إنزيم Cutinase Hydrolase لصناعة اللب والورق: التحكم في الـStickies وإزالة الأحبار في الألياف المعاد تدويرها

فريق الأبحاث في Enzymes.bio · ويلينغتون، نيوزيلندا · June 21, 2026

إنزيم **Cutinase Hydrolase** في صناعة اللب والورق هو هيدرولاز يستهدف الروابط الإسترية في مواد كارهة للماء مثل بقايا اللواصق، الشموع، بعض البوليسترات، والكيوتين، لذلك يرتبط تطبيقه العملي بالتحكم في الـ**stickies** ودعم إزالة الأحبار في الورق المعاد تدويره. الأدبيات المنشورة تتضمن دراسات مباشرة على الكيوتينازات في إزالة أحبار ورق الصحف القديم، وعلى كيوتيناز من *Myceliophthora thermophila* في تحلل البوليستر وإزالة الأحبار، إضافةً إلى إنزيمات هجينة ليباز–كيوتيناز لإزالة أحبار الورق المستعمل [1] [2].

ما المقصود بـCutinase Hydrolase في تطبيقات اللب والورق؟

الكيوتيناز هو إنزيم هيدرولازي ضمن عائلة أوسع من الإستيرازات؛ أي إن وظيفته التحفيزية الأساسية هي تسريع كسر روابط الإستر بوجود الماء. هذه الخاصية مهمة في صناعة الورق لأن كثيرًا من الملوثات الحديثة في الورق المسترجع ليست سليلوزًا أو لجنينًا فقط، بل خليط من لواصق حساسة للإسترة، مشتقات أكريلية، بولي فينيل أسيتات، طبقات طلاء، شحوم، شموع، وأجزاء كارهة للماء من أحبار ومواد تغليف [3].

في السياق الصناعي، لا يُفهم Cutinase Hydrolase كإنزيم "يهضم الورق"، بل كأداة انتقائية تعمل على مكوّنات سطحية أو لزجة أو بوليمرية ذات روابط قابلة للتحلل المائي. هذا الفارق مهم: الهدف ليس إضعاف الألياف السليلوزية، بل تقليل قدرة الملوثات العضوية على الالتصاق، التكتل، تكوين ترسبات على الأسلاك واللبادات، أو البقاء مرتبطة بسطح الألياف أثناء عمليات فصل الحبر والغسل والتعويم [2].

تُباع صيغة **Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry** عبر Enzymes.bio للاستخدام الصناعي في قطاع اللب والورق، مع توفر الشراء المباشر عبر الإنترنت بوحدة **1 kg**. Enzymes.bio مورّد للمنتج وليست جهة تصنيع أو مختبر تطوير، وتُرفق مع الطلب وثائق **CoA** و**SDS** لدعم التعرّف على مواصفات الدفعة وإرشادات السلامة المناسبة للاستخدام الصناعي.

لماذا تحتاج مصانع الورق إلى إنزيم يستهدف الملوثات الإسترية؟

ألياف الورق المعاد تدويرها تحمل تاريخًا كيميائيًا معقدًا. فالصحف، الورق المكتبي المختلط، العبوات، الملصقات، الأشرطة اللاصقة، ومواد التغليف المطليّة تضيف إلى العجينة مواد لا تتصرف مثل الألياف: بعضها لين ولزج، بعضها كاره للماء، وبعضها يتجمع عند القصّ والحرارة والاحتكاك، ثم يترسب على أسطح الماكينة أو يظهر كبقع

وعيوب في الورق النهائي [4].

مصطلح **stickies** يشير إلى هذه الملوثات اللزجة أو شبه اللزجة التي قد تنشأ من لواصق الضغط، مواد الربط في الأحبار، طبقات الطلاء، ومضافات التغليف. عند إعادة تدوير الورق، قد تتحول هذه المواد من جسيمات كبيرة يمكن فرزها إلى جسيمات دقيقة أو غروية أصعب في السيطرة، فتنتقل مع الماء الأبيض وتترسب في نقاط مختلفة من النظام [5].

يُعد الكيوتيناز مناسبًا نظريًا وعمليًا لهذا النوع من المشكلات عندما تكون الروابط الإسترية جزءًا من بنية الملوث. فالدراسات الحديثة على كيوتيناز *Humicola insolens* أظهرت اهتمامًا خاصًا بتحسين نشاطه تجاه **البولي أكريلات** و**بولي فينيل أسيتات**، وهما اسمان مهمان صناعيًا لأن مشتقات الأكريلات والأسيتات ترتبط كثيرًا بمواد لاصقة وطبقات طلاء وبوليمرات منتشرة في تيارات الورق المسترجع [6].

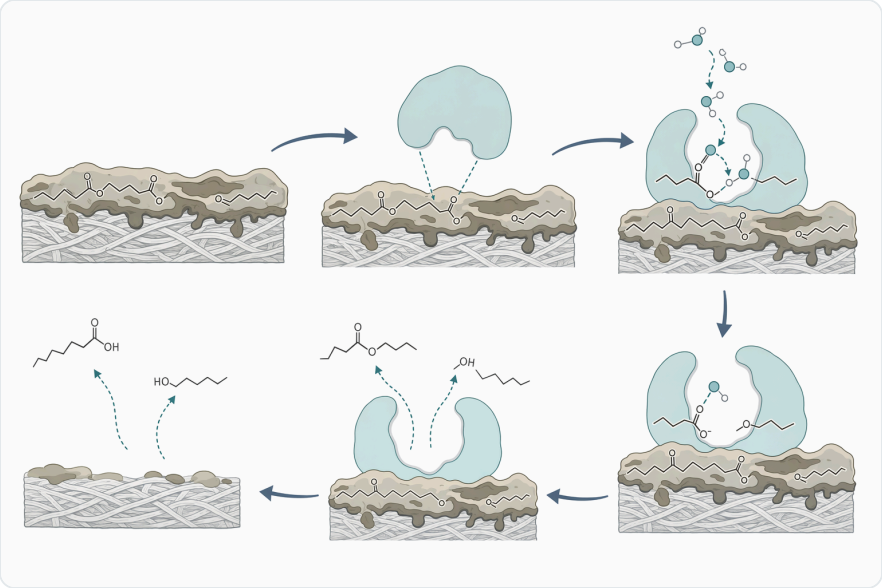

Figure 1. 큐티나아제는 물을 이용해 접근 가능한 에스터 결합을 가수분해하여, 소수성의 에스터가 풍부한 잔류물을 산과 알코올기를 지닌 더 극성인 조각으로 전환한다.

الآلية الجزيئية: ماذا يفعل الكيوتيناز داخل عجينة الورق؟

يعتمد عمل الكيوتيناز على التعرف على جزء من الركيزة الإسترية ثم تحفيز كسر رابطة الإستر بالماء. في الإستيرازات عمومًا، تقوم البنية النشطة للإنزيم بتثبيت الركيزة في وضع يسمح بنقل الشحنة وتكوين وسيط تفاعلي قصير العمر، ثم يتحرر ناتج كحولي وآخر حمضي أو كربوكسيلي بحسب طبيعة المادة الأصلية [3].

في اللب والورق، لا يحدث هذا التفاعل داخل محلول نقي؛ بل في وسط غير متجانس يحتوي على ألياف، حشوات معدنية، أحبار، مواد لاصقة، رغوة، أملاح، ومضافات تشغيلية. لذلك تعتمد الفعالية العملية على قدرة الإنزيم على الوصول إلى سطح الملوث، وليس فقط على قابليته التحفيزية في حد ذاتها. إذا كانت المادة اللاصقة مدفونة

داخل كتلة كبيرة أو محمية بطبقة غير قابلة للنفاذ، يكون تأثير الإنزيم محدودًا مقارنةً بحالة الجسيمات الدقيقة أو الأسطح المكشوفة [1].

عند حدوث التحلل المائي، قد لا "تختفي" المادة اللاصقة تمامًا، لكنها تتغير كيميائيًا وسلوكيًا. فقد تنخفض مرونتها أو لزوجتها، تتغير قابلية البلل، تقل قدرتها على الالتصاق بالألياف أو المعدّات، أو تصبح أكثر قابلية للفصل ضمن مراحل الغربلة، الغسل، التعويم، أو التحكم الكيميائي في النظام. هذا هو جوهر استخدام الكيوتيناز في التحكم في الـstickies: تعديل الملوثات بحيث تصبح أقل ضررًا تشغيليًا، لا تحويل خط إعادة التدوير إلى مفاعل تحلل كامل [2].

علاقة الكيوتيناز بإزالة الأحبار Deinking

إزالة الأحبار من الورق المستعمل عملية متعددة العوامل: يجب فصل الحبر عن سطح الليف، إبقاؤه في صورة قابلة للإزالة، ثم منعه من إعادة الترسب. الإنزيمات تساعد في هذه العملية بطرق مختلفة؛ فالسليولازات والهيميسليولازات تعدّل سطح الألياف، والليبازات والإستيرازات قد تؤثر في مواد ربط الحبر والزيوت والمواد الكارهة للماء، بينما يمكن للكيوتيناز أن يستهدف روابط إسترية في بعض مكوّنات الحبر أو الطلاء أو اللاصق [7].

يوجد دليل مباشر على اهتمام الباحثين بالكيوتينازات في إزالة الأحبار، بما في ذلك مقارنة كيوتينازات مختلفة في إزالة أحبار ورق الصحف القديم. هذا النوع من الدراسات مهم لأنه ينقل الكيوتيناز من كونه إنزيمًا معروفًا في تحلل الكيوتين النباتي أو البوليسترات إلى تطبيق أكثر قربًا من مصنع الورق: تفكيك أو تعديل المكونات التي تعيق فصل الحبر عن الألياف [1].

كما جرى توصيف كيوتيناز من *Myceliophthora thermophila* وتطبيقه في تحلل البوليستر وعملية إزالة الأحبار، وهو ربط صناعي بالغ الأهمية؛ لأن كثيرًا من ملوثات الورق المعاصر تجمع بين طبيعة بوليمرية وطبيعة كارهة للماء. عندما يستطيع الإنزيم التعامل مع بوليسترات أو مكونات شبيهة، تصبح الفكرة أكثر ملاءمة لخطوط إعادة تدوير تحتوي على أوراق مطلية أو مواد تغليف أو أحبار أكثر تعقيدًا [2].

Figure 2. 큐티나아제는 피치, 왁스, 스티키, 코팅 물질 또는 식물 표면 잔류물 .에 접근 가능한 가수분해성 에스터 결합이 포함되어 있을 때 가장 적합하다

توجد كذلك دراسة عن تصميم إنزيم هجين **Lipase-cutinase** لإزالة أحبار الورق المستعمل بكفاءة. مغزى هذا الاتجاه أن إزالة الأحبار ليست دائمًا وظيفة إنزيم واحد؛ فقد يكون الجمع بين خصائص الليباز والكيوتيناز مفيدًا عندما تحتوي الملوثات على دهون وروابط إسترية وبوليمرات سطحية في الوقت نفسه [8].

مقارنة وظيفية بين Cutinase وإنزيمات اللب والورق الأخرى

لا ينبغي تسويق Cutinase Hydrolase كبديل شامل للسليولاز أو الزيلاناز أو الليباز. لكل إنزيم ركيزة مفضلة وتأثير تشغيلي مختلف، واختيار الإنزيم يعتمد على نوع المشكلة: تصريف، قوة، تبييض، إزالة أحبار، أو تحكم في رواسب لزجة. الجدول التالي يوضح موقع الكيوتيناز ضمن منظومة إنزيمات الورق.

فئة الإنزيم	الركائز أو الأهداف الأقرب	الدور الشائع في اللب والورق	علاقته بالـstickies وإزالة الأحبار
Cutinase Hydrolase	روابط إسترية في الكيوتين، الشموع، بعض البوليسترات، ملوثات كارهة للماء	التحكم في ملوثات إسترية، دعم إزالة الأحبار، تقليل قابلية الترسب	مهم عندما تكون اللواصق أو الطلاءات أو بقايا الحبر ذات طبيعة إسترية أو بوليمرية [2]
Lipase	دهون، زيوت، ثلاثيات غليسريد، مكونات pitch دهنية	التحكم في الترسبات الدهنية وبعض مواد الحبر	مفيد عندما يكون الملوث دهنيًا أكثر من كونه بوليمرًا إستريًا صلبًا [8]
Cellulase	السليلوز وسطح الألياف	تعديل الألياف، تحسين التصريف، دعم إزالة الأحبار	يساعد في تحرير الحبر من سطح الليف، لكن الإفراط في التأثير على الألياف غير مرغوب [9]

فئة الإنزيم	الركائز أو الأهداف الأقرب	الدور الشائع في اللب والورق	علاقته بالـstickies وإزالة الأحبار
Xylanase	الزيلان والهيميسليلوز	دعم التبييض الحيوي وتقليل عبء بعض كيميائيات التبييض	تأثيره على stickies غير مباشر، ويرتبط أكثر بفتح البنية اللجنوسليلوزية [10]
Laccase / إنزيمات أكسدة	مركبات فينولية ولجنين	تعديل اللجنين ومعالجة بعض الملوثات اللونية	قد تدعم معالجة اللون أو اللجنين، لكنها لا تؤدي وظيفة الكيوتيناز الإسترية نفسها [11]

توضح المقارنة أن الكيوتيناز يتميز بموضع وسيط بين إنزيمات الدهون وإنزيمات البوليمرات السطحية. فهو ليس ليبازًا تقليديًا فقط، وليس سليولازًا موجّهًا للألياف؛ بل إنزيم مناسب عندما تكون المشكلة ناتجة عن ملوثات ذات روابط إسترية وسلوك كاره للماء، وهو ما يكثر في الورق المعاد تدويره والورق المطلي والمواد اللاصقة الحديثة [6].

التحكم في الـStickies: من كيمياء الملوث إلى قابلية تشغيل الماكينة

تأثير الـstickies في مصنع الورق لا يظهر كمسألة كيميائية مجردة، بل كفقدان في الاستقرار التشغيلي. قد تتراكم الرواسب على الأسلاك واللبادات، تلتصق بالأسطوانات، ترفع تكرار عمليات التنظيف، تسبب ثقوبًا أو بقعًا في الورق، أو تؤدي إلى تمزقات عند انتقال الورقة داخل الماكينة. لذلك فإن أي معالجة ناجحة للـstickies تُقاس عمليًا بمدى تحسن انتظام التشغيل وجودة السطح، لا بمجرد وجود تفاعل إنزيمي في المختبر [4].

الكيوتيناز يعمل ضمن هذه الصورة كعامل لتغيير خواص الملوثات. فإذا كانت اللواصق تحتوي على مجموعات إسترية قابلة للهجوم، فإن التحلل الجزئي قد يقلل اللزوجة أو التماسك أو الالتصاق. وإذا كانت الملوثات مرتبطة بطبقات طلاء أو بوليسترات قابلة للتحلل، فإن تعديل السطح قد يسهل فصلها أو يمنع إعادة ترسبها بقوة على الألياف والمعدات [12].

لكن يجب الانتباه إلى أن stickies ليست مادة واحدة. فبعضها قائم على بوليمرات لا تتأثر كثيرًا بالكيوتيناز، وبعضها محمي بمواد مالئة أو أصباغ أو طبقات هيدروكربونية، وبعضها يظهر بسبب توازن الشحنة والملوحة والمواد المضافة في النظام. لذلك يكون Cutinase Hydrolase أكثر منطقية حين يُستخدم كجزء من برنامج أوسع للتحكم في الملوثات، وليس كحل وحيد لكل أنواع الرواسب [9].

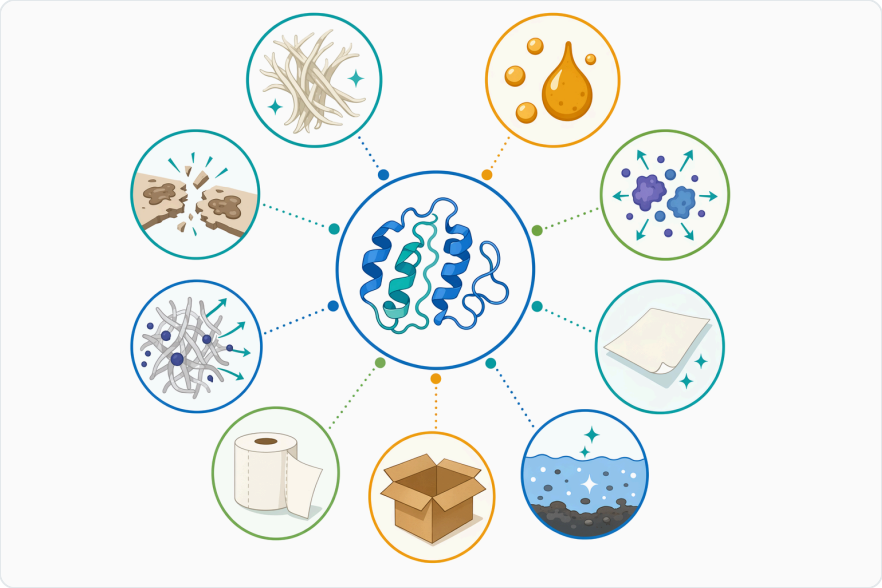

Figure 3. 펄프 및 제지 분야의 주요 적용 영역은 피치와 왁스 관리, 재생섬유의 스티키 관리 지원, 비목재 섬유 처리, 리파이닝 공정의 청정도 유지 지원, 물 또는 슬러지 컨디셔닝이다.

الكيوتيناز والبوليسترات: لماذا يهم ذلك لصناعة الورق؟

قد يبدو الحديث عن البوليسترات بعيدًا عن الورق، لكنه مهم في الورق الحديث والمعاد تدويره. فالألياف الورقية تدخل السوق مع طلاءات، أحبار، مواد تغليف، ملصقات، ومركبات بوليمرية قد تحتوي على روابط إسترية. الدراسات على التحلل الإنزيمي للبوليسترات بواسطة الكيوتينازات توفر أساسًا لفهم كيفية تعامل هذا النوع من الإنزيمات مع مواد كارهة للماء وأكثر تعقيدًا من الدهون البسيطة [13].

أظهرت أبحاث على بوليسترات مشتتة في الماء ذات محتويات مختلفة من مجموعات السلفونات أن التحلل في نظام محفز بالكيوتيناز يتأثر ببنية البوليمر وقابليته للتشتت وخصائصه السطحية. هذه النقطة قابلة للنقل مفاهيميًا إلى الورق: ليس اسم البوليمر وحده هو ما يحدد النتيجة، بل مدى انكشاف الرابطة الإسترية، تشتت الجسيمات، وحالة السطح في وسط مائي غني بالألياف والمواد المساعدة [12].

كما أن الاهتمام العالمي بتحلل PET إنزيميًا يبرز قدرة بعض الكيوتينازات والإنزيمات القريبة منها على مهاجمة بوليسترات صعبة نسبيًا، رغم أن ظروف إعادة تدوير البلاستيك ليست هي نفسها ظروف مصنع الورق. الفائدة هنا ليست الادعاء بأن إنزيم الورق سيحلل كل PET في النظام، بل إبراز أن الكيوتينازات تُدرس بجدية كإنزيمات سطحية للبوليسترات، وهذا يدعم منطق استخدامها ضد ملوثات إسترية في خطوط الورق [14].

أين يمكن أن يندمج Cutinase Hydrolase داخل خط الورق؟

يحتاج الإنزيم إلى موضع يتيح له التلامس مع الملوثات قبل أن تترسب أو قبل أن تُحتجز داخل بنية الورقة. لذلك يُفكر في تطبيقات الكيوتيناز عادة في مناطق تحضير اللب، معالجة الألياف المعاد تدويرها، أو مراحل تسبق تكوين الورقة حيث تكون الملوثات معلقة ويمكن تعديلها. لا يلزم هنا تحديد وصفة تشغيل عامة؛ لأن كل مصنع يختلف

في تركيب العجينة، زمن المكوث، كيمياء الماء، ونوع الملوثات.

في أنظمة إزالة الأحبار، قد يكون المنطق العملي هو مساعدة فصل الحبر والمواد الكارهة للماء عن سطح الألياف قبل مراحل الفصل اللاحقة. وتدعم دراسات إزالة الأحبار الحيوية فكرة أن الإنزيمات لا تعمل بمعزل عن بقية النظام، بل ضمن تتابع يضم تفكيكًا جزئيًا، تحريرًا للجسيمات، ثم إزالة ميكانيكية أو فيزيائية أو كيميائية مناسبة [7].

في أنظمة التحكم في الرواسب، قد يُستخدم Cutinase Hydrolase لتقليل قابلية اللواصق أو المواد الشمعية للترسب قبل وصولها إلى نقاط حرجة في الماكينة. هنا يكون نجاح التطبيق مرتبطًا بمدى تطابق آلية الإنزيم مع أصل المشكلة: إذا كانت الرواسب دهنية أو إسترية أو بوليسترية جزئيًا، يصبح المنطق أقوى؛ وإذا كانت المشكلة معدنية أو سيليكاتية أو ناتجة عن توازن شحنة غير مناسب، فسيكون أثر الكيوتيناز محدودًا [3].

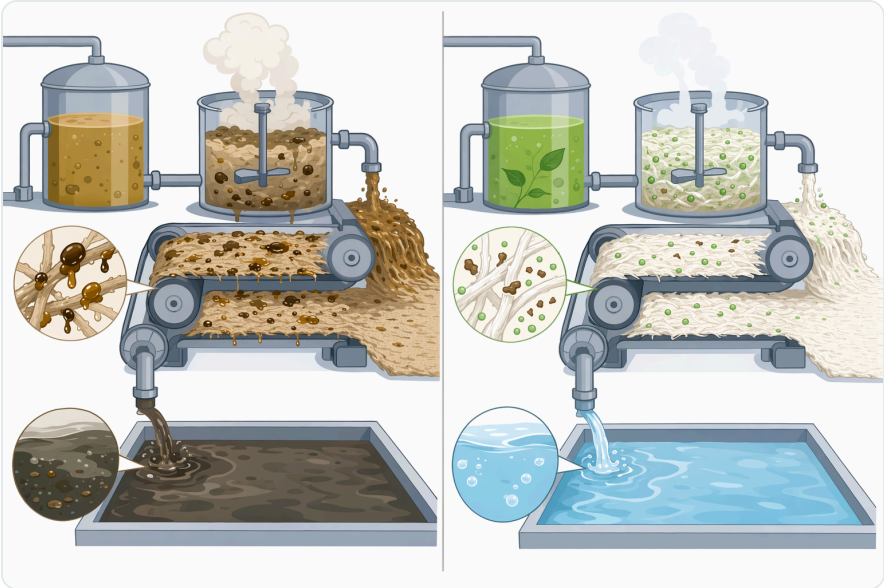

Figure 4. 큐티나아제는 실제 역할이 광범위한 섬유, 리그닌 또는 다당류 개질이 아니라 표적화된 에스터 가수분해라는 점에서 자일라나아제, 셀룰라아제, 락카아제, 펙티나아제, 리파아제와 다르다.

التكامل مع إنزيمات أخرى في برامج الألياف المعاد تدويرها

الأبحاث الحديثة في صناعة الورق لا تنظر دائمًا إلى إنزيم واحد، بل إلى كوكتيلات إنزيمية خالية من الخلايا يمكن أن تحسن تطور مصفوفة الألياف، التصريف، الخواص الميكانيكية، وتقليل البصمة الكربونية. هذا الاتجاه مهم لأن الورق نظام مركب: السطح السليلوزي، الهيميسليلوز، اللجنين، الحبر، اللواصق، والحشوات كلها تتفاعل في وقت واحد [9].

في هذا الإطار، يمكن أن يكون Cutinase Hydrolase مكوّنًا متخصصًا ضمن برنامج أوسع. السليولاز قد يساهم في تحرير الحبر أو تعديل سطح الألياف، الزيلاناز قد يدعم مراحل التبييض الحيوي، الليباز قد يستهدف الدهون، والكيوتيناز يضيف قدرة موجهة نحو الروابط الإسترية في ملوثات كارهة للماء أو بوليمرية [10].

لكن التكامل لا يعني الخلط العشوائي. بعض الإنزيمات قد تؤثر في الألياف نفسها، وبعضها يحتاج إلى شروط مختلفة، وبعضها قد يغير سلوك الجسيمات بطريقة تؤثر في مراحل الفصل. لذلك ينبغي فهم Cutinase Hydrolase بوصفه أداة ذات آلية محددة ضمن منظومة معالجة، لا مسحوقًا عامًا لتحسين كل مؤشر في خط الورق [15].

الفوائد الصناعية المتوقعة عند ملاءمة الملوث للإنزيم

الفائدة الأولى هي دعم **قابلية تشغيل ماكينة الورق**. عندما تنخفض قابلية الملوثات اللزجة للتجمع أو الالتصاق، يمكن أن يقل تراكم الرواسب على الأسطح الحرجة، وينخفض احتمال العيوب الناتجة عن بقع لاصقة أو جسيمات كارهة للماء. هذا هو التطبيق الأكثر ارتباطًا بتسمية المنتج في صناعة اللب والورق: التحكم في stickies والحد من أثرها التشغيلي [1].

الفائدة الثانية هي دعم **إزالة الأحبار** في الورق المستعمل. الكيوتيناز لا يحل محل مراحل التعويم أو الغسل أو الفرز، لكنه قد يساعد في تحرير مكونات مرتبطة بالحبر أو الطلاء أو اللاصق، خاصة عندما تحتوي على روابط إسترية. الدراسات المباشرة على الكيوتينازات في إزالة أحبار الصحف القديمة، وعلى إنزيمات ليباز–كيوتيناز هجينة، تعطي أساسًا علميًا لهذه الفكرة [8].

الفائدة الثالثة هي تحسين التعامل مع **الألياف المعاد تدويرها عالية التعقيد**. فالورق المختلط قد يحتوي على لواصق ومواد طلاء وبوليمرات مشتتة ومكونات تغليف لا تستجيب جيدًا للمعالجات التقليدية وحدها. هنا يصبح الإنزيم خيارًا انتقائيًا يمكن أن يضاف إلى برنامج المعالجة لتعديل جزء محدد من الملوثات بدل زيادة القسوة الكيميائية على كامل النظام [4].

الفائدة الرابعة هي الانسجام مع اتجاهات الاقتصاد الدائري في صناعة اللب والورق. استخدام الإنزيمات في هذه الصناعة يرتبط عمومًا بمحاولات تقليل العبء الكيميائي، رفع كفاءة إعادة التدوير، وتحسين الاستفادة من المواد الليجنوسليلوزية والمخلفات ضمن نظام أكثر دائرية [11].

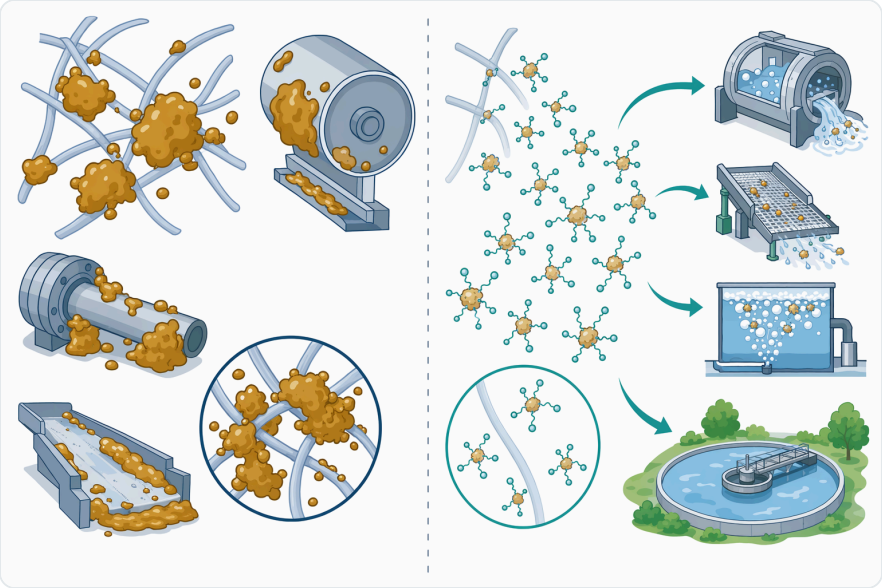

Figure 5. 성공적인 처리는 반드시 침전물 전체를 용해하는 것이 아니라, 응집성, 점착성, 섬유 부착성을 낮추어 오염물의 거동을 변화시킨다.

ما الذي لا ينبغي افتراضه عن Cutinase Hydrolase؟

لا ينبغي افتراض أن Cutinase Hydrolase يزيل كل أنواع stickies. فبعض الملوثات اللزجة قد تكون قائمة على بوليمرات أو راتنجات لا تحتوي على روابط إسترية مكشوفة بما يكفي، أو قد تكون المشكلة ناتجة عن مواد غير عضوية، أو عن تفاعل بين الشحنة والمواد المساعدة في الماء الأبيض. في هذه الحالات، قد لا يكون الكيوتيناز العامل الحاسم حتى لو كان جزءًا مفيدًا من البرنامج العام [3].

ولا ينبغي افتراض أن الإنزيم سيحسن القوة الميكانيكية للورق مباشرة. تحسين قوة الورق يرتبط عادةً بتطور الروابط بين الألياف، درجة الطحن، احتفاظ الحشوات، كيمياء السطح، ومضافات القوة. توجد أبحاث على تحسين مصفوفة الألياف باستخدام كوكتيلات إنزيمية، لكن هذا لا يعني أن كل كيوتيناز منفرد سيزيد مقاومة الشد أو الانفجار [9].

كذلك، لا ينبغي نقل نتائج تحلل PET أو البوليسترات في أبحاث البلاستيك إلى خط الورق بصورة حرفية. هذه الدراسات مفيدة لفهم قدرة الكيوتينازات على مهاجمة روابط إسترية في بوليمرات معينة، لكنها لا تعني أن ظروف مصنع الورق ستحقق التحلل نفسه أو أن كل جسيم بوليستر في العجينة سيُزال إنزيميًا [13].

الاعتبارات التشغيلية العامة دون وصفات رقمية

الإنزيمات بروتينات حساسة نسبيًا للبيئة المحيطة، ولذلك يعتمد أداؤها على التوافق مع كيمياء خط الإنتاج. في صناعة الورق، قد تؤثر الحموضة أو القلوية، الأملاح، المؤكسدات، المواد الخافضة للتوتر السطحي، المشتتات، المواد الحافظة، وتركيز المواد الصلبة في قدرة الإنزيم على البقاء نشطًا وعلى الوصول إلى الركيزة المستهدفة [3].

الأهم من ذلك هو التلامس. إذا أضيف الإنزيم في موضع لا يلتقي فيه بالملوثات إلا بعد أن تتكتل أو تترسب، ينخفض العائد العملي. وإذا كان الخلط ضعيفًا، قد يعمل الإنزيم على جزء محدود من العجينة دون معالجة متجانسة. لذلك يتطلب الاستخدام الصناعي فهمًا لمكان وجود الملوثات في النظام، وليس مجرد إضافة الإنزيم في أي نقطة متاحة.

ينبغي أيضًا النظر إلى التوافق مع مراحل الفصل اللاحقة. فالغرض من تعديل الملوثات هو جعلها أقل التصاقًا وأكثر قابلية للإدارة؛ لكن إذا تحولت إلى جسيمات دقيقة جدًا يصعب فصلها أو تبقى في الماء الأبيض، فقد تتغير المشكلة بدل أن تختفي. لهذا السبب تكون قراءة مؤشرات التشغيل وجودة الورق وتراكم الرواسب ضرورية لتقييم ملاءمة البرنامج الإنزيمي في الواقع الصناعي [5].

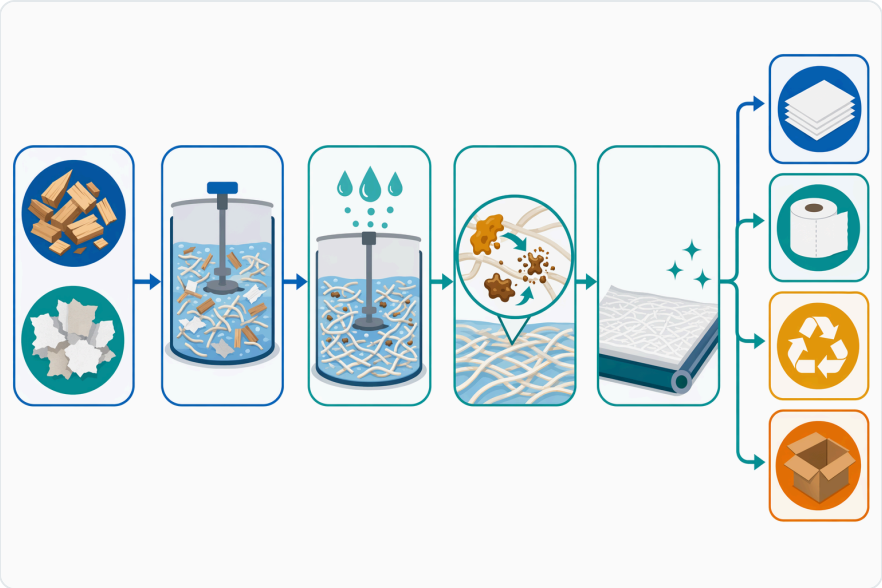

Figure 6. 큐티나아제는 재생섬유 준비, 펄프 슬러리 전처리, 브로크 처리, 비목재 섬유 처리, 일부 물 또는 슬러지 컨디셔닝 단계처럼 습윤하고 접근성이 좋은 공정 구역에 가장 잘 맞는다.

الاستدامة وتقليل الأثر البيئي

تتجه صناعة اللب والورق إلى حلول حيوية لأنها تواجه ضغطًا مزدوجًا: زيادة استخدام الألياف المعاد تدويرها وخفض الأثر البيئي للمياه والكيميائيات والمخلفات. المعالجات الحيوية والإنزيمية تُدرس ضمن هذا الإطار لأنها قد تتيح انتقائية أعلى وظروفًا ألطف مقارنةً ببعض المعالجات الكيميائية واسعة التأثير [11].

في التبييض الحيوي مثلًا، تحظى الزيلانازات باهتمام لأنها قد تساعد على تقليل عبء بعض كيميائيات التبييض عبر تعديل مكونات الهيميسليلوز واللجنين المرتبطة بها. ورغم أن هذا تطبيق مختلف عن الكيوتيناز، فإنه يوضح النمط نفسه: إنزيم متخصص يستهدف رابطة أو مكونًا محددًا لتخفيف متطلبات مرحلة صناعية لاحقة [10].

أما في معالجة مياه مصانع الورق، فتشير الأدبيات إلى استمرار الحاجة إلى تقنيات متقدمة لتقليل الحمل العضوي وتفكيك المواد المعقدة. لا يُطرح Cutinase Hydrolase كحل مباشر لمعالجة مياه الصرف، لكن تحسين التحكم في الملوثات داخل خط الإنتاج قد يساهم في تقليل انتقال بعض المواد اللزجة أو الكارهة للماء إلى تيارات

جانبية، ضمن برنامج أوسع لإدارة المياه والمخلفات [16].

لماذا يهم اختيار كيوتيناز مخصص لصناعة اللب والورق؟

ليست كل الكيوتينازات متشابهة. اختلاف المصدر الميكروبي، البنية السطحية، قابلية تحمل ظروف العملية، ونوعية الركائز المفضلة يمكن أن يؤدي إلى نتائج مختلفة في إزالة الأحبار أو تحلل البوليسترات أو تعديل الملوثات. لذلك توجد دراسات تقارن كيوتينازات متعددة في إزالة أحبار ورق الصحف القديم، ما يؤكد أن اسم الفئة الإنزيمية وحده غير كافٍ للتنبؤ بالأداء [1].

كما أن الهندسة البروتينية للكيوتينازات أصبحت مجالًا نشطًا، كما يتضح من تحسين نشاط كيوتيناز *Humicola insolens* تجاه البولي أكريلات وبولي فينيل أسيتات. هذا مهم لصناعة الورق لأن الملوثات اللاصقة والطلائية الحديثة قد تكون أقرب إلى بوليمرات صناعية منها إلى دهون طبيعية بسيطة [6].

لذلك، فإن منتجًا موجّهًا لصناعة اللب والورق يجب أن يُفهم من زاوية التطبيق: هل يستهدف ملوثات لزجة؟ هل يندمج مع عمليات إزالة الأحبار؟ هل يناسب الألياف المعاد تدويرها؟ هذه الأسئلة الفنية تتعلق بالملاءمة العملية، بينما تبقى وثائق الطلب مثل **CoA** و**SDS** أدوات أساسية للتعامل المنظم مع المنتج بعد الشراء من Enzymes.bio.

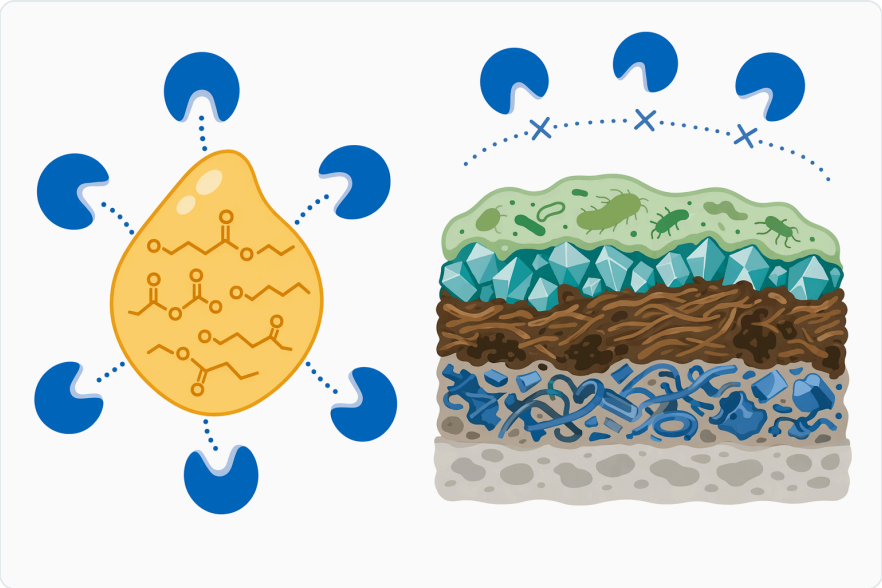

Figure 7. 성능은 신선하거나 분산된 에스터가 풍부한 잔류물에서 가장 현실적으로 나타나며, 경화된 혼합 침전물과 비에스터 물질에는 다른 제어 방법이 필요하다.

معلومات التوريد عبر Enzymes.bio

توفر Enzymes.bio فئة إنزيمات صناعية موجهة لتطبيقات اللب والورق ضمن منصتها الإلكترونية، ويقع **Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry** ضمن هذا السياق كتطبيق متخصص للتحكم في الملوثات اللزجة والمواد الإسترية في بيئات الورق .

يتاح المنتج للشراء المباشر عبر الإنترنت بوحدة **1** Enzymes.bio .**kg** ليست جهة تصنيع وليست مختبر اختبار، لذلك ينبغي النظر إليها كمورّد يتيح المنتج ووثائق الطلب المرفقة، لا كمصدر لوصفات تشغيل مخصصة أو بيانات تصنيع داخلية. تُرفق **شهادة التحليل CoA** و**نشرة بيانات السلامة SDS** مع الطلب، وهما الوثيقتان العمليتان الأساسيتان للتعرّف على الدفعة والتعامل الآمن في بيئة صناعية.

الخلاصة الفنية

إنزيم **Cutinase Hydrolase For Pulp And Paper Industry** هو أداة إنزيمية متخصصة لمعالجة جزء مهم من تحديات الورق المعاد تدويره: الملوثات اللزجة والكارهة للماء ذات الروابط الإسترية. قوته التقنية تكمن في التحلل المائي الانتقائي لهذه الروابط، ما قد يقلل الالتصاق، يدعم إزالة الأحبار، ويحد من ترسبات تؤثر في قابلية تشغيل ماكينة الورق [2].

تدعم الأدبيات هذا الاتجاه عبر دراسات مباشرة على الكيوتينازات في إزالة أحبار ورق الصحف القديم، وتطبيق كيوتيناز *Myceliophthora thermophila* في تحلل البوليستر وإزالة الأحبار، وتطوير إنزيمات هجينة ليباز–كيوتيناز للورق المستعمل [1] [8]. ومع ذلك، يبقى الأداء الواقعي مرتبطًا بطبيعة الملوثات وتكامل الإنزيم مع برنامج المعالجة، لا باسم الإنزيم وحده.

بالنسبة لمصانع الورق التي تتعامل مع ألياف معاد تدويرها، لواصق، طلاءات، أحبار، وشموع، يوفر Cutinase Hydrolase خيارًا منطقيًا ضمن استراتيجية أوسع للتحكم في stickies وتحسين استقرار التشغيل. وعند شرائه عبر Enzymes.bio، يتوفر المنتج مباشرة بوحدة **1 kg** مع إرفاق **CoA** و**SDS** مع الطلب.

اطلب Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry عبر الإنترنت

يُباع بوحدة 1 kg، وهو متوفر في المخزون وجاهز للشحن. اطلب مباشرة من متجرنا — ادفع عبر الإنترنت وسنعالج طلبك. تُرفق شهادة التحليل ونشرة بيانات السلامة مع كل طلب.

اشترِ Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry →

المراجع

مرقّمة حسب ترتيب أول اقتباس. مصادر مفتوحة الوصول، تم التحقق من إتاحتها عند النشر؛ وترتبط أرقام الاستشهاد في النص هنا.

1. Hong, R., Su, L., Chen, S., Long, Z., & Wu, J. (2017). Comparison of cutinases in enzymic deinking of old newsprint. *Cellulose*, 24, 5089-5099.

2. Yang, S., Liu, M., Long, L., Zhang, R., & Ding, S. (2017). Characterization of a cutinase from Myceliophthora thermophila and its application in polyester hydrolysis and deinking process. *Process Biochemistry*, 66, 106-112.

3. Mussakhmetov, A., & Silayev, D. (2025). Esterases: Mechanisms of Action, Biological Functions, and Application Prospects. *Applied microbiology*.

4. Mirković, B. (2019). Recycled Fibers. *Textile Fiber Microscopy*.

5. Mirković, I., Majnarić, I., Bolanča, Z., & Grgasović, A. (2009). Recycling of waste paper with different density of liquid toner.

6. Su, L., Hong, R., Kong, D., & Wu, J. (2020). Enhanced activity towards polyacrylates and poly(vinyl acetate) by site-directed mutagenesis of Humicola insolens cutinase.. *International Journal of Biological Macromolecules*.

7. Wang, F., Zhang, X., Zhang, G., Chen, J., Sang, M., Long, Z., & Wang, B. (2018). Studies on the environmentally friendly deinking process employing biological enzymes and composite surfactant. *Cellulose*, 25, 3079-3089.

8. Liu, M., Yang, S., Long, L., Cao, Y., & Ding, S. (2017). Engineering a Chimeric Lipase-cutinase (Lip-Cut) for Efficient Enzymatic Deinking of Waste Paper. *Bioresources*, 13, 981-996.

9. Barrios, N., Gonzalez, M., Venditti, R. A., & Pal, L. (2025). Synergistic cell-free enzyme cocktails for enhanced fiber matrix development: improving dewatering, strength, and decarbonization in the paper industry. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 18.

10. Dukare, A., Sharma, K., Kautkar, S., Dhakane-Lad, J., Yadav, R., Nadanathangam, V., & Saxena, S. (2023). Microbial xylanase aided biobleaching effect on multiple components of lignocelluloses biomass based pulp and paper: a review. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 0.

11. Kvasha, N., Bolotnikova, O., & Malevskaia-Malevich, E. (2023). Biotechnological Basis of the Pulp and Paper Industry Circular Economic System. *Economies*.

12. Wang, J., Xu, J., Yuan, J., & Fan, X. (2024). Hydrolysis rate and mechanism of water-dispersed polyesters with different sulfonate group contents in the cutinase-catalyzed system.. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137775 .

13. Vogel, K., Wei, R., Pfaff, L., Breite, D., Al-Fathi, H., Ortmann, C., Estrela-Lopis, I., ... et al. (2021). Enzymatic degradation of polyethylene terephthalate nanoplastics analyzed in real time by isothermal titration calorimetry.. *Science of the Total Environment*, 773, 145111 .

14. Yan, Z., Feng, C., Zhou, J., Huang, Q., Chen, X., Xia, W., & Wu, J. (2024). Complete degradation of PET waste using a thermophilic microbe-enzyme system.. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129538 .

15. Abena, T., & Simachew, A. (2024). A review on xylanase sources, classification, mode of action, fermentation processes, and applications as a promising biocatalyst. *BioTechnologia*, 105, 273 - 285.

16. Zhou, C., Zhang, J., Cai, Y., & Xiong, J. (2023). Catalytic Ozonation for Pulp and Paper Mill Wastewater Treatment: COD Reduction and Organic Matter Degradation Mechanism. *Separations*.

تواصل مع Enzymes.bio

هل لديك أسئلة حول طلب؟ يسرّ فريقنا مساعدتك.

البريد الإلكتروني **wholesale@enzymes.bio** الهاتف (الولايات المتحدة) **+1 (507) 428-6057**

تواصل معنا →

+400 عملاء B2B **+60** شركاء بحثيون جامعيون **54** نخدم العملاء حول العالم

© 2026 Enzymes.bio · توريد إنزيمات صناعية & لمعالجة الأغذية · غير مخصص للاستهلاك البشري أو البيع بالتجزئة.