

1.1 高分子-碳奈米複合材料泡材

發泡材料的應用極廣，除了絕熱及減重之外，近年來在生醫材料上發泡材料更有許多不同的用途，1980 年 MIT 機械系 Dr. N. P. Suh 團隊第一次使用批式發泡 (batch foaming)方法製造出泡孔孔徑小於 10 μm 且氣泡密度大於 10⁹ cells / cc 的微發泡體(microcellular foam)。相較於傳統的泡材，微發泡體具有更好的抗疲勞性，更高的強度/密度，模數/密度比。經過數十年的研究生產製程已經從批式發泡到押出、射出量產發泡材料。根據 MicroGreen Polymers Inc.的估計，若能將大部分的固體高分子均以微發泡體取代，單歐美地區的市場即可高達 480 億美元。

本實驗室過去主要集中在研究奈米顆粒及不同的奈米顆粒分散方法對發泡過程的影響，所使用的奈米顆粒包括片狀的奈米黏土，石墨等，二維材料則包括奈米碳管，奈米碳纖維，三維材料如奈米量子點、奈米碳球等等，由於奈米顆粒具有超高表面積和良好的力學、氣阻、液阻、阻燃、耐熱等等優異性能，添加奈米顆粒在微發泡材料中不僅可以做為成核劑，還可以提供材料更多的功能性與補強泡材的力學性能。本實驗發泡的結果列於下圖 1，我們發現石墨烯的發泡效果更遠較奈米石墨為佳，在僅添加 0.1 wt%，發泡壓力為 7.6 MPa，發泡溫度為 120°C 的情形下，即可得到接近於微米泡的泡孔結構。

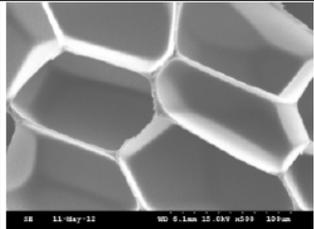
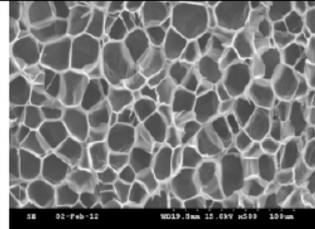
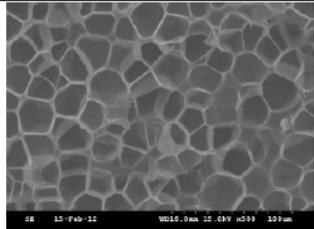
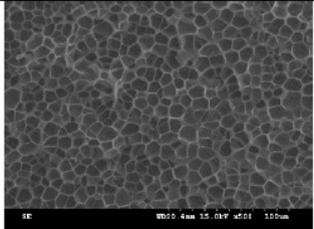
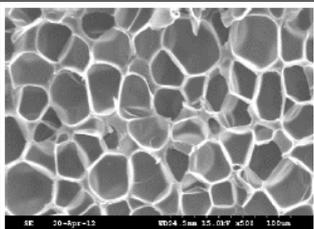
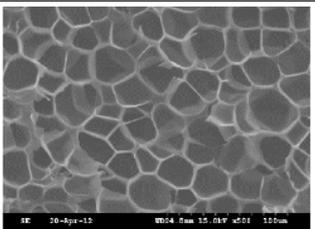
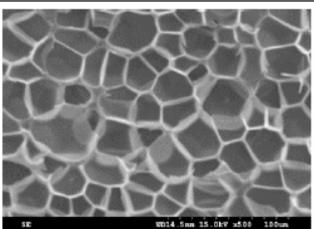
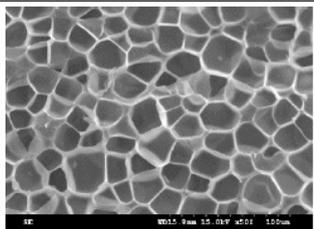
			
Neat PS Cell size: 83.93μm Cell density: 4.25x10 ⁶ cells/cc	(a)PS+1wt%CNF Cell size: 20.53μm Cell density: 1.78x10 ⁸ cells/cc	(b)PS+1wt%CNT Cell size: 20.98μm Cell density: 1.64x10 ⁸ cells/cc	(c)PS+0.1wt% graphene Cell size: 10.92μm Cell density: 1.17x10 ⁹ cells/cc
			
(d)PS+1wt%20A Nanoclay Cell size: 31.6μm Cell density: 4.4x10 ⁷ cells/cc	(e)PS+1wt% xGnP H25 Cell size: 24.15μm Cell density: 1.28x10 ⁸ cells/cc	(f)PS+1wt% talc Cell size: 24.41μm Cell density: 1.15x10 ⁸ cells/cc	(g)PS+1wt% xGnP C-750 Cell size: 22.11μm Cell density: 1.31x10 ⁸ cells/cc

圖 1 PS 加入不同奈米碳材經發泡後之 500 倍 SEM 圖，發泡條件為 7.6MPa, 120°C

奈米孔徑之熱塑性聚氨酯奈米泡材

近年來隨著奈米科技的發展，奈米孔徑泡材的各種可能性也不斷被討論，本實驗室近年的研究結果也轉向奈米泡材發展，並成為全世界極少數可以實際量測次微米/奈米泡材塊材物性的實驗室。過去數年本實驗室發展熱塑性聚氨酯發泡的固態發泡研究發現以批式發泡製備熱塑性聚氨酯泡材可以製備出具有 500 nm 左右泡孔的泡材且其泡孔密度可以高達 10¹¹ cells/cc。且添加奈米顆粒可以使得泡孔的大小更為均勻，結果如圖 2。

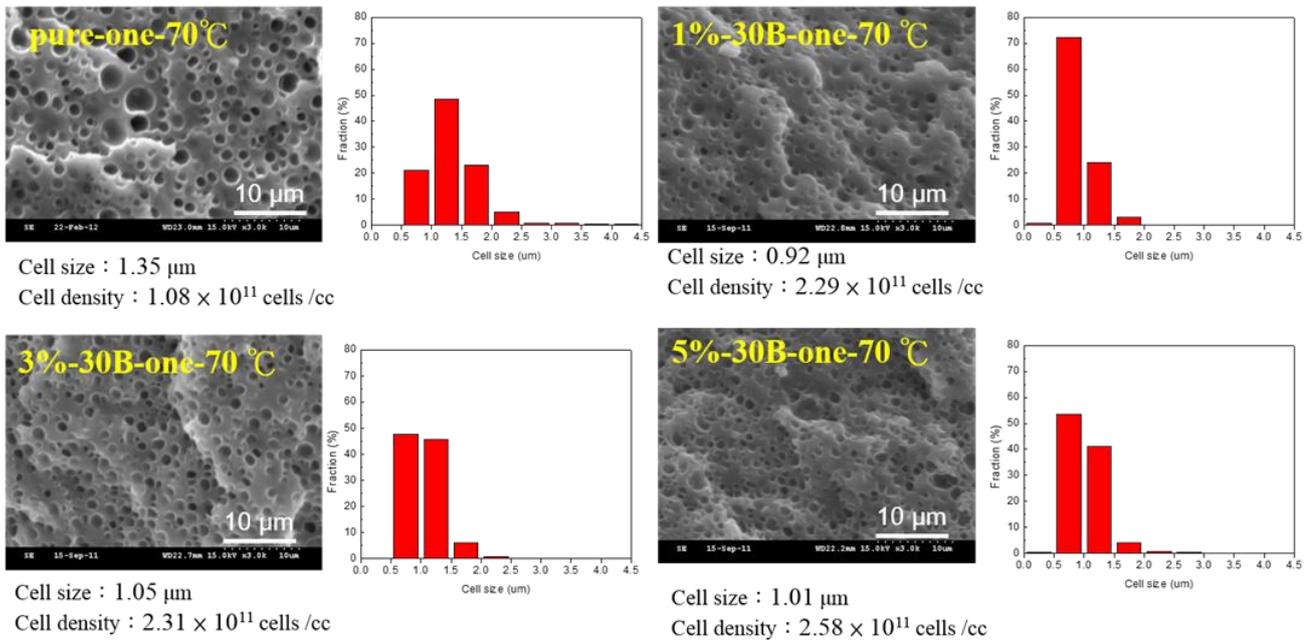


圖 2 TPU 加入不同比例 clay 30B 經發泡後之 3000 倍 SEM 圖及泡孔分布圖，發泡條件為 13.8MPa, 70°C

1.2 天然纖維複合材料

天然纖維具有再生性及生物可分解性且具有比玻璃纖維更高的強度/密度比，目前天然纖維已大量的使用在汽車上，將來預計會大量地使用在公共建設中，因此近年來以天然纖維製備熱塑性/熱固性高分子複合材料，已經逐漸變成複合材料學界最重要的研究課題之一。

本研究中主要研究各種廢棄熱塑性材料，特別是 ABS，每年全世界有數以百萬計的廢電腦或是廢家電被淘汰，根據估計，2006 年全球就有一千兩百萬台廢電腦被淘汰，而同年度全球售出的新電腦，約達到六千萬台，根據環保署資料指出，每年全台灣大約有四萬公噸的電子廢棄物，其所產生的回收塑膠量，亦應相當可觀。因此，不論是在台灣或是世界任何角落，回收利用廢家電上的塑膠材料，以增加塑膠的利用率，都是一項重要的任務。

台灣奇美實業為全世界最大之 ABS 工程塑料生產商，且台灣的電子產業極度蓬勃發展，因此回收廢家電塑膠問題理應成為國內最重要的研究問題之一，本研究與台北科大楊詩弘老師與文化大學駱少康老師共同執行國科會跨領域創意加值計畫並且在可行性評估計畫通過之後，順利獲得原型創作計畫的補助與遠東科大永續材料技術研發中心陳嘉勳、林焜章、官振豐幾位教授合作實際產出以廢家電回收之 ABS 製備的塑木複合材料，所得之材料如圖 3。

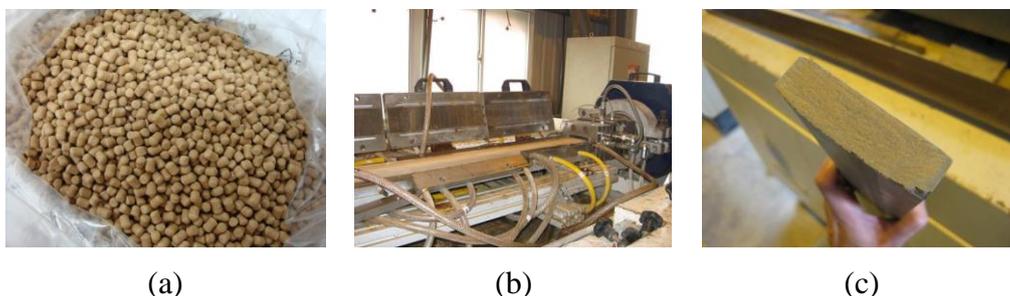


圖 3 ABS 塑木複合材料混煉及其成品

塑木材料的最大問題是含有高量木粉的複材的抗衝擊性能不佳，此一問題可以透過加入含有彈性體的添加劑如 SEBS-g-MA 解決，然而，添加此類添加劑會導致樣品的剛性下降，本實驗室透過參混的方式同時添加 2 wt% PP-g-MA 及 1 wt% PP-g-MA 作為添加劑，發現了非常有趣的結果，樣品的剛性不僅沒有下降，且抗衝擊性能更加提升，在此配方下，相較於未添加任何添加劑的塑木複合材料抗衝擊強度上升了 240%，此一結果發表於 Journal of Applied Polymer Science 後以此計畫之成果為基礎並且持續發展，並結合國內的新創公司小智研發公司(Miniwiz Inc)共同合作，小智研發為全球知名的

創新者，秉持著環保 3R 的原則—減量、回收、再利用，匯集設計、工程、製造、產品行銷等全方位能力，應用創新的技術再創廢棄物的高價值，進而轉化為最新穎的環保科技，並且致力於永續發展的解決方案。小智研發大量利用回收塑膠的素材製造具有設計感的產品，其中以廢稻殼與回收聚丙烯共混後射出製成的手機保護殼與酒瓶燈等產品即與以回收廢家電製備塑木複合材料的概念完全相符。初期合作研究結果獲國際著名出版社 Smither Rapra 邀請，在 Biomass based Biocomposites 專書中撰寫專章，已於 2013 年底出版。

本實驗室已過去的研究經驗應用在聚丙烯/稻殼複合材料，經由添加適量的高分子添加劑(2 wt% PP-g-MA + 1 wt% SEBS-g-MA)與纖維表面處理，我們可以將複合材料的抗衝擊性提升 70% 以上且不影響材料的模數。材料的吸水速率也可以降低 80%。此研究目前已為 Composite Part A 接受，重要成果摘錄如下圖 4。

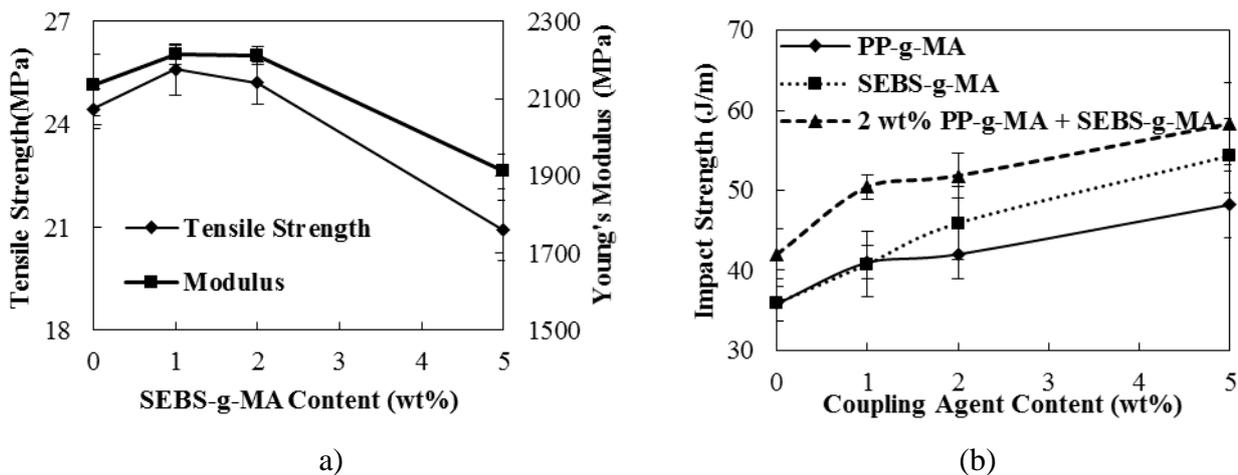


圖 4 同時添加 2 wt% PP-g-MA 與不同含量的 SEBS-g-MA 在含有 50 wt% 稻殼的樣品中我們觀察到在低 SEBS-g-MA 含量時，複合材料的模數不僅為降低，且抗衝擊性能也明顯的提升

1.3 剪切增稠流體複合材料及其抗彈性能研究

固液懸浮液體在日常生活中是極為常見的材料，舉例而言，牙膏、油漆等都是固液懸浮液，一般而言固液懸浮液具有剪切變稀性質，也就是說，流體會越攪拌而越稀，然而在特定的剪切速率(shear rate)下，固液懸浮液會發生剪切增稠現象(shear thickening)，此一現象在工業生產上須盡量避免因有可能會造成生產機具的損壞，然而近年來，此一現象被應用在抗彈加強上，傳統的 Kevlar 纖維編織之防彈衣厚重，對於四肢的防護效果較差，研究發現，將此類流體與 Kevlar 抗彈纖維共混後，當抗彈纖維受到子彈衝擊時，子彈提供給纖維高剪切力，使流體立刻發生剪切增稠現象拖曳纖維使得纖維的抗彈能力達到最大，此作用使得抗彈纖維所需的層數大幅減少，保持了樣品的抗彈性、增加了抗彈織物的活動性，且不會增加樣品的重量，此一結果受到廣泛的重視。

在台灣，本研究也引起了各方興趣，2011 年本實驗室開始開拓此一研究課題，至今兩年半來成果豐碩，經過一年的努力突破製程障礙之後，成功的製備了剪切增稠流體，含有 40 wt%, 15 nm 二氧化矽顆粒的流體在剪切速率為 5~28.9 s⁻¹ 的範圍內，黏度瞬間提昇了 29 倍，所得的結果如下圖 5。

製成複合材料之後進行彈道測試的結果顯示，添加流體的複材可以使得樣品的抗彈性能顯著提升，不添加任何流體的四層 Kevlar 纖維可以使得 185 m/s 的子彈能量抵銷 77%，而添加 4 ml 剪切增稠流體後子彈的能量抵銷提升至 87%。相當於十層 Kevlar 纖維才能達到的抗彈性能，添加了剪切增稠流體的樣品不僅撓曲度更好，而且重量也較十層 Kevlar 纖維的樣品減輕 20%，所得之結果列於圖 6。

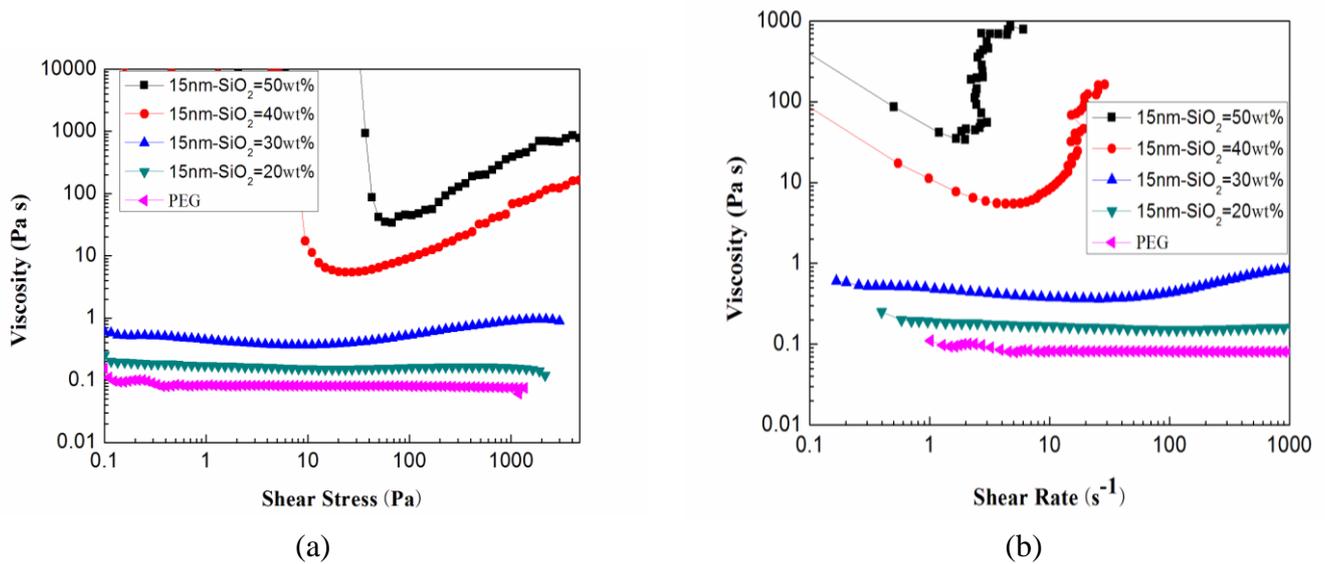


圖 5 含有不同重量百分比 15 nm 矽顆粒 PEG 流體流變性質測試

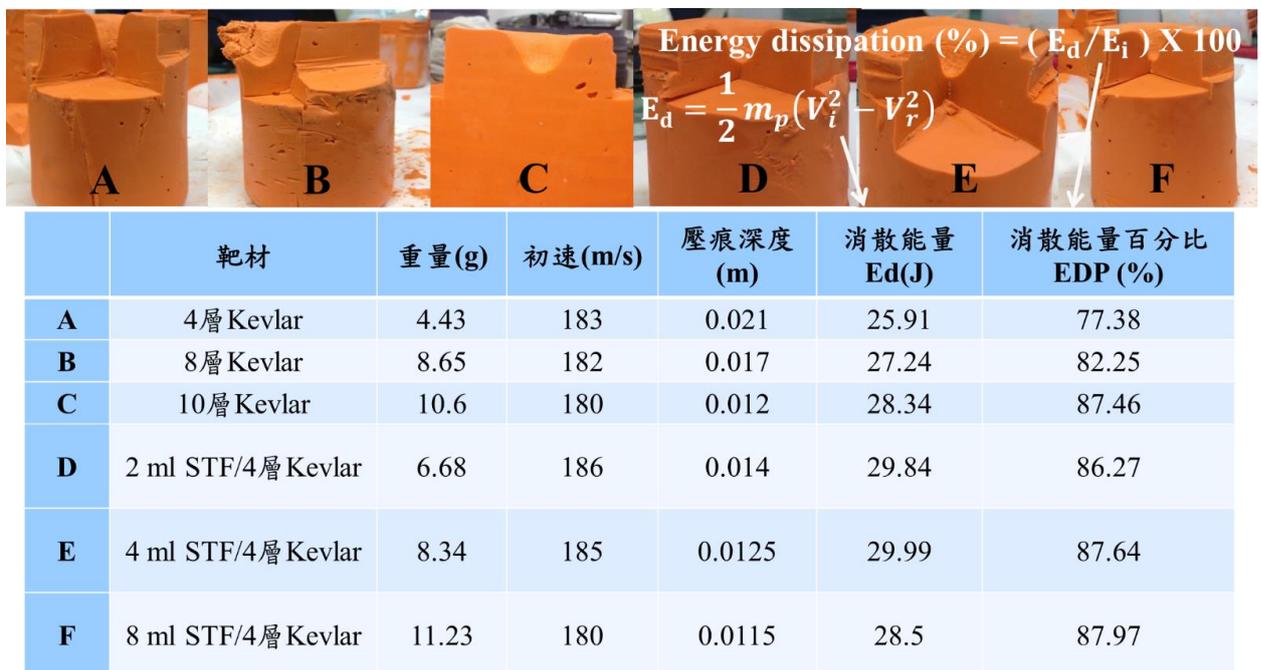


圖 6 不同層數與含有不同含量剪切增稠流體樣品的抗彈測試結果 A-F 圖表示靶材後方之黏土壓痕深度，壓痕深度與子彈的末速成正比，壓痕越深表示靶材抵銷能量越少，抗彈性能越差

本實驗結果目前已經得到廣泛的重視，且依據國外最新的測試結果，剪切增稠流體不僅僅對 Kevlar 纖維有效，將剪切增稠流體灌入間隔纖維(space fabric)中也可以使得樣品的抗衝擊與抗撓曲性能明顯的增強，應用性越見廣泛，在未來的研究中預計也將與業界合作開發布膜貼合製程，試量產 A4 大小的織物靶材，並且在現有的基礎上達成靶材的測試。另外，本實驗室與台北科技大學機械系許華倚助理教授合作開發有關剪切增稠流體的模擬模型開發，目前已成功模擬子彈打至未含剪切增稠流體樣品纖維之情形，未來會持續朝向此一技術深耕發展，期望能使得此技術成為國內自有技術且能實際幫助國內產業升級。