

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

佳作

040210

滴水不漏，奈米寶特瓶—奈米複合材料的應用

國立臺中女子高級中學

作者姓名：

高二 林苡均 高二 洪恩琪 高二 馮玠寧
高二 賴宜萍

指導老師：

楊宏珩 李霽芳

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

科別：化學科

組別：高中組

作品名稱：滴水不漏 奈米寶特瓶 奈米複合材料的應用

關鍵詞：阻氣阻水性、PET、蒙脫土

編號：

目 錄

壹、摘要	P.2
貳、研究動機	P.2
參、研究目的	P.2
肆、研究設備及器材	P.3
伍、研究過程及方法	P.4
陸、研究結果	P.7
柒、討論	P.14
捌、結論	P.21
玖、參考資料	P.22
拾、附錄	P.23

壹、 摘要

本實驗旨在探討：加入改質蒙脫土的 PET 其阻氣阻水性是否提升。我們先取市售不同厚度的 PET 寶特瓶，測試其阻氣阻水性的關係；結果發現：盛裝氣泡式飲料的 PET 寶特瓶普遍膜厚較厚，因而阻水性較佳。又因為我們取的市售寶特瓶的原料皆為 PET，其瓶身性質大約相同，所以可以比較不同膜厚間之阻氣阻水性。我們接著在 PET 中添加改質蒙脫土，試試看 PET 的阻氣阻水性是否較原來的 PET 優良。結果發現：PET 在加入改質蒙脫土後，會破壞蒙脫土的層間結構，並使蒙脫土均勻分散於 PET 中、發揮阻隔的效果，使 PET 的阻水性增加逾十倍。

貳、 研究動機

在高一基礎化學「生活與化學」一章中曾提及鋼筋混凝土是一種以鋼筋為骨架、將水泥和砂石以水攪拌混合，堪稱為一種「天作之合」的複合材料；當時我們想知道像混凝土這種「截長補短」的例子是否也存在於其他的材料中，於是在網路上我們找到了近年來奈米複合材料的廣泛使用。而在介紹塑膠時，老師出了一份作業讓我們到超市調查市面上各種塑膠材料的分類號碼及其性質的差異；我們發現氣泡類飲料的寶特瓶經長時間後，內含的氣體會漸漸地散逸；而同樣含有氣泡的生啤酒更是清一色的以玻璃瓶及鋁罐盛裝。因此我們想試試看能否利用複合材料的原理，讓盛裝氣泡式飲料的寶特瓶對於內容物的保存時間更長久；我們收集相關資料後，發現 蒙脫土 是現今常用的高分子奈米複合材料，與傳統的複合材料相比，只要添加微量即可達到相同效果，而蒙脫土價格低廉且較無污染，符合經濟效應；便開始進行實驗，希望能將蒙脫土與 PET 結合，以提升 PET 的功能性及附加價值。

參、 研究目的

- 一、 蒙脫土的改質與探討
- 二、 不同厚度 PET 阻氣阻水性的比較
- 三、 加入改質蒙脫土前後 PET 阻氣阻水性之比較

肆、 研究器材及設備

一、 蒙脫土的改質

- | | |
|-------------------|---|
| (一)蒙脫土 | MMT |
| (二)甲基丙烯酸甲酯 | MMA |
| (三)四乙基胺鹽 | XC 3-Methacryloyl amino-propyl
trimethylsmmonium |
| (四)苯乙烯 | Styrene C ₈ H ₈ |
| (五)溴化十六烷基三甲基四級胺鹽 | CTAB (n-Hexadecyl) trimethylammonium
bromide |
| (六)過氧焦硫酸鉀 | KPS K ₂ S ₂ O ₇ |
| (七) X 光繞射分析儀(照片一) | XRD |

二、 市售 PET 瓶的檢測

- (一)市售寶特瓶五種：多喝水、咖啡廣場、可口可樂、奧雷特、檸檬 C
- (二)水氣量測分析儀(照片二)

三、 PET 摻入改質蒙脫土

- (一)PET 顆粒
- (二)三氯甲烷 CHCl₃
- (三)酚 C₆H₆O
- (四)電子秤
- (五)攪拌加熱機
- (六)熱壓機(照片三)
- (七)旋轉塗佈機(照片四)



(照片一)



(照片二)



(照片三)



(照片四)

伍、 研究內容及過程

一、 蒙脫土的改質

(一)改質目的

奈米高分子複合材料：是將少量奈米粉體加入高分子，並克服分散性問題，即可形成物性更佳的複合材料，如強度、耐燃性、耐彎性、阻氣性等等。

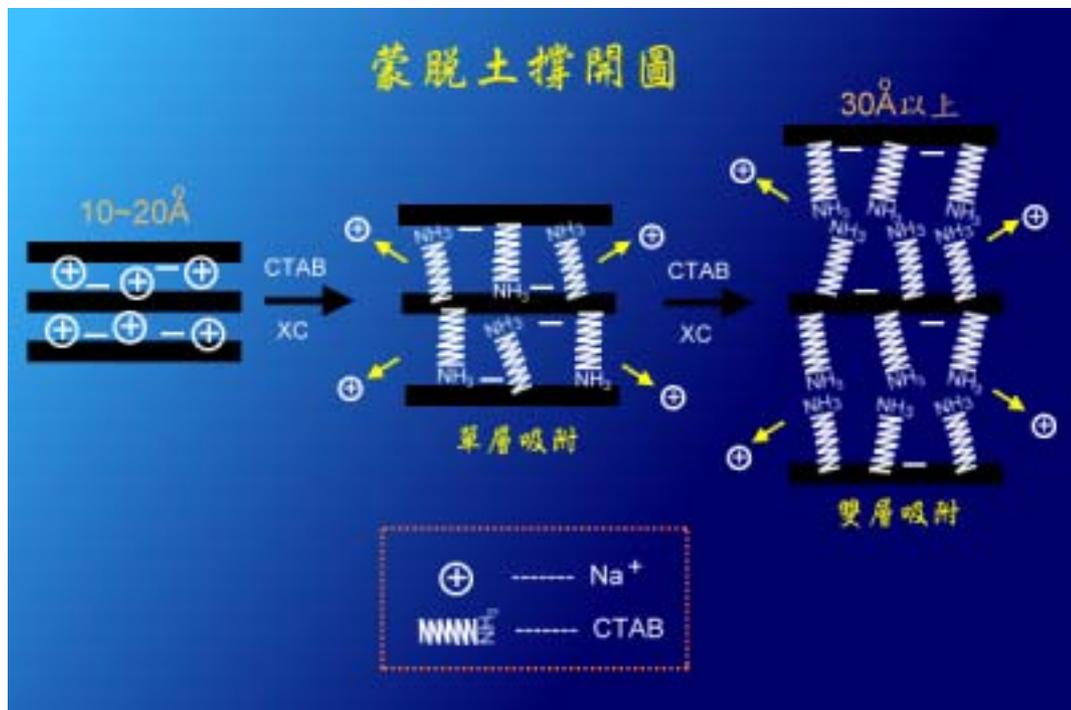
蒙脫土為現今常見的奈米級複合材料，而其本身具親水性，為了使其能與 PET 聚合物均勻混合，我們必須將其轉換為親油性。由於蒙脫土是一種「層」狀的鋁矽酸鹽類，每一層長寬 500 1000nm 左右，厚度僅約 1nm，各層由 2：1 比例的四面體 SiO_2 及八面體 Al_2O_3 所構成，層與層間依靠凡得瓦力鍵結，且層間存有可交換的陽離子 Na^+ ，所以利用蒙脫土這個特性：將蒙脫土放在水中使其被膨潤，讓層間陽離子進行水合反應，與脫去 Br^- 的 CTAB 進行陽離子交換，而使層間距離增加；層間進行離子交換後，再利用表面聚合的方式，在蒙脫土表面覆上一層苯乙烯，將蒙脫土由親水性轉換為親油性。

改質蒙脫土的好處:

- 1.層間距增加
- 2.使蒙脫土與高分子基材的接觸面積大增
- 3.界面作用力增加
- 4.增加高分子的機械性質，熱穩定性 高分子在矽酸鹽層中間，未膨潤的矽酸鹽層層間距離無法提供高分子受熱後所需的運動空間。

(二)實驗步驟

- 1.將界面活性劑 CTAB 0.33g，和 XC(四乙基銨鹽) 0.152g 共同加入去離子水 50ml 中，並加入磁石攪拌至澄清。
- 2.將蒙脫土 1g 加入(1)攪拌使其均勻吸附，攪拌時間約 24 小時。
- 3.加入 CTAB 0.42g 攪拌 24 小時。
- 4.再加入苯乙烯單體 Styrene 8/10x1g 和 MMA 甲基丙烯酸甲酯 2/10x1g，共同攪拌約 24 小時。
- 5.將攪拌瓶以水浴加熱(約 60)，加入起始劑 KPS 0.135g，使其聚合 5 小時。
- 6.將表面改質完成的蒙脫土過濾水洗 5 次。(以 80%、60%、40%、20%酒精和水過濾水洗，以洗去多餘未成形的 Styrene 單體。)
- 7.置於烘箱(約 40-50)1 至 2 天，去除多餘水分以製成粉末。



(圖一) 蒙脫土改質圖

這是蒙脫土在改質前和改質後的層間距離變化。原本在蒙脫土中間的陽離子為鈉離子，在改質時，鈉離子和十六烷基四級銨鹽進行離子交換，於是層間距離就變大了，亦可改變其親水性變成親油性。

二、市售 PET 瓶阻水性的比較

(一)取市售五種 PET 瓶，選擇其瓶身較平坦處，剪下約 5*5 公分見方的試片。

膜厚比較：比較不同膜厚之阻氣阻水性

(表一)

多喝水	233 μm
咖啡廣場	419 μm
可口可樂	512 μm
奧雷特	606 μm
檸檬 C	661 μm

(二)將試片置入水氣量測分析儀，測量試片的日阻水率。

三、PET 顆粒加入改質蒙脫土前後阻水性的比較

(一)旋轉塗佈法

1.調配溶劑，溶解 PET 顆粒及市售五種 PET 瓶

(1)取酚(Phenol)：三氯甲烷：待溶 PET 重量比 = 2 : 2 : 1 依次置入樣品瓶。
(註一、註二)

(2)在樣品瓶中置入磁石，開始加熱攪拌約二十四小時。

2.旋轉塗佈

(1)取出已溶解的 PET 樣品瓶。

(2)開啟旋轉塗佈機的電源，設定轉速 400 轉/分、第一層塗佈時間 20 秒。

(3)打開抽氣幫浦按鍵，將玻片輕壓在轉盤上固定。(註三)

(4)在玻片上緩緩倒入適量 PET 溶液，開始旋轉。

(5)剛完成的玻片仍含揮發性溶劑，故仍置於抽風櫃口中待其乾燥。

3.取下薄膜

(1)在培養皿中加入去離子水和酒精各約一半，將玻片覆蓋薄膜的一面朝液面下蓋，使玻片近乎浸在液面下。

(2)靜置數分鐘後，可明顯看到薄膜因酒精溶液的滲入而漸與玻片分離。

(3)用小鉗子將膜取下，用拭淨紙輕拭膜上的水滴。

(4)為求完全的乾燥，可將膜置於烘箱中數分鐘再取出，放入樣品袋中。

4.將膜置入水氣量測分析儀，測量膜的阻水率。

註一：酚是顆粒狀透明結晶，易潮解，稱取時需趕緊倒入樣品瓶中緊閉。三氯甲烷溶液具毒性，易揮發，因此整個稱取過程需在抽風櫃口中進行，以免吸入揮發至空氣中的毒氣。

註二：待測 PET 事先剪成碎片狀以便倒入樣品瓶。

註三：玻片盡量拿邊緣，避免在玻片上留下指紋，造成之後鍍膜的不均勻。

(二)熱壓法

1.設定上下壓板溫度為 250 度，讓熱壓機預熱。

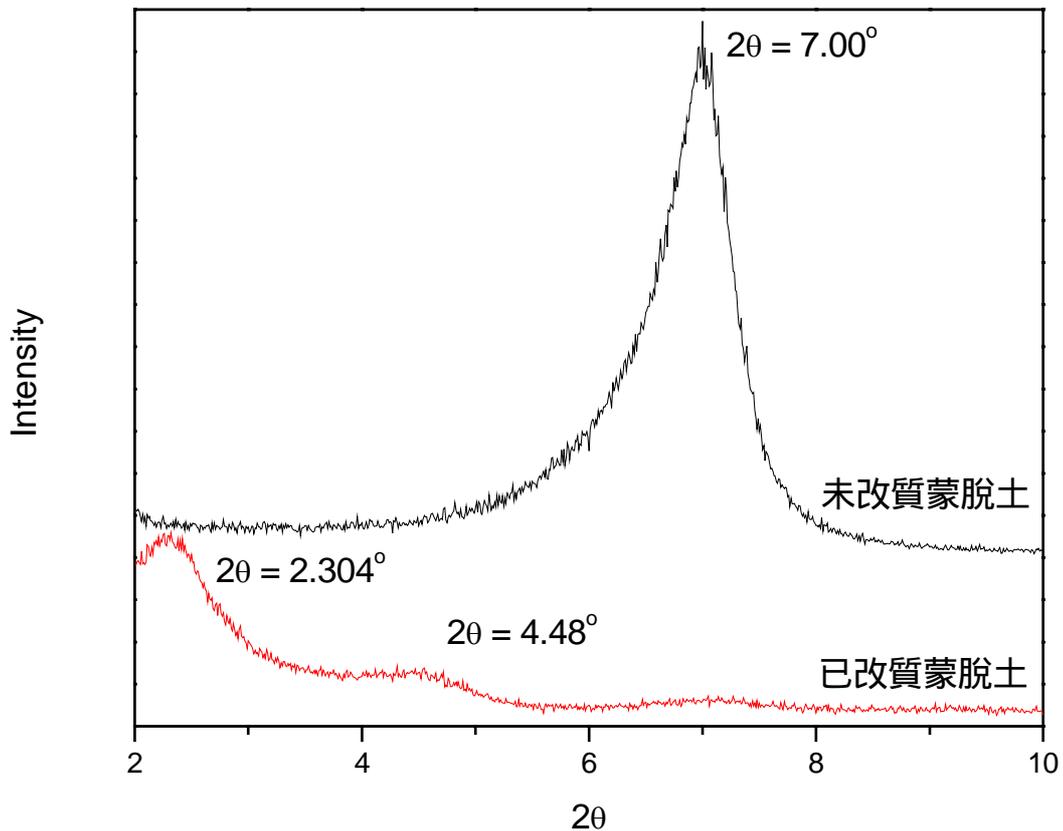
2.到達預熱溫度後，在金屬夾板上置一塊鐵氟龍布，稱取 1.0 克的 PET 顆粒放在布上，蓋上鐵氟龍布，再取另一片金屬夾板置於其上，形成夾層。

3.將夾層置入上下壓板的空隙，由施力點來回按壓到夾層感受到上下壓板的壓力為止(即壓力計上的指針開始偏轉瞬間)；讓 PET 顆粒先預熱熔融五分鐘。

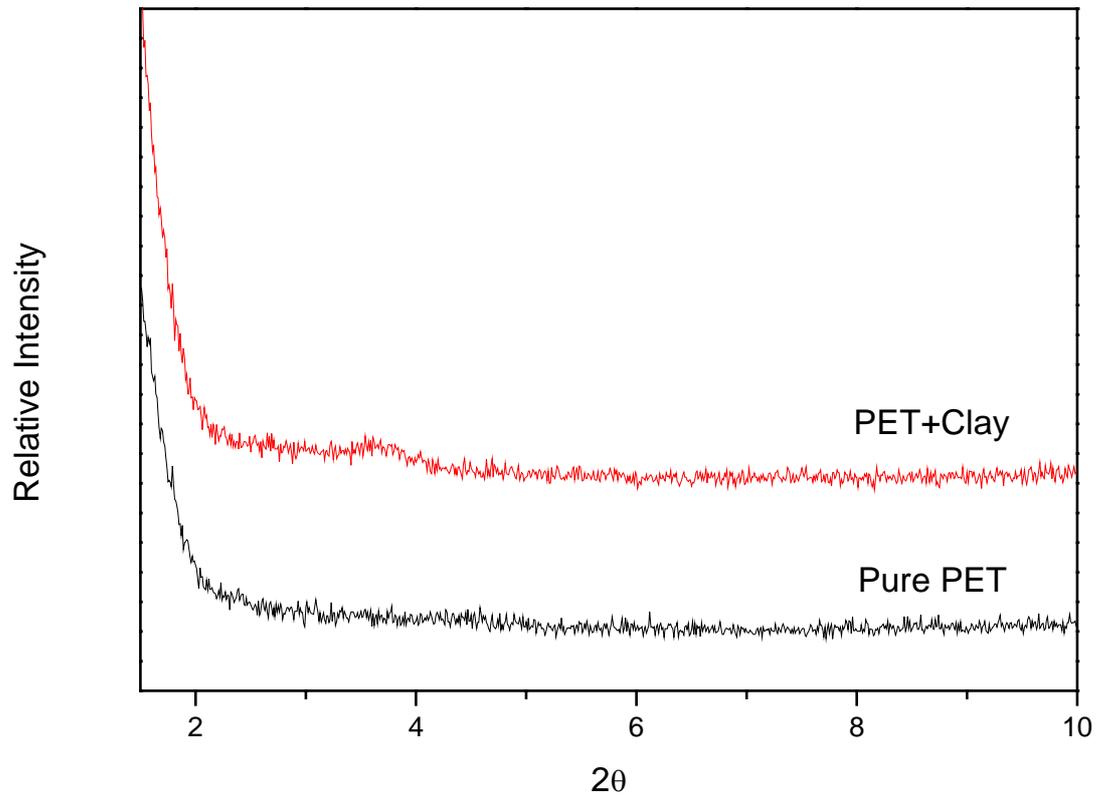
- 4.預熱結束後施力按壓，使壓力達 $60\text{kg} \cdot \text{f}/\text{m}^2$ ，靜置兩分鐘成膜。
- 5.兩分鐘後轉開栓鎖，使壓力計指針歸零、同時上下的壓板也會漸漸遠離金屬夾板；將夾板抽出，撥開金屬夾板，把鐵氟龍布捧到水槽中立即以冷水沖之，讓膜凝固。
註：剛從熱壓機取出的夾板極高溫，必須戴手套避免燙傷。
- 6.打開鐵氟龍布，把膜取下；由於成膜黏附在布上，可滴用清洗酒精滲入膜中，依賴膜的表面張力撐開膜以便取下。
- 7.將膜置入水氣量測分析儀，測量膜的阻水率。

陸、研究結果

- 一、蒙脫土的改質：利用蒙脫土改質前後在 XRD 圖中波峰的轉移，由圖可看出改質成功。



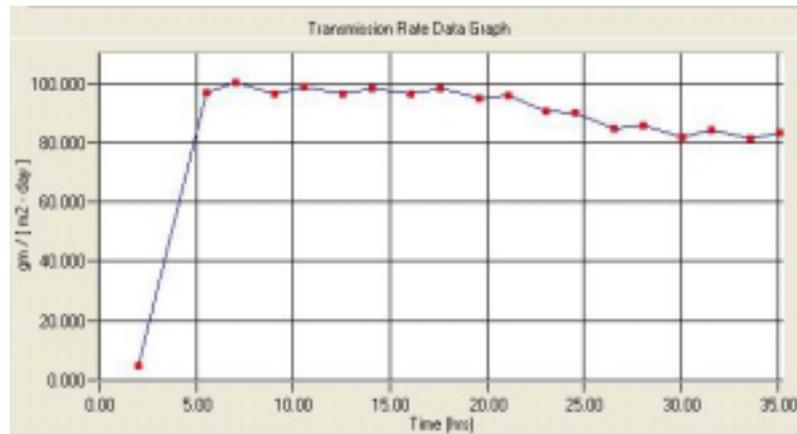
(圖二) 蒙脫土改質前後 XRD 圖譜



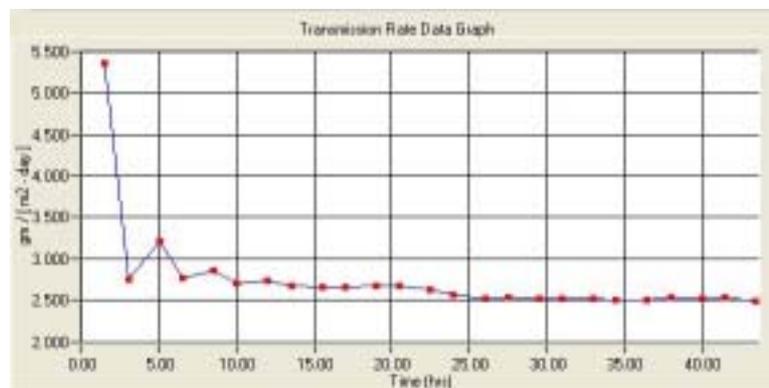
(圖三) PET 添加改質蒙脫土前後 XRD 圖譜

二、市售 PET 瓶阻水性的比較

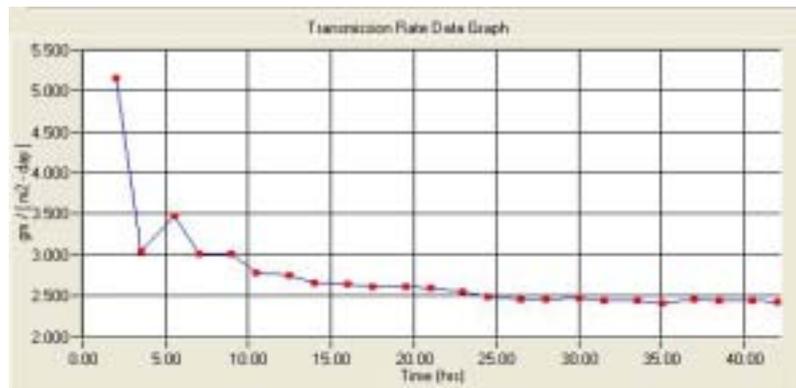
此為將試片置入水氣量測分析儀，進行測量一天後的結果，橫軸為時間，每個小紅點是一次的紀錄，紀錄時間間隔於一小時至兩小時不等；縱軸為各試片的透水率，已換算為日透水率(單位:克重/每平方公尺 一天)。每個圖下方的日透水率是取最後六次數據平均的結果。



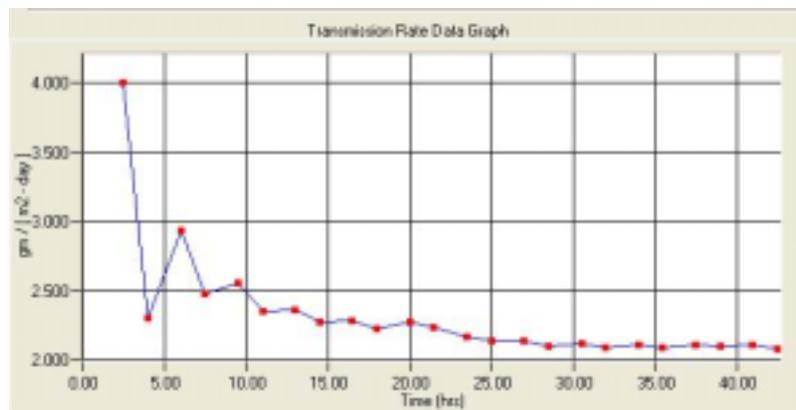
(圖四) 多喝水 233µm
日透水率：83.56 gm/m²



(圖五) 可口可樂 512µm
日透水率：2.50 gm/m²



(圖六)奧雷特 606 μ m
日透水率：2.43 gm/m²



(圖七)檸檬 C 661 μ m
日透水率：2.06 gm/m²

三、 PET 顆粒加入改質蒙脫土前後阻水性的比較

(一)旋轉塗佈法(以下實驗數值為三次實驗平均)

(表二)

次別	改質蒙脫土組 或 純 PET 組	溶劑比 (酚 : CHCl ₃ : 待溶 PET)	轉速 1	轉速 2	結果
一	純 PET	2 : 2 : 1	400-1000 轉/ 分 20 秒	無	膜上有肉眼可見孔洞,推測是氣泡。膜厚 <100μm
二	純 PET & 改質蒙 脫土組	2 : 2 : 1	100 轉/分 10 秒	400-600 轉/ 分 5 秒	膜厚不均勻,且太薄(幾乎不超過 50μm),尤其以改質蒙脫土組明顯
			200 轉/分 10 秒	400-600 轉/ 分 5 秒	
三	改質蒙脫土組	2 : 2 : 1 瓶口以膠布密封, 以免溶劑不斷揮發	200 轉/分 15 秒	400-600 轉/ 分 5 秒	完全龜裂,推測可能是改質蒙脫土分散不均所致
四	改質蒙脫土組	2 : 2 : 1 改變溶解方式:溶劑和改質蒙脫土先個別互溶後再混合	200 轉/分 20 秒	400 轉/分 10 秒	還是龜裂;可能是在旋轉塗佈後留下的大多是改質蒙脫土,造成膜容易再結晶
			200 轉/分 15 秒	400 轉/分 5 秒	
			200 轉/分 10 秒	無	

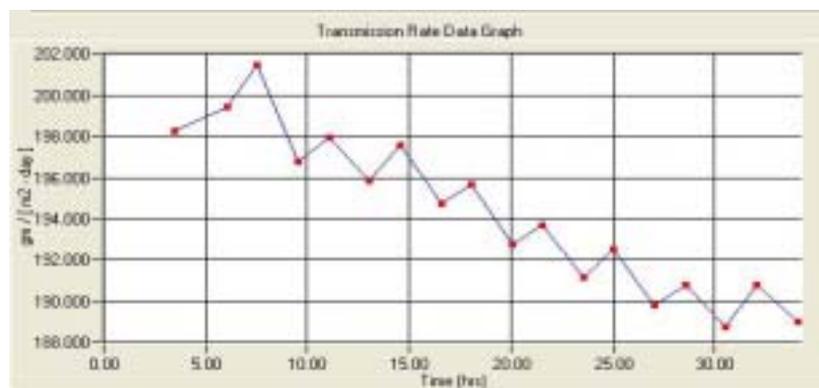
(二)熱壓法(以下實驗數值為三次實驗平均)

(表三)

次別	PET 重	預熱溫度、時間	是否加改質蒙脫土	壓力 kg · f/m ²	成膜時間 (分)	結果
一	1.0 克	250 5 分	無	60	2	中間仍有未完全熔融的 PET
二	1.0 克	260 5 分	無	60	2	中間仍有未完全熔融的 PET
三	0.6 克	280 5 分	無	60	2	PET 完全溶解，但膜很薄，易碎
四	0.6 克	280 5 分	無	40	2	Okay
五	0.6 克	260 2 分	有	20	2	和原狀無異
六	0.6 克	280 2 分	有	20	2	有改質蒙脫土，脆而易碎
七	0.6 克	280 3.5 分	有	20	2	Okay

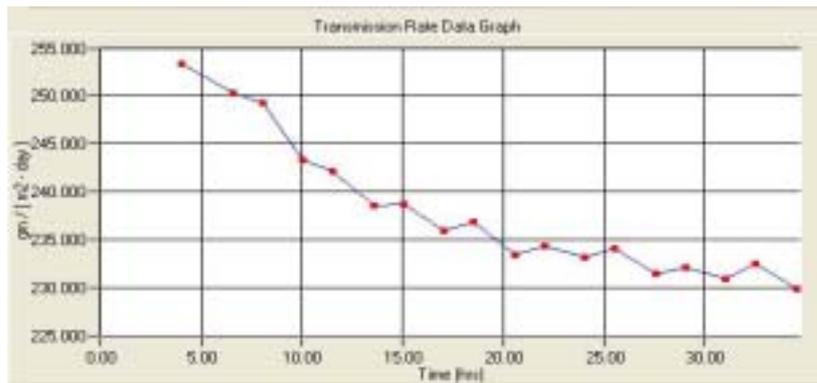
(三)PET 熱壓膜阻水數據

此為將 PET 熱壓膜置入水氣量測分析儀，進行測量一天後的結果，橫軸為時間，每個小紅點是一次的紀錄，紀錄時間間隔於一小時至兩小時不等；縱軸為 PET 熱壓膜的透水率，已換算為日透水率(單位:克重/每平方公尺 一天)。每個圖下方的日透水率是取最後六次數據平均的結果。

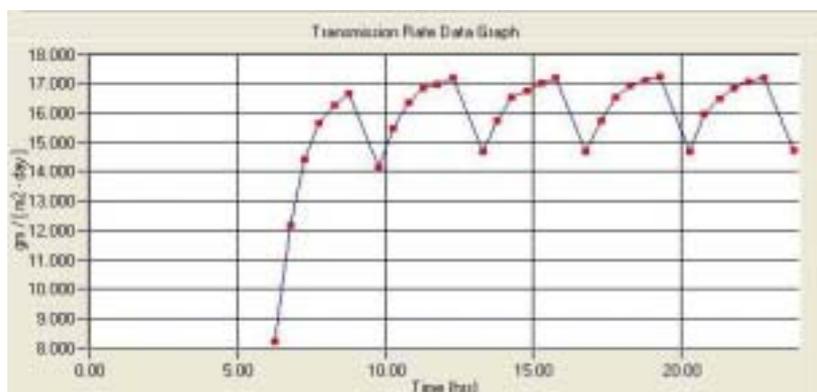


(圖八) PET 熱壓膜 112 μ m

日透水率：190.27 gm/m²



(圖九) PET 熱壓膜 61 μ m
日透水率：231.73 gm/m²

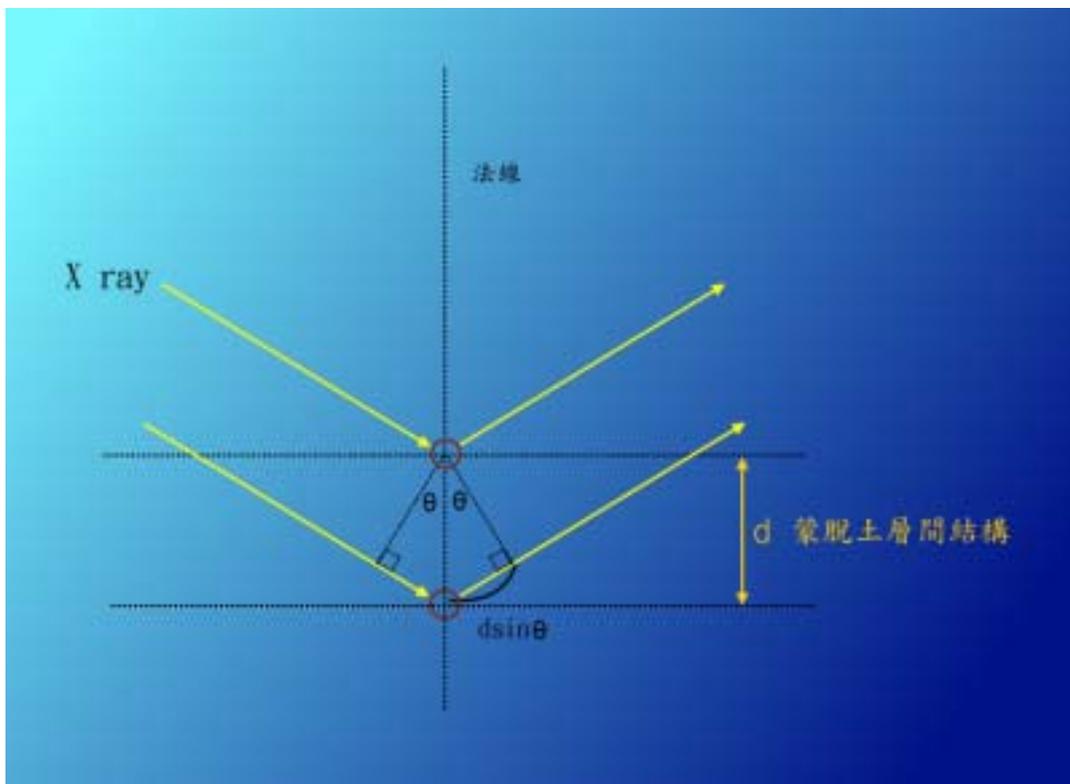


(圖十) PET+改質蒙脫土 76 μ m
日透水率：16.37 gm/m²

柒、 討論

一、 蒙脫土的改質

蒙脫土(MMT)為層狀結構，層與層間依靠凡得瓦力鍵結，且層間存有可交換的陽離子。為了將蒙脫土層間距撐開，並將其由親水性改為親油性，所以我們先將 MMT 置於水中，使其表面所帶的 Na^+ 脫去，與脫去 Br^- 的 CTAB 進行陽離子交換，四乙基胺鹽(XC)幫助 CTAB 和 MMT 單層吸附，而再次加入 CTAB 期望達到雙層吸附的效果；然後利用表面聚合，使 MMT 表面覆上一層苯乙烯(親油性大於親水性)，並加入 KPS(催化劑)將苯乙烯單體聚合成一鏈狀分子聚合物，便使 MMT 由親水性轉變為親油性，較利於與親油性的 PET 混合。而在 MMT 與 CTAB 達雙層吸附時，會撐開蒙脫土層間距，利於 PET 高分子插入。最後我們用 XRD 檢查確認蒙脫土層間距撐開已否，判斷是否改質成功。



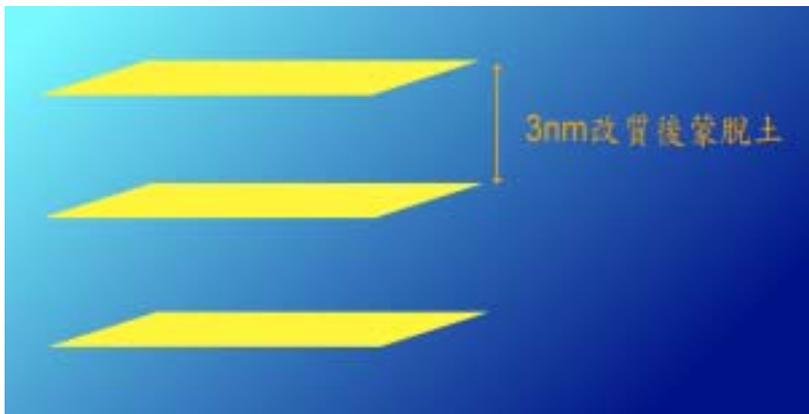
(圖十一)

當一束平行的 X ray 遇到整齊排列的規則層間結構，其反射光易因同相位(兩平行光波程差= $n\lambda$)而產生建設性干涉，能量增加，因而在 XRD 圖譜中產生相對強度較大的波峰。依照布拉格定律可以求出該處的層間距離 d ；由上圖可之兩入射 X ray 所走的距離相差 $2d \cdot \sin \theta$ ，若相位相同，則在 XRD 圖譜出現相對強度較大的波峰處，對應其 $2d \cdot \sin \theta$ 值，代入其公式： $2d \cdot \sin \theta = n\lambda$ ($\lambda_{\text{Cu}}=0.1542\text{nm}$)

由(圖三)XRD 圖我們可看出相較於(圖二)的改質蒙脫土，在加入 PET 後，其波峰變小趨於不明顯，表現其層間結構被打散、並均勻分散於 PET 中，增加 PET 的阻氣阻水性，達到改質的目的。



(圖十二)蒙脫土改質前圖



(圖十三)蒙脫土改質後圖

(表四)

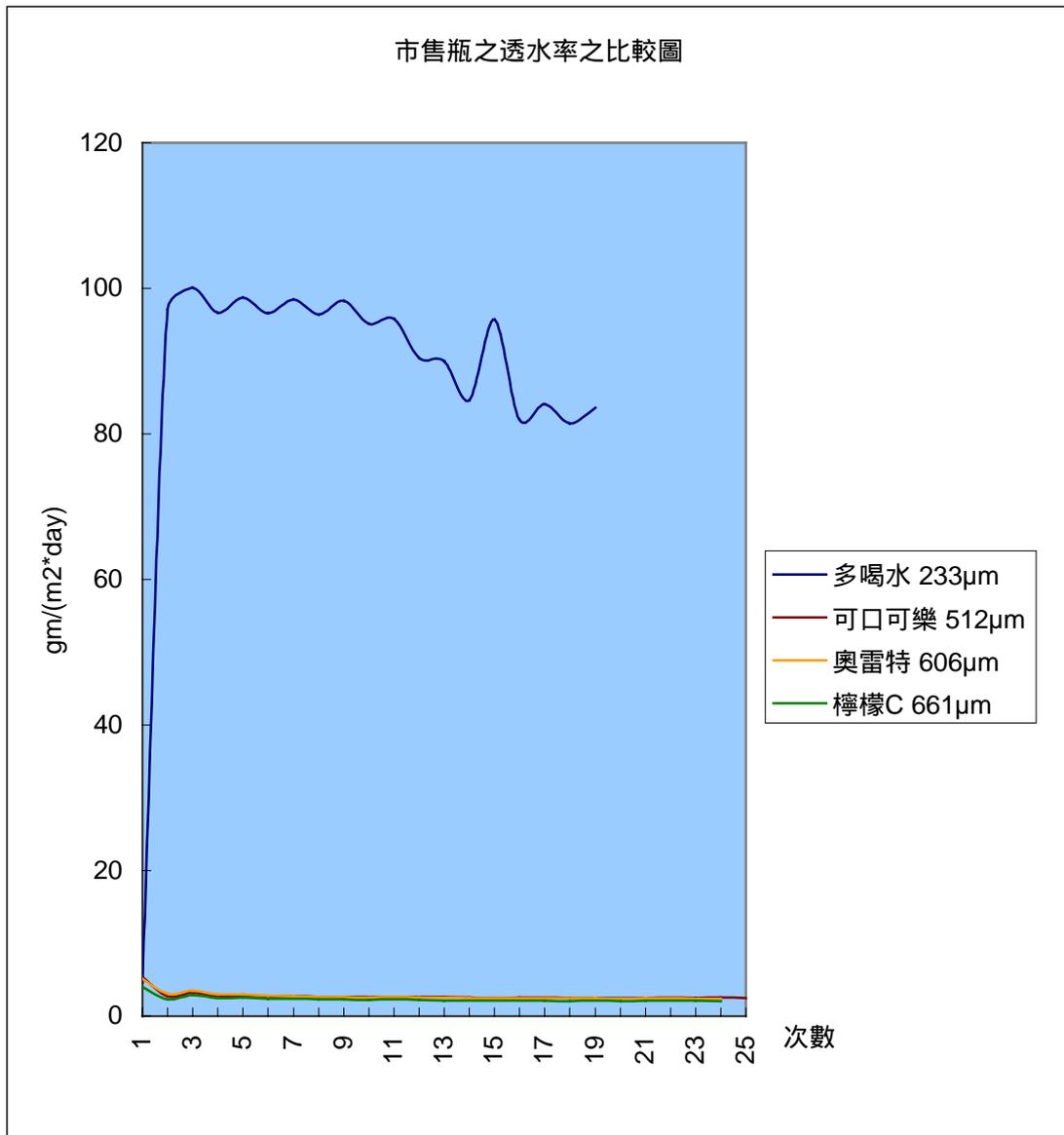
改質前	$\text{Sin}3.5^\circ$ 0.0610	$D = 1.2639\text{nm}$
改質後	$\text{Sin}1.15^\circ$ 0.0220	$D = 3.5045\text{nm}$
	$\text{Sin}2.24^\circ$ 0.0420	$D = 1.8357\text{nm}$

二、市售 PET 瓶阻水性的比較

(一)市售瓶「咖啡廣場」因瓶身設計問題，剪下的試片仍凹凸不平，在水氣量測分析儀內無法持續使水氣通透，故不列入討論。

(表五)

市售瓶的透水率實驗數據表				
單位 gm/(m ² *day)				
瓶子名稱	多喝水 233μm	可口可樂 512μm	奧雷特 606μm	檸檬 C 661μm
1	4.626554	5.363149	5.153478	4.001985
2	97.09062	2.754529	3.04078	2.303293
3	100.1221	3.211844	3.482659	2.936367
4	96.66514	2.766902	3.015181	2.482124
5	98.75259	2.862736	3.018504	2.553893
6	96.60903	2.700697	2.784481	2.353122
7	98.4948	2.728959	2.751028	2.364294
8	96.41403	2.680937	2.652086	2.278784
9	98.29489	2.654891	2.649137	2.285438
10	95.09691	2.664306	2.606024	2.223962
11	95.81835	2.673862	2.618223	2.271867
12	90.39163	2.681176	2.590159	2.234614
13	90.02402	2.630664	2.544617	2.17312
14	84.62976	2.561096	2.482938	2.136924
15	95.73901	2.521094	2.464146	2.140475
16	81.97734	2.537503	2.454308	2.10237
17	84.07886	2.52559	2.477066	2.116275
18	81.4466	2.517409	2.449257	2.088988
19	83.57084	2.519901	2.441295	2.106626
20		2.505817	2.413956	2.089698
21		2.501305	2.459717	2.109013
22		2.534483	2.442366	2.103407
23		2.517247	2.435462	2.112491
24		2.530712	2.426039	2.080401
25		2.484299		



(圖十四)為圖四至圖七之綜合比較圖

(二)如(圖十四),比較其餘四種市售瓶,發現隨著試片膜厚的增加(多喝水 233µm、可口可樂 512µm、奧雷特 606µm、檸檬 C 661µm),相對應所測得的平均日透水率有明顯的下降(多喝水 83.56 gm/m²、可口可樂 2.50 gm/m²、奧雷特 2.43 gm/m²、檸檬 C 2.06 gm/m²)。

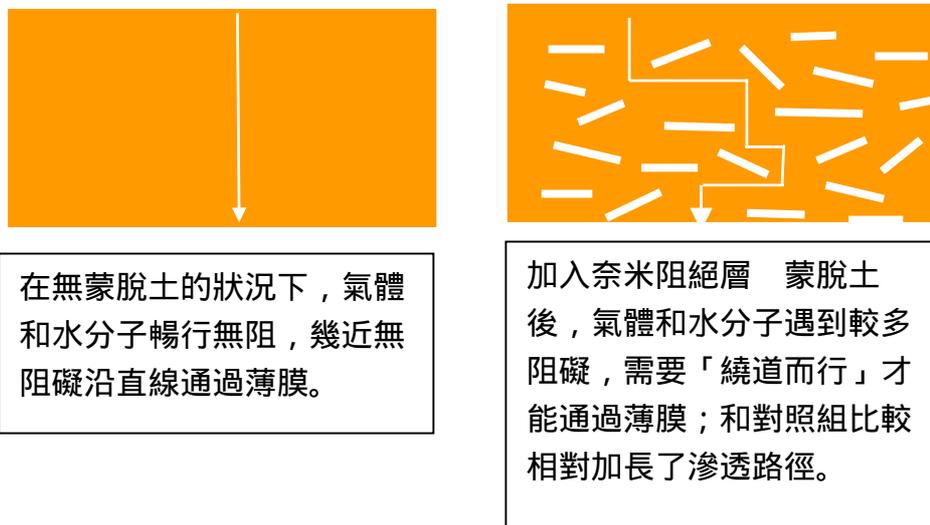
三、 PET 顆粒加入改質蒙脫土前後阻水性的比較

(一)旋轉塗佈法

旋轉塗佈置成的膜一直無法完整成形，係因為改質蒙脫土與玻片的附着力大於 PET 溶液，導致在旋轉塗佈時被甩開到外部的多以 PET 溶液為主；塗佈後玻片上的改質蒙脫土濃度相對變大、分散不均，且 PET 溶液溶解後仍會再結晶，形成凝結核，使膜龜裂。

(二)熱壓法

起初預熱採 250 ，成膜中間有破洞，並有一些仍未熔融的 PET 顆粒；直到加溫至 280 中央的 PET 顆粒才完全溶化，但成膜卻太薄、易碎；於是我們改變熱壓壓力為 $40 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{m}^2$ ，方製出完整的 PET 薄膜。而根據先前旋轉塗佈的經驗，PET+改質蒙脫土後往往變得更易碎裂，因此在製 PET+改質蒙脫土膜時我們壓力僅採 $20 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{m}^2$ ，但預熱溫度仍太低(260)，最後也是在 280 時得到狀況最佳的成膜。

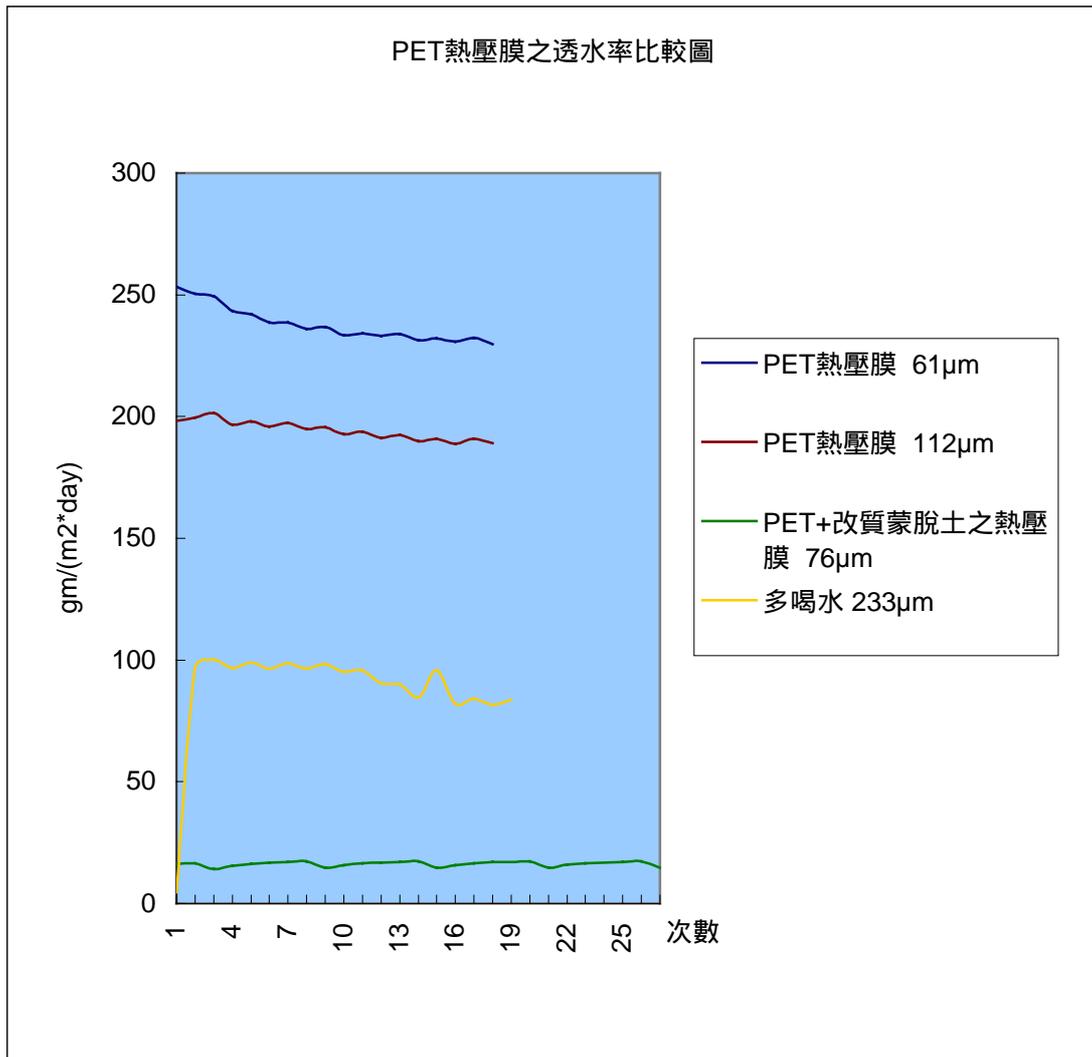


(圖十五) 氣體和水分子在純 PET 膜、PET 加改質蒙脫土膜中滲透路徑的差別比較

(三)PET 熱壓膜阻水數據

(表六)

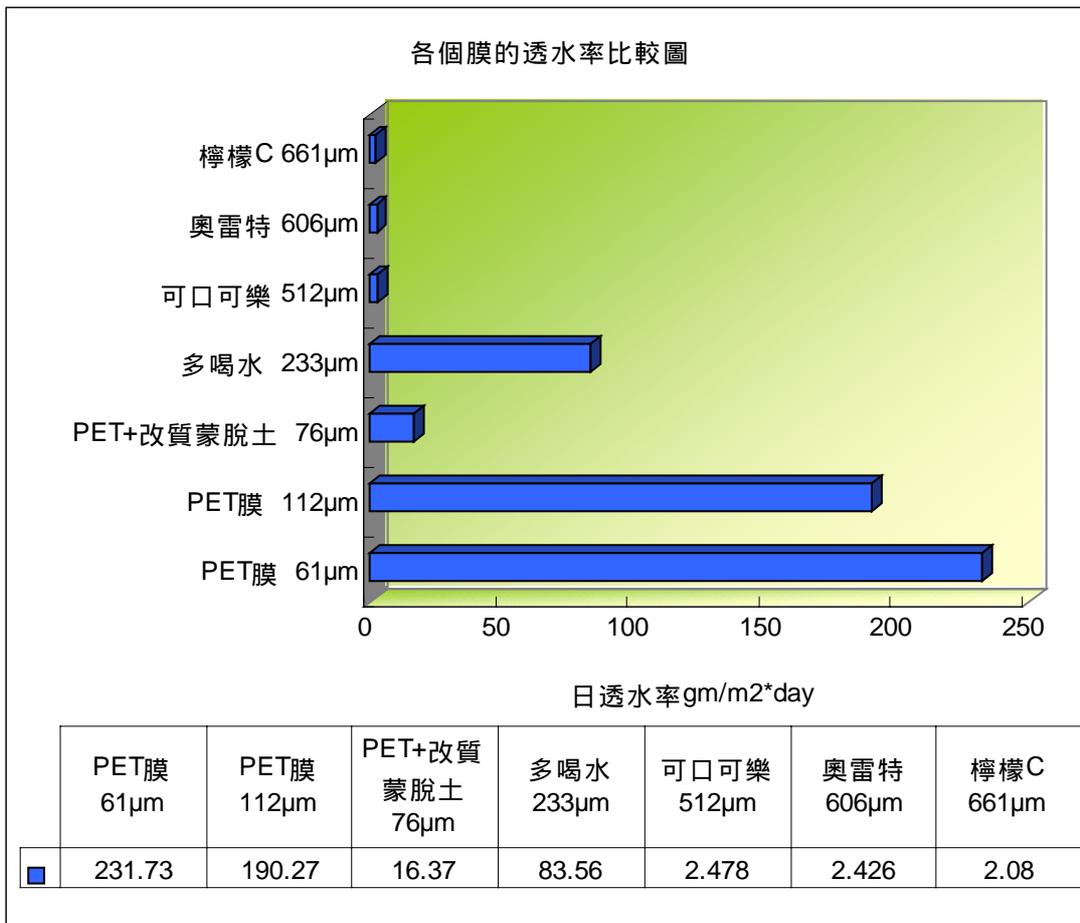
PET 熱壓膜的透水率實驗數據表				
單位 gm/(m ² *day)				
	PET 熱壓膜 61μm	PET 熱壓膜 112μm	PET+改質蒙脫土之熱壓膜 76μm	多喝水 233μm
1	253.3137	198.2358	16.25474	4.626554
2	250.3443	199.4567	16.64951	97.09062
3	249.2872	201.4453	14.16523	100.1221
4	243.3084	196.7966	15.47994	96.66514
5	242.143	197.9391	16.34663	98.75259
6	238.6064	195.8804	16.82623	96.60903
7	238.6414	197.5881	16.99029	98.4948
8	235.9015	194.7439	17.18289	96.41403
9	236.7706	195.6794	14.68971	98.29489
10	233.4071	192.7427	15.72019	95.09691
11	234.3082	193.6716	16.54414	95.81835
12	233.1151	191.1409	16.76246	90.39163
13	234.0112	192.4903	17.02545	90.02402
14	231.3694	189.8323	17.19289	84.62976
15	232.0396	190.8008	14.67038	95.73901
16	230.8502	188.7706	15.72121	81.97734
17	232.4061	190.7888	16.54244	84.07886
18	229.7833	188.9937	16.92442	81.4466
19			17.10956	83.57084
20			17.25224	
21			14.70023	
22			15.95079	
23			16.48607	
24			16.84159	
25			17.06264	
26			17.18469	
27			14.73795	



(圖十六) 為圖八至圖十之綜合比較圖

- 1.由(圖十六)可知市售寶特瓶「多喝水」日透水率約 83.56gm/m^2 ，約是 PET 熱壓膜 $112\mu\text{m}$ 透水率(190.27 gm/m^2)的一半；造成透水率相異的原因是寶特瓶與 PET 熱壓膜製法的不同所致。
- 2.比較 PET 熱壓膜:由(圖十六)可看出 PET 熱壓膜 $112\mu\text{m}$ 的日透水率為 190.27gm/m^2 ，而 PET 熱壓膜 $61\mu\text{m}$ 的日透水率為 231.73gm/m^2 ，可知厚膜的透水率較薄膜透水率低，即厚膜比薄膜的阻水性佳。
- 3.比較 PET 熱壓膜：由(圖十六)，PET 熱壓膜 $61\mu\text{m}$ 的日透水率為 231.73gm/m^2 ，在 PET 熱壓膜加入改質蒙脫土後，PET+改質蒙脫土 $76\mu\text{m}$ 日透水率為 16.37gm/m^2 ，可看出透水率在加入蒙脫土後明顯下降，少於原先純 PET 膜的十分之一；由此可知奈米級的蒙脫土已在 PET 中分散，達到阻隔的效用。

捌、結論



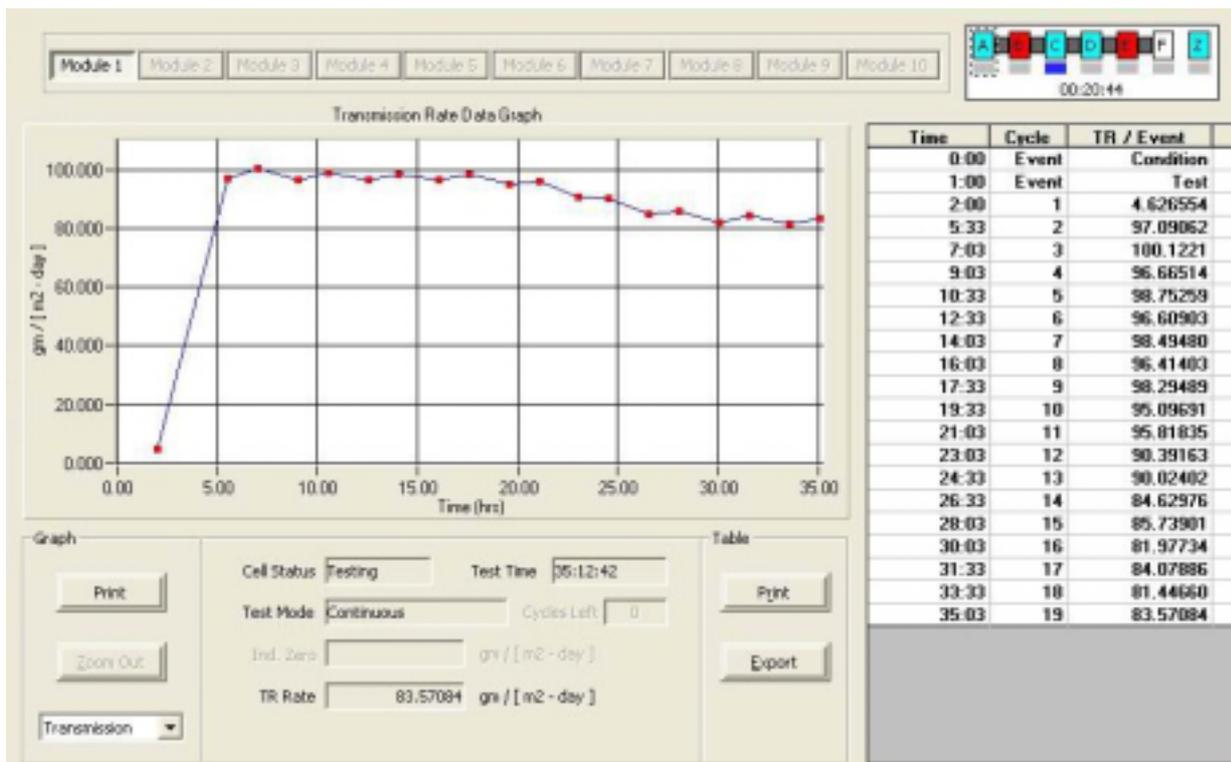
(圖十七)

在熱壓法的 PET 成膜加入改質蒙脫土後進行水氣量測，發現分散在 PET 膜上的改質蒙脫土能發揮奈米阻絕層的功用，讓 PET 的阻水性大幅增加逾十倍。期待日後在工業上亦能使用加入改質蒙脫土的 PET 製成奈米寶特瓶，讓市售寶特瓶的阻氣阻水性皆能大幅提升，增加瓶內飲料的保存期限。

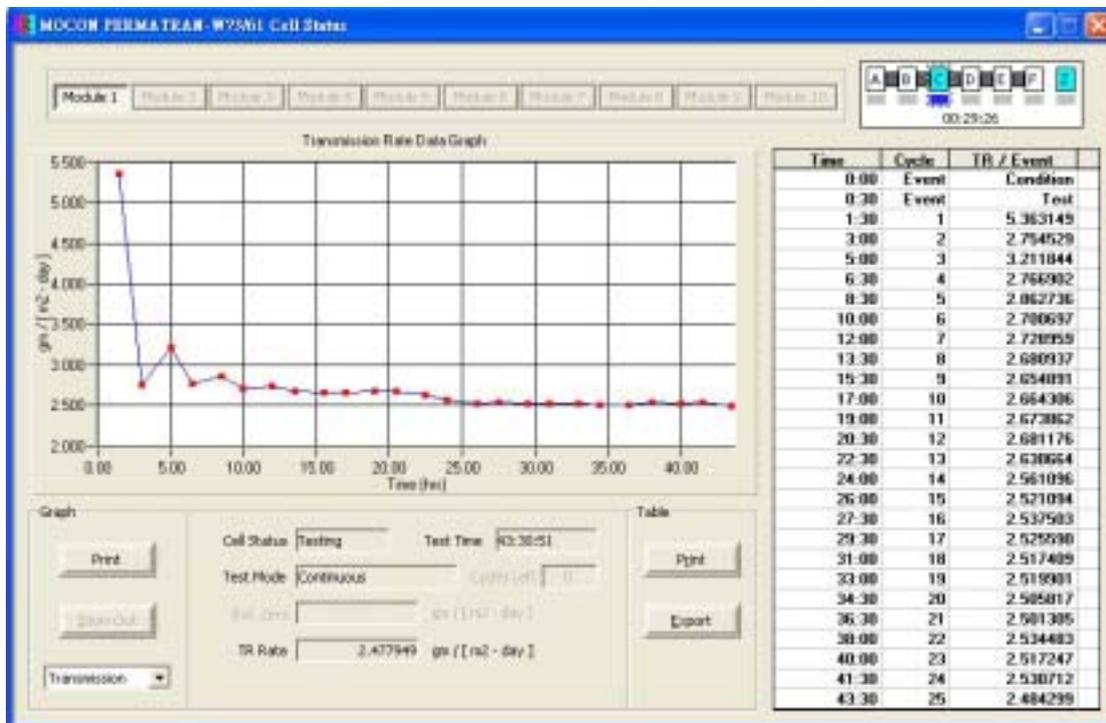
玖、參考文獻

- 一、田宏隆，民國 92 年 3 月，“平面顯示器用可撓式塑膠基材技術與應用”，工業材料雜誌第 195 期，P.156-162
- 二、吳震裕，“行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告 利用壓克力共乳液/黏土中間凝集物製備 PMMA/改質蒙脫土奈米複材”，國立中興大學 化學工程系
- 三、孫敏桂，鄭廖平，林達鎔，陳慶鍾 “以熔融插層法製備 PMMA / 蒙脫土奈米複合材料” 淡江大學化學工程學系
- 四、陳協志 “聚酯奈米複合材料基版之製備與物性特性研究” 材料工程學系，碩士論文，中興大學
- 五、陳國井，顏明正，蔡亞樵，林江珍，邱信誠 “層狀立體有機 / 無機奈米材料及其與生物高分子之交互作用” 中興大學化工系
- 六、劉康宇 “共聚酯奈米複合材料之製備與特性” 材料工程學系，專題報告，中興大學
- 七、奈米複合材料之合成及其性質，複合材料零組件，逢甲大學航空工程系
(<http://www.aero.fcu.edu.tw/media/manufacture.html>)
- 八、高分子奈米複合材料，化工科技與商情，奈米專欄，3 2 期
- 九、ChemTech 化工產業技術知識網
(<http://www.chemtech.com.tw/Column.php?mode=detail&id=44>)
運用奈米分散技術提升傳統壓克力樹脂的金屬防腐蝕應用性

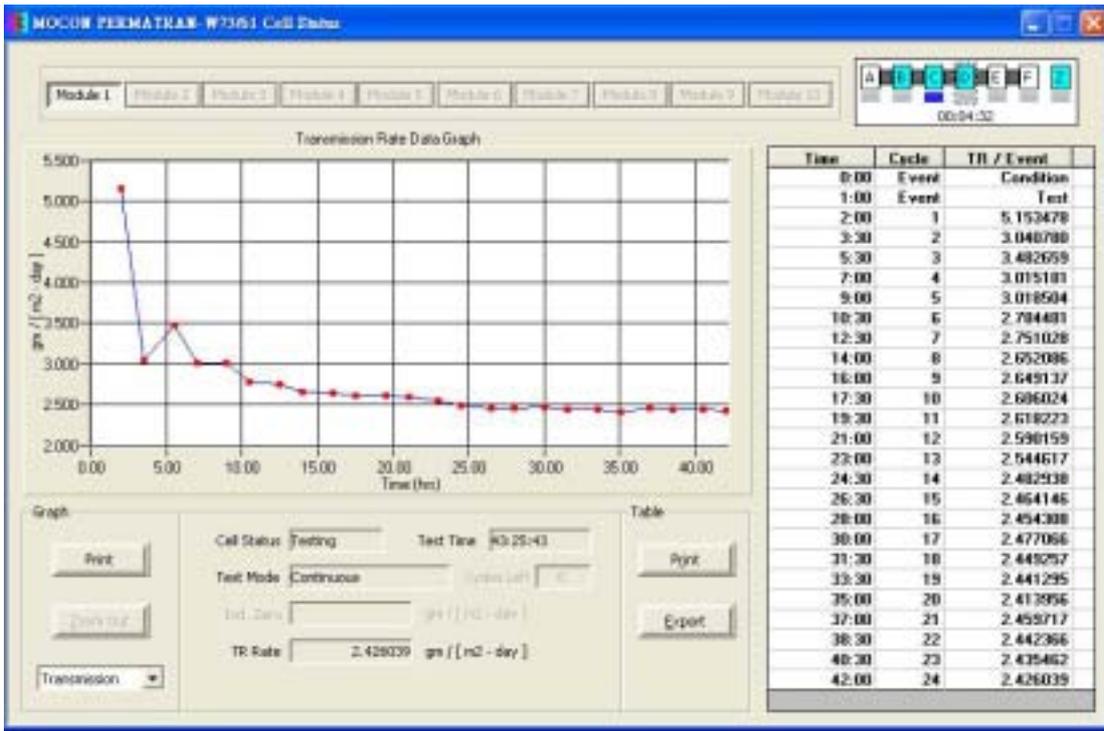
拾、 附錄：市售瓶與 PET 熱壓膜的阻水數據



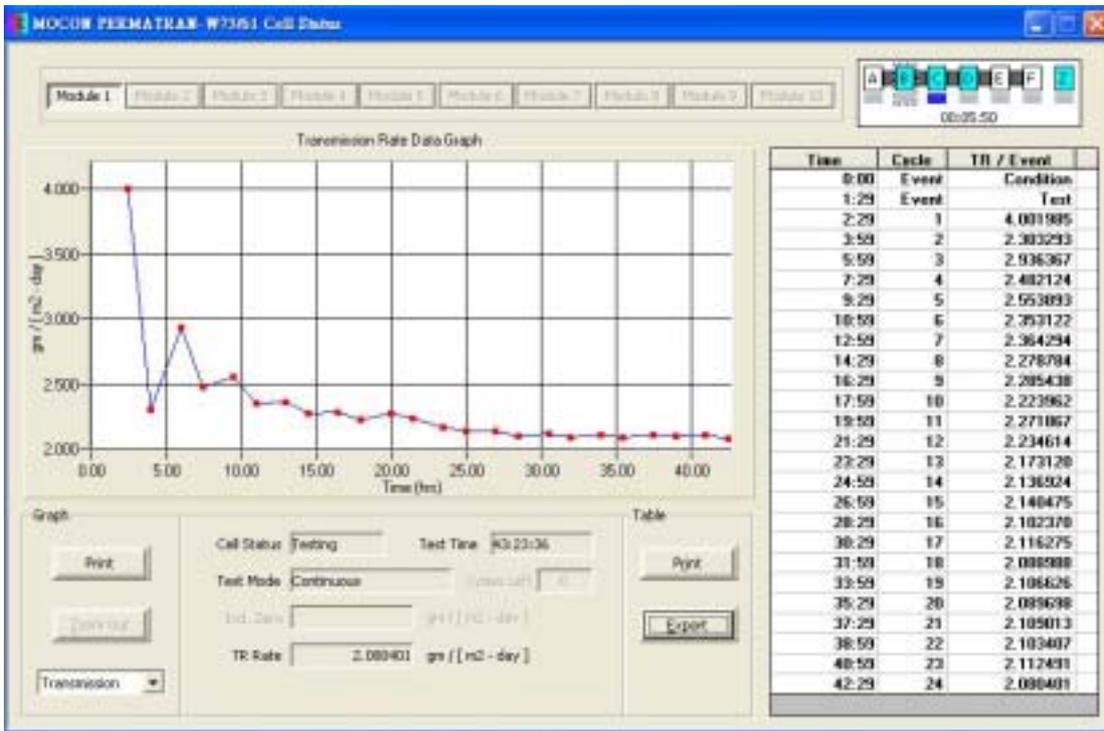
(附圖一)多喝水 233µm 的原始阻水數據圖



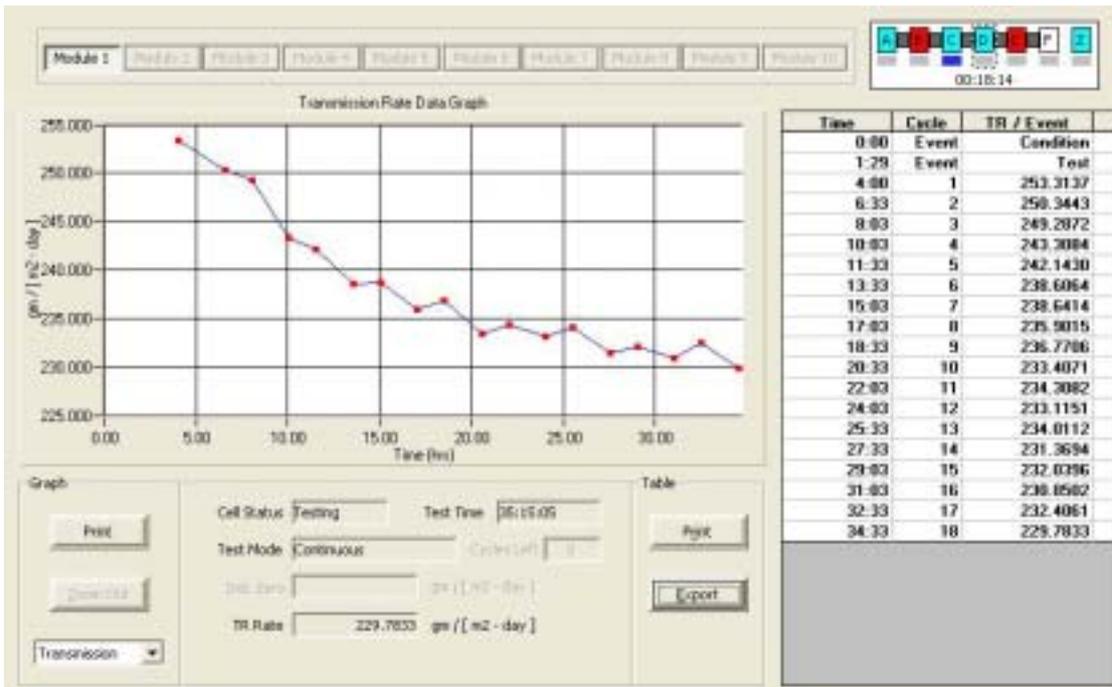
(附圖二)可口可樂 512µm 的原始阻水數據圖



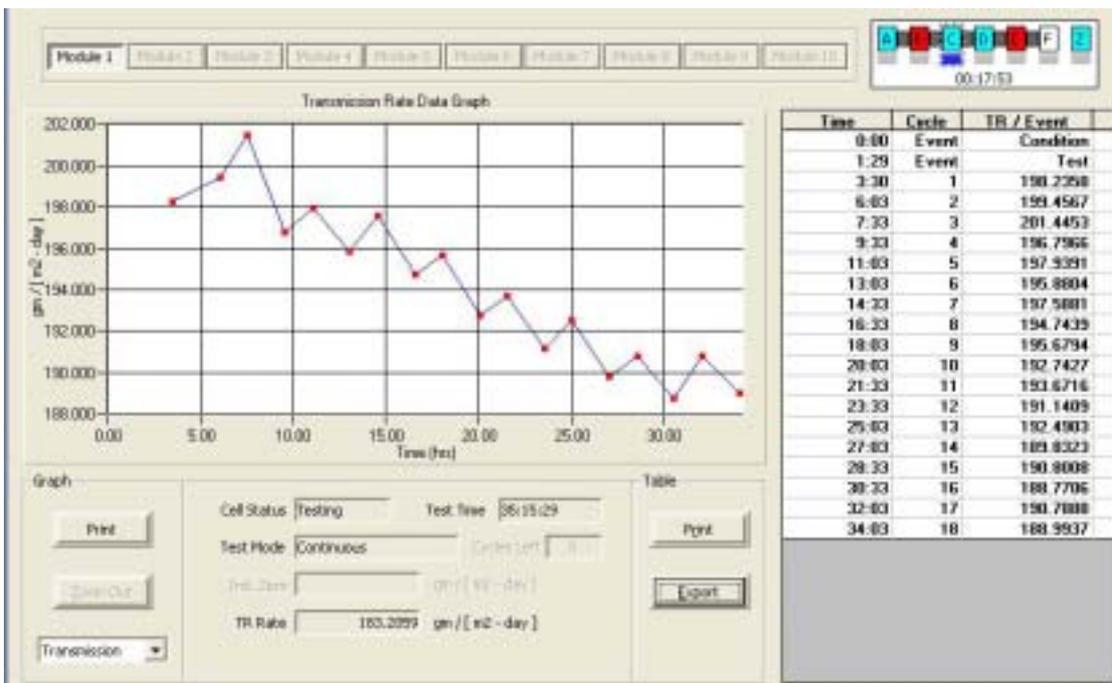
(附圖三)奧雷特 606 μ m 的原始阻水數據圖



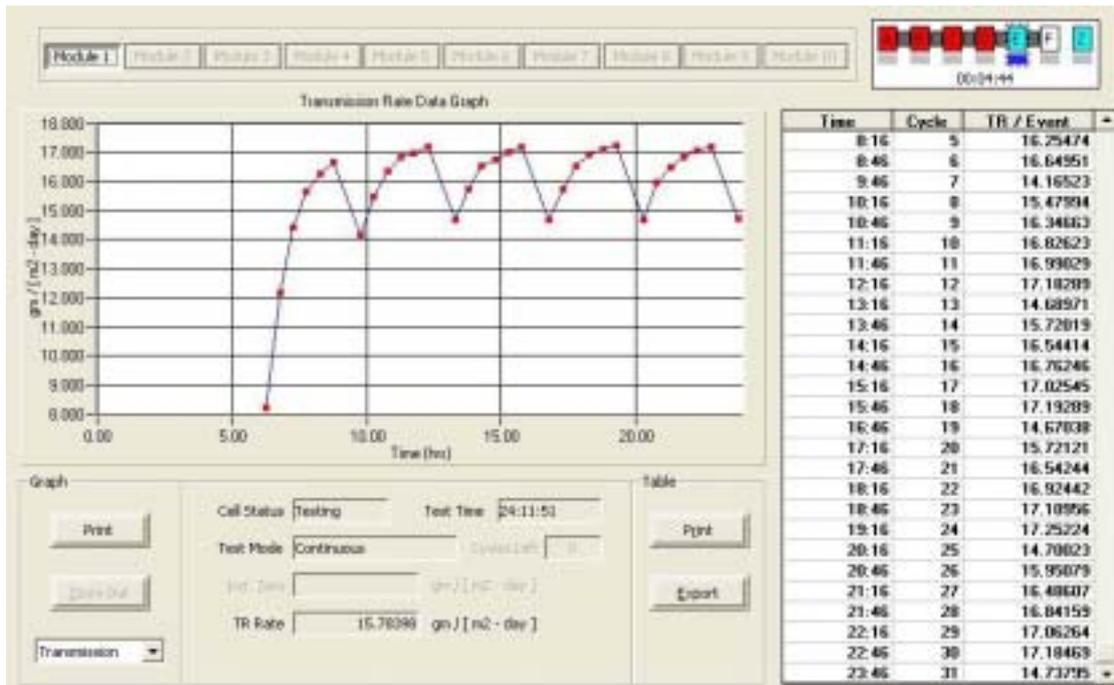
(附圖四)檸檬 C 661 μ m 的原始阻水數據圖



(附圖五) PET 熱壓膜 61µm 的原始阻水數據圖



(附圖六) PET 熱壓膜 112µm 的原始阻水數據圖



(附圖七) PET+clay 熱壓膜 76 μ m 的原始阻水數據圖

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 化學科

佳作

040210

滴水不漏，奈米寶特瓶—奈米複合材料的應用

國立臺中女子高級中學

評語：

雖用高階儀器從事科學研究，卻缺乏創新的方法，研究者態度認真，但只是在完成某個工作，有點可惜。