

## 乾式抄紙之研究(一) 單張試紙抄製

王益真 潘登灶

### 摘要

本試驗探討試驗室抄製單張乾式紙的試驗機械組裝, 抄造參數及紙張性質。以切成 $3 \times 3$  cm小片的絨毛木漿, 定量地投入熊谷乾式解纖機中, 離解成單根纖維, 並在解纖筒底部邊緣開口, 送入可調節之風量, 以分散並傳送纖維通過20目的粗網, 停留在60目的成形篩網上, 形成均勻鬆軟的纖維棉層, 網下有離心抽吸機去除空氣產生負壓力使纖維附於網上。纖維棉層經壓平及在兩面分別噴以EVA與ACR混合乳膠液, 俟以熱空氣乾燥後再以 $175^{\circ}\text{C}$ , 一分鐘熱風瞬間熱成定型, 即成爲乾式紙。其物理性質則隨抄造及噴膠條件之變化而不同, 結果以木漿85%, 膠合劑含量15%所抄成的紙, 其強度及吸水性可比於市售商品。又以熱溶性纖維定量加入木漿, 抄造後加熱熔融接合, 亦可抄成乾式紙。雖其樹脂用量較高, 吸水性也較差, 但設備較簡單, 投資低廉且操作簡便。

關鍵詞: 乾式紙、絨毛木漿、乾式解纖機、乳膠、熱熔纖維、抽吸成形。

王益真、潘登灶, 1992. 乾式抄紙之研究(一)單張試紙抄製。林業試驗所研究報告季刊, 7(1): 93-99.

### Studies on Dry-Formed Paper (I) Forming Single Sheets

I-chen Wang and Teng-tzau Pan

#### [Summary]

The purposes of this study are to construct a workable dry-forming handsheet machine, to optimize the forming conditions of the machine and to evaluate the properties of the dry-formed sheets. Air was pumped in through a conduit near the base of a disintegrator to disperse and carry fibers through a 20 mesh dispersion screen and laid upon a 60 mesh forming screen as a soft and uniform fiber pad. A centrifugal suction pump underneath the forming screen removed the air and created a negative pressure to hold the pad. The dry fiber pad was sprayed with a mixture of EVA and ACR latexes alternately on both surfaces and hot air blown at  $175^{\circ}\text{C}$  for 1 min to cure the adhesive. Physical properties of the dry-formed sheets thus obtained were evaluated. The results was from a composition of 85% fluff pulp and 15% latex have comparable strength and water absorbency as the commercial products. Blending hot-melt fibers with fluff pulp for forming fiber pads and then hot press to bind the fibers can also form good quality dry-formed sheets, albeit with inferior strength and water absorbency. The method does have advantages in simplicity of equipment and ease of forming operations.

80年12月送審

81年2月通過

**Key Words :** Dry-formed paper, fluff pulp, dry-disintegrator, latex, hot-melt fibers, suction forming.

**Wang, I-chen and Teng-zau Pan. 1992. Studies on Dry-Formed Paper ( I ). Forming Single Sheets. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 7(1) : 93-99.**

一、緒 言

乾式紙在歐洲常稱為air-laid paper，在美國則稱為dry-formed paper。蓋其製造過程用空氣代替水作為分散、傳送纖維之媒介，以形成紙匹，故稱為乾式紙。民國77年10月初，我國興利紙業公司首開先河，引進丹麥M&J公司的整廠設備，為全球第一台且產乾式紙機，在亞洲則為除日本本州製紙外之第二家。可謂是自我國東漢蔡倫發明傳統濕式造紙法以來之一個新紀元。

能不用水造紙是造紙業者多年來祈求之目標。傳統造紙法不但耗用大量水資源且排放大量污染廢水，被大眾側目，而紙業本身為防治公害投入之資金、人力及物力亦提升成本，造成營運困難。傳統紙業在長期難以突破用水少量化及密閉化之技術瓶頸下，乃有改換成不用水之乾式紙之發軔。

造紙能不用水，即無水污染，惟這項技術發展的歷史僅20餘年，規模及技術尚無法像傳統紙業般普遍純熟，仍有許多待改進之處。例如纖維靠空氣傳送時，涉及流體力學的知識技術，而纖維間之結合，與濕式抄紙時纖維間以氫鍵相結合者不同，完全仰仗高分子膠合劑或加熱熔融結合，故亦涉及物理及化學上的知識與技術。目前商用乾式紙抄造機之最大寬幅僅3050mm，最大產量為3130 kg/hr，較傳統製紙之標準尚有相當距離。

目前的乾式紙其抄造流程大致為：空氣吹送及回收系統→紙漿解離機→纖維傳送機→頭箱→長網或圓網成形機→接引機→熟壓花機(熱熔性纖維以熱結法成紙者到此階段，經冷卻機再送至捲紙機)→表面噴膠機→第一段熱風乾燥機→背面噴膠機→第二段熱風乾燥機→熟成機→調濕機→捲紙機。乾式紙之生產成本每公噸約需1500美元。

乾式紙的一大優點為其適應性，能利用各種纖維製成不同功能之紙，除了有傳統紙的特性外，尚可抄造超軟、超硬、超厚、超重、超強、超高低溫、超吸濕性、超透氣性、無方向性、無塵及無靜電的紙張與紙板，應用範圍極廣。興利公司初期產品則重於醫衛衛生用途，餐飲業廣為流

行之濕紙巾，柔軟舒適又衛生，即為其產品之一例。

本系有鑑於乾式紙之發展無可限量，在開發技術與多功能產品之誘因下，不揣簡陋投入研究行列，期能為本省乾式紙之研製開拓先機。自民國78年7月起進行研究，已完成自創試驗室抄紙設備一套，完成紙漿解離試驗，並對EVA、SBR及ACR等膠料及熱熔性纖維進行結合試驗，試驗結果經整理後，提出本報告。目前正進行整合性之試驗，未來則擬試抄各種功能性紙張，並希望建立一台試驗用連續抄紙機，擴大研究功能及範圍。

二、前人研究結果

1930年代，Dimtriev和Bonderenk。首先利用人造纖維及空氣，發明了乾式成型法，並取得專利(Attwood, 1980)。

1950年代初期，Clark亦發展了所謂纖維素纖維乾式抄紙法(Bouda, 1991)，並經不斷的改良，相繼有不同的產品問世，奠定了其所屬的Scott Paper Inc.之乾式紙在世界擦紙巾市場強固的地位。

1960年代中期，Kroyer最先利用木漿為原料，設計一種乾式法(Bouda, 1991)，後經Moeller & Jochunsen (M&J)公司研究改進，發揚光大，於1979年取得美國專利，為垂直軸心旋轉多頭箱長網式抄紙法，並為當今世界乾紙技術最先進、流行最廣之抄紙機，包括國內興利公司，全球已裝設12台生產紙機。

日本本州製紙公司則於1970年代初，利用木漿及合成纖維發展其特有的乾式長網機及全乾法圓網機，經過20多年的努力，在特殊紙方面建立了良好的市場(Miura, 1988)，其產品亦銷至台灣。

最近的發展則有丹麥Den Web公司於1987年發展乾式水平圓網抄紙法，取得美國專利，目前在丹麥及美國有3家工廠採用此法生產(Kleppe, 1990)。

乾式法抄紙仍然是歷史短暫的新方法，其產品具有紙質柔軟及吸水性高的特性，在家用、衛

生及醫療用途上有很大的發展潛力, 因此, 有人認為目前正是乾式紙由胚胎期進入快速成長的時期。

由於乾式紙之無污染性及多樣化功能性, 其相關研究在各國正方興未艾, 其中例如美國林產研究所利用牛皮紙廢料經乾式成型、加濕、壓水及再乾等步驟, 能製成與傳統濕式法原紙相同強度之紙; 瑞典林產研究所則由氣流及纖維濃度等因子著手研究(Hollmark, 1987); 加拿大紙漿造紙研究所則研究纖維性質及結合問題; 俄羅斯的研究側重氣動(aerodynamic)乾式成型法。雖然進行的研究頗多, 但事涉工業技術機密, 成果公開的則頗少見。因資料來源匱乏, 而試驗用的乾式紙設備亦無法購得, 使研究倍覺艱辛。

### 三、材料與方法

#### (一) 試驗材料

1. 木漿: 僅採用美國Weyerhaeuser公司生產的Snofluff 牛皮木漿, 為經完全處理之去鹽漂白針葉樹絨毛牛皮木漿(treated fluff NBKP)。

2. 結合劑(bonding agents):

(1) 乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)乳膠, 德國Wacker公司Vinnapas LL 755-B。

(2) 丙烯酸苯乙烯共聚物(ACR)乳膠, 日本武田公司N-34N。

(3) 丙烯酸苯乙烯共聚物(ACR)乳膠, 台灣凱騰公司No. 1008B。

(4) 苯乙烯丁二烯共聚物(SBR)樹脂, 國產。

3. 其他試劑

(1) 架橋助劑(crosslinking agent): 磷酸二銨(diammonium phosphate)及檸檬酸(citric acid), 試藥級。

(2) 再濕劑(ret wetting agent): 台灣凱騰公司Aerosol OT 75, 增加紙層吸水性之用。

4. 熱溶性纖維

(1) 聚丙烯(PPE)熱溶性纖維, 福聚公司Taippron T-101, 熔點145~150℃, 粗細度1.5 denier, 短棉長38 mm。

(2) 聚乙烯/聚酯(polyethylene/polyester, PE/PET)熱溶性纖維, 南亞塑膠公司K 9021, 熔點110~120℃, 粗細度2 denier, 短棉長51mm。

(1)、(2)兩項之短棉(stable)經剪短為2.0~3.5 mm長度備用。

#### (二) 試驗方法

#### 1. 試驗用解纖機之改造

為進行本試驗, 在機械設備經費常無法配合情形下, 將既有的一台日本製熊谷PO-3型乾式解纖機改造為平底, 並於底部張以直徑16 cm, 面積200 cm<sup>2</sup>之20目矽絲網。近解纖機底部邊沿開一直徑5 cm小孔, 以軟管送入空氣分散及傳送已於上端完成解纖之纖維, 軟管接裝1/8 馬力之四極式離心式送風機, 最高轉速達每分鐘3250轉, 如圖1解纖部。

#### 2. 試驗用乾式抄紙機之組合

在解纖機下接裝一具1/4 馬力之四極式離心抽吸機, 渦扇部抽吸口接一高10 cm, 直徑16 cm之套筒, 筒口加環, 可換裝不同孔目之網布供纖維成形之用。抽吸機及成形網部接於一有輪子的活塞式升降器, 以利移動, 如圖1成形部與昇降部。抽吸機上之套筒可有不同尺寸, 供抄製不同尺寸之紙張。

#### 3. 抄造試驗

將已處理之絨毛纖維剪切為約3×3 cm之片狀, 以每分鐘約1g之量投入解纖機, 並送入空氣, 分散並傳輸已解纖之早根纖維, 通過20目網, 受抽吸機之吸力而層積於60目之成型細網上, 形成鬆軟、均勻的纖維棉層。

#### 4. 噴膠

棉層成型後, 可將抽吸成形部移開, 取下棉層層如圖2之滾罐速度壓緊, 使之平整, 再在紙層表面以手壓唧筒式噴霧器噴灑高分子膠合劑如EVA及ACR之等量混合乳膠液, 經乾燥後, 再噴背面。俟膠乾後, 以175℃, 1 min瞬間以熱風熱成定型, 即完成乾式紙之抄造。

#### 5. 乾式紙之物性測定

乾式紙的各項物理及強度性質按一般紙張的標準測試法測定:

(1) 基重: 依CNS 1352 紙之基重檢驗法之規定測定。

(2) 耐抗張強度: 依CNS 1354 紙及紙板抗張強度及伸強率試驗法測定。

(3) 濕抗張強度: 依CNS 5177 紙及紙板濕潤抗張強度試驗法測定。

(4) 破裂強度: 依CNS 1353 紙及紙板低破裂強度試驗法測定。

(5) 吸水速度: 按日本花王公司之法, 將5×5 cm之紙片浮於水面, 測定潤濕部份擴散至試樣全面所需的秒數。

(6) 吸水量: 按日本花王公司之法, 將5×5 cm之紙片浸水後擄起懸掛滴水, 俟不滴時, 測其

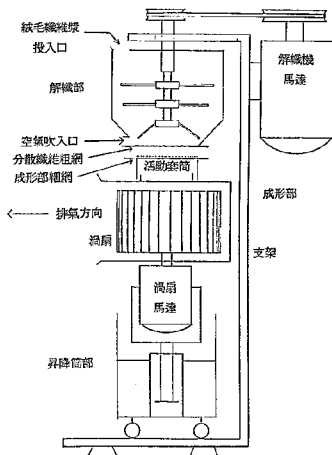


圖1. 乾式解纖成形機

溫度：130—200℃  
 轉速：0.5—10 m/min  
 線性壓力：最大 10 kg/cm

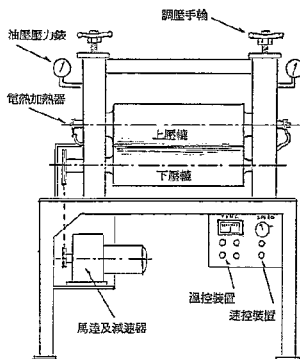


圖2. 油壓滾軋機

重量, 再以試樣經乾重除之, 即得吸水之倍數。

(7)紙張之觸感及吸味對作衛生及醫療用紙類甚為重要, 惟無理想測定法, 主要仍憑以手觸摸及鼻嗅作比較。

(8)紙張交織: 試樣置於陽光箱上, 以影像分析系統之電腦攝影機採其透光影像, 經轉換為吸光度後, 比較其變異係數大小以判定紙張交織優劣。詳細方法見王益真等(1991)之報告。

四、結果與討論

(一)試驗用乾式抄紙機之自創

乾式抄紙法的歷史尚短, 且受專利及工業機密的限制, 技術資料極為缺乏。Attwood及White (1979) 曾介紹所謂英國標準乾式抄紙機, 但其解織及成形作業無法連貫, 操作似乎不甚方便, 復以機器無法購得, 因此必須自行設計組合試驗用機械。經半年之探索, 及多次修改, 完成目前的機型, 如圖1所示。

抄紙機操作的參數頗多, 有的如機器形式, 囿於由現有設備改裝, 不易變動, 其他如加料速度, 解織機轉速, 送風及抽吸的條件, 分散及成形網之孔目等, 則經試驗測定, 選擇最適之條件, 如表1所列:

表1. 試驗用乾式抄紙機之最適操作條件

| 操作參數    | 最適操作條件    |                     |
|---------|-----------|---------------------|
| 纖維添加量   | 1.2-1.4   | g/min               |
| 解織機轉速   | 1000-1200 | rpm                 |
| 分散後纖維濃度 | 0.05-0.08 | %                   |
| 送風機風量   | 0.8-1.0   | m <sup>3</sup> /min |
| 單張紙成型時間 | 1.0-1.5   | min                 |
| 單紙紙成型面積 | 200-400   | cm <sup>2</sup>     |

(二)自抄乾式紙片之交織及品質

所抄成之紙片在未噴膠之情況下與興利公司量產之產品二件比較, 目測均勻度甚為近似。以抄成之未噴膠纖維棉層與興利不織布在影像分析儀下比較時, 則因所抄纖維層無氣縫接合, 其結構較不織布及紙較散, 即纖維與空氣的介面較傳統紙大得多, 穿透光線之散射現象亦較一般紙張為嚴重, 使透光影像與基重的相關性降低, 結果僅具參考價值而無法用以評定交織之優劣。三種紙樣的影像及光學性質測試結果如表2。

表2. 自抄乾式紙與商用乾式紙交織之比較

| 試樣   | 平均灰度  | 灰度標準差 | 白度 %GE | 反射率 R <sub>0</sub> | 反射率 R <sub>∞</sub> | 平均吸光度(A) | 交織指數 COV-A |
|------|-------|-------|--------|--------------------|--------------------|----------|------------|
| 自抄紙  | 135.5 | 10.11 | 72.8   | 0.65               | 0.73               | 1.46     | 8.43       |
| 興利-A | 167.8 | 6.10  | 75.9   | 0.59               | 0.81               | 0.97     | 4.00       |
| 興利-B | 168.3 | 6.11  | 75.6   | 0.56               | 0.80               | 0.91     | 4.57       |

至於噴膠後所抄乾式紙的強度均勻性與再現性則相當優異。以木漿85%, 1:1之EVA及ACR膠15%, 經105℃烘箱乾燥20 min, 再以175℃, 1

min 熟成定型之試樣其物性的變異在單張試樣與不同試樣間的變異如表3所示:

表3. 自抄乾式紙物理性質之均勻性與再現性

| 單張紙樣性質 |                  |             | 多張紙樣間之性質 |                  |                             |            |
|--------|------------------|-------------|----------|------------------|-----------------------------|------------|
| 試樣數    | 乾抗張強度 (kgf/15mm) | 厚度 (mm)     | 試樣數      | 乾抗張強度 (kgf/15mm) | 破裂強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 厚度 (mm)    |
| 5      | 0.296±0.011      | 0.604±0.011 | 5        | 0.296±0.011      | 0.628±0.025                 | 0.61±0.007 |
| 範圍     | 0.28~0.31        | 0.59~0.62   |          | 0.28~0.31        | 0.59~0.65                   | 0.60~0.62  |

由上表可知，單張紙樣不同部位與多張紙樣同一部位紙力的比較，差異在10%以內，而厚度的差異則小於5%，是屬正常紙性變異範圍之內，亦即以自行設置的抄造設備能達到優良的模擬目的。

#### (三)不同乳膠對乾式紙張物性之影響

本試驗儘量收集國內外作乾式紙定型用的多

種乳膠作比較試驗，以期改善成紙的性質。凱騰公司的國產ACR，便是在本計畫研究人員協助下，歷經多次試驗室試驗及在興利公司乾式紙工廠現場3次實地操作，不斷研究改進所完成的配方。在與表2相同之抄造條件下以不同膠料抄成之乾式紙其物性之比較如表4。

表4. 不同乳膠在相同噴膠條件下抄成乾式紙物性之比較

| 紙張性質                  | 乳 膠 類 別 |        |        |        |                      |                      |
|-----------------------|---------|--------|--------|--------|----------------------|----------------------|
|                       | 日製-ACR  | 凱騰-ACR | 國產-SBR | 德製-EVA | EVA-ACR <sup>1</sup> | EVA+ACR <sup>2</sup> |
| 基重(g/m <sup>2</sup> ) | 70.2    | 69.9   | 69.5   | 70.2   | 70.1                 | 70.2                 |
| 厚度(mm)                | 0.61    | 0.60   | 0.68   | 0.59   | 0.62                 | 0.62                 |
| 乾抗張強度(kgf/15mm)       | 0.27    | 0.26   | 0.22   | 0.34   | 0.31                 | 0.25                 |
| 濕抗張強度(kgf/15mm)       | 0.16    | 0.14   | 0.13   | 0.20   | 0.18                 | 0.14                 |
| 吸水性(sec)              | 3.0     | 4.0    | 5.0    | 2.5    | 2.5                  | 2.5                  |
| 吸水倍數                  | 8.0     | 7.5    | 6.5    | 8.5    | 8.0                  | 8.2                  |
| 觸 感                   | 柔軟      | 柔軟     | 硬      | 軟      | 柔軟                   | 柔軟                   |
| 嗅 味                   | 無味      | 無味     | 強刺鼻味   | 強酸味    | 微酸味                  | 微酸味                  |

註<sup>1</sup> 德製EVA與日製ACR以1:1之混合比於試驗室抄造之乾式紙

註<sup>2</sup> 同註<sup>1</sup>之膠料配方，為興利公司產品使用之膠合劑

上表唯有興利產品採用15%濃度及14kg/cm<sup>2</sup>壓力噴膠，而試驗室抄紙以紙面較小，且用手壓罐噴霧上膠，為顧慮噴膠之均勻性，將乳膠濃度稀釋至5%。如此除水分含量較高，需較長乾燥時間外，未見有不良影響。反因紙屑熱壓前水分增加，產生部份氫鍵(Byrd, von 1982)，在相同膠料用量下，強度反較商用產品高。

各種膠料結合之紙樣除以國產SBR 膠合之紙乾燥後會變黃外，其他膠料對成紙之白度均無影響，維持在86%GE以上。以SBR 膠合之乾式紙唯一優點為厚度或濃度較其他膠合劑之成紙高10%以上，惟強度欠佳，紙張潤濕後有強烈刺鼻臭味，不適合衛生及醫療用途。單獨使用EVA 乳膠液時，雖強度及柔軟性均佳，但有酸味；混以等量之ACR則有互補作用，結果最佳。曾以國產唯一品牌的EVA乳膠試驗，但以用途不同，官能基各異，結果不理想，在此不錄。

#### 四膠合劑的影響

通常各種高分子乳膠液，因受製造設備及方法的限制，在施用後，反應終止時仍有相當量的

未凝膠單體，復因各種用途所需，以不同的官能基修飾乳膠，故為求膠合劑發揮最大效果，須添加不同的助劑。本試驗為增進膠液高分子間的架橋作用，提高乾、濕紙的強度，分別於1:1 EVA與ACR乳膠中添加磷酸二鉍，或檸檬酸各1%，並為提高紙樣的再濕性，增加吸水度而添加台灣佩隆公司Aerosol OT 75 0.5%，其他抄造條件同表1時，結果如表5。

表中結果顯示加入架橋助劑卻能提高成紙的乾、濕強度，但吸水性則稍降低。如同時加入再濕劑，吸水性可提升，但增加的紙力則被抵消。另紙樣中添加架橋助劑後，紙之甲醛酸發量較未添加者倍增，甚至超過官制標準，有其弊端(興利公司，1989)。

#### (五)熱熔性纖維融合試驗

添加熱熔性纖維使纖維間因熱熔融而結合成紙，可謂乾式紙的最高境界，完全免用水；且其所需設備較簡便，投資亦較低廉，故有不少乾式紙的研究是針對熱熔纖維抄紙進行試驗(Graves and Daniels, 1988)。日本的本州製紙即投入其

多心血開發熱熔式乾式紙。

本試驗按設計所定比例, 混合熱熔纖維與絨毛木漿, 依前述方法抄成鬆軟的棉層後, 兩面分別覆以鐵氟龍布(Teflon cloth), 經如圖2所示之熱壓滾壓平熔結, 讓熱熔纖維種類, PE/PET為120℃, PP為160℃, 滾轉轉速約為1 m/min, 使熱熔纖維完全熔結。鐵氟龍布可防熔融纖維粘附於滾軸上而影響操作與品質。未來為提高抄造速度, 應添置高溫空氣預熱裝置, 使棉層內熱熔纖維經預熱即先部份熔融, 再以滾輾燙壓平整, 應較理想。比較熱熔法與乳膠結合法, 前者的紙力與吸水性均較差, 紙力可以增加熱熔纖維量至20%而達到與15%乳膠相當的結果, 但以此類纖維均有疏水性, 且纖維間無氫鍵結合, 吸水性無法提高。其吸水性低落的確實機制擬於第二報時利用掃描電子顯微鏡及染色法等確定之。

## 五、結 論

(一)以試驗室自創的解膠機及抄紙機所抄之乾式紙, 其物理性質比美於市售商品, 證明該設備有代表性及實用性。

(二)乾式紙纖維間之結合主要靠外加膠料或熱熔纖維, 所用乳膠種類及品質影響製成品質優劣。需視產品之最終用途選擇最速、最經濟之乳膠種類。一般以混合配用為宜。

(三)添加架橋助劑或再濕劑可分別提高乾式紙的紙力或吸水性, 惟常有不利的副作用。除非用途上有特別需求, 以不用為宜。

(四)以熱熔纖維加熱熔結法, 可完全不用水而抄紙, 惟紙力較低, 吸水性較差。

(五)本試驗研究建立乾式紙的單張抄紙機械設備外並因技術轉移, 協助廠商發展商品化的ACR乳膠, 價廉物美, 廣受歡迎。另本試驗促使國內某塑膠公司以推出適合乾式紙用的2~3.5 mm PE/PET 熱熔纖維, 並降低其熔點及粗細度, 且提供樣品於本系進行試驗中。

## 誌 謝

本報告之完成, 承與利紙業公司新竹廠劉國廠長諸多幫助, 謹以誌謝。

## 參考文獻

- 王益真、吳文棧、谷雲川. 1991. 影像分析系統用於紙張結構之研究。林業試驗所研究報告季刊, 6(4): 373-386。
- 興利公司廠內資料. 1989. 私人溝通。
- Attwood, B. W. 1980. Dry forming of paperboard: a look at its history and technology. *Pulp Paper* 54(4): 120.
- Attwood, B. W. and D. G. White. 1979. A dry-forming process for multi-ply board. *Tappi* 62(2): 39-42.
- Bouda, F. 1991. Air-laid paper. *Perini Journal (Italy)* (4): 62-66.
- Graves, D. P. Jr. and K. M. Daniels. 1988. Thermally bondable fluff pulp designed to meet changing customer needs. *Nonwovens World* 2(6): 69-72.
- Hollmark, H. 1986. State of dry-laid papers in Sweden 1986. *Nordic Pulp Paper Res. J. 2 (special issue)*: 67-73.
- Kleppe, J. 1990. Den-web expands industry's keyboard. *Nonwovens World* 5(8): 36-37.
- Miura, T. 1988. Totally dry nonwoven system combines air-laid and thermobonding technology. *Nonwoven World* 3(2): 46-50.
- Von Byrd, L. 1982. Bonding of air-laid webs. Critical amount of moisture necessary. *Tappi* 65(5): 153-155.