الليباز القلوي في معالجة الورق واللب: إنزيم Alkaline Lipase للتحكم في الرواسب الدهنية وPitch

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

الليباز القلوي في معالجة الورق واللب يُستخدم أساسًا لاستهداف الدهون والزيوت والإسترات الموجودة في مستخلصات الخشب، المياه البيضاء، الورق المعاد تدويره، وبعض رواسب pitch وstickies ذات الطبيعة الهيدروفوبية. لا يعمل هذا الإنزيم كحل عام لكل ترسبات مصانع الورق، بل كأداة حيوية انتقائية يمكن أن تدعم التحكم في الرواسب وإزالة الأحبار عندما تكون المشكلة مرتبطة بمكونات دهنية قابلة للتحلل الإنزيمي [1].

ما المقصود بالليباز القلوي في صناعة الورق واللب؟

الليباز هو إنزيم يحفّز التحلل المائي للروابط الإسترية في الدهون والزيوت والشموع وبعض المركبات الراتنجية القابلة للتحلل. وعند وصفه بأنه **قلوي**، فالمقصود أنه مناسب للعمل في بيئات تميل إلى القلوية، وهي بيئات شائعة في مراحل مثل تفكيك الورق المعاد تدويره، إزالة الأحبار، بعض عمليات الغسل، والتحكم في الملوثات العضوية داخل الدارات المائية. في سياق الورق واللب، لا تكون قيمة الليباز في تعديل الألياف السليلوزية مباشرة، بل في التعامل مع الجزء الدهني والهيدروفوبي من الملوثات [2].

تنبع أهمية هذه الوظيفة من أن مصانع الورق لا تتعامل مع ألياف نقية فقط؛ بل مع منظومات معقدة تضم مستخلصات خشبية، مواد غروية، مواد لاصقة، أحبارًا، زيوتًا، شحومًا، إضافات كيميائية، ومياهًا بيضاء يعاد تدويرها مرات عديدة. هذه المكونات قد تتجمع على هيئة رواسب لزجة أو جسيمات هيدروفوبية دقيقة تؤثر في التشغيل وجودة الورق. وقد تناولت دراسات مبكرة وحديثة مشكلة pitch في عمليات اللب والورق باعتبارها مشكلة ناتجة عن تراكم مكونات عضوية خشبية أو ملوثات هيدروفوبية يصعب التحكم فيها بالوسائل الميكانيكية وحدها [3].

بالنسبة إلى منتج **Alkaline Lipase Paper And Pulp Processing** المتاح عبر Enzymes.bio، ينبغي فهمه كإنزيم مساعد موجّه للتطبيقات المرتبطة بالدهون والزيوت والرواسب الهيدروفوبية في عمليات الورق واللب. Enzymes.bio مورّد للمنتج وليست جهة مصنّعة أو مختبرًا، ويُباع المنتج مباشرة عبر الإنترنت بوحدة **1kg**. تُرفق مع الطلب وثائق **CoA** و**SDS** لدعم التحقق من الدفعة والاستخدام الآمن داخل المنشأة.

لماذا تمثل الدهون والرواسب الهيدروفوبية مشكلة في مصانع الورق؟

تظهر الملوثات الدهنية في صناعة الورق من مصدرين رئيسيين. المصدر الأول هو الخشب نفسه، إذ تحتوي أنواع مختلفة من الخشب على مستخلصات تشمل ثلاثي الغليسريد، أحماضًا دهنية، إسترات، شمعيات، ستيرولات، ومركبات راتنجية. والمصدر الثاني هو الورق المعاد تدويره، حيث تدخل الأحبار والمواد اللاصقة والطلاءات والزيوت والشحوم وبقايا الاستخدام السابق إلى نظام التفكيك والغسل والتعويم [1].

عندما تبقى هذه المكونات في النظام، قد تتجمع في المياه البيضاء أو تلتصق بالألياف أو تنتقل إلى الأسطح المعدنية واللباد والأسلاك وأسطح التجفيف. المشكلة ليست فقط في وجود المادة الدهنية، بل في سلوكها الهيدروفوبي: فهي تميل إلى التجمع، الالتصاق، التقاط الألياف الدقيقة، والتفاعل مع الشحنة والمواد المساعدة. لذلك قد تظهر كترسبات pitch، بقع على الورق، انخفاض في ثبات التشغيل، زيادة في التوقفات التنظيفية، أو اضطراب في أداء التعويم والغسل [4].

Figure 1. 알칼리성 리파아제는 피치가 발생하기 쉬운 버진 펄프, 재생섬유 탈묵, 백수 오염물 관리, 그리고 일부 펄프 청정도 개선에 가장 관련이 깊다.

في الورق المعاد تدويره، تزداد المشكلة تعقيدًا بسبب تعدد مصادر الملوثات. فاللاصقات الحساسة للضغط، بقايا الأحبار، الشموع، ومواد التغليف قد تعطي جسيمات stickies مختلفة عن pitch الخشبي التقليدي. بعض هذه المواد يحتوي على روابط إسترية أو أجزاء زيتية يمكن أن يستهدفها الليباز، بينما أجزاء أخرى قد تكون بوليمرية أو معدنية أو غير قابلة للتحلل بهذا الإنزيم. لذلك يكون نجاح الليباز القلوي مشروطًا بطبيعة التلوث، وليس بمجرد وجود رواسب عامة [5].

آلية عمل الليباز القلوي: ماذا يفعل على المستوى الجزيئي؟

تقوم وظيفة الليباز على تحفيز تكسير الروابط الإسترية في الجزيئات الدهنية. في حالة ثلاثي الغليسريد مثلًا، يؤدي التحلل التدريجي إلى إطلاق أحماض دهنية وغليسريدات جزئية أو غليسيرول، بحسب طبيعة الركيزة وظروف النظام. هذه النواتج تكون عادة أقل شبهًا بالزيوت الأصلية من حيث البنية والتجمع، وقد تصبح أكثر قابلية للتشتت أو الإزالة خلال الغسل أو التعويم أو المعالجة اللاحقة [6].

في بيئة الورق واللب، لا يحدث التفاعل في محلول نقي، بل عند واجهات معقدة بين الماء، الألياف، الجسيمات الهيدروفوبية، والمواد الخافضة للتوتر السطحي. لذلك يعتمد الأداء على قدرة الإنزيم على الوصول إلى سطح المادة الدهنية. الخلط، التشتت، درجة التلامس مع الألياف، وتركيب المياه البيضاء كلها عوامل تؤثر في قدرة الليباز على ملامسة الركيزة. هذا يفسر لماذا قد يعطي الإنزيم أثرًا واضحًا في نظام غني بالدهون القابلة للتحلل، بينما يكون أثره محدودًا في نظام تهيمن عليه بوليمرات لاصقة أو مواد غير إسترية [7].

يختلف الليباز القلوي عن السليولاز والزيلاناز واللاكاز في نقطة الاستهداف. السليولاز يتعامل مع السليلوز أو سطح الألياف، والزيلاناز يستهدف الهيميسليلوز، واللاكاز يرتبط بتفاعلات أكسدة لمركبات فينولية أو لجنينية، أما الليباز فيستهدف الدهون والإسترات. هذه الانتقائية مهمة تجاريًا وتشغيليًا: استخدام الليباز لا يعني "معالجة إنزيمية عامة" للّب، بل إدخال وظيفة محددة داخل برنامج تحكم في الملوثات الدهنية [8].

التحكم في Pitch: أكثر تطبيقات الليباز ارتباطًا بالورق واللب

تُعد مشكلة pitch من أكثر المواضع التي دُرس فيها استخدام الليباز في صناعة الورق. فقد بيّنت أبحاث حول التحكم في pitch في اللب الحراري الميكانيكي وصناعة الورق أن المعالجات الإنزيمية يمكن أن تكون جزءًا من استراتيجية لتقليل المشكلات الناتجة عن المستخلصات الخشبية، خاصة عندما تكون المكونات الدهنية قابلة للتحلل بواسطة الليبازات [1].

الفكرة العملية هي أن جزءًا من pitch يحتوي على مواد مثل ثلاثي الغليسريد أو إسترات دهنية تسهم في اللزوجة والهيدروفوبية والالتصاق. عندما يحلل الليباز هذه المكونات، قد تتغير خواص الجسيمات: يقل ميلها إلى التجمع، تتغير قابليتها للالتصاق، وقد تصبح أسهل في التشتت أو الإزالة ضمن الدارة. هذا لا يعني أن الليباز يزيل كل المكونات الراتنجية؛ فبعض الأحماض الراتنجية والستيرولات والمركبات غير الإسترية قد تحتاج إلى آليات أخرى، بما في ذلك التحكم الكيميائي أو الامتزاز أو الأكسدة أو الإدارة الفيزيائية للنظام [3].

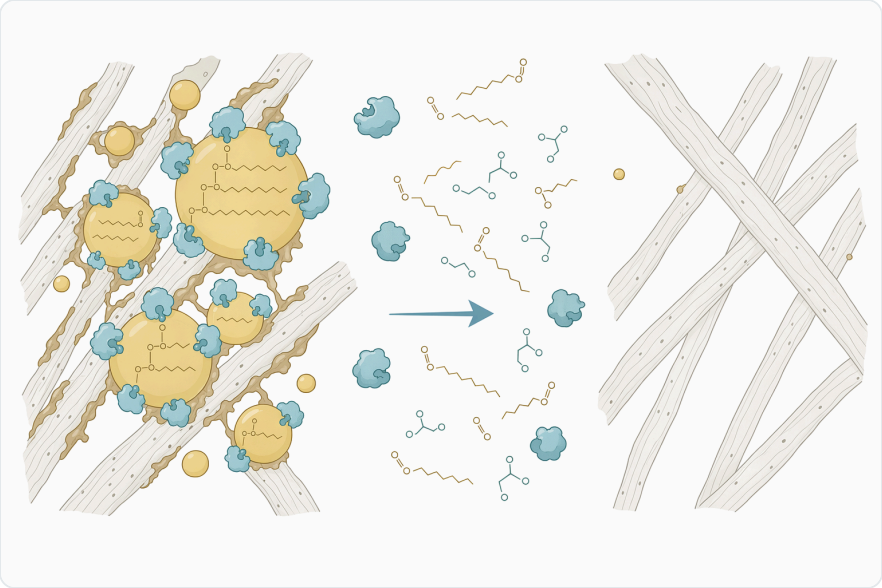

Figure 2. 리파아제는 트리글리세리드와 지방산 에스터의 에스터 결합을 가수분해하여, 알칼리 조건에서 소수성 중성 지질을 더 작고 분산되기 쉬운 산물로 전환한다.

أحد الاتجاهات البحثية المهمة هو تثبيت الليباز على حوامل صلبة لاستخدامه في معالجة المياه البيضاء. في دراسة عن تثبيت الليباز على خرز الشيتوزان لإزالة جسيمات pitch من المياه البيضاء أثناء صناعة الورق، جرى التركيز على فكرة جعل الإنزيم أكثر قابلية للاستخدام في تيارات مائية معقدة بدل الاعتماد فقط على الإضافة الحرة للإنزيم [4]. ورغم أن هذا النوع من الأبحاث لا يعني أن كل منتج تجاري يعمل بالطريقة نفسها، فإنه يوضح أن وظيفة الليباز في المياه البيضاء ليست نظرية فقط، بل مرتبطة مباشرة بمشكلة تشغيلية معروفة في مصانع الورق.

كما تناولت أبحاث أخرى تثبيت الليباز القلوي المستخدم في صناعة الورق، ما يعكس اهتمامًا بتكييف الإنزيم مع ظروف العملية وليس مجرد استخدامه في نظام مخبري بسيط [9]. التثبيت قد يغير الثبات وإعادة الاستخدام والتلامس السطحي، لكنه ليس شرطًا لكل تطبيق؛ ففي أنظمة صناعية كثيرة قد يكون الإنزيم الحر مناسبًا إذا أضيف في نقطة تسمح بالتلامس مع الملوثات الدهنية خلال زمن تشغيل واقعي.

المياه البيضاء والدارات المغلقة: لماذا تصبح المعالجة الإنزيمية أكثر أهمية؟

مع ارتفاع معدلات إعادة استخدام المياه داخل مصانع الورق، تزداد تراكيز المواد الذائبة والغروية والملوثات الدقيقة في المياه البيضاء. هذا يحسن كفاءة استخدام المياه، لكنه يجعل النظام أكثر حساسية لتراكم المواد الهيدروفوبية. فالجسيمات الصغيرة التي كانت ستغادر النظام مع التصريف قد تبقى في الدارة وتتعرض لدورات متكررة من القص والخلط والتفاعل مع المواد الكيميائية [10].

في هذا السياق، يمكن لليباز القلوي أن يعمل كأداة لتقليل جزء من الحمل الدهني في المياه البيضاء أو في تيارات اللب قبل مراحل حساسة. دراسة التحكم في المياه البيضاء المعاد تدويرها باستخدام **Aspergillus oryzae** تشير إلى أن المعالجات الحيوية للفطريات أو الإنزيمات قد تساعد في التعامل مع مكونات pitch ضمن المياه

المعاد تدويرها، مع أن الآليات والنتائج تعتمد على النظام الحيوي المستخدم وطبيعة الملوثات [10].

ينبغي الانتباه إلى أن المياه البيضاء ليست مجرد ماء وألياف؛ فهي تحتوي على أملاح، مواد منخفضة الكتلة الجزيئية، إضافات احتجاز، مواد خافضة للتوتر السطحي، بقايا مؤكسدات، ومكونات ذائبة من الخشب أو الورق المعاد تدويره. وقد أوضحت دراسة حديثة في سياق مصانع لب الكبريتيت أن الأيونات والمكونات منخفضة الكتلة الجزيئية قد تخفض أو تعزز نشاط الليبازات على المستخلصات الخشبية المحبة للدهن [7]. هذه النقطة مهمة لأنها تفسر تفاوت النتائج بين مصنع وآخر حتى عند استخدام إنزيم من الفئة نفسها.

Figure 3. 피치 제어는 리파아제가 분산된 지질 방울이 공장 표면에서 혼합 침착물로 뭉치기 전에 접촉할 때 가장 효과적이다.

الليباز القلوي في إزالة الأحبار من الورق المعاد تدويره

إزالة الأحبار من الورق المعاد تدويره تعتمد عادة على تفكيك الورق، تحرير جسيمات الحبر من الألياف، تعديل خواصها السطحية، ثم فصلها بالغسل أو التعويم. تحتوي بعض الأحبار والطلاءات وبقايا الاستخدام على مكونات زيتية أو إستراتية؛ وهنا يمكن لليباز أن يؤدي دورًا مساعدًا عبر إضعاف الجزء الدهني أو تغيير سلوك الجسيمات الهيدروفوبية [5].

ظهرت دراسات عن إنزيمات هجينة تجمع بين نشاطات مختلفة لتحسين إزالة الأحبار. فعلى سبيل المثال، بحثت أعمال في ليباز محايد مدمج مع إندوغلوكاناز لإزالة الأحبار إنزيميًا من الورق المهدر، ما يعكس منطقًا واضحًا: تحرير الحبر قد يستفيد من أكثر من آلية، إحداها تتعلق بسطح الألياف والأخرى بالمكونات الدهنية أو الهيدروفوبية [5]. كما تناولت دراسة أخرى إنزيمًا هجينًا من ليباز وكوتيناز لتحسين إزالة الأحبار، وهو توجه يدل على أهمية استهداف الروابط الإسترية والمواد السطحية المرتبطة بالأحبار والطلاءات [11].

بالنسبة إلى الليباز القلوي وحده، تكون فائدته أكثر وضوحًا عندما يكون الحبر أو الملوث غنيًا بمكونات دهنية قابلة للتحلل. أما إذا كانت المشكلة مرتبطة بجسيمات كربونية أو أصباغ غير عضوية أو بوليمرات لا تتأثر بالتحلل الإستري، فقد تكون مساهمة الليباز محدودة. لذلك يُفهم الليباز في إزالة الأحبار كعامل مساعد ضمن منظومة تشمل القلوية، التشتت، القص، التعويم، الغسل، والتحكم في الشحنة، وليس كبديل كامل لهذه العناصر [12].

مقارنة بين الليباز القلوي وإنزيمات شائعة في معالجة الورق واللب

فئة الإنزيم	الهدف الأساسي في النظام	أمثلة على الفائدة المحتملة	ما لا ينبغي توقعه منه
الليباز القلوي	الدهون، الزيوت، الإسترات، أجزاء من pitch وstickies	دعم التحكم في الرواسب الدهنية، تحسين تشتت بعض الملوثات الهيدروفوبية، المساعدة في إزالة أحبار ذات جزء زيتي	لا يحلل السليلوز كوظيفة رئيسية، ولا يعالج كل اللواصق أو الرواسب غير الإسترية
السليولاز	السليلوز وسطح الألياف	تعديل سطح الألياف، المساعدة في بعض تطبيقات نزع الأحبار أو تحسين قابلية المعالجة	قد يؤثر في خصائص الألياف إذا استُخدم خارج الغرض المناسب [13]
الزيلاناز	الهيميسليلوز، خصوصًا الزيلان	دعم بعض عمليات التبييض أو تعديل البنية السطحية للّب	لا يستهدف الدهون أو الزيوت كوظيفة رئيسية [14]
اللاكاز/إنزيمات أكسدة	مركبات فينولية أو لجنينية معينة	تعديل اللجنين أو بعض المركبات الملونة حسب النظام	لا يحلل ثلاثي الغليسريد أو الزيوت مباشرة
أنظمة فطرية أو إنزيمية متعددة	خليط من المركبات العضوية	معالجة أوسع لبعض تيارات pitch أو المياه البيضاء	أقل انتقائية وقد تتطلب ضبطًا أعقد من إنزيم منفرد [10]

توضح المقارنة أن اختيار الليباز القلوي يكون منطقيًا عندما تكون المشكلة ذات طبيعة دهنية أو زيتية أو إسترية. أما إذا كان الهدف هو تقليل استهلاك طاقة التكرير، أو تعديل قوة الألياف، أو تبييض اللب، فقد تكون إنزيمات أخرى أكثر صلة. مراجعات التكنولوجيا الحيوية في الورق واللب تؤكد أن القيمة تأتي من مطابقة الإنزيم مع الوظيفة المطلوبة، لا من استخدام الإنزيمات باعتبارها فئة واحدة متجانسة [8].

الجمع بين الليباز وعوامل أخرى: متى يكون منطقيًا؟

في بعض الأدبيات، جرى تناول الجمع بين الليباز ومؤكسدات للتحكم في pitch في عمليات صناعة الورق. الفكرة العامة هي أن الليباز يستهدف المكونات الإسترية أو الدهنية، بينما قد تسهم المعالجة المؤكسدة في تغيير مكونات أخرى من الرواسب أو في تحسين قابليتها للتشتت والإزالة [15]. هذا النوع من الجمع قد يكون مفيدًا في أنظمة تحتوي على خليط من المواد، لكنه يتطلب فهمًا دقيقًا للتوافق، لأن بعض البيئات المؤكسدة أو الكيميائيات القاسية قد تؤثر في البروتينات الإنزيمية.

كما توجد براءات أو أعمال تطبيقية حول استخدام مجموعات من ليباز ومؤكسد للتحكم في pitch في صناعة الورق ومنتجاتها، ما يعكس اتجاهًا صناعيًا نحو المعالجات المركبة بدل الاعتماد على آلية واحدة [16]. مع ذلك، لا ينبغي تفسير ذلك على أنه توصية عامة بإضافة أي مؤكسد مع أي ليباز؛ فالتوافق يعتمد على نوع المؤكسد، نقطة الإضافة، زمن التلامس، ووجود ركائز دهنية يمكن للإنزيم التعامل معها قبل أن يتأثر بالنظام الكيميائي.

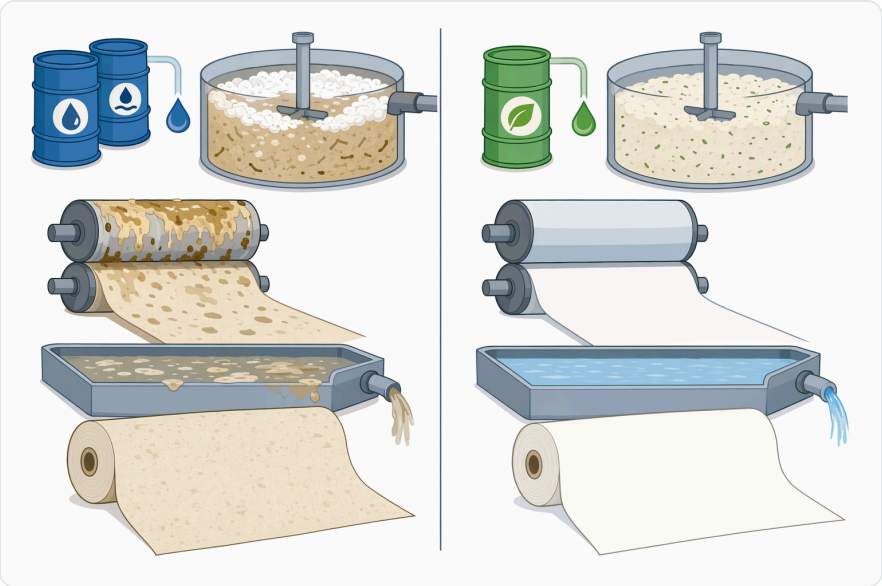

Figure 4. 제지용 효소마다 표적으로 삼는 기질이 다르며, 리파아제는 셀룰로오스, 자일란, 리그닌 또는 무기 스케일이 아니라 지질 에스터에 작용한다.

يمكن أيضًا أن يتكامل الليباز مع مواد خافضة للتوتر السطحي أو مشتتات في بعض عمليات إعادة التدوير وإزالة الأحبار. وظيفة هذه المواد هي تحسين تشتت الملوثات أو تعديل الواجهة بين الماء والمواد الهيدروفوبية، ما قد يزيد وصول الإنزيم إلى الركيزة. لكن التأثير ليس دائمًا إيجابيًا؛ فبعض التركيبات قد تعيق ارتباط الإنزيم بالسطح أو تغيّر بنية البروتين، لذلك تكون النتيجة مرتبطة بكيمياء النظام كما أشارت أعمال عن تأثير الأيونات والمكونات الصغيرة في نشاط الليبازات على مستخلصات الخشب [7].

حدود الليباز القلوي في معالجة الورق واللب

أول حد مهم هو أن الليباز لا يحوّل كل رواسب pitch إلى مواد قابلة للذوبان. pitch خليط واسع من المركبات، وبعضها لا يحتوي على الروابط التي يستهدفها الليباز. لذلك قد تنخفض قابلية الالتصاق أو يتغير تشتت جزء من الرواسب دون أن تختفي المشكلة بالكامل. هذا يفسر لماذا تتعامل دراسات التحكم في pitch غالبًا مع الإنزيمات كجزء من برنامج أوسع، وليس كحل منفرد [1].

الحد الثاني هو أن الاستجابة قد تختلف بين لب وآخر. اللب الميكانيكي، اللب الكيميائي، اللب الحراري الميكانيكي، وألياف الورق المعاد تدويره تختلف في نوع المستخلصات، تاريخ المعالجة، الشحنة السطحية، والمواد المضافة. حتى داخل مصنع واحد، قد يتغير تركيب الملوثات بتغير مصدر الخشب أو خليط الورق المسترجع. لهذا السبب تُعد نتائج الدراسات المباشرة مفيدة لفهم الآلية والاتجاه، لكنها لا تسمح بتعميم نتيجة رقمية واحدة على كل خطوط الإنتاج [3].

الحد الثالث يرتبط ببيئة التشغيل. البروتينات الإنزيمية قد تتأثر بالقص الشديد، بقايا مؤكسدات، أملاح معينة، مواد حافظة، أو تفاعلات سطحية مع الألياف والمواد الغروية. وفي دراسة حديثة عن تأثير الأيونات والمكونات منخفضة الكتلة الجزيئية في مصانع لب الكبريتيت، تبيّن أن البيئة الكيميائية المحيطة قد تقلل أو تعزز نشاط الليبازات تجاه المستخلصات المحبة للدهن [7]. لذلك لا يكفي وصف الإنزيم بأنه قلوي؛ بل يجب فهمه ضمن كيمياء النظام الفعلية.

ما الذي تعنيه "القلوية" عمليًا دون تحويلها إلى مواصفة تشغيلية؟

القلوية في اسم المنتج تشير إلى ملاءمة عامة لبيئات تميل إلى القلوية مقارنة بليبازات موجهة لظروف متعادلة أو حمضية. في صناعة الورق، هذه الصفة مهمة لأن مراحل مثل إزالة الأحبار والتفكيك والغسل قد تحتوي على قلوية ومواد خافضة للتوتر السطحي ومشتتات. ومع ذلك، لا ينبغي تحويل كلمة "قلوي" إلى افتراض بأن الإنزيم سيقاوم كل ظروف كيميائية قاسية أو كل تركيبة تشغيلية [6].

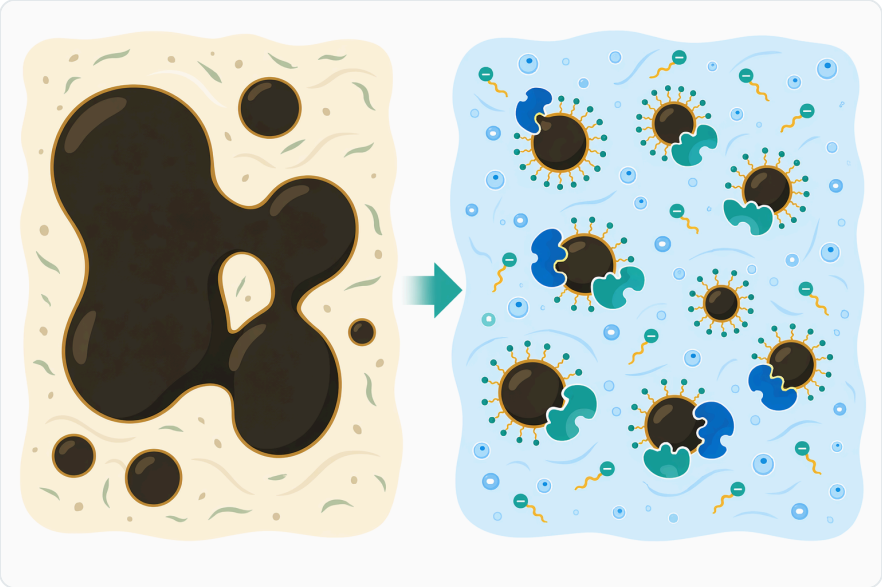

Figure 5. 알칼리 조건에서는 지방산 가수분해 산물이 원래의 중성 트리글리세리드가 풍부한 방울보다 더 이온화되고 분산되기 쉬워질 수 있다.

دراسات الليبازات القلوية الحديثة تركّز غالبًا على الثبات في البيئات القلوية أو الحرارية أو في وجود مذيبات أو منظفات، لأن هذه الخصائص تحدد قابلية الإنزيم للاستخدام الصناعي. على سبيل المثال، أظهرت أبحاث عن ليباز حراري-قلوي جديد من **Geobacillus** اهتمامًا بالثبات في ظروف صناعية صعبة، بما في ذلك الاستقرار تجاه بعض البيئات غير المثالية [17]. ورغم أن هذه الدراسات ليست جميعها عن الورق واللب، فإنها توضح لماذا يبحث قطاع الورق عن ليبازات قلوية بدل ليبازات حساسة لظروف المعالجة.

في التطبيق الورقي، المعنى العملي هو أن الليباز القلوي يُفترض أن يكون أكثر ملاءمة لمراحل ذات قلوية من ليباز مخصص لوسط آخر، لكن أداءه النهائي يبقى مرتبطًا بتركيب اللب والمياه البيضاء والمواد المضافة. لذلك تُقرأ وثائق المنتج المرفقة مع الطلب، مثل CoA وSDS، بوصفها وثائق داعمة للهوية والسلامة والدفعة، لا كضمان بأن كل خط إنتاج سيعطي النتيجة نفسها.

نقاط إضافة محتملة داخل العملية دون افتراض بروتوكول واحد

يمكن إدخال الليباز القلوي في نقاط مختلفة حسب الهدف. إذا كان الهدف هو تقليل مكونات دهنية في ألياف معاد تدويرها، فقد يكون الموضع المنطقي قريبًا من مرحلة التفكيك أو قبل الغسل والتعويم، حيث تكون الملوثات قد تحررت جزئيًا من الورق وتصبح أكثر تعرضًا للتفاعل. وإذا كان الهدف هو التحكم في pitch في المياه البيضاء، فقد يكون التلامس مع تيار مائي غني بالجسيمات الهيدروفوبية هو العامل الحاسم [4].

في اللب الميكانيكي أو الحراري الميكانيكي، قد يكون الهدف تقليل أثر المستخلصات الخشبية قبل أن تتراكم في الدارة أو على معدات الورق. وقد درست أعمال التحكم في pitch في اللب الحراري الميكانيكي وصناعة الورق المعالجة الإنزيمية بوصفها طريقة لتغيير سلوك المستخلصات وتقليل المشكلات التشغيلية المرتبطة بها [1]. غير أن الموضع الأمثل لا يكون ثابتًا بين المصانع لأن زمن التلامس، القص، توزيع الجسيمات، ونظام المياه تختلف من خط إلى آخر.

في جميع الحالات، يحتاج الإنزيم إلى تلامس حقيقي مع الركيزة الدهنية. فإذا كانت المكونات الدهنية محجوبة داخل جسيمات لاصقة كبيرة، أو مرتبطة بقوة بمواد غير قابلة للنفاذ، أو مفصولة سريعًا قبل حدوث التفاعل، فقد تنخفض الفائدة. لذلك لا تُفهم إضافة الليباز كإضافة كيميائية فورية، بل كتحفيز حيوي يحتاج إلى فرصة للوصول إلى السطح المستهدف والتفاعل معه [5].

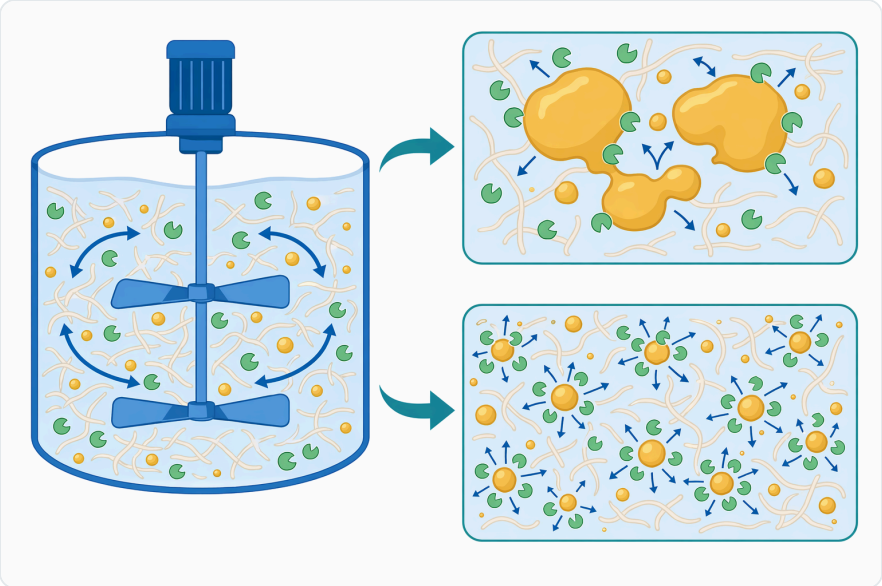

Figure 6. 리파아제의 성능은 물-지질 계면에서의 접촉에 달려 있으므로, 혼합 과 방울 분산은 접근 가능한 기질 표면적을 증가시킨다.

الأثر المتوقع على جودة الورق واستقرار التشغيل

عندما ينجح الليباز القلوي في تقليل الجزء الدهني من الملوثات، يمكن أن تظهر الفائدة في صورة انخفاض ميل بعض الرواسب إلى الالتصاق، تحسن نظافة الدارة، أو دعم فصل الملوثات في مراحل الغسل والتعويم. هذه الفوائد قد تنعكس على ثبات التشغيل وتقليل حدوث البقع أو العيوب المرتبطة بجسيمات هيدروفوبية، لكن حجم

الأثر يعتمد على نسبة المكونات القابلة للتحلل ضمن الرواسب [18].

الدراسة الكلاسيكية حول التحكم الإنزيمي في pitch في عملية صناعة الورق تُعد من الأدلة المبكرة على أن استهداف المكونات الدهنية إنزيميًا يمكن أن يكون ذا صلة صناعية، لا مجرد مفهوم مخبري [18]. ومنذ ذلك الوقت، توسعت الأدبيات لتشمل تثبيت الليباز، الجمع مع عوامل أخرى، واستخدام إنزيمات هجينة في إزالة الأحبار، مما يؤكد أن دور الليباز في الورق واللب تطور ضمن اتجاه أوسع لاستخدام محفزات حيوية أكثر انتقائية [9].

مع ذلك، ينبغي تجنب الوعود المطلقة. فإذا كانت العيوب في الورق ناتجة عن رغوة، شحنة غير متوازنة، ترسبات معدنية، ألياف دقيقة، أو خلل في نظام الاحتجاز، فلن يكون الليباز هو العامل الحاسم. قوته تكمن في الملوثات الدهنية والإسترية، أما بقية المشكلات فتحتاج إلى أدوات مختلفة داخل برنامج تشغيل متكامل [8].

الاستدامة وكفاءة الموارد: أين يدخل الليباز القلوي؟

تتجه صناعة الورق واللب إلى تقليل الفاقد، تحسين إعادة استخدام المياه، وخفض الاعتماد على المعالجات الكيميائية العامة عندما تكون البدائل الانتقائية مناسبة. التكنولوجيا الحيوية في هذا القطاع تشمل إنزيمات متعددة لتحسين التبييض، التكرير، إزالة الأحبار، التحكم في الرواسب، ومعالجة الجوانب البيئية للعملية [8].

في هذا الإطار، يمثل الليباز القلوي أداة دقيقة لمعالجة جزء محدد من المشكلة: الدهون والزيوت والإسترات. هذه الدقة قد تسمح بتقليل شدة بعض المعالجات أو تحسين كفاءتها، لكنها لا تعني إلغاء الكيمياء الصناعية أو الاستغناء عن التحكم التشغيلي. فالإنزيم لا يغيّر ميزان الطاقة أو المياه وحده، بل يضيف وظيفة حيوية يمكن أن تساعد عندما تكون المواد الدهنية سببًا فعليًا للمشكلة [2].

تزداد أهمية هذا المنطق في الدارات المغلقة أو شبه المغلقة، حيث تصبح إدارة الملوثات الدقيقة أكثر حساسية. فكلما زاد تدوير المياه، زادت الحاجة إلى أدوات انتقائية تمنع تراكم مواد معينة دون تعطيل بقية النظام. وقد دعمت دراسات المياه البيضاء وpitch هذا الاتجاه عبر استكشاف معالجات حيوية وإنزيمية للملوثات الهيدروفوبية ضمن بيئات قريبة من واقع صناعة الورق [4].

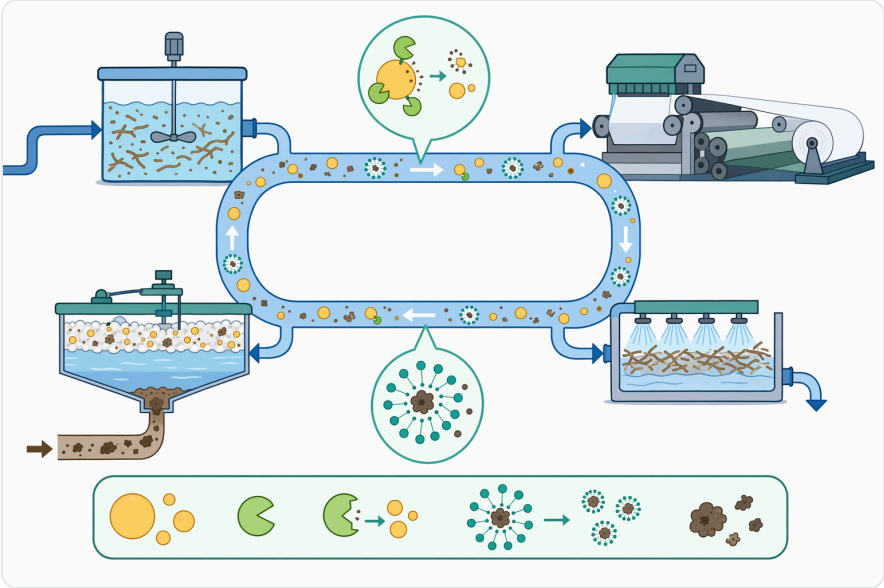

Figure 7. 리파아제는 지질의 화학적 성질을 변화시키지만, 변형된 오염물이 .어디로 이동하는지는 계면활성제, 백수 조건, 세척, 부상이 결정한다

معلومات المنتج من Enzymes.bio

Alkaline Lipase Paper And Pulp Processing هو منتج إنزيمي موجه لدعم تطبيقات الورق واللب المرتبطة بالملوثات الدهنية والزيتية في الأوساط القلوية. يُستخدم مفهومه التطبيقي في سياقات مثل التحكم في pitch، دعم إدارة المياه البيضاء، والمساعدة في مراحل إزالة الأحبار عندما تكون الملوثات ذات طبيعة قابلة للتحلل بواسطة الليباز.

Enzymes.bio تعمل كمورّد للمنتج وليست جهة مصنّعة أو مختبر اختبار أو تطوير. المنتج متاح للشراء مباشرة عبر الإنترنت بوحدة **1kg**، وتُرفق مع الطلب وثائق **CoA** و**SDS**. تساعد هذه الوثائق على دعم التعرف إلى الدفعة ومعلومات السلامة، بينما يبقى الأداء العملي مرتبطًا بنوع اللب، تركيب الملوثات، ونقطة الاستخدام داخل العملية.

خلاصة تقنية

الليباز القلوي في معالجة الورق واللب أداة حيوية متخصصة لاستهداف الدهون والزيوت والإسترات التي تسهم في بعض مشكلات pitch وstickies وإزالة الأحبار. تدعم الأدبيات استخدام الليبازات في التحكم في pitch، بما في ذلك دراسات عن المعالجة الإنزيمية في اللب الحراري الميكانيكي، تثبيت الليباز لمعالجة المياه البيضاء، والجمع بين الليباز وعوامل أخرى في أنظمة التحكم بالرواسب [1].

القيمة العملية للإنزيم تظهر عندما تكون المشكلة مرتبطة بمكونات دهنية قابلة للتحلل، وعندما تكون ظروف العملية تسمح بتلامس الإنزيم مع تلك المكونات. أما إذا كانت الرواسب غير إسترية أو ناتجة عن بوليمرات مقاومة أو مكونات معدنية أو اضطرابات تشغيلية أخرى، فسيكون دور الليباز محدودًا. لذلك يُفضّل فهم **Alkaline Lipase**

Paper And Pulp Processing كجزء من استراتيجية انتقائية لإدارة الملوثات الهيدروفوبية، وليس كبديل شامل لكل برامج الكيمياء والتحكم في مصانع الورق [7].

اطلب Alkaline Lipase Paper And Pulp Processing 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 Alkaline Lipase Paper And Pulp Processing →

المراجع

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

1. Blanco, Á., Negro, C., Borch, K., Minning, S., Hannuksela, T., & Holmbom, B. (2005). Pitch Control in Thermomechanical Pulping and Papermaking by Enzymatic Treatments. *Appita Journal*, 58, 358-361.
2. Singh, G., Capalash, N., Kaur, K., Puri, S., & Sharma, P. (2016). Enzymes: Applications in Pulp and Paper Industry.
3. Farrell, R., Hata, K., & Wall, M. B. (1997). Solving pitch problems in pulp and Paper processes by the use of enzymes or fungi. *Advances in Biochemical Engineering \/ Biotechnology*, 57, 197-212.
4. Liu, K., Zhao, G., He, B., Chen, L., & Huang, L. (2012). IMMOBILIZATION OF LIPASE ON CHITOSAN BEADS FOR REMOVAL OF PITCH PARTICLES FROM WHITEWATER DURING PAPERMAKING. *Bioresources*, 7, 5460-5468.
5. Liu, M., Yang, S., Long, L., Wu, S., & Ding, S. (2017). The Enzymatic Deinking of Waste Papers by Engineered Bifunctional Chimeric Neutral Lipase – Endoglucanase. *Bioresources*, 12, 6812-6831.
6. Saengsanga, T., Siripornadulsil, W., & Siripornadulsil, S. (2016). Molecular and enzymatic characterization of alkaline lipase from Bacillus amyloliquefaciens E1PA isolated from lipid-rich food waste.. *Enzyme and Microbial Technology*, 82, 23-33 .
7. Huemer, M., Steiner, K., Bischof, R. H., Ribitsch, D., Guebitz, G., & Orozco, S. E. (2025). Ions and low molecular weight components in sulfite pulp mills strongly reduce or boost lipases activity on lipophilic wood extractives.. *International Journal of Biological Macromolecules*, 145853 .
8. Bajpai, P. (2018). Biotechnology for Pulp and Paper Processing. *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*.
9. Liu-lian, H. (2013). Study on Immobilization of Alkaline Lipase Used in Papermaking.
10. Liangliang, S., Zhao, G., & Xiaofeng, L. (2015). Pitch Control of Recycled Whitewater from Papermaking by Aspergillus oryzae. *Bioresources*, 10, 7232-7241.
11. 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.

12. Him, N. (2016). Purification of a Thermostable Lipase Geobacillus thermodenitrificans nr68 (Lip.nr-68) with Potential for Enzymatic Deinking. *Journal of Life Sciences*.

13. Singh, S., Singh, V., Aamir, M., Dubey, M., Patel, J., Upadhyay, R., & Gupta, V. (2016). Cellulase in Pulp and Paper Industry.

14. Ma, Q., & Yang, R. (2015). Alkaline Xylanase Produced by Trichoderma reesei: Application in Waste Paper Pulp Bleaching. *Bioresources*, 10, 8048-8057.

15. ジョウ, シャンドン, & ジェクス, パーシー (2013). How to use the combination of a lipase and the oxidant to the pitch control in papermaking processes and it by product.

16. P.雅克 (2013). Methods of using combinations of a lipase and an oxidant for pitch control in paper making processes and products thereof.

17. Salas-Bruggink, D., Guzmán, H. S., Espina, G., & Blamey, J. (2024). Recombinant Expression and Characterization of a Novel Thermo-Alkaline Lipase with Increased Solvent Stability from the Antarctic Thermophilic Bacterium Geobacillus sp. ID17. *International Journal of Molecular Sciences*, 25.

18. Fujita, Y., Awaji, H., Matsukura, M., & Hata, K. (1991). Enzymatic pitch control in papermaking process. *Japan Tappi Journal*, 45, 905-921.

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.