

# 光觸媒環保產品綠色設計分析之評估模式

杜瑞澤\* 謝瑩瑩\*\*

\* 中原大學設計研究所  
e-mail:rextu@mail.dyu.edu.tw

\*\* 中原大學設計研究所  
e-mail:yesyes-no@yahoo.com.tw

(收件日期:93年11月13日;接受日期:94年03月08日)

## 摘要

光觸媒是利用光線使觸媒產生強力氧化作用,具有殺菌、抗菌、自淨、除臭功能,是無污染且安全的環保材料。如今光觸媒技術應用於環保新產品開發有愈來愈多的趨向,因此本研究目的旨在建立一套光觸媒運用於環保產品綠色設計分析之評估模式,可以作為設計師進行光觸媒綠色產品設計時的參考和依據,並提升消費者對光觸媒環保新產品的接受度及信任感。本研究採行的方法除了相關理論的文獻探討外,同時配合學者與專家的深度訪談諮詢,進行有關光觸媒環保空氣清淨機個案實例分析。經產品矩陣分析評估(MET)及透過綠色設計檢核表,再淨取出光觸媒環保空氣清淨機綠色設計準則,針對研究對象的相關產品,以綠色生命週期設計策略環的八項策略做比較分析與歸納,評估結果可以清楚看出光觸媒環保產品前後改變的差異性及優劣性,此可作為未來光觸媒綠色產品設計的重要依據。此外,由本研究結果中得知觸媒反應過程中並不浪費任何能源,產品之功能及優點得以因光觸媒之應用而增加,能提升產品的功能與擴張性,光觸媒環保產品將帶給人們生活品質的提升是無庸置疑。期望產業界能運用本研究所建立的光觸媒環保空氣清淨機之綠色設計分析評估模式,發展出更理想的光觸媒永續產品,以助於產品綠色設計成效之落實,為人類謀求更舒適、無污染的安全生活環境。

關鍵詞:光觸媒、綠色設計檢核、產品矩陣分析、生命週期設計策略環

## 一、前言

近年來人們逐漸發現自然資源被過度的開發與使用,以致環境不斷遭受破壞,生命也面臨威脅,甚至不知名的病毒更是四處傳染肆虐,使人類陷入前所未有的災難。尤其以去年(2003)四月的 SARS 病毒最令人害怕與恐懼,人們不禁開始擔心與思索,明天過後世界會是怎樣呢?今日,環境保護及綠色產品設計開發已逐漸受到重視,科學家們不斷致力於新材料的研究發展,期望在產品設計的材料應用上能有更好的環保替代材料,以減緩材料資源的快速消耗,且對環境污染達到最小的傷害,進而提供人們安全又環保的生活好環境。而在新環保材料的研究發展當中,光觸媒為近十幾年來無污染的絕佳材料,

應用方面極廣，市場潛力大，可以為人們提供一個舒適又安心的環境，它是一個理想的綠色材料，設計師可以藉由光觸媒材料運用於綠色產品設計，提升產品在國際上的競爭力[14]。

光觸媒技術之所以受到社會大眾及產業界的青睞，是因為其消毒殺菌效果一流，從研究探討分析中發現，光觸媒在光催化中能有效的處理有害的化學物質、污染物中的液相污染物及氣相污染物[3,13]。它本身是不會釋放有害物質，光觸媒在應用於空氣清淨器上即可符合人們對健康的需求，在日益惡化中的大自然環境、公共環境或個人居家環境，相信藉由光觸媒產品的技術研發與設計，必定可以為生活帶來創世紀的環保殺菌新氣象[12]。隨著世人對於環境保護的重視與需要，光觸媒是極其優異的環保材料，它也正逐漸在綠色產品設計及人們日常生活中顯露其重要性與影響。

因此，本研究主要目的在嘗試了解光觸媒材料的環保特性，期望藉由光觸媒材料的綠色設計原則探討與分析，建立適用於光觸媒環保產品個案之綠色設計準則與評估檢核方法；再者，應用所建立之光觸媒綠色設計準則與評估檢核方法，並配合綠色檢核分析工具以進行研究個案之環保產品綠色優劣比較分析，最終訂定光觸媒環保產品綠色設計開發之分析評估模式。此研究結果能夠幫助設計師與企業順利應用光觸媒環保特點與技術來開發綠色新產品，吸引環保的消費族群且順應全球綠色潮流的潛力市場，使企業、設計師和消費者三方面都蒙其利，同時達到保護環境的目標、提供人們安全又健康的生存環境。

## 二、文獻探討

1990年美國提出根本預防及治理污染的新概念—「污染預防」，而「無害化學」也就成了國際上關注的新領域。無害化學（cleaner chemistry）採恩那斯他斯（Anastas P.T.）的定義，即是用化學的技術和方法從根本上減少那些對人類健康、社區安全、生態環境有害的原料、催化劑、溶劑和試劑、產物、副產物等的使用與產生。無害化學的理想在於不再使用有毒、有害的物質，不再生產廢物，不再處理廢物[11]。

光觸媒材料便是無害化學的一種，它只要有光即可作用，其中以二氧化鈦為最具有強的氧化與還原能力，同時具有定性、對環境無害性、價格低廉等優點。二氧化鈦是目前最適用的光觸媒物質，光觸媒發展迄今仍以二氧化鈦為其主要原料，然因其只要在塗佈液中混以2~3%的少量二氧化鈦，就可使塗佈材發揮出光觸媒的機能性，比如一台空氣清淨器僅需數克的光觸媒級二氧化鈦，因此在這方面的市場規模實不能與顏料用二氧化鈦之需求比擬[16]。由於二氧化鈦的光觸媒處理是在不使用任何有害化學藥品及石化燃料為前提下，只利用太陽光等安全的光能，而且容易分解難以分解的各種有機化合物及殺菌處理。對逐步擴大的環境污染來說，光觸媒成為淨化地球的有效材料，並逐漸受到重視[8]。

光觸媒是藉由紫外線或太陽光的照射下，使觸媒表面的電子吸收足夠能量而激發，而在電子激發的位置便形成帶正電的電洞，電洞會將附近水分子游離出氫氧基（OH<sup>-</sup>）並氧化（即奪取其電子），使其成為活性極大的氫氧自由基，一旦遇上有機物質，便會將電子奪回，有機物分子因鍵結的潰散而崩離。一般的污染物或污染源體多半是碳水化合物，分解後大部份會變成無害的水及二氧化碳，因此可以達到除污滅菌的目的[15]。光觸媒應用廣泛，可淨化水、大氣淨化、除臭味、分解有害化學物質、土壤淨化、抗菌、防霉、防污、防霧、處理廢氣排放等用途上，但要根據不同用途選擇光觸媒才能發揮最大的功效[9,18]。

光觸媒磁磚因具有殺菌以及抑制細菌生長效用，光觸媒磁磚可以比較容易維持清潔，減少清潔劑使用量與清洗次數。光觸媒建材可以使髒污難以附著在建材上，使髒污自然消失達到降低清潔成本之效果。將二氧化鈦光觸媒應用在玻璃燈罩上可以使燈罩使用一段時間後仍然保持透明，照明亮度不會隨時間而變暗。二氧化鈦添加適當成份形成的薄膜表面可以將物質表面與水之接觸角降至0~10°，因此玻璃表面不會有霧氣形成造成視線模糊，使用在汽車後照鏡上可以增加汽車在雨天行駛之能見度(表1)。現

古高性能光觸媒的開發計畫進行中，以光觸媒技術開發的商品也急速相繼進入市場[2,10]，為了擴大光觸媒之應用範圍，日本已成功開發出可見光（390~780nm）適用的光觸媒；另外光觸媒材料不計厚度，它的機制在於受光的表面積，近來應用奈米科技將二氧化鈦奈米化，可藉由增加表面積與體積的比例，大幅增加光觸媒作用的效率，以上的突破預期會帶動更多的光觸媒應用[5,6]。

表 1 光觸媒的應用情況

| 應用對象   | 污染物質                    | 效能            | 應用商品                                   |
|--------|-------------------------|---------------|--|
| 大氣環境   | 氮化物<br>錫                | 分解淨化<br>保持照度  | 鋪裝、隔音牆、圍籬、隧道照明、隧道內牆                    |
| 室內空氣   | 香菸臭、VOC<br>甲醛<br>寵物臭、花粉 | 分解淨化<br>除臭    | 空氣清淨機、照明用具、窗簾、拉門紙、月曆、<br>內裝材、除臭纖維、人造植物 |
| 家庭用水循環 | 氨水、發銜<br>水滴             | 除臭、抗菌<br>防暈   | 瓷磚、衛生陶瓷、食器、調理器、鏡面                      |
| 生活水    | 細菌、氨氣、舊廢物               | 除臭、抗菌         | 家庭淨水器、全日沐浴池                            |
| 外飾裝材   | 廢氣、浮游粉塵<br>雨水           | 分解淨化<br>親水防污  | 玻璃、插具、彩色鋼板、瓷磚、石膏板、外裝<br>材、帳棚膜          |
| 內飾裝材   | 污垢、香菸臭<br>VOC           | 防污、除臭<br>分解淨化 | 展示箱、玻璃用薄膜、內裝材、電梯內裝                     |
| 汽車     | 香菸臭<br>甲醛               | 除臭<br>親水防污    | 塗裝、窗玻璃、鏡片、空氣清淨機、冷氣機、遮<br>陽板            |
| 電子電器產品 | 污垢、雨水                   | 防污、透光         | CRT、太陽電池表面、放熱翼                         |
| 農/園墊   | 農業用污染<br>乙烯             | 防污、防水滴<br>保鮮  | 溫室、塑膠屋(PVC house)、乙烯淨化裝置               |
| 醫院/診所  | 藥品臭                     | 除臭、抗菌         | 內裝材、空氣清淨機、瓷磚                           |
| 污染地下水  | 有機氮系溶劑                  | 分解淨化          | 土壤曝氣式處理裝置                              |
| 河川水    | 環境(激素)荷爾蒙               | 分解淨化          | 淨水機(研究階段)                              |
| 塗料廢水   | 塗料                      | 脫色            | 廢氣處理設備(研究階段)                           |
| 焚化爐廢氣  | 戴奧辛類                    | 分解淨化          | 廢氣處理設備(研究階段)                           |

資料來源：日研院經濟中心 ITIS 計畫[1]

以上文獻探討可知，光觸媒材料具有超強氧化能力，能使細胞死亡，降低病菌的活性。比臭氧(O<sub>3</sub>)、負離子，有著更強的氧化能力，可強力分解臭源。脫臭能力相當於 500 個活性碳冰箱除臭劑，比活性碳有更強的吸附力，且具有活性碳所沒有的分解細菌功能。超親水，讓污垢不易附著，具防污、除垢、無毒性。光觸媒主要代表材料為二氧化鈦，其化學穩定性非常高，美國食品藥物管理局(F.D.A)認為，對人體是十分安全而無副作用的[7]。具體分析歸納其環保特性如表 2 所示。

表 2 光觸媒材料環保特性歸納分析（本研究整理）

| 材料名稱    | 材料特性   | 環保特性   |
|---------|--|--|
| 光觸媒濾材   | 1.濾紙：便宜、韌性佳<br>2.蜂巢狀陶瓷材料、蜂巢狀金屬過濾器：硬度高、耐水性佳、耐熱、耐久 | 節省能源、防污、防濕、殺菌、除臭、自潔、壽命延長、（蜂巢狀陶瓷材料、蜂巢狀金屬過濾器）-可回收再利用、耐磨、耐熱 |
| 光觸媒金屬   | 高強度及彎曲度、耐腐蝕性佳、高韌性、高延展性、高耐磨性                      | 耐腐蝕性、耐熱性、耐久性、結構強、防污、可回收再利用、壽命延長                          |
| 光觸媒布料   | 除臭、抗菌、防垢、高強度                                     | 除臭、不易沾污、壽命延長   |
| 光觸媒薄膜   | 抑菌、除臭、殺菌   | 抑菌、除臭、殺菌、保鮮、延長使用壽命                                       |
| 光觸媒紙類   | 除臭、防止紙變黃、耐久性                                     | 不易沾污、壽命延長、具分解有害物質、使其轉變為無害物質                              |
| 光觸媒塗料   | 脫臭、抗菌、防銹、無毒性、耐久性                                 | 低污染無毒害、壽命延長  |
| 光觸媒混泥土板 | 防污、防水藻、防銹、淨化空氣                                   | 節能、省時、防污、去除大氣污染物質、除去水中細菌                                 |
| 光觸媒磁磚   | 硬度高、耐磨性佳、化學性質穩定、韌性佳、使材料組成結構緻密化學均質化、高耐熱性          | 防污、節省能源、結構強、防污、抗菌、自潔、耐刮、耐磨、防霧、防火、可回收再利用、壽命延長             |

光觸媒材料藉光來作還原氧化作用是無污染，可長期使用，是很環保的材料，而且利用大自然的力量來淨化大自然，完全符合環保的基本要求，就是「綠色」的概念必須與大自然具更高的相容性，如此可降低對環境的衝擊[17]。因此光觸媒應用在綠色產品設計開發上，於世界是受到高度肯定的，未來的願景自然是十分可觀，前途也人為看好。

### 三、研究方法與架構

#### 3-1 研究架構

1. 以光觸媒材料與技術、綠色設計相關原則及綠色設計策略為文獻探討的重點，佐以專家深度諮詢訪談做資料與文獻交叉比對，找出光觸媒材料符合綠色設計原則的環保共同特性。
2. 針對光觸媒環保空氣清淨機對象進行個案實例分析研究，藉由產品矩陣分析評估(MET)及專家訪談，分析出研究對象在使用需求與環保方面的問題焦點，再運用綠色設計檢核表做為檢核工具，分析與評估出光觸媒環保空氣清淨機綠色設計準則與策略。
3. 藉由生命週期設計策略環之工具來執行產品實例比較分析，評估出搭載光觸媒綠色空氣清淨機與傳統非搭載光觸媒綠色空氣清淨機產品對環境衝擊之優劣程度。
4. 最後建立光觸媒環保產品綠色設計分析之評估模式，以幫助設計師在開發光觸媒綠色產品時，能對產品做出全面性的環保影響評估，進而決策出綠色產品正確的設計發展方向。

#### 3-2 研究方法與工具

##### 3-2.1 專家訪談

- (1) 人員設定：光觸媒材料專家、光觸媒環保空氣清淨機研發人員為訪談對象。
- (2) 訪談工具：按問卷以個人面對面實地訪談，記錄工具以錄音為主，筆記為輔，事後再做資料歸納整理與分析，不足之處再以電話訪談做補充。
- (3) 問題範圍：在光觸媒業界研發人員訪談中以材料屬性、應用範圍、條件、回收性、環境指標、能源耗損及相關限制等因素為主軸。

##### 3-2.2 產品矩陣分析(MET)評估表

MET 產品矩陣分析是一種快速產品定性分析方法，MET Matrix 產品生命週期矩陣分析橫軸為材料週期 (Material Cycle)、能源使用 (Energy Use)、毒素釋出 (Toxic emission)。縱軸為原料的產出與加工階段、半成品與成品生產階段、產品流通階段、產品使用階段、產品回收與廢棄階段，分別階段與生命週期加以分析，從產品與環境的影響，瞭解後續產品開發之間種種的環保改善問題(表 3)。

表 3 產品矩陣分析(MET)評估表

| 產品生命週期     | 材料週期         | 能源使用         | 毒素釋出         |
|------------|--------------|--------------|--------------|
|            | Input/Output | Input/Output | Input/Output |
| 原料的產出與加工階段 |              |              |              |
| 半成品與成品生產階段 |              |              |              |
| 產品流通階段     |              |              |              |
| 產品使用階段     |              |              |              |
| 產品回收與廢棄階段  |              |              |              |

### 3-2.3 綠色設計檢核表

在環保做品質上的分析通常用綠色檢核表，誠如檢核表針對原料、製造、運輸、使用及廢棄處理等各階段評估檢核(表 4)，設計綠色產品時由產品整體週期的宏觀角度進行查核，以發現環保的問題焦點；而因應問題所查出的各項綠色設計準則與策略，可作為設計師或工程師在產品綠色設計開發上重要的參考依據。

表 4 綠色設計檢查表-原料的生產與加工階段

| 查核分類   | 查核內容                 | 綠色設計考量        |
|--------|----------------------|---------------|
| 原料之識別  | 產品中的原料是否易於識別？        | 清楚標示原料名稱      |
| 原料之使用量 | 其他材料使用的量和種類？         | 減少材料的種類       |
|        | 設計上是否能減小組件？          | 造形更迷你         |
|        | 表面處理(鍍裝)使用的量和種類？     | 可回收再生材料       |
| 原料之來源  | 是否使用稀有、不易取得的原料？      | 如以易取得原料取代稀有原料 |
|        | 是否原料粹取過程中使用最少能源      | 比較原料提煉時的耗能狀況  |
|        | 製造商是否原料粹取過程採取污染防治措施？ | 查核製造商的製造流程    |
|        | 使用原料與生態保育是否有重大的衝突    | 如廢棄物是否妨礙動植物生長 |
| 原料回收性  | 原料是否具有可回收性？          | 評估回收之可行性      |
|        | 回收原料時是否能減少能源的耗損      | 如使用低能源需求的材料   |

### 3-2.4 生命週期設計策略環

綠色產品設計開發之決策過程中一項實用的綠色評估工具，此種綠色評估工具稱為生命週期設計策略環 (Life-cycle Design Strategy Wheel, LiDS Wheel)，綠色生命週期設計策略環歸類為八大評估要項 (新概念發展、低環境衝擊原料選擇、節約能源、生產技術最佳化、高效率運輸模式、使用階段低衝擊、高效率使用週期、回收再生設計) [4]，應用綠色生命週期設計策略環做產品綠色表現的比較分析，其結果可以清楚看出產品前後改變的差異性及優劣性，進而作為產品綠色設計改善之參考依據。如圖 1 所示：



圖 1 生命週期設計策略環

## 四、個案分析結果與討論

### 4-1 光觸媒產品分析個案

個案公司光觸媒環保空氣清淨機產品是國內廠商之領先者，在各電器用品店之觀察，發現除日本進口之空氣清淨機外，台製裝置有光觸媒濾網之空氣清淨機，均為個案公司所 ODM 之機種。個案公司無自我品牌，均以 ODM 模式販售至國內之各大家電廠，如：松下、大同、東元、聲寶、三洋、歌林等，由此本研究選用個案公司之 ABC-522RC 型空氣清淨機做為個案研究之機種。空氣清淨機之主要零件均為國內組裝廠製，但部分主要元件如光觸媒濾網、HEPA 濾網之高效能過濾紙、活性碳等仍屬國外進口，充分顯示台灣非原材料之生產基地。本個案研究即以個案公司之光觸媒環保空氣清淨機作深入瞭解和研究，整理研發過程與綠色設計之整體關係，圖 2 ABC-522RC 型環保空氣清淨機產品圖。



圖 2 ABC-522RC 型環保空氣清淨機

### 4-2 光觸媒產品環保特性

經與任職 A 公司 3 年之工程師、B 公司 7 年研發部之經理、以及曾任職聲寶公司研發部經理 20 年（電化製品設計）從事光觸媒環保空氣清淨機研發推廣之總經理進行專家訪談，分析歸納結果得知，光觸媒環保空氣清淨機與一般清淨機的主要差異在清淨機的濾網，進一步訪談分析得知，光觸媒環保空氣清淨機產品原料使用型態與原料使用之差異是多加了一道奈米光觸媒濾網與 UV 還原燈管。而在使用安全性，搭載光觸媒空氣清淨機安全是無慮的，至於其壽命週期上，搭載光觸媒空氣清淨機之濾網，5-7 年濾網壽命評估是屬於壽命長的。於回收性方面，可回收，但成本高(表 5)。

同時訪談也分析得知，光觸媒環保空氣清淨機除了沒有除臭功能，在抑菌、殺菌、有無毒性、脫臭、氣體分解各方面效果皆較佳(表 6)。

由以上光觸媒環保空氣清淨機研發人員訪談、產品比較及個案剖析歸納出光觸媒環保產品有提升產品附加價值、無污染又環保、產品壽命增長、產品功能增強與競爭產品間產生差異化等環保特點。

### 4-3 產品生命週期 (MET) 矩陣分析

針對本個案產品進一步執行 MET 生命週期矩陣分析(表 7)，詳細探討個案產品生命週期各階段的环境影響重點，進而尋求綠色設計之整體發展方向。當材料週期 (Material Cycle) 欄資料之所得，是由本個案產品之主機體部分、濾材部分、控制部分、光觸媒還原部分、負離子產生器部分之零件基本分析而來；而能源使用 (Energy Use) 欄及毒素釋出 (Toxic emission) 欄資料則由個案公司提供資料並依

表 5 非搭載光觸媒與搭載光觸媒的空氣清淨機比較表

| 比較項目    | 非光觸媒空氣清淨機  | 搭載光觸媒之空氣清淨機   |
|---------|--|---|
| 原料使用型態  | 機械式過濾層、靜電層、臭氧、沉澱法、奈米光觸媒濾網+其它濾網(如 HEPA) 負離子、高效能濾網 (HEPA)、活性炭、棉質濾網等                                  | 奈米光觸媒+UV 還原燈管+其它種類濾網  |
| 原料使用之差異 | 活性炭、棉質、不織布等  | 奈米光觸媒+UV 還原燈管+其它種類濾網  |
| 兩者成本    | 一般   | 略高(含 UV 燈管及驅動 UV 燈所需之驅動器)   |
| 表面塗佈處理  | -  | 依環保規定   |
| 使用安全性   | ◎靜電層：若無特殊保護，其產生之高電壓易產生安全問題<br>◎負離子：『黑牆效應』<br>◎臭氧：對人體有害<br>◎HEPA 濾網：停止使用時，堆積於濾網層之細菌或蟎容易滋生，對環境產生惡化衝擊 | ◎安全。<br>◎負離子量可適當降低，或不使用，則無『黑牆效應』<br>◎停止使用時，無細菌或蟎之滋生，對環境產生無衝擊<br>◎對人體無害  |
| 壽命週期    | ◎負離子裝置或臭氧裝置約 3 年，3 年後易產生功能衰減<br>◎HEPA 或棉質濾網使用壽命約 3-6 個月<br>◎活性炭約 3 個月                              | 使用壽命長—約 5-7 年   |
| 回收性     | ◎HEPA/棉質濾網/活性炭—不可回收<br>◎負離子裝置/臭氧裝置—不可回收  | ◎視載體之應用，一般均可回收(但不敷成本)<br>◎UV 燈管—可回收(但不敷成本)<br>◎UV 燈管驅動器—不可回收<br>◎UV 燈管變壓器—不可回收<br>◎配合 UV LED 燈之使用—減少相關搭載零件之使用 |

表 6 光觸媒環保空氣清淨機產品功能表

| 品名    | 負離子之產品 | 臭氧(O <sub>3</sub> )之產品 | 活性炭之產品  | 高效能過濾紡織品之產品 | 奈米光觸媒之產品 (UV 冷陰極光線+TiO <sub>2</sub> ) |
|-------|--------|------------------------|---------|-------------|---------------------------------------|
| 功能    |        |                        |         |             |                                       |
| 抑菌、殺菌 | 微量     | 有                      | 無       | 無           | 99.9%                                 |
| 有無毒性  | 無害     | 對人體有害                  | 無害      | 無害          | 無害                                    |
| 脫臭    | 有(微量)  | 有                      | 1 倍     | 無           | 有，具 150 倍活性炭脫臭效果                      |
| 除塵    | 無      | 無                      | 無       | 有，效率高       | 無                                     |
| 氣體分解  | 微量抑制   | 有，可分解各種有害氣體(VOC's)     | 有，但極易飽和 | 無           | 有，可分解數十種有害氣體(VOC's)                   |

據各階段製程歸納分析而來。壽命週期 MET 分析表中後方標註 (Ph) 者為搭載光觸媒之環保空氣清淨機相關原料與元組件使用情形，資料主要是經由空氣清淨機研發專家訪談之分析歸納結果所得。其整理結果如表 7 所示：

根據以下壽命週期 MET 分析矩陣得知，非搭載光觸媒與搭載光觸媒空氣清淨機在原料、元組件使用上，主要差異在光觸媒濾網與 UV 還原燈管。一般非搭載光觸媒空氣清淨機的濾網是須常更換或清洗，壽命也較短，不像搭載光觸媒空氣清淨機其濾網壽命可達 5-7 年之久，壽命可說是相當長。換言之，搭載光觸媒的環保空氣清淨機其濾網材料週期較長，能源使用及毒素釋出相對的減少，是符合環保條件的元件。至於搭載光觸媒空氣清淨機所需的 UV 燈管與 UV LED 燈雖在能源使用及毒素釋出上有額外負擔，但因其可拆解回收而提升材料週期，從環保整體觀點來看尚可接受，唯獨產品成本提高了。

表 7 非搭載光觸媒與搭載光觸媒空氣清淨機之生命週期 MET 分析矩陣

| 產品生命週期階段   | 材料週期  | 能源使用   | 污染釋出  |   |
|------------|---|--|---|---|
|            | Input/Output                                      | Input/Output   | Input/Output  |   |
| 原料的產出與加工階段 | 金屬—<br>鐵金屬<br>非鐵金屬：銅、鋁、鎳                          | 人力、水、電、重油、機械動力   | 有害重金屬、廢水、廢氣、廢棄物   |   |
|            | 塑膠—<br>熱塑性：ABS、HIPS、PVC、PC<br>熱固性：苯板電木 (bakelite) | 人力、水、電、重油、機械動力   | 有害重金屬、廢水、廢氣、廢棄物   |   |
|            | 紙製品—瓦楞紙<br>玻璃 (Ph)                                | 人力、水、電、重油、機械動力 (Ph)  | 有害重金屬、廢水、廢氣、廢棄物 (Ph)  |   |
|            | 半成品與成品生產階段  | 半成品：<br>A. 塑膠外殼<br>B. 馬達<br>C. 電源線<br>D. 控制基板<br>E. HEPA 濾網、光觸媒濾網 (Ph)<br>F. 螺絲<br>G. 印刷物<br>H. UV 燈管 (Ph)、UV LED 燈 (Ph)             | 人力、電力、機械等裝置 (Ph)  | A. 塑膠外殼：廢氣<br>B. 馬達：廢水、廢氣<br>C. 電源線：廢水、廢氣<br>D. 控制基板：廢水、廢氣、有機溶劑<br>E. HEPA 濾網、光觸媒濾網：廢水、廢氣 (Ph)<br>F. 螺絲：廢水、油脂<br>G. 印刷物：廢水、廢氣、有機溶劑<br>H. UV 燈管、UV LED 燈：廢水、廢氣、有機溶劑 (Ph) |
|            |   | 成品：<br>總裝、組裝   | 人力、電力、機械等裝置   | 總裝：廢水、廢氣、有機溶劑<br>組裝：電磁波 (測試時)   |
| 產品流通階段     | 包裝箱—紙漿、印刷   | 水、電、機械等動力  | 廢水、廢氣、有機溶劑  |   |
|            | 塑膠袋   | 人力、電、機械等動力   | 廢氣  |   |
|            | 保護龍發泡材  | 人力、水、電、機械等動力   | 廢水  |   |
| 產品使用階段     | HEPA 濾網、光觸媒濾網 (Ph)<br>UV 燈管、UV LED 燈 (Ph)         | 無 (掩埋處理) (Ph)<br>人力、水、電、機械等動力 (Ph)   | 廢氣 (氨氣、沼氣) (Ph)<br>廢水、廢氣、有機溶劑 (Ph)  |   |
|            | 產品回收與廢棄階段   | 空氣清淨機成品拆解、分類<br>A. 塑膠—直接回收<br>B. 金屬—直接回收<br>C. 電源線—拆解回收<br>D. 控制基板—拆解回收<br>E. HEPA 濾網、光觸媒濾網—拋棄處理 (Ph)<br>F. UV 燈管、UV LED 燈—拆解回收 (Ph) | 人力、水、電、機械等動力 (Ph)<br>A. 塑膠類—廢氣、廢棄物<br>B. 金屬類—廢水、廢氣、廢棄物<br>C. 電源線類—廢水、廢氣、廢棄物<br>D. 控制基板—廢水、廢氣、廢棄物、有機溶劑<br>E. HEPA 濾網、光觸媒濾網—廢氣 (氨氣、沼氣) (Ph)<br>F. UV 燈管、UV LED 燈—廢水、廢氣、廢棄物 (Ph) |   |

整體而言，光觸媒環保空氣清淨機產品生命週期各階段對環境的影響有如下：

1. 原料的產出與加工階段—材料使用上有金屬與非金屬材料。金屬包括金屬—鐵金屬；非鐵金屬—銅、鋁、鎳金屬製品，而非金屬原料包括熱塑性—ABS、HIPS、PVC、PC；熱固性—苯板電木 (bakelite)；紙製品—瓦楞紙。能源使用部分有人力、水、電、重油、機械動力；污染物排放包含有害重金屬、廢水、廢氣、廢棄物等。
2. 半成品與成品生產階段—分析出產品各部件及其材質有：半成品—塑膠外殼、馬達、電源線、控制基板、HEPA 濾網、螺絲、印刷物；成品—總裝、組裝。在能源使用部分有人力、電力、機械等裝置。污染物排放有廢水、廢氣、有機溶劑、電磁波 (測試時)。



3. 產品流通階段—此階段中材料使用有紙漿、印刷、塑膠袋、保麗龍發泡材；中能源使用部分有人力、水、電、機械等動力；葯物排放有廢水、廢氣、有機溶劑。
4. 產品使用階段—材料使用有 HEPA 濾網；能源使用部分有掩埋處理；葯物排放廢氣(氨氣、沼氣)。當中能源使用部分是用掩埋處理，環境負荷低。
5. 產品回收與廢棄階段—本產品可回收率高，塑膠—直接回收、金屬—直接回收、電源線—拆解回收、控制基板—拆解回收、HEPA 濾網—拋棄處理；能源使用部分有水、電、機械等動力；回收處理時難免有廢水、廢氣、廢棄物、有機溶劑。

#### 4-4 綠色設計檢核、準則與策略

透過綠色產品生命週期 MET 矩陣分析光觸媒環保空氣清淨機，找出產品在使用者需求與環保方面的問題焦點(如圖 3)，然後再運用綠色設計檢核方法把所有環保問題一一提出檢核。本研究於此按產品生命週期階段分為六大部分檢核，分別為產品的需求分析檢核(見表 8)原料生產與加工檢核(見表 9)，半成品與成品生產檢核，產品流通檢核，產品使用檢核，產品回收與廢棄檢核。透過問題的檢核與分析，表 3 之右欄綠色設計考量所產生的綠色準則將可做為未來光觸媒環保新產品綠色設計之各種環境問題解決依據。

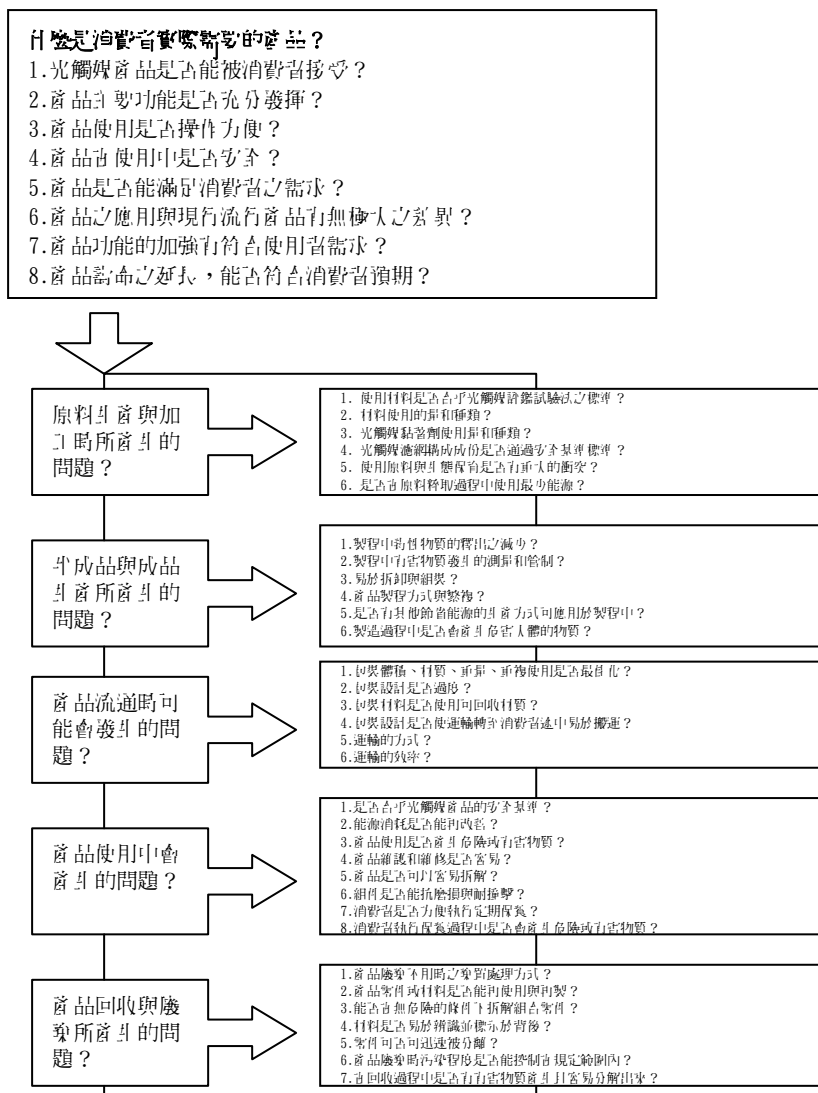


圖 3 光觸媒環保空氣清淨機使用需求與環保問題

表 8 光觸媒環保空氣清淨機之需求檢核分析

| 環保問題   | 設計策略         | 綠色設計準則  |
|--|--------------|---|
| 什麼是消費者實際需要的產品？<br>★光觸媒產品是否能被消費者接受？<br>★產品主要功能是否充分發揮？<br>★產品使用是否操作方便？<br>★產品直使用時是否安全？<br>★產品是否能滿足消費者之需求？<br>★產品之應用與現行流行產品有無極大之差異？<br>★產品功能的加強有符合使用者需求？<br>★產品壽命之延長，能否符合消費者預期？ | 1、新概念的<br>發展 | ■新產品功能的強化與擴張。<br>■環保材料之利用。<br>■方便安全的產品。<br>■產品與市售流通品之極大差異化。 |

表 9 光觸媒環保空氣清淨機生命週期階段 1：原料生產與加工分析檢核

| 環保問題  | 設計策略                               | 綠色設計準則   |
|---|------------------------------------|--|
| 原料與組件的生產所產生之問題？<br>★使用材料是否合乎光觸媒評鑑試驗法之標準？<br>★材料使用的量和種類？<br>★光觸媒黏著劑使用量和種類？<br>★光觸媒濾網構成成份是否通過安全基準標準？<br>★使用原料與生態保育是否有重大的衝突？<br>★是否直原料粹取過程中使用最少能源？ | 2、低環境衝<br>擊原料的<br>選擇<br><br>3、節約能源 | ■使用合乎標準的光觸媒材料。<br>■使用無毒害光觸媒黏著劑。<br>■使用相容原料。<br><br>■設計上組件之減少。<br>■使用易取得原料取代稀有原料。<br>■低能源需求的材料應用。<br>■加工過程之流程簡化及層次減少。 |

綜合整理光觸媒環保空氣清淨機綠色產品設計準則有以下幾點：

- 消費者需求之綠色設計準則：
  - (1)新產品功能的強化與擴張。
  - (2)環保材料之利用。
  - (3)方便安全的產品。
  - (4)產品與市售流通品之極大差異化。
- 原料生產與加工階段之綠色設計準則：
  - (1)使用合乎標準的光觸媒材料。
  - (2)使用無毒害光觸媒黏著劑。
  - (3)使用相容原料。
  - (4)設計上組件之減少。
  - (5)使用易取得原料取代稀有原料。
  - (6)低能源需求的材料應用。
  - (7)加工過程之流程簡化及層次減少。
- 半成品與成品生產階段之綠色設計準則：
  - (1)盡量選擇節能之生產方式。
  - (2)只需簡易工具或半自動就可拆卸與組裝。
  - (3)避免製程中會釋出有毒之材料。
  - (4)避免採用製程上易造成污染之材料。
  - (5)避免不必要的裝配零件。
  - (6)統一零件型號。
  - (7)模組化設計。
  - (8)避免不必要的表面加工。
- 產品流通階段之綠色設計準則：
  - (1)產品輕量化，提高運輸效率。
  - (2)產品結構設計中適度強化，避免運輸過程損壞。

- (3) 產品輕薄化，可使包裝材料減少並可增加運輸量。
5. 產品使用階段之綠色設計準則：
- (1) 使用合乎光觸媒產品安全基準之濾網。
  - (2) 提升光觸媒濾網功能。
  - (3) 減少產品節能設計。
  - (4) 使用壽命較長的材料，減少原料之消耗。
  - (5) 易維護及維修之設計。
  - (6) 設計清楚的操作說明書或機器上之適當指示。
  - (7) 裝置提醒使消費者適時進行清潔或保養。
  - (8) 以使用者為中心的設計。
6. 產品回收與廢棄階段之綠色設計準則：
- (1) 零件易拆解與分離。
  - (2) 零件要清楚標示料號易於分類。
  - (3) 零件清楚標示原料種類。
  - (4) 安全之拆卸設計。
  - (5) 設計共通性組件再利用。
  - (6) 原料回收再利用設計。
  - (7) 回收系統組織的連繫。
  - (8) 產品回收之能源耗用。

#### 4-5 光觸媒環保產品綠色表現評估分析

光觸媒環保空氣清淨機經 MET 矩陣分析及綠色設計檢核，進而得出綠色設計準則及設計策略，之後依據壽命週期設計策略環八大評估要項分析出光觸媒環保產品整體綠色表現。評估過程中每一策略以 1~10 十評等由劣到優來評量，主要求得各個策略評估結果的平均值。本研究透過個案公司資深研發人員針對光觸媒環保空氣清淨機 ABC-522RC 型(表 10)與非光觸媒 SA-526-S 型空氣清淨機做全面性的檢核，利用本評估表之評估結果平均值進行綠色設計比較分析，以確定產品是否符合綠色設計之要求或可獲得明顯之綠色改善。

表 10 環保空氣清淨機綠色設計評估

| 產品名稱<br>型號 | 光觸媒環保空氣清淨機 ABC-522RC 型   |         |          |
|------------|--|---------|----------|
| 評估結果詳等說明   | 劣<br>□1□2□3□4□5□6□7□8□9□10   |         | 優        |
| ◆需求分析階段    |  |         |          |
| 設計策略       | 一、新概念的發展之設計檢核  |         |          |
| 評估要點       | a. 新產品功能的強化與擴張<br>□1□2□3□4□5□6 <input checked="" type="checkbox"/> 7□8□9□10    |         |          |
|            | b. 環保材料之利用<br>□1□2□3□4□5□6 <input checked="" type="checkbox"/> 7□8□9□10        |         |          |
|            | c. 方便安全的產品<br>□1□2□3□4□5□6□7□8 <input checked="" type="checkbox"/> 9□10        |         |          |
|            | d. 產品與市售流通品之極大差異化<br>□1□2□3□4□5□6□7□8 <input checked="" type="checkbox"/> 9□10 |         |          |
| 評估結果累計值    | a+b+c+d=33   | 評估結果平均值 | 33/4=8.3 |
| ◆原料生產與加工階段 |  |         |          |
| 設計策略       | 二、選擇低環境衝擊的原料之設計檢核  |         |          |
| 評估要點       | a. 使用合乎標準的光觸媒材料<br>□1□2□3□4□5□6□7□8 <input checked="" type="checkbox"/> 9□10   |         |          |
|            | b. 使用無毒害光觸媒黏著劑<br>□1□2□3□4□5□6□7□8 <input checked="" type="checkbox"/> 9□10    |         |          |
|            | c. 使用相容的材料<br>□1□2□3□4 <input checked="" type="checkbox"/> 5□6□7□8□9□10        |         |          |
| 評估結果累計值    | a+b+c=23   | 評估結果平均值 | 23/3=7.7 |

最後將有搭載光觸媒環保空氣清淨機 ABC-522RC 型與非搭載光觸媒空氣清淨機 SA-526-S 型的綠色設計檢核評估結果繪製出比較折線圖，顯示其綠色表現的優劣。在低環境衝擊原料的選擇方面，比較差異較大，光觸媒環保空氣清淨機所使用的材料是清潔環保相容的，使用合乎標準之光觸媒材料與使用無毒害之光觸媒黏著劑，光觸媒濾網為可回收的紙類，對環境之衝擊極小(圖 4)；在使用階段低衝擊方面，比較差異也較大，因個案皆使用合乎光觸媒產品安全基準之濾網，同時光觸媒環保空氣清淨機具有自動偵測系統之裝置，自動偵測系統偵測環境對於環境空氣污濁時啟動大風量之運轉，於環境空氣乾淨時啟動小風量之運轉，如此設計可以達到節省能源，而小風量之運轉較大風量省能 45%。並且自動偵測系統之應用亦可節省濾材，避免濾材快速髒污(圖 5)。

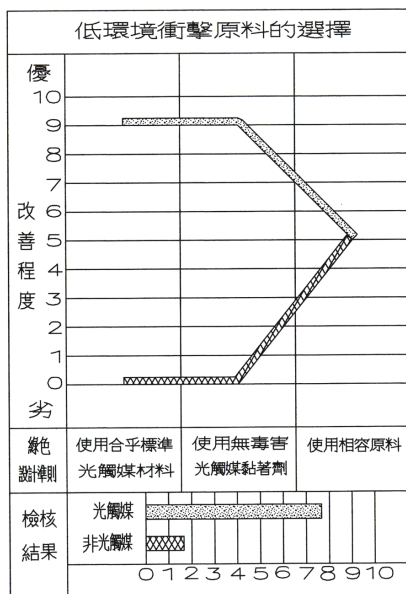


圖 4 低環境衝擊原料的選擇之比較折線圖

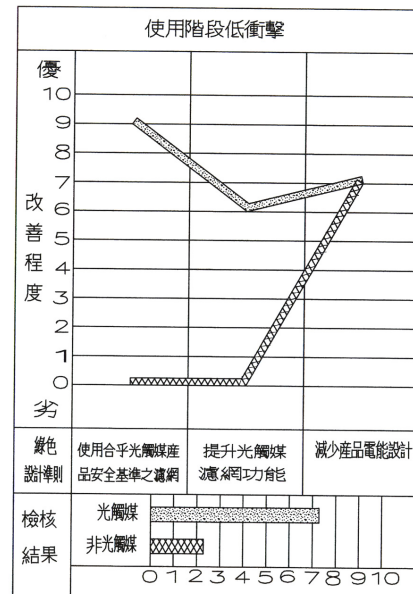


圖 5 使用階段低衝擊之比較折線圖

按生命週期設計策略環整體評估光觸媒環保產品的綠色表現及改善程度，結果呈現(圖 6)：

1. 有搭載光觸媒濾網 ABC-522RC 機型之新概念發展、生產技術最優化、高效率運輸模式及高效率使用週期等階段確有較佳的表現。
2. 但在節約能源方面，因 ABC-522RC 機型搭載光觸媒濾網及心偵使用 UV 燈管照射使之啟動殺菌機制，故較費電能。此可能是業界應該苦思如何改善之處，以因應光觸媒潮流將空氣清淨機之機能發揚光大。

#### 4-6 光觸媒環保產品綠色設計分析之評估模式

綜合以上各項檢核分析與評估，擬定出完整的光觸媒環保產品綠色設計分析之評估模式，如圖 7，可以幫助設計師從新產品綠色設計開發之初，便利用生命週期矩陣分析(MET)詳細分析生命週期各階段的环境衝擊，再依照綠色設計檢核表中檢核項目逐一檢核，然後評估產品設計的綠色程度如何，同時利用一套適合與完善的評估工具綠色設計策略環來做評估比較產品之優劣與改善方向，確定每一階段都符合光觸媒環保產品之綠色設計發展，歸納出環保產品綠色設計價值所在，如此必定能降低產品設計對環境的負荷。

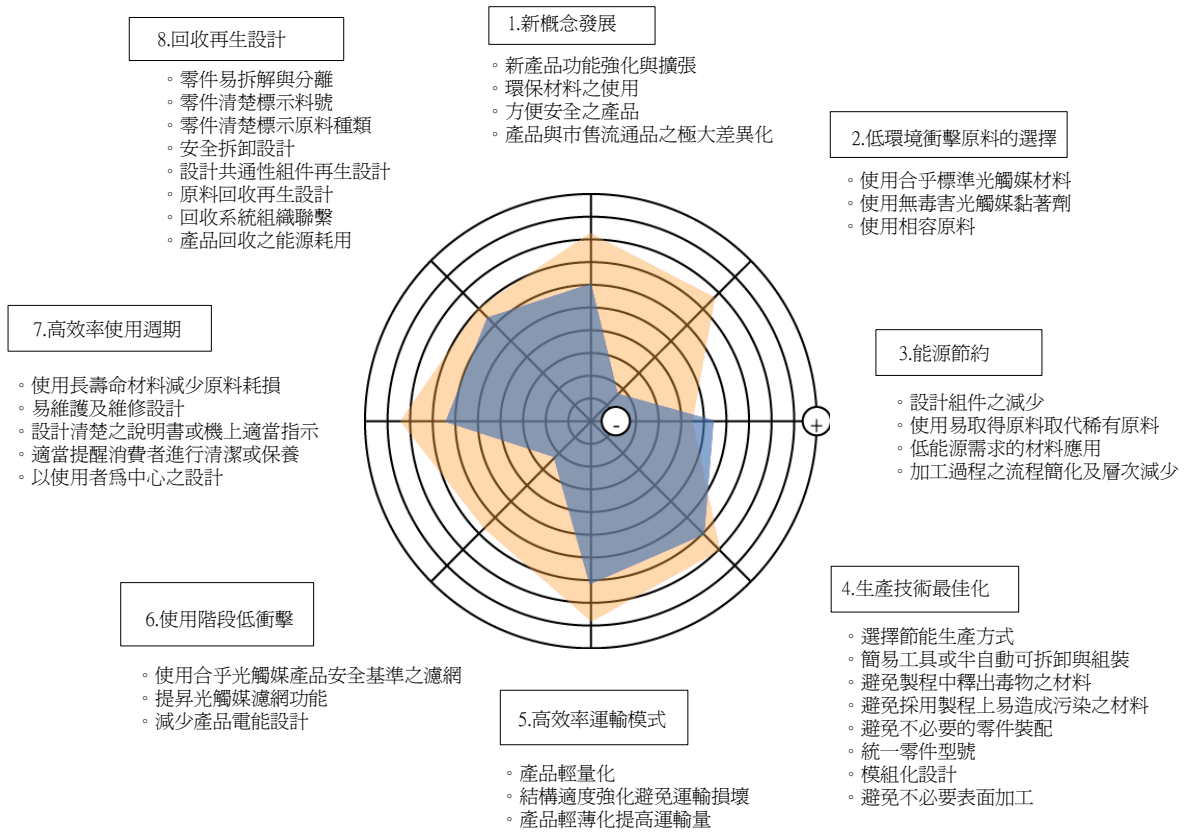


圖 6 生命週期設計策略環整體評估

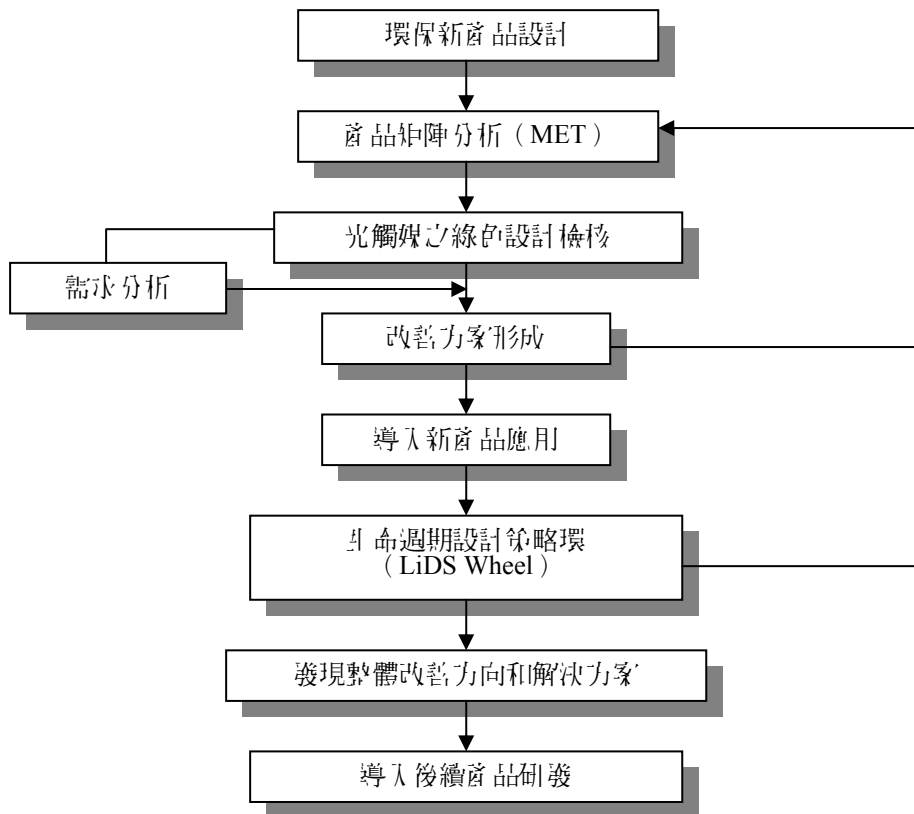


圖 7 光觸媒環保空氣清淨機之綠色設計分析評估模式

## 五、結論

本研究結果所得之結論得知，二氧化鈦光觸媒材料應用範圍廣泛，其特性環保無污染能與產品結合成為綠色產品，光觸媒環保產品將帶給人們更健康的生活品質。本研究也發現光觸媒反應過程中並不浪費任何能源，反而光觸媒應用可增加產品的功能與擴張性，光觸媒技術已然成為產業界最殷切期待的近代環保科技。

近年來相關光觸媒環保產品不斷被開發出來，已經有些商品進入到日常生活之中，例如空氣清淨機、照明設備、衛浴產品及近日新發售最時髦的光觸媒冷氣機等，尤其自後 SARS 時代未來將還會有更多的光觸媒環保產品出現於人們的生活。光觸媒環保產品已成為明日之星，然而目前尚缺乏光觸媒產品的環保認證標準，因此本研究光觸媒環保產品綠色設計分析評估模式的建立更顯得非常重要。本研究之結果不但可做為設計師於綠色產品開發剖析過程中設計改善方案之重要參考依據，同時有助於綠色產品設計成效之落實，繼續開發出更理想的永續產品。

## 參考文獻

1. 工研院總資中心 ITIS 計畫，2002。
2. 尤如瑾，1998，日本二氧化鈦光觸媒應用於電機產業現況，電機產業資訊報導，Vol.6 No.11，pp.16-21。
3. 竹內浩司、村澤貞夫和指宿義嗣，1999，光觸媒的世界，日本：工業調查。
4. 杜瑞澤，2002，產品永續設計，台北市：亞太圖書，pp.221-237。
5. 林育銘，2003，奈米光觸媒環境淨化應用技術，科學月刊，Vol.34 No.8，pp.674-679。
6. 奈米光觸媒資訊網站，2003，<http://www.ezclean.com.tw>。
7. 美國環保署，2003，<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/whytca.htm>。
8. 珠田博史，2003，光觸媒圖解，台北：商周出版社。
9. 洪世祺，2003，光觸媒應用產品的產業發展前景，科學月刊，Vol.34 No.8，pp.680-685。
10. 曾繁銘，2003，光觸媒應用和市場趨勢，<http://www.itis.org.tw/information/indanaD-c.html>。
11. 楊舜娟、張人經，2002，無害化學—談綠色化學與技術，台北：傳勝出版社。
12. 經濟部工業局，2002，環境化設計技術叢刊，經濟部工業局91年度專案計畫。
13. 廖漢衛、蔡獻逸，1990，光清淨革命—光觸媒之開發與應用，Vol.14 No.8，pp.46-51。
14. 綠色設計聯盟，2003，<http://proj.moeaidb.gov.tw/gdn/index.asp>。
15. 蘇俊鐘，2003，光觸媒(Photocatalyst)，NCHC 奈米科學研究小組，<http://nano.nchc.gov.tw/dictionary/photocatalyst.php>。
16. 藤島昭、橋本和仁、渡部俊也，2000，酸化光觸媒的世界特輯，工業材料，Vol.48 No.6，pp.17-72。
17. Bret, H.S.,1996, Accessing ecodesign, materials & processes, IDSA, INNOVATION.
18. Mills, A. and Hunter, S. L., 1997, "An overview of semiconductor photocatalysis", Journal of Photochem. Photobio. & Chemistry, No.108, pp.1-35.

# An Assessment Model of Green Design Analysis for Photocatalyst Environmental Products

Jui-Che Tu\*    Ying-Ying Hsieh\*\*

\* Graduate School of Design, Da-Yeh University  
e-mail:rextu@mail.dyu.edu.tw

\*\* Graduate School of Design, Da-Yeh University  
e-mail:yesyes-no@yahoo.com.tw

(Date Received : November 13, 2004 ; Date Accepted : March 08, 2005)

## Abstract

Photocatalyst utilizes light to induce strong oxygenation on a catalyzer, which decomposes the attached dirt and organic matter into water and carbon dioxide. It has functions of disinfection, antiseptic, self-clean, deodorization and is non-pollutant and safe. There are more and more new environmental products on the markets applying photocatalyst techniques. Therefore, the purpose of this study is to establish an assessment model of green design analysis for photocatalyst environmental products. The results of study can serve as a reference and basis for industrial designers who work on the development of Photocatalyst environmental products and increase consumers' acceptance and reliability toward this new item so as to improve the success of the launches of new products. The methodology of this study adopts related literature review, deep interview from experts and case study of photocatalyst air cleaner. Through the processes of MET matrix analysis, green design checking list and design strategy analysis of product life cycle, the result clearly appears the changes of photocatalyst environmental products. As the result, it can become the important rules for photocatalyst environmental product development in the future. Meanwhile, the result of the study indicates that the catalyzer reacting in the course does not waste any energy and thus the application of photocatalyst will advance and expand the functions and advantages of the products. Owing to the unquestionable fact that the photocatalyst environmental products can promote the quality of life, photocatalyst technology has become the one the industry eagerly develops. By providing an assessment model of green design analysis for photocatalyst environmental products, the study hopes to contribute to the production of an ideal everlasting product, which exerts the green design efficiently and effectively, and in the long run the realization of a comfortable, pollution-free secure environment for the mankind.

Keywords: Photocatalyst, Green design checklist, MET matrix analysis, LiDS Wheel



