

## 雁皮蘇打法製漿與漂白之研究

林曉洪<sup>1</sup>、王秀華<sup>2</sup>

**【摘要】**本研究之目的旨在以菲律賓進口之雁皮為試材，探討雁皮纖維以開放式常壓蘇打法製漿後，次以次氯酸鈉及穩定型二氧化氯漂白劑進行單段及兩段式漂白處理，分析雁皮紙漿品質，期獲致最適製漿及漂白條件。蘇打製漿法製造之雁皮紙漿，總收率及精漿收率最高分別可達 53.1% 及 52.7%。單從紙漿總收率及精漿收率言之，最適蒸解藥劑用藥量為 15% 及蒸解時間 90 min。雁皮蘇打未漂漿白度最高為 46.4% G.E.，而紙漿卡巴值 46~50。次氯酸鈉單段漂白時，隨用藥量增加，紙漿卡巴值降低，最大降幅達 45.4%；惟最終紙漿白度僅 68% G.E.；且紙漿黏度會下降。穩定型二氧化氯單段漂白，隨用藥量增加，紙漿卡巴值呈下降趨勢。紙漿白度增加率較漂前提升 72~75%。惟以添加 2% 者增幅最顯著。用藥量 8% 時，紙漿白度可達市售商品最低要求 70% G.E. 以上。次氯酸鈉-穩定型二氧化氯兩段漂白時，紙漿卡巴值隨穩定型二氧化氯用藥量增加而減少，其中又以用藥量 2% 者降幅最大。用藥量 4% 時，紙漿白度已可達市售商品要求之 70% G.E. 以上。而用藥量 8% 者，紙漿白度可增至 80% G.E.。又前段次氯酸鈉漂後紙漿黏度僅約 11 cp，次經穩定型二氧化氯漂白後，紙漿黏度仍可維持約 11 cp。至於穩定型二氧化氯-次氯酸鈉兩段漂白時，當未添加次氯酸鈉時，紙漿白度約 75% G.E.，5% 用藥量時，紙漿白度可提升至 80% G.E. 左右；紙漿卡巴值最大可降至 9 左右。

**【關鍵詞】** 雁皮、蘇打製漿法、漂白、穩定型二氧化氯、次氯酸鈉

## The Study of Pulping Process and Bleaching of Gampi (*Winstroemia silkokiana*)

Sheau Horng Lin<sup>1</sup> Hsiu Hwa Wang<sup>2</sup>

**【Abstract】** The objective of this work is to study the optimum bleaching conditions for Gampi soda pulp. To search for a more practical process, soda pulping was carried out with sodium hydroxide at ambient condition. Pulp qualities were evaluated after single and two-stage bleaching with sodium hypochlorite (H) and/or stabilized chlorine dioxide (SCD). The highest total yield and screened pulp yield were 53.1% and 52.7%. Optimum pulping conditions for the highest total yield and screened pulp yield was 15% NaOH and 90 min cooking time. The best brightness obtained in this study for the unbleached pulp was 46.4% G.E.. Its Kappa numbers were decreasing to around 46~50 with increasing NaClO charges in a single stage bleaching process, and 45.4% of maximum decrease was observed. In the meanwhile, pulp brightness increased to as high as 68% G.E., with 58.7% of

1,2. 國立屏東科技大學木材科學與設計系副教授（通訊作者）、名譽教授

Associate Professor (corresponding author), Emeritus Professor. Dept. of Wood Science and Design, National Pingtung University of Science and Technology.



increase observed. The viscosity of the pulp, at the same time, decreased. The Kappa no. decreased with increasing chemical charges when SCD was applied in a single stage bleaching. The resulting pulp exhibited a 72-75 % decrease of brightness, which was most distinct with 2% application of SCD. Pulp brightness achieved 70 % G.E., labeled as the minimum requirement of commercial handmade Gampi paper. The application of SCD almost showed ineffective on the viscosity of pulp. The Kappa number decreased with the increasing chemical charges in NaClO-SCD two-stage bleaching. The most effective SCD dosage to attain maximum decrease of Kappa number was 2 %. The brightness of pulp achieved 70 % G.E. with 4 % SCD applied, while the brightness of pulp raised up to 80 % G.E. after an application of 8 % SCD. The viscosity of the pulp was about 11 cp after the first stage NaClO treatment, the value maintained unchanged even after being treated with second stage SCD. For the SCD-NaClO two stage treatment, the brightness reached 80 % G. E for 5 % SCD. The lowest Kappa number of the pulp was 9.

【Key words】Gampi, Soda process, Bleaching, Stabilized chlorine dioxide (SCD), Sodium hypochlorite.

## 一、前言

古籍所載：「紙的製造，首在于料」，實為至理名言。中國古代手工紙原料以桑皮、楮皮、青檀皮為主，稻草為輔。而台灣則以構樹皮、雁皮、竹、稻草及麻類為原料，以不同比例抄造而成，大多由菲律賓、泰國等地進口（林明寬，1996）。

日常生活中最常見之手工紙即一般國畫、書法用之宣紙和棉紙。除外尚廣泛應用於日常生活用品、手工藝品及紙藝之創作。就紙張之名稱言，日本將手工紙泛稱為「和紙」，而吾人所稱宣紙，乃古代宣州府管轄地區所生產之手工紙，為避免混淆，將人工手抄之紙張總稱為「手工紙」；後再依原料種類、紙張特性或產地等因素而冠以不同之名稱。（行政院農委會林業試驗所，2004）。

手工紙原料之處理與一般木漿者不同，後者要求高收率、低卡巴值及高強度，而前者更重視漿料之色澤、保存性與成紙之良好墨韻、墨色。況且大部分手工紙原料之木質素含量遠低於木材者，且材質亦不似木材般緊緻、堅硬，只須以較溫和方式即可達製漿目的（王國財等，1997；Rapson *et al.*, 1989）。故傳統上手工紙廠以開放式煮漿為主要製漿方式。

雁皮別名山棉皮，學名 *Winstroemia silkokiana*，屬瑞香科（Thymelaeaceae）蕘花屬，植株高5~6尺，為一多年生落葉灌木，葉呈卵形且互生，葉背有毛，排列如雁行，故名。雁皮紙面泛有絹絲般光澤，質地美觀，紙料透明，紙力強韌，有金屬響聲，且防蟲蛀效果，堪稱一流紙品，有紙中之王、千年壽紙之美稱，常作抄經或重要文書用（馮正曦，1984）。大約6公斤枝條，可得1公斤雁皮，春季伐得枝條之皮較少，7~8公斤才得約1公斤雁皮（王詩文，2001）。雁皮乃韌皮纖維之一種，比構樹皮纖維更細緻，製成紙後具光澤，紙漿中樹脂含量少無樹脂障礙問題，且吸墨性良好，呈現之墨色及墨韻俱佳，為手工紙中相當受歡迎之材料（林郁卉，1988）。木質素含量比其他製漿材料者低，使用密閉式高溫及高壓製漿應容易去除；若以開放式常壓製漿，則木質素比木材纖維難以去除（陳榮坤，1991）。過多的木質素殘餘紙中，易造成白度返黃及紙力下降等缺點。去木質素方法不外乎藉製漿及漂白階段改善之。惟過量的化學藥劑處理，雖可得較高白度，但也破壞纖維原有品質，使紙力下降，不堪久存。

現今大部分手工紙已為機械製紙所取代，惟在某些範疇，尤其傳統書畫用紙，仍使用手工法製造，以其獨特性質，非機械製紙所可取代。傳統上業界



手工製紙均以開放式煮漿及單段漂白為既定程序，其優點為設備簡單、成本低及操作容易；惟亦存在過多木質素及白度不佳等重大缺失。與一般化學漿比較，手工紙含有大量之木質素，除易導致紙張白度下降外，尚會造成漂白藥劑之成本增加，由於木質素在植物細胞壁中與多醣類成分，呈緊密結合，分子結構十分複雜，故難以將所有木質素完全毫無改變分離出來（張豐吉，1986）。

蘇打法又稱鹼法，其係僅以苛性鈉為藥劑進行製漿，本法適用於各種大小工廠。鹼先分離產生 OH<sup>-</sup>離子，而與木質素作用生成可溶性鹼木質素，並可溶解非纖維素物質，與樹脂起皂化作用形成可溶性，與酸起加水分解使成有機酸。蘇打法屬強鹼性製漿，升溫時間宜採慢速升溫，則可得良好紙力。

蒸煮最高溫度視原料不同而異，較高溫度，雖可加速去木質素效率，縮短時間，但易造成收率及黏度降低。蘇打法蒸煮液所含 NaOH 濃度以 g/L 表示，g/L 數值小則對木質素滲透溶解速度小，木質素不易生成鹽類，溶解發生困難。g/L 數值大，除易去除木質素外，亦造成纖維素之分解，強度降低，收率減少及漂率低等問題。由於此法所得紙漿品質較差，收率較低，去木質素能力有限，蒸煮時間又長，故已被硫酸鹽法所取代。惟蘇打法所需設備簡單、操作容易、蒸煮藥液可回收且可於常壓下操作，故廣泛運用於手工紙廠（王國財等，1997）。

近五年來台灣手工紙品雖進口量有下降趨勢，但出口量卻增加不少，尤其 2003 年出口量為 2002 年 4 倍，2004 年進出口量總計達 754,296 公斤，為 2001 年 2.8 倍（財政部關稅總局統計室，2005）。我國一般手工紙廠因規模不大，多採少量多樣方式生產，及對紙品性質之要求而不願採機械製紙，故所製紙品常含大量木質素，使紙張易黃化及紙力下降。由於手工紙漿劣化及黃化問題日趨受重視，如何有效減輕此等現象已成為刻不容緩之課題。本研究之目的擬探討雁皮纖維以蘇打法製漿後，進行漂白處理，分析雁皮紙漿品質，期獲致最適製漿條件

及漂白作業，以提供國內業界製造之參考。

## 二、材料與方法

### (一) 材料

#### 1. 雁皮 (*Wikstroemia sikokiana*)

係民國 93 年由菲律賓進口之菲律賓雁皮材料，含水率調整為 12.0 %。比重 0.45。

#### 2. 試驗藥品

##### (1) 氢氧化鈉 (Sodium hydroxide : NaOH)，試藥級，日本半井藥品株式會社製造。

##### (2) 硫酸 (Sulfuric acid : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)，試藥級，日本半井藥品株式會社製造。

##### (3) 硫代硫酸鈉 (Sodium thiosulfate : Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)，試藥級，日本半井藥品株式會社製造。

##### (4) 過錳酸鉀 (Potassium permanganate : KMnO<sub>4</sub>)，試藥級，日本半井藥品株式會社製造。

##### (5) 碘化鉀 (Potassium iodide : KI)，試藥級，日本和光藥品株式會社製造。

##### (6) 粘粉指示劑 (Starch indicator)，試藥級，日本半井藥品株式會社製造。

##### (7) 次氯酸鈉 (Sodium hypochlorite : NaClO)，有效氯 12 %。國產，欣助企業公司製造。

##### (8) 穩定型二氧化氯 (Stabilized chlorine dioxide : 簡稱 SCD, ClO<sub>2</sub>)，濃度 5 % (以 ClO<sub>2</sub> 表示)。台灣紙業股份有限公司提供。

### (二) 方法

#### 1. 蘇打法製漿

將氣乾長束之雁皮纖維切成小段後，置塑膠袋內，每次取樣前均需測定含水率。蒸煮前先浸泡於水中隔夜，使樹皮軟化以利藥液滲透，蒸煮過程中約保持一定液比 (Liquor ratio)，以常壓蒸解製漿。製漿條件如表 1 所示。

蒸解過程中應不時攪拌雁皮，使其均勻蒸煮並勿使蒸解液溢出，蒸解完畢待涼後，漿料倒入漿袋以清水充分洗淨，脫水，裝袋後儲存



於冰箱，並測定紙漿收率及卡巴值。

表 1 製漿條件

Table 1 Experimental condition of pulping

Liquid ratio	NaOH (%)	Temp. (°C)	Cooking time (hr)
15 : 1	15, 17, 19	98	1.5, 2.0, 2.5

## 2. 卡巴值 (Kappa number) 之測定

取適量之氣乾漿料 (相當絕乾漿 1 g) 加入 500 mL 之蒸餾水，置散漿機中充分攪拌，倒入燒杯中，再以蒸餾水沖洗附著於攪拌機上之殘餘纖維，使總容積達 795 mL，將燒杯置於攪拌機中攪拌，保持 25 mm 之漩渦，不可過快致氣泡進入，添加 0.1 N KMnO<sub>4</sub> 及 4 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 各 100 mL，並以 5 mL 之蒸餾水沖洗其容器，使總容積為 1000 mL，計時 10 min，時間終了立即添加 1 N KI 溶液後，以 0.1 N Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 滴定游離碘，接近反應終點時加入數滴澱粉指示劑，直至反應終點為止，紀錄 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 消耗之 mL 數。依下式計算卡巴值。

$$\text{卡巴值} = p = \frac{(b-a)N}{0.1} \frac{p \times f}{w}$$

$$\text{溫度調整 } K = \frac{p \times f}{w} [1 + 0.013(25 - t)]$$

f：校正數值，用於校正 50 % KMnO<sub>4</sub> 消耗量，依 p 值不同而異，如表 2 所示。

w：絕乾紙漿重 (g)

p：試樣消耗 0.1N KMnO<sub>4</sub> 量 (mL)

b：空白試驗時 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 消耗量 (mL)

a：紙漿試驗時 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 消耗量 (mL)

N：Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 之當量濃度

## 3. 漂白

### (1) 次氯酸鈉(H)漂白

#### ① 次氯酸鈉之標定

準備蒸餾水 200 mL、20% CH<sub>3</sub>COOH 10 mL 及 1 N KI 10 mL，倒入三角瓶內，

加入次氯酸鈉 10 mL，搖動三角瓶使內部攪拌均勻，利用 0.1 N Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 滴定游離碘，接近終點時，加入澱粉指示劑，繼續滴定，至透明無色為止，紀錄 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 消耗量，並依下式計算有效氯。

$$0.1 \text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 1 \text{ mL} = 0.00355 \text{ g Cl}_2$$

$$\text{有效氯 (g/L)} = A \times 0.00355 \times 1000 / 10$$

$$A : 0.1 \text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ 消耗量 (mL)}$$

表 2 f 值：校正之過錳酸鉀消耗量

Table 2 f value : The consumption of potassium permanganate for correcting percentages

P	+0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0.958	0.960	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.973	0.975	0.977
40	0.979	0.981	0.983	0.985	0.987	0.989	0.991	0.994	0.996	0.998
50	1.000	1.002	1.004	1.006	1.009	1.011	1.013	1.015	1.017	1.019
60	1.022	1.024	1.026	1.028	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039	1.042
70	1.044									

### ② 次氯酸鈉(H)單段漂白

a. 取一定量之絕乾紙漿，置塑膠袋內並添加藥品。b. 用藥量：5、10、15 及 20 % 等四種。c. 時間：4 hr。d. 溫度：室溫。e. 添加藥品後，漿料稀釋成 10 %，pH 值調整至 11~12，於室溫下漂白 4 hr，漂白過程需以手搓揉以利紙漿漂白均勻，漂白完畢以清水徹底洗淨漿料，測其黏度及卡巴值，並抄造基重 60 g/m<sup>2</sup> 手抄紙供後續試驗用。

### (2) 穩定型二氧化氯(SCD)漂白

#### ① 穩定型二氧化氯之調製

將一固定量之 A 劑 (穩定型二氧化氯) 加水稀釋 8 倍，並攪拌均勻，次加入活化劑 (鹽酸；Hydrochloric acid) 1 公斤 (A 劑與活化劑用量比例為 1 : 1)，此步驟不可相反，混勻後加蓋靜置 30 min，稀釋配製成所需濃度，儘速使用，以避免氣體揮發。



### ② 穩定型二氧化氯之標定

取蒸餾水 50 mL、10 % KI 20 mL 及 20 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 mL 先後加入三角瓶中，後加入二氧化氯 5 mL 搖動使內部溶液作用均勻，以 0.1 N Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 滴定，接近終點時，加入澱粉指示劑，繼續滴定，至透明無色為止，紀錄 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 消耗量，並依下式計算有效氯含量。

$$0.1\text{N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ 1 mL} = 0.00135 \text{ g ClO}_2$$

$$\text{有效氯 (g/L)} = A \times 0.00135 \times 1000/5$$

A : 0.1 N Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 消耗量(mL)

### ③ 穩定型二氧化氯(SCD)單段漂白

a. 取一定量之絕乾紙漿，置塑膠袋內並添加藥品。b. 用藥量：2、4、6、8 及 10 % 等五種。c. 時間：4 hr。d. 最高溫度：70 °C。e. 添加藥品後，漿料稀釋成 10 %，pH 值調整至 4，先於室溫下處理 2 hr，再於 70 °C 之水浴槽中熱水浴漂白 2 hr，漂白過程需以手搓揉以利漂白作業，漂白後以清水徹底洗淨漿料，測其黏度及卡巴值，並抄造基重 60 g/m<sup>2</sup> 手抄紙供後續試驗用。

### (3) 次氯酸鈉(H)-穩定型二氧化氯(SCD)兩段漂白

① 取一定量經次氯酸鈉漂白 (20 %) 之絕乾紙漿，置塑膠袋內並添加穩定型二氧化氯用量。② 用藥量：2、4、6 及 8 % 等四種。③ 時間：4 hr。④ 最高溫度：70 °C。⑤ 添加藥品後，漿料稀釋成 10 %，pH 值調整至 4。⑥ 先於室溫下處理 2 hr，再於 70 °C 水浴槽中漂白 2 hr。⑦ 漂白過程以手搓揉以利漂白作業，漂白後以清水徹底洗淨漿料，測其黏度及卡巴值。⑧ 抄造基重 60 g/m<sup>2</sup> 手抄紙供後續試驗用。

### (4) 穩定型二氧化氯(SCD)-次氯酸鈉(H)兩段漂白

① 取一定量之經穩定型二氧化氯漂白 (2

%) 之絕乾紙漿，置塑膠袋內並添加次氯酸鈉用量。② 用藥量：5、10、15 及 20 % 等四種。③ 時間：4 hr。④ 溫度：室溫。⑤ 添加藥品後，漿料稀釋成 10 %，pH 值調整 11~12。⑥ 於室溫下漂白 4 hr，漂白過程需以手搓揉以利漂白作業，漂白後以清水徹底洗淨漿料，測其黏度及卡巴值。⑦ 抄造基重 60 g/m<sup>2</sup> 手抄紙供後續試驗用。

### (5) 紙漿黏度之測定

依 CNS 7748，紙漿黏度試驗法(Cannon fenske 毛細管黏度計法)，利用分析天平精確秤取 0.2500 ± 0.0005 g 之絕乾紙漿試樣，置於含有多粒玻璃珠之三角錐形瓶中，由滴管精確滴入 25.0 mL 蒸餾水後，密封之，再置於震盪器中震盪，使纖維分散，靜置 2 分鐘後，導入氮氣。繼續供應氮氣，並加入 25 mL 之銅乙二胺(Cupriethylenediamine, CED)溶液後，密封錐形瓶，繼續震盪 20 分鐘，震盪終了，靜置 2 分鐘，使溶液脫氮。將震盪後之紙漿倒入毛細管黏度計中，另一端以真空抽吸裝置將紙漿溶液抽吸至一定刻度(溫度保持在 25.0 ± 0.1 °C)後放氣，使紙漿溶液至毛細管黏度計中自由流下，當液面到達刻度時按下計時器，測定液面由開始刻度到結束刻度所需之時間(sec)，即為液流時間。為避免動能效應之影響，一般選擇液流時間(Efflux time)為 100 ~ 800 sec 間之黏度。計算黏度(CP)=液留時間(sec)×Factor(黏度計毛細管係數)×1.052。

### (6) 紙張白度測定

依 CNS 1466 試驗標準，使用美國 Technidyne 公司生產之 Brightimeter Micro S-5 白度儀，其波長為 457 ± 0.5 nm 之光譜反射率測定器測定白度 (% G.E.)。



### 三、結果與討論

#### (一) 蘇打法製漿之收率

雁皮蘇打法製漿之收率如表 3 所示。顯示收率隨用藥量及蒸解時間增加而減少。以用藥量而言，15 % 用藥量較之 19 % 者收率高約 2 %，用藥量 15~19 % 收率則從 53 % 降至 50.5 % 且精漿收率最高可達 52.7 %，表示雁皮蒸煮之用藥量 15 % 已足以使雁皮纖維達良好解纖條件，毋須再提高用藥量，至於蒸解時間 90 min 已足夠。

蒸煮目的為去除木質素 (Delignification)，而達解纖之效果。鹼性蒸解中，由於藥品大多由中膠層 (Middle lamella) 開始作用，扮演一種親核劑 (Nucleophilic agent) 之角色，使木質素側鏈上之烷基芳香醚 (Alkylaryl ether) 鏈之斷裂，造成木質素之降解，使木質素易於溶出 (林郁卉，1988)。另製漿蒸煮時，藥液濃度不宜過高，本研究利用開放式蒸煮，NaOH 真正與木質素作用僅占少部分，過高之用藥量並不利於木質素之去除；此因鹼性蒸煮中，大多數之 NaOH 用於碳水化合物之溶解而被消耗，使纖維受水解或剝皮反應 (Peeling reaction) 而造成紙漿收率降低。

雖用藥量 15 %，持溫時間 90 min 者，可獲最高之總收率 (53.1%) 及精漿收率 (52.7 %)。惟與其它條件製漿者 (用藥量 15 %，蒸解時間 120 及 150 min；用藥量 17 %，蒸解時間 120 min) 無顯著差異。此結果與林郁卉 (1988)、陳榮坤 (1991) 相較有所不同，即本研究所得紙漿總收率皆優於前述二者，可能與前述者蒸煮時間過長及纖維原料產地不同所致，但與林明寬 (1996) 相符合。蘇打法未漂漿之蒸解白度亦如表 3 所示。用藥量 15 % 時，隨蒸解時間增長，未漂漿白度呈微幅上升，用藥量提升至 17~19 % 時，白度不升反降，顯示過多用藥量及過長之蒸解時間均會影響紙漿品質及收率，又各用藥量間及蒸解時間對紙漿總收率及精漿收率兩者之差異不大。

表 3 雁皮蘇打法製漿之性質

Table 3 The properties of Gampi's soda pulp

Chemical charge (%)	Cooking time (min)	Total yield (%)*	Screened pulp yield (%)	Unbleached pulp brightness (%) G.E.)	Kappa number
15	90	53.1	52.7	43.0	48.6
	120	52.7	52.3	43.5	47.8
	150	52.2	51.8	43.6	47.8
17	90	52.2	51.8	43.1	48.4
	120	52.0	51.7	45.0	48.1
	150	51.6	51.2	43.0	47.9
19	90	50.9	50.5	46.4	48.5
	120	50.5	50.2	45.7	47.6
	150	50.5	50.2	44.8	47.6

\*：殘渣收率 + 精漿收率 = 總收率(%)

#### (二) 用藥量對紙漿卡巴值之影響

表 3 顯示雁皮蘇打法製漿條件對卡巴值之影響。試驗得知，隨用藥量增加，紙漿卡巴值呈下降趨勢。此一現象與夏滄琪 (1991) 之研究結果相符。由陳榮坤 (1991) 研究結果顯示，雁皮必需使用高溫及高壓之蘇打法及鹼性亞硫酸鹽法製漿，可獲較低之卡巴值，此說明雁皮漿卡巴值不易降低，加以本研究係於常壓下進行製漿，故去木質素反應相當有限，此一結果亦與王國財等 (1997) 之研究有相似之處。

雁皮木質素含量雖較一般木材者低 (經測定為  $10.0 \pm 1.0\%$ )，惟對手工紙常用材料而言已屬較高者。通常以高溫及高壓蒸煮雁皮去木質素甚為容易，惟卻難為中小型手工紙廠所接受。本研究以開放式常溫常壓蘇打法克服此問題，效果似乎不大，惟可獲致較高收率。

果膠質主要分佈於樹皮內層及中膠層，尤以韌皮纖維及葉纖維含量最多，木材中含量較少，由高村憲男、鮫島一彥 (1984, 1985) 及高橋厚 (1987) 之研究得知，雁皮之果膠質高達 28.1%，過高之果膠質除造成製漿時解纖不易，尚會消耗蒸解藥劑。



常壓下，以蘇打製漿法蒸煮時，雁皮之解纖程度視蒸煮濃度而定，而非藥品添加量所主導，即高用藥量時，如液比低而使蒸煮液濃度過高時，反而不利於解纖，必須維持適當之蒸煮液濃度方可獲致最佳之解纖效果，至於應採何種製漿方法及條件，基本上，液比可決定蒸解液之濃度外，主要仍取決於是否對紙漿纖維可獲致最佳解離及最高收率為原則。

### (三) 紙漿漂白性質

#### 1. 次氯酸鈉單段漂白

##### (1) 次氯酸鈉漂液之標定

本研究購買之次氯酸鈉漂液經滴定得知有效氯含量實際值為 9.6 %。

##### (2) 次氯酸鈉用藥量對紙漿卡巴值之影響

表 4 為以不同濃度之次氯酸鈉漂白雁皮蘇打紙漿所得之卡巴值。表中顯示次氯酸鈉用量愈高者其卡巴值亦愈低，其中以用藥量 19 %，持溫 150 min 者降幅最大 (45.4 %)；用藥量 15 %，持溫 120 min 者降幅最小 (41.8 %)。顯示除漂白藥劑外，蒸解時間及蒸煮藥劑增加亦可促進紙漿卡巴值之下降。以常壓之蘇打製漿因木質素之溶除相當有限，故卡巴值無法達易漂白階段，此現象與林郁卉 (1988) 及黃鳳群 (1989) 研究之結果相似。

林明寬 (1996) 研究顯示，雁皮以常壓蒸煮之漿料於漂白後，其卡巴值仍高達 40 以上，本研究結果亦有相符之趨勢；惟本研究之用藥量 10 % 時，紙漿白度僅及 63 % G.E. 左右，並未若林明寬者所得 77.5 % G.E.。另由林郁卉 (1988) 研究中指出，使用常壓蒸煮雁皮漿卡巴值可降至 15，惟需添加 20 % 之次氯酸鈉。本研究使用 20 % 之次氯酸鈉者其卡巴值仍偏高，顯示以常壓蘇打法研製雁皮紙漿仍具難漂性。

表 4 次氯酸鈉用藥量對雁皮蘇打漿卡巴值之影響

Table 4 Effect of NaClO charge on the Kappa number of Gampi's soda pulp

NaOH (%)	Cooking time (min)	NaClO charge (%)				
		0	5	10	15	20
15	90	48.6	44.0	40.0	34.0	28.0
	120	47.8	44.0	39.6	33.4	27.8
	150	47.8	42.8	40.0	34.0	27.2
17	90	48.4	42.4	39.8	32.0	27.0
	120	48.1	40.8	37.0	31.6	26.7
	150	47.9	40.0	36.4	31.0	26.4
19	90	48.2	39.8	38.7	34.8	27.6
	120	47.6	38.8	36.0	30.8	27.0
	150	47.6	38.4	35.2	31.0	26.0

##### (3) 次氯酸鈉用藥量對紙漿白度之影響

次氯酸鈉為一古老之漂白藥劑，一般認為其反應式與氯化作用類似，由於價廉且漂白能力強及施行容易等特點，因此至今仍廣為紙廠採用。於蒸煮後，雁皮紙漿之卡巴值均在 47 以上，即使添加更多之蒸煮藥劑，亦難使卡巴值有大幅度之下降。為使雁皮漿白度能提升至市售商品白度最低要求 70 % G.E.，一般手工紙廠均添加 10~20 % 之次氯酸鈉。本研究嘗試以 5 %、10 %、15 % 及 20 % 等四種漂白劑濃度為之，探討漂白藥劑濃度對雁皮紙漿白度之影響。結果如表 5 所示，紙漿白度隨漂白劑用藥量之增加而增加，即紙漿白度增加率達 58.7 %。惟最終紙漿白度僅 68 % G.E. 左右。此一結果與林郁卉 (1988) 及陳榮坤 (1991) 之研究結果大不相同，惟與王國財 (1995) 研究結果相似，此係雁皮卡巴值較高，以單段次氯酸鈉漂白時，不易達一般手工紙所要求之白度標準。



表 5 次氯酸鈉用藥量對雁皮蘇打漿白度之影響

Table 5 Effect of NaClO charge on the brightness of Gampi's soda pulp

NaOH (%)	Cooking time (min)	NaClO charge (%)					Unit: %G.E.
		0	5	10	15	20	
15	90	43.0	54.7	59.6	64.0	68.2	
	120	43.2	56.9	62.1	64.5	68.2	
	150	43.4	54.4	60.5	64.5	68.3	
17	90	43.3	58.5	62.5	65.3	68.7	
	120	43.5	57.8	63.8	66.0	68.2	
	150	43.4	57.8	63.1	65.0	68.4	
19	90	43.5	55.0	62.3	65.3	68.1	
	120	43.5	57.0	63.5	66.5	68.2	
	150	43.5	56.8	63.2	65.3	68.6	

#### (4) 次氯酸鈉用藥量對雁皮蘇打漿黏度之影響

提高漂白藥劑固然可降低紙漿卡巴值，惟同時也將破壞纖維之聚合度。表 6 為次氯酸鈉用藥量對紙漿黏度之影響。顯示提高次氯酸鈉添加量雖可降低卡巴值並提高紙漿白度，惟由黏度值之降低可知，平均降幅約 53%，其對纖維聚合度破壞程度亦相對提高，此一結果與林郁卉(1988)之研究有相似之處。林郁卉(1988)及林明寬(1996)試驗得知，次氯酸鈉之用藥量從 5 至 20%，其相對粘度(Relative viscosity)亦隨之下降(14.4 降至 10.7)。此因糖基之生成，促使葡萄糖鍵(Glucosidic bond)斷裂，造成纖維素之聚合度降低所致，故粘度呈現下降趨勢。陳良棟(1988)研究以蘇打法製造馬尼拉麻紙漿，結果顯示，蘇打法紙漿因木質素受鹼之作用後，顏色加深，故製成紙後白度亦僅 40% G.E 左右。

### 2. Stabilized Chlorine Dioxide (SCD) 單段漂白

#### (1) SCD 標定標準曲線

SCD 中 A 劑(即 SCD)及 B 劑(即活化劑：HCl)之 pH 值，分別為 8.5 及 1.0。取濃度 11、20、33.3、50% 之 SCD，以 0.1 N

硫代硫酸鈉滴定之，由測定值迴歸作圖，可得圖 2。經滴定後得知 SCD 之有效氯僅 1.02%。

#### 表 6 次氯酸鈉用藥量對雁皮蘇打漿黏度之影響

Table 6 Effect of NaClO charge on the viscosity of Gampi's soda pulp

NaOH (%)	NaClO charge (%)					Unit: cp
	0	5	10	15	20	
15	53.4	24.3	19.6	15.8	11.4	
17	52.8	23.7	19.7	15.1	11.5	
19	52.2	24.4	19.4	15.6	11.3	

#### (2) SCD 用藥量對紙漿卡巴值之影響

圖 3 為 SCD 用藥量對雁皮紙漿卡巴值之影響。顯示 SCD 用藥量增加，其卡巴值亦隨之降低。未添加 SCD 時，紙漿卡巴值達 50 左右，添加 2% 時，卡巴值迅速降至 30 左右，其後隨添加量增加而有不同程度之下降。用藥量增至 10% 時，卡巴值降至 16~17 左右。惟比一般紙漿多段漂白者，用量頗高。

#### (3) SCD 用藥量對雁皮蘇打漿白度之影響

表 7 為 SCD 對雁皮紙漿白度之影響。顯示 SCD 用藥量之多寡，影響紙漿之白度。藥劑用量增加，紙漿白度亦相對提高，尤以用藥量 2% 者最明顯，當未添加 SCD 時，白度不及 50% G.E.；添加 2% 用藥量時，白度明顯上升至 63% G.E.左右，白度增加率達 45~46% 間，爾後隨添加量增加其白度亦有小幅度提升；添加 4% 用藥量時較之 2% 者白度增加約 3%；添加 6% 用藥量比 4% 者，白度增加約 4%；又添加 8% 用藥量時，紙漿白度約可增加 10%。大體上以 SCD 漂白，白度增加率較漂白前約提升 72~75%。惟以添加 2% 者最明顯。

吾人使用之 SCD 漂白前，先以常溫漂



白後，再予以熱水浴處理，此因在常溫下 SCD 與木質素形成氧化剝層反應，產生游離之酚性氫氧基，使木質素發生縮合作用後，當再提高漂白溫度時，可能會使木質素改變原有之性質。

一般手工紙白度要求 70~80 %G.E.，由 SCD 單段漂白結果顯示，漂白藥劑用藥量 8 %時，白度已達要求不須再添加藥劑，以避免造成藥劑浪費。

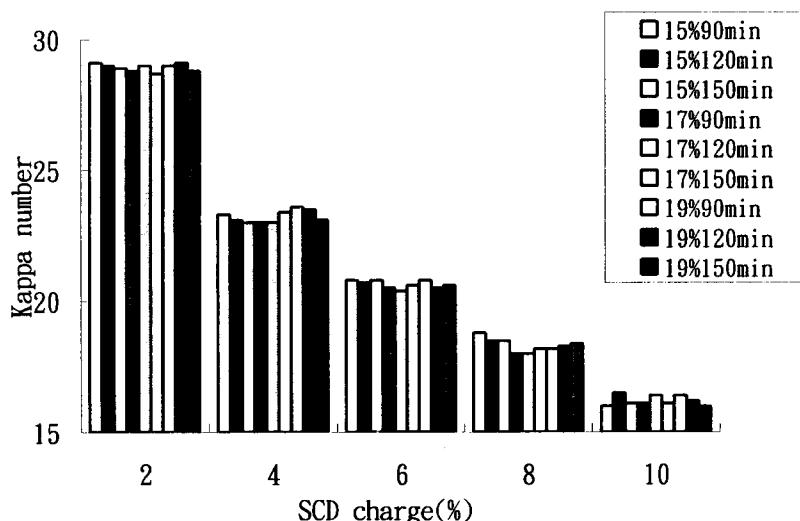


圖 2 SCD 用藥量對雁皮蘇打漿卡巴值之影響

Fig.2 Effect of SCD charge on the Kappa number of Gampi's soda pulp

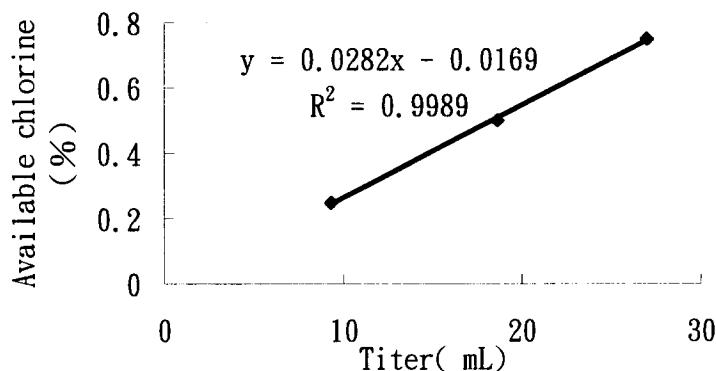


圖 3 SCD 有效氯之標準檢量線

Fig.3 Standard curves of standardization of SCD



表 7 SCD 漂白劑用藥量對雁皮蘇打漿白度之影響  
Table 7 Effect of SCD charge on the brightness of Gampi's soda pulps

NaOH (%)	Cooking time (min)	Unit : %G.E.					
		0	2	4	6	8	10
15	90	43.0	62.8	65.0	68.0	74.5	75.2
	120	43.2	62.8	65.0	68.2	74.3	75.2
	150	43.4	63.2	66.0	68.3	74.5	75.2
17	90	43.3	63.5	65.3	68.0	74.3	75.4
	120	43.5	63.4	65.4	68.2	74.3	74.9
	150	43.4	63.4	65.8	68.2	74.3	75.0
19	90	43.5	63.4	65.5	68.0	74.5	75.2
	120	43.5	63.4	65.7	68.1	74.6	75.5
	150	43.5	63.2	65.8	68.2	74.8	75.6

#### (4) SCD 用藥量對紙漿黏度之影響

表 8 為雁皮紙漿經不同 SCD 用藥量處理後，紙漿黏度之結果。提高 SCD 用藥量，除可降低紙漿卡巴值及提高紙漿白度外，對纖維之聚合度及黏度無顯著降低之影響，表示對紙漿之聚合度影響不大。顯示 SCD 為一優良之漂白藥劑。

表 8 SCD 用藥量對雁皮蘇打漿黏度之影響

Table 8 Effect of SCD charge on the viscosity of Gampi's soda pulp

NaOH (%)	Unit: cp				
	0	2	4	6	8
15	53.4	52.6	52.4	52.4	52.3
17	52.8	52.5	52.4	52.4	52.5
19	52.2	51.8	51.8	51.6	51.5

### 3. H-SCD 兩段漂白

#### (1) H-SCD 兩段漂白對雁皮紙漿卡巴值之影響

圖 4 為雁皮紙漿經 H-SCD 兩段漂白後，紙漿卡巴值之結果。即第一段先以 20% NaClO 漂白後，次進行第二段不同用藥量之

SCD 漂白。顯示卡巴值隨漂白藥劑用量增加而減少，其中又以添加 2% SCD 者紙漿卡巴值降幅最大，漂白藥劑添加至 8%，其卡巴值亦有不同程度之降低，其因可能為經次氯酸鈉漂白後之漿料所剩木質素不多，雖以 SCD 漂白亦可使木質素溶解，然木質素溶解並未如預期般高。由於本研究之兩段漂白均以氯系漂白藥劑為主，故漂白時以氯化木質素為主，生成之新有機物質為不溶於水者，須再經鹼萃（Alkaline-extraction）以溶除此物質（朱志耀，1973），惟本試驗未施以鹼萃階段，故即使 SCD 用量達 8% 亦無法有效去除殘餘之木質素。另以 SCD 漂白時，須以較高之溫度來加速二氧化氯之效能。據朱志耀（1973）指出，二氧化氯為一強效氧化劑，在溫度 60~70 °C 時於 30 分鐘內即可與 70% 木質素作用，且溫度亦會加速二氧化氯之分解，在熱水浴中漂白因二氧化氯已分解，故殘餘木質素不易溶除。

#### (2) H-SCD 兩段漂白時，SCD 用藥量對雁皮蘇打漿白度之影響

圖 5 為雁皮蘇打漿經 H-SCD 兩段漂白時，SCD 用藥量對紙漿白度影響之結果。即第一段先以 20% NaClO 漂白後，次進行第二段不同用藥量之 SCD 漂白。顯示 SCD 用藥量愈高，紙漿白度亦愈高。當用藥量達 4% 時，紙漿白度已可達市售商品之要求 70% G.E.，為 77% G.E. 左右。又用藥量達 8% 時，白度可增至 80% G.E.。另由圖中得知，SCD 用藥量 8% 時，白度較未添加者提高 23% 左右。

Senior et al. (1998)，以 D 段(二氧化氯)作為首段漂白時，紙漿白度隨二氧化氯用量增加而增加，本研究結果亦有相似之處。另 Senior et al. (1998) 同時提出先以 D 段漂白，再施 P 段(過氧化氫)漂白更能增加其白度，



其因乃二氧化氯可降低紙漿中酚類木質素之含量，生成對過氧化氫敏感之非酚類木質素，故 P 段漂白應於 D 段漂白之後，同時亦

指出，D 段漂白施以不同之 pH 值，也會影響紙漿之白度，即 pH 值低者，白度可達 55.7 %ISO，pH 值高者，白度僅 46.1 %ISO。

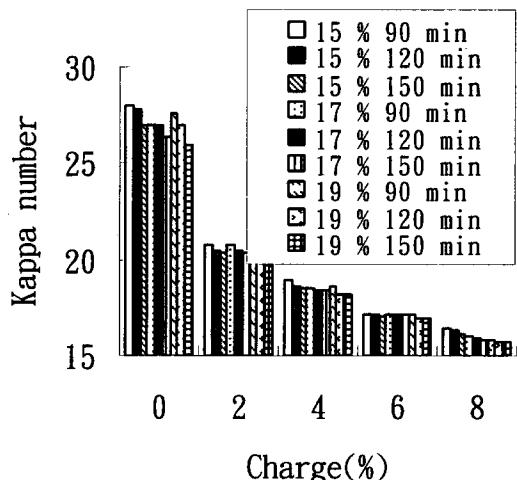


圖 4 H-SCD 兩段漂白對雁皮蘇打漿卡巴值之影響

Fig.4 Effect of H-SCD bleaching sequence on the Kappa number of Gampi's soda pulp

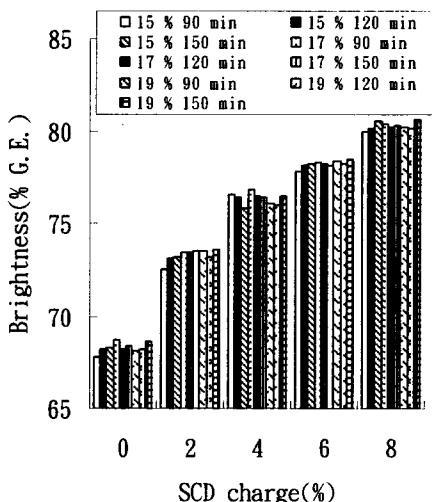


圖 5 H-SCD 兩段漂白時，SCD 用藥量對雁皮蘇打漿白度之影響

Fig.5 Effect of H-SCD bleaching sequence with SCD charge on the brightness of Gampi's soda pulp



(3) H-SCD 兩段漂白時，SCD 用藥量對雁皮蘇打漿黏度之影響

表 9 為雁皮蘇打漿經 H-SCD 兩段漂白時，SCD 用藥量對紙漿黏度之影響。即第一段先以 20 % NaClO 漂白後，次進行第二段不同用藥量之 SCD 漂白。顯示經次氯酸鈉漂白( 20 % )後紙漿黏度已不高，僅剩 11 cp 左右，再經 SCD 漂白黏度不再下降，維持 11 cp。前以述及，未添加 SCD 前，雁皮紙漿先行次氯酸鈉單段漂白，白度約 68 % G.E.左右，次經 SCD 處理者，白度即可輕易達手工紙白度之要求。H 段漂白因以高濃度漂白之，雖可提高紙漿之白度，惟纖維卻損傷很大。林郁卉 (1988) 研究指出，雁皮施以 5 % 次氯酸鈉漂白後其相對粘度為 14.4，當用藥量增至 20 % 時，相對粘度降至 10.7；用藥量達 30 % 時，相對粘度僅剩 5.93 cp。顯示次氯酸鈉雖可提高紙漿白度，惟相對亦會破壞紙漿之聚合度。

王國財 (1995) 曾以 H-B (次氯酸鈉-硼氫化鈉) 及 H-P (次氯酸鈉-過氧化氫) 兩種漂白法進行各種手工紙漿料之漂白，其中雁皮手工紙以此二種方式處理之紙漿，所得紙漿白度不及本研究者，且王國財氏提出雁皮以單段次氯酸鈉漂白，白度不易達成傳統手工紙可接受之範圍，本研究亦得相似之結果。以紙漿白度而言，添加 8 % 之 SCD 可獲致最佳之紙漿白度，若以傳統手工紙可接受白度言，添加 2 % SCD 已可獲得 70 % G.E.以上之紙漿白度。

#### 4. SCD-H 兩段漂白

(1) SCD-H 兩段漂白時，次氯酸鈉用藥量對雁皮蘇打漿卡巴值之影響

表 10 為雁皮蘇打漿經 SCD-H 兩段漂白時，次氯酸鈉用藥量對紙漿卡巴值影響之結果。即第一段先以 2 % SCD 漂白後，次進行第二段不同用藥量之 NaClO 漂白，經此兩段

漂白後，得知卡巴值隨次氯酸鈉用量增加而減少，次氯酸鈉用量達 20 % 時，紙漿卡巴值最低可降至 9 左右。

未添加次氯酸鈉時，以 2 % SCD 漂白，所得紙漿卡巴值約 29 左右，當次氯酸鈉用藥量分別為 5、10、15 及 20 % 時，紙漿卡巴值較未添加者，平均分別可減少約 22.4、45.9、48.0 及 65.5 % 等程度。

表 9 H-SCD 兩段漂白時，SCD 用藥量對雁皮蘇打漿黏度之影響

Table 9 Effect of H-SCD two stages bleaching sequence with SCD charge on the viscosity of Gampi's soda pulp

Unit:cp					
SCD charge (%)					
0	2	4	6	8	
11.4	11.4	11.5	11.4	11.3	

表 10 SCD-H 兩段漂白時，次氯酸鈉用藥量對雁皮蘇打漿卡巴值之影響

Table 10 Effect of Kappa number at various NaClO charge under SCD-H two stages bleaching sequence for Gampi's soda pulp

NaOH (%)	NaClO charge (%)			
	5	10	15	20
15	22.5	15.8	12.0	9.6
17	22.1	15.7	12.3	9.8
19	22.4	15.7	12.2	9.5

(2) SCD-H 兩段漂白時，次氯酸鈉用藥量對紙漿白度之影響

圖 6 為 SCD-H 兩段漂白後紙漿白度之結果。顯示紙漿白度隨次氯酸鈉用藥量增加而增加。即第一段先以 2 % SCD 漂白後，次進行第二段不同用藥量之 NaClO 漂白，當未添加次氯酸鈉時紙漿白度約 75 % G.E.，添加 5 % 用藥量時，紙漿白度可提升至 80 % G.E.



左右，比未添加者增加 6.7%；添加 10% 用藥量者，紙漿白度可提升至 84% G.E. 左右，較未添加者白度增加 12%。用藥量增至 15% 及 20% 時，紙漿白度仍停留於 84% G.E. 左右，顯示次氯酸鈉用藥量 10% 已使紙漿白度達最高，毋須再增加漂白藥劑用量。圖中亦得知經 SCD-H 兩段漂白後，紙漿白度最高者為添加 15% 次氯酸鈉者，白度達 84.7% G.E.，最低者為添加 5% 者白度僅 79.4% G.E.。

經 SCD 段漂白之紙漿白度雖可達一般手工紙業界所需求，惟紙漿白度仍不及一般書寫用紙之白度，且紙漿中尚殘留許多木質素，長時間儲藏難保紙張原有白度，故本研究藉由不同次氯酸鈉用量進行 H 段漂白，以期改善紙張之光學性質。

### (3) SCD-H 兩段漂白時，次氯酸鈉用藥量對雁皮蘇打紙漿黏度之影響

表 11 為雁皮蘇打紙漿經 SCD-H 兩段漂白時，次氯酸鈉用藥量對紙漿黏度影響之結果。

即第一段先以 2% SCD 漂白後，次進行第二段不同用藥量之 NaClO 漂白，得知紙漿黏度隨次氯酸鈉用量增加而減少，未添加次氯酸鈉前，三種蒸解藥劑用藥量之紙漿原始黏度尚可維持在 52~53 (cp) 左右，惟經次氯酸鈉漂白後紙漿則迅速下降。當次氯酸鈉用藥量達 20% 時，紙漿黏度僅剩 11 cp 左右，平均減少約 78.4%。因之以高濃度之次氯酸鈉漂白紙漿，雖可提高紙漿白度，惟纖維亦因此亦受到相當程度之損害，此由於羧基之生成會促使葡萄糖鍵斷裂，使纖維聚合度降低，造成黏度下降。此一現象與林郁卉 (1988) 之研究有相似之結果。

傳統多段漂白 (C-E-D-E-D) 以氯氣為首段漂白之藥劑，紙漿黏度顯著降低，

若以二氧化氯為首段漂白，比傳統多段漂白可維持較佳之紙漿黏度。表 11 亦顯示紙漿黏度雖隨次氯酸鈉用藥量增加而減少，惟比其他漂白已屬輕微，此一結果與蘇裕昌等人 (1999) 之研究有相似之處。

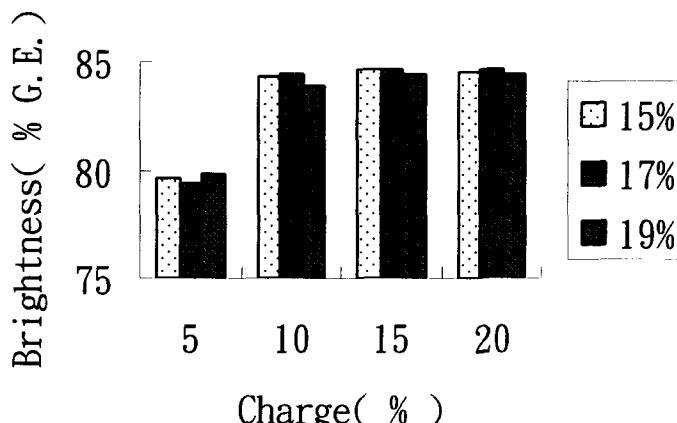


圖 6 SCD-H 兩段漂白對雁皮蘇打漿白度之影響

Fig.6 Effect of SCD-H bleaching sequence on the brightness of Gampi's soda pulp



表 11 SCD-H 兩段漂白時，次氯酸鈉用藥量對雁皮蘇打漿黏度之影響

Table 11 Effect of SCD-H bleaching sequence with NaClO charge on the viscosity of Gampi's soda pulp

NaClO charge (%)					Unit:cp
0	5	10	15	20	
52.6	24.2	19.6	15.3	11.8	

## 四、結論

本研究之目的旨在以菲律賓進口之雁皮為試材，探討雁皮纖維於常壓下以蘇打法製漿後，次進行單段及兩段式漂白處理，分析雁皮紙漿品質，期以獲致最適製漿條件及漂白作業，試驗後可獲致以下之結論：

1. 雁皮蘇打法製漿所得紙漿總收率可達 50.5~53.1 %，精漿收率 50.2~52.7 %。用藥量太低不易使纖維解離，過高之用藥量則易因果膠質溶出，造成製漿困難。單從製漿用藥量考慮時，最適之製漿用藥量 15 %及蒸解時間 90 min 即可。
2. 雁皮蘇打未漂漿白度 43.0~46.4 % G.E.。紙漿卡巴值平均介於 46.4~49.6。又用藥量及蒸解時間對兩者性質顯示無顯著之差異。
3. 次氯酸鈉單段漂白時，隨用藥量增加，紙漿卡巴值呈降低趨勢，最大降幅 45.4 %；紙漿白度呈上升趨勢，最大增幅 58.7 %，惟最終紙漿白度僅 68 %G.E.；又紙漿黏度會隨之下降。
4. 穩定型二氧化氯單段漂白時，隨用藥量增加，紙漿卡巴值亦呈下降趨勢。紙漿白度較漂前提升約 72~75 %。以添加 2 %用藥量者提升最顯著。用藥量 8 %時，紙漿白度可達市售商品最低要求 70 %G.E.以上，為 74 %G.E.。此為最適之漂白用藥量。
5. 次氯酸鈉-穩定型二氧化氯兩段漂白後，以添加 2 %用藥量之 SCD 卡巴值降幅最大。當第一段

以 2 %次氯酸鈉漂白後，紙漿白度最高僅 68 % G.E.，次經第二段之穩定型二氧化氯用藥量 4 % 時，紙漿白度已可達市售商品之要求 70 % G.E.，為 77 %G.E.左右。用藥量 8 %漂白時，紙漿白度可增至 80 %G.E.。又前段漂後紙漿黏度僅約 11 cp，次經穩定型二氧化氯漂後，紙漿黏度仍維持約 11 cp。顯示後段之穩定型二氧化氯對纖維降解不大。

6. 穩定型二氧化氯-次氯酸鈉兩段漂白時，當未添加次氯酸鈉時紙漿白度即可達 75 % G.E.，5 % 用藥量時，紙漿白度可提升至 80 % G.E.左右；紙漿卡巴值最大可降至 9 左右。紙漿黏度僅 11cp，主要受後段次氯酸鈉漂白所影響。

## 五、參考文獻

1. 王國財 1995 漂白方法對手工紙造紙原料紙漿顏色安定之影響 林業試驗所研究報告季刊 10(3):369-376。
2. 王國財、蔡忠勳、游漢明 1997 三極韌皮纖維製漿特性之研究 台灣林業科學 12(2):211-216。
3. 王詩文 2001 中國傳統手工紙字典 財團法人樹火紀念文化基金會 台北 第 69 頁。
4. 朱志燭 1973 製漿造紙學 第二冊 台北 第 150-151 頁。
5. 林明寬 1996 手工紙材料分析與製漿性之比較 國立中興大學碩士論文 74 頁。
6. 財政部關稅總局統計室 2005 中華民國進出口貨物數量與價值統計 台北 第 302 頁。
7. 林郁卉 1988 紙張劣化性質之探討 國立中興大學碩士論文 78 頁。
8. 夏滄琪 1991 書籍劣化與修復之研究 國立中興大學碩士論文 91 頁。
9. 張豐吉 1986 紙質文物的劣化 故宮學術季刊 4:59-66。
10. 陳良棟 1988 馬尼拉麻與棉花之製漿造紙特



- 性 國立中興大學碩士論文 65 頁。
11. 陳榮坤 1991 雁皮紙漿品質之改良 國立中興大學碩士論文 74 頁。
12. 馮正曦 1984 紙的大觀 長春樹書坊 台北第 101-103 頁。
13. 黃鳳群 1989 蒸煮稻草脫木質素動力之研究 私立中國文化大學碩士論文 78 頁。
14. 行政院農委會林業試驗所 2004 造紙與環保 2004 年 10 月 12 日 取自：  
<http://www.tfri.gov.tw/tfe/sp75/7-1.htm>
15. 高橋厚 1987 紙の劣化のための加速處理條件について 紙パ技協誌 41(5):10-17。
16. 高村憲男、鮫島一彥 1984 じん皮纖維原料のツュウ酸アソモニウム蒸解に關する研究(第二報) 紙パ技協誌 38(7):59-65。
17. 高村憲男、鮫島一彥 1985 じん皮纖維原料のツュウ酸アソモニウム蒸解に關する研究(第三報) 紙パ技協誌 39(10):60-66。
18. Rapson,W.R., C.B.Anderson, and A.Magued 1989. Brightness of naturally aged laboratory -Bleached pulp. Tappi J.72 (11):147-151.
19. Senior, D.J.J.Hamilton, A.J.Ragauskas, J.Sealey, and P.Froass 1998. Interaction of hydrogen peroxide and chlorine dioxide stages in ECF bleaching. Tappi J. 81(6):170-177.

