

投稿類別：生物類

篇名：

處理保麗龍的技術方法

作者：

蕭筠軒。台北市立中山女高。高一廉班

指導老師：

顏映帆老師

壹、前言

一、研究動機

發泡聚苯乙烯（Expanded Polystyrene，EPS），俗稱保麗龍，有作為吸音、保溫及緩衝等多種用途，是人類經常製造的垃圾之一，且因其體積大、質量小、回收價值低等原因造成許多環保業者寧願將其視為一般垃圾也不願意回收保麗龍，抑或是沒有讓保麗龍得到適當的處理而擱置一旁甚至流入大海。這些都可能使環境受到極大的威脅，甚至進而影響到人類生活。

根據文獻（Jang et al.,2016）指出保麗龍大量生產做為海上游標，但不論是使用中或遺失的游標，都是有害物質的可能載體。保麗龍本身不易被大自然分解是很令人頭痛的問題，因此讓我想探討處理保麗龍減少其危害的方法。

二、研究目的

探討處理保麗龍減少其危害的方法。希望藉由本篇研究討論分解保麗龍較佳的方法，減少垃圾量，進而解決不必要產生的生態問題及海洋汙染，為環境永續盡一份心力。

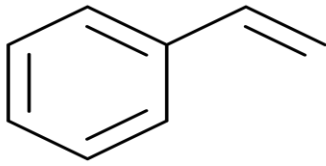
三、研究方法

透過文獻分析法完成此次論文。透過閱讀文獻資料後，統整、分析、整理出適合分解保麗龍的方法。

貳、正文

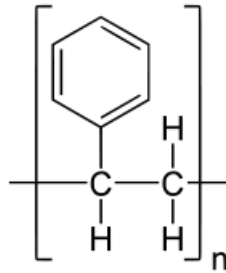
一、保麗龍的介紹

發泡性聚苯乙烯（EPS），俗稱保麗龍，是由苯乙烯單體聚合而成的聚苯乙烯，加入發泡劑後加熱產生的物質。發泡性聚苯乙烯質量輕、體積大，約有 90% 以上的體積為空氣。根據中華民國保麗龍回收再生協會（2008）保麗龍以發泡方法的不同可分為兩大類，一是用丁烷做為發泡劑，發泡十至二十倍的押出發泡平板成型聚苯乙烯（Expanded Polystyrene Paper, PSP）。二是用高壓蒸氣發泡三十至五十倍的發泡粒成型聚苯乙烯（EPS）。



圖一 苯乙烯的結構

資料來源：維基百科



圖二 聚苯乙烯的結構

資料來源：維基百科

根據台灣化學纖維股份公司海豐廠（2017）苯乙烯的安全資料表。其沸點為 145.2℃，且幾乎不溶於水。會造成皮膚刺激且對水生植物有害。苯乙烯為生物細胞致突變性物質第二級、致癌物質第二級。細胞致突變性物質第二級的分類方式為可能導致人類生殖細胞遺傳性的變異之物質，而致癌物質的標準則是經過人類或動物實驗證實為對人類是可疑致癌物的物質（聯合國，2011）。

根據國亨化學股份有限公司（2014）聚苯乙烯的安全資料表，聚苯乙烯為乳白色無味的固體，且不溶於水。丙酮可以使保麗龍去泡。無法真正溶解聚苯乙烯且會留下糊狀物，而乙酸乙酯則能分開聚苯乙烯分子（周芳妃，2015）。保麗龍在七百度以上高溫能完全分解為二氧化碳及水，但若未完全燃燒會生成對人體及環境有害的苯乙烯及一氧化碳（國亨化學股份有限公司，2014）。

二、保麗龍的危害

研究顯示保麗龍殘骸與環境中汞的存在相關，且保麗龍會對海洋生態造成影響。攜帶汞的保麗龍殘骸很有機會進入食物鏈中影響海洋和陸地生態（Graca, Bełdowska, Wrzesień, & Zgrundo, 2014）。根據汞的生物累積效應，汞的濃度也會跟著食物鏈提高。當保麗龍在海洋中成為碎屑可能被海中生物誤食，因無法分解造成消化系統堵塞而死亡。

保麗龍不易回收，使用保麗龍的過程中常有油漬或髒汙造成回收困難，龐大的體積也造成垃圾掩埋場的負擔。此外，根據物質安全資料表，燃燒產生的苯乙烯、一氧化碳等在濃度高時會使人噁心嘔吐，嚴重時能使人失去意識甚至死亡，國亨化學股份有限公司（2014）。

三、處理保麗龍的方法

（一）化學方法

1、燃燒

攝氏七百度以上的高溫燃燒能使聚苯乙烯分解為對人體無害的二氧化碳及水。燃燒法的優點是可以與一般垃圾一起入焚化廠燃燒。缺點也是必須進入焚化爐，否則一般燃燒很難達到攝氏七百度的高溫，易造成燃燒不完全，釋放出一氧化碳及苯乙烯，使人處於危險中。

將保麗龍送進焚化爐可以將垃圾集中處理，是一般較方便執行的方式，燃燒產生的熱也能用於發電。然而設備費用昂貴，時常需要維修保養，也需要訓練、雇用專業的操作人員。所有垃圾進入焚化爐前也都必須經過挑選避免發生爆炸等危險事件。此外，若處理過程中有不當也可能造成二次公害如運送過程中的臭氣和噪音、處理完後產生的廢氣和廢水，因此回收的過程皆須注意。

2、超臨界水

根據國家教育研究院的環境教育大辭典（國家教育研究院，2002），超臨界水是將水通過高溫高壓，當其狀態超過臨界點（critical point），無法界定其為氣體或液體時稱為超臨界水。水的臨界溫壓為 647.096K、217.755atm。

侯彩霞、馬沛生、樊麗華（2005）以自製高溫壓反應爐對聚乙烯（Polyethylene, PE）及聚苯乙烯（Polystyrene, PS）混合物做超臨界水實驗。發現含有聚苯乙烯的混合物在 380°C 的條件下十分鐘可使反應物完全降解。在常壓下不易溶於水的聚苯乙烯在超臨界水中溶解度提高，因此有較好的反應速率。雖然是對聚乙烯和聚苯乙烯混合物做的測試，仍能參考這個實驗找出超臨界水降解聚苯乙烯的最佳條件。

使用超臨界水降解能單獨處理保麗龍且不會有多餘的廢棄物，也不會產生廢氣、廢水造成二次公害，但需要先製造高溫高壓的環境，僅為了降解保麗龍而 打造一個能大量處理廢棄保麗龍的工廠，還需要把所有回收保麗龍送達，需要極大的成本且效益無法比擬。

承上所述，化學方式分解保麗龍多利用高溫高壓使鍵結斷裂而改變結構，其中又分為完全分解成碳與氫或只分解成苯乙烯等物質。僅分解成苯乙烯等物質能在工業上再利用或製成其他物質，而完全分解則能免除未來仍會造成汙染的疑慮。

（二）物理方法

1、脫泡熔融技術

脫泡是指將保麗龍送入機器排出保麗龍裡面的空氣。利用機器加熱後，裁碎脫泡製成聚苯乙烯再生粒，依介於 110°C 到 300°C 之間的不同反應溫度，轉變為可再利用的塑料。這個方法雖無法真正分解聚苯乙烯，但為聚苯乙烯打造出新的樣子使其能夠再利用成為盆罐類等商品（熊曉紅、周彥豪、陳福林，2004）。

2、纖維增強

將聚苯乙烯脫泡製成粉，加入 20-30%玻璃纖維後壓製成型，此方法保留良好的電性能及耐腐蝕性。熱膨脹率降低後穩定性變高，能加工製成其他物品，是良好的樹脂材料。

承上所述，因為無法像化學方式一樣改變聚苯乙烯的化學組成，因此物理方法主要以回收再利用、不造成環境汙染為目標。兩種方式皆是脫泡後再製成其他物質以再利用。優點是可以回收再利用，但若沒有好好回收又會造成同樣的危害，依然會傷害環境，沒辦法解決最根本的問題。

（三）生物方法

1、麵包蟲

麵包蟲可經由食用塑膠及保麗龍生長，利用聚苯乙烯粉末經過實驗後發現麵包蟲腸道中的紅菌能分解處理保麗龍，因此推測麵包蟲腸道中的紅菌能經由攝取保麗龍獲得能量（曾依晴，2009）。但尚未尋找出適合紅菌發展的環境，仍需進一步實驗找出培養紅菌的最佳條件以及是否會有其他菌種與紅菌互相影響。

曾依晴（2009）的實驗流程是分別以保麗龍、麥片、水為氧麵包蟲，發現麵包蟲以保麗龍飼養和以麥片飼養得到的結果相近，確認麵包蟲能以保麗龍為食生存。接著從麵包蟲腸道分離出共生菌，以畫線法畫出單一菌落。最後取菌落分別以保麗龍及無碳源的液體培養基震動培養，確認保麗龍均勻分布，並以雙眼觀察保麗龍有無減少，判斷菌種是否分解保麗龍。但實驗中利用雙眼判斷的部分並不準確。

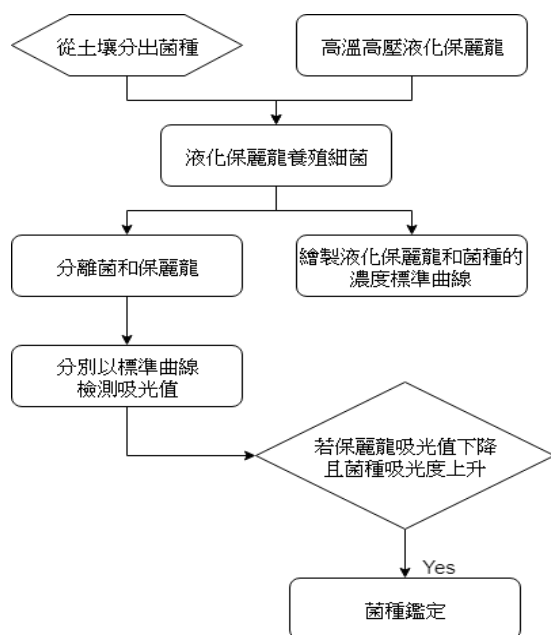
2、麵包蟲、汗水、大麥蟲

詹鈞翔、詹鈞年、謝典儒（2012）的實驗流程是先從麵包蟲、大麥蟲的腸道和汙水處理廠的汙水中分離出菌種。腸道分離出的菌種以厭氧環境培養，汙水以含氧環境培養。接著分別將菌種以聚苯乙炔作為單一碳源進行培養。因聚苯乙炔分解狀況不顯著，以菌種生長過程吸光值的變化間接推論菌種以聚苯乙炔為碳源生存、繁殖。將判斷為能分解聚苯乙炔的菌種作 DNA 定序及鑑定。

（詹鈞翔、詹鈞年、謝典儒，2012）從麵包蟲、大麥蟲及汙水中分離出七種推測可分解聚苯乙炔的菌類。與曾依晴（2009）不同的是，運用吸光值檢測菌類生長情形，間接表示保麗龍是否被食用，而非粗略地用雙眼觀察。

承上所述，生物技術為解決汙染物質又不造成二次公害的有效方式，即便微生物分解速度緩慢，科學家仍能利用遺傳工程加快分解能力（江晃榮，2001）。但生物處理保麗龍的文獻仍不多，且尋找能分解保麗龍的菌種耗時耗力，需要大量的投入，直接證明保麗龍能被分解的證據也不夠充足，適合菌類生長、分解保麗龍的條件也須進一步實驗證明。

我認為在生物實驗方法上可以參考上述兩個實驗，如圖所示，從不同土壤樣區尋找能處理保麗龍的菌種，例如土壤、水域等。並且使用高溫高壓液化保麗龍與菌類生長情形作為吸光值判斷的標準，雙重檢定使可信度提高，證明保麗龍有被處理，但仍需要克服製造高溫高壓環境的困難。



圖三 以土壤為例的實驗流程

四、處理方法的比較及討論

依據上述內容將化學、物理、生物處理保麗龍的技術方法分別以成本、二次公害和便利性討論等層面。比較其優缺點。

(一) 成本

表一 三種方法成本比較

	化學	物理	生物
資本	高（建造焚化爐及超臨界水反應爐）	中（脫泡、再生機器）	低（實驗器材）
建設時間	較長（建造反應空間）	較短	較長（實驗）
處理時間	較短（高溫分解反應）	中間（兩道程序：脫泡、再製）	較長（菌種分解效率低，不易觀察）

(二) 二次公害

根據公害糾紛處理法（民 98），公害是因人為因素破壞環境或對人體健康造成危害的事件。其中二次公害包括水、空氣、土壤、毒性物質污染和噪音、惡臭及廢棄物。因運送過程會產生的二次公害相似，這裡主要討論回收及處理過程中可能造成的二次公害。

回收過程中處理不當皆可能造成廢棄物等二次公害。其中化學燃燒法會進一步產生廢氣與廢水，物理方法若沒有持續回收仍沒辦法解決保麗龍的危害，反而會繼續影響海洋與陸地生態造成嚴重的二次公害，生物分解以曾依晴的麵包蟲分解為例，未完全分解僅將保麗龍裁成小塊仍會造成土壤或水的二次公害。

(三) 便利性

化學燃燒法因為可以利用已有的焚化廠，最為便利。化學超臨界水及物理方法技術皆須精進，較不便利。而生物方法不僅需要時間尋找合適分解保麗龍的菌種，更須找出適合培養的條件，目前最不便利。

參、結論

經過資料收集與閱讀，我認為生物分解保麗龍目前雖然仍無法建立穩定的處理技術，卻有很大的發展空間，如果能縮短篩菌時間找到適合處理保麗龍的菌種並且直接證實保麗龍有被分解成可被利用或無害的物質，很有機會與化學物理方式相輔相成，解決保麗龍對環境的危害。目前應已完全分解的化學方法和再生利用的物理方法為主，以減少保麗龍的危害。除了尋找處理保麗龍的方法也應該要積極減少保麗龍等相關產品的使用，鼓勵民眾養成使用環保餐具的習慣，政府也應促進保麗龍百分之百回收，避免保麗龍落入環境中造成危害，以利環境永續發展。

肆、引註資料

公害糾紛處理法（民國 98 年 6 月 17 日）

中華民國保麗龍回收再生協會（2008）。食品用保麗龍常識篇【部落格文字資料】。
取自 <http://www.ctepsra.org.tw/index.php/organize/54-2008-11-10-04-53-12>

台灣化學纖維股份公司海豐廠（2017）。安全資料表。取自
<http://www.fcfc.com.tw/chem2/en/pdf/SM.pdf>

江晃榮（2001）。不可思議的生物科技。新北市：世茂出版社。

周芳妃（2015）。縮小術看招-將保麗龍變成捏塑黏土。科學研習，54，39-46。
2019 年 2 月 25 日
，https://activity.ntsec.gov.tw/activity/ssm/54_12/HTML/assets/basic-html/toc.html

侯彩霞、馬沛生、樊麗華（2005）。超臨界水降解聚乙烯及聚乙烯/聚苯乙烯混和塑料的研究。環境化學，24，47-49。2019 年 2 月 17 日，
http://hjhx.rcees.ac.cn/hjhx/CN/volumn/volumn_139.htm

國亨化學股份有限公司，2014。安全資料表。取自
http://www.gppc.com.tw/gppc/product_files/msds_for_PS.pdf

曾依晴（2009）。從麵包蟲體內分離出可分解保麗龍之菌種。國立臺中女子高級中學

詹鈞翔、詹鈞年、謝典儒（2012）。屠龍高手－分解保麗龍細菌之分離。新北市私立竹林高級中學

熊曉紅、周彥豪、陳福林（2004）。廢舊泡沫聚苯乙烯的再資源化。廣東工業大學學報，21，21-37 39。2019年2月17日，
http://manu49.magtech.com.cn/Jwk3_gdgy/ggxb/CN/volumn/volumn_59.shtml

聯合國（2011）。化學品全球分類及標示調和制度（全球調和制度）。取自
<https://ghs.osha.gov.tw/CHT/intro/purple.aspx#>

環境教育大辭典（2002）。超臨界流體萃取。取自
<http://terms.naer.edu.tw/detail/1319448/>

Graca, B., Bełdowska, M., Wrzesień, P., & Zgrundo, A. (2014). Styrofoam debris as a potential carrier of mercury within ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 21 (3), 2263-2271.

Jang, M., Shim, W. J., Han, G. M., Rani, M., Song, Y. K., & Hong, S. H. (2016). Styrofoam debris as a source of hazardous additives for marine organisms. *Environmental science & technology*, 50 (10), 4951-4960.