

活性 알칼리 濃도가 일본잎갈나무 UKP의 脫리그닌에 미치는 影響

元 鍾 鳴* 趙 炳 默*

Effect of active alkali concentration on the delignification of Larch UKP

Jong Myoung Won* and Byoung Muk Jo*

Abstract

This study was carried out in order to obtain the effect of active alkali concentration. Sulfidity 25%, maximum temperature 170°C, cooking time 3hrs., liquor to wood ratio 5 : 1 in the kraft cooking conditions were maintained. Active alkali concentration were varied at intervals of 3% between 12% and 24%.

The rates of delignification increased with an increase in active alkali concentration and beatability, brightness, and strength of pulp also improved. The total pulp yield tend to decrease with an increase of active alkali concentration. The maximum screened pulp yield were obtained between 18% and 21% A.A.. Therefore, the optimum active alkali concentration was 18~21%.

1. 緒 言

紙類는 日常生活에 있어서 없어서는 안될 重要な 生活必需品인 同時에 文化的 媒體로서 每年 그 消費量이 增加一路에 있음은 否認할 수 없는 世界的인 趨勢이며 이러한 現象은 先進國으로 갈수록 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다.

韓國의 펄프·製紙工業은 1919年以來 急速한 發展을 거듭하여 現在 碎木펄프는 自給이 可能하게 되었으나, 産業紙 및 加工原紙의 原料인 化學펄프의 自給率은 겨우 總收要量의 5% 水準에 머물고 있다. 國內 森林資源의 現況을 볼때, 全國土의 約 7割 以上이나 되는 森林을 保有하고 있으면서도 거의 大部分의 木材需要를 外國輸入에 依存하고 있는 實情이다.³²⁾

이러한 難關을 打開하기 위해서는 適地適樹를 선택 造林하고, 短伐期用材의 植栽, whole-tree utilization 技術의 確立 等, 가장 合理的이고 集約的인 木材資源의 利用對策이 강구되어야 함은 물론 이에 關連된 製材技

術의 開發이 要求된다.

活性알칼리 濃도가 脫리그닌 및 펄프의 收率 및 品質에 미치는 影響에 對한 研究는 國內의 경우 全無한 狀態로서 金奉泰外 2人(1971)이²⁹⁾ 國產 참나무類에 對하여 단편적으로 研究한 바가 있을 뿐이다.

Bray와 Curran(1933)¹⁾, Kleinert와 Marccini(1965)^{14, 15, 16, 17)}는 알칼리 濃도가 增加함에 따라 脫리그닌 率이 增加했으며 펄프收率 및 強度를 低下시켰음을 報告하였다.

Bray外 2人(1939)³⁾, Schwarz와 Bray(1939)²⁴⁾는 알칼리 濃도가 펄프의 收率과 品質에 미치는 影響을報告했으며 silver fir wood의 경우 50g/l(15.6% A.A.)에서 最高의 破裂, 引裂強度 및 卽解性이 나타났음을 밝혔다.

Bray外 2人(1938)²⁾, Bishop(1956)¹⁾, Cann과 Robertson(1960)²⁾, Luzina(1970)²⁰⁾는 소나무類의 kraft cooking時 活性 알칼리 濃도가 脫리그닌, 펄프收率, 卽解性, 펄프피트의 強度에 미치는 影響과 더불어 sout-

* 江原大學 農學部 林產加工學部

Department of Forest Products & Technology, Gangweon National University.

hern pine의 경우 最適 活性알칼리 濃도가 18%임을 報告했다.

Kosaya外 2人(1972)¹⁸⁾은 pine, birch, aspen의 kraft pulping時 活性알칼리 濃도가 12%에서 26%로 增加함에 따라 總收率이 모두 감소했으며, 各各 그 最適活性알칼리 濃도가 19%, 14.4%, 14.1%이었음을 報告했다.

最近 Powell外 3人(1975)²³⁾, Bublitz(1976)⁶⁾는 活性알칼리 濃도가 脫리그닌 및 펄프收率에 미치는 影響에 對한 研究에서 permanganate no. 및 kappa no.를 적용하여 脫리그닌과 펄프收率과의 關係를 究明하였다.

本 實驗은 現在 材質이 不良하여 利用도가 낮은 일본잎갈나무(*Larix leptolepis*)의 펄프화 利用을 위해 kraft pulping時 活性알칼리 濃도가 UKP(Unbleached kraft pulp)의 脫리그닌 및 同 펄프의 品質에 미치는 影響을 究明하여 最適 펄프화 條件을 確立코자 實施하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 供試材料

供試木은 경기도 양주군 진접면 林業試驗場 光陵試驗林에서 生育한 樹令 20년, 胸高直徑 10cm, 樹高 11m인 生長이 良好한 낙엽송 立木을 선정하여 試料로 하였다.

Table 1. Sample wood

Species	Age (year)	D.B.H. (cm)	Height (m)	Location
<i>Larix leptolepis</i>	20	10	11	Yang ju

2.2 實驗方法

2.2.1 칩 調製

原木을 portable drum barker로 剝皮하여 portable chipper (Fuji Co., 3 knife, 35Hp)로 칩을 調製한 다음 크기 約 3×2×0.2~0.3cm의 것을 選別하여 使用하였다. 이때 칩의 含水率은 6.5%였다.

2.2.2 供試材의 物理·化學的 性質

2.2.2.1 物理性

比重은 各 供試木에 대하여 地上 20cm部位, 樹高의 1/3, 2/3部位에서 各各 1cm두께의 圓板을 採取하여 1週日間 물에 침적시킨후 TAPPI Standard T18m-53에 依據하여 測定하였으며, 纖維長 및 幅은 樹高 1/3部位로부터 두께 2cm의 圓板을 採取한 후, 매 年輪까지

다 木片을 調製하고 Schurz solution(KClO₃ 1:conc-HNO₃ 1:H₂O 2)으로 解離시켜 safranin으로 染色한 다음 projector로 각각 100個씩 測定하였다.

2.2.2.1 化學性

伐木, 剝皮한 후 室內에서 約 1개월간 氣乾시킨 原木으로부터 TAPPI Standard T11m-59에 準하여 樹高 1/3部位에서 成分 分析用 圓板을 採取한 다음, 實驗室用 木粉粉碎機로 40~60mesh의 木粉을 調製하고 TAPPI Standard T1m-59~T19wd-71에 依據하여 灰分, 冷·溫水抽出, alcohol-benzene抽出, 1% NaOH抽出, holocellulose, pentosan 및 lignin含量을 測定하였다.

2.2.3 Cooking liquor 調製

NaOH(純度 81%)와 Na₂S(純度 92%)로 TAPPI Standard T613os-70에 依據하여, 黃化度 25%의 蒸解液을 調製한 후 Stephenson method²²⁾에 依해 各各 活性알칼리 濃도와 黃化도를 調整하였다.

Table 2. Preparation of kraft cooking liquor

A.A.concen. (%)	12	15	18	21	24
Sulfidity (%)	25	25	25	25	25
NaOH(g. as Na ₂ O)	57.4	71.7	86.0	104.0	114.7
Na ₂ S (g. as Na ₂ O)	16.4	20.5	24.6	28.7	32.8

2.2.4 펄프화

蒸解條件 中 다른 條件은 모두 固定시키고, 活性알칼리 濃도를 12, 15, 18, 21, 및 24%로 變化시켜 4L用 laboratory autoclave(Toyo Seiki Co.)로 蒸解하였다.

Table 3. Kraft cooking condition.

Active alkali concentration (%)	12, 15, 18, 21, 24
Sulfidity (%)	25
Maximum temperature (°C)	170
Time to max. temperature(min.)	90
Time at max. temperature(min.)	90
Liquor vs. wood ratio	5 : 1
Chip (o.d. weight, g)	400

2.2.5 解離 및 精選

autoclave에서 排出시킨 蒸解醜을 100 mesh screen vat上에 담아 流水로 洗滌하고 Niagara type laboratory beater (Kumagai Riki Kogyo Co.)로 4分間 解離시킨후, 12 cut flat screen(Kumagai Riki Kogyo Co.)

으로精選하였다.

2.2.6 펄프收率測定

精選한 펄프를 원심脫水機로充分히洗滌脫水시켜 펄프乾燥用 항온기(incubator)로乾燥시킨 다음室內에서 2~3時間 氣乾시켜 赤外線 水分測定器로 含水率을測定하여 精選收率을求하고, reject는 105±5°C에서 絶乾시킨후 秤量하여 求하였다.

2.2.7 叩解 및 抄紙實驗

TAPPI Standard T200s-70에 準하여 叩解濃度 0.75%의 條件下에 Niagara type laboratory beater로 供試펄프를 叩解하고, Noble & wood sheet machine 으로 sheet size 8"×8", basic weight 60g/m²의 抄紙片을 抄紙하였다.

2.2.8 白色度測定

TAPPI Standard T217m-48에 따라 溫度 20°C, 관계습도 65%로 調濕시킨 供試 sheet 5枚에 對하여 Hunter type brightness tester로 그 白色度를 測定하였다.

2.2.9 Pulp sheet의 物理性測定

溫度 20°C, 관계습도 65%로 調濕시킨 供試 抄紙片에 對하여 KS規格에 따라 平량, 두께, 裂斷長, 比破裂度 및 比引裂度를 測定하였다.

2.2.10 Pulp의 리그닌 定量

TAPPI Standard T222m-54에 따라 供試펄프 1g을 取하고, 72% H₂SO₄ 15cc를 加하여 4時間동안 반응시킨 다음 다시 蒸溜水 560cc를 加하여 3% 濃度로 調節하여 4시간 동안 沸騰후, glass filter 1G4로 여과시킨 다음 絶乾, 平량하여 lignin量을 求하였다.

3 結果 및 考察

3.1 供試材의 性質

3.1.1 物理的 性質

比重은 特別 化學펄프에 있어서 藥液의 浸透에 重要한 性質로 作用하는 바도 있지만 펄프生産 過程 原木 消費量에 직접 影響을 미치므로 比重이 큰것 일수록 펄프用材로서 有利하다. 供試材는 比重이 0.42로서 約 0.85의 pau mulata와 abiarana,¹²⁾ 0.6~0.7의 참나무類에³⁰⁾ 比해 훨씬 떨어져나 0.3~0.4의 포플러類보다 다소 높았고 0.4~0.48의 소나무類와는 비슷하였다.

樹皮는 보통 全木材重量의 10~15%를 차지하며³⁾ 原木調製에 성가신 異物일 뿐만 아니라 藥品 消費量도 增大시키고 pitch trouble을 일으키는 한 因子가 되는데, 本供試材의 경우는 12.2%로서 9.6~10.2%의 포플러類, 10.6%의 douglas fir보다 다소 많게 나타났다.

纖維長은 3.34mm로서 다른 針葉樹와 비슷했으나, 幅은 0.036mm로서 0.041mm의 리기다소나무(*Pinus rigida*), 0.045mm의 잣나무(*Pinus koraiensis*)보다 다소 작았고, 長幅比(L/W)는³¹⁾ 다른 針, 闊葉樹보다 훨씬 크게 나타났다.

Table 4. Physical properties of sample wood.

Specific gravity	Bark (%)	Fiber length (mm)	Fiber width (mm)	L/W
0.42	12.2	3.34	0.036	92.8

3.1.2 化學的 性質

木材의 化學的 組成分은 解剖學的 性質과 마찬가지로 pulp sheet의 特性에 큰 影響을 미치는 重要한 因子로서 그 組成分의 含量에 따라 여러가지 紙質上의 特徵을 나타낸다. 즉 叩解의 難易, 펄프收率, roe값, pulp sheet의 밀도, 強度, 透明度 等に 큰 有意性을 나타내는 要因이 된다.²⁹⁾

供試材의 灰分은 0.27%로서 0.6~1.9%의 열대闊葉樹¹³⁾, 0.31~0.86%의 포플러類보다 적었으며, 0.41%의 리기다소나무보다 크게 나왔다. 抽出物 含量이 많게 되면 펄프의 收率을 감소시키고 藥品의 消費量을 增大시키기 때문에 그 含量이 적은 것이 有利한데, 供試材는 總抽出物含量이 23.5%로서 28~44%의 闊葉樹에 比해 훨씬 적고 다른 針葉樹材와 類似했으나⁶⁾ 可水性 抽出物이 많아 收率에 害를 끼치는 要因으로 생각된다. 63.97%의 holocellulose와 10.06%의 pentosan은 다른 針葉樹에 比해 상당히 적은 한편, 29.67%의 리그닌含量은 33%의 잣나무 보다는 적었으나 다른 樹種보다 상당히 많아 펄프收率의 低下 및 藥品 消費量의 增大를 야기시키는 주요 原因으로 推定되었다.

Table 5. Chemical component of sample wood.

(unit : %)

Ash	Extractives				Holo-cellulose	Pentosan	Lignin
	Cold water	Hot water	Alcohol-Benzene	1% NaOH			
0.27	3.55	4.62	2.89	12.64	63.79	10.06	29.67

3.2 脫리그닌

脫리그닌은 chip 두께, 蒸解溫度, 活性 알칼리 濃度, 有效 알칼리 濃度, 黃化度, pH, 蒸解時間 등에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다.

Table 6. Lignin content of unbleached kraft pulp. (unit : %)

Active alkali concentration	12	15	18	21	24
Lignin content	15.19	7.55	7.16	3.94	3.15

Table 6. 및 Fig.1과 같이 活性 알칼리 濃도가 12%에서 24%로 增加함에 따라 리그닌 含量은 15.19%에서 3.15%로 떨어져 活性알칼리 濃도가 9%에서 20%로 增加함에 따라 lignin含量이 15%에서 6%로 감소했다는 spruce에 對한 Kleinert T.N.²⁶⁾의 報告와 活性알칼리 濃도가 17%에서 12%로 떨어짐에 따라 리그닌 含量이 많아졌다는 韓國產 참나무類에 관한 金奉泰外 2人²⁸⁾의 報告와 類似한 傾向을 나타내었다.

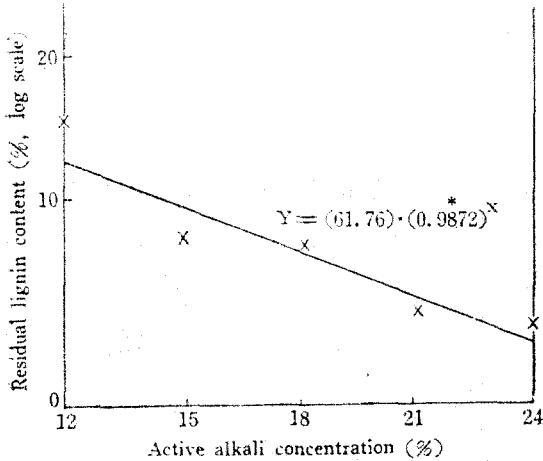


Fig.1. Effect of active alkali concentration on delignification of UKP.(semi-log scale)

3.3 펄프收率

Table 7. 및 Fig.2, 3과 같이 活性알칼리 濃도가 15%까지 增加함에 따라 總收率과 reject는 急激히 감소하

Table 7. Relationship between active alkali concentration and pulp yield. (unit : %)

Active alkali concentration	12	15	18	21	24
Yield					
Screened yield	10.97	35.34	40.47	40.57	38.97
Reject	40.60	11.64	3.62	0.37	0
Total yield	57.57	46.98	44.09	40.91	38.97

다가 그 以後는 완만하게 감소하였고 精選收率은 活性 알칼리 濃度 15%까지 急激히 增加하여 18~21% A.A.에서 最高를 나타내고 그 以後는 다소 감소하였으려 總收率이 增加함에 따라 리그닌 含量과 큰 상관관계를 보였다.

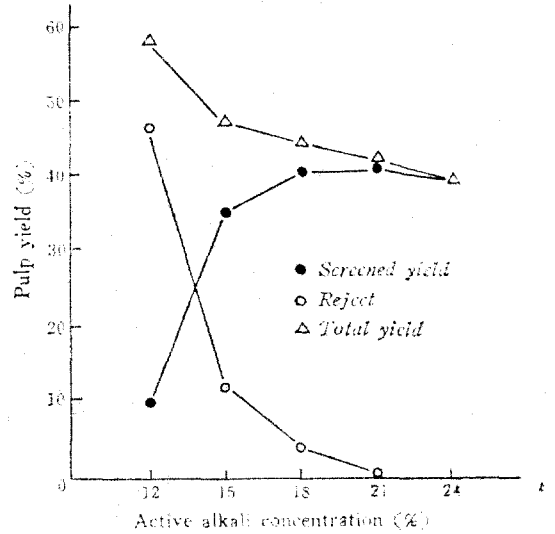


Fig.2. Relationship between active alkali concentration and pulp yield.

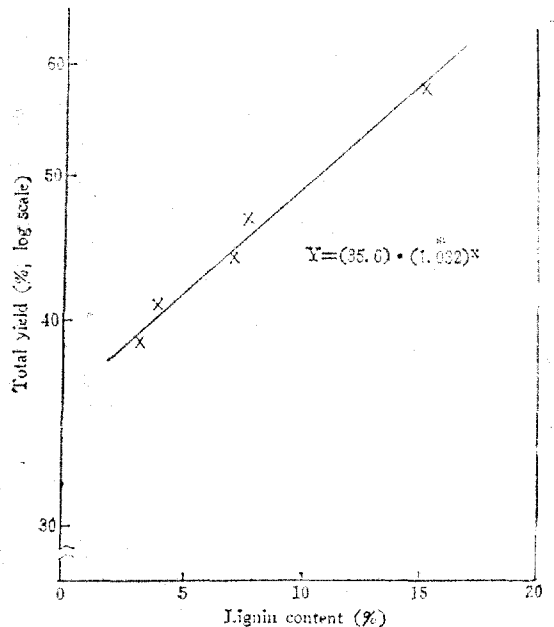


Fig.3. Relationship between lignin content and total pulp yield(semi-log scale)

Nelson外 2人²¹⁾은 eucalypt wood에 對한 報告에서 活性알칼리 濃도가 16%에서 20%로 增加함에 따라 總

收率が 40.9%에서 35.3%로 낮아지는 한편 精選收率は 活性알칼리 濃度 約 18.5%에서 最高를 나타내었으며, Bray外 2人²⁾은 longleaf pine에 관한 報告에서 活性알칼리 濃도가 11.7%에서 19.5%로 增加함에 따라 總收率は 58.3%에서 46.4%로 떨어졌고 精選收率は 15.6%A.A.에서 最高를 이루고 그 以後는 떨어짐을 밝혔다. 또한 A.R. Jones¹¹⁾는 slash pine에 관한 研究에서 總收率が 60%에서 50%로 떨어짐에 따라 lignin 含量이 15.6%에서 6.2%로 떨어졌음을 밝혔다.

以上の 結果를 考察해 볼때 精選收率が 낮게 나온 原因은 供試材의 열등한 化學的 性質에 기인한 것으로 생각되며, 樹種과 木材의 組成분에 따라 最高 活性알칼리 濃도가 變하며, 特히 UKP의 活性알칼리 濃도는 化學펄프의 경우 18~21%, 半化學펄프의 경우 12~15% 범위가 適當한 것으로 判定할 수 있었다.

3.4 叩解性

리그닌은 疎水性을 띄우는 同時에 물 및 有機溶媒에 전혀 溶解되지 않아 纖維의 膨潤力을 감소시키기 때문에^{10,13)} 리그닌 含量이 너무 많은 펄프는 叩解가 難易하다. Table 8. 및 Fig.4와 같이 活性알칼리 濃도가 增加함에 따라 수반되는 리그닌 含量의 감소와 더불어 freeness 35°SR까지 얻는데 所要되는 時間이 단축되

Table 8. Beatabilities of larch UKP.

A.A. concen. (%)	12	15	18	21	24
Pulp consistency %	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Load (kg)	5	5	5	5	5
Beating time (min.)	10	* 15°SR	15°SR	18°SR	18°SR
	18		24"	26"	30"
	20		26"	28"	35"
	23		30"	35"	
	24		32"		
	25		35"		
Total time(min.)		25	23	20	18

* could'nt test on account of beating inaccessibility.

어 리그닌 含量이 저을수록 叩解가 容易해 진다는 Bray外 2人²⁾과 Cann과 Roberson⁷⁾의 報告와 類似한 경향을 보였다.

本實驗 結果에서도 lignin 含量이 15.19%일때 叩解가 매우 困難한 경향을 나타냈다.

3.5 白色度(Brightness)

Table 9. 및 Fig.5와 같이 活性알칼리 濃도가 12%에서 24%로 增加함에 따라 17% Hunter에서 30.1% Hunter로 白色도가 상당히 개선되었는데 그 原因은 리

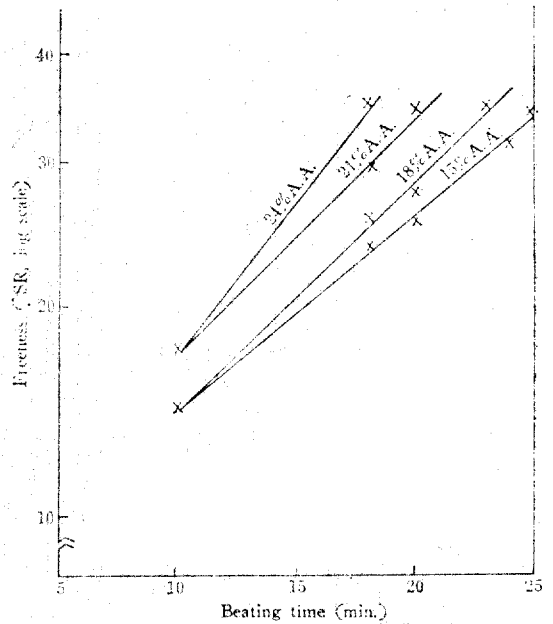


Fig.4. Relationship between beating time and pulp freeness.(semi-log scale)

그닌 및 可溶性 物質이 除去된 때문인 것으로 思料된다.

Nelson外 2人²¹⁾은 eucalypt kraft pulping時 活性알칼리 濃도가 16%에서 19%로 增加함에 따라 白色도가 8.6% GE에서 10.9% GE로 增進되었음을 報告했고, 金奉泰外 2人²⁰⁾은 韓國產 참나무類의 kraft pulping時 活性알칼리 濃도가 12%에서 17%로 增加함에 따라 白色도가 24.5% GE에서 29.2% GE로 增進되는 類似한 경향을 發表하였다.

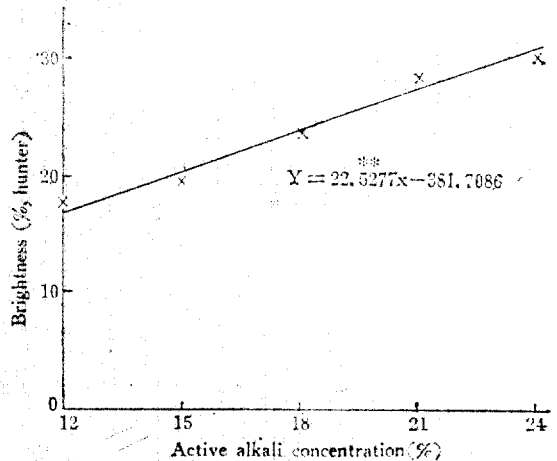


Fig.5. Relationship between active alkali concentration and brightness of UKP.

Table 9. Brightness of pulp sheet

Active alkali concentration (%)	12	15	18	21	24
Brightness (% Hunter)	17.8	19.4	23.35	28.3	30.1

3.6 펄프의 물리성

리그닌을 용출시킬때 hemicellulose 및 cellulose가 붕괴되어 나오기 때문에脫리그닌 정도에 미치는影響을測定하기란 어려운 일이다. 그러나疎水性을 가진 lignin이 용출됨으로써纖維間結合 및 膨潤이容易해지기 때문에 다소強度의增強을 볼 수 있다.

Table 10. 및 Fig. 6와 같이 전반적으로 活性알칼리濃도가增加함에 따라 제반強度가增加하여 lignin이纖維의 膨潤을制限하고 解離된纖維間的結合을防害하여 그 含量이 적을수록 紙力이 우수해짐을 究明한 Jayme, Simond, 木材良次, Jappe 等の²⁾ 報告와 類似한 경향을 나타냈다.

Table 10. Physical properties of pulp.

A.A. con. (%)	12	15	18	21	24
Phy. Prop.					
Freeness (°SR)	35	35	35	35	35
Basic weight(g/m ²)	62.85	62.09	62.36	62.36	63.09
Thickness(mm)	0.096	0.090	0.091	0.098	0.097
Breaking length (km)	54.73	5.767	5.847	5.983	6.023
Burst facor	4.42	4.64	5.07	5.07	5.13
Tear factor	64.96	69.12	94.08	105.06	107.52

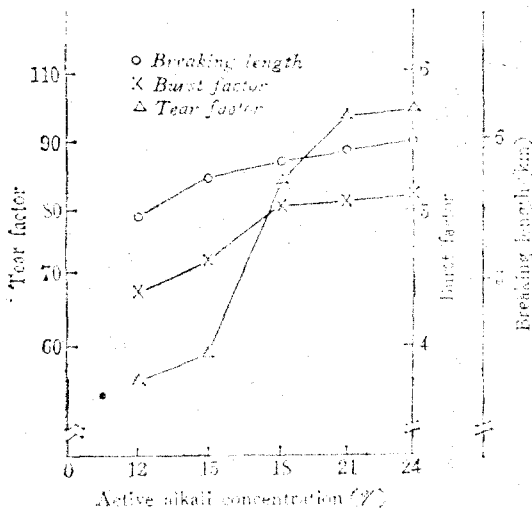


Fig.6. Relationship between active alkali concentration and pulp sheet properties.

本實驗의 일본일갈나무 크라프트펄프는 특히 比引

裂도가 매우 높아 重包裝紙 製造에 適合한 것으로 판정되었다.

4. 摘 要

本實驗은 일본일갈나무材를 供試原料로 하여 UKP 製造時 活性알칼리 濃도가 脫리그닌 및 펄프품질에 미치는影響을 究明하여 그 最適 펄프화 條件을 確立코자 실시한 바, 그 결과를 要約하면 다음과 같다.

1) 일본 일갈나무材는 比重이 0.42, 纖維長이 3.34 mm, 纖維幅이 0.035mm로서 다른 針葉樹類와 비슷하였다.

2) 일본일갈나무는 다른 針葉樹와 달리 holocellulose 및 pentosan의 含量이 낮고 lignin 含量이 높아 펄프 收率을 低下시키는 缺點을 갖고있다.

3) 活性알칼리 濃도의 增加에 따라 lignin 含量과 펄프 收率이 감소했다.

4) 活性알칼리 濃도 18~21%에서 最高의 精選收率 이 나타났다.

5) 脫리그닌화가 進行됨에 따라 펄프의 溶解性이 개선되었다.

6) pulp sheet의 白色도는 脫리그닌程度와 比例관계가 있었다.

7) 일본일갈나무 UKP의 比破裂 및 裂解長은 평균수준 이었으나 比引裂도가 매우 높아 重包裝紙用으로 適合하였다.

8) 活性알칼리 濃도가 增加함에 따라 供試펄프의 제반強度가 개선되었다.

Literature cited

1. Bishop F.W.; Paper Trade J., 140, 2, 28~30 (1956)
2. Bray M.W. & Martin J.S. & Schwarz S.L.; Tech. Assoc. Papers, 21, 441~446 (1938)
3. Bray M.W. & Martin J.S. & Schwarz S.L.; Paper Trade J., 109, 18, 29~36 (1933)
4. Bray M.W. & Curran C.E.; Paper Trade J., 97, 5, 30~35 (1933)
5. Browning B.L.; The Chemistry of wood, 648 (1963)
6. Bublitz W.J.; TAPPI, 59, 5, 69 (1976)
7. Cann E.D. & Roberson W.B.; TAPPI, 43, 2, 97~104 (1960)
8. Christiansen C.B. & Legg G. W.; TAPPI, 41, 5, 216~223 (1958)

9. James P. Casey; Pulp and Paper Vol. I, Interscience publishers, 213 (1966)
10. James P. Casey; Pulp and Paper Vol. II, Interscience publishers, 704~709 (1966)
11. Jonnes A.R.; TAPPI, 55, 10, 1523 (1972)
12. Karl Lauer; TAPPI, 41, 7, 335 (1958)
13. Kenneth W. Britt; Handbook of Pulp and Paper Technology, 4 (1970)
14. Kleinert T.N. & Marracini L.M.; TAPPI, 48, 3, 170 (1965)
15. Kleinert T.N. & Marracini L.M.; TAPPI, 48, 4, 214 (1965)
16. Kleinert T.N. & Marracini L.M.; TAPPI, 48, 4, 224 (1965)
17. Kleinert T.N. & Marracini L.M.; TAPPI, 48, 5, 270 (1965)
18. Kosaya G.S., Luzina L.I. & Dolinko V.V.; Sb. Tr. VNII. Tsellyul. Bumazh. Prom., 61, 77~83 (1972)
19. Laundrie J.F. & Fahey D.J.; Paper Trade J. (1973)
20. Luzina L.I.; Sb.Tr.VNII. Tsellyul. Bumazh. Prom., 56, 14~26 (1970)
21. Nelson P.F., Smith J.G., and Young W.D.; APPITA, 24, 2, 101~107 (1970)
22. Newell Stephenson J.; Pulp and Paper Manufacture Vol.1, McGraw- Hill Book Co. (1950)
23. Powell L.N., Shoemaker J.D., Lazar R. and Barker R.G.; TAPPI, 58, 7, 150~155 (1975)
24. Schwarz S.L. & Bray M.W.; Tech. Assoc. Papers., 22, 600~608 (1939)
25. Sven A. Rydholm; Pulping Process, Interscience Publishers, 589~596, 622~639 (1967)
26. Theodor N. Kleinert; TAPPI, 51, 10, 467 (1968)
27. 右田伸彦; 紙々技協誌, 13, 10, 428 (1959)
28. 金奉泰, 趙旭起, 李範純; 펄프·종이 技術, 3, 1, 14~19 (1971)
29. 辛東韶, 趙炳默, 安元榮, 文昌國, 沈鍾燮; 펄프·종이 技術, 6, 1, 5~16 (1974)
30. 李文哲, 趙炳默, 趙聖熙, 林奇杓, 田豐鎮; 펄프·종이 技術, 3, 2, 8 (1971)
31. 田豐鎮, 李文哲, 趙炳默; 펄프·종이 技術, 5, 1, 27 (1973)
32. 趙南爽; 펄프·종이 技術, 7, 1, 4 (1975)
(1976.12.10 接受)