

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫三：以簡化生命週期評估為基礎之為環境設計的軟體 工具開發(II)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2621-Z-343-001-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：南華大學環境管理研究所

計畫主持人：胡憲倫

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 13 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

整合總計劃：本土化生命週期評估技術及其應用之研究(2/3)
子計劃三：以簡化生命週期評估為基礎之為環境設計的軟體
工具開發

Development of a DfE Software Tool Based on the Streamlined LCA Concept

計畫編號：NSC 91-2621-Z-343-001

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：胡憲倫 台北科技大學環境規劃與管理研究所

研究助理：許家偉 南華大學環境管理研究所

聯絡方式：台北市忠孝東路三段一號

E-mail : allenhu@ntut.edu.tw

中文摘要

傳統生命週期評估的方法由於成本過高並且耗費人力，致使企業卻步，因此定性或是半定量的簡化生命週期方法遂成為企業從事產品環保化設計的最愛。本研究旨在開發一套可以讓企業實現持續改善目的，並且易學易懂的視窗版 SLCA 軟體。其試用版經國內某 IC 廠試用後，其結果令人滿意。未來將致力於將產品的其他功能納入此一系統，讓此一軟體更有實用性。

【關鍵詞】簡化式生命週期評估(SLCA)、環境化設計(DfE)、本土化、軟體開發

Abstract

Comprehensive LCA suffers from high costs and time consuming. Hence, the SLCA, either qualitative or semi-quantitative approach has become an effective tool for business to conduct eco-design for their products. In this study a software tool, which utilizes the concept of streamlined life cycle assessment (SLCA), was developed. It is windows-driven and has an user-friendly interface. A trial version of the software has been used by an IC company and the test result was satisfactory. Other products attributes will be integrated into the software in the future to enhance the applicability.

Keywords: Streamlined Life Cycle Assessment, SLCA, Design for Environment (DfE), Software Development, Localization.

一、前言

近年來，環境議題已經成為當今人們非常重要的課題之一，而污染防治的管理措施也從原先的管末處理(End of pipe)、製程改善(In the pipe)演變至以源頭為管制的管前設計(Front the pipe)。目前，台灣已正式成為 WTO 的會員國之一，在此自由貿易的模式之下，國內企業除了能在此自由交易的市場中與其他會員國進行雙邊貿易外，亦應避免因環保衝擊而造成非技術性的貿易障礙。例如：名列我國第三大貿易區的歐盟，在 1999 年提出了廢電機與電子設備指令(WEEE)草案及限制使用危害物質指令(RoHS)草案，在 2006 年時將要求各國產品外銷至歐盟，其回收率應達到 70%-80%，並且產品中不得含有相關的有毒物質。而除了法令條文的規範之外，以企業為自發性的綠色供應鏈管理，也明定其供應商必須符合以綠色為訴求的環保性產品規範(例如：SONY -SS00259)。從這兩大趨勢看來，未來在產品的規範上，以貿易制裁及綠色供應鏈下的壓力將會凌駕於國內的法令之上，此情況勢必會對以代工為主的我國企業產生莫大的衝擊。根據標準檢驗局委託台灣電子檢驗中心所做的研究中顯示，截至 2002 年 7 月底為止，台灣電機、電子及資訊業已有約 65%的廠商受到國外客戶提出有關產品環保性方面的檢測或驗證要求，且其餘 35%的廠商亦認為未來及有可能會受到類似之要求(王正輝，2002)。

生命週期概念的應用與其評估技術之發展愈來愈受到國際各界之重視，在環保先進國家，尤其是歐盟各國已開始要求各種電子電機產品須進行生命週期評估，以減少環境負荷並達成永續發展之目標(呂穎彬，2003)。但由於完整之 LCA 工作歷程繁雜，且所需之資料庫過於龐大，因此在受受限於時間、資源和資訊之窘境下，目前 LCA 之運用趨勢有逐漸轉以不做複雜的量化和評比分析及在限制的範疇下所進行的簡約(Streamlined)評估。顧洋(2002)曾於「本土化生命週期評估技術及其應用研究」中指出，現有國外的 LCA 軟體對國內產業界應用而言，都太複雜，但如前所分析的，完整的 LCA 模式評估目前在國內做並不適合，因此簡化(Streamlined) LCA 應是比較可行的研究及發展方向。

二、研究目的

諸如上述的原由，本研究期望能以企業的觀點為主要出發點，發展出一套簡易且不需複雜量化的 SLCA 軟體工具，應用在產品設計上。因此，以 Streamlined LCA 為基礎之環境化設計的軟體工具開發，係由 Graedel and Allenby 兩位專家替美國 AT&T 公司所開發的簡化式生命週期評估矩陣及荷蘭 PRé Consultant 公司所開發之 Simapro 評估軟體中的 Eco-indicator 99 的衝擊指標，作為軟體衝擊指標本土化過程之建構基礎。針對以上的分析，本計畫有以下幾個目的：

1. 了解各種簡化生命週期評估 SLCA 的做法，並探討其適用時機；
2. 發展一套易學易懂的簡化生命週期評估的軟體；以及
3. 建立起評估矩陣的權重值及評估準則。

三、文獻探討

(一)簡化式生命週期評估(SLCA)

1. 簡化式生命週期評估之起源

近年來，發現許多生命週期評估的研究領域，逐漸轉以「生命週期概念」或「生命週期做法」，作為研究應用的基礎。為何會有如此的轉變呢？Todd(1996)認

為其最大的原由在於成本、時間及資料收集的癥結上，因為如果以SETAC或EPA的評估模式作為LCA的工具，那麼一個產品的盤查往往需要至少10,000美金以上的費用。另一關鍵乃是在於時間，企業在面臨激烈的競爭市場上，產品如果無法掌握市場的趨勢即時上市，那遑論公司的競爭優勢。其次是資料的收集不易，要完全掌握上下游供應商的相關資料，並不容易，但在缺乏詳細資料的窘境下，根本無法實際確認出產品或服務行為對環境衝擊的程度。Herrmann et al.(2002)及Frankl et al.(2000)更認為目前在執行LCA有五種主要缺點(drawback)，而此些也正是形成簡化式生命週期評估(SLCA)的緣由，闡述如下：

(1) 需要大量資料：

一個完整的生命週期評估不僅需要有關於公司製程與營運的資料，還需要有關上下游廠商的資料。並且從中獲取原物料及能源生產和供應資訊、廠房效能與廢棄物管理層面的背景資料。除此之外，公司生產的產品呈現多樣化，如果要針對不同產品做LCA，公司在資料收集上必須非常完整，但目前台灣的企業再此項成效上仍有待努力。

(2) 時間冗長：

公司整個系統皆須納入生命週期評估的考量，因此從評估範圍的界定到龐大資料的收集，以至最後的盤查分析，皆需耗上非常冗長的時間。因為迫於時間上的急促，所以公司的任何決策，根本無法等及產品執行完整生命週期評估後，再做選擇。

(3) 學習不易：

從過去執行LCA的經驗而知，時間、成本跟收集資料是造成實施LCA的難處，但由於評估軟體的複雜性及欠缺專業人才的培養，更增添操作上的困難程度。

(4) 中小型公司(SMEs)型態

大多數中小型公司只是適用於生命週期做法(Life Cycle Approach)的概念，受限於各種不同壓力及資源缺乏的條件下，不適用於完整的LCA，而此原因也正是執行完整LCA失敗最主要的原因(Frankl et al., 2000)。

如前所分析的，完整LCA的模式評估目前在國內做並不適合，因此簡化(Streamlined)LCA應是比較可行的研究及發展方向。所以目前完整的LCA是較不適用於企業，因為時間冗長、成本過高、資料收集不易及操作困難等問題，根本無法符合市場的競爭優勢，這也正是簡化式生命週期評估(SLCA)被國際跨國企業普遍所運用的緣由之一。

2. 簡化式生命週期評估之定義

簡化又稱簡約(simplification, streamlining)：意指簡化一個LCA之複雜程度，並且也是減少在從事LCA時之成本、時間與精力的過程。環境毒理與化學協會(SETEC)歐洲分會認為(1997)一個簡化的(simplified or streamlined)LCA應包括了三個緊密關聯的步驟(圖-1)：

(1)篩選(Screening)：辨別在LCA中某些可以被省略的過程，或者使用某些一般性的數據，而不會明顯影響最後結果正確性。

(2)簡化(Simplifying)：針對在篩選過程中辨別出之可以簡化的選項，而產生一個簡化的LCA。

(3)評估可靠度(Assessing reliability)：查核簡化後所得之整體結果的可靠度，是否無明顯的降低。

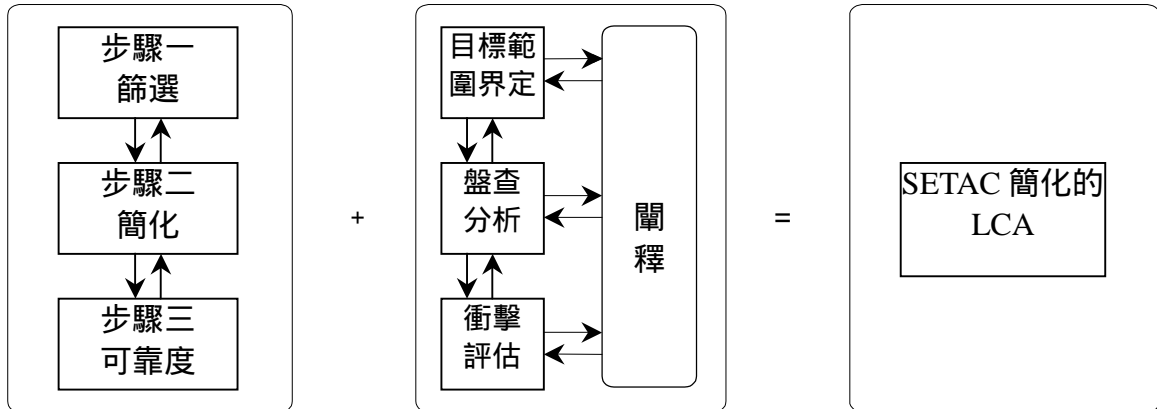


圖-1 SETAC 建議之 LCA 簡化過程的示意圖
(資料來源：Christiansen, 1997)

誠如以上所提，簡化雖然可以大大的減少在從事 LCA 時之成本、時間與精力，然而不可否認的，簡化也可能會影響 LCA 結果的正確性(accuracy)與可信度(reliability)。如前所述，一個完整生命週期評估應該要有以下四個部分：

- 目標及範疇之界定(goal and scope definition)
- 生命週期盤查分析(life cycle inventory analysis)
- 生命週期衝擊評估(life cycle impact assessment)
- 生命週期結果闡釋(life cycle interpretation)

SETAC 認為在以上提到的四個部份中，除了第一部份目標及範疇界定是不能簡化的之外，其餘的三個部份均是可以被簡化的。然而，環境毒理與化學協會(SETAC)的北美分會，早於 1994 年四月即在北美成立了一個簡化 LCA 的工作分組，致力於發展簡化 LCA 的應用與方法。幾乎是在同一時期，SETAC 的歐洲分會也開始發展與研究簡化 LCA 的研究。兩個分會的簡化過程及架構，雖然沒有太大的差異，然而在實施上仍然有一些的差異。除了兩個分會用的詞彙不同之外(美國分會用的名稱為 Streamlined，而歐洲分會則是用 Simplified)，其中最大的差異在於歐洲分會認為 LCA 的四個部分除了目標及範疇之界定不能簡化外，其他的三個部份：生命週期盤查分析、生命週期衝擊評估，以及生命週期結果闡釋均可以簡化。然而，美國分會卻認為所有的這四個部份均可以簡化。

而 Van der Berg, Huppel, and Dutilh (1996)則建議 LCAs/SLCAs 之使用時機與不適合使用之場合，有以下幾種情況(表-1)。

表-1 LCAs/SLCAs 適合與不適合之使用情形

LCAs/SLCAs 適合使用之情形

- ▶ 比較具有相同功能之不同產品的環境衝擊
- ▶ 與某一參考值或標準比較之某一產品的環境衝擊
- ▶ 辨明某一產品之生命週期中對環境衝擊最大的階段，以對於現有產品之環境績效作出改善之主要途徑
- ▶ 協助設計新的產品與服務

►策略性地指出發展的方向

LCAs/SLCAs 不適合使用之情形

- 不適合用來回答與單一生產程序有關的問題，這應該用製程科技來解決
- 不適合回答與地理地點相關之特定環境問題，這應以環境影響評估來說明
- 不適合回答與單一公司之環境衝擊有關問題，這應該用環境稽核來解決

(資料來源:摘錄自 Van der Berg, Huppes, and Dutilh, 1996)

3. 簡化式生命週期評估之做法

(1)在現有的 LCA 架構下進行簡化

假如簡化式生命週期評估(SLCA)被視為是 LCA 評估程序的做法，那何種簡化(simplification)後的結果才不致簡化(streamlined)掉評估的合法性？根據 North Carolina's RTI 針對學術界、政府、產業界及企業所做的調查結果顯示，其共同目的是希望縮短 LCA 使用的時間，因此 RTI and USEPA 一起針對各種不同的簡化的做法，進行試驗並提出討論，最後歸納出九種可以簡化 LCA 的做法，以下是這九種簡化程序的介紹(表-2)：

表-2 簡化式生命週期評估之做法

簡化做法	應用程序
1&2.部分/全部去除上游的單元	在 LCA 的研究中，應該移除上游的單元，否則真要追溯其原料來源，幾乎是可以無限制的回溯回去，所以主要是著重在生產、使用及棄置後的廢棄物管理。
3.限制或去除下游的單元	了解某種產品從原料進入公司，到經過製程製造過程的評估結果，這也就是所謂的從搖籃到大門(from cradle to gate)的研究
4.限制或去除上游與下游的階段	只探討廠房內的活動(特別是製程的部分)，而將上、下游的階段全部去除，這也就是所謂的從大門到大門(from gate to gate)的研究。
5.著重在特定的環境衝擊或議題	著重在整個生命週期中的某些環境衝擊與議題上，因此只會針對與該議題有關的生命階段作評估，而整個結果可能會有產生以偏概全之虞。
6.建立某類可以被用來當成篩選門檻的準則	利用某一準則(可能是任何一個重大或特定的環境的議題，例如臭氧層或熱帶雨林的破壞等)，透過問題，來協助簡化 LCA。可能的問題包括了：“在產品 A 的生命週期中，是否有使用破壞臭氧層的物质？”或是“在產品 B 的生命週期中，是否有使用來自熱帶雨林的木材？”
7.同時採用定性與定量的數據	由於 LCA 在定量資料的蒐集、盤查與確認，存在著困難點。因此，當定量數據無法得到時，定性資訊 - 例如：包含了製程與原料流向的物質流的流程圖，就可以是一個蠻好的輔助說明資訊。
8.採用替代程序的數據	當某一產品或製程的數據非常不易取得，這時可能可以藉由其他相類似的產品或製程數據替代。

9.限制達到某一閾值之組成成分	有些研究會將某種產品或製程中，組成之比重低於某一比率的某些成分去除。在所謂”完整的LCA”之研究中，一個共通採用的閾值為 1%。
-----------------	--

(資料來源:整理自 USEPA, 1997)

此外，Weitz *et al.*(1999) 認為取消闡釋與建議的做法，亦是簡化的一種方式。基本上，以上所有的簡化方式均有其優點與缺點，其運用端賴使用者的目的，或是一開始之研究的目的與範疇的界定。

(2)基於生命週期概念的另類簡化程序

某些專家或企業並未真正的採用傳統 LCA 的方法，進行全面的原料及能源盤查，而是透過生命週期的觀念來簡化 LCA 做法。目前許多國際大型跨國企業與研究機構也已發展出類似的工具，且將擴大考量的層面，跳脫只以環境為衝擊的對象，並加入產品功能性、成本或消費者的態度等方向。例如：

道氏(Dow)化學公司矩陣

道氏(Dow)化學公司所運用的矩陣方法(matrix approach)中，涵蓋了 8 個階段的生命週期及 12 個衝擊參數之面向。衝擊參數部份除了環境層面外，還包括安全(火災、爆炸)、大眾觀感間距以及競爭優勢的考量。亦即從公司、消費者及環境的考量面中去擬定產品設計策略的計畫，將關於產品成功與否的條件接納入了整個生命週期矩陣的評估當中。其評分有兩個步驟，第一是使用者得決定矩陣中的元素，是代表弱點(vulnerabilities)還是機會(opportunities)。接下來則依照三點尺度來給分(1,3,9 或 -1,-3,-9)(表-3)。道氏公司的矩陣雖然包含了所有的生命週期階段，以及相關的環境顧慮(表- 4)，基本上它仍然是一套定性的系統(qualitative system)。

表-3 道氏(Dow)化學公司簡約式生命週期矩陣之比率系統(Step1)

危害或影響	暴露程度(體積,頻率)		
	High	Medium	Low
High	-9	-9	-9
Medium	-9	-3	-1
Low	-9	-1	

9	查驗執行結果
3	資源的分配
1	方案確認

(資料來源：Noesen, 1993)

表- 4 道氏(Dow 化學公司之簡約式生命週期矩陣(Step2)

環境面向	RME	RMP	MFG	DST	CNV	NDU	DSP	RCY
安全:火災、爆炸								
人體健康								
殘留物質								
臭氧層破壞								
空氣品質								
氣候變化								

自然資源消耗								
土壤污染								
廢棄物堆積								
水污染								
大眾觀感間距								
競爭優勢								

(資料來源：Noesen, 1993)

備註:

RME:原料提煉(Raw Material Extraction)

CNV:對消費者的改變(Conversion(Our Customer))

RMP:原料處理前(Raw Material Pre-Processing)

NDU:結束使用(End Uses)

MFG:製造(Manufacturing(Dow Operation))

DSP:使用後的處置(Post-Use Disposal)

DST:配送(Distribution)

RCY:再使用(Recovery)

孟山度(Monsanto)公司的矩陣

孟山度公司的矩陣將環境、社會及企業營運層面，納在衝擊評估中。並以資源使用、廢棄物輸出及健康與生活品質，作為盤查項目的依據。該矩陣刻意將盤查議題(inventory issues)與衝擊(Impact issues)議題脫鉤，然而卻將企業衝擊也歸於矩陣中。此矩陣的特色在於不只將環境的顧慮因素，作為產品開發的考量。並加入人們生活品質、社會觀點及企業營運的成本，結合在產品全然的生命週期中(表- 5)。孟山度公司是以其需求為主，再研擬出產品設計的策略及考量因素。

表- 5 孟山度公司之評估矩陣

永續性面向		產品生命週期階段			
		原料	產品製造	產品使用	回收及處置
盤查 (Inventory)	資源使用 (Resource Usage)				
	廢棄物輸出 (Waste Output)				
	健康及生活品質 (Health & Quality of Life)				
衝擊 (Impact)	環境衝擊 (Environmental Impact)				
	社會衝擊 (Social Impact)				
	企業衝擊 (Business Impact)				

(資料來源：Graedel, 1998)

摩托羅拉(Motorola)公司

美國 Motorola 公司與德國 Erlangen 大學，共同開發出一套產品設計的輔助工具-綠色設計顧問(Green Design Advisor, GDA)軟體。在產品設計過程中，Motorola

以產品的回收率、減少有害原料的使用、最少量的包裝材料及可回收的塑膠原料做為產品設計的目標。然後再配合此套輔助工具於原料數量、重量、拆卸時間、處置成本、毒性、回收性、回收物質、能源等八種指標上所提供的資料，做為設計人員在產品開發的選擇與比較依據。以下

圖-2 是 Motorola 公司利用此套軟體於兩種不同產品的評估結果。其差異及改善方向可以很容易的顯示出來。

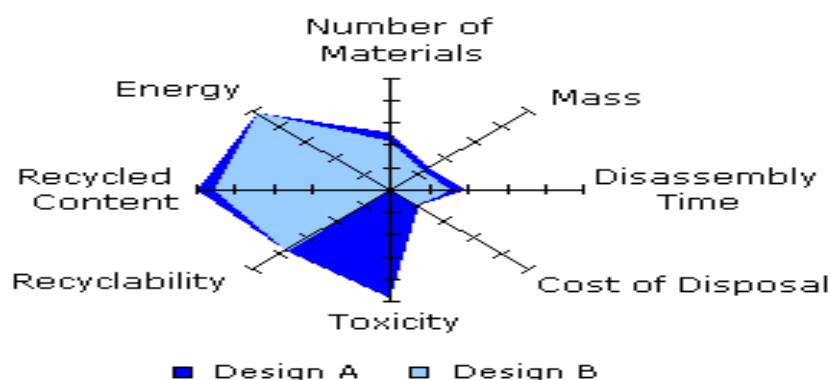


圖-2 綠色設計顧問(GDA)應用於產品之評估結果-以 Motorola 公司為例
(資料來源: Motorola Inc, 1998)

· AT&T之簡化式生命週期評估(AT&T Abridged LCA)

此簡化式生命週期評估系統最大優點及是能讓從事 LCA 的相關研究的人，在大約兩天的時間內，即可完成一個產品的評估。而一個廠房(facility)的評估，大概也只需要一個禮拜的時間，並且它能夠提供改善的建議，而讓使用者立即採取行動。它主要是透過一個 5X5 的評估矩陣(表-6)，它的縱軸邊是五個基本生命週期階段(製造前、產品製造、包裝與運輸、使用，以及棄置)；它的橫軸為環境顧慮(原料選擇、能源使用、固態殘留物、液態殘留物，以及氣態殘留物)。矩陣中的每一個格子，由評估人依照環境衝擊的大小，給予一個分數(從最大衝擊的 0 分，至最小衝擊的 4 分)。評估人會依據經驗、設計或製造的調查、適當的查核表，或是其他的資訊來判斷。整體產品環境責任(environmentally responsible)的評估結果，可以將矩陣中所有的分數加總得之，其總分為 100 分。最後，再透過所謂的標地圖(target plot)來清楚顯示評估或比較後的結果。方法最有名的案例為比較 1950 與 1990 年代的汽車，表-7 為評估的結果：

表-6 AT&T 公司之評估矩陣

環境顧慮 \ 生命週期	原料選擇	能源使用	固態殘留物	液態殘留物	氣態殘留物
製造前	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)
產品製造	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
包裝與運輸	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
產品使用	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)

棄置	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)
----	-------	-------	-------	-------	-------

(資料來源: Graedel, 1998)

表-7 比較通用(GM)汽車於 1950 與 1990 年代之評估結果

環境顧慮	原料選擇	能源使用	固態殘留物	液態殘留物	氣態殘留物	總計
生命週期 製造前	2	2	3	3	2	12/20
	3	3	3	3	3	15/20
產品製造	0	1	2	2	1	6/20
	3	2	3	3	3	14/20
包裝、運輸	3	2	3	4	2	14/20
	3	3	3	4	3	16/20
產品使用	1	0	1	1	0	3/20
	1	2	2	3	2	10/20
棄置與回收	3	2	2	3	1	11/20
	3	2	3	3	2	13/20
總合	9/20	7/20	11/20	13/20	6/20	46/100(1950)
	13/20	12/20	14/20	16/20	13/20	68/100(1990)

(資料來源: Graedel, 1998)

備註：以上每個生命週期階段在不同的環境顧慮下均有一個分數，前者為 1950 年的得分，而後者為 1990 年的得分。

而透過標地圖(圖-3)的比較顯示，更可以將比較的結果以及未來改進的方向及空間一目了然的呈現出來。且很清楚的看出通用汽車在 1990 年的評估結果，是比 1950 年的時期有著長足的進步。

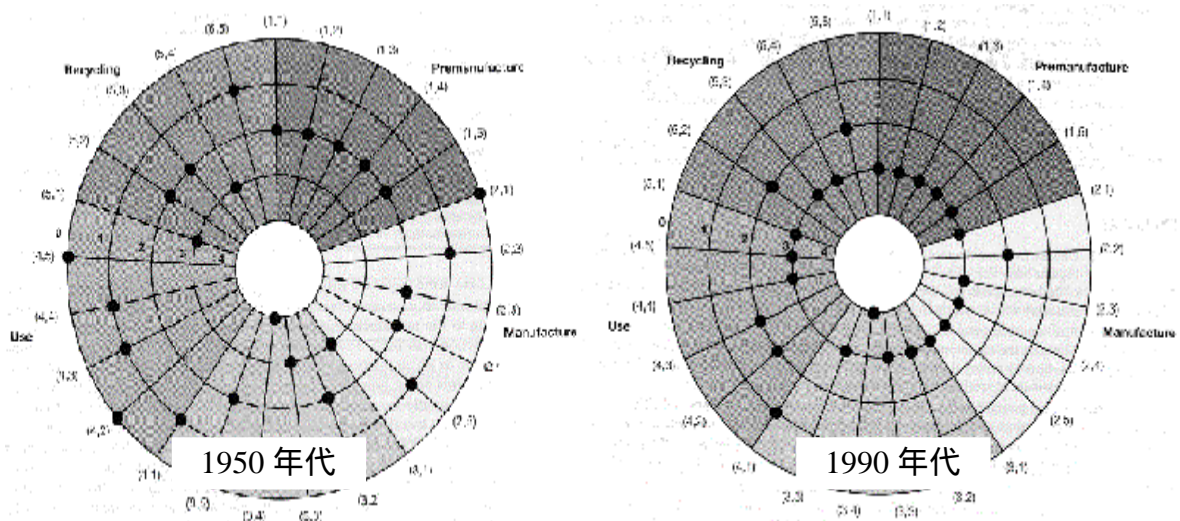


圖-3 通用(GM)汽車於 1950 與 1990 年代評估結果之標地圖(target plot)

(資料來源: Graedel, 1998)

(二) 環境化設計

1. 何謂環境設計

Fiksel(1993)將環境化設計(Design for Environment, DfE)定義為:以系統化的方式考量其設計績效,並將環境、衛生與安全等考量面納入產品及製程之所有生命週期中。簡言之,環境化設計在於透過考量產品生命週期潛在的環境衝擊,進而保持產品的競爭優勢。而產品環境衝擊範圍,可從原物料使用的情形、毒性化學品的逸散、不可再生資源的消耗及過度的能源使用皆然。而要改善此種生產程序對環境的影響,並將環境衝擊作為考量的依據,就必須應用生命週期的想法,將整個產品的生命週期所納入環境中。

2. 企業為何要實施產品環境化設計

Yarwood and Eagan(1998)提出公司如果執行環境化設計,除了必須要面臨立法者、消費者、環保團體、工會等相關利害者的壓力之外,還可帶來下列的優勢:

- 改善設計
- 減少成本與及時上市
- 改善市場定位
- 減少規範的影響
- 減少未來的責任
- 改善環境績效

在環境化設計的優勢上,絕大部分企業的認知皆只侷限於會對環境績效的提升有所助益,卻忽視環境化設計在經濟效益上所扮演的角色及實質的績效。以 Hill(2001)在「Product Innovation The Green Advantage :An Introduction to Design for Environment for Australian Business」中的研究而知,環境化設計不只是作為改善環境品質的策略而已,更是開創重大市場行銷潛力的助力。

四、研究方法

(一)研究架構

本研究是著重在 Streamlined LCA 基礎上,透過目前國際間已經發展並以跨國企業普遍使用的多套以矩陣評分法為主,進行分析比較。進而以 Graedel 替 AT&T 公司所開發的矩陣評估模式為主幹,再與 Eco-indicator 99 中的衝擊指標相結合,確認出較適用於我國企業所使用的生命週期階段及環境衝擊指標架構。為了增加使用者對於矩陣權重(Weighting)的參考依據,軟體中設有既定的預設值及讓使用者自行設定兩種方式,讓對自我產品生產製造非常清楚的自評者,能有更精確的評比結果。因此,發展出一套可以普遍適合國內企業從事為環境設計(DfE)之實用暨簡易的軟體,為本研究之主要目的,其研究架構如圖- 4 所示。

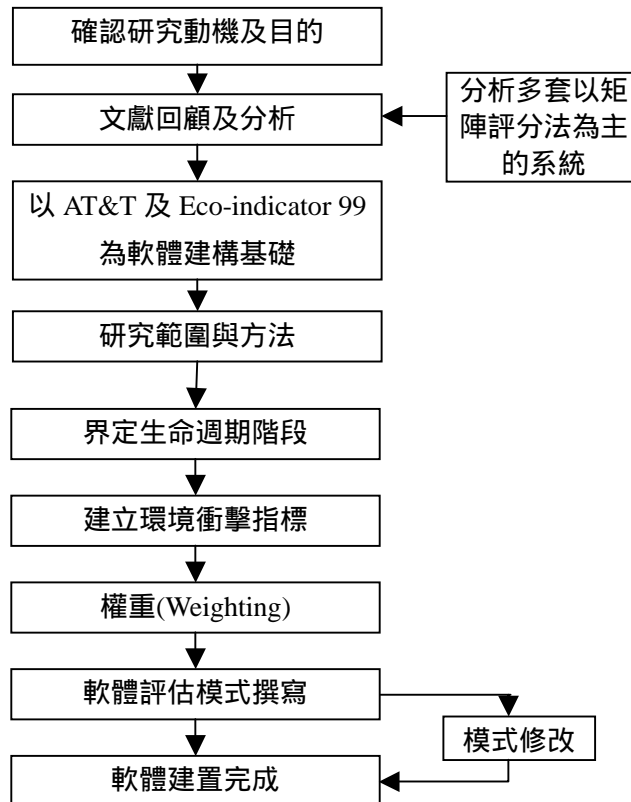


圖- 4 本研究架構之流程

(二)軟體評估模式之建置

1. 軟體評估模式之建置流程

本研究首先回顧並分析了多家國際跨國公司SLCA的做法，並嚐試開發一套矩陣評分之為環境設計的視窗介面軟體。所以本研究所採行的參考工具，是以 Graedel and Allenby兩位專家替美國AT&T公司所開發的簡化式生命週期評估矩陣及荷蘭PRé Consultant公司所開發之Simapro評估軟體中的Eco-indicator 99的衝擊指標，作為軟體衝擊指標本土化過程之基礎。系統的整個架構考量完全是以企業為主，所以其彈性空間較為寬廣，企業可根據自我的考量面選定其評估層面且設定不同的權重，或是採用軟體內部建立的權重做為評估，然後透過圖表呈現不同產品或不同考量的環境績效，以做為產品開發前的評量。整套軟體中除了含有本研究依據本土化的原則所建議的架構之外，還將原來AT&T所使用的軟體也建立在開發的軟體之中。其最主要的目的是希望企業經由此套軟體工具，來增加產品的環保性，以避免市場衝擊(如：SONY的PS2)及降低成本等目標。下面就分別針對AT&T架構及 Eco-indicator 99模式，作一說明：

AT&T公司

這套系統在「文獻探討-簡化式生命週期評估之做法」的章節中，已經作了詳細的描述。此評估架構可以應用在產品、製程、廠房(facility)及服務相關研究上，而其最令人感興趣的是它能让立即從事 LCA 相關研究的人 - 大約只需要兩天即可完成一個產品的評估，而一個廠房的評估，大概也只需要一個禮拜的時間，並且它能藉由圖表的呈現來提供改善的建議，而讓使用者能立即採取行動。

表-8 AT&T 公司評估矩陣之架構

生命週期	環境顧慮				
	原料選擇	能源使用	固態殘留物	液態殘留物	氣態殘留物
製造前	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)
產品製造	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
包裝與運輸	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
產品使用	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)
棄置	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)

(資料來源: Graedel, 1998)

生態指標99(Eco-indicator 99)之方法介紹

Eco-indicator 99 的計算模式是利用一套特殊發展的方法來加以計算，其評估步驟分為三大步驟(

圖-5)：

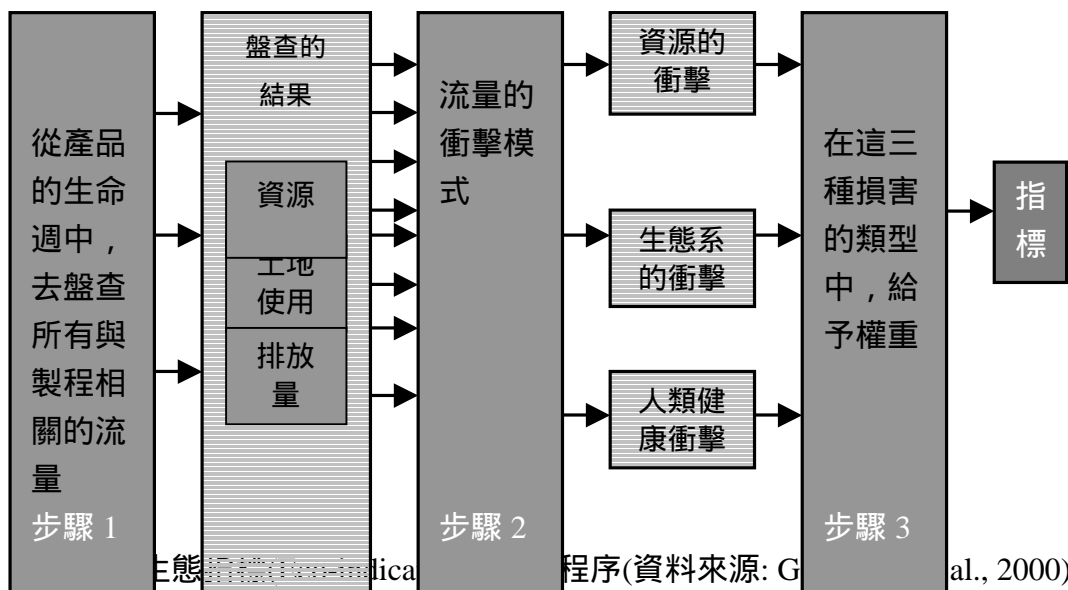
步驟一：首先必須從產品的生命週期中，去盤查所有與製程相關的排放量、資源萃取與土地的使用情形；

步驟二：計算這些排放量對人類健康、生態系和資源的損害程度。而排放量的損害又分為結果分析(Fate analysis)、暴露(Exposure)、效應分析(Effect analysis)與損害分析(Damage analysis)四種。

步驟三：在這三種損害的類型中，給予權重的比例

此為 LCA 的標準程序，但在盤查的過程中，必須先規劃出系統的界線(什麼該包括什麼不該包括)、分配(我們如何去處理廠房的製程生產不只一個產出)、區域性的考量面(我們是使用荷蘭、瑞士或歐洲的資料)與一般資料的特性(年代、代表性、平均或現代技術等)。

Goedkoop et al.(2000)認為 Eco-indicator 99 是以 LCA 的方法，來評估生產技術及環境保護之間的關係，並從評估的結果中了解對環境的衝擊程度。並經由不斷的修改，呈現出最精確的環境衝擊，作為綠色設計技術之輔助工具。



註、框格中較深的顏色乃是代表中間的結果，而較淺的顏色則是程序的代表

2.軟體評估架構之組成

此章節就依據本研究的架構，針對矩陣模式中的環境衝擊指標、生命週期、權重及評估準則，來說明採用的原由與做法。

(1)生命週期階段

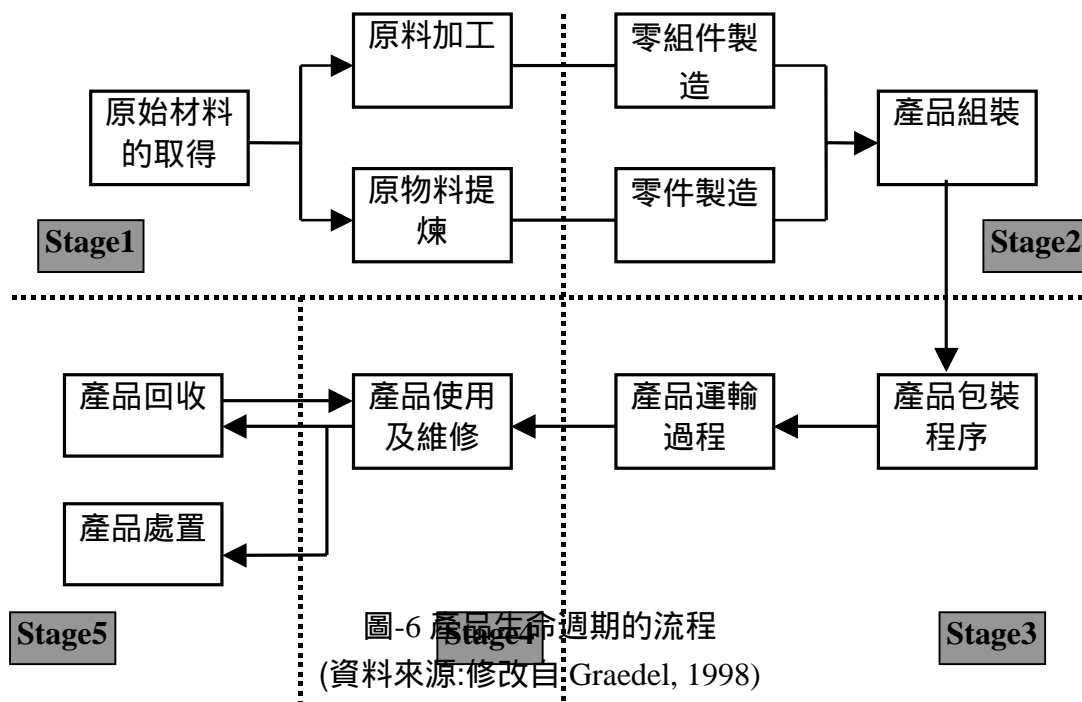
產品對環境衝擊應該屏除只侷限於產品製造的階段，因為產品生命週期的任一階段皆會對境產生衝擊。因此，在此研究中我們將產品的生命週期分為：製造前、產品製造、產品包裝與運送、產品使用及維修與回收處置等五大階段，而不同的階段中又區分為不同的產品行為(表- 9)。『製造前』階段包括了供應商於各種資源及零件與原料的供應行為，此範圍涵蓋了原始材料的取得、提煉及加工等三大部分；『產品製造』是靠著前置階段所完成了原物料，再經由零件製造、零組件製造步驟，進而完成產品裝配的動作；『產品包裝與運送』是接著將產品作包裝的程序，然後利用其配送系統進行產品的運送；『產品使用及維修』著重於消費者使用及產品維修，而最後的『回收及處置』階段就是產品使用結束的最終階段。當然產品最終階段仍可從事回收再利用的動作，以降低對環境的衝擊並落實延伸生產者責任(EPR)的精神。一個產品生命週期完整的流程如

圖-6。

表- 9 產品生命週期階段

階段	產品生命週期	產品行為
Stage1	製造前	原始材料的取得、提煉、加工
Stage2	產品製造	零件製造、零組件製造、產品裝配
Stage3	產品包裝與運送	產品包裝、產品運送
Stage4	產品使用及維修	產品使用、產品維修
Stage5	回收及處置	產品棄置、回收再利用

(資料來源:修改自 Graedel, 1998)



(2)環境衝擊

在產品環境衝擊的考量上，本研究所採用的是由 Graedel 在 1998 年時替

AT&T 公司所開發的簡化式生命週期綱要及 Eco-indicator 99 衝擊指標。根據 AT&T 公司所使用的簡化式生命週期綱要，其環境衝擊可分為：原料使用、能源使用、固態殘留物、液態殘留物及氣態殘留物等五大方面。而 Eco-indicator 99 評估指數的模式是以資源、生態系統及人體健康作為衝擊的指標。因此在兩者相互結合下，本研究所採用的衝擊指標乃為：原料選擇、能源使用、污染物、生態衝擊及人體健康(圖-7)，然後再從而在每個環境衝擊指標之中，建立起每個環境衝擊指標之準則(表-10)。

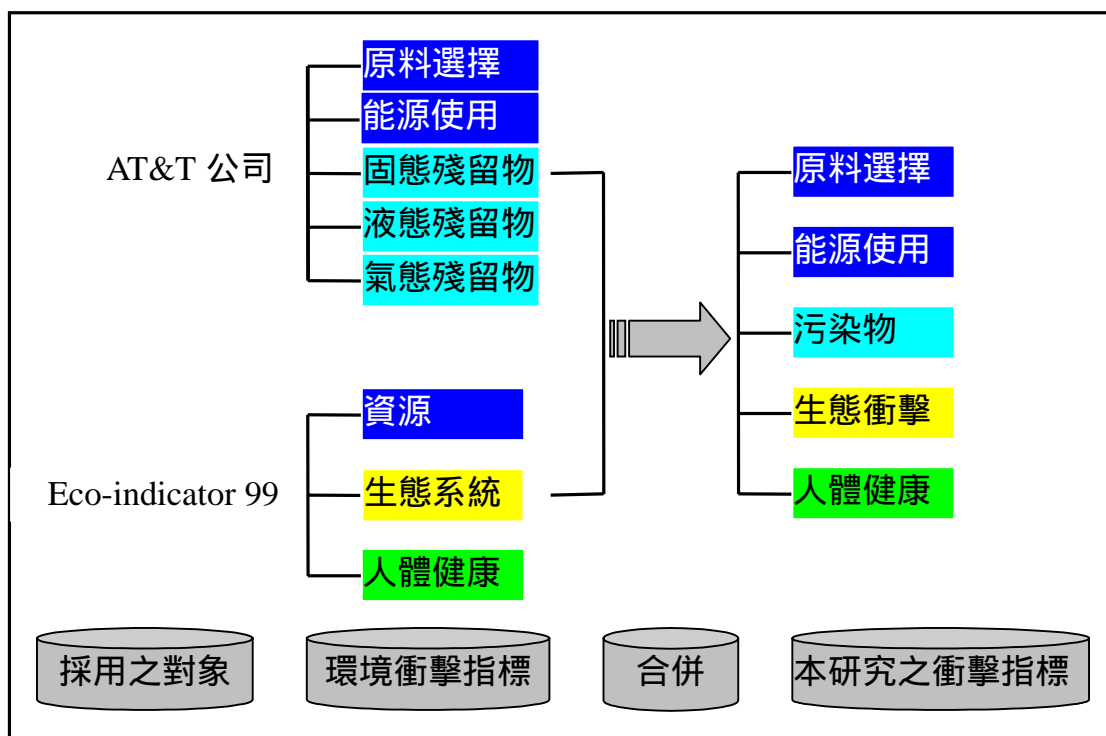


圖-7 本研究架構之環境衝擊指標示意圖

表-10 環境衝擊指標之準則

環境衝擊	準則
原料選擇	<ul style="list-style-type: none"> ➢使用少量的原始材料 ➢避免有害物質的使用 ➢強調單一原料
能源使用	<ul style="list-style-type: none"> ➢避免密集度高的能源使用 ➢鼓勵可再生的替代能源的使用(如汽電共生、廢熱等) ➢提升產品的能源效率
污染物	<ul style="list-style-type: none"> ➢降低固體廢棄物產生 ➢降低液體廢棄物產生 ➢降低氣體廢棄物產生 ➢落實回收再利用的執行 ➢減少不必要的包裝材料 ➢強調去物質化產品(如租賃)的特性

生態衝擊	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 避免對生態產生危害之行為 ➢ 避免酸化與優養化物質的排放 ➢ 避免對生物棲息地的破壞 ➢ 避免臭氧層破壞物質的排放
人體健康	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 避免致癌物質的排放 ➢ 避免放射性物質的排放 ➢ 避免毒性及有害物質的排放 ➢ 空氣污染相關問題 ➢ 噪音問題

(資料來源：參考自Graedel, 1998; Goedkoop et al., 2000)

(3) 權重(Weighting)

一般而言，權重(Weighting)的給法最有其爭議性，因為在整個衝擊評估架構之中，權重會影響整個評估的結果。為了讓此評估軟體較具彈性空間，在整個權重的分配上分為兩大方面，一者為既定的設定值；二者是讓自評人自行設定權重值。自評者自行設定權重，是因為自評者對其所要評估的產品有一定的程度了解，也較能知道什麼產品在什麼生命階段的環境衝擊較大或較小，所以經由這樣的權重設定方式，評估之後的代表性是較客觀。

五、結果與討論

(一) 研究成果

生命週期是一個非常好的概念，因此 LCA 被視為是企業在環境管理上相當好的輔助工具之一，但由於目前企業本身在數據資料、成本、技術、時間等因素上的考量。使得自 1994 年起，由台灣科技大學開始進行我國第一個關於 LCA 的研究計畫(生命週期評估發展之範疇與架構)以來，不管在運用或研究上，似乎仍侷限在學術及研究單位居多，在企業方面還只是少數幾個單位在使用而已。

以現今的過渡時期，國內資料庫仍在累積的階段，所以是較不適合用像 GaBi 或 Simapro 等需要龐大資料的軟體。但如果等到國內建立起一定規模的資料庫後，就可以使用像 GaBi 或 Simapro 這種準確程度相當好的軟體，所以在目前的情形我們是較建議使用簡化式生命週期評估。為了讓企業在諸多考量下選擇最洽當的工具，本研究在設計此軟體時的，是希望設計出來的軟體是較能夠符合企業的觀點，因此我們讓整個軟體保有較大的彈性，讓企業可以很容易的作為產品開發的輔助工具，迅速的找出環境衝擊的層面，並以一種「持續改善」的觀念，作為軟體的主要精神。本研究成果如下：

- 藉由分析比較目前國際間已經發展，並在跨國企業普遍使用的多套以矩陣評分法為主的系統，發產出一套可以普遍適合國內企業從事為環境設計(Design for Environment)的實用軟體。
- 了解生命週期評估的簡化作業，以及簡化的各種做法與適用時機。
- 建立生命週期評估的簡化程序，完成一套易學易懂的視窗版簡化生命週期評估的資訊系統。
- 建立評估架構中的權重設定問題及不同之評估準則，來評定產品的績效分數。

將每一元素給分的準則建議，內建到軟體系統之中，以供使用者隨時參考。

目前已建置一套簡易操作的視窗版軟體，其主要的介面如下之圖- 8, 圖- 9, 圖-10,

圖- 11 所示。



圖- 8 設定執行專案資料之介面



圖- 9 進行 5x5 矩陣模式之資料盤查



圖-10 不同生命週期之環境衝擊給分

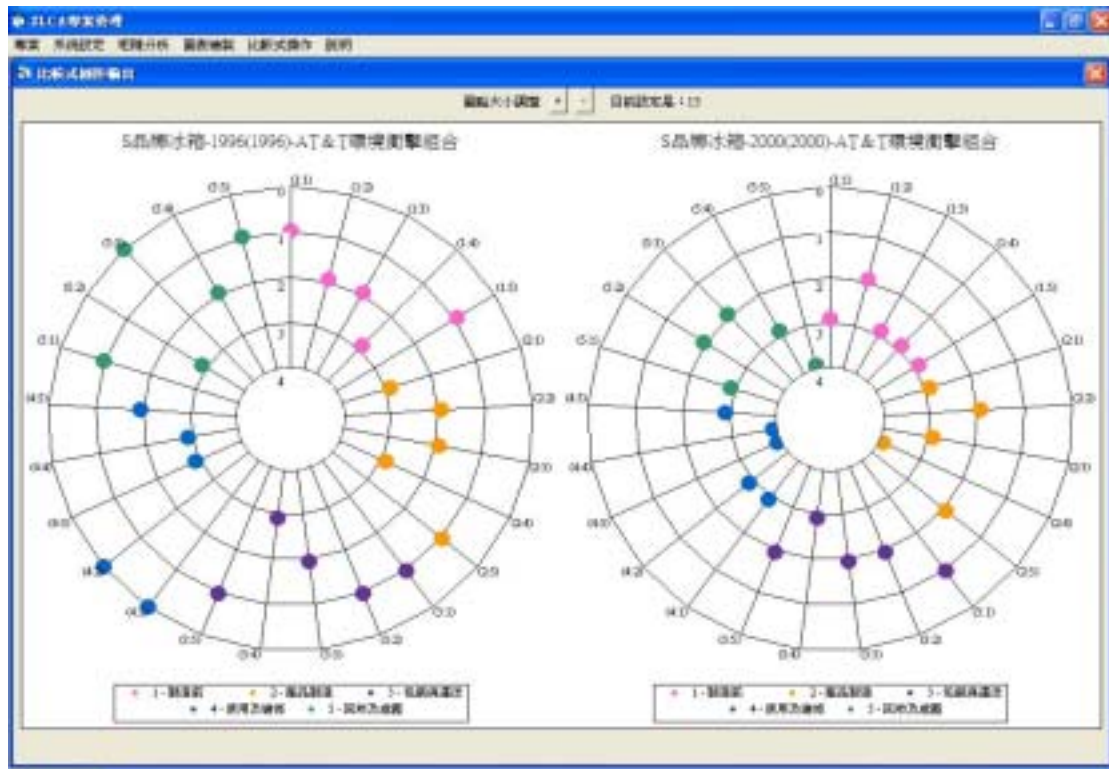


圖- 11 以標靶圖呈現出評估後之結果

(二)結論及後續研究建議

本研究目前只完成環境化設計之簡化式生命週期評估軟體的建置,接著將藉由實際案例之運用,來修正軟體不足之處,進而協助企業在綠色產品的設計上。下列則為本研究的建議及後續研究的主要方向:

目前該軟體已有實際作為企業運用之實例,但其最終成果尚在整理之中。產品環境化設計不應只侷限於環境衝擊面,也應將產品成本、功能性與美觀等觀點納入。因此為讓該軟體更加完善,應該將環境面以外的準則建構至軟體之中。

繼續尋求與更多企業使用之機會,並藉此來修正軟體的缺失,使其更備完善。任何一項工具的運用,皆有賴於預定目標、範圍、技術及成本等因素的考量。因此當企業對完整 LCA 尚未具備熟稔知識之過渡時期,以生命週期概念為基礎的 SLCA,應該是較適合企業。

致謝 - 本研究承行政院國家科學委員會補助研究經費(計畫編號: NSC 91-2621-Z-343-001),特此致謝。

五、參考資料

(一)英文

1. Christiansen K.(1997) Simplifying LCA: Just a Cut? Brussels, SETAC-Europe

Working Group of LCA.

2. Fiksel, J. (1996) Design for Environment-Creating Eco-Efficient Product and Processes, McGraw-Hill, pp.49~59.
3. Frankl, P. and F. Rubik (2000) Life Cycle Assessment in Industry and Business, Germany, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.20-30.
4. Goedkoop, M. Effting. S. and M. Collignon.(2000)The Eco-indicator 99: A Damage Oriented Method for Life-Cycle Impact Assessment- Manual for Designers, Second Edition, PRé Consultants, pp15-17.
5. Graedel, T. E.(1998) "Streamlined Life-Cycle Assessment", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp.90~97.
6. Herrmann, J. W., Sandborn, P. A. and L. C. Schmidt.(2002)Applying Decision Production Systems to Improve Environmentally Responsible Product Development, Maryland University, College Park.
7. Hill, S. R.(2001) Product Innovation The Green Advantage :An Introduction to Design for Environment for Australian Business, Australia, pp5-7.
8. Motorola Inc.(1998) The Journey to a Sustainable World-Environmental, Health and Safety Results for 1998. USA, pp.14.
9. Noesen, S.(1993).Dow Chemical Company, Personal Communication.
10. SETAC.(1993). Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice" Workshop Report from Sesimbra, Brussels.
11. Todd, J, A. and Mary A. C,(1999) Streamlined Life-Cycle Assessment: A Final Report from the SETAC North America, Streamlined LCA Workgroup, USA, pp.16~20.
12. USEPA(1997). Streamlining Life Cycle Assessment: Concept, Evaluation of Methods, and Recommendations (Draft Report).
13. Van der Berg, N. W. Huppes, G. and C. E. Dutilh(1996).Beginning LCA : A Dutch Guide to Environmental Life-Cycle Assessment-Environmental Life-Cycle Assessment, pp.17.4-17.5, Netherlands.
14. Weitz, K.A., Todd, J.A., Curran, M.A., and M.J. Malkin.(1999) Streaming Life Cycle Assessment, Considerations and a Report on the State of the Practice, International J. of LCA, 1(2), 79-85.
15. Yarwood, J. M. and P. D. Eagan, "Design for the Environment" -A Competitive Edge for the Future, Madison, pp.6~9, 1998.

(二)中文

1. 王正輝(2002) , 電子及資訊產品發展新省思-綠色電子資訊 , 第七期 , 經濟部技術處 , pp.7-1。
2. 呂穎彬 (2003) "亞洲各國生命週期評估技術之發展比較", 2003 永續性產品與產業管理研討會 , 成功大學 , 中華民國九十二年三月二十二日。
3. 顧洋, 本土化生命週期評估技術及其應用研究, 永續發展科技與政策研討會, 台灣 , pp.651~659 , 2002。