당 시럽 생산에서의 역할

맥아당 시럽은 포도당 시럽과 다른 기능을 갖습니다. 맥아당은 포도당보다 감미도가 낮고, 점도와 수분활성, 발효성, 열처리 중 반응성에서 다른 특성을 보입니다. 쌀겨 또는 쌀 전분을 활용한 고맥아당 시럽 연구들은 효소적 방법이 맥아당 중심 당 조성을 형성하는 데 사용될 수 있음을 보여줍니다 [3].

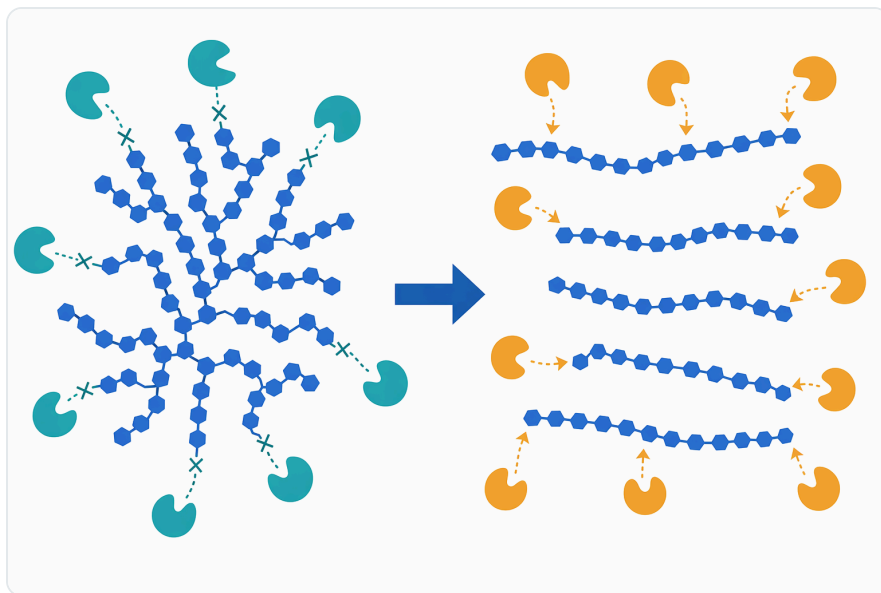


Figure 4. 탈분지는 분지 장벽을 제거하고 접근 가능한 선형 사슬 영역을 늘림으로써 덱스트린 풀의 구조적 형태를 변화시킵니다.

β -아밀라아제는 맥아당 생성의 중심 효소이지만, 아밀로펙틴의 α -1,6 가지 결합 앞에서 진행이 제한됩니다. 이때 풀룰라나아제를 함께 사용하면 가지 구조가 제거되어 β -아밀라아제가 더 많은 선형 구간에서 맥아당을 방출할 수 있습니다. 즉, 풀룰라나아제는 맥아당을 직접 주산물로 만드는 효소라기보다, 맥아당 생성 효소가 작동할 수 있는 구조를 확보하는 효소입니다 [4].

고맥아당 시럽에서 중요한 것은 단순한 총 당량이 아니라 맥아당과 말토올리고당의 균형입니다. 지나친 당화는 포도당 비율을 높일 수 있고, 불충분한 탈분지는 가지 덱스트린을 남길 수 있습니다. 따라서 풀룰라나아제는 β -아밀라아제와의 조합에서 목표 당 조성을 맞추는 조절 수단으로 쓰이며, 쌀 기반 고맥아당 시럽 연구에서도 효소 조합과 원료 특성이 최종 시럽 품질을 좌우하는 요소로 다뤄집니다 [8].

비전통 원료와 부산물 전분에서의 가능성

최근 전분 시럽 연구는 옥수수나 밀 같은 전통 원료뿐 아니라 비전통 전분질 자원으로 확대되고 있습니다. 타카 괴경 전분, 고구마 전분, 페카사바 전분, 폐빵과 같은 원료는 지역성, 비용, 부산물 활용성 측면에서 관심을 받습니다. 이러한 원료를 포도당 시럽으로 전환하려면 전분 구조뿐 아니라 원료 전처리, 젤라틴화 이력, 비전분 성분 제거 또는 관리가 함께 고려되어야 합니다 [12].

폐빵 원료의 경우 이미 베이킹 과정에서 전분이 열처리되었고, 단백질·지질·당류·염류가 함께 존재합니다. 효소 전처리 연구들은 이러한 복합 원료에서도 포도당 시럽 생산 가능성을 탐색하고 있으며, 전분 접근성과 효소 조합이 중요한 변수로 다뤄집니다 [13]. 풀룰라나아제는 이런 원료에서도 아밀로펙틴 가지 구조를 줄이는 역할을 할 수 있지만, 실제 효과는 원료 매트릭스 전체의 효소 접근성에 달려 있습니다.

카사바, 고구마, 타카 괴경처럼 전분 함량이 높은 비전통 원료에서는 액화와 당화의 균형이 더욱 중요합니다. 예를 들어 페카사바 전분의 효소적 포도당 시럽 생산 연구는 전분성 부산물을 고부가당류로 전환하려는 흐름을 보여줍니다 [14]. 이러한 공정에서 풀룰라나아제는 α -아밀라아제와 글루코아밀라아제만으로 남을 수 있는 가지 덱스트린을 줄이는 보조 효소로 검토될 수 있습니다.

액상 제형이 공정 운전에 주는 의미

액상 풀룰라나아제의 실무적 장점은 혼합과 투입이 단순하다는 데 있습니다. 전분 액화액이나 당화액은 점도와 고형분 함량이 높을 수 있으므로, 효소가 빠르게 분산되는 것은 반응 균일성 측면에서 중요합니다. 액상 효소는 자동 투입 설비나 기존 액상 원료 라인과도 맞추기 쉬워, 연속 또는 배치 공정에서 운전 편의성을 높일 수 있습니다 [2].

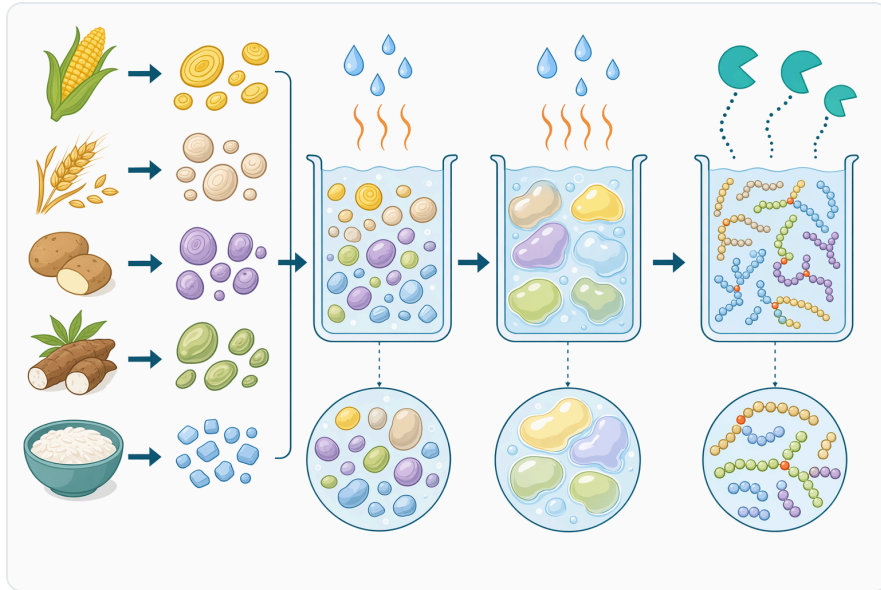


Figure 5. 식물 유래 전분의 구조와 전처리 방식은 α -1,6 분지 결합이 풀루라나아제에 얼마나 잘 접근 가능한지에 영향을 줍니다.

그러나 액상이라는 형태 자체가 모든 공정 성능을 보장하지는 않습니다. 효소가 작용하려면 기질의 결합이 노출되어야 하고, 병용 효소의 작용 범위와 공정 조건이 서로 충돌하지 않아야 합니다. 예를 들어 α -아밀라아제 중심의 액화 조건과 글루코아밀라아제· β -아밀라아제·풀룰라나아제 중심의 당화 조건은 목적이 다르기 때문에, 공정 설계에서는 각 단계의 기능을 분리해서 이해해야 합니다 [5].

또한 액상 효소는 보관과 취급에서 온도, 오염 방지, 균일 혼합 같은 기본 관리가 중요합니다. 이 문서는 특정 활성 수치, 분석법, 단위 정의, 등급을 제시하지 않으며, Enzymes.bio 역시 제조사나 실험실이 아니라 공급업체입니다. 제품 관련 CoA와 SDS는 주문 시 함께 제공되며, 온라인에서 1kg 단위로 직접 구매할 수 있는 공급 형태입니다.

공정 변수는 “투입량”보다 구조와 목표 당 조성으로 이해해야 한다

풀룰라나아제 적용을 검토할 때 가장 먼저 볼 것은 투입량 자체가 아니라 현재 공정에서 무엇이 병목인지입니다. 포도당 시럽에서 잔류 덱스트린이 많은지, 맥아당 시럽에서 β -아밀라아제 한계 덱스트린이 남는지, 원료 전분의 액화가 충분한지, 목표 당 조성이 포도당 중심인지 맥아당 중심인지에 따라 풀룰라나아제의 역할이 달라집니다. 효소적 전분 가수분해 연구들은 공정 조건과 원료 특성이 당 조성에 복합적으로 영향을 준다는 점을 반복적으로 보여줍니다 [7].

온도와 pH도 단일 효소만 보고 결정할 수 없습니다. 풀룰라나아제가 안정적으로 작용하는 조건이 있더라도, 함께 사용하는 글루코아밀라아제나 β -아밀라아제의 작용 범위와 맞지 않으면 전체 당화 효율이 떨어질 수 있습니다. 따라서 실제 공정에서는 “풀룰라나아제만 가장 잘 작동하는 조건”보다 “효소 조합 전체가 목표 당 조성에 도달하는 조건”이 더 중요합니다 [4].

고형분 함량과 점도 역시 중요한 변수입니다. 고형분이 높으면 생산성은 좋아질 수 있지만 혼합, 열 전달, 효소 확산, 기질 접근성이 제한될 수 있습니다. 반대로 지나치게 낮은 고형분에서는 반응은 쉬워도 농축 부담이 커질 수 있습니다. 고구마 전분 시럽 생산의 스케일업 연구처럼, 효소 공정에서는 반응성과 공정 경제성이 동시에 고려됩니다 [10].

품질 관점: 최종 시럽에서 무엇이 달라질 수 있는가

풀룰라나아제를 사용하는 주된 품질 목적은 잔류 가지 덱스트린을 줄이고 목표 당 조성에 더 가깝게 접근하는 것입니다. 포도당 시럽에서는 포도당 비율과 덱스트린 잔류량이 중요하고, 맥아당 시럽에서는 맥아당과 말토올리고당의 균형이 중요합니다. 전분 유래 제품을 다룬 리뷰는 전분 분해 효소의 작용 방식이 생성물 조성에 직접 연결된다고 설명합니다 [4].

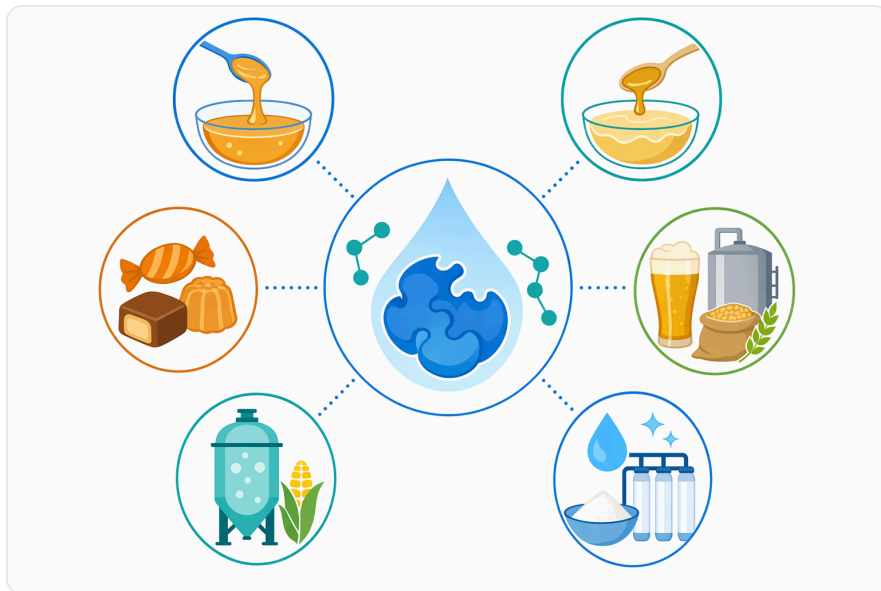


Figure 6. 동일한 풀룰라나아제의 탈분지 작용도 함께 사용하는 효소 시스템에 따라 포도당 시럽, 말토오스 시럽 또는 발효성 당류 생산에 활용될 수 있습니다.

시럽의 기능성도 당 조성에 따라 달라집니다. 포도당 중심 시럽은 발효 기질, 감미 소재, 식품 원료로 사용될 때 빠른 이용성과 높은 발효성을 제공할 수 있습니다. 맥아당 중심 시럽은 감미도, 점도, 수분 유지, 열처리 안정성, 특정 제과-제빵 적용에서 다른 물성을 줄 수 있습니다. 쌀 기반 고맥아당 시럽 연구들은 이러한 응용을 위해 효소적 전환이 사용될 수 있음을 보여줍니다 [3].

풀룰라나아제는 최종 시럽의 색, 향, 미네랄, 단백질 잔류 같은 모든 품질 요소를 직접 제어하지는 않습니다. 이러한 요소는 원료 정제, 여과, 탈색, 이온 교환, 농축 조건 등 후단 공정과도 관련됩니다. 따라서 풀룰라나아제의 기여는 주로 탄수화물 구조와 당 조성에 집중해 평가하는 것이 정확합니다 [2].

적용 한계와 주의할 해석

풀룰라나아제는 과학적 기전이 명확한 효소이지만, 모든 전분 공정에서 동일한 효과를 보장하는 만능 효소는 아닙니다. 원료가 충분히 액화되지 않았거나, 전분이 단백질·지질·섬유질 매트릭스 안에 갇혀 있거나, 효소 저해 성분이 존재하면 탈분지 반응이 예상보다 제한될 수 있습니다. 효소 가수분해 분야에서는 기질 접근성과 저해 요인이 반응 성능을 크게 좌우한다는 점이 널리 논의됩니다 [11].

또한 풀룰라나아제의 과도한 사용이 항상 더 좋은 시럽을 의미하지는 않습니다. 포도당 시럽에서는 지나친 당화가 목표와 맞을 수 있지만, 맥아당 시럽에서는 포도당 증가나 당 조성 변화가 바람직하지 않을 수 있습니다. 반대로 탈분지가 부족하면 가지 덱스트린이 남아 목표 맥아당 조성에 도달하기 어렵습니다. 따라서 풀룰라나아제는 “많을수록 좋은 효소”가 아니라 목표 당 조성에 맞춰 조합되는 효소입니다 [8].

일부 연구는 초음파 보조, 냉가수분해, 비전통 원료 전처리와 같은 공정 강화 접근을 다룹니다. 예를 들어 초음파가 전분 효소 가수분해에 미치는 영향은 기질 구조와 효소 반응 환경을 바꾸는 방식으로 설명됩니다 [15]. 이러한 연구는 전분 가수분해의 확장 가능성을 보여주지만, 특정 공정에 그대로 적용하려면 원료와 설비 조건이 함께 검토되어야 합니다.

Enzymes.bio 공급 제품으로서의 정리

Enzymes.bio의 액상 풀룰라나아제는 전분 가수분해에서 포도당 시럽 및 맥아당 시럽 생산을 지원하는 탈분지 효소 공급 제품입니다. 이 제품은 아밀로펙틴과 가지 덱스트린의 α -1,6 결합을 절단해 당화 효소의 접근성을 높이는 용도로 이해하는 것이 가장 정확합니다. Enzymes.bio는 효소 제조사나 분석 실험실이 아니라 공급업체이며, 제품은 온라인에서 1kg 단위로 직접 구매할 수 있습니다 .

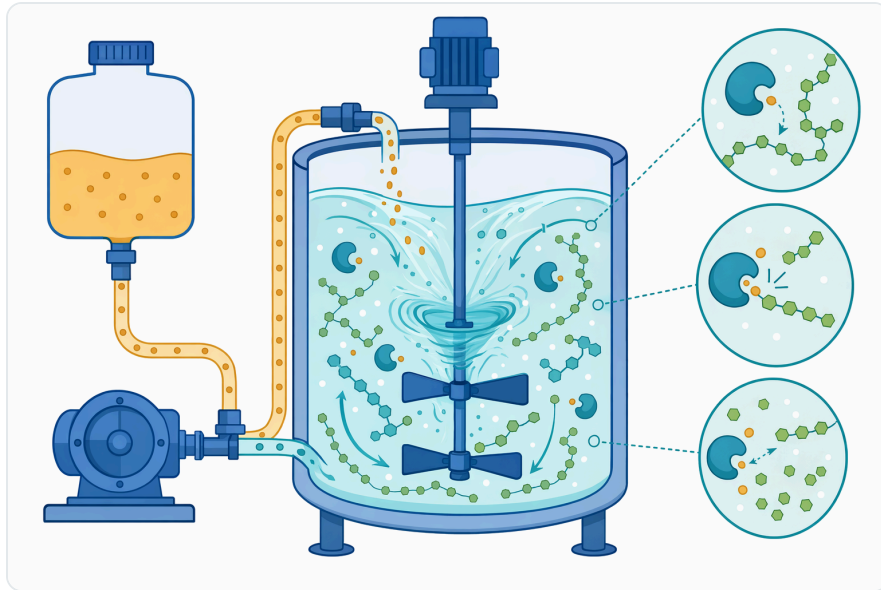


Figure 7. 액상 형태의 풀룰라나아제는 수성 전분 가수분해 공정 흐름에 정량 주입하고 균일하게 분산시키는 데 적합합니다.

이 제품을 검토할 때 핵심은 “어떤 시럽을 만들 것인가”입니다. 포도당 시럽이면 글루코아밀라아제와의 조합에서 잔류 가지 덱스트린 감소와 포도당 전환 보조가 중요하고, 맥아당 또는 고맥아당 시럽이면 β-아밀라아제의 작용 구간을 늘리는 탈분지 기능이 중요합니다. 두 경우 모두 풀룰라나아제는 목표 당 조성을 만드는 효소 시스템의 구조적 보조 효소입니다 [1].

제품 관련 CoA와 SDS는 주문 시 함께 제공됩니다. 이 문서는 특정 활성 단위, 등급, 분석법, 활성 정의를 제시하지 않으며, 특정 공정 성능을 보증하는 제조사 문서도 아닙니다. 대신 문헌에 근거해 액상 풀룰라나아제가 전분 가수분해 및 포도당·맥아당 시럽 생산에서 어떤 역할을 하는지 설명하는 기술 자료로 활용할 수 있습니다 [2].

결론: 풀룰라나아제의 가치는 “가지 결합 제거”에서 나온다

액상 풀룰라나아제는 전분 시럽 생산에서 아밀로펙틴의 α-1,6 가지 결합을 절단해 당화 효소가 더 효과적으로 작용하도록 만드는 탈분지 효소입니다. 포도당 시럽 공정에서는 글루코아밀라아제가 포도당을 더 원활히 방출하도록 돕고, 맥아당 또는 고맥아당 시럽 공정에서는 β-아밀라아제가 가지 구조에 막히는 한계를 줄이는 데 기여합니다 [4].

전분 원료와 공정 조건이 달라지면 풀룰라나아제의 체감 효과도 달라집니다. 옥수수, 밀, 쌀, 카사바, 고구마, 폐빵 같은 원료는 구조와 전처리 이력이 다르며, 액화 정도와 병용 효소 조합이 최종 당 조성에 큰 영향을 줍니다 [7]. 따라서 풀룰라나아제는 단독 효소가 아니라 전분 액화·당화 시스템 안에서 목표 당 조성을 맞추는 탈분지 구성 요소로 이해해야 합니다.

Enzymes.bio는 이 액상 풀룰라나아제를 전분 가수분해 및 포도당·맥아당 시럽 생산용 B2B 효소로 공급합니다. 제품은 온라인에서 1kg 단위로 직접 구매할 수 있으며, 주문 시 CoA와 SDS가 함께 제공됩니다 .

Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Production 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.

[Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Production 구매하기 →](#)

참고문헌

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

1. Papakhin, A. A., & Borodina, Z. (2022). Use of pullulanase as a biocatalyst for starch hydrolysis: Part 1. Study of the effect of pullulanase on maize amylopectin starch. *Food systems*.
2. Musdalifa, M., Laga, A., & Rahman, A. N. (2024). Glucose syrup production through enzymatic methods and acid hydrolysis using different starch sources: a systematic review. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 18, 8976 - 8992.
3. Diopol, G., Elegado, F., Castillo-Israel, K. A., Torio, M., & Uy, L. Y. (2023). Production of High-maltose Syrup from Selected Rice (*Oryza sativa* L.) Bran by Enzymatic Method. *The Philippine journal of science*.
4. Guzmán-Maldonado, H., Paredes-López, O., & Biliaderis, C. (1995). Amylolytic enzymes and products derived from starch: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 35 5, 373-403 .
5. Pavas, J. C. A., Blandón, L. A., & Colorado, Á. A. R. (2020). Enzymatic hydrolysis of wheat starch for glucose syrup production. *DYNA*.
6. Wang, X., Wang, Z., Zhang, X., Zhang, Y., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, X., ... et al. (2024). Bioinformatics-assisted mining and design of novel pullulanase suitable for starch cold hydrolysis. *Journal of Biotechnology*.
7. Borges, L. A., Ramos, K., Felisberto, M. H. F., & Efraim, P. (2025). Towards enzymatic conversion of non-conventional starchy materials for glucose syrup production: A review. *Food Research International*, 218, 116907 .
8. Shaw, J., & Sheu, J. (1992). Production of High-maltose Syrup and High-protein Flour from Rice by an Enzymatic Method. *Bioscience, biotechnology and biochemistry*, 56 7, 1071-3 .

9. Abidin, Z. Z., & Hassan, S. R. (2024). Enzymatic Pretreatment of Waste Bread for Glucose Syrup Production. *Science letters*.
10. Rezvanian, K., Gichuhi, P., & Bovell-Benjamin, A. (2025). Response Surface Methodological Approach for Scaling Up an Enzymatic Production of Sweet Potato Starch Syrup. *Journal of food processing and preservation*.
11. Agrawal, R., Verma, A., Singhania, R., Varjani, S., Dong, C. D., & Patel, A. K. (2021). Current understanding of the inhibition factors and their mechanism of action for the lignocellulosic biomass hydrolysis. *Bioresource Technology*, 332, 125042 .
12. Kareem, S., Makinde, M. T., Adeleye, T., Adebowale, A., Ibrahim, H., & Alabi, F. (2022). Tacca Tuber Starch —A Potential Substrate for Enzymatic Production of Glucose Syrup. *Starke (Weinheim)*.
13. Abidin, Z. Z., & Hassan, S. R. (2025). Glucose syrup production from enzymatic hydrolysis pre-treatment of expired bread. *AIP Conference Proceedings*.
14. Aderibigbe, F. A., Babatunde, E. O., Ochapa, S. O., & Saka, H. (2024). Green Synthesis for the Production of Glucose Syrup from Waste Cassava Starch Using Alpha-Amylase. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*.
15. Wang, D., Hou, F., Ma, X., Chen, W., Yan, L., Ding, T., Ye, X., ... et al. (2020). Study on the mechanism of ultrasound-accelerated enzymatic hydrolysis of starch: Analysis of ultrasound effect on different objects. *International Journal of Biological Macromolecules*.


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