

光安定劑對消費後回收尼龍耐候性之研究

Study on the Light Stabilizers on the Weathering Resistance of Post-consumer Recycled Polyamide (PCR-PA)

邱建勇 J. Y. Chiou¹、朱孝培 S. P. Chu²、
 顏盟晃 M. H. Yen³、黃耀興 Y. H. Huang⁴
 永光化學工業股份有限公司(Everlight Chemical Ind. Corp.)
 特用化學事業處¹工程師、²技術副理、³經理、⁴處長

摘要/Abstract

本研究探討光安定劑對回收聚醯胺(PCR-PA)耐候性與外觀穩定性影響。研究內容有經耐候試驗後的微結構、光澤度、色差以及外觀變化等項目，期望透過不同光安定劑的表現，找出適用於各項性能需求之最佳解。實驗結果顯示，永光ST產品具有以下優勢：表面裂紋延後生成、具較佳的光澤度、色差的L值變化幅度亦顯著低於一般市售光安定劑產品、有效抑制白化現象。顯示其能有效提升消費後回收尼龍之耐候性。

This study explores the influence of different light stabilizers on the weatherability and appearance stability of post-consumer recycled polyamide (PCR-PA). The investigation focuses on changes in microstructure, gloss, color difference, and surface appearance following accelerated weathering tests. The primary objective is to identify suitable stabilizer formulations that can effectively enhance both the durability and visual quality of recycled nylon materials. Experimental results reveal that the Everlight ST series of light stabilizers exhibit markedly improved performance compared to conventional commercial products. The ST formulations delayed the onset of surface cracking, maintained higher gloss levels, and showed significantly smaller variations in the L-value of color difference. Furthermore, they effectively suppressed surface whitening during weathering. These results demonstrate that the Everlight ST products can substantially improve the weather resistance and aesthetic stability of post-consumer recycled polyamide, providing valuable insights for the development of high-performance, sustainable polymer materials.

關鍵字/Keywords

消費後回收聚醯胺(Post-consumer Recycled Polyamide; PCR-PA)、光安定劑(Light Stabilizer)、耐候性(Weatherability)、光澤度(Gloss)、色差(Color Difference)

前 言

塑膠製品的大規模生產及其在各個工業和日常生活中的實際應用，導致塑膠垃圾的快速積累，這些環境中管理不善的塑膠垃圾的累積日益成為全球關注的問題⁽¹⁻²⁾。

聚醯胺(Polyamide; PA)，通常稱為尼龍，應用於汽車、建築、紡織品等。而回收尼龍來源有地毯、漁網或類似產品，可應用於汽機車與自行車部件、辦公椅、行李箱、嬰兒車等。已經有公司將回收尼龍製成產品，如Bureo以及Aquafil所開發的ECONYL再生尼龍技術。海洋中的垃圾漁網就是尼龍，當被遺棄或消失在海上時，會造成與海洋生物纏繞以及棲息地破壞等負面影響⁽³⁻⁴⁾。

而消費後回收尼龍(PCR-PA)與光安定劑的相關研究並不多，因此研究材料選擇源於海洋廢棄物的PCR-PA，研究其耐候特性與光安定劑的耐候保護能。

光安定劑改善耐候性的原因為：當高分子在日光下照射紫外線，使高分子產生裂解，和產品物性下降等問題，故添加光安定劑，可吸收高能量紫外線，以能量轉換形式，以無害低能的熱能釋放或消耗⁽⁵⁾。

本研究透過經耐候之後的試片進行一系列的物性探討，尋找可用於PCR-PA的最佳解決方案。

實驗樣品與流程

1. 實驗樣品

(1) 本研究使用購自市售產品PCR

▼表一 本實驗使用的光安定劑特性

產品	產品描述(光安定劑)	CAS NO
UV B-cap	亞苄基-雙-丙二酸酯類 benzylidene-bis-malonate	6337-43-5
UV 234	苯並三唑類Benzotriazole	70321-86-7
UV 360	苯並三唑類Benzotriazole	103597-45-1
ST	永光光安定劑配方	

100%的黑色PA6，是含有100%消費者使用後再生塑料的粒子。

(2) 樣品前處理

將原料用烘箱設定100°C恆溫、同時進行抽真空去除水氣持續24 hr，再添加如表一所示之市面上常見的光安定劑與配方產品。

2. 實驗流程

- (1) 本研究之試片以聚醯胺6 (PA6)為基材，添加0.5 wt%之光安定劑。使用震雄射出成型機進行射出成型，試片厚度約3.2 mm。
- (2) 各組試片以QUV加速耐候試驗機（廠牌：Q-LAB，型號：QUV/se）進行人工加速老化試驗，試驗條件依據ASTM G154標準中CYCLE 1模式進行，紫外光照射強度設定為0.89 W/m。
- (3) 試驗結束後，光學顯微鏡（廠牌：上宸光學，型號：MX53）觀察微結構差異，使用光澤度計（廠牌：BYK-Gardner，量測角度：60°）測定樣品表面之光澤度變化。接著，利用分光式色差儀（廠牌：KONICA MINOLTA，型號：CM-5）測量各試片色度參數，並依式(1)計算色差值 ΔE 。

▼表二 PCR-PA空白組與添加0.5%光安定劑—顯微鏡微結構

耐候測試時間	0 hr	72 hr
PA 空白組		
耐候測試時間	0 hr	170 hr
UV B-cap		
UV 234		
UV 360		
耐候測試時間	0 hr	72 hr
永光ST產品		
		耐候333 hr

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

實驗結果

1. 光安定劑對PCR-PA耐候保護—顯微鏡微結構

本研究針對耐候前後測試片利用顯微鏡進行表面微結構觀察，如表二所示，得知PA空白組經過耐候72 hr後表面會出現裂紋，而添加0.5%市面常見添加劑，耐候至170 hr會有此現象發生，僅能提升約2倍，而永光的ST產品可延長耐候時間至330 hr出現裂紋，相當於可提升5倍。

▼表三 PCR-PA空白組與添加0.5%光安定劑—光澤度數據

耐候測試時間	0 hr	333 hr
PA 空白組	93.43	17.38
UV B-cap	93.65	15.7
UV 234	87.48	27.93
UV 360	90.55	14.83
永光ST產品	96.1	67.33

2. 光安定劑對PCR-PA耐候保護—光澤度測試

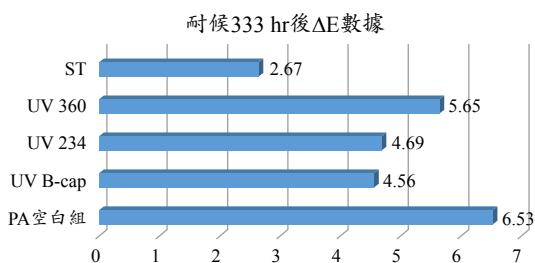
本研究也將耐候前後的試片進行光澤度量測，光澤度的數值越高表示樣品表面越平滑。從表三的0 hr數據來看，PA空白組與添加光安定劑的試片都維持在90左右，而從耐候333 hr數據來看，市面常見添加劑的測試片下降幅度約70左右，只有永光ST產品從96.1下降到67.33，下降幅度約30左右，顯示從表面光澤度看，永光ST產品相較其他添加劑有較好的耐候保護效果。

3. 光安定劑對PCR-PA耐候保護—色差 ΔE 與L值

此研究針對 ΔE 與L值進行研究， ΔE 數值越大代表耐候前後測試片的顏色變化越大，從圖一可看到PA空白組的數值達到6.5，其他大部分的數值落在4左右，而添加永光0.5%的ST產品，其 ΔE 值只有2.67。表四為L值相關數據，L值愈大代表愈黑、反之則代表白、 $|\Delta L|$ 為0 hr與333 hr的L值相減，取絕對值，數值越小表示變化量越小。PA空白組6.4，其他光安定劑約4左右，添加永光0.5%的ST產品只有2.1，所以由圖一與表四結果可知永光ST產品對色

▼表四 PCR-PA空白組與添加0.5%光安定劑—色度參數L值

測試時間	0 hr	333 hr	$ \Delta L $
PA空白組	27.41	21.00	6.4
UV B-cap	27.43	23.23	4.2
UV 234	27.66	30.77	3.1
UV360	27.83	22.62	5.2
永光ST產品	27.41	29.54	2.1



▲圖一 PCR-PA空白組與添加0.5%光安定劑—色差

差，有較好的耐候保護效果。

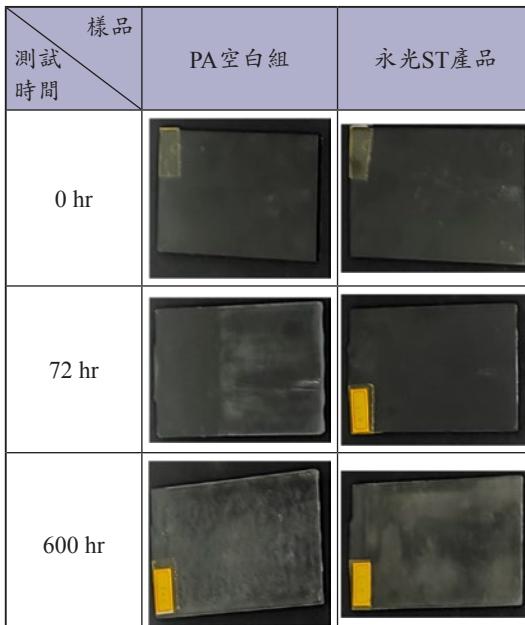
4. 光安定劑對PCR-PA耐候保護—耐候前後外觀照片

表五為PCR-PA空白組與添加0.5%永光ST產品耐候前、後對照表，空白組經耐候測試72 hr後部分外觀出現些微白化，測試600 hr後整個外觀都出現白化現象，而添加永光ST產品的試片測試600 hr時，試片外觀仍有部分維持不變，因此本研究所使用的永光ST產品對PCR-PA可以延緩白化產生。

結 論

本研究顯示，添加光安定劑能有效提升PCR-PA的耐候性。空白組在耐候72小時即出現裂紋，市售添加劑可延長至170小

▼表五 PCR-PA空白組與添加0.5%光安定劑外觀照



時，而添加0.5%永光ST產品則延長至330小時，提升達5倍，效果最為顯著。光澤度與色差(ΔE 與L值)分析亦顯示ST產品在耐候後表現出較佳的表面平整性與顏色穩定性，並有效抑制白化現象。整體而言，永光ST產品為提升PCR-PA耐候性的理想選擇。◆

參考文獻

- Okan, M.; Aydin, H.M.; Barsbay, M., Current approaches to waste polymer utilization and minimization: A review. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2019, 94, 8–21.
- Lebreton, L.; Andrade, A., Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Commun.* 2019, 5, 6.
- Hirschberg, V.; Rodrigue D., Recycling of polyamides: processes and conditions. *J. Polym. Sci.* 2023, 61, 17, 1937–1958.
- Macfadyen, G.; Huntington, T., United Nations Environment Programme and Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 辛忠，材料添加劑化學，化學工業出版社，2005，57~58。