



超臨界流體染色技術(SFD)

工研院材料與化工研究所

報告人員：田 錦 衡 經理

中華民國 104 年 06 月 26 日



報告內容

- 一、國際環保趨勢
- 二、SFD國內外技術發展現況
- 三、SFD技術於紡織業之應用
- 四、工研院於SFD技術之研究
- 五、結論

一、國際環保趨勢(一)



在全球水資源逐漸匱乏的趨勢發展



紡織品發展超臨界流體染色(SFD)技術



使企業永續發展與提升品牌聲譽



Nike無水染色商品

➤ 紡織業除提升生產效率外，還須創新技術與開發新產品提升產業競爭力

一、國際環保趨勢(二)-品牌商投入



ColorDry®



DryDye®



YKK



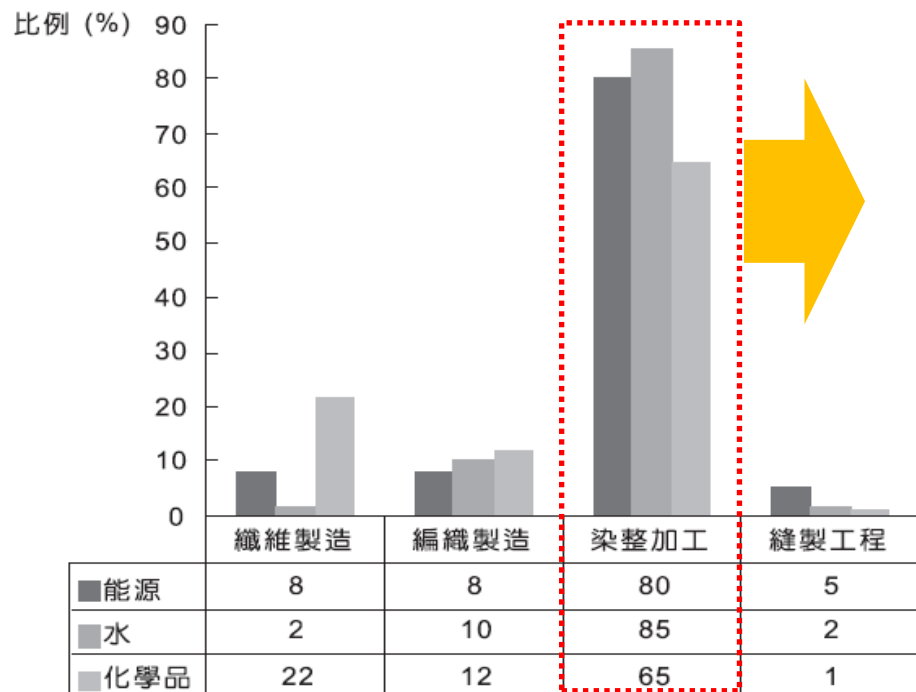
ECO-Dye®



在無毒環保的趨勢發展下，國際品牌商共同承諾2020年將達到**有害化學物質零排放(ZDHC)**的標準。因此，品牌商積極投入SFD技術，使台灣染整業者須跟進投入，發展高值化環保染色製程。

國際品牌商積極投入推廣SFD技術

一、國際環保趨勢(三)-染整業水資源需求



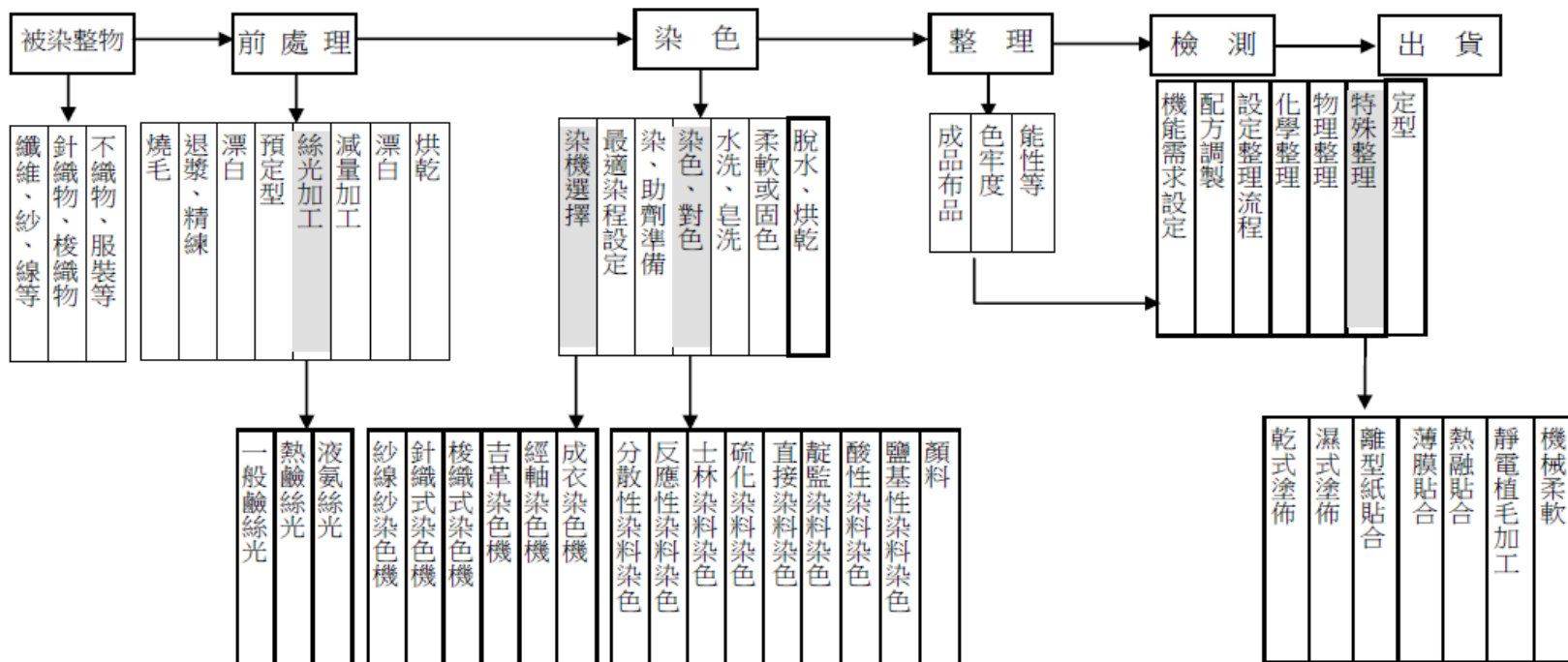
資料來源：Winchester & Associates。

- 我國染整業染布年產量約24萬噸。
- 每年需2千4百萬噸水資源，水資源成本2.7億元，廢水處理成本8.4億元，廢水處理設備50億元。
- 達到染整廢水回收處理再利用標準，現行每噸回收費用50元，回收率80%，每年需9.6億處理費。
- 染整業添加染料與加工助劑，廢水化學物質來源複雜，達到零排放仍有技術困難。
- 今年，水資源供應受限，迫使染整業者減產或停工，造成營運受限。

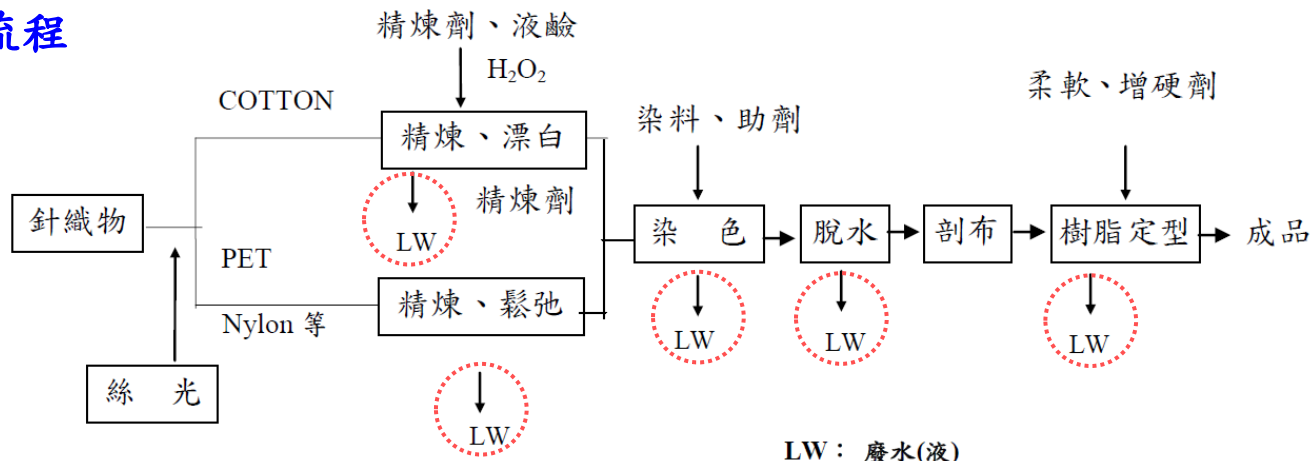
➤ 水資源困乏與環保法規要求造成成本提升，使染整產業朝向低耗水低廢水新技術發展



水染色(Water Dyeing)流程圖



針織布生產流程 與廢水來源



LW：廢水(液)

➤ 每一公斤的布在染整製程中約需使用100-150公升的水資源



二、SFD技術-台灣染整業發展機會分析

- 隨著全球環保意識及水資源缺乏議題持續發酵，訴求環保之低污染、低耗能製程的SFD技術是未來織布染整業發展高值化新契機

Strength

1. 國際品牌機能性布料訂單約 5~7 成由台灣紡織業供應
2. 織布染整業垂直整合能力強且具研發能力
3. 紡織布料品質穩定，少量多樣快速生產

Weak

1. 人事成本費用高
2. 機具設備依賴國外進口
3. 環保法規門檻提高使生產成本上漲

織布染整產業

SWOT分析

Opportunity

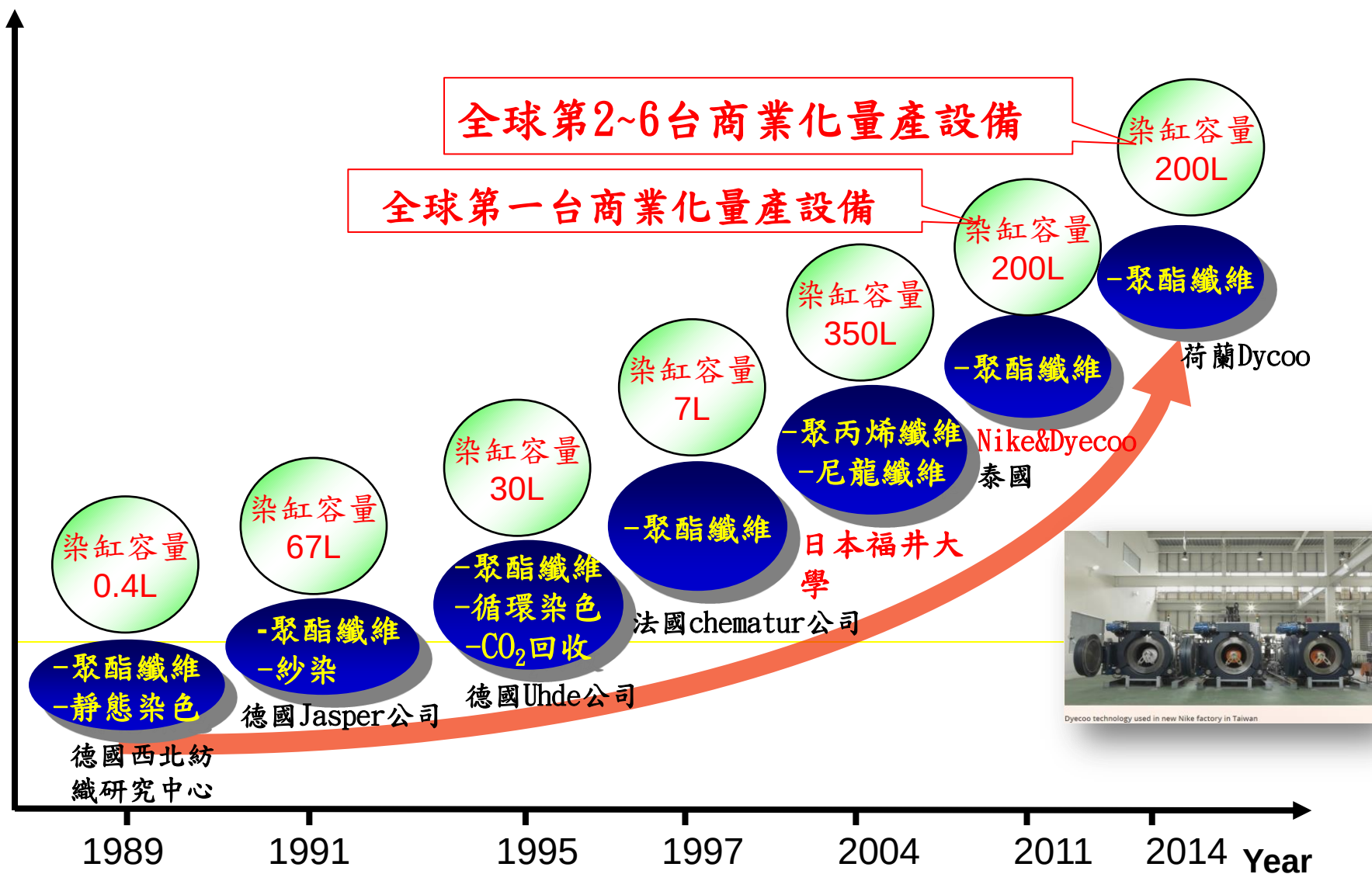
1. 平價時尚成衣與機能性戶外服飾市場持續保持高成長趨勢
2. 朝品牌商綠色環保與高值化產品的國際趨勢開發
3. 國際品牌商對台灣具研發處新能力的紡織業者下單意願高

Treat

1. 東南亞與中國大量生產、低價競爭
2. 環保意識抬頭提高生產成本
3. 有害化學物品零排放(ZDHC)對紡織業的化學品管理為最大挑戰與課題



二、SFD技術-發展歷程





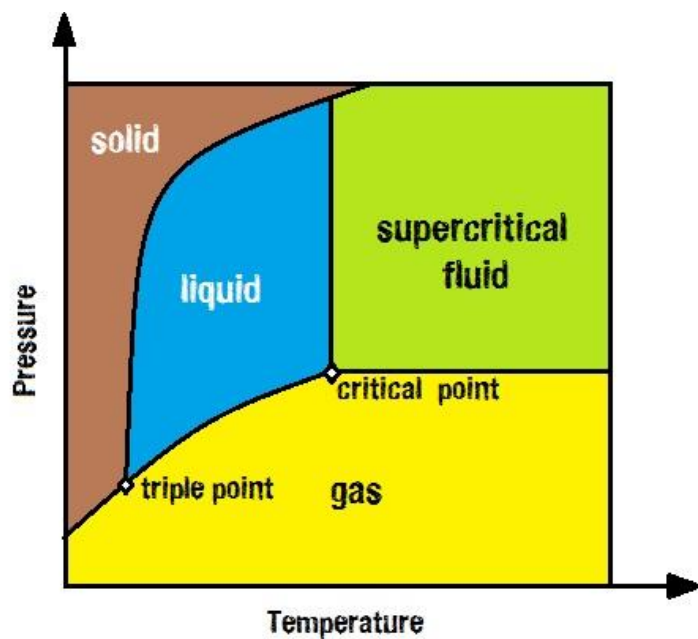
二、SFD技術-優勢



環保 節能 效率



二、SFD技術-物理特性



超臨界流體特性

密度高如液體且可變 → 溶解度高且可變
擴散性高如氣體 → 質傳性好
黏度低如氣體 → 輸送性好
表面張力小如氣體 → 貫穿性好

Chemical Formula	Critical Pressure (bar)	Critical Temperature (°C)	Critical Density (g/cm ³)
CO ₂	73.9	31.1	0.433

純物質的壓力-溫度變化相圖

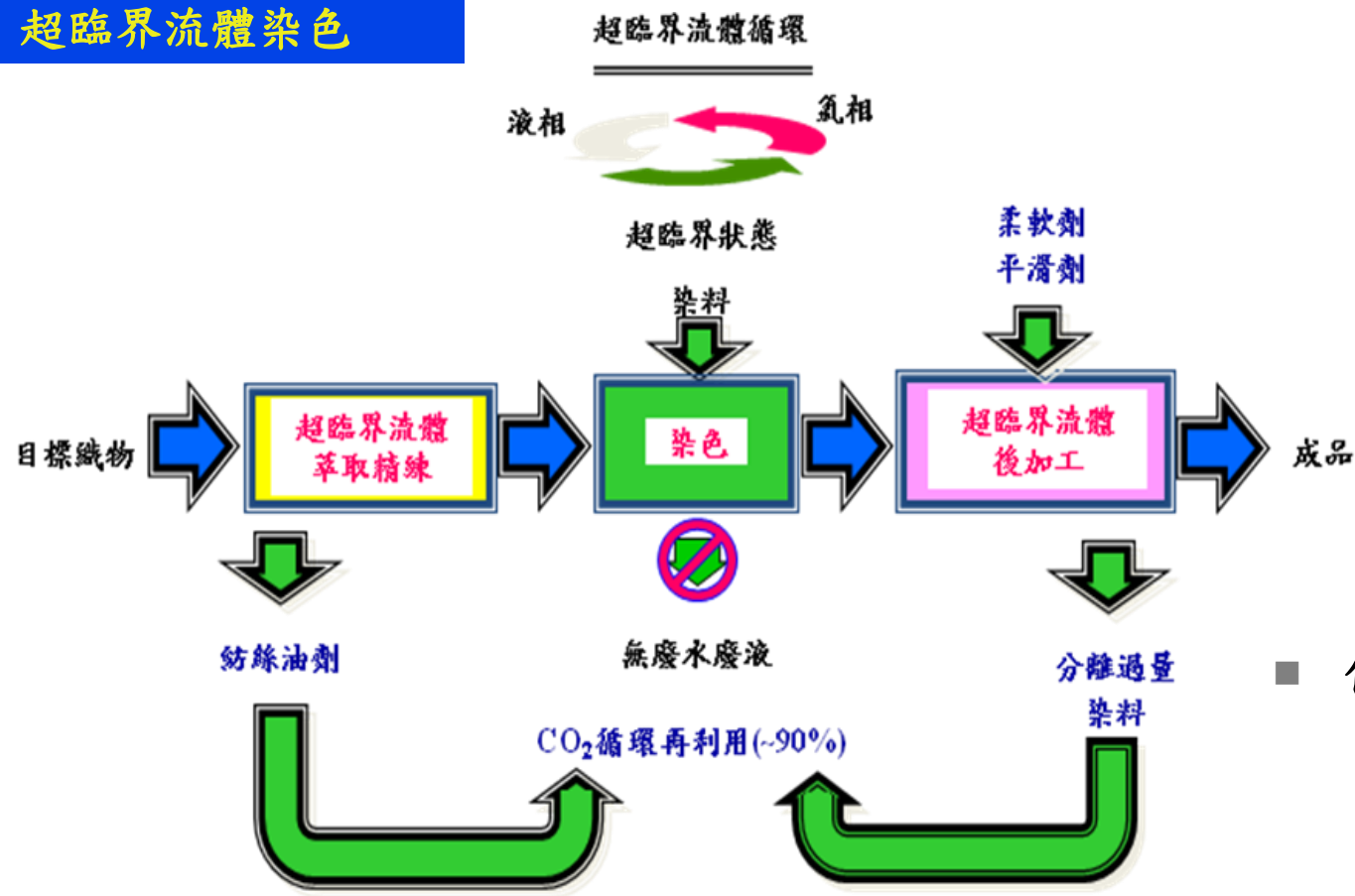
物質型態物理特性比較數據

State	Density [g/cc]	Viscosity [g/cm-s]	Diffusivity [cm ² /s]
Gas	0.001	10 ⁻¹	10 ⁻⁴
Supercritical fluid	0.1-1.0	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	10 ⁻⁴ -10 ⁻³
Liquid	1.0	10 ⁻⁵	10 ⁻²



二、SFD技術-染色流程

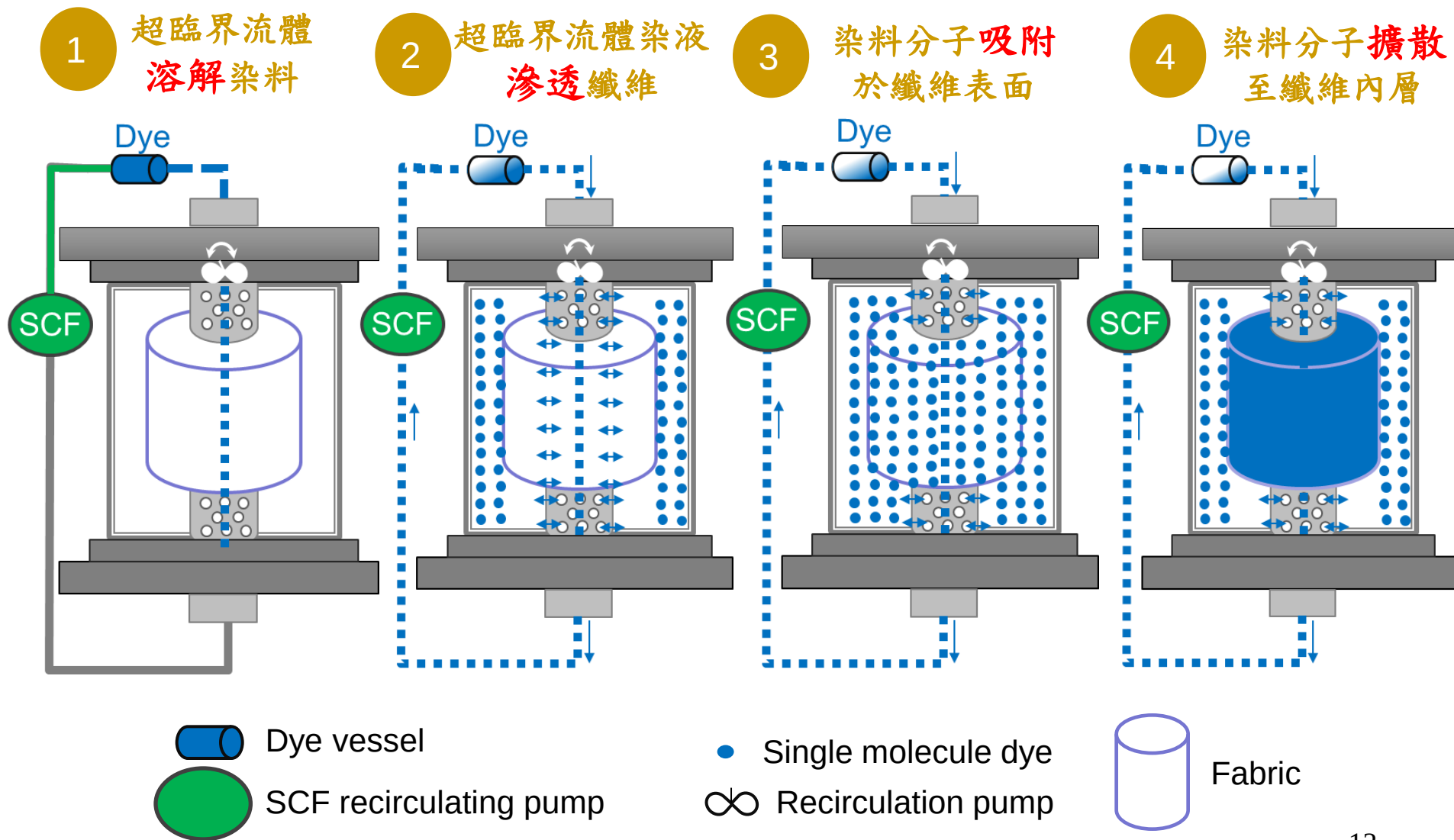
超臨界流體染色



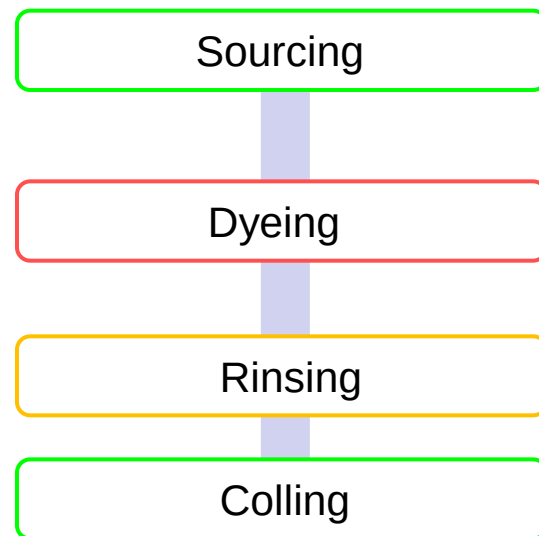
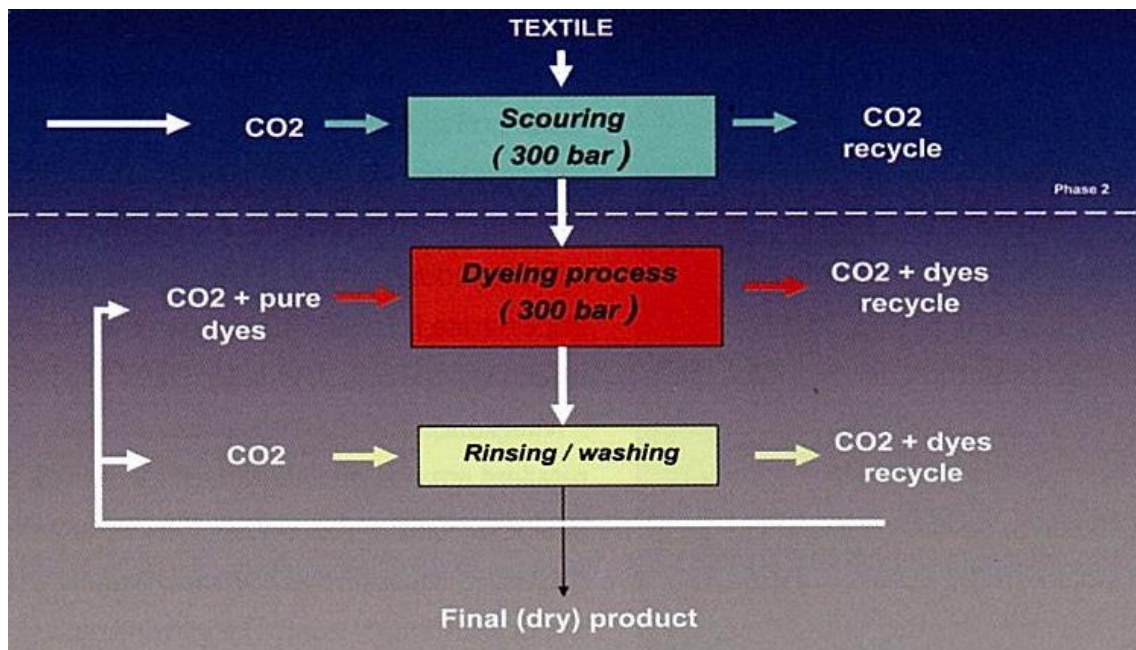
優點

- ☐ 無廢水問題
- ☐ 不需添加助染劑
- ☐ 不須乾燥
- ☐ 物料回收
 - CO₂ (90% 以上)
 - 染料
- ☐ 環境友善

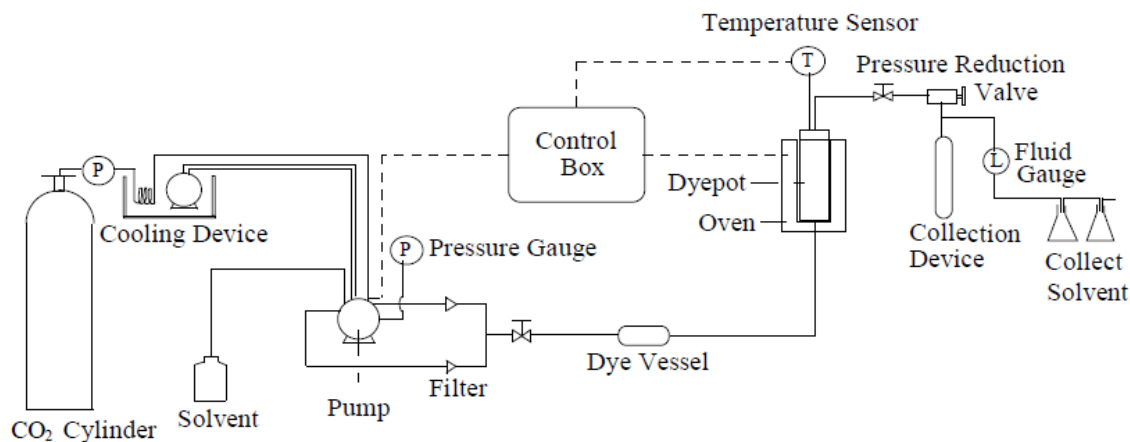
二、SFD技術-染色原理



二、SFD技術- 染色製程



生產流程：4 hrs



- 染色過程中，無染整廢水產生，染後布樣不需烘乾
- 殘餘染料有回收系統可收集



二、SFD技術-染色方法比較

	傳統染色技術	無水染色技術	
	水染色技術	超臨界染色技術	原液染色技術
市場定位	色彩多樣化	色彩多樣化	單一色系大量生產
設備成本	400萬/台	1億/台	與抽絲機共用
廢水處理	有	無	無
染色織物	• 棉(反應染料) • 聚酯(分散染料) • 尼龍、羊毛、蠶絲 • (酸性染料)	• 聚酯(分散染料)	• 聚酯、尼龍、聚丙烯 (無機顏料)
產能	700 kg/缸	120 kg/缸	500~1000 Kg/批次
優點	產量大且色彩多變	無廢水產生	無廢水產生 單一色系大量連續生產
缺點	能源消耗大 廢水汙染大 汙水處理成本高	設備成本高 單缸生產量小 染料種類少	無法製造超細纖維 產品色系少

➤ 機能性紡織品皆使用超細纖維為原料，因此環保染色技術著重於發展超臨界染色技術，但須克服硬體投資成本問題¹⁴

二、SFD技術-量產型設備比較

	DyeCoo	日阪製作所
每缸槽體積	200公升	100公升
系統	一氣體槽配三個染缸	一氣體槽配一個染缸
批次最大產能	120公斤	30公斤
營運模式	1. 具高壓設備設計能力，設備製造委外代工 2. 由品牌商入股並共同推廣設備至生產端廠商(台灣) 3. 使用之染料與替換耗材均須原廠認證	1. 具染整設備經驗與高壓設備設計與生產能力 2. 與生產端共同開發設備與專利申請
		

- 現階段台灣廠商為Dyecoo設備
- 設備成本高

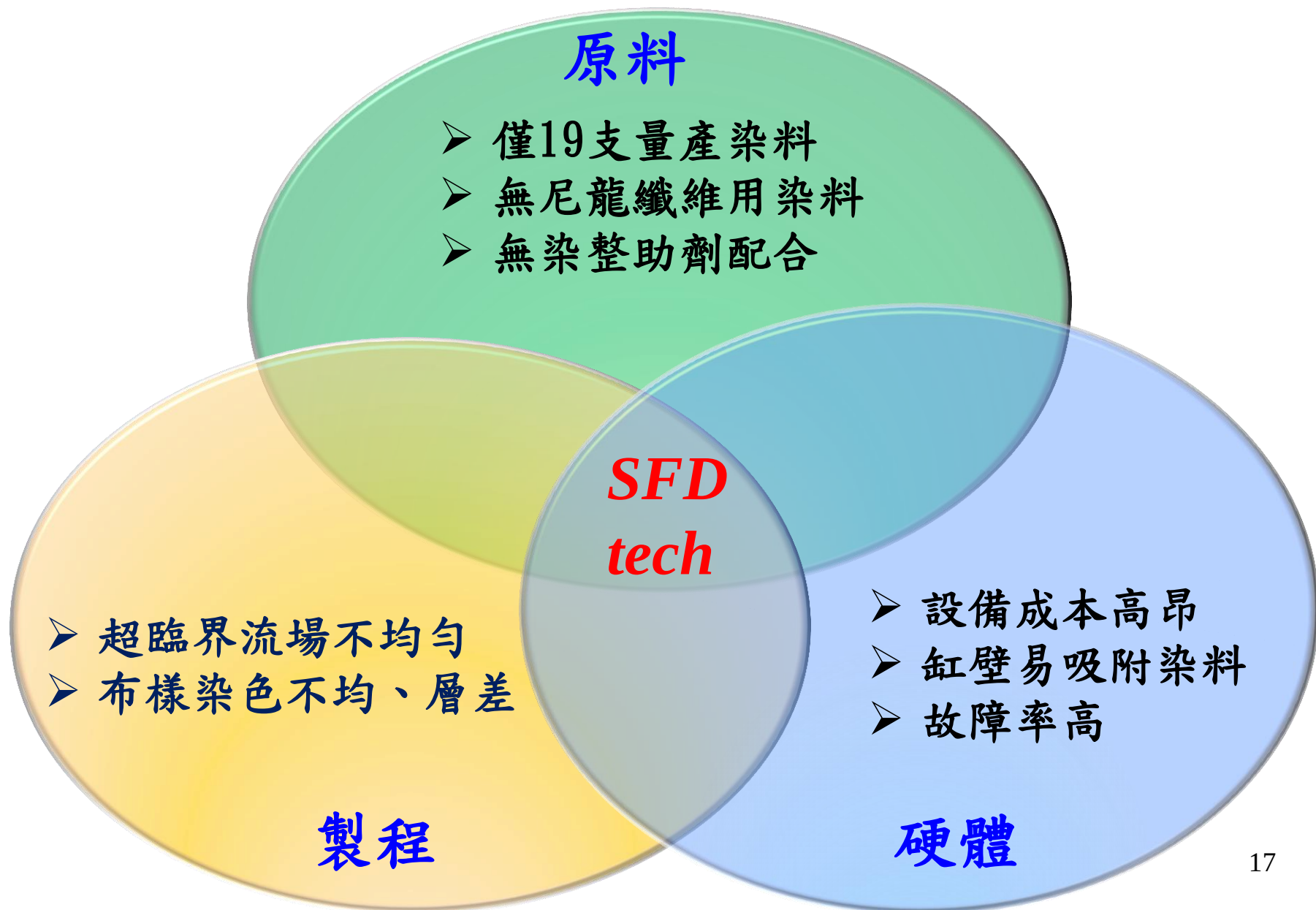
二、SFD技術-台灣紡織業界投資SFD設備現況

項目指標\公司	儒鴻	遠東	XX	福懋
設備數	1	1	2(預計2015年 12月裝機)	1
應用布種	針織			平織
	聚酯織物 及聚酯/彈性纖 維織物	聚酯織物	3D聚酯織物	聚酯織物
產能	最大投染量 120 Kg	最大投染量 120 Kg	--	最大投染量 120 Kg

SFD目前現況

- 設備成本高
- 染色穩定性待改善
- 染料數量待開發

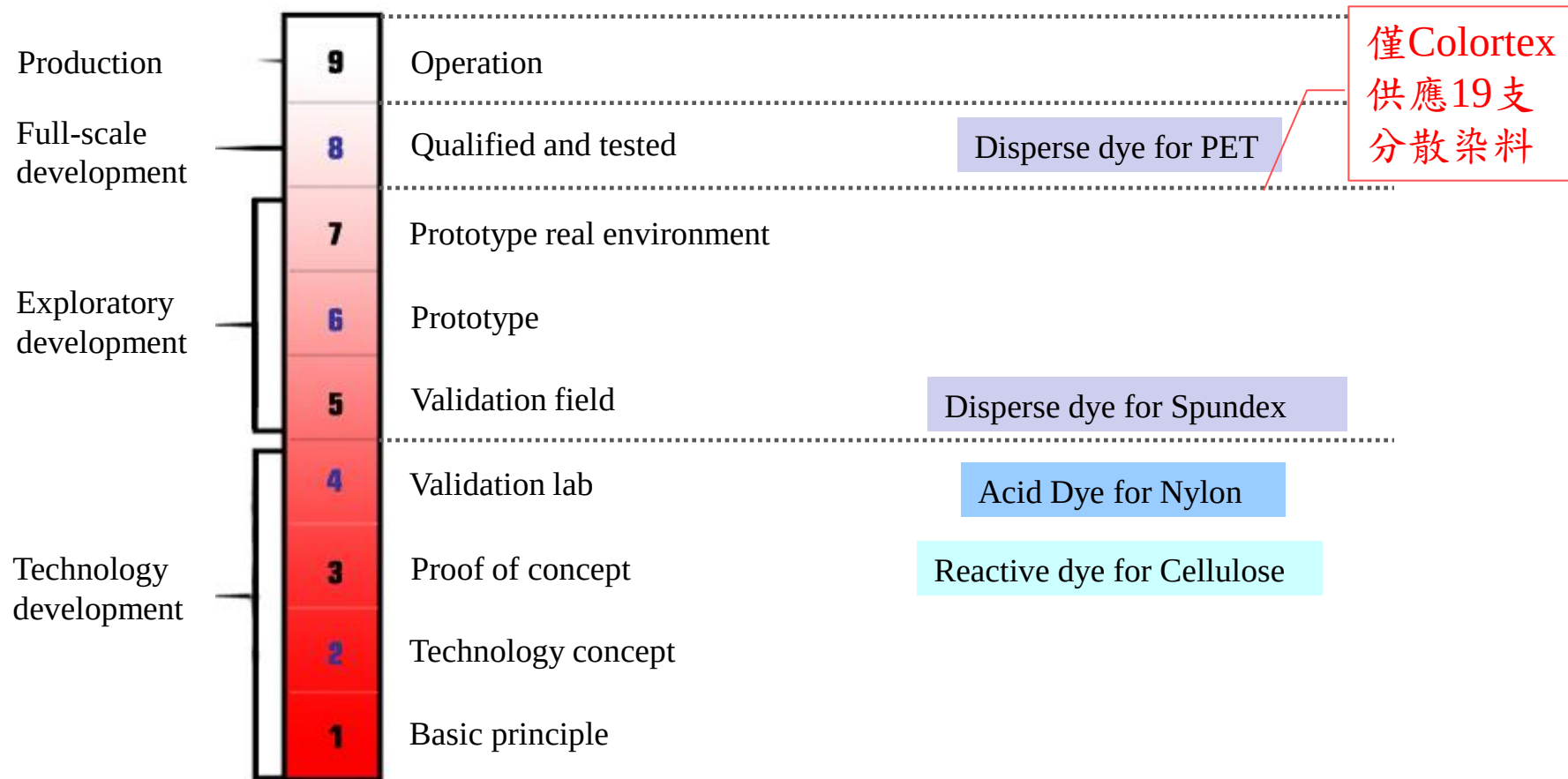
二、SFD技術-量產技術瓶頸





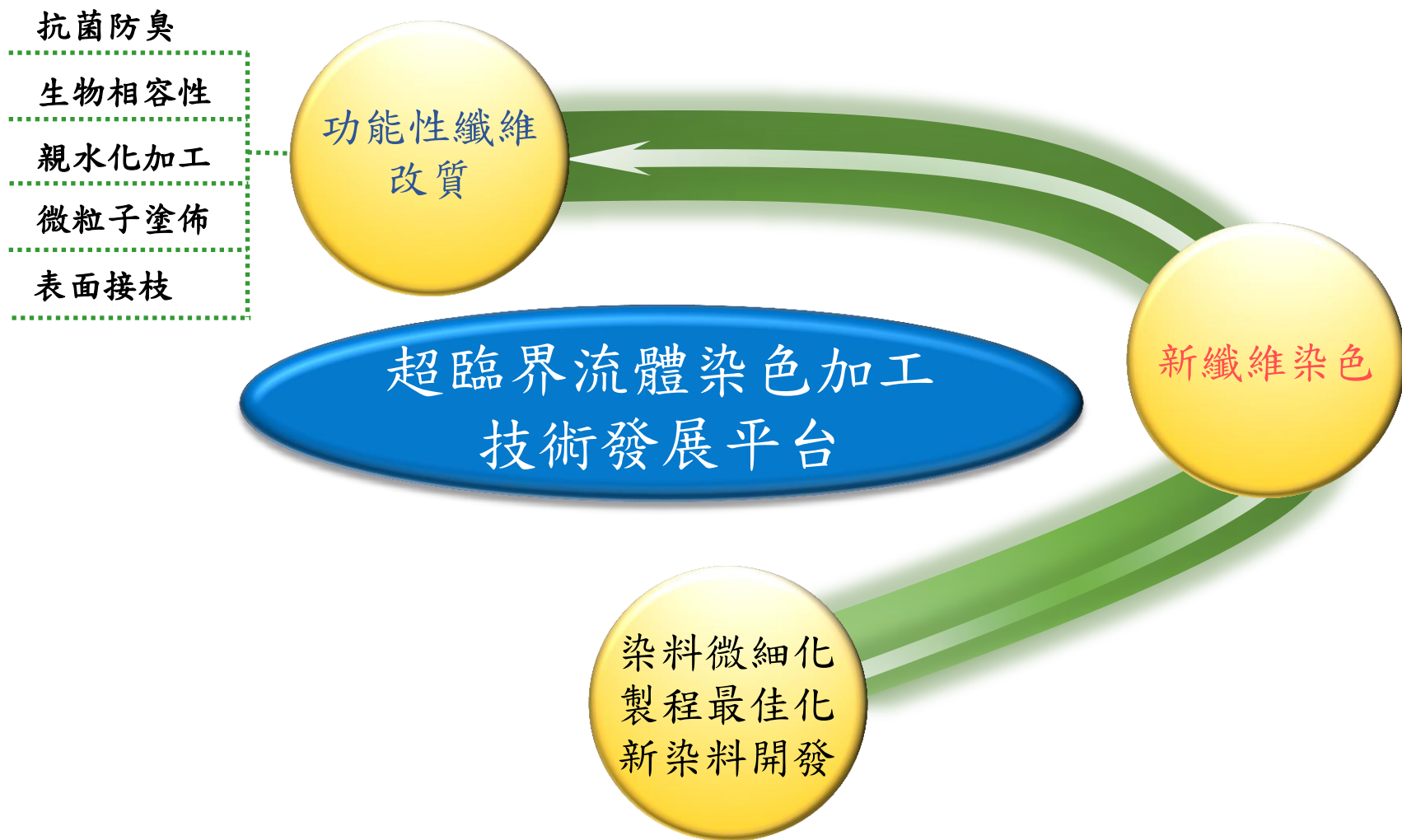
二、SFD技術- 染料發展現狀

SFD染料開發技術TRL分析表



- SFD染料僅分散染料達到量產規模
- 聚酯彈性纖維用染料不足
- 無尼龍纖維用染料

三、SFD 染色技術之應用

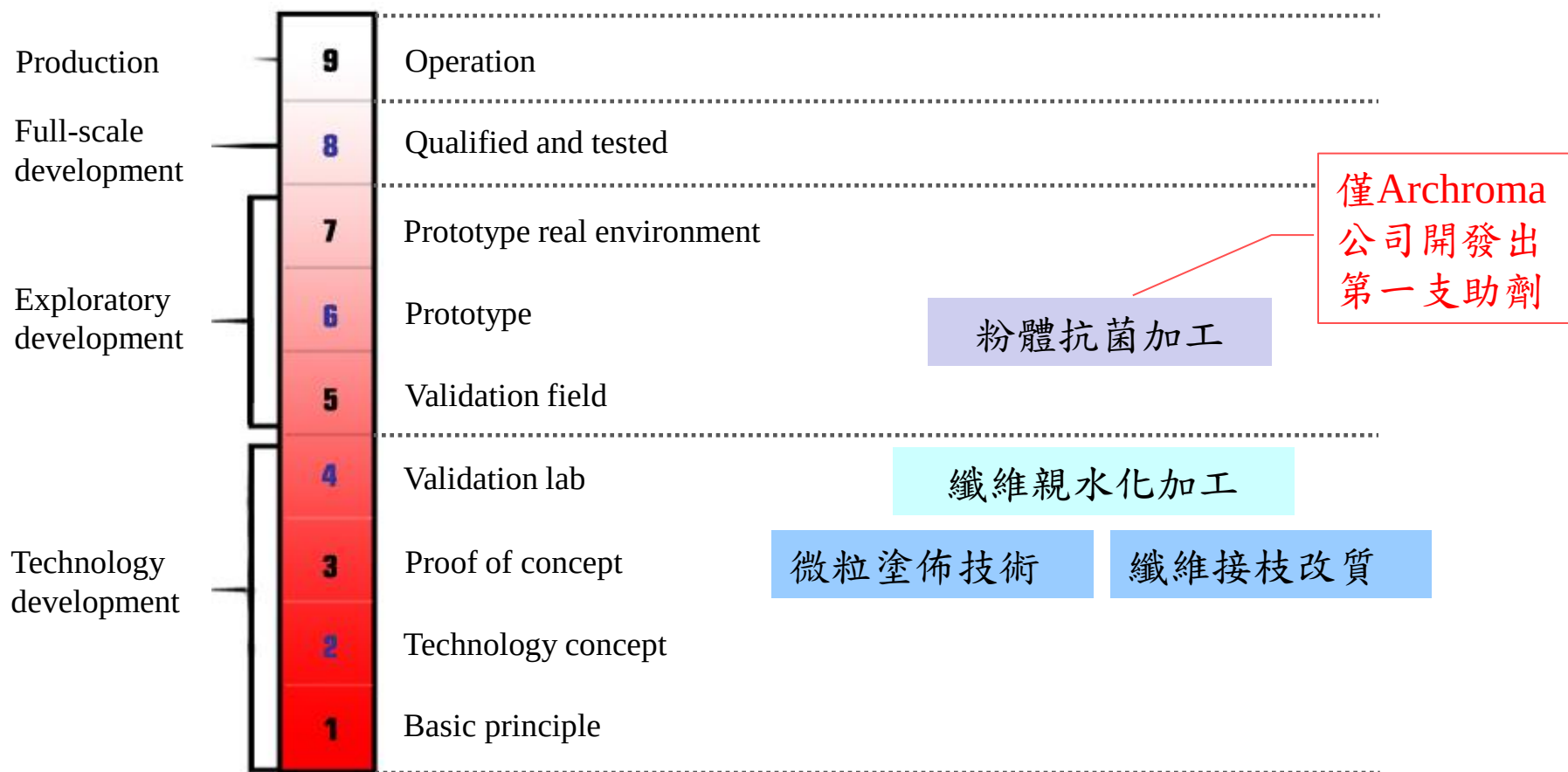


- 可染基材延伸應用至聚丙烯、尼龍
- 染色製程延伸應用功能性纖維改質



三、SFD染色技術之應用-纖維改質

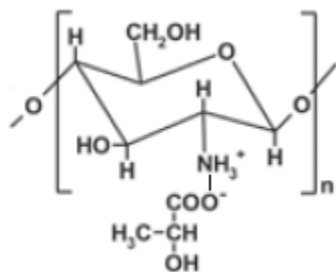
SFD紡織品改質加工開發技術TRL分析表



➤ SFD纖維改質應用技術仍在研究階段尚未量產

三、SFD 染色技術之應用-纖維改質

去乙酰化幾丁聚醣經 sfCO_2 溶解吸附於聚酯纖維→形成具抗菌性聚酯織物

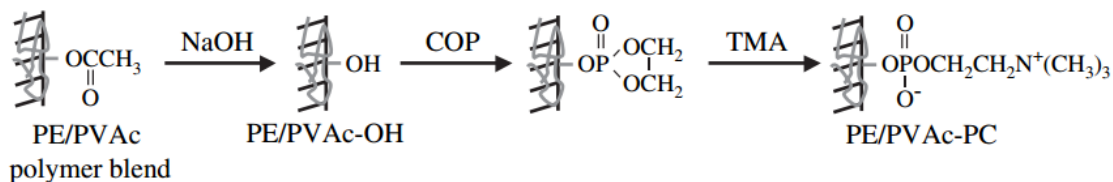
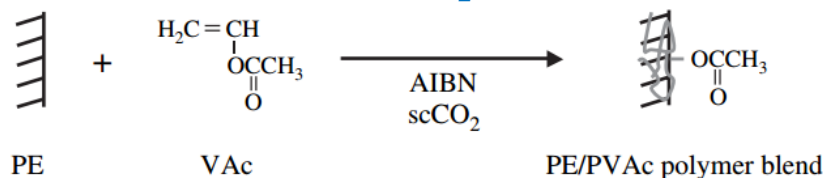


chitosan lactate
Mw : 3000~7000

Table 5 Anti-bacterial testing of chitosan-impregnated PET fabric.

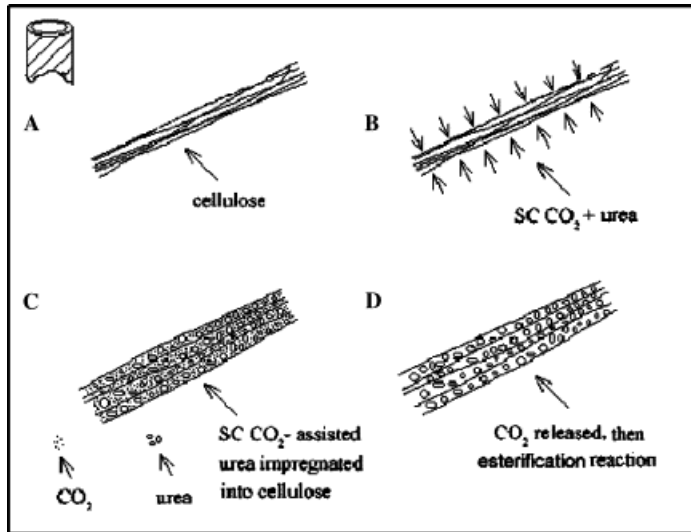
Fabric		Judgment
Blank	Before washing	×
Impregnated	Before washing	○
Impregnated	After washing (50)	○

聚乙烯與醋酸乙烯酯以 sfCO_2 進行接枝反應→再導入磷酸酯基團形成生物相容性材料



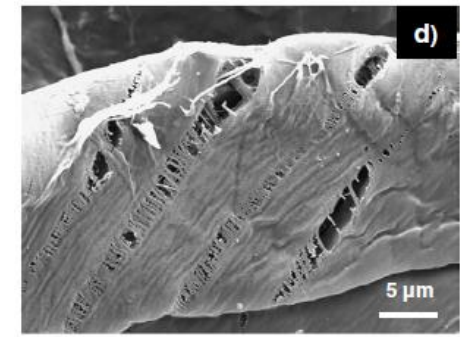
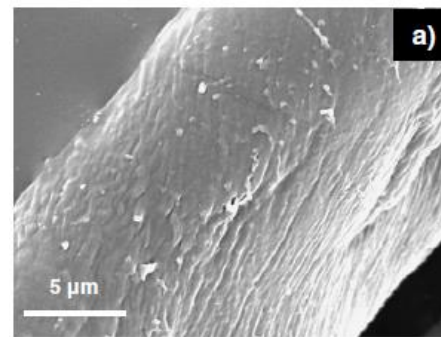
三、SFD 染色技術之應用-纖維改質

纖維素纖維與尿素在sfCO₂環境中進行改質反應→可溶性纖維素材料



Cellulose→Cellulose carbamate

insoluble→ soluble→ viscose spinning



以 sfCO₂製備纖維素纖維/奈米粒子複合材料→超疏水纖維

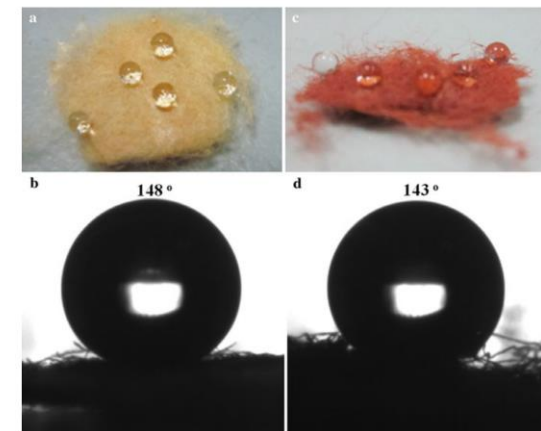
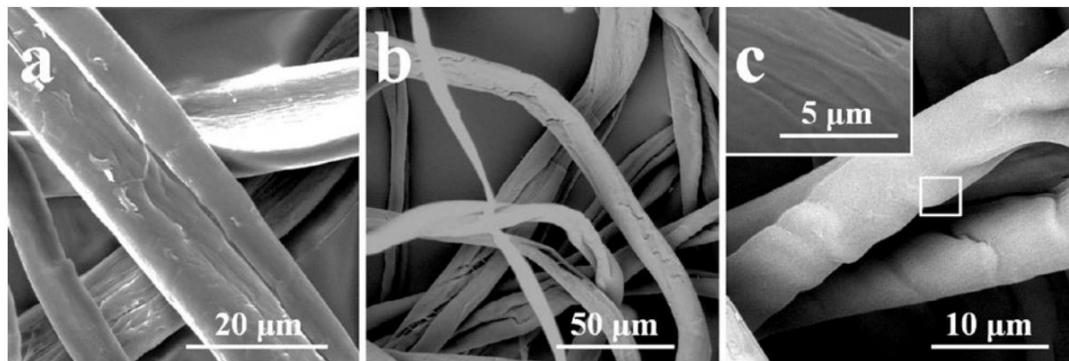


Fig. 1 SEM images of **a** pristine cellulose fibers and **b** cellulose fibers after scCO₂ treatment, **c** magnification of **(b)**, the *inset* image is the enlarged picture of the corresponding white rectangle

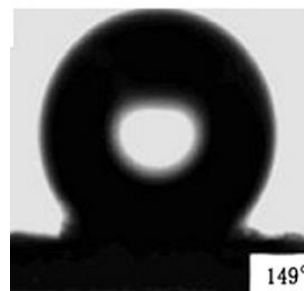
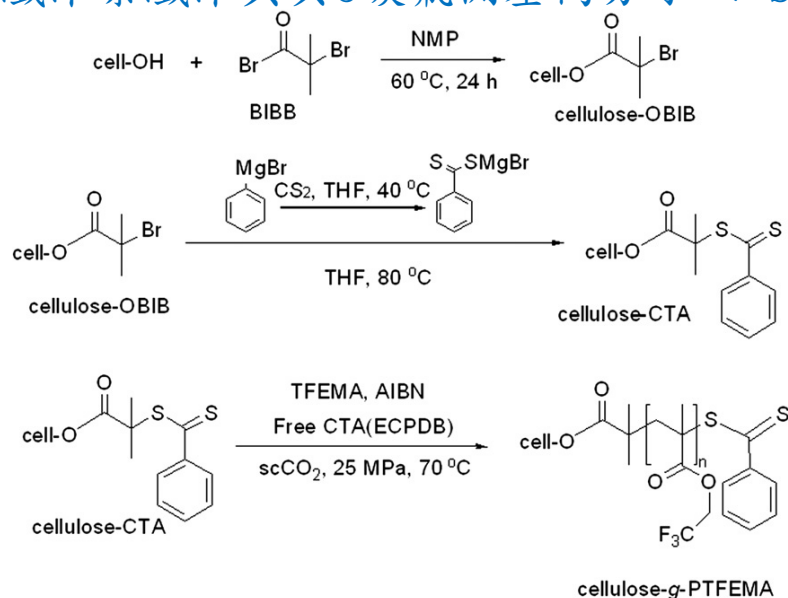
S. Xu, D. Shen, P. Wu, J Nanopart Res 15 (2013) 1577.

T. Nishino, M. Kotera, M. Suetsugu, H. Murakami, Y. Urushihara, Polymer 52 (2011) 830-836



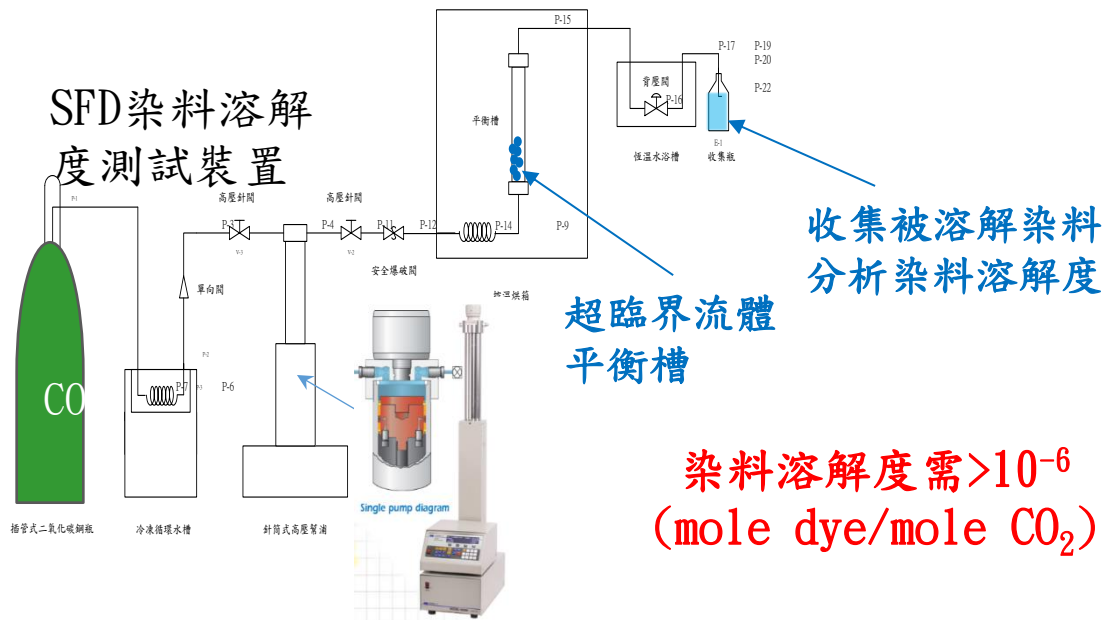
三、SFD染色技術之應用-纖維改質

纖維素纖維與具3碳氟側基高分子以 scCO_2 進行接枝反應→超撥水苧麻纖維



四、工研院於SFD技術之研究-染料溶解度測試

目的:藉由染料溶解度測試篩選適合SFD染色之染料

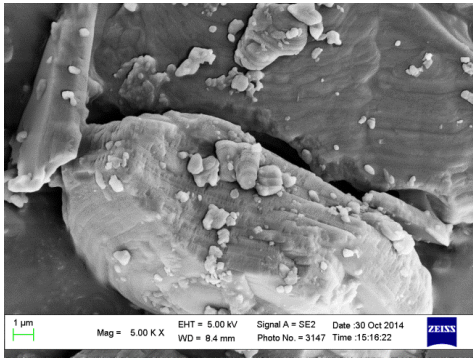


Dye No.	溶解度* 10^{-6} (mole dye/mole CO_2)
1	9.68
2	2.44
3	5.94
4	6.41
5	1.01
6	22.43
7	8.45
8	25.73
10	6.13
11	4.30
12	4.21
13	4.18
14	12.61

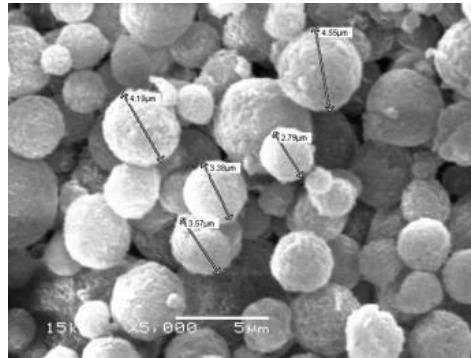
- 建立測試設備與測試方法
- 選擇溶解度相近之染料建立配色系統

四、工研院於SFD技術之研究-染料微細化技術

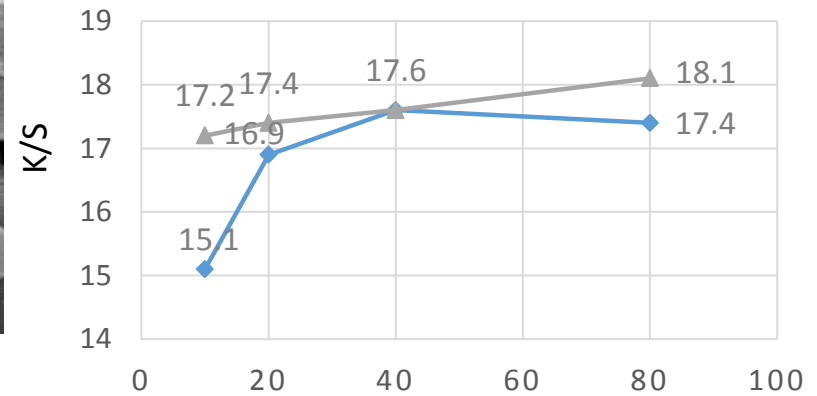
- 市售SFD染料粒徑1~50 μm 團聚現象嚴重
 - 染料溶解速率不一致，顏色再現性不穩定
- 微細化表面處理染料粒徑2~5 μm
 - 提升上色速率及顏色再現性



市售SFD染料



微細化SFD染料



染程時間 (min, 120°C)

▲ 微細化染料 ◆ 市售染料

四、工研院於SFD技術之研究-SFD染料合成

ITRI-Dye-yellow 1

Solubility*10 ⁻⁶ (mole dye/mole CO ₂)	Purity (%)	$\lambda_{\max}$ (nm)	Particle size (μm)
9.89	99.05	440	15



- ITRI-SFD yellow 1 之溶解度及純度適合用於SFD且對聚酯織物之牢度>4級。

五、結論

- 我國染整業每年用水量約2千4百萬噸，廢水處理成本估算約50億元/年以上且法規日益嚴苛並面臨缺水危機已直接影響到染整業之生存。
- 為解決上述問題，發展SFD技術是很好的選擇，國內外業界及品牌商均已積極投入，但須解決目前面臨之技術困難點。
- SFD技術之未來機會在材料、設備、製程及機能性纖維應用。
- 工研院藉由業界合作計畫已具備基礎能量，未來將繼續投入資源以促成技術量產化及本土化。