

## 리파이너 플레이트의 기하학적 특성에 의한

## 고해효율 평가 및 효소처리를 통한 고해 효율 향상

### Evaluation of Refining Efficiency Based on the Refiner Plates Geometry and its Improvement through Enzymatic Treatment

이학래, 서만석, 강태영, 허용대

서울대학교 농업생명과학대학 임산공학과

## 1. 서론

고해공정은 초지적성 개선과 종이물성 향상을 위한 필수공정이지만 초지공정 중 전기에너지를 가장 많이 사용하는 공정이기도하다. 따라서 고해공정의 최적화는 품질의 경쟁력 향상 뿐만 아니라 동력 절감을 위해서 매우 중요한 위치를 점하고 있다. 고해공정 최적화를 위해 여수도, 보수성, 미세 섬유 함량, 외부 피브릴화에 따른 변화 뿐 아니라 고해동력 분석이 실시되어야 한다. 고해효율을 평가하기 위해서는 리파이너 플레이트의 기하학적 특성에 의한 충격빈도와 단위 섬유당 전달되는 고해의 충격수, 외부에서 투입된 고해동력과 무부하 동력, 고해기의 속도, 유량의 흐름을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 34", 26"의 두 종류 리파이너를 사용하는 고해공정의 고해효율을 리파이너 플레이트의 인치컷 이론을 적용하여 평가하였으며, 고해충격강도와 비고해 에너지를 통하여 고해공정을 분석하였다. 또 이러한 분석 결과를 고해 후 펄프의 형상 및 여수도 변화 현상과 비교하여 리파이닝 공정의 상호관련성을 검토하고자 하였다. 고해동력 절감의 방안으로 효소에 의한 섬유처리를 실시하여 고해도와 인장강도, 압축강도, 내부결합강도의 향상을 통하여 고해공정의 개선 가능성을 확인하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

#### 2.1.1 리파이너 플레이트

현장에서 사용되고 있는 34"와 26" 두종류 리파이너 플레이트를 사용하였다.

## 2.1.2 공시펄프

34" 와 26" 리파이너에 의해 처리되는 현장 지료를 공시펄프로 사용하였다.

## 2.1.3 효소

효소는 Genencor社에서 제조한 Multifect A40을 사용하였으며 특성은 표 1과 같다.

Table 1. Characteristics of enzyme used for refining energy saving

Enzyme	Activity	pH range	Temperature(°C)	Remark
Multifect A40	2200 IU/g	4.0-7.0	40-65	Cellulase Hemicellulase

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 리파이너의 고해효율 평가

#### 2.2.1.1 IC/M의 평가

34" 와 26" 리파이너 플레이트의 바모서리 길이, 폭, 각도, 깊이의 기하학적 형태를 측정하였으며, 세그먼트를 분리한 후 각 zone의 바모서리의 총합과 고해기의 속도를 적용하여 식(1)에 의해서 IC/M을 산출하였다.

$$IC/M = 2[(BS1 \times BR1 \times L1) + \dots + (BSn \times BRn \times Ln)] \times RPM \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

*IC/M* : Inch contact per minute, inch/min

*BR1* : Number of bars in rotor, zone 1

*BS1* : Number of bars in stator, zone 1

*L1* : Length of bar, zone 1

*RPM* : Revolutions per minute

#### 2.2.1.2 RI(Refining impact) 평가

현장에서 각 리파이너의 유량 및 농도 자료로부터 단위원료 무게당 가해지는 인치컷을 식(2)에 의해서 산출하였다.

$$RI = \frac{IC/M}{F \times C} \dots \dots \dots (2)$$

*RI* : Refining impact, IC/g

*IC/M* : Inch contact per minute, inch/min

*F* : Volumetric flow, ℓ/min

*C* : Consistency of furnish

### 2.2.1.3 비모서리 부하(Specific edge load) 평가

리파이너에 의해서 소모되는 총동력, 무부하 동력 및 IC/M으로 부터 직접 고려하여 식(3)에 의해서 SEL을 산출하였다.

$$SEL = \frac{Pt - Pn}{\sum(BR \times BS \times \ell \times n)} \dots \dots \dots (3)$$

*SEL* : Specific edge load, J/m

*Pt* : Total absorbed refining power, kW

*Pn* : No load power, kW

*BR, BS* : Number of contact length of opposite bars, km

*ℓ* : Rotation speed, 1/s

### 2.2.1.4 비고해 에너지(Specific refining energy) 평가

고해기에 의해서 소모되는 총동력, 무부하동력 및 섬유의 mass flow를 이용하여 비고해 에너지를 식(4)에 의해서 평가하였다.

$$SRE = \frac{Pt - Pn}{F \times C} \dots \dots \dots (4)$$

*SRE* : Specific refining energy, J/g

*Pt* : Total absorbed refining power, kW

*Pn* : No load power, kW

*F* : Volumetric flow, ℓ/min

*C* : Consistency of furnish

## 2.2.2 효소처리

### 2.2.2.1 효소반응

현장지료를 고농도 펄퍼를 이용하여 농도 3.5%, 45℃의 온도조건에서 10분 동안 교반을 실시하여 해리 하였다. 증류수와 효소를 100:1의 비율로 희석한 후 고농도 펄퍼에서 충분히 해리 된 지료에 전건 섬유를 기준으로 효소를 첨가하여 45℃의 온도조건에서 2시간동안 반응을 진행하였다. 증류수와 효소를 100:1로 혼합한 이유는 효소의 균일한 섬유와의 반응을 위한 것이다.

### 2.2.2.2 섬유의 고해

실험실의 Valley beater를 이용하여 효소반응이 완료된 지료를 5분 동안 해리 후 45℃의 조건에서 현장의 여수도 조건을 고려하여 5, 10, 15분 동안 고해를 실시하였다.

### 2.2.2.3 종이 물성 평가

효소처리와 고해 처리한 지료로 수초된 종이를 TAPPI Standard T220 om-83와 T818 cm-97에 의거하여 인장강도, 압축강도, 내부결합강도를 평가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 고해효율의 평가

#### 3.1.1 IC/M

고해기의 고정날과 회전날의 분당 총교차 길이를 의미하는 IC/M은 고해의 중요한 변수로서 플레이트 바모서리 길이, 폭, 각도와 고해기 속도의 함수로 표현될 수 있다. 34" DDR과 26" DDR의 인치컷은 각각  $5.89 \times 10^8$  inch/min,  $2.16 \times 10^8$  inch/min로 34" DDR의 인치컷이 높았으며 섬유에 대한 충격빈도가 커져서 효율적인 고해가 이루어질 것으로 판단되었다.

#### 3.1.2 고해충격(Refining impact)

단위 섬유 g당 적용되는 인치컷은 34" DDR이 19,803 IC/g로서 9,499 IC/g인 26" DDR 보다 높았다. 26" DDR의 경우 바의 넓어서 총모서리의 길이가 감소하였기 때문에 효율성 측면에서 낮은 수치를 나타내었다.

### 3.1.3 비모서리 부하(Specific edge load)

SEL은 바의 모서리와 모서리가 서로 부딪힐 때 발생하는 고해의 충격강도(Refining intensity)로서 투입된 순에너지와 인치컷의 비율이다. 34" DDR, 26" DDR의 SEL은 각각 1.04 J/m, 1.37 J/m로 34" DDR이 낮은 SEL을 유지하였다. 34" DDR은 섬유의 단섬유화를 촉진시키는 것으로 나타나 리파이닝 작용이 주로 리파이너 바의 모서리에서 발생한다고 판단되었다.

### 3.1.4 비고해 에너지(Specific refining energy)

34" DDR, 26" DDR의 비고해 에너지는 각각 518 J/g, 330 J/g으로 34" DDR이 높게 나타났다. 비고해 에너지는 리파이너의 속도, 무부하 동력, 인치컷, SEL의 영향을 받으며 영향을 미치게 되며 비고해 에너지가 높을 경우 단섬유화가 일어날 가능성이 높으며 고해효율이 감소하게 된다.

## 3.2 효소처리에 따른 종이의 물성

Fig. 1은 효소 첨가량과 고해시간에 따른 인장강도 변화로서 0.025%, 0.050% 첨가량에서 컨트롤 보다 인장강도가 향상되었으며 특히 효소첨가량이 0.025%인 경우 우수한 인장강도를 나타내었다. 이러한 결과는 효소 전처리 후 고해를 실시할 경우 섬유의 유연성 향상과 피블릴화가 촉진되기 때문으로 생각된다. Fig. 2-3은 압축강도와 내부결합강도를 나타낸 결과이며 효소투입에 비례하여 증가하는 양상을 나타내었다. 효소 첨가에 따라 섬유의 유연성 및 섬유간 결합 면적이 증가하여 종이의 밀도를 증가시키며 이에 따라 강도적 특성이 향상됨을 확인하였다.

## 4. 결 론

고해공정의 최적화를 위하여 리파이너 플레이트의 기하학적 특성에 의한 고해효율 평가결과 26" DDR의 경우 인치컷이 낮아 고해효율 향상을 위해서 플레이트 개선이 요청되었다. 34" DDR의 경우 충격빈도가 높고 비모서리 부하가 낮게 유지되었지만 비고해 에너지가 높게 설정되어 단섬유화가 진행되었으며 고해효율이 낮게 평가되었다. 고해동력 절감의 방안으로 효소에 의한 섬유처리 기술의 효과를 평가하였으며 그 결과 0.025%의 효소를 첨가한 후 2시간의 효소반응을 통하여 종이의 인장강도, 압축강도, 내부결합강도가 향상되어 고해공정의 개선 가능성을 확인하였다.

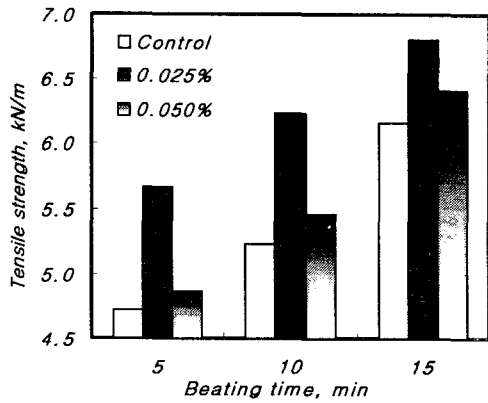


Fig. 1. Effect of enzymatic treatment on tensile strength.

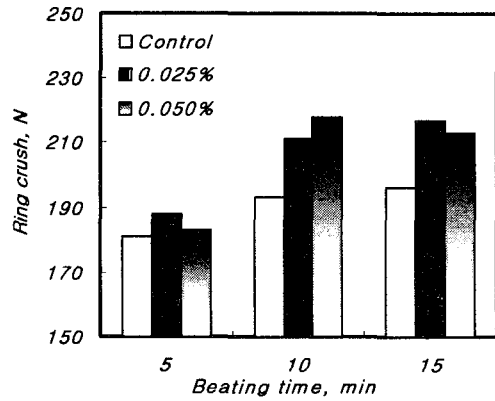


Fig. 2. Effect of enzymatic treatment on ring crush test.

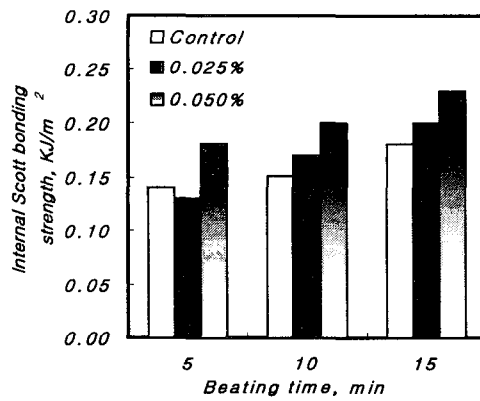


Fig. 3. Effect of enzymatic treatment on internal Scott bonding strength.

## 인용문헌

1. Xingsheng, Q., A mechanistic model for predicting pulp properties from refining operating conditions, *Tappi J.*, Vol. 78, No.4 : 215-222, 1995
2. Seth, R.S., Beating and refining response of some reinforcement pulps, *Tappi J.*, Vol. 82, No. 3 : 147-155, 1999
3. Wei, S. and Jeffery, H., The effect of TMP refining using an adjustable-speed drive on energy consumption and pulp quality, *Tappi J.*, Vol. 77, No. 9 : 111-117, 1994
4. Thomas, W. J., Enzymatic modifications of secondary fiber, *Tappi J.*, Vol. 76, No. 3 : 147-159, 1993

