

# 爆碎處理된 木質系 Biomass의 酵素加水分解 ( I ) \*1

—리그닌의 含量과 纖維素의 結晶化도가  
酵素加水分解에 미치는 영향—

朴永起·吳正壽\*2

# The Enzymatic Hydrolysis of Exploded Woody Biomass( I ) \*1

—Effects of Lignin Contents and Cellulose Crystallinity on  
the Enzymatic Hydrolysis—

Young-Ki Park · Jung-Soo Oh \*2

## ABSTRACT

Substrates used were hardwood-Suwon poplar- (*Populus alba* × *glandulosa* L.) and softwood-pitch pine- (*Pinus rigida* M.). And these substrates were steam exploded then treated with sodium chlorite at 75°C with occasional stirring in order to obtain samples which had different lignin contents and crystallinity. And then this resulting samples incubated with a commercial cellulase derived from *Trichoderma reesei*.

The contents of Klason lignin were decreased as the increasing of the ratio of sodium chlorite in the two species. The effect of hardwood was more effective than that of softwood in the same ratio of sodium chlorite. The minimum contents of Klason lignin were 0.8% and 5.1% respectively. And the crystallinities of cellulose were increased very little as increasing of the ratio of sodium chlorite.

The hydrolysis extent of the two species were increased as the increasing of delignification. Especially, the hydrolysis extent of hardwood was more higher than that of softwood. The maximum hydrolysis extent were 89.8% and 71.1%, respectively.

**Keywords :** biomass, enzymatic hydrolysis, *Trichoderma reesei*, delignification, crystallinity, sodium chlorite, steam explosion

## 1. 緒 論

오늘날 世界가 直面하고있는 많은 問題點 中에서

가장 深刻한 것은 汚染, 食糧問題 그리고 에너지原의 枯渴등이다. 이로 인하여 現在는 石油資源의 代替에너지 研究가 대두되고 있는데, Biomass를 利

\*1. 接受 1993년 7月 23日 Received July 23, 1993

\*2. 東國大學校 農科大學 College of Agriculture, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

用한 酵素加水分解가 그 중 하나이다.

Biomass란<sup>1)</sup> 원래 生態學的인 概念으로서 生物 現在量, 혹은 生物量인데 最近에는 보다 廣範圍하게 사용되어 植物의 種類를 區分하지 않고 그것의 量的으로 集積되므로 食糧, 飼料, 工業 原材料, 에너지 資源으로 될 수 있는 모든 生物體를 말한다. 즉, 生합성에 의해서 생산된 集團(mass)을 뜻한다.

Biomass중의 하나인 lignocellulosic material을 加水分解하여 糖(glucose)을 生産하는 방법에는 酸에 의한 방법과 酵素에 의한 방법이 있는데, 酸에 의한 加水分解는 反應速度가 빠르고, 前處理를 필요로 하지 않는 반면에, 酸의 回收, 腐植防止 裝置의 필요, 그리고 불필요한 부산물의 生産 등의 短點이 있다. 그러나, 酵素에 의한 加水分解는 反應速度가 늦고, 前處理를 필요로 하는 단점이 있기는 하지만 불필요한 副產物이 生成되지 않고, 環境 汚染을 誘發하지 않는다는 長點이 있다.

한편, 이와같은 가수분해로 생산된 糖은 精製하여 食糧資源으로 利用할 뿐 아니라, penicilline, gluconic acid, L-amino acids, 그리고 acetone 같은 醫藥品 및 化學藥品의 제조에도 기본이 된다. 또한, 알콜 발효의 기질로도 사용되어 에너지자원으로도 이용된다<sup>2, 3)</sup>.

酵素加水分解란 목재당류나 그밖의 다당류에 효소(cellulase)를 이용하여 가수분해(hydrolysis)하는 것으로서 Reese<sup>4)</sup>에 의해 제일 처음 제안된 가설은 C<sub>1</sub>-C<sub>x</sub>가설로서 C<sub>1</sub>이 먼저 결정영역을 공격한후 C<sub>x</sub>가 비결정영역을 공격한다는 것이었는데, 그후 Wood등<sup>5)</sup>에 의해서 수정된 C<sub>x</sub>-C<sub>1</sub>假說에 의하면 먼저 C<sub>x</sub>효소가 셀룰로오스를 무작위로 공격하고, 그후 C<sub>1</sub>효소가 셀룰로오스의 非還元性 末端을 攻撃하여 cellobiose를 생성하며, β-gluco-sidase에 의해서 cellobiose나 cello-oligosaccharide가 glucose로 형성된다는 것으로 그 概念이 바뀌었다. 효소가수분해의 주요 產物은 글루코오스(glucose)이다. 목재의 효소가수분해는 澱粉과 비교하여 대체로 반응이 느린데, 그 이유는 셀룰로오스가 抵抗성이 큰 結晶構造를 가지고 있으며, 또한 에너지分子가 아니고 構造分子이기 때문이다. 그리고 리그닌이 셀룰로오스 주위에 둘러싸여 있어서 물리적인 장애를 일으키므로 반응장소가 제한된다. 그리하여 효소가수분해시에는 셀룰로오스의 活性를 增加시키기 위하여 전처리가 필요하다<sup>2)</sup>. 前處理方法에는 物理的인 方法과 化學的인 方法, 그리고 生物學的인 方法이 있는데, 물리적인 방법에

는 ball milling<sup>6,7)</sup>과 grinding<sup>8)</sup>이 代表的인 예이며 化學的인 方法에는 delignification, solvent 抽出 그리고, swelling agent가 있고, 生物學的인 方法에는 주로 菌(fungi)<sup>9)</sup>을 利用한 것이 있다. 또한, 物理化學的인 方法으로는 爆碎法(steam explosion)<sup>10)</sup>이 있다.

本 研究의 目的은 효소가수분해시 物理的인 障礙를 일으키는 리그닌이 효소가수분해에 미치는 영향을 조사하기 위해서 현재 널리 사용되고 있으며, 효과적인 전처리 방법으로 인정되고 있는 폭쇄법으로 목재를 처리한후 이를 다시 각기 다른 양의 亞鹽素酸鹽으로 脫리그닌하여 리그닌의 含量이 다른 시료를 얻었다. 그리하여 리그닌의 함량이 효소가수분해에 미치는 영향을 조사하였으며, 이와 아울러 각시료의 結晶化度도 分析하여 結晶化度和 酵素 加水分解사이의 관계도 究明하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 2. 1 材料

#### 2. 1. 1 供試材料

공시목은 京畿道 남양주군 양수리에 위치한 東國大學校 윤길산 연습림에서 정상적으로 성장한 수령이 18년생인 현사시나무(*Populus alba* × *glandulosa* L.) 1본과 수령이 20년생인 리기다 소나무(*Pinus rigida* Mill M.) 1본을 채취하여 공시목으로 사용하였다.

#### 2. 1. 2 酵素

사용한 효소는 *Trichoderma reesei*의 배양액을 농축한 산업용 효소인 Celluclast(Novo Co. Denmark)를 공시효소로 사용하였다.

### 2. 2 實驗方法

#### 2. 2. 1 供試木의 成分分析

공시목의 성분분석은 TAPPI Standard method(lignin : TAPPI Standard T 222 om-83, ash : TAPPI Standard T 15 os-58)와 Wise's method(holocellulose : Sodium chlorite Method)에 의해서 分析하였으며, 수율은 式(1)에 의해서 구하였다.

#### 2. 2. 2 供試木粉의 調製

공시목을 chipping한 후 爆碎處理의 재료로 사용하였으며, 爆碎材를 다시 Wiley type mill로 粉碎하여 20mesh를 通過한 시료를 脫리그닌용 시료로 사용하였다. 成分分析用 試料은 chip을 분쇄하여 40~80mesh의 목분을 選別하여 사용하였다.

Yield(%)=

$$1 - \frac{\text{The residual weight of treated sample}}{\text{The weight of untreated sample}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

使用한 木粉成分은 Table 1 과 같다.

Table 1. Chemical composition of wood meals(%)

Item	<i>P. alba</i> × <i>glandulosa</i>	<i>P. rigida</i>
Holocellulose	84.86	74.30
Lignin	16.37	25.89
Ash	0.36	0.16

2. 2. 3 爆碎處理

본 실험에서 사용한 폭쇄처리는 경북대학교 임산공학부에 소재한 반응기의 용량이 30 L인 폭쇄장치를 사용하였으며, 폭쇄조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Conditions of wood chip explosion

Species	Pressure(kg /cm <sup>2</sup> )	Time(min)
<i>Populus alba</i>	20	4
× <i>glandulosa</i>	25	4
<i>Pinus rigida</i>	20	4
	25	4

2. 2. 4 탈리그닌처리

아염소산염에 의한 탈리그닌은 서로 다른 리그닌함량을 가진 試料를 얻기 위하여 75℃ 振湯水槽에서 爆碎材 10g 당 현사시의 경우에는 亞鹽素酸鹽을 각각 0.05g(0.5%), 1.0g(10%), 2.5g(25%), 5.0g(50%)을 사용하였고, 리기다 소나무의 경우는 각각 2.5g, 5.0g, 7.5g, 10g을 각각 사용하였으며, 蒸溜水 750ml와 冰醋酸 2.5ml를 각각 添加하여 1시간동안 반응시킨후 蒸溜水와 아세톤을 順次的으로 添加하여 洗滌하였다.

2. 2. 5 結晶化度測定

Cellulose섬유의 X선 회절도의 강도 분포곡선은 결정영역량에 근거한 피크(Icr)와 비결정 영역의 산란에 의한 피크(Ia)의 중복으로 되기때문에 양자의 강도를 분리 하여 높이의 비를 취하면 결정화도가 계산된다. Cellulose I에 있어서 최고의 회절 강도를 갖는 격자면(002면)에서의 회절각(2θ=22.5°)과 피크에 상응하는 회절각(2θ=18.5°)의 회절 강도를 구하여 Segal<sup>[2]</sup>의 식에 의해서 결정화도를

구하였다. 결정화도의 식은 식(4)와 같다.

$$CrI = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

Diffractionmetry의 조건은 다음과 같다.

Tube anode : Cu, General tension : 30Kv, General current : 20mA, Divergence slit : 1.0 mmφ, Receiving slit : 0.2mmφ, Scanning Speed : 3° /min.

2. 2. 6 조효소의 역가측정

본 실험에서는 조효소의 역가를 측정하기 위하여 C<sub>1</sub>은 filter paper를 사용하였고, C<sub>x</sub>는 CMC(carboxymethyl cellulose)를 사용하여 Mandels 등<sup>[11]</sup>의 방법에 의하여 측정하였다.

C<sub>1</sub>의 역가는 식(2)을 사용하여 1시간에 1μ mole의 glucose를 생산하는 양을 1 unit로 하였으며, C<sub>x</sub>의 역가는 식(3)에 의하여 30분에 1μ mole의 glucose를 생산하는 양을 1 unit로 하였다.

$$\text{activity(unit /ml)} = \frac{\text{ml glucose} \times 10^3}{\text{ml glucose} \times 180} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{activity(unit /ml)} = \frac{\text{ml glucose} \times 10^3}{\text{ml glucose} \times 180 \times 10^3} \dots\dots\dots (3)$$

사용된 효소의 역가는 Table 3와 같다.

Table 3. Enzyme activity of cellulase

Species	Enzyme activity	
	C <sub>1</sub>	C <sub>x</sub>
<i>T. reesei</i>	117.0	7.0

(Unit : unit /ml)

2. 2. 7 亞鹽素酸鹽 處理한 爆碎材의 酵素加水分解

0.05 M Na-citrate buffer(pH 4.8)을 100ml용 삼각 플라스크에 40ml를 취하고 기질 2.0g(5.0%), 酵素液 2.0ml(5.0%)를 가한 후, 온도 48℃에서 48시간 동안 교반하면서 shaking incubator에서 반응시켰다. 그 후 100℃에서 5분간 끓여 반응을 정지시켰다.

2. 2. 8 加水分解率 測定

반응잔사를 glass filter(1G4)로 여과한후 105±3℃의 항온건조기에서 건조한 후 重量을 측정하여 식(5)에 의해서 가수분해율을 계산하였다.

$$\text{Extent of hydrolysis(}\%) = \left( 1 - \frac{\text{O. D weight of residue}}{\text{O. D weight of sample}} \right) \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

### 3. 結果 및 考察

#### 3. 1 아염소산염의 처리가 폭쇄재에 미치는 영향

##### 3. 1. 1 아염소산염의 처리가 폭쇄재의 리그닌함량에 미치는 효과

서로 다른 아염소산염의 양에 따라 탈리그닌된 폭쇄재의 수율 및 리그닌함량을 조사한 결과는 Table 4와 Fig. 1에 나타내었다. Table 4에서 보듯이 현사시 폭쇄재의 경우는 50%(폭쇄재 10g에 대한 NaClO<sub>2</sub> 5.0g)의 아염소산염 투입량만으로도 리그닌함량이 각각 1.0%와 0.8%인 반면, 리기다 소나무폭쇄재의 경우에는 100%의 아염소산염 투입량으로도 리그닌의 함량은 각각 5.1%와 5.9%였다. 그러므로 같은 투입량의 아염소산염에 대한 폭쇄재의 탈리그닌효과는 리기다소나무보다는 현사시가 훨씬 더 월등하였다. Fig. 1은 이러한 탈리그닌의 효과를 나타낸 것으로서 아염소산염의

Table 4. Yield and contents of Klason lignin which delignified by sodium chlorite

Species	NaClO <sub>2</sub> / Sample (%)	Yield	Klason lignin (%)
Poplar 20-4*	0	100.0	22.4
	0.5	74.5	18.4
	10.0	72.5	17.0
	25.0	65.8	9.7
	50.0	57.8	1.0
Poplar 25-4	0	100.0	23.2
	0.5	67.5	14.9
	10.0	65.0	14.5
	25.0	60.7	9.1
	50.0	55.2	0.8
Rigida 20-4**	0	100.0	31.6
	25.0	66.7	27.7
	50.0	59.2	15.9
	75.0	52.3	8.2
	100.0	51.7	5.1
Rigida 25-4	0	100.0	33.0
	25.0	63.9	28.5
	50.0	58.7	19.7
	75.0	52.7	11.4
	100.0	52.0	5.9

\* Suwon poplar (*P. alba* × *glandulosa*) wood exploded by steam explosion at 20 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.

\*\* Pitch pine (*Pinus rigida*) wood exploded by steam explosion at 20 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.

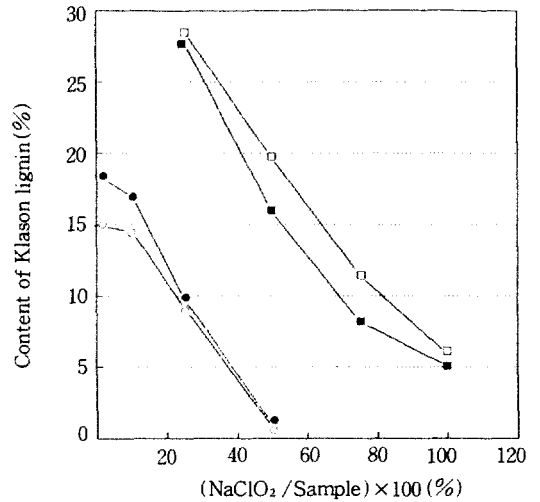


Fig. 1. Relationship between the contents of Klason lignin and the contents of sodium chlorite.

- Suwon poplar (*P. alba* × *glandulosa*) wood exploded by steam explosion at 20 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.
- Suwon poplar (*P. alba* × *glandulosa*) wood exploded by steam explosion at 25 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.
- Pitch pine (*Pinus rigida*) wood exploded by steam explosion at 20 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.
- Pitch pine (*Pinus rigida*) wood exploded by steam explosion at 25 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.

투입량에 대한 리그닌함량은 비례함을 알 수 있다. 또한 현사시를 20 kg/cm<sup>2</sup> 압력으로 4분 폭쇄한 시료보다는 25 kg/cm<sup>2</sup> 압력으로 4분 폭쇄한 시료의 리그닌함량이 더 감소하였는데, 이는 高温, 高壓으로 인하여 리그닌이 20 kg/cm<sup>2</sup>의 압력에서 보다는 25 kg/cm<sup>2</sup>의 압력에서 더 많이 용융되어서 리그닌의 분해가 더 쉬워졌기 때문이라 생각된다<sup>13)</sup>.

#### 3. 1. 2 아염소산염의 처리가 폭쇄재의 結晶化度에 미치는 효과

纖維素는 結晶領域과 非結晶領域으로 구성되어 있는데, 結晶化度란 이 두영역의 상대적인 양을 측정하는 것이다. X-ray diffractometer를 사용하여 얻은 diffractogram은 Fig. 2과 3에 나타내었다. 즉, Fig. 2은 현사시 20-4의 폭쇄재를 서로 다른양의 아염소산염으로 처리하여 얻은 시료의 diffractogram이며, Fig. 3는 리기다 소나무 20-4의 폭쇄재를 서로 다른양의 아염소산염으로 처리하여 얻은 시료의 diffractogram이다. 계산한 결정화도

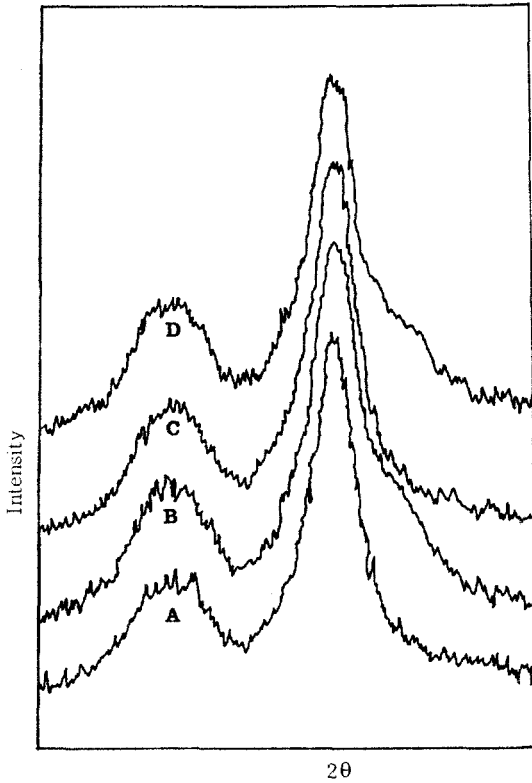


Fig. 2. Diffractograms of steam exploded Suwon poplar wood meals treated with various  $\text{NaClO}_2$  concentration at  $75^\circ\text{C}$ . (A : 0.5 %, B : 10 %, C : 25 %, D : 50 %)

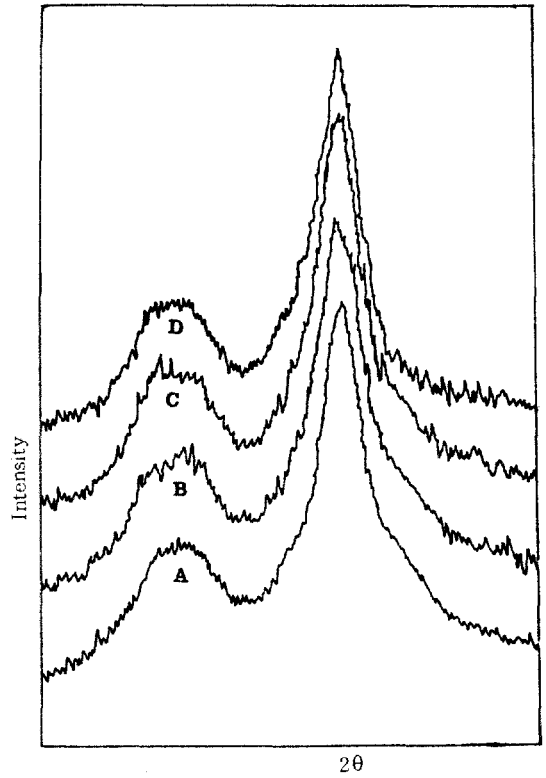


Fig. 3. Diffractograms of steam exploded Pitch pine wood meals treated with various  $\text{NaClO}_2$  concentration at  $75^\circ\text{C}$ . (A : 25 %, B : 50 %, C : 75 %, D : 100 %)

Table 5. Effect of crystallinity on concentration of sodium chlorite.

Species	$\text{NaClO}_2$ / Sample (%)	Crystallinity (%)
Poplar 20-4	0.5	73.1
	10.0	73.4
	25.0	74.5
	50.0	74.8
Rigida 20-4	25.5	64.2
	50.0	69.3
	75.0	73.2
	100.0	73.7

의 결과는 Table 5에 나타내었는데, Table 5는 현사시와 리기다 소나무의 20-4 폭쇄재를 아염소산

염의 농도를 다르게 처리한 시료의 결정화도를 나타낸 것이다. Table 5에서 보듯이 아염소산염의 농도가 증가함에 따라 결정화도도 증가하였는데, 이는 아염소산염에 의한 탈리그닌처리로 인해 비결정영역이 감소하여 상대적으로 결정화도가 증가한 것으로 생각된다.

### 3. 2 亞鹽素酸鹽의 處理가 酵素加水分解에 미치는 影響

#### 3. 2. 1 리그닌의 含量과 酵素加水分解와의 關係

아염소산염으로 탈리그닌처리한 폭쇄재의 효소가수분해를 변화는 Table 6과 Fig. 4에 나타내었다. Table 4와 Table 6을 비교한 결과 현사시와 리기다소나무는 서로 다른 樣相을 보이고 있다. 즉 현사시 폭쇄재는 리그닌이 1/2정도만 제거되어도

가수분해율은 60%를 넘는 반면, 리기다소나무 폭쇄재의 경우는 리그닌이 2/3 이상 제거되어도 가수분해율은 50%를 넘지 못했다. 이는 Baker等<sup>14)</sup>의 결과와도 一致하는데, 즉 그들은 활엽수인 paper birch와 red oak 그리고 침엽수인 적송과 미송으로 실험한 결과 활엽수 두 수종은 리그닌이 제거됨에 따라 digestibility는 급속히 증가되고, 거의 완전히 탈리그닌이 되었을 때에는 90% 정도의 digestibility를 가지며, 침엽수 두 수종의 경우에는 심한 탈리그닌화가 일어나도 거의 적은 정도의 digestibility를 가진다고 하였다. 즉 같은 정도로 탈리그닌된 목재에서 침엽수보다는 활엽수가 더 빨리 가수분해 된다는 것이다. 또한 Millet等<sup>15)</sup>은 활엽수는 1/3 정도만 탈리그닌 시켜도 되나, 침엽수의 경우에는 2/3 이상을 탈리그닌시켜야 한다고 하였다. Saddler等<sup>16)</sup>은 기질로 aspen을 사용하여 폭쇄처리, chlorite pulping, 묽은 窒酸處理等 다양한 전처리법을 사용하여 효소가수분해를 하였는데, 이중 폭쇄전처리는 묽은 질산처리보다 월등하다고 하였으며, 리그닌의 분포가 효소가수분해에 있어서 중요한 인자라고 하였다. Sudo<sup>17)</sup>는 침엽수와 활엽수의 이러한 가수분해 양식이 다른 것은 세포벽내에 있는 구성성분사이의 분포와 구성 성분들 사이의 결합성질이 다르기 때문이라 추측하였다.

Table 6. Changes of enzymatic hydrolysis with degree of delignification.

Species	NaClO <sub>2</sub> / Sample (%)	Degree of Hydrolysis (%)
Poplar 20-4	0.5	32.7
	10.0	50.5
	25.0	62.6
	50.0	89.3
Polpar 25-4	0.5	49.9
	10.0	54.3
	25.0	66.8
	50.0	89.8
	25.5	4.5
	50.0	6.3
Rigida 20-4	75.0	12.9
	100.0	68.2
	25.0	4.9
Rigida 25-4	50.0	7.5
	75.0	32.2
	100.0	71.1

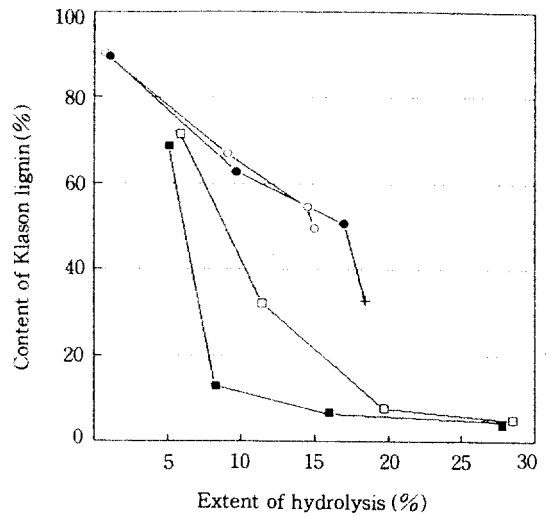


Fig. 4. Relationship between the crystallinity of cellulose and extent of hydrolyses.

- Suwon poplar (*P. alba × glandulosa*) wood exploded by steam explosion at 20 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.
- Suwon poplar (*P. alba × glandulosa*) wood exploded by steam explosion at 25 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.
- Pitch pine (*Pinus rigida*) wood exploded by steam explosion at 20 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.
- Pitch pine (*Pinus rigida*) wood exploded by steam explosion at 25 kg/cm<sup>2</sup> for 4 minutes.

### 3. 2. 2 結晶化도와 酵素加水分解와의 關係

亞鹽素酸鹽에 의해 탈리그닌처리된 폭쇄재의 결정화도變化가 효소가수분해에 미치는 영향에 대한 결과는 Table 5와 Table 6에 나타내었다. 일반적으로 결정화도가 감소하면 가수분해율은 증가하는데, 이는 非結晶領域이 많으면 효소가 接近하기 쉽기 때문이다. Bertran等<sup>18)</sup>은 셀룰로오스의 효소에 대한 accessibility는 결정화도에 의존하며, 셀룰로오스물질의 재료와는 상관없이 높고, 낮은 결정화도를 가진 셀룰로오스가 높은 결정화도를 가진 셀룰로오스보다 더욱더 酵素의 攻撃을 많이 받으며 그리하여 글루코오스를 많이 生産한다고 하였다. 그러나, Table 5와 Table 6을 비교한 것과 결정화도가 증가함에 따라 가수분해率도 증가하였는데, 이는 리그닌의 뿐만 아니라 또 다른 인자 때문이다.

즉, 결정화도는 증가하였으나, 이와는 반대로 리그닌의 함량은 減少하였는데, 이것 때문에 가수분해율은 증가하였다. 결정화도가 73.1인 현사시 20-4 폭쇄재(리그닌함량: 18.4%, Table 4 參照)와 결정화도가 74.8인 현사시 20-4 폭쇄재(리그닌함량: 1.0%)를 비교할 경우 결정화도의 차이는 1.7이지만 리그닌함량의 차이는 17.4로서 결정화도에 의한 영향보다는 탈리그닌에 의한 영향이 더 큰 것으로 생각된다. 즉, 結晶化度에 의한 阻害보다 리그닌의 影響이 더 큰 因子로 작용하였으며 이와 아울러 비표면적과 같은 또 다른 인자가 관여한 것으로 사료된다.

#### 4. 結 論

本 研究에서는 리그닌의 함량과 纖維素의 결정화도가 효소가수분해에 미치는 영향을 조사하기 위하여 현사시나무와 리기다소나무를 각각 폭쇄한 후 아염소산염으로 각기 처리하여, 서로다른 리그닌함량을 가진 시료를 조제하였으며, 아울러 이때의 결정화도도 측정하였다. 그후 효소가수분해한 후 가수분해율을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폭쇄재를 多樣한 濃度의 亞鹽素酸鹽으로 脫리그닌한 結果 두수종 모두의 리그닌함량은 감소하였으며, poplar 20-4와 25-4의 리그닌함량 범위는 18.4%~1.0%, 14.9%~0.8%이며, rigida의 경우는 각각 27.7%~5.1%, 28.5%~5.9%로 현사시의 탈리그닌 效果가 리기다소나무 보다 越等하였다.
2. 폭쇄재의 아염소산염 處理는 試藥의 양이 증가할수록 결정화도를 증가시켰는데, 이는 아염소산염의 처리가 非結晶領域을 減少시켰기 때문이라 推測된다.
3. 현사시와 리기다소나무 모두는 리그닌의 함량이 감소함에 따라 加水分解率은 증가하였는데, 현사시는 最高 89.9%의 加水分解率을 보여주었으며, 리기다소나무의 경우는 最低 71.1%였다. 또한, 같은 程度로 탈리그닌된 시료에서는 현사시의 가수분해율이 리기다 소나무보다 훨씬 높았다.
4. 일반적으로 결정화도가 減少함에 따라 가수분해율은 增加하는데, 本 研究의 結果에서는 結晶化度가 增加함에 따라 효소가수분해율도 增加하였는데, 이는 結晶化度는 증가하였지만 이와는 반대로 리그

닌의 含量이 減少하여 結晶化度가 酵素加水分解에 큰 영향을 미치지 못하였다고 생각된다. 즉, 여기서는 리그닌의 影響이 결정화도에 의한 영향보다 더 큰 因子로 作用하였다고 생각된다.

#### 謝 辭

本 論文의 연구 수행에 있어 爆碎處理와 助言을 하여 주신 慶北大學校 李 鍾潤 教授님과 梁 載卿씨에게 感謝드립니다.

#### 參 考 文 獻

1. 日本農藝化學會. 1985. 바이오マス, 朝倉書店: 2
2. Fan, L.T. M. M. Grapuray and Y. H. Lee, 1987. Cellulose hydrolysis, Springer-Verlag :6
3. Wayman, Mo, 1990. Bio-conversion of waste wood to liquid fuel, *Pulp & Paper Canada* 91 (2) p : 38~40
4. Reese, E. T., R. G. H. Sin, and H. S. Levinson, 1950. The biological degradation of cellulose derivaties and its relationship to the mechanism of cellulose hydrolysis. *J. Bacteriol.*, 59 : 485
5. Wood, T. M. and S. I. McCrae. 1979. Synergism between enzymes involved in the solubilization of native cellulose. *Adv. Chem. Ser.* 181 : 181
6. Muraki, E., F. Yaku, R. Tanka, and T. koshijima, 1985. Enzymatic degradation of finely-devided wood-meal V, *Mokuzai Gakkaishi*, 31 (10) : 854~858
7. Furcht, P. W. and H. Silla, 1990 Comparison of simultaneous wet milling and enzymatic hydolysis of cellulose in ball mill and attrition mill reactors, *Biotechnol. Bioeng.* 35 : 630~645
8. Mastsumura, Y., K. Sudo and K. Shimizu, 1977. Enzymatic hydrolysis of woods II, *Mokuzai Gakkaishi*, 23 (11) : 562~570
9. Hiroi, T. 1981. Enzymatic hydrolysis of woods VI, *Mokuzai Gakkaishi* 27 (9) : 684~690
10. Excoffier, G., B. Toussaint and M. R. Vignon. 1991. Sacchrification of steam-explod-

- ed popla wood, *Biotechnol. Bioeng.* 38 : 1308~1317
11. M. Mandels, R. Andreotti, and C. Roche, 1976, Measurement of saccharifying cellulose, *Biotechnol. Bioeng. Symp.* No 6 : 2112. Segal L., Creely J. J., Martin A. E. and Conrag C. M., 1959, *Textile Research J.* vol. 29 : 786
  13. Tanahashi, M. 1989. Ph. D. Theses. Kyoto University.
  14. A. J. Baker, M. A. Millet and L. D. Satter, 1975. Wood and wood-based residues in animal feeds, *ACS Symp. Ser.*, 10 : 75
  15. Millet, M. Q., A. J. Baker and L. D Satter. 1976. Physical and chemical pretreatment for enhancing cellulose sacchrification, *Biotechnol. Bioeng. Symp.* No. 6 : 125~153
  16. Sadler, J. N., H. H. Brownell., L. P. Clermont and N. Levitin. 1982. Enzymatic hydrolysis of cellulose and various pretreated wood fractions, *Biotechnol. Bioeng.* 24 : 1389~1402
  17. Ken-ichi, S., Y. Matsumura and K. Shimizu. 1976, Enzymatic Hydrolysis of Wood I, *Mokuzai Gakkaishi* 22(12): 670~676
  18. Bertran, M. S. and B. E. Dale. 1984. Enzymatic Hydrolysis and Recrystallization Behavior of Initially Amorphous Cellulose, *Biotechnol. Bioeng.* 27 : 177~181