

## Trichoderma reesei Rut C-30 유래 cellulase에 의한 고급폐지재생에 관한 연구

한우석 · 구윤모<sup>†</sup>

인하대학교 공과대학 생물공학과  
(1998년 4월 4일 접수, 1998년 7월 13일 채택)

### Studies on Office-Waste Paper Recycling Using Cellulase from *Trichoderma reesei* Rut C-30

Woo-Seok Han, Yoon-Mo Koo<sup>†</sup>

Department of Biological Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea  
(Received 4 April 1998; accepted 13 July 1998)

#### 요 약

본 연구에서는 *Trichoderma reesei* Rut C-30에서 생산된 crude cellulase를 이용하여 고급폐지 탈묵공정을 수행하였으며, 상업용 탈묵효소인 Novozym 342를 사용하는 효소적 탈묵공정과 가성소다를 이용하는 화학적 탈묵공정과 비교 실험을 수행하였다. Crude cellulase 농도에 따른 탈묵효율은 CMCase activity 기준 2 units/g Oven Dry Paper에서 백색도(brightness)와 여수도(freeness)가 최대값을 보였다. 물리적 강도의 경우, 여수도와 백색도의 결과와 비슷한 양상을 보였으나, 이 농도 이상의 효소를 사용한 경우 물리적 강도가 감소하는 것을 보였다. 그러나 수율은 효소농도 증가에 따라 서 지속적으로 감소하는 양상을 보였다. Novozym 342 또는 가성소다를 사용하는 화학적 탈묵공정과 비교 실험에서는 Novozym 342에 비해 백색도와 여수도가 우수하였으며, 가성소다를 사용하는 기존의 탈묵공정에 비해서는 탈묵효과 및 물리적 강도가 우수하였다. 그러나 수율면에서는 Novozym 342와 기존의 탈묵공정에 비해서 낮은 결과를 나타냈다. Cellulase에 의한 탈묵공정에서 탈묵효율에 큰 영향을 주는 endo성분과 exo성분의 조합비율은 본 실험에서 생산된 crude cellulase의 경우 상업적으로 생산되는 탈묵효소와 비슷한 조합 비율을 보이고 있으며, 이에 근거한 경제성있는 탈묵용 효소로서의 응용을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

**Abstract**—Deinking of office-waste paper using crude cellulase from *Trichoderma reesei* Rut C-30 was studied, and compared with enzymatic deinking with commercial enzyme, Novozym 342, and conventional chemical deinking method using sodium hydroxide. Maximum brightness and freeness were obtained when 2 units of the crude cellulase(CMCase activity unit) was used per gram oven dry paper. Physical strengths of the pulp, deinked with crude cellulase, showed similar behaviors with the brightness and the freeness, but decreased at higher crude cellulase concentration. The recovery yield decreased with the increase of crude cellulase concentration. The brightness and the freeness of deinked pulp using Rut C-30 crude cellulase were better than those using Novozym 342. Enzymatic deinking method gave better results than conventional chemical deinking method in deinking efficiency and physical strengths of deinked pulp. The ratio of endoglucanase and exoglucanase of crude cellulase, known to be an important parameter in determining deinking efficiency and the physical properties, was comparable to that of commercial enzyme.

Key words : Cellulase, Enzymatic Deinking, CMCase Activity, Endo- $\beta$ -1,4-Glucanase, Exo- $\beta$ -1,4-Glucanase

#### 1. 서 론

지구상에서 인류가 당면하고 있는 가장 큰 문제는 자원의 고갈과 환경오염문제라고 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 전 세계적으로 이루어지고 있는 연구의 주된 중심과제는 자원의 효율적인 재활용과 환경친화적인 공정기술의 개발이다. 폐지의 재활용 또

한 고갈되어 가고 있는 지구 산림자원의 보호라는 측면에서 이미 몇몇 선진국에서는 심도있는 연구가 이루어지고 있다. 펄프 및 제지산업에서의 효소의 이용은 이미 오래전부터 활발한 연구가 진행되고 있으며, 효소의 기능으로는 펄프의 표백, 고지재생시의 탈묵, 리그닌의 제거, 왜목 펄프 제조시 사용되는 목재의 유연화, pitch control 등이 있고, 사용되는 효소는 cellulase, hemicellulase, xylanase, laccase, lipase, peroxidase 등이 보고되고 있다[1, 2]. 이러한 효소의 기능으로 인하여 몇몇 선진국에서는 일부 효소의 상업적 이용이 보고되고 있

<sup>†</sup>E-mail : ymkoo@inha.ac.kr

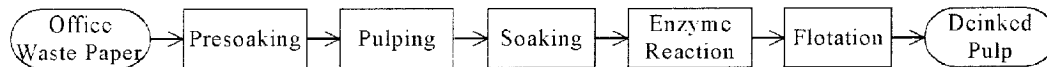


Fig. 1. Schematic diagram of enzymatic deinking process.

으며, 특히 환경 친화적인 기술 개발의 필요성이 대두되고 있는 미래형 펄프 및 제지산업에서의 효소의 이용은 더욱 늘어날 것으로 사료된다. 최근 들어 복사기와 프린터 등 사무용 기기의 대량 보급으로 인해 사무실에서 발생하는 고급폐지의 양은 해마다 증가하고 있으며, 이러한 사무용 고급폐지는 수거 및 분류가 용이하고, 무엇보다도 양질의 천연펄프로 제조되었기 때문에 재생 후에도 양질의 재생펄프를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 이에 사무용 고급폐지의 재생 방법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 향상된 인쇄기술의 보급과 인쇄시 높은 열을 이용하여 종이의 표면에 잉크입자를 정착시키는 toner의 사용으로 인하여 가성소다를 주로 이용하는 기존의 탈묵방법으로는 잉크의 효율적인 제거가 용이하지 않으며, 이러한 문제를 해결하기 위해서 고급폐지의 탈묵공정에 효소를 사용하는 연구결과가 보고되고 있다[3-7]. 이들 보고에 의하면 탈묵공정시 효소의 사용으로 얻을 수 있는 장점은 재생펄프의 강도와 백색도가 기존의 가성소다를 이용하는 탈묵방법에 비해서 우수하다는 것이다[3]. 특히 효소에 의한 bleaching effect를 보고하고 있으며, 이는 기존의 가성소다를 사용하는 탈묵방법의 문제점인 재생펄프의 황변 현상을 해결하기 위한 표백제의 과다 사용으로 인한 수질오염 문제를 감소시키는 효과를 기대할 수 있다[8].

고지의 탈묵시 사용되는 효소는 주로 cellulase 및 xylanase가 보고되고 있으며[1,2], 특히 cellulase에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Cellulase는 여러 bacteria 및 곰팡이류에서 생산되고 있으며, 특히 soft rot fungus의 일종인 *Trichoderma* sp.에서 생산되는 cellulase의 경우 활성이 높은 것으로 보고되고 있다. Cellulase는 cellulose chain을 무작위적으로 가수분해하여 cellobiose와 glucose를 생성하는 endo- $\beta$ -1,4-glucanase(CMCase)와 cellulose chain의 비환원성 말단에 작용하여 cellobiose를 생성하는 exo- $\beta$ -1,4-glucanase(Avicelase) 및 cellobiose를 분해하여 glucose를 생성하는  $\beta$ -glucosidase(Cellobiase)로 구성되어 있는 multi-enzyme이다[9,10]. Jeffries 등[3]에 의하면 cellulase에 의한 탈묵 효과는 섬유소 가수분해시 섬유소 표면에 강하게 흡착되어 있는 잉크 입자가 제거되는 peeling effect로 설명되고, cellulase는 섬유소의 표면에 흡착하기 때문에 제거된 잉크 입자의 재부착을 방해하여 부유법 및 세척법에 의한 잉크입자의 배출을 용이하게 한다고 보고하고 있다. 또한 김 등[11]은 *Trichoderma viride*에서 분리한 endo- $\beta$ -1,4-glucanase와 exo- $\beta$ -1,4-glucanase를 사용한 고지탈묵시 endo- $\beta$ -1,4-glucanase와 exo- $\beta$ -1,4-glucanase의 synergism에 의한 탈묵효과를 보고하고 있다. 탈묵공정에 사용되는 cellulase의 조합 비율이 탈묵 효율, 수율 및 재생지의 물성 향상에 영향을 주는 중요한 요소임을 보이고 있다[17]. 이러한 탈묵효과 이외에 탈묵공정시 효소의 사용은 폐지재생 공정상에서 섬유소의 효율적인 분산을 위해서 사용되고 있는 sodium silicate 등의 사용으로 인한 scaling 문제를 해결할 수 있고, 여수도의 향상으로 인한 공정의 효율성 및 재생펄프의 강도의 향상을 가져온다[13-16].

본 연구에서는, cellulase 활성이 우수한 *Trichoderma reesei* Rut C-30에서 분리한 crude cellulase를 이용하여, 고급폐지의 탈묵공정 및 고지의 물리적 강도와 백색도 및 여수도에 미치는 영향에 관하여 연구하였으며, 기존의 가성소다를 이용하는 탈묵방법 및 상업적으로 시판되고 있는 효소를 사용하는 탈묵방법과 탈묵 특성을 상호 비교 연구하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 사용효소

본 연구에 사용한 cellulase는 *Trichoderma reesei* Rut C-30을 fermenter(2 L, Korea Fermenter Co.)에서 배양하여 얻은 culture broth에 ammonium sulfate를 65%(W/V) 첨가하여 침전시켜 얻은 crude cellulase를 사용하였으며, cellulase activity 측정을 위하여 CMCase activity 측정방법을 이용하였다[16]. CMCase activity의 측정은 0.1 M sodium acetate buffer(pH 5.0) 용액에 녹인 1%(W/V) CMC용액 0.5 ml에 효소 용액 0.5 ml를 가하고 50 °C에서 10분 동안 반응시킨 후 DNS reagent 3 ml를 가하고, 끓는 물에서 5분간 발색반응을 거쳐 2 ml의 증류수를 넣고 냉각시킨 후, 분광광도계를 이용하여 540 nm에서의 흡광도를 측정하여 환원당을 정량하여 endo- $\beta$ -1,4-glucanase의 농도를 측정하였다. 환원당 정량시 기준물질로는 glucose를 사용하였다. 탈묵공정에 이용되는 효소의 기준량을 CMCase activity의 unit을 기준으로 하였다. CMCase activity가 최대가 되는 조건을 알아보기 위해서 pH와 온도에 따른 CMCase activity를 각각 측정하였다. 효소의 unit은 1분 동안 1  $\mu$ mole의 환원당(포도당)을 생산할 수 있는 효소의 양으로 정의된다. 생산된 효소의 탈묵효율을 비교하기 위해서 상업적으로 생산되고 있는 Novozym 342(Novo Nordisk Co.)를 이용하였다. Endo 성분과 exo 성분의 조합비를 알아보기 위해서 CMCase activity 및 Avicelase activity를 측정하였으며, Avicelase activity는 Beldman 등의 방법[18]에 따라 측정하였으며, 환원당의 정량법으로 DNS reagent를 이용하였다.

### 2-2. 탈묵공정

본 연구에 사용된 지료는 white ledger 재질의 복사 용지(Hansol Co.)를 사용하였으며, Laser printer(Hewlett Packard Co.)를 이용하여 균일하게 양면 복사하였다. Fig. 1은 전체적인 탈묵공정의 흐름도를 보여주고 있다. Dry oven에서 건조된 건조지료(Oven Dry Paper; ODP) 30 g을 0.1 M sodium acetate buffer(pH 5.0) 용액 1 L에 침적하여 펄프농도(consistency)가 3%(W/V)가 되도록 한 후 표준해리기(TAPPI standard)에 넣어 펄핑하였다. 펄핑시 건조지료 기준으로 0.2 %/gODP(V/W)의 계면활성제를 넣어 기계적 펄핑에 의한 잉크의 박리가 용이하도록 하고, 펄핑 후 균일한 교반이 이루어질 수 있도록 제작된 반응기에 넣고 50 °C에서 효소를 첨가하여 40 min 동안 반응하였다. 효소반응을 거친 펄프는 0.8%(W/V)의 농도가 되도록 희석한 후 실험실에서 제작된 flotation cell(0.85 L)에 넣어 분리된 toner 입자를 제거하였다. 효소 탈묵공정의 조건은 Table 1에 나타내었다. 생산된 효소의 사용량은 CMCase activity를 기준으로 0-3 unit/gODP이 되도록 첨가하여 각 사용량에 따른 탈묵 효율 및 물리적 강도의 변화를 살펴보았다. Novozym 342를 이용한 탈묵시 모든 조건은 생산 효소의 탈묵공정과 동일하게 유지하였으며, 효소 사용량의 경우는 information sheet에서 요구하는 사용량인 0.1 %/gODP(V/W)으로

Table 1. Pulping, enzyme reaction and flotation conditions in enzymatic deinking process

| Process         | Consistency (%) | Temperature (°C) | Time (min) | Air flow rate (L/min) |
|-----------------|-----------------|------------------|------------|-----------------------|
| Pulping         | 3               | 50               | 15         | -                     |
| Enzyme reaction | 3               | 50               | 40         | -                     |
| Flotation       | 0.8             | 40               | 5          | 1.5                   |

하였다. Control 실험의 경우 모든 조건은 효소를 이용하는 탈묵공정의 조건과 동일하게 유지하되 단지 효소를 첨가하지 않고 탈묵공정을 수행하였으며, 가성소다를 이용하는 기존의 탈묵공정은 가성소다 1%/gODP, sodium silicate 3%/gODP, hydrogen peroxide 1%/gODP을 첨가하여 탈묵하였다. 각각의 공정을 거친 펄프는 TAPPI standard T 205 sp-95에 준하여 목표 평량 100 g/m<sup>2</sup>가 되도록 수초지를 제조하고, 백색도 및 물리적 강도를 측정하였다. Blank는 펄핑과정을 거친 펄프를 flotation cell에서 탈묵을 거치지 않고 수초지로 제조된 것으로 하였고, control은 효소 탈묵공정과 동일한 탈묵조건을 유지하고 효소를 첨가하지 않은 것으로 하였다.

### 2-3. 여수도(CSF), 백색도(Brightness) 및 물리적 강도의 측정

여수도의 측정은 Canadian Standard Freeness meter를 이용하여 측정하였다. 수초지의 백색도는 Hunter Brightness meter를 이용하여

측정하였으며, 물리적 강도의 경우 파열지수(Burst Index), 인장지수(Tensile Index) 및 인열지수(Tear Index)를 각각 TAPPI standard T 403 om-91, T om-88 및 T om-88의 방법에 의해서 각각의 강도를 측정한 후, 수초지의 평량으로 나누어 계산하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. Cellulase 농도에 의한 여수도, 백색도 및 물리적 강도의 변화

효소의 활성에 pH 및 온도는 큰 영향을 미치며, 효소 탈묵공정에 사용되는 *Trichoderma reesei* Rut C-30 유래의 cellulase의 pH와 온도에 따른 최적 반응 조건을 Fig. 2와 3에 나타내었다. CMCase activity를 기준으로 하는 crude cellulase의 활성은 pH 5와 50 °C에서 최대를 보이고 있다. CMCase와 Avicelase activity의 비율로 나타낸 endo, exo 성분비는 crude cellulase의 경우 27.6:1이었으며, Novozym 342의 경우 32.2:1이었다. 생산된 crude cellulase의 농도에 따른 여수도

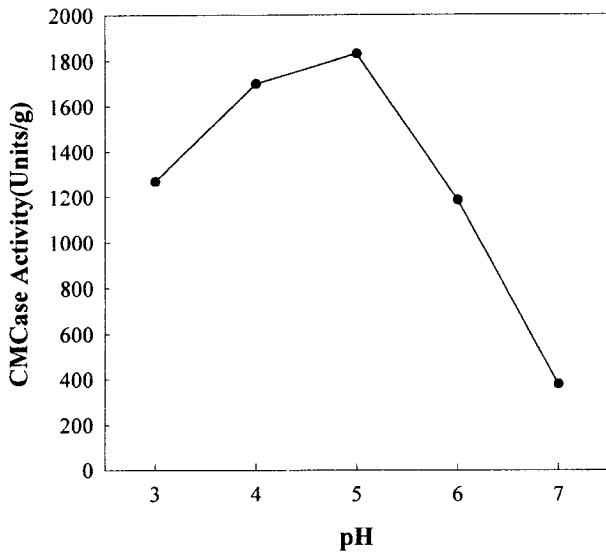


Fig. 2. Enzyme activity variation of crude cellulase from *Trichoderma reesei* Rut C-30 at different pH.

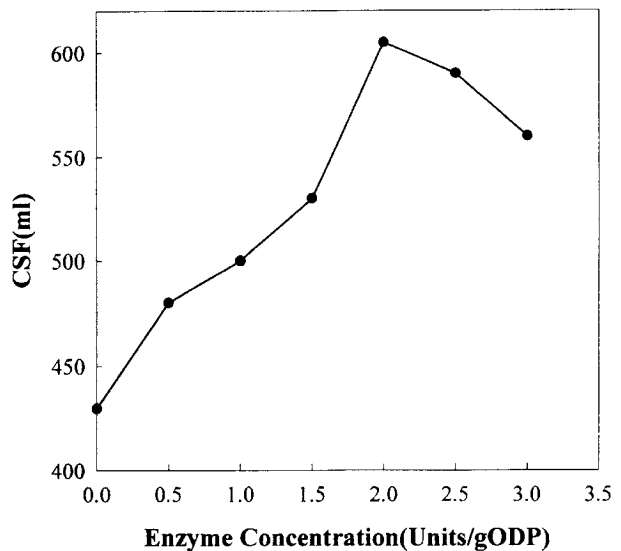


Fig. 4. Freeness with varying amounts of enzyme.

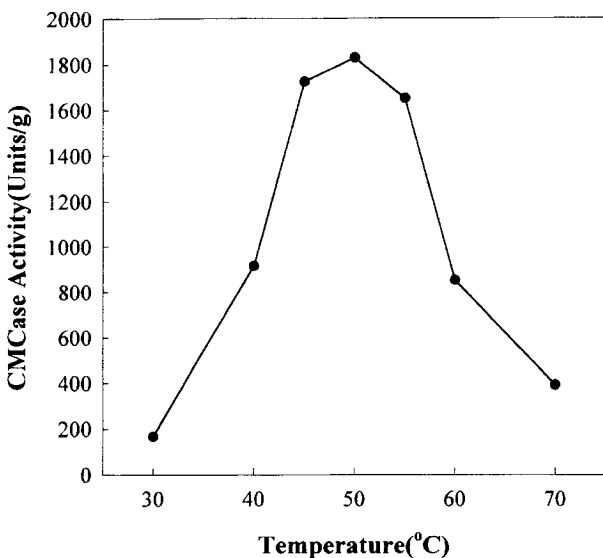


Fig. 3. Enzyme activity variation of crude cellulase from *Trichoderma reesei* Rut C-30 at different temperature.

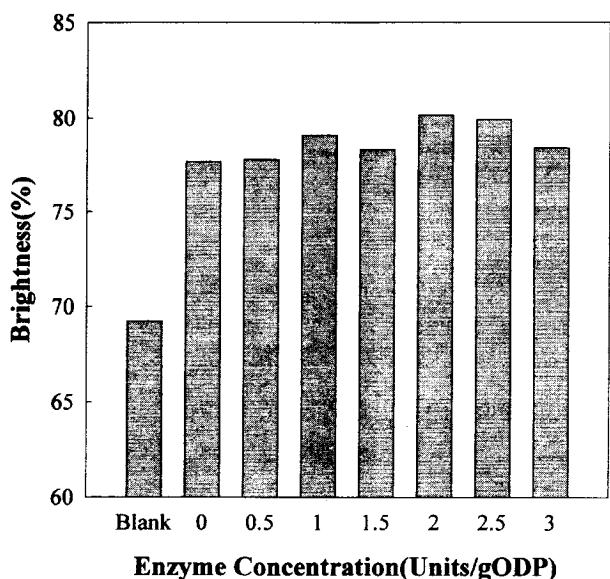


Fig. 5. Brightness with varying amounts of enzyme.

와 백색도의 변화를 Fig. 4와 5에서 각각 나타내었다. 여수도는 펄프 및 제지 산업에서 공업 용수의 흐름에 대한 저항정도를 나타내기 때문에 공정상에서 중요한 요소로 여겨지고 있다. 공정상에서 여수도의 감소는 미세섬유, fillers, 오염물과 색소 등의 적체 현상을 가져오며 이는 펄프의 강도를 감소시키는 요인으로 보고되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 cellulase를 이용한 Sarkar 등[13]에 의하면 여수도의 증가에 cellulase가 기여를 하나, 효소의 과다한 사용과 장시간의 효소 반응은 오히려 펄프의 강도를 감소시키는 것으로 보고하고 있다. 백색도의 증가는 고지 재생시 표백제의 사용량을 줄임으로써 수질오염의 감소 효과를 기대할 수 있다. 실험결과에 의하면 효소농도가 증가함에 따라서 여수도와 백색도가 함께 증가하다가 CMCase activity를 기준으로한 cellulase농도 2 unit/gODP 이상의 효소가 첨가되어 탈목을 수행할 경우 점차 감소함을 보였다. 이러한 결과는 cellulase를 이용하여 탈목을 수행하였던 기존의 연구 결과와 일치함을 보였다[4, 11]. 김 등[11]에 의하면 효소의 농도가 증가함에 따른 효소, 분리된 잉크입자, 미세섬유간의 hydrophobic interaction의 증가에 의해서 부상부유시 잉크입자가 효율적으로 배출되지 못하기 때문인 것으로 보고하고 있다. Laser-printed toner의 경우 입자의 크기가 매우 작고 수지 성분을 포함하고 있기 때문에 미세섬유와의 hydrophobic interaction에 의한 toner 입자와 미세섬유와 효소 상호간의 결집으로 인하여 부상부유시 toner 입자의 효율적인 제거가 기존에 사용되는 잉크에 비해서 어려울 것으로 생각된다. Toner 입자는 cellulose의 비결정성 부위와 결정성 부위에 모두 존재하나 펄핑시 결정성 부위에 존재하는 toner 입자의 경우 펄퍼내의 기계적 마찰력에 의해서 비결정 부위에 존재하는 toner 입자에 비해서 쉽게 분리가 이루어질 것으로 생각되며, cellulase에 의한 백색도의 증가는 비결정성 부위를 가수분해하는 endo- $\beta$ -1,4-glucanase에 의해서 크게 영향을 받을 것으로 생각된다. 재생 펄프의 수율과 물리적 강도는 Table 2에 나타내었다. 수율의 경우 효소농도의 증가에 따라서 점차 감소하는 것을 보이고 있는데 이는 효소 농도가 증가함에 따라서 미세섬유량이 증가하여 부상부유시 쉽게 제거되기 때문인 것으로 생각되며 펄프의 물리적 강도 또한 전술한 바와 같이 여수도와 백색도의 감소와 비슷한 양상을 보이고 있다. 파열지수와 인장지수의 경우 효소농도 2 units/gODP에서 최대를 보이며 인열지수의 경우 효소농도 1 unit/gODP에서 최대를 보이고 있다. 이러한 결과는 김 등[11]이 보고하였던 결과와 유사함을 보이고 있으나 인장지수의 지속적인 감소를 보였던 결과와는 약간의 차이를 보이고 있다. Endo- $\beta$ -1,4-glucanase에 의한 섬유내 비결정성 부위의 분해에 의한 미세섬유량의 증가와 이에 따른 장섬유량의 감소를 유도하며, 이는 미세섬유의 증가에 의한 인장강도의 증가와 장섬유의 감소로 인한 인장강도의 감소를 유도하나 미세섬유는 부상 부유시 잉크입자와 함께 쉽게 제거되므로 효

소농도의 증가에 따라서 인장강도가 떨어지는 것으로 보고하고 있으나, 부유 공정에서의 부유 조건인 공기의 유속, 부유기 구조, 펄프 농도, 계면활성제 및 toner 입자의 성질 차이 등으로 인해 인장강도는 기존 연구결과와 다른 결과를 보이고 있는 것으로 생각된다. 특정 효소농도 이상에서 펄프의 물리적 강도의 감소 요인으로서는 섬유상의 비결정성 영역과 결정성 영역의 상관 관계로 설명된다. 즉, 비결정성 영역을 가수분해하여 미세섬유를 생성하는 endo- $\beta$ -1,4-glucanase가 특정 농도 이상에서는 미세섬유의 양은 증가되나 상대적으로 쉽게 가수분해되지 않은 결정성 영역의 증가를 가져오기 때문에 부유시 미세섬유의 제거로 인한 상대적인 결정성 영역의 증가로 인하여 펄프의 물리적 강도가 감소하는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 endo- $\beta$ -1,4-glucanase와 exo- $\beta$ -1,4-glucanase의 적절한 조합이 펄프 강도 증가에 영향을 주는 이전의 연구 보고와 일치한다.

### 3-2. 효소 탈목(Rut C-30 crude cellulase, Novozym 342)과 가성 소다 탈목의 비교

*Trichoderma reesei* Rut C-30에서 생산된 crude cellulase를 이용하는 고급폐지의 재생시 펄프의 강도와 백색도를 최대로 유지하는 효소 농도를 2 units/gODP로 고정시킨 후 상업용 탈목효소인 Novozym 342 또는 가성 소다를 사용하는 기존의 탈목공정과 상호 비교하였다. 이는 상업적으로 생산되고 있는 탈목효소와의 탈목효율 및 물리적 강도에 미치는 영향을 상호 비교 연구를 통해서 탈목효소로써의 가치를 평가하기 위한 실험이다. Table 3에서 crude cellulase를 사용하여 탈목할 경우 여수도가 가장 높은 것을 보였다. Fig. 6은 각각의

Table 3. Yield and physical properties of deinked pulp using different deinking methods(Prep 1 : control, Prep 2 : Novozym 342, Prep 3 : Rut C-30 crude cellulase, Prep 4 : chemical)

| Deinking method | Freeness (ml) | Yield (%) | Burst index (Kpa · m <sup>2</sup> /g) | Tensile index (N · m/g) | Tear index (mN · m <sup>2</sup> /g) |
|-----------------|---------------|-----------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Prep 1          | 440           | 86.5      | 1.92                                  | 47.0                    | 6.13                                |
| Prep 2          | 510           | 83.8      | 1.99                                  | 47.3                    | 7.70                                |
| Prep 3          | 605           | 82.7      | 1.95                                  | 48.9                    | 7.55                                |
| Prep 4          | 410           | 86.7      | 1.94                                  | 46.0                    | 6.72                                |

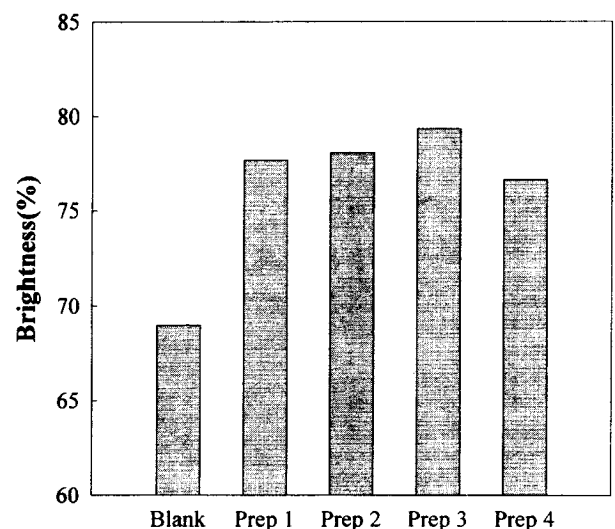


Fig. 6. Brightness with different deinking methods.

(Prep 1 : control, Prep 2 : Novozym 342, Prep 3 : Rut C-30 crude cellulase, Prep 4 : chemical)

Table 2. Yield and physical properties of deinked pulp treated with varying amounts of enzyme

| Enzyme concentration (Unit/gODP) | Yield (%) | Burst index (Kpa · m <sup>2</sup> /g) | Tensile index (N · m/g) | Tear index (mN · m <sup>2</sup> /g) |
|----------------------------------|-----------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 0                                | 86.5      | 1.92                                  | 46.9                    | 6.13                                |
| 0.5                              | 84.7      | 1.93                                  | 45.9                    | 7.47                                |
| 1                                | 83.2      | 1.88                                  | 47.7                    | 8.39                                |
| 1.5                              | 82.8      | 1.91                                  | 48.4                    | 7.62                                |
| 2                                | 82.7      | 1.95                                  | 48.9                    | 7.55                                |
| 2.5                              | 81.9      | 1.91                                  | 48.2                    | 7.01                                |
| 3                                | 81.3      | 1.90                                  | 46.6                    | 6.42                                |

탈묵공정에 따른 백색도를 나타내었다. 이 결과에서도 마찬가지로 crude cellulase의 경우가 가장 높은 것을 나타내고 있다. 가성소다를 사용하는 기존의 탈묵 방법의 문제점으로 지적되어 오던 섬유상의 황변현상이 높은 백색도를 유지하는 고급폐지의 탈묵시 여타의 신문고지 등의 탈묵시보다 백색도 면에서 큰 영향을 주는 것으로 보였으며, control에 비해서 낮은 백색도를 보이는 원인으로 생각된다. 그러나 수율면에서 전반적으로 효소를 사용하는 탈묵공정이 가성소다를 사용하는 탈묵공정에 비해서 떨어지는 결과를 Table 3에서 보이고 있다. Cellulase에 의한 섬유소 가수분해에 의해서 미세섬유량이 증가하고, 생성된 미세섬유는 부유공정시 잉크 입자와 함께 쉽게 제거되기 때문에 수율이 감소하는 것으로 생각된다. 미세섬유는 펄프의 강도 증가에 기여하지만 탈묵공정의 부상부유시나 세척시 쉽게 제거되는 단점이 있다. 각각의 탈묵공정에 따른 펄프의 물리적 강도를 Table 3에서 각각 나타내고 있다. 파열강도와 인열강도면에서 Novozym 342가 우수한 결과를 보였으며, crude cellulase를 이용하여 탈묵시 우수한 인장강도를 얻을 수 있는 결과를 보였다. 이러한 결과는 전술한 바와 같이 각각의 효소 용액내에 존재하는 endo성분과 exo성분의 조합 비율이 서로 다르기 때문일 것으로 생각된다. 위의 결과로 볼 때 crude cellulase를 이용하여 고급폐지의 탈묵을 수행할 경우 여수도, 백색도와 물리적 강도 측면에서 가성소다를 사용하는 탈묵 공정에 비해서 우수함을 보이고 있다. 또한 상업적으로 생산되고 있는 탈묵효소인 Novozym 342에 비해서 여수도와 백색도가 우수한 것을 보이고 있다. *Trichoderma reesei* Rut C-30에서 생산된 crude cellulase는 endo성분과 exo성분의 비율면에서 상업용 탈묵효소와 비슷한 결과를 보이고 있으며, 특정 물리적 강도의 경우 crude cellulase의 조합비율이 우수한 결과를 보이고 있다. 이는 crude cellulase에 의한 탈묵시 exo성분의 활성을 억제시키거나 탈묵을 위한 효소 생산시 endo성분과 exo성분의 적절한 조합을 위한 각 성분의 분획 과정을 요구하지 않는 탈묵효소를 생산할 수 있어 경제성 있는 탈묵효소 생산 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

White ledger 재질의 고급폐지를 *Trichoderma reesei* Rut C-30에서 생산된 crude cellulase로 탈묵하고 효소농도에 따른 여수도, 백색도, 수율 및 물리적 강도의 변화를 측정하고, 상업적으로 생산되고 있는 탈묵효소 Novozym 342 또는 가성소다를 사용하는 기존의 탈묵공정과 상호 비교 연구하였다. 효소농도에 따른 여수도와 백색도는 효소농도 2 units/gODP에서 최대를 보였다. 물리적 강도면에서는 파열강도와 인장강도는 2 units/gODP에서 최대를 보였으며, 인열강도는 1 unit/gODP에서 최대를 보였다. 이러한 실험결과를 바탕으로 *Trichoderma reesei* Rut C-30에서 생산된 crude cellulase의 농도를 2 unit/gODP로 고정시킨 후 상업용 탈묵효소인 Novozym 342 또는 가성소다를 사용하는 기존의 탈묵공정과 상호 비교하여 실험한 결과 Novozym 342에 비해서 여수도와 백색도 측면에서 우수함을 보이고 있으며, 가성소다를 이용하는 기존의 탈묵공정에 비해서는 여수도, 백색도 및 물리적 강도 측면에서 우수한 결과를 보였다. 그러나 수율면에서는 효소를 사용하는 탈묵공정이 전반적으로 낮은 결과를 보였다. 이는 효소 탈묵공정시 미세 섬유량의 지속적인 증가와 부유공정상에서 쉽게 제거되기 때문인 것으로 생각되며, 탈묵공정상에

서 수지와 carbon black을 주성분으로 하는 toner입자와 선택적으로 반응할 수 있는 제면활성제의 개발이 요구된다. 펄프의 물리적 강도에 영향을 미치는 중요한 요소인 endo성분과 exo성분의 조합 비율은 상업용 탈묵효소와 유사한 결과를 보이고 있으며, 이에 근거하여 탈묵용 효소의 제조시 효소의 정제 및 분리 공정을 감소시킬 수 있는 경제성있는 효소의 생산을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감 사

본 연구는 통산산업부 청정생산기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 특히 지료의 물리적 특성 측정 등 본 연구의 수행에 직접적으로 협조해 주신 (주)대한펄프의 성의에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Kirk, T. K. and Jeffries, T. W.: "Roles for Microbial Enzymes in Pulp and Paper Processing", ACS Symp. Ser. 655, ACS, Washington DC, 2(1996).
2. Jeffries, T. W.: "Enzymatic Treatments of Pulps", ACS Symp. Ser. 476, ACS, Washington DC, 313(1992).
3. Jeffries, T. W., Klungness, J. H., Sykes, M. S. and Rutledge-Cropey, K. R.: *Tappi J.*, **77**(4), 173(1994).
4. Park, J. W., Park, K. N., Oh, J. T. and Kim, J. H.: *Theories and Applications of Chemical Engineering*, **2**, 1943(1996).
5. Kim, T. J., Ow, S. S. K. and Eom, T. J.: "Tappi Pulping Conference Proceedings", TAPPI PRESS, Atlanta, 1023(1991).
6. Heise, O. U., Uniwin, J. P., Klungness, J. H., Fineran, W. G., Sykes, M. and Abubakr, S.: *Tappi J.*, **79**(3), 207(1996).
7. Jobbins, J. M. and Franks, N. E.: "1997 Recycling Symposium", TAPPI PRESS, Atlanta, 411(1997).
8. Putz, H. J., Renner, K., Götsching, L. and Jokinen, O.: "Tappi Pulping Conference Proceedings", TAPPI PRESS, Atlanta, 877(1994).
9. Fan, L. T., Gharpuray, M. M. and Lee, Y. H.: "Cellulose Hydrolysis", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 21(1987).
10. Kim, S. W. and Hong, S.-I.: *HWAHAK KONGHAK*, **25**, 1(1987).
11. Kim, D. W., Chung, Y. K., Jang, Y. H. and Shon K. H.: *Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering*, **11**(6), 718(1996).
12. Kim, B. H. and Jun, Y.: *J. of Korea Tappi*, **26**(2), 23(1994).
13. Sarkar, J. M., Cosper, D. R. and Hartig, E. J.: *Tappi J.*, **78**(2), 89(1995).
14. Parasad, D. Y., Heitmann, J. A. and Joyce, T. W.: "Recycled Paper Technology", TAPPI PRESS, Atlanta, 134(1994).
15. Jackson, L. S., Heitmann, J. A. and Joyce, T. W.: *Tappi J.*, **76**(3), 147(1993).
16. Wood, T. M. and Bhat, K. M.: "Methods for Measuring Cellulase Activities", *Methods of Enzymology* 160, Academic Press Inc., New York, 87(1988).
17. Stork, G., Pereira, H., Wood, T. M., Düsterhöft, E. M., Toft, A. and Puls, J.: *Tappi J.*, **78**(2), 79(1995).
18. Beldman, G., Searle-Van Leeuwen, M. F., Rombouts, F. M. and Voragen, G. J.: *Eur. J. Biochem.*, **146**, 301(1985).