

상업용 목질섬유소 분해 효소의 특성

김영욱 · 김철현 · 박성배 · 엄태진[†]
(2004년 3월 11일 접수: 2004년 7월 30일 채택)

Characteristics of Commercial Cellulolytic Enzymes

Young-Yuk Kim, Chul-Hyun Kim, Soung-Bae Park and Tae-Jin Eom[†]

(Received on March 11, 2004: Accepted on July 30, 2004)

ABSTRACT

It is very difficult to compare directly the research results of enzymatic process in pulp and paper industry because commercial enzymes have diversity in its property. The chemical and biological properties of commercial enzymes were investigated to help comparison of various commercial enzymes each other. In most case, the solid content of liquid enzymes was about 20%. The higher protein content in enzyme product does not mean the higher enzyme activity.

Enzymes for paper process should selected by basis of enzyme activity, not by price of enzyme products. The chemical composition of fiber was not so much change with enzyme treatment. The enzymatic hydrolysis of fiber might negligible in paper process.

Keywords : commercial enzymes, properties, protein content, enzyme activity

1. 서론

펄프제지 산업에 있어서 미생물 또는 효소를 이용한 생명공학기술의 적용은 독성화학약품의 사용량 절감과 고해 등의 에너지 절감효과가 매우 높은 친환경적기술로서 차세대 공정 기술의 선도적 역할을 하고 있음에 틀림이 없다.

특히 효소공학 기술은 pitch의 제거, xylanase에 의한 표백, 여수도 개선, 탈묵 등의 분야에 있어서는 이미 상업화 되어 있으며 laccase mediator

system에 의한 표백, bio-mechanical pulping, 표백 폐수의 정제 등은 pilot 시험 중에 있으며 용해용 펄프의 제조, 제재목의 박피 등의 분야에서는 실험실 규모의 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁾ 이와 같이 pilot 및 실험실 규모의 연구보고가 많다는 것은 미래에 제지 산업 분야에서 보다 많은 효소적용기술의 상용화 가능성이 있다는 것을 시사하고 있다.

효소가 산업적으로 이용되기 시작한 것은 1970년대로서 그 역사는 비교적 짧다고 할 수 있다. 그

• 경북대학교 임산공학과(Wood science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

† 주저자(corresponding author): E-mail; tjeom@knu.ac.kr

러나 1994년도의 세제용 효소의 세계적 시장규모가 9억\$ 이었던 것이 1996년도에는 15억\$로 증가하는 등 그 증가속도가 매우 급격하여 지금은 다국적 기업인 Novo(주)社 단독의 매출액이 연간 10억\$를 넘고 있다.²⁾ 이는 섬유 및 제지산업분야에서의 효소제재의 이용이 급속히 증가하고 있음을 시사한다. 국내의 경우는 2000년에는 전년대비 10%이상 성장하였으나 2004년에는 경제 여건의 악화로 둔화되어 약 410억원 규모로 예측되고 이 중 약 40%는 의약용이며 식품용 22%, 세제용 20%, 섬유공업 10%, 피혁용 8%의 비중을 차지하고 있다.³⁾ 국내 펄프제지산업에의 응용사례는 주요 성장분야로 주목되고 있을 뿐 아직 정확한 통계를 잡지 못하고 있다.⁴⁾

세계적으로 많은 연구자에 의하여 탈묵, 표백, 개질 등을 목적으로 펄프 및 제지 산업공정의 효소적용 기술 개발을 위한 노력이 행해지고 있으며 국내의 펄프제지 산업의 경우에서도 탈묵이나 개질 등을 목적으로 효소의 사용가능성에 대해 활발히 연구 검토되고 있으며 일부 상당한 진전을 보이고 있다.⁵⁻⁸⁾

펄프 제지산업에의 효소 공학 기술의 응용을 위한 연구노력의 결과가 많은 학술 및 기술 잡지 등에 보고되고 있으나 효소의 기원이 되는 미생물의 종류가 다르고 효소의 활성, 농도, 투입량, 효소 첨가제의 종류와 다소 등 여러 가지 원인에 의하여 연구결과의 상호 비교분석이 어려우며 적당한 효소의 선정 등에 어려움이 있다.

본 논문은 기존의 상업용 목질섬유소 분해효소의 이화학적 성상과 펄프 섬유와의 반응 특성을 분

석 비교한 결과로서 제지공정의 목적에 맞는 효소제재의 선별 및 제지공정 적용 시험 결과 등의 비교 분석을 용이하게 하고자 함에 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

상업용으로 시판되고 있는 목질섬유소 분해효소 중, cellulase로서 Novo(주)社의 Denimax 992L, Denimax BT, Cellusoft를, Hemicellulase 혼합제재로 Novozyme 342와 Genencor(주)社의 Pergalase를, Hemicellulase로서 Novo(주)社의 Pulpzyme HC를 사용하였다. 제품 카타로그에 기재된 최적 반응 온도, pH 등은 표 1과 같다. 이때, Denimax BT는 분말상이고, 기타 액상의 상태로 공급되는 효소제재이다.

2.2 고형분 농도와 희석 완충액중의 침전물 정량

액상 효소제품인 경우 일정량의 효소액을 80℃에서 함량에 달할 때까지 건조하여 그 건조 중량으로부터 고형분 농도를 계산하였다. 또 일정량의 효소액을 5, 7, 9의 pH로 조절된 완충액 중에 혼합하여 25℃와 50℃의 온도로 24시간 방치한 후 glass microfibre filter(whatman 4.25 cm)로 여과하여 건조한 후 침전물 생성을 정량하였다. 분말상 효소는 20%의 농도로 완충액 중에 용해하여 투입한 효소의 고형분 함량에 대비하여 침전물 농도를 계산하였다.

Table 1. General properties of commercial enzymes in the catalogue

name	optimum pH	optimum Temp.(°C)	activity (catalogue)	supplier
Denimax 992L	4.5~5.5	50~60	170EGU/g	Novo
Denimax BT	6~8	50~60	750EGU/g	"
Cellusoft	4.5~5.5	40~55	750EGU/g	"
Novozyme 342	7	65	90EGU/g	"
Pergalase	4.8~6.8	30~65	3,300IU/g	Genencor
Pulpzyme HC	9	50	1,000AXU/g	Novo

2.3 단백질 농도와 enzyme assay

효소제품에 포함되어 있는 효소단백질의 함량을 조사하기 위하여 Lowry 법⁹⁾과 개량 Lowry 법¹⁰⁾으로 단백질을 정량하였다. 이때 표준 단백질로 Bovine albumin (Sigma Co.)을 사용하였다. 또한, 건조된 고형분을 원소 분석하여 질소 함량으로부터 단백질 농도(N×6.25)를 계산하였다.

pH 5.0의 경우 0.1 M sodium-acetate buffer를, pH 7.0의 경우는 sodium-phosphate buffer를, pH 9의 경우는 glycine-NaOH buffer를 사용하였다.

CMCase 활성을 측정하기 위하여 각각의 완충액에 용해시킨 1% CMC 기질에 동량의 단백질에 해당하는 효소를 첨가하여 50℃에서 10분간 반응시킨 후 DNS법으로써 환원당을 정량하였다. Xylanase 활성의 경우는 0.5% Birch xylan을 사용하여 CMC와 같은 방법으로 측정하였다. FPase는 여과지(no.1) 50 ml(1×6 cm)를 각각의 완충액 속에 침적시킨 후 효소반응에 의해 생성된 환원당을 DNS 법으로 정량하였다. 효소활성은 분당 1 μmol의 환원당 생성을 나타내는 국제표준단위(IU)로 나타내었다.

2.4 펄프의 화학 조성분

활엽수 UBKP와 신문고지의 DIP 각 20g을 pH 5, 농도 4%로 조절하여 각 0.2 및 2.0 IU에 해당하는 효소를 투입하고 50℃, 진탕기에서 200rpm으로 1시간 반응시킨 후 100℃에서 5분간 처리하여 실활시키고 여과하여 동결 건조시킨 후 Klason법에 의한 리그닌의 정량 및 Alditol acetate 법¹¹⁾으로 지료의 중성당 조성을 조사하였다. 또 지료의 효소 처리에 의해 생성되는 환원당을 정량하기 위하여 여과액을 DNS법¹²⁾으로 분석하였다. 여과액중의 환원당의 농도는 매우 낮아 DNS법에 의한 정량이 어려워 여과액의 일부를 0.2 micron membrane filter로 다시 여과 후 그 여액을 농축하여 시료로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고형분함량과 침전특성

효소 시료의 총 고형분 함량을 조사하기 위해 분말상으로 판매되고 있는 Denimax BT를 제외하고 6개 시료를 80℃에서 건조한 후 잔존하는 고형분 함량을 조사한 결과를 표 2에 나타내었다. Pulpzyme HC를 제외하고는 고형분의 함량이 대략 20% 전후를 보이나, 고형분 함량 효소제품이 공급될 때 효소단백질 뿐만 아니라 여러 가지 효소 안정제가 첨가되므로 균주로부터 분리 배양된 효소 단백질이 비교적 묽은 상태로 공급되고 있음을 알 수 있었다

Table 2. Solid content in commercial enzymes

name	solid (%)	gravity
Denimax 992L	14.7	1.0421
Denimax BT	100	-
Cellusoft	26.1	1.1085
Novozym 342	28.5	1.1003
Pergalase	26.9	1.0945
Pulpzyme HC	2.2	1.0136

또, 제지산업 현장의 용수 조건에 대한 효소제제의 적용 용이성을 검토하기 위하여 0.1N NaOH와 0.1N CH₃COOH 용액을 사용하여 pH 5, 7, 9로 조절된 수용액에 일정량의 효소를 첨가하여 각 온도에서 5일 동안 정치한 다음 pH별, 온도별 침전 특성을 조사하였다.

Table 3. Precipitation properties in commercial enzymes

name	pH(%)					
	5		7		9	
	25℃	50℃	25℃	50℃	25℃	50℃
Denimax 992L	-	-	-	-	-	-
Denimax BT	19.0	19.5	18.7	18.9	18.8	19.1
Cellusoft	0	2.0	0	2.5	0	1.5
Novozym 342	-	-	-	-	-	-
Pergalase	0	2.1	0	2.2	0	4.9
Pulpzyme HC	-	-	-	-	-	-

Pulpzyme HC, Novozym, Denimax 992L 등은 실온 및 50℃에서 침전물이 발생하지 않지만 Denimax BT의 경우에는 약 20% 전후의 침전물이 발생하였다. 이는 Denimax BT의 경우 분말상

태의 제품으로 공급하기 위하여 여러 가지 난용성 물질이 첨가되기 때문에 판단된다. 한편, Pergalase 및 Cellusoft는 실온에서는 침전물이 생성되지 않으나 고온에서는 소량이지만 침전물을 생성하므로 비교적 열에 변성하기 성분을 함유한 것으로 생각된다.

3.2 단백질 정량

상업용 효소와 같은 복잡한 생물학적 시료의 단백질 농도를 측정하는 방법이 여러 가지가 있지만, 그 중에서 Lowry 법이 가장 일반적인 방법으로 사용된다. 그러나 alkaline copper 시약은 불안정하며 상업용 효소 제품의 조제로써 사용되고 있는 disulfides, glycerol, polyols, aminosugars 및 염 등과 같은 물질에 민감하다.

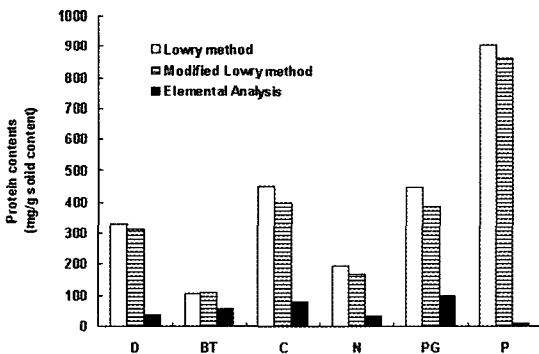
이러한 단점을 극복하기 위해 단백질을 가용화 또는 분산시키기 위해 계면활성제인 Sodium dodecylsulfate(SDS)를 사용하고 sucrose, disulfides 와 ethylenediamine-tetraacetic acid(EDTA)를 안정화시키기 위해 copper tartrate를 과량 첨가하는 개량 Lowry 법이 개발되었다. 본 실험에서는 Lowry 법과 개량 Lowry 법을 기본으로 단백질을 정량하였고 또한 원소분석을 통해 얻어진 질소 함량으로 단백질을 정량하여 비교 분석하였다(그림 1, 2).

Lowry법이나 개량 Lowry법의 단백질 측정 원리가 polypeptide의 Cu⁺⁺ 이온과의 착체에 의한 발색과 방향족 아미노산의 phenol반응에 기초한다.

Lowry방법, 개량 Lowry방법 및 원소분석에 의한 각 상업용 효소의 단백질 양의 차이는 상업용 효소의 안정제로 사용되는 다양한 계면활성제 및 무기이온들의 영향으로 생각되며, Pulpzyme HC의 경우에는 표 2에서 보는 바와 같이 고형분 함량이 상대적으로 낮으므로 Lowry법이나 개량 Lowry법에 의한 단백질 정량의 결과가 상당히 높다.

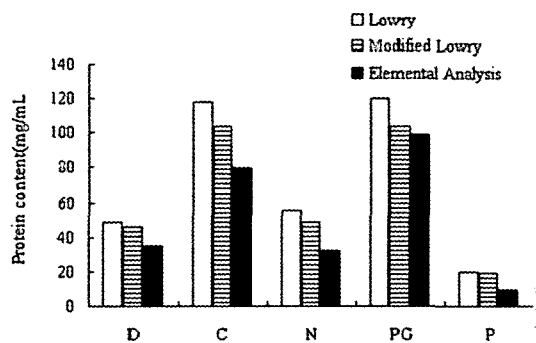
원소분석 결과에 의해 환산된 단백질 함량보다 Lowry법에 의한 단백질 함량이 높게 나타나는 것은 cellulolytic enzyme이 비교적 amine group이 적은 산성 polypeptide로 구성되어 있거나 tyrosin, phenylalanin 등과 같은 방향족 amino산의 구성비율이 높다는 것을 시사한다. 액상 효소 제품의 경우 효소액 중의 단백질 정량치를 고형분 중량에 대하여 환산하면 고형분의 원소분석 결과에 의한 단백질량과의 차이가 심해지는 결과를 보이고 있다.

각 효소의 CMCase, Xylanase, FPase 활성을 pH 5, 7, 9의 완충액 중에서 측정한 결과를 개량 Lowry법에 의한 단백질 농도를 기준으로 국제 효소활성단위(IU)로 환산하여 그림 3-5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 cellulase 와 hemicellulase 혼합형 효소인 Denimax 992L, Denimax BT, Pergalase, Cellusoft의 경우에는 높은 CMCase 활성을 보이지만, Xylanase인 Pulpzyme HC, Novozym 342은 낮은 CMCase을 보인다. 또한 cellulase 와 hemicellulase 혼합형 효소 중 Denimax BT가 가장 높은 CMCase 활성을 나타내었다.



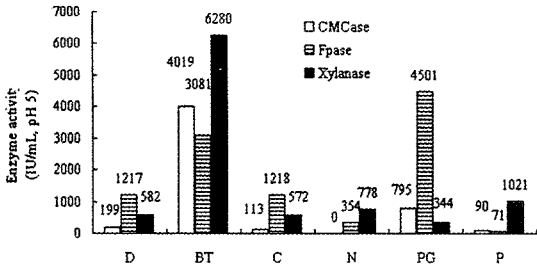
D : Demimax 992L, BT : Denimax BT, C : Cellusoft, N : Novozyme 342, PG : Pergalase, P : Pulpzyme HC.

Fig. 1. Protein content in solid of enzymes.



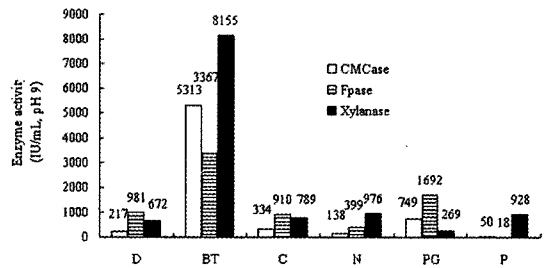
D : Demimax 992L, C : Cellusoft, P : Pulpzyme HC, N : Novozyme 342, PG : Pergalase.

Fig. 2. Protein content in enzyme solution.



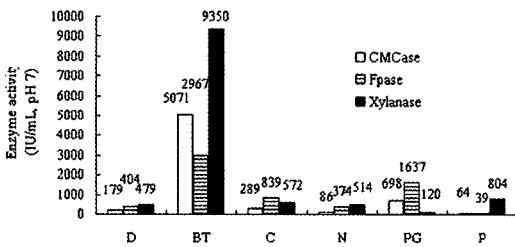
D : Demimax 992L, BT : Denimax BT, C : Cellusoft, N : Novozyme 342, PG : Pergalase, P : Pulpzyme HC.

Fig. 3. Enzyme assay in buffer solution of pH 5.



D : Demimax 992L, BT : Denimax BT, C : Cellusoft, N : Novozyme 342, PG : Pergalase, P : Pulpzyme HC.

Fig. 5. Enzyme assay in buffer solution of pH 9.



D : Demimax 992L, BT : Denimax BT, C : Cellusoft, N : Novozyme 342, PG : Pergalase, P : Pulpzyme HC.

Fig. 4. Enzyme assay in buffer solution of pH 7.

한편, pH 9에서 비교적 높은 CMCCase 활성을 보이는 이유는 효소활성 측정시 기질의 상태변화에 의해 상업용 효소가 산성 용액보다 알칼리 용액 중 에서 기질에 접근하기 쉽거나 혹은 DNC 시약의 발색반응에 대한 영향에 의한 것으로 생각된다. 따라서 알칼리 상태에서 효소활성을 정확히 측정할 수 있는 새로운 방법이 필요하다고 생각한다. 결과 적으로 Denimax 992L은 산성, Denimax BT는 중 성 및 약알칼리성, Pergalase와 Cellusoft는 산성 가수분해 효소임을 알 수 있다.

CMCase 활성과 달리 cellulase 와 hemicellulase 혼합형인 상업 효소의 경우에는 낮은 xylanase 활 성을 보이고 있지만, xylanase인 Pulpzyme과 Novozym의 경우에는 각 pH별로 높은 xylanase 활성도를 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 Pulpzym 의 경우에는 산성 영역에서 Novozym 보다 높은 활성도를 가지고 있지만 이와 반대로 알칼리 영역 에서는 Novozym이 더 높은 활성도를 나타냈다. 혼

합형 효소 중에는 Denimax BT가 다른 효소 보다 높은 xylanase 활성도를 나타내는 것을 알 수 있다.

FPase 활성은 CMCCase 활성과 비슷한 경향을 나타내고 있지만 CMCCase 활성 보다는 전반적으로 높은 것을 알 수 있다. 이러한 이유로서는 FPase 활성의 경우에는 endo-glucanase, exo-glucanase 의 병행 작용에 의한 결과라고 추측된다. CMCCase 및 xylanase 활성도에서 Denimax BT가 가장 높 았지만 FPase 활성도에서는 Pergalase가 가장 높 은 활성도를 나타내는 것을 볼 때 Pergalase를 구 성하고 있는 component인 endo-glucanase, exo-glucanase의 상호작용이 Denimax BT보다 원활 하기 때문이라고 볼 수 있다.

3.4 효소의 공정 적용 비용

표 4는 조사된 상업용 효소의 구매단가를 기준으 로 건조 지료 1Kg에 대하여 0.4IU의 효소활성을 처리할 때 소요되는 효소 비용을 산출하여 비교한 것이다. Denimax BT가 3.6원으로 가장 낮음에 비 하여 Pergalase의 경우에는 25원으로 가장 높은 경

Table 4. Enzyme cost for 0.4IU activity on kg pulp

name	price(W/kg)	FPase (W/0.4IU)	Xylanase (W/0.4IU)
Denimax 992L	10,000	10.0	8.4
Denimax BT	26,000	3.6	1.3
Cellusoft	20,000	9.6	14.0
Novozym 342	Sample only	-	-
Pergalase	10,000	25.0	33.0
Pulpzyme HC	Sample only	-	-

향을 보이고 있다. 이 결과로서 제지산업 현장에서 효소를 사용할 때는 효소 제품의 단가보다는 지료 대비 투입되는 효소 활성을 기준으로 계산함이 보다 효율적인 것으로 판단된다.

3.5 효소 처리에 의한 지료의 화학 조성분 변화

여러 종류의 상업용 효소에 의해 처리된 지료중의 klason lignin 함량 및 당조성 변화를 비교하였다. 또한 UBKP의 경우에는 여과액에 존재하는 유리 phenol 화합물의 함량을 보기 위해 UV 280nm에서 흡광도를 조사하였다.

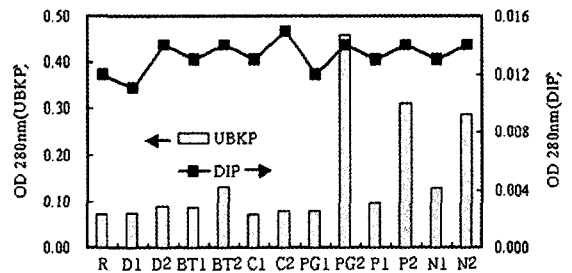
표 5에서 보는 바와 같이 UBKP, DIP의 효소 처리 전 지료의 리그닌 함량이 각각 4.3%, 19.7%인 것에 대하여 UBKP의 경우에는 효소 종류 및 효소 농도에 따라 미세하지만 리그닌 함량에 변화가 있었지만 DIP의 경우에는 효소 종류별 처리에서 별다른 차이를 보이지 않았다. 그 이유로서 UBKP의 경우에는 증해중에 발생된 유리 리그닌의 일부가 다당류의 효소가수분해에 의해 노출되어 섬유로부터 용출되므로 리그닌 함량이 다소 낮아지는 것으로 추정되며 xylanase계 효소인 Pulpzyme,

Novozym의 경우에서 보면 이런 현상이 보다 뚜렷하다. 또한 그림 6의 UV 흡광도를 보면 유리 phenol 화합물 유래의 흡광도가 Pergalase, Pulpzyme, Novozym의 경우에서 높은 수치를 나타내는 것도 전술의 추정을 반증할 수 있는 결과이다. 아울러 효소 처리된 UBKP의 색상이 3종의 효소 처리를 통해 모두 밝아지는 것도 일부의 lignin의 탈리되고 있음을 나타내고 있다. 그러나 DIP의 경우에는 지료를 처리하는 효소 농도 및 처리 시간이 리그닌 함량 변화를 초래할 만큼의 충분한 반응 조건이 되지 않았고, 또한 잔존하고 있는 무기물 즉 충전제 등의 영향으로 효소 반응이 충분치 못하기 때문이거나 DIP 자체가 버진 펄프에 비하여 물리·화학적으로 열화되어 팽윤과 건조를 거치는 과정에서 enzyme에 의해 용탈 가능한 lignin이 거의 남아있지 않기 때문으로 생각할 수 있다.

효소처리에 의한 UBKP 및 DIP 지료의 조성당 변화를 alditol acetate법으로 측정한 결과를 표 6, 7에 나타내었다. UBKP의 경우 침엽수로부터 제조된 것으로 무처리 pulp의 당조성이 xylose, mannose, glucose를 주로 구성되어 있는 반면, DIP의 경우 arabinose, xylose, mannose, glucose로 구성되어 있음을 알 수 있다. 신문용지의 경우 통상 침엽수 기계 펄프 유래의 폐지와 기계펄프가 혼합하여 제조되기 때문에 침엽수와 유사한 당조성을 나타내고 있다. UBKP의 경우 효소 종류 및 효소 농도별로 처리했을 때, mannose의 상대함

Table 5. Lignin content in enzyme treated pulp

samples	UBKP(%)	DIP(%)
Reference	4.3	19.7
Denimax 992L 0.4IU	4.3	19.7
Denimax 992L 2.0IU	4.0	19.6
Denimax BT 0.4IU	4.2	19.6
Denimax BT 2.0IU	3.8	19.9
Cellusoft 0.4IU	4.3	19.6
Cellusoft 2.0IU	4.2	19.6
Novozym 0.4IU	3.8	19.7
Novozym 2.0IU	3.6	19.5
Pergalase 0.4IU	4.2	19.8
Pergalase 2.0IU	3.5	19.6
Pulpzyme HC 0.4IU	4.0	19.8
Pulpzyme HC 2.0IU	3.8	19.7



R: Reference, D: Denimax 992L, BT: Denimax BT, C: Cellusoft, PG: Pergalase, P: Pulpzyme HC, N: Novozym: 1:0.4IU, 2:2.01

Fig. 6. UV absorbance of filtrate of enzyme treated pulp.

량은 거의 일정하지만 xylose 및 glucose 함량이 다소 차이를 보이며 특히 Pergalase 및 Pulpzyme 처리의 경우 xylose 함량이 처리 농도 증가에 따라 약간 감소하는 경향을 보이며 이와 더불어 glucose 함량이 약간 증가하는 경향을 보인다. 전술한 바와 같이 이러한 현상은 펄프 표면에 잔존하는 증해 공정 중에 재침착된 xylan이 효소에 의해 일부 가수분해 되어 용출되기 때문으로 생각된다. 하지만 UBKP와 달리 DIP의 경우에는 효소 종류 및 효소 농도별로 처리 전의 그것과 차이를 발견할 수 없었다.

한편, 상업효소의 종류 및 농도별로 처리된 자료의 탈수 여과액 중의 환원당 생성량의 변화를 측정하였다.

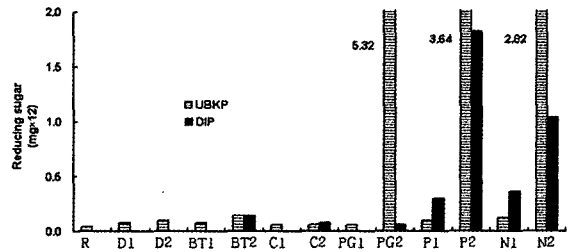
그림 7에서 보는 바와 같이 Pergalase 2.0IU처리한 시료가 가장 높은 환원당량을 나타내지만, 이 정도의 환원당이라고 하더라도 농축한 상태이기 때문에 원래 여과액으로부터 계산해보면 극히 미량의 환원당이 효소가수분해에 의해 생성된 것을 알 수

Table 6. Sugar composition of enzyme treated UBKP(%)

Sample	Ara.	Xyl.	Man.	Gal.	Glu.
original pulp	-	12.3	1.1	-	86.6
Denimax 0.4IU	-	12.3	1.2	-	86.5
BT 2.0IU	-	12.4	1.4	-	86.2
Pergalase 0.4IU	-	12.1	1.2	-	86.7
2.0IU	-	11.7	1.1	-	87.2
Pulpzyme 0.4IU	-	12.0	1.1	-	86.9
2.0IU	-	11.9	1.1	-	87.0

Table 7. Sugar composition of enzyme treated DIP(%)

Sample	Ara.	Xyl.	Man.	Gal.	Glu.
original pulp	1.3	6.8	14.6	-	77.3
Denimax BT 0.4IU	1.3	6.8	14.5	-	77.4
2.0IU	1.4	6.9	14.5	-	77.2
Pergalase 0.4IU	1.3	6.7	14.6	-	77.4
2.0IU	1.3	6.6	14.5	-	77.6
Pulpzyme 0.4IU	1.3	6.7	14.5	-	77.5
2.0IU	1.3	6.5	14.5	-	77.7



R: Reference, D: Denimax 992L, BT: Denimax BT, C: Cellusoft, PG: Pergalase, P: Pulpzyme HC, N: Novozym; 1: 0.4IU, 2: 2.0IU.

Fig. 7. Amount of reducing sugar in filtrate of enzyme treated pulp.

있다. 또한 UBKP의 여과액 환원당을 보면 cellulase의 활성이 높은 효소보다 xylanase인 Pulpzyme과 Novozym이나 혹은 xylanase의 활성이 좋은 Pergalase 등에서 높은 환원당량을 나타내는 것을 보면 미표백 펄프의 경우 증해 후 pulp중에 잔존하고 있는 xylan이 많기 때문에 xylan 유래의 환원당량이 상대적으로 다른 상업용 효소보다 높게 나타나는 것으로 판단된다.

또한 원 자료에 대해 효소처리에 의해 생성된 환원당의 생성량으로부터 효소 당화율을 계산해보면 2.0IU의 효소를 처리하여도 자료의 다당류가 가수분해 되는 정도는 0.01%이하로 극히 일부에 지나지 않으며, 이러한 사실로부터 펄프-제지 공정에 효소를 적용할 때 예상되는 수율의 감소는 미미한 것으로 결론 내릴 수 있다.

4. 결론

제지공정의 목적에 맞는 효소제제의 선별 및 효소의 공정시험 결과의 비교 분석 등을 용이하게 하기 위하여 상업용도로 공급되고 있는 목질분해효소의 이화학적 성상 및 특성을 분석 비교하였다.

목질섬유소 분해 효소는 액상 및 고형상으로 공급되고 있으며 고형분 농도는 주로 20% 전후이며 단백질 농도가 높은 것이 반듯이 높은 활성을 보이는 않았다. 공정용 효소의 선별에 있어서 효소 자체의 가격 보다는 효소 활성을 고려한 가격결정이 중요한 요소가 된다.

효소에 의한 지료의 화학 조성분 변화는 미미하며, 효소 가수분해에 의한 펄프 수율저하는 무시해도 되는 정도이다.

인용문헌

1. 한국 정밀화학총람 2002, 씨스켄닷컴(주) (2002).
2. 한국 산업기술시장정보 2003, 한국기술거래소 (2003).
3. Bajpai P., Bajpai P.K., Kondo R., *Biotechnology for enviromental protection in the pulp and paper industry*, Springer-verlag Berlin Heidelberg, pp. 1-11 (1999).
4. Novo Nordisk Communications & Design, *Prospective, The news latter from novo nordic*, Novo Co. (2002).
5. Hartree, E.F., *Determination of protein : A modification of the Lowry method that gives a linear photometric response*. *Analytical Biochemistry*, 48, pp. 422-427 (1972)
6. Lowry, O.H. Rosebrough, N.J., Favr, A.L., Ram Dall, R.J. *Determination of protein*, *J. Biol. Chem.* 193, 265 (1951).
7. Aum, B-J and Paik K-H. *Deinking of laser-printed paper using enzyme*. *J. Korea Tappi.* 29(2): 16-24 (1997).
8. Eom, T-J., Kang, S-H., Lee, J-M., and Park, S-B. *Recycling of waste paper with alkaline*. *Cellulytic Enzyme (1)*. *J. Korea Tappi*, 35(3): 66-73 (2003).
9. Eom, T-J., Kang, S-H., Lee, J-M., and Park, S-B. *Recycling of waste paper with alkaline*. *Cellulytic Enzyme (2)*. *J. Korea Tappi*, 36(1): 24-29 (2004).
10. Eom, T-J., Kang, S-H., Lee, J-M., and Park, S-B. *Recycling of waste paper with alkaline*. *Cellulytic Enzyme (3)*. *J. Korea Tappi*, 36(1): 30-36 (2004).
11. Gordon O. Guerrant and Wayne C. Moss, *Determination of monosaccharides as Aldononitrile, O-methyloxime, Alditol and Cyclitol acetate derivatives by Gas chromatography*, *Anal. Chem.*, 56, 633-638(1984).
12. Hukui Sakuzou, *還元糖 定量法, 生物化學實驗法 1, 學會出版 center*, pp19-22(1982).