

셀룰라아제의 전처리가 펄프의 고해도 및 종이의 물리적 성질에 미치는 영향

†송 구 현 · 고 원 건 · 박 진 원 · 梶内俊夫 · ²임 영 기
연세대학교 화학공학과, ¹동경공업대학 국제개발공학과, ²신무림제지(주)
(접수 : 1999. 6. 15., 게재승인 : 1999. 8. 13.)

Effect of Cellulase Pretreatment on Beatability of Pulp and Physical Properties of Paper

Goo-Hyun Song†, Won-Gun Koh, Jin-Won Park, Kajiuchi Toshio¹, and Young-Ki Lim²
Department of Chemical Engineering, Yonsei University, Korea
¹Department of International Development Engineering, Tokyo Institute Technology, Japan
²Shinmoorim Paper Mfg. Co., Ltd., Chinju, Kyungnam 660-340, Korea
(Received : 1999. 6. 15., Accepted : 1999. 8. 13.)

Several enzyme were applied to Laubholz Bleached Kraft Pulp(LBKP) to evaluate the influence on beatability which was measured in Schopper Riegler value, and the results were compared with untreated pulp. Among the types of enzyme, cellulase was found to be the most effective. Addition of cellulase increased the beatability by 28% at optimum condition. Strength properties such as tensile strength and folding endurance also increased with enzymatic treatment by 12% and 46%, respectively. However, excessive dosage of cellulase had an adverse effect on strength properties in spite of the high beatability. Fibrillation by cellulase and destruction of fiber by excessive reaction was observed by Scanning Electron Microscopy(SEM).

Key Words : cellulase, beatability, strength properties, fibrillation

서 론

펄프 공장에서 생산된 펄프는 반드시 처리공정을 거쳐야 한다. 아무런 처리를 하지 않고 물에 풀어 탈수, 압착, 건조함으로써 좋은 종이를 제조할 수 없다. 이는 펄프 섬유에 어떤 기계적인 작용을 가하지 않고 종이를 제조하게 되면 종이의 강도가 너무 낮고, 밀도가 낮으며, 구조가 치밀하지 않을 뿐 아니라 지합이 불량한 종이가 얻어지기 때문이다. 따라서 펄프공장에서부터 제지 공정으로 도입된 펄프는 슬러리 상태이건 건조된 상태이건 관계없이 어떤 기계적인 처리를 가함으로써 적합한 제지특성을 갖도록 하는 것이 필요하다. 이와 같이 물에 현탁된 펄프섬유에 기계적 처리를 가하여 종이의 강도를 향상시키고, 적절한 물리적 성질을 갖도록 하는 것을 고해(beatting) 혹은 리파이닝(refining)이라고 한다.

그러나 이러한 고해공정은 에너지 다소비 공업인 제지공업에서도 가장 많은 에너지를 필요로 하는 공정으로 최근의 에너지 부족과 에너지 가격의 인상으로 인해 고해에너지를 감소시키는 연구가 매우 필요한 실정이다. 최근까지는 고해에너지를 줄이기

위해 펄프의 이완을 촉진시키는 화학 촉진제와 초지원료의 탈수를 촉진시키는 촉진제와 같은 첨가 약품을 사용하는 부가적인 방법이 강구되었다. 그러나 섬유를 팽윤시키는 알카리제와 침투제를 첨가해 고해하는 방법은 첨가 약품이 사용용도 외에 제품에 부작용을 끼칠 수 있고 공정상도 어려워 충분한 효율을 얻을 수 없다. 종이의 물리적 특성, Runability 향상을 위해 사용되는 천연의 고분자, 혹은 합성 고분자의 사용 역시 보류 및 지합 등을 해칠 수 있다. 따라서 환경친화적이며 공정친화적인 대체 약품의 개발이 절실히 요구 되고있는 실정이다. 펄프의 주성분인 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스와 반응할 수 있는 효소들이 알려지면서 이러한 효소들을 제지공정에 적용시키는 노력이 최근 들어 활발히 진행되고 있다. 헤미셀룰라아제를 표백도를 높이기 위해 표백공정에 적용시킨 것은 그 대표적 예이다(1). 효소를 이용한 표백 외에도 효소를 탈묵공정 및 여수도 향상을 위해 적용한 예를 여러 문헌에서 찾아 볼 수 있다(2-7).

또한 고해공정에 있어서도 선진국에서는 기존의 방법이 가지고 있는 단점을 보완하기 위해 효소를 이용하여 피브릴화(fibrillation)를 촉진시켜 고해에너지를 감소시키는 기술이 소개되고 있다. Diehm은 1942년에 헤미셀룰라아제가 섬유질의 가수분해를 도와 고해도를 도울 수 있다고 발표하였고 Bolaski와 Gallatin은 효소를 이용하여 고해에너지를 줄이는 연구를 하였다(8, 9). 그 이후로도 여러 논문과 특허에서 고해에너지를 줄이기 위해 효소를 적용시킨 예를 찾아볼 수 있다(10, 11). 그러나 효소를 고해

† Corresponding Author : Department of Chemical Engineering, Yonsei University, Sinchon-Dong, Seodaemoon-Gu, Seoul 120-749
Tel : 02-364-1807, Fax : 02-312-6401
e-mail : ecokids@bubble.yonsei.ac.kr

공정에 적용시, 사용되는 펄프의 종류에 따라 그 효과가 확연히 달라질 뿐만 아니라 효소의 작용에 의해 생기는 고해도 및 종이의 강도의 변화에 관한 체계적인 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 제지공업에서 사용되는 여러 상업용 효소를 활엽수 표백 크라프트 펄프(Laubholz Bleached Kraft Pulp, LBKP)의 고해공정에 도입하여 그 효과를 살펴본 후, 고해도 향상에 가장 많은 영향을 미치는 효소를 선정하여 반응 조건에 따른 고해도와 이에 따른 종이의 물성의 변화를 살펴보았다.

재료 및 방법

펄프 및 효소

본 실험에서는 미국 Panacel사로부터 구입한 활엽 표백 크라프트 펄프(Laubholz Bleached Kraft Pulp, LBKP)를 사용하였고, 총 4종류의 효소가 사용되었다.

Trichoderma viride 유래의 셀룰라아제(상품명 : Cellulase C)와 *Bacillus subtilis* 유래의 α -아밀라아제는 태평양 화학으로부터 구입하였으며, 핀란드의 Genencor사와 일본의 Amano사로부터 각각 구입한 *Aspergillus niger* 유래의 헤미셀룰라아제(상품명 : Irgazyme 40X)와 *Mucor javanicus* 유래의 리파아제(상품명 : Amano M)를 사용하였다.

활성도의 측정

셀룰라아제의 활성도 측정에 있어 표준기질로 여과지(Toyo Roshi Co., FP-5C)를 사용하였고, 투입한 효소는 분말상태로 2×10^{-4} g/mL 농도로 넣고 30분간 반응시켰다. 표준기질의 효소 가수분해로부터 생성되는 환원당은 글루코오스를 기준물질로 하여 3,5-dinitrosalicylic acid에 의한 DNS법으로 분석하였다(12).

α -아밀라아제와 헤미셀룰라아제의 활성도 측정은 수용성 전분(soluble starch), 수용성 헤미셀룰로오스인 자일란을 각각 표준기질로 이용하였다. α -아밀라아제는 고체상태로 0.2 g/mL로 투입한 후 10분간 반응시켰으며, 액상인 헤미셀룰라아제는 0.02 mL/mL를 넣고 20분간 반응시켰다. 표준기질의 효소 가수분해로 생성되는 환원당은 α -말토오스와 자일로오스를 기준물질로 하여 3,5-dinitrosalicylic acid에 의한 DNS법으로 분석하였다(13). 위의 세 가지 효소에 있어 1분간 1 μ mol의 환원당을 생성하는 능력을 1Unit라 정의했다. 리파아제의 활성도 측정시 기질로는 olive oil emulsion을 사용하였고, 고체상태인 리파아제의 투입농도는 0.05 g/mL이었고 30분간 반응시켰다. 생성된 지방산은 NaOH와 페놀프탈레인 지시약을 이용한 산-염기 적정법을 통해 측정하였다. 1분간 1 μ mol의 지방산을 생성하는 능력을 1Unit라 정의하였다. 각 효소의 활성 측정은 생성물 농도가 선형적으로 변하는 시간범위 내에서 실험하였다. 활성도 측정시 pH의 변화는 HCl과 NaCl, Potassium hydrogen phthalate ($C_8H_5KO_4$), Potassium dihydrogen phosphate(H_2KO_4P), Borax ($B_4Na_2O_7$)로 만든 완충액으로 조절하였다.

효소에 의한 펄프의 전처리

일정한 온도와 pH로 맞추어진 4 wt%의 펄프 슬러리를 만든 후, 효소의 농도와 반응시간을 변화시키면서 효소와 반응시켰다. 온도의 조절을 용이하게 하기 위해 효소와의 반응은 water bath에서 실행되었고, pH는 0.1N H_2SO_4 와 0.1N NaOH를 이용

하여 조절하였다. 정해진 반응시간에 도달한 후에는 효소의 가수분해 정도와 섬유소실을 알아보기 위해 효소와 펄프의 반응에 의해 생긴 환원당을 측정하였다.

고해공정 및 고해도의 측정

반응조에서 효소와 반응시킨 펄프슬러리를 1.5%로 희석한 후, 실험실용 valley beater에 투입시킨 후 지렛대에 추를 걸지 않은 채 로울을 10분간 돌려 펄프를 어느 정도 고르게 해리시킨 후 다시 지렛대 끝에 5.5 kg의 추를 달아 압밀도를 증가시킨 후 30분간 고해실험을 행하였다. 고해공정중에 로울의 회전수는 500 r.p.m.으로 고정하였다.

정해진 고해시간에 이르면 캐나다 표준 여수도 시험기를 이용하여 여수도를 측정하였다. 그리고 다음의 환산식을 이용하여 Schopper Riegler (SR) 값을 구한 후, 이 값을 고해도로 정의하였다.

$$^{\circ}SR = \frac{1123.6 - CSF}{0.026CSF + 12.1}$$

여기서 $^{\circ}SR$ 은 Schopper Riegler 값으로 무차원의 실험식 값을 의미하며, CSF(Canadian Standard Freeness)는 캐나다 표준 여수도를 의미한다.

캐나다 표준 여수도 시험기의 구조는 상부의 시료통과 하부의 실린더 두 부분으로 구성되어 있다. 먼저 전건 무게 3 g의 펄프가 현탁되어 있는 시료 1000 mL를 상부 시료통에 넣고 스크린판을 통하여 탈수시킨다. 탈수초기에는 급속한 탈수가 일어나지만 탈수가 진행되어 스크린 위에 섬유 패드가 형성되므로 탈수 속도가 저하된다. 아래 쪽 실린더에는 하부에 작은 오리피스와 있으며, 약간 위쪽으로 측면에 넓은 측관이 설치되어 있다. 따라서 상부 시료통에서 탈수되는 속도가 일정한 수준 이하로 낮아지면 탈수된 물은 모두 하부의 오리피스를 통하여 빠져나갈 뿐 측관으로 유출되는 양은 적다. 이는 다시 말하면 스크린 위에 형성되는 섬유패드의 탈수 저항이 크면 클수록 탈수속도가 저하되어 측관으로 유출되는 유량이 저하된다는 뜻이다. 따라서 측관 아래에 위치시키게 되는 측정 메스실린더로 받아내는 물의 양이 저하된다. 캐나다 표준 여수도 시험기의 측정 결과는 측관으로 유출된 물의 양을 mL로 표시한다. 고해가 진행됨에 따라서 미세섬유가 생성되고, 피브릴화에 의한 섬유표면적의 증가 등의 여러 요인에 의해서 스크린 위에 형성되는 패드의 탈수저항이 높아지므로 캐나다 표준 여수도 시험기로 측정된 측정값은 낮아지며 이에 따라 고해도는 증가하게 된다.

종이의 물리적 성질 측정

Tappi Standard T 205 om-88에 의해 수초지를 제조한 후 수초지의 밀도, 공극율, 인장강도, 내절도, 인열강도를 Tappi standard methods에 의해 측정하였다. 이 중 인장강도(tensile strength)와 인열강도(tearing strength)는 수초지의 평량을 보정하여 열단장(breaking length)과 비인열강도(specific tearing strength)로 나타내었다.

결과 및 고찰

효소의 선정 및 특성파악

효소들의 활성은 활성측정시 반응시간, 온도, pH에 따라 그

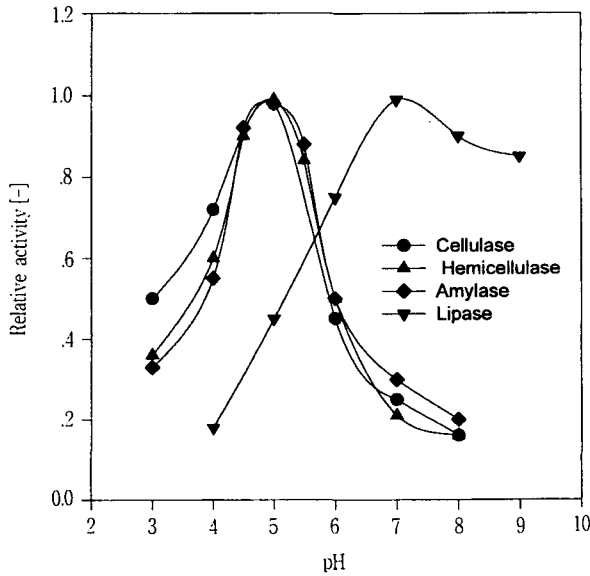


Figure 1. Variation of relative activity according to pH. temperature, 40°C; enzyme(concentration, reaction time) : cellulase (2×10^{-4} g/mL, 30 min), hemicellulase (0.02 mL/mL, 20 min), α -amylase(0.2 g/mL, 10 min), lipase (0.05 g/mL, 30 min).

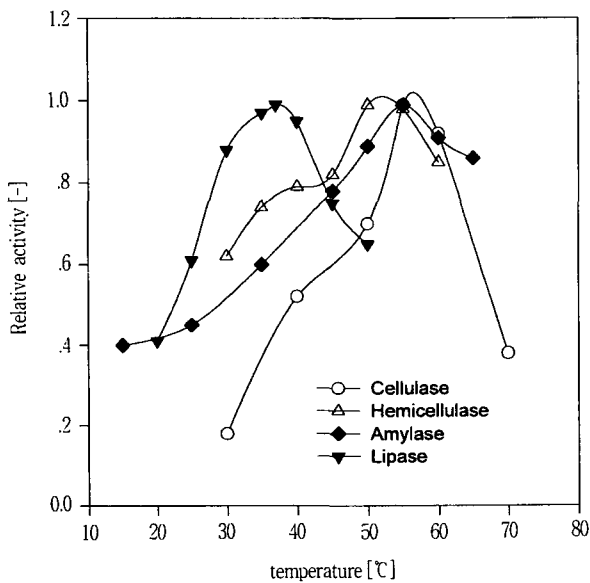


Figure 2. Variation of relative activity according to temperature. Enzyme(concentration, reaction time, pH) : cellulase (2×10^{-4} g/mL, 30 min, 5), hemicellulase(0.02 mL/mL, 20 min, 5), α -amylase(0.2 g/mL, 10 min, 5), lipase(0.05 g/mL, 30 min, 7).

활성값이 변한다. 따라서 효소 활성의 최적조건을 알아보기 위해 먼저 반응시간을 고정한 후에 pH와 온도를 변화시키면서 효소의 활성도를 측정 한 후 Figure 1과 Figure 2에 나타내었다. 실험결과 셀룰라아제의 경우 pH 5.0, 50°C~60°C에서 최고의 활성을 보였으며, 아밀라아제는 pH 5.0 와 45°C~55°C에서 최고의 활성을 보였다. 이에 반해 헤미셀룰라아제와 리파아제의 최적 활성 조건은 각각 pH 5.0, 50°C~55°C 및 pH 7.0, 35°C~40°C로 나타났다. 효소들의 최적조건에서의 절대 활성도를 Table 1

Table 1. Characteristics of various enzymes.

	Optimum condition		Activity	Improvement of beatability(%)
	pH	Temperature		
Cellulase	5	50°C~60°C	391 U/g	17
Hemicellulase	5	50°C~55°C	628 U/g	7
α -Amylase	5	45°C~55°C	42 U/g	0
Lipase	7	35°C~40°C	9000 U/g	0

에 나타내었다.

위에서 구한 최적 활성조건에서 각 효소들을 건조 펄프기준으로 0.1 wt% 투입하여 30분간 펄프와 반응시킨 후 고해를 실시하여 효소를 첨가하지 않았을 경우와 비교하여 고해도의 증가폭을 살펴보았다. 실험결과 셀룰라아제의 경우 효소를 첨가하지 않은 경우보다 고해도가 17% 향상하였으며, 헤미셀룰라아제의 경우 셀룰라아제의 경우처럼 고해도의 큰 향상은 없었으나 약 7%의 고해도 향상을 보였다. 아밀라아제와 리파아제의 경우 고해도의 상승을 가져오지 못하고 효소를 첨가하지 않았을 때와 같은 결과를 보였다(Table 1). 이는 펄프의 주성분인 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 분해하는 셀룰라아제와 헤미셀룰라아제가 고해시 펄프의 섬유 표면에 peeling effect를 만들어 섬유의 고해시 발생하는 외부 피브릴화를 촉진시키고 섬유의 수화율을 향상시켜 고해시간을 단축시킬 수 있다는 것을 말하며, 또한 셀룰라아제가 헤미셀룰라아제보다 훨씬 좋은 성과를 보였다. 펄프의 주성분은 셀룰로오스이며 셀룰라아제의 효과가 높게 나타난 것은 예상된 결과이고 실험을 통하여 이를 확인할 수 있었다. 따라서 앞으로의 실험은 셀룰라아제를 이용하기로 결정하였다.

효소의 전처리 조건에 따른 고해도의 변화

고해도의 향상에 있어 셀룰라아제와 펄프의 최적 반응 조건을 살펴보기 위하여 셀룰라아제를 반응시간, 투입농도, 반응 pH와 온도를 변화시키면서 펄프와 반응·고해시킨 후 펄프의 고해도 변화를 관찰하였다.

우선 펄프슬러리를 항온조에서 50°C, pH 5로 고정시킨 후 반응시간을 0분에서 100분까지 변화시키면서 효소와 반응시킨 후 고해를 행하여 그 결과를 Figure 3에 나타내었다. 이때 효소의 투입량은 건조 펄프기준으로 0.1 wt%로 고정하였다. 우선 셀룰라아제의 첨가에 의해 고해도가 효소를 첨가하지 않은 경우(0 wt%) 보다 큰 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 반응 30분 안에 효소의 작용이 거의 다 이루어졌고, 이후에는 고해도가 거의 일정하게 유지됨을 확인하였다. 이 결과를 토대로 효소와 펄프의 반응시간을 30분으로 고정하였다.

Figure 4는 효소의 투입량에 따른 고해도의 변화를 보여준다. 반응 pH와 반응 온도는 위와 동일하며, 효소 반응시간은 위에서 정한 30분으로 고정하였다.

효소량이 증가할수록 펄프의 고해도는 계속적으로 증가하지만, 0.15 wt% 농도이상으로 투입하였을 경우 고해도는 계속하여 증가하나, 그 증가폭은 아주 작고, 이 농도 투입시에도 충분히 큰 고해도의 증가를 보였기 때문에 효소의 최적 투입량을 0.15 wt%로 결정하였다.

셀룰라아제를 펄프와 반응시키면 주로 비결정성 셀룰로오스를

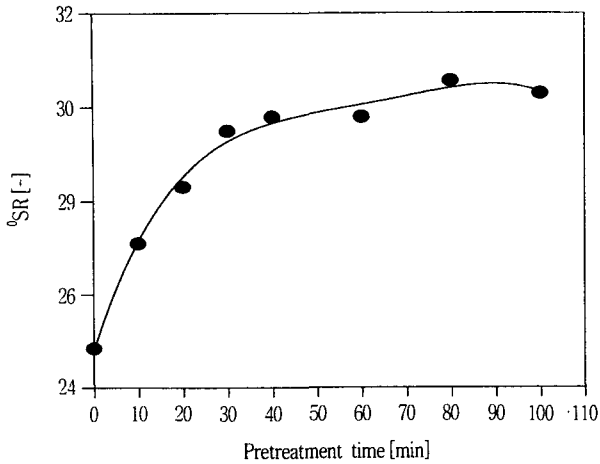


Figure 3. Effect of cellulase pretreatment time on beatability. pretreatment condition : cellulase concentration 0.1 wt% of pulp ; temperature, 50°C ; pH 5.

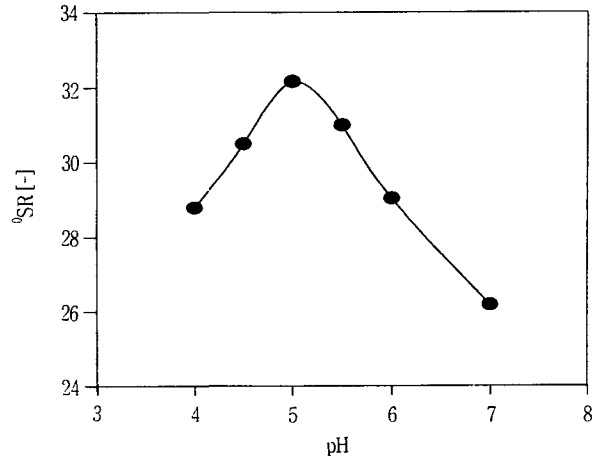


Figure 5. Effect of cellulase pretreatment pH on beatability. pretreatment condition : reaction time, 30 min ; cellulase concentration, 0.15 wt% of pulp ; temperature, 50°C.

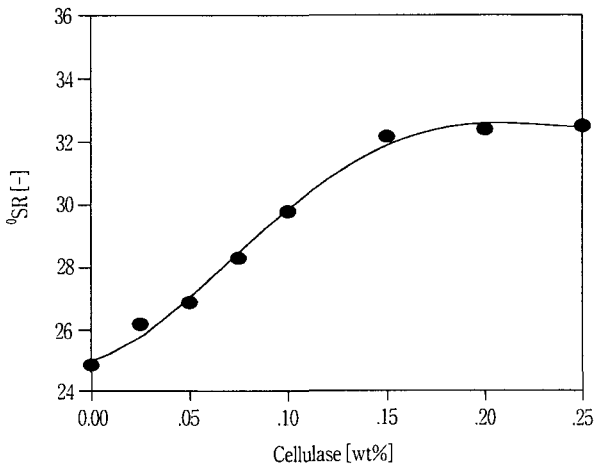


Figure 4. Effect of cellulase concentration on beatability. pretreatment condition : reaction time, 30 min ; temperature, 50°C ; pH 5.

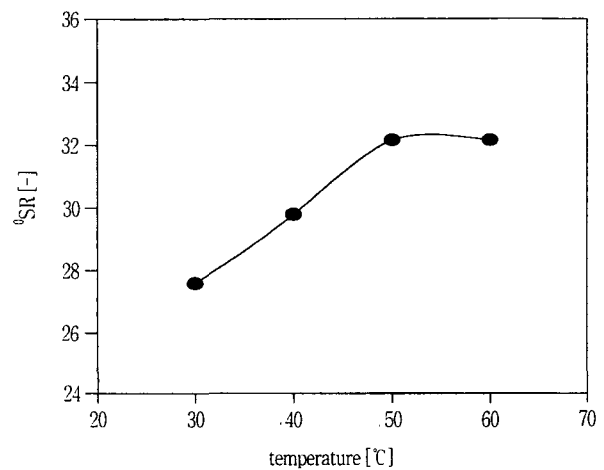


Figure 6. Influence of cellulase pretreatment temperature on beatability. pretreatment condition : reaction time, 30 min ; cellulase concentration, 0.15 wt% of pulp ; pH 5.

가수분해하며 표면 작용을 행한다. 즉 셀룰라아제는 섬유외벽을 가수분해하여 섬유표면을 벗기는 작용을 하는데, 이를 peeling effect라 한다(14). 이러한 peeling effect는 고해의 주작용인 피브릴화와 직접적으로 관련이 있으며, 섬유의 표면적을 넓혀 고해도를 증가시키는 역할을 한다. 그러나 위의 실험에서도 나타났듯이 셀룰라아제의 작용이 계속되어도 더 이상 고해도가 증가하지 않는 현상이 나타났으며, 이는 효소의 전처리시 최적 온도, pH, 효소 첨가량등이 존재한다는 것을 의미하며, 셀룰라아제에 의한 효과를 크게 얻으려면 이러한 최적 조건이 반드시 결정되어야 할 것이다.

효소의 반응 pH와 온도가 펄프의 고해에 미치는 영향을 살펴보기 위해 pH를 4.0~7.0, 온도를 30°C~60°C까지 변화시키면서 효소와 펄프를 반응시켰다. pH의 경우 pH 5.0에서 가장 높은 고해도를 보였으나 중성 pH의 경우 고해도가 급격하게 감소되었다(Figure 5). 따라서 중성 조건에서 고해작업을 해야 할 경우, 효소의 효과를 이용하기 위해서는 좀더 긴 반응시간이나, 더 많은 효소의 투입량이 필요한 것으로 사료된다. pH를 5.0로 고정한 후 효소의 반응온도를 변화시키면서 이에 따른 고해도의

변화를 Figure 6에 나타내었다. 반응온도가 증가할수록 고해도는 계속 증가하는 경향을 보였고 50°C와 60°C에서 최적조건을 보였다. 실제 고해공정중 온도를 60°C 이상 상승시키는 조작용은 온수공급문제, 섬유 강도저하등 기존의 고해공정에 부작용을 미칠 수 있으므로 고해공정 최적온도는 50°C로 고정하였다.

위에서 구한 최적 pH와 온도 조건은 효소 활성의 최적조건과 완전히 일치하는 경향을 보였는데, 이로부터 효소의 활성이 펄프와의 반응에 직접적인 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있었다.

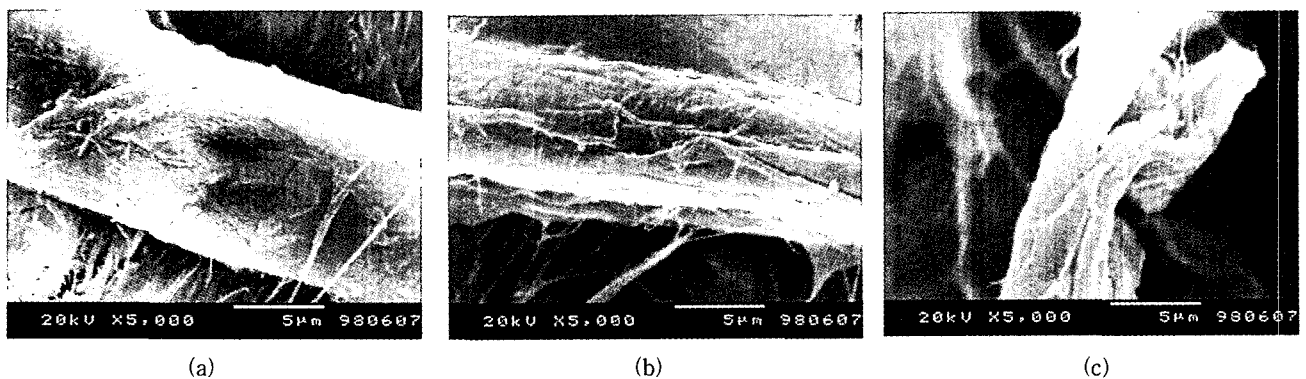
셀룰라아제에 의한 종이의 물성변화

앞의 실험에서 결정된 셀룰라아제의 반응 최적 조건에서 셀룰라아제의 농도를 변화시키면서 펄프와 반응시키고 고해 및 수조지 제조를 연속적으로 시행한 후 수조지의 여러 가지 물성을 측정하여 Table 2에 나타내었다.

밀도(density)와 공극율(porosity)의 변화는 종이의 물리적 강도 변화에 직접적인 영향을 미친다. 셀룰라아제의 투입농도가 증가함에 따라 밀도는 거의 일정한 값을 보였으나 섬유의 접촉

Table 2. Effect of cellulase treatment on handsheet properties.

Conc. (wt%)	Reducing sugar (kg/t pulp)	Density (g/cm ³)	Porosity (mL/min)	Breaking length (Km)	Folding endurance (time)	Specific tearing strength
0	0	0.61	169.4	5.97	58	95.2
0.025	0.25	0.63	134.4	6.17	59	89.1
0.05	0.56	0.65	122.5	6.30	65	89.3
0.075	3.9	0.64	110.6	6.42	71	84.7
0.1	6.1	0.65	85.0	6.61	85	85.7
0.15	11.9	0.65	61.2	6.45	70	85.3
0.2	15.2	0.65	57.3	6.23	62	80.0

Figure 7. Scanning electron micrographs ($\times 5000$ magnification). Pulp fibers treated with (a) 0.0 wt%, (b) 0.1 wt%, and (c) 0.2 wt% cellulase.

결합면적 및 피브릴, 미세섬유의 증가로 공극율은 감소하는 경향을 보였다. 이러한 밀도와 공극율의 변화는 셀룰라아제의 전처리가 고해를 촉진시켜준다는 사실을 입증한다.

셀룰라아제의 농도가 증가할수록 인장강도(tensile strength)와 내절도(folding endurance)는 비례적으로 상승하나, 0.1 wt% 이후에는 높은 고해도에도 불구하고 인장강도와 내절도는 다시 감소하는 경향을 보였다. 인열강도(tearing strength)의 경우 효소가 첨가될수록 계속해서 감소하는 경향을 보였다. 실험결과 인장강도의 경우 12% 정도 향상되었으며, 내절도의 경우 46% 정도 향상되었다. 셀룰라아제 0.1 wt% 투입시 발생하는 환원당(reducing sugar)의 양은 6.1 kg/t pulp였다.

일반적으로 인장강도와 내절도는 고해도가 증가할수록, 밀도가 커질수록 큰 값을 나타내고 인열강도는 감소하는 것으로 알려져 있다(15). 그러나 셀룰라아제의 농도가 증가할수록 높은 고해도를 나타냈지만 제조된 종이의 인장강도 및 내절도가 다시 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 효소가 과다 처리되었을 경우 셀룰라아제의 작용이 과다한 peeling effect를 일으켜 섬유 자체에 크랙이 발생하는 것으로 사료된다(16). 이와 같이 효소가 지나치게 작용할 경우 결정성 영역이 가수분해되고, 섬유의 길이가 짧아지거나 미세섬유가 분해되어 종이의 강도적 성질에 치

명적인 결과를 가져올 수 있다.

섬유표면의 관찰

셀룰라아제의 작용을 직접 살펴보기 위해 Scanning Electron Microscope(SEM)을 이용하여 0 wt%, 0.1 wt%, 0.2 wt%의 셀룰라아제에 의해 전처리된 섬유의 표면을 5000배 확대시켜 촬영하였다(Figure 7). 셀룰라아제를 첨가하지 않은 경우, 고해에 의한 피브릴화와 미세섬유가 관찰되기는 하나 확연한 변화는 관찰되지 않았다. 그러나 셀룰라아제를 0.1 wt% 투입한 경우 효소를 첨가하지 않은 경우에 비해 피브릴화가 매우 많이 일어났으며, 미세섬유의 생성도 활발하게 이루어졌고, 이는 종이의 강도 향상으로 이어진다. 이러한 현상은 0.2 wt%의 셀룰라아제와 반응한 섬유에서도 많이 나타나나, 0.2 wt% 첨가 시에는 사진에서도 보듯이 효소의 과다 작용에 의해 섬유 자체가 파괴되는 현상도 관찰되었다. 이러한 섬유의 파괴는 강도의 저하와 직접적인 관련이 있다고 생각된다.

요 약

본 연구에서는 제지공정에서 사용되는 여러 효소를 활엽 표백

크라프트 펄프의 고해공정에 적용시켜 고해도를 측정된 후 가장 성능이 좋은 효소를 선택하여 효소의 반응조건을 변화시키면서 고해도의 변화를 측정하였다. 또한 연속적으로 수조지를 제조하여 종이의 물리적 성질을 관찰하였다.

실험 결과 셀룰라아제가 다른 효소에 비해 월등히 높은 고해도의 향상을 가져 왔다. 셀룰라아제를 반응시간, 투입농도, 반응 pH 및 온도를 변화시키면서 펄프와 반응시킨 후 최적조건을 살펴본 결과 효소와 펄프의 전처리시 최적의 반응시간과 투입농도가 존재하였으며, 활성의 최적조건인 pH 5와 50°C에서 28%의 고해도의 증가를 보였다. 이러한 고해도의 향상은 종이의 강도 향상에 영향을 주었다. 인장강도와 내절도는 셀룰라아제의 투입농도에 따라 증가하다가 일정 농도 이상에서는 높은 고해도에도 불구하고 다시 감소하는 경향을 보였다. 두 가지 강도 모두 셀룰라아제의 투입농도가 0.1 wt%일 때 최고값을 나타냈다. 이 농도에서 인장강도의 경우 약 12%의 증가를 가져왔으며 내절도의 경우 47% 향상되었다. 또한 SEM을 통하여 셀룰라아제에 의한 피브릴화와 미세섬유의 증가를 관찰할 수 있었다.

참 고 문 헌

- Clark, T., D., Steward, M.E., Bruce, A.G., McDonald, A.P., Singh, and D.J., Senior (1991), Improved Bleachability of Radiata Pine Kraft Pulps Following Treatment with Hemicellulolytic Enzymes, *Appita J.*, **44**, 389-399.
- Prasad, D.Y.(1993), Enzymatic Deinking of Laser and Xerographic Office Waste, *Appita J.*, **46**, 289-295.
- Jeffries, T.W., J.H., Klungness, M.S., Sykes, Rutledge-Cropsey, and K.R.(1994), Comparison of Enzyme : Enhanced with Conventional Deinking of Xerographic and Laser-printed Paper, *Tappi J.*, **77**(4), 173-179.
- Zeyer, C., T.W., Joyce, J.A., Heitmann, and J.W., Rucker(1994), Factors Influencing Enzyme Deinking of Recycled Fiber, *Tappi J.*, **77**(10), 169-177.
- Pommier, J-C., G., Goma, J-L., Fuentes, C., Rousset, and O., Jokinen(1990), Using Enzymes to Improve the Product Quality in the Recycled Paper Industry Part II. Industrial Applications, *Tappi J.*, **73**(12), 197-208.
- Bhat, G.R., J.A., Heitmann, and T.W., Joyce(1991), Novel Techniques for Enhancing the Strength of Secondary Fiber, *Tappi J.*, **74**(10), 151-165.
- Jackson, L.S., J.A., Heitmann, and T.W., Joyce(1993), Enzymatic Modification of Secondary Fiber, *Tappi J.*, **76**(3), 147-152.
- Diehem, R.A.(1942), U.S Patent 2 280 307.
- Bolasky, W., A., Gallatin, and J.C., Gallatin(1959), U.S Patent 3 041 246. 9.
- Noe, P., J., Chevalier, F., Mora, and J., Comat(1986), Action of Enzyme Xylanases on Chemical Pulp Fibres Part II. Enzymatic Beating, *Wood Chem. Technol.*, **6**(2), 167-180.
- Freiermuth, B., M., Garrett, and O., Jokinen(1994), Use of Enzymes in the Production of Released Paper, *Paper Technol.*, **35**(3), 21-27.
- Miller, G.L.(1959), Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugars, *Anal. Chem.*, **31**, 426-443.
- Bergmeyer, H.U.(1974), Methods of Enzymatic Analysis, *Academic Press, Inc. Newyork and London.*, **2**, 53-61.
- Lee, S.B., and Kim, I.H.(1983), Structural Properties of Cellulose and Cellulase Reaction Mechanism. *Biotechnol. Bioeng.*, **25**, 33-41.
- Zoltan, K.(1994), Effects of Density and CSF on the Tensile Strength of Paper, *Tappi J.*, **77**(6), 167-180.
- Buschle-Diller, G., S.H., Zeronian, N., Pan, and M.Y., Yoon(1994), Enzymatic Hydrolysis of Cotton, Linen, Ramie, and Viscose Rayon Fabrics, *Textile Res. J.*, **64**(5), 270-279.