

環保策略工具—生命週期評析技術 之內涵及發展現況

高惠玲* 盧明俊** 周幼寧***

摘要

環境保護之推行日新月異，以國際發展趨勢而言，目前正在進行之環保新觀念為清潔生產技術；生命週期評析為清潔生產技術中，對產品生產之基本要求，因為其著眼於產品全生命之能源、資源及環境問題的解決，較現有之環境管制方式更能實際地掌握環境保護及資源保育的目標與原則。

然而各先進國家及產業界基於一國之環保法規只能約束其本國的產業而對其他無污染防治投資國家沒有約束力，所以造成兩國產品之不公平競爭。國際標準組織(ISO)乃為了整合各國的環境管理制度，擬建立一套全球共通的環境管理標準，所以在1992年成立了一個技術委員會TC 207，來從事這項定名為ISO-14000的制定工作，並預計在1996年完成初稿。

本文主旨旨在說明產品生命週期評析之意義與內容，同時也進行生命週期評析之發展歷史回顧，及探討近幾年之技術發展現況，並簡單的說明TC 207組織架構，以傳達完整的生命週期評析概念。

【關鍵詞】

1. 生命週期評析(Life Cycle Assessment,LCA)
2. 永續發展(Sustainable Development)
3. ISO-14000

*工業技術研究院能源與資源研究所副研究員

**工業技術研究院能源與資源研究所研究員

***工業技術研究院能源與資源研究所研究員兼主任

一、前　　言

「寂靜的春天」一書，引爆全球的環境意識，70年代初期的能源危機促使世人覺醒節約能源之必要性；然而環保問題的複雜性與日俱增，以往採用管末解決眼前環保問題的方式，已無法真正的解決問題，世人開始了解與其做管末處理不如由污染預防著手，如果能兼顧經濟發展及環境保護以達成經濟合理、技術可行及環境可容的永續發展，我們才能讓世世代代的子孫享有繁榮富庶的生活，因為發展的真義是全體人類與整個社會的共同發展，環境與生產是可以相容共存的。過去經濟不斷的發展，卻也不斷的犧牲自然資源與環境，有人認為為了保護環境必須犧牲經濟成長，但先進國家如抑止經濟成長，將間接阻礙後進國家的經濟成長，我們不能沒有工業，也不能沒有經濟發展，因此里約會議和21世紀議程提出經濟發展和環境保護應視為同等重要，國家建設、生產活動和消費行為都必須遵守資源保育和污染預防的原則⁽¹⁾。

「我們只有一個地球」、「人類與地球共生共榮」、「為下一代留下潔淨的生存空間」、「響應資源回收」等口號，不斷的提醒我們必須兼顧經濟發展與環境保護、資源保育；我們從中體認了污染預防值得做(pollution prevention pays)，也知道污染源若能從源頭減少或進一步回收再利用，不僅可減少污染並可把廢棄物轉換成資源，藉由推廣污染預防來達成永續發展。多年來大家不斷的努力實行永續發展，但是我們所得到的只是了解什麼是非永續性，而無法保證達成永續發展目標。所以當我們在設計永續發展模式時，我們要增強對生產過程中所有能源、原料之投入及對環境之影響的了解，隨時修正舊觀念與作法，應用最佳的自然科學、技術、經濟學、及社會科學來確保發展計畫的擬定與執行。

為朝向生產對環境較為友善的產品或採用較乾淨的製程生產產品以達永續發展目標，先進國家政府及企業界正致力於發展一套較清潔之生產技術與方法(Cleaner Production Technology)以減輕環境負荷。由於產品生產由原料取得、製造到消費、廢棄等一連串過程都需要投入資源及產生環境負荷，為能有效掌握每一階段投入與產出值及完整分析生產之總原料、能源消耗及污染排放。生命週期評析(Life-Cycle Assessment, LCA)的觀念已廣為提出，並將之應用於分析、評估及促進生產體系對環境衝擊的研究方法及技術中⁽²⁾。

然而各先進國家及產業界基於一國之環保法規只能約束其本國的產業，而對其他沒有污染防治投資國家沒有約束力，所以造成兩國產品之不公平競爭，故各國紛紛制定各種不同型式的環境管理制度來加以規範。國際標準組織(ISO)為了整合各國的環境管理制度，擬建立一套全球共通的環境管理標準，所以在1992年成立了一個技術委員會TC 207，來從事這項定名為 ISO-14000 的制定工作，並預計在 1996 年完成初稿。ISO-14000 的內容除了環境管理系統(Environmental Management Systems)外，還包括了環境查核(Environmental Auditing)、生命週期評析(Life-Cycle Assessment)、環境績效評估(Environmental Performance Evaluation)及產品的環保標準(Environmental Aspects in Product Standards)及環保標章(Eco-labeling)等。因此推行生命週期評析，必須連帶的符合 ISO-14000/TC 207 之標準，以使其通過認證，因此有必要密切注意其制定進度及發展趨勢⁽³⁾。

二、生命週期評析之意義

美國環境毒物及化學協會(SETAC)成立於1979年，擁有2,500個會員，從事於環境問題、自然資源之管理及規範等工作，同時也是唯一集合環境專家、工程師、學者、政府官員、產業界代表及利益團體共同解決環境問題的專業組織。1990年美國環境毒物及化學協會開始進行生命週期評析之研究，並不斷召

開會議研討生命週期方法論及架構，目前已達成初步共識及一致的結論，而且已廣為接受成為世界各國進行生命週期評析之參考準則⁽⁴⁾。

根據美國環境毒物及化學協會(SETAC)所做的定義，生命週期評析是一個衡量產品生產或人類活動所伴隨之環境負荷的工具，不僅要知道整個生產過程的能量、原料需求量及環境的排放量，還要將這些能量、原料及排放量所造成的影響予以評估提出改善的機會及方法。換句話說生命週期評析也就是一種產品或服務；是一種由搖籃到墳墓產生之總環境影響的評估工具。

由此定義可發現，生命週期評析為一種環境策略規劃工具，其評估的對象為特定產品，評估範圍則由生產最初之原料取得到產品消費用罄予以廢棄的一連串過程。進行生命週期評析的目的，在為產品生產建立一套完整能源與資源耗用及污染或廢棄量的資料庫，以便從中規劃最佳的管理策略，減少能源與資源的使用量，降低對環境所造成的傷害，並提出改善之道，達成清潔生產的目標，也使產品的形象更加健康，使經濟發展與環境保護並行不悖，以完成永續發展的事業。

三、生命週期評析之架構

生命週期評析主要分為四大部份：定義目標及界定範圍(goal definition and scoping)、盤查分析(inventory analysis)、影響評析(impact assessment)、及改善評析(improvement assessment)，以下將分別說明其內容⁽⁵⁾。

3.1 定義目標及界定範圍⁽⁴⁾

在進行研究前，第一步要先定義目標及界定範圍，以便對研究目的、研究對象及事先要準備的條件有所了解，這樣的了解會影響研究的方向及深度。定義目標及界定範圍包括幾項工作：定義研究目的、定義研究範圍、建立衡量單位及資料品質評析。在此階段必先確認有那些資料及資訊必須蒐集以便進行接下來的盤查、影響及改善分析。

1.定義研究目的

定義研究目的時，應清楚明確地說明進行生命週期評析的理由及成果如何提供更進一步地應用，應分辨研究結果可提供何種決策基礎？什麼資訊是必要的？詳細程度如何？及目的為何？

2. 定義研究範圍

定義研究範圍時，應先定義體系(system)、範圍(boundary)、所需資料(data requirements)、假設(assumptions)及限制(limitation)。研究範圍必須相當詳盡地界定以確保研究寬度及深度符合研究目的。所有的範圍、方法論、資料類別及假設必須清楚明瞭地說明，除了估計資料的平均值外，資料的變異性也應納入估計，有一點必須強調就是整個生命週期階段中，範圍須隨資訊的添加而隨時修正及改良。

3. 建立衡量單位

建立衡量單位可衡量體系功能，避免目的及範圍界定模糊不清。此時必須清楚的定義、衡量、並切合投入與產出資料；在比較研究中，體系應有相同的功能才能互相比較。

4. 資料品質評析

資料品質評析為生命週期評析之整合性分析，資料應達成何種品質須清楚定義，才能進行有效的評析。資料品質評析為個別投入產出資料之可靠度的指標，由於最終決策乃依據整個資料而來，須要求資料品質之可靠度，因而此步驟不可或缺。

3.2 生命週期盤查分析⁽⁴⁾

生命週期盤查(Life Cycle Inventory, LCI)技術發展已臻完備，但盤查分析只是生命週期評析的一部分，並無法單獨成為一個完整的生命週期評析。盤查分析是一種技術性的、以資料為基礎的分析方法，將產品或活動中整個生命週期之能源與原料需求、氣體排放物、水體排放物、固體廢棄物及其他排放資料予以量化。盤查分析可分辨及量化減少生產及包裝原料或活動所引發之環境衝擊，同時也可評估因創造永續發展之資源管理設計所造成之衝擊程度。

盤查分析的方法首先是定義盤查目標及範圍，接著是產品或體系資料蒐集，將蒐集所得的資料納入電腦模型中，以決定整個體系的運作結果，分析初

步結果檢討體系範圍，將不切合研究目的之體系範圍予以調整擴充或縮小，最後則為發表資料或資訊及解釋最終結果。

盤查分析開始於原料取得，持續進行到最終產品消費及棄置，其步驟如下：

- (1)定義盤查目標及界定盤查範圍
- (2)定義體系範圍
- (3)製作盤查檢視表
- (4)邀集相關人員檢討工作流程
- (5)蒐集資料
- (6)建立標準化資料
- (7)建立計算模型
- (8)發表結果
- (9)結果解釋及推廣

3.3 影響評析⁽⁶⁾

影響評析是一種技術化的、數量化的、質量化的程序，將盤查過程所認定之環境影響予以分類及評估，目前影響評析仍處發展階段，並未獲得一致的方法論；一般分為三個步驟：分類(classification)、特徵化(characterization) 及評估(valuation)。

1.分類：將盤查分析所獲得的資料依影響類別加以分門別類。

通常在環保領域中，大致將環境影響分為資源耗用、人體健康及生態健全三項，一般在定義特定的影響類別時，以環境科學知識為著眼點進行。分類的結果可以表列方式表示，表中說明特定分類項目與保護議題之關聯，同時在分類中應將直接與間接效果都包含在內。

2.特徵化：將影響類別中，完成分類的部分予以分析、量化及加總其影響。

目前之發展趨勢傾向於在不同的影響類別中，找出相同的影響因子，但此方法並未直接衡量其結果，所以特徵化的進一步發展是將每一類別之加總資料與實際的影響大小予以標準化，以利不同影響類別之間的比較。若欲引用影響評析的結果，則必須將其依據充分地在研究報告中說明。

3.評估：將不同影響類別的促成因子予以加權，以便不同類別彼此之間互相比較。

此步驟的目的在進一步解釋及加總影響評析的資料，若有兩個或以上的體系互相比較，例如某一個體系統對溫室效應的促成較另一個體系少，但第二個體系的毒物排放風險小於第一個體系，此時應將不同類別的相對重要性予以評估才是。

3.4 改善評析⁽⁷⁾

改善評析為生命週期評析的最後一個工作，同時也是展現最終結果的工具，改善評析與一般的品質管理差別在於改善評析能將環境影響予以模式化；以環境觀點而言，對現有產品進行改善評析類似設計新產品，不僅要認定減輕環境負擔的方法，還要建立產品廢棄物排放之最低標準，以減輕對環境所造成危害。目前改善評析的方法論尚未獲得一致的結論，也未見文件發表，然而其為生命週期評析之一項要素已不容懷疑。

改善評析在於認定、評估及選擇有助於改善環境的方法，因而盤查分析結果可反映那些方面可幫助改善環境、減輕對環境的衝擊，例如：

- 極小化能源與原料的消耗，提高能源與原料使用效率。
- 具累積性及持續性的化學物質採封閉式體系利用。
- 極小化任何活動對物種危害及棲息地之破壞程度，採用較好的製造方法，以確保物種及棲息地之完整。
- 極小化廢棄物排放，改善回收體系以利於廢棄物回收利用。

進行改善評析之步驟如下：

- (1)定義改善策略目標
- (2)列出較具優勢的環境改善策略
- (3)應用生命週期盤查檢查表
- (4)重新檢討改善策略
- (5)建立其他選擇機會之評估方法
- (6)產品設計最適化

以圖形表示生命週期結構如下：

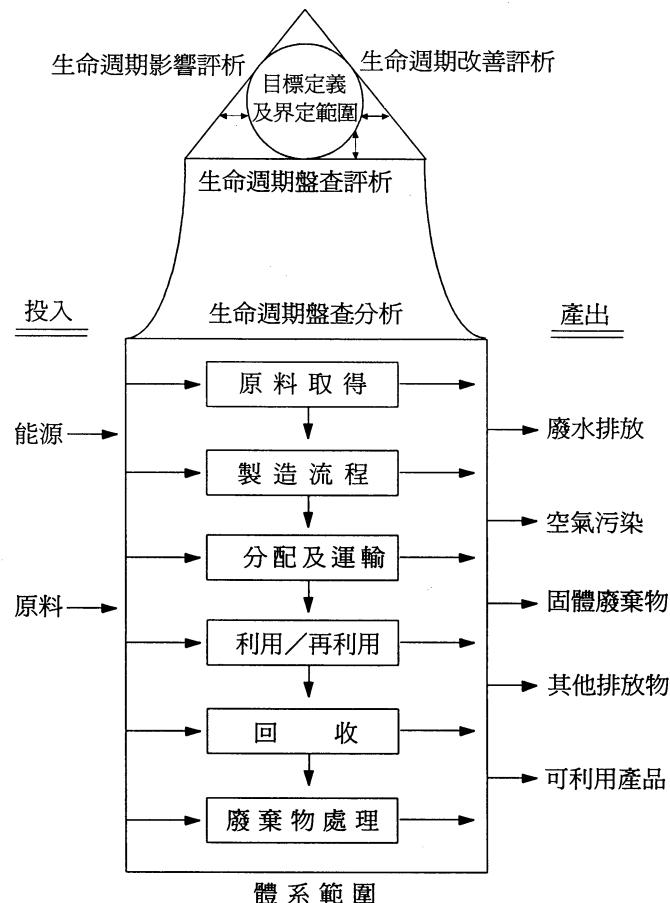


圖1 生命週期結構

以圖形表示 LCA 各項要素之關聯如下：

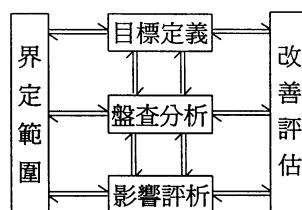


圖2 LCA要素之關聯

實際進行生命週期評析可以生態面、經濟面及技術面三方面著手，完整之生命週期評析架構如圖 3 所示。在生態面之環境生命週期分析中，進行原料選擇、能源使用及污染排放、廢棄物質資料之盤查分析；風險分析、環境影響評估等之影響評析；以及觀察市場以利改善評析。在經濟面之成本生命週期分析中，進行替代成本、預測成本及真實成本之盤查分析；成本節省、市場效益、及適應性之影響評估；以及成本效益分析以利改善評析。在技術面之技術生命週期分析中，進行強度、重量、績效等資料之盤查分析；結構、生命間距、功能等之影響評析；以及採取管理觀點進行改善評析。

四、生命週期評析發展歷史⁽⁸⁾

生命週期評析最早開始於 1960 年代，其目的是研究在有限的原料和能源情況下，如何規劃其供給及利用方式。Harold Smith (1963) 在世界能源研討會中首次提出計算化學產品及其中間產出之總合能源需求的報告。

1960年代末期，世界上各地區也有不少人在研究全球性的原料及能源需求的模型設計，這些研究希望預測人口變動趨勢及人口變動趨勢對原料及能源之需求有何影響，研究的結果分別發表在Meadow等人的「成長極限」一書中，及羅馬俱樂部文件「生存的藍圖 (blueprint for survival)」中。這些研究結果認為原料和能源需求會明顯地耗盡化石燃料，廢熱氣會導致全球溫室效應，融化南北極的冰臺，並產生氣候的變遷；這樣的預測結果令人震驚，也喚起人們更進一步研究工業製程之能源需求的興趣。

1969年美國可口可樂公司對不同材質的飲料包裝進行比較研究，研究中將每一種容器在製程中所投入之原料、燃料及所產生的環境負荷予以量化，再加以比較，依比較結果決定使用對環境及自然資源利用影響最小的容器。

一些美國及歐洲的公司在1970年代早期也有進行類似的生命週期盤查比較，此時期由於特定產業的資料不易獲得，大部分都採用官方發佈的資料或是技術性文章中的資料。

盤查分析		影響評析	改善評析
驗證能源與原料流程		量化能源與原料流程	生態的重要性
步驟一		步驟二	步驟三
生態		<ul style="list-style-type: none"> • 原料選擇 → • 能源使用 • 污染排放 • 廢棄物質 	<ul style="list-style-type: none"> • 風險分析 → • 環境影響評估 <p>→市場觀察</p> <p>→環境生命周期分析</p>
		<ul style="list-style-type: none"> • 替代成本 → • 預測成本 • 實際成本 	<ul style="list-style-type: none"> • 成本節省 → • 市場效益 • 適應性 <p>→成本生命週期分析</p>
		<ul style="list-style-type: none"> • 強度 → • 重量 • 績效 	<ul style="list-style-type: none"> • 結構 → • 生命間距 • 功能 <p>→管理觀點</p> <p>→技術生命週期分析</p>

圖3 生命週期評析之整體結構

1960及1970年代，美國有12個「燃料循環(fuel cycle)」的研究，估計不同能源來源之成本及其對環境的涵意；雖然這些研究的焦點集中在能源，但在研究中也估計氣體排放物、固體廢棄物及液體排放物的影響。美國未來資源組織(Resource for the Future)及美國環保署也進行幾項成本極小化的研究包括紙漿及製紙業、煉油、及鋼鐵業之原料與能源需求及成本的計算，其研究資料來源有初級資料及次級資料。

1970年到1975年因石油危機，美國有15個能源與環境描述分析報告(Resource and Environmental Profile Analysis,REPA)完成，因為這些報告將資源使用及環境排放予以量化，因此發表後即成為矚目之點。歐洲特將能源與環境描述分析觀念稱之為生態平衡；此時期這樣的方法論已著手進行，其為一種多步驟的方法，內有很多的假設，美國環保署和主要的業界代表不斷地檢討其假設及使用的技術，以使方法論及結果更加合理；雖然這些與能源相關之研究價值遭到懷疑，但因石油危機使政治情勢大幅轉變，促使美國與英國政府大幅調查工業體系，這樣的調查工作提供很多原料及固體廢棄物的資料，由於能源分析需要建立詳盡的質能平衡資料以利計算，調查所得的資料恰好符合所需，使得生命週期盤查之研究未因與能源相關之研究受質疑而中斷。

1975年到1980年間，石油危機的記憶逐漸消退，雖然美國、英國、瑞士、北歐及德國仍繼續能源之研究，但能源分析的興趣已見滑落。在這個時期中，環境問題的注意力轉向有害廢棄物的處理，然而生命週期評析的研究並未中斷，但一年僅二個能源需求之研究成果發表。1980年受到綠色運動運的影響，及歐洲綠色政團之成立，生命週期評析再度搬上檯面，歐洲議會(The European Commission)成立一個環境指導會(Environment Directorate，DGXI)雖然其主要的工作為全歐洲之污染法規標準化，但1985年頒布容器訓令(Container Directive)，向液體食物容器之會員公司徵收費用，監督其生產液體食物容器及容器廢棄過程之能源與原料消耗及固體廢棄物之製造量，從此生命週期評析蓄勢待發。

1988年固體廢棄物成為世界性的政治議題，全球對空氣與水污染問題及廢棄物處理策略的注意力增加，綠色運動團體也要求促進回收，在這些壓力下，氣體、固體及液體排放物已加入生命週期評析的能源、原料及固體廢棄物盤查

研究中，近幾年此領域之研究活動正顯著增加，北美及歐洲一些究研機構更進一步的改善及拓展生命週期評析的方法論，更將研究興趣延伸到資源利用與環境排放之影響分析，拓展生命週期評析方法到一個新境界。

目前歐洲之生命週期評析方法由Midwest Research Institute及Arthur D. Little, Inc. 廣為發展，其發展是依早期能源與環境描述分析研究而來，因而能源與環境描述分析之發展模式成為現代生命週期評析之發展基礎。

過去三年間，美國環境毒物及化學協會致力於發表生命週期評析技術，舉辦多次會議研討整個技術架構、影響評析及資料品質以便建立方法論及令人接受的實際操作方式。

經過20年的轉變，生命週期評析目前已成為技術及規畫之重要工具，不容懷疑的是，1990年伊拉克入侵科威特，西方工業國家因而石油短缺，再如垃圾無處傾倒及其他重要的環境議題如臭氧層破洞等問題，再次突顯生命週期評析之重要性與必要性。

五、生命週期評析技術現況

生命週期評析技術一般原則上認為起始於1960年代，當時以能源消費為探討焦點。經20年不斷的更新與發展，生命週期評析之方法論已呈現一番新的風貌，為使此部分的技術現況說明能著重於生命週期評析之方法論，因此避開所有與生命週期評析發展歷史相關之文獻，而僅就近二年最新之方法論作簡單的介紹及針對已發表之生命週期評析實例進行概略性的說明。

5.1 產品生命週期評析－原則及方法論⁽⁹⁾

1992年北歐環境部長議會(The Nordic Council of Ministers)資助出版「產品生命週期評析－原則及方法論」，內容包括 Lindfors所作的產品生命週期評析觀念的介紹，Pedersen and Christiansen回顧六篇過去所發展之產品生命週期評析之文獻回顧，並加以整理分類成為一個有系統、清晰易懂的文獻回顧；這也是不須在此處進行1992年以前之文獻回顧的原因之一。Finnveden and Lindfors研究生命週期評析之應用，包括進行生命週期評析之必要成果及預期

成果，這項研究以訪問方式進行，受訪者為來自北歐國家潛在之生命週期評析工具使用者，共有13個代表來自官方，18個代表業界或其他組織，訪問的問題是關於應用面、預期面及方法論等方面。

Tomas等人研究生命週期評析之盤查分析方法論及資料庫，並將資料庫的架構顯示在文中，生命週期評析的結果能做為環境決策的基礎，但通常資料蒐集及處理非常困難，而且要花費相當多的時間，因而生命週期盤查之研究頗為艱辛。

Finnveden等人探討影響評析部分，文中簡單回顧盤查資料加總的方法，並做成結論：沒有一個體系能成為一個完整且一致的分類體系。因而提出一個部分分類體系架構，包括類別名稱、影響的定義、衡量方法，類別則區分為全球暖化、臭氧層破洞、酸雨等。

本書中最後兩個單元為生命週期評析之兩個特例說明，其一為健康面的影響，包括大眾健康及職業健康，另一為廢棄物掩埋的部分，因為都市固體廢棄物及灰塵之探討在生命週期評析中常被忽略，因此予以提出。

書中附錄提出三個評估排放物及資源使用的方法，並比較此三種方法；此三種方法為：生態稀少性法(The Ecological Scarcity Method)，加權環境議題法(The Weighted Environmental Theme Method)及產品設計之環境優先策略法(Enviromental Priority Strategies in Product Design)。

5.2 生命週期評析：盤查指導和原則⁽⁸⁾

美國環保署研發部門之降低風險工程研究室，1992年在Curran的主持下完成一份計畫報告“生命週期評析：盤查指導和原則”。這份報告中描述三個生命週期評析的要素—盤查分析、影響分析及改善分析及界定範圍的活動，並簡短的回顧生命週期評析程序的發展以及為產品生命週期評析之執行提供指導與原則。文中將生命週期的主要階段分為原料取得、製造(包括原料製造、產品裝配、及填充／包裝／分配)、消費者使用／再利用／維修、及回收／廢棄物處理四個階段，這與美國環境毒物與化學學會所作的區分有別，美國環境毒物與化學協會將生命週期評析階段區分為原料取得、製造流程、分配及運輸利用／再利／維修、回收及廢棄物處理，不同的原因在於這份文件目的在指導

生命週期盤查分析之資訊蒐集及聚集資訊，因而將與各階段能源及原料移動有關之運輸階段，分散到各階段中，而不予以獨立成一個階段，雖然也有將與運輸相關之能源與排放分別獨立發表在結果報告中的作法，但此時應定義每一階段中運輸體系的型式及運輸距離；回收與廢棄物處理合併為一個階段的原因在於對原料而言，只是將其流向分為二而已，故予以合併。

報告中將進行生命週期盤查分析的基本步驟區分為：定義盤查目標與界定範圍、定義體系範圍、製作盤查檢視表、邀集相關人員檢討工作流程、蒐集資料、建立標準化資料、建立計算模型、發表結果、及結果解釋與推廣九項。

至於影響分析及改善分析仍有待更進一步之研究，而未在此報告中加以說明，僅將焦點完全放在盤查分析之重點及步驟上，可說是一份完整的生命週期盤查分析的指導原則。

美國環境毒物及化學協會1979年成立以來舉辦了很多與環境問題相關的研討會與座談會，會後出版論文集。最近兩年內與生命週期評析有關之會後報告可視為生命週期評析之最具代表性著作，主要有三本書在此予以回顧：「生命週期影響評析之觀念架構」(1992)、「生命週期評析指導」(1993)、以及「生命週期評析之技術架構」(1994；此為1991年第一版，1994增修之版本)。

5.3 生命週期評析之技術架構⁽⁴⁾

生命週期評析之技術架構一書，雖然為1994年增修版，但其根據1990年之座談會結論，故內容較舊；此書以盤查分析為探討對象，分別說明生命週期各階段由原料取得到最終廢棄物之盤查內容及重點，最後一章並探討盤查分析與影響分析、改善分析如何結合。書中提到生命週期評析仍處萌芽階段，方法論及研究進行仍須進一步的發展與修正，透過研討座談會所得到一致的看法認為生命週期評析可區分為盤查分析、影響分析、改善分析三項，這與前述美國環保署的報告觀念一致。

產品的生命週期分為六個階段：原料取得、製造流程、分配和運輸、利用／再利用／維修、回收及廢棄物處理。與會學者專家一致同意生命週期盤查分析仍有一些亟待克服的難題需解決，將這些難題歸納為資料庫之發展及盤查方法論更新兩大類。

資料庫之發展有幾項難題須克服：

- 建立資料品質的標準。
- 建立一般性的資料庫及指導原則，以利瞭解如何及何時使用資料較適當。
- 評估產業平均資料如何運用到盤查分析中。
- 建立更多的資料庫。

盤查方法論更新的難題為：

- 決定投入產出資料在什麼程度內有意義，及資料的應用方式。
- 建立廢棄資源及污染的標準。
- 發展一般性模型。
- 中間產品之投入產出分配方法之建立。
- 發展一套方法分配能源和排放物到環境媒介中。
- 資料變異程度估計方法之建立。
- 發展盤查分析中，敏感度分析的方法。
- 建立相關人員檢討之流程。
- 盤查分析方法標準化。
- 發展盤查分析結果的有效推廣方式。

5.4 生命週期影響評析之觀念架構⁽⁵⁾

生命週期影響評析之觀念架構一書，根據1992年2月所召開之生命週期影響評析座談會結果整理而成，與1990年之座談結果最大的區別在於將定義目標與界定範圍獨立成為生命週期評析之一部份，並將影響分析改為影響評析，改善分析改為改善評析。分析(analysis)與評析(assessment)的意義不同，分析只是將資料作蒐集整理工作，評析則除了分析外，並予以評價。定義目標與界定範圍會成為生命週期評析之一部分，原因在於與會學者專家認為如此有助於突顯生命週期評析及有助於範圍界定；同時另一項達成之共識為：界定範圍應發生在研究的每一階段中，主要原因是生命週期評析太過複雜，有隨階段修正範圍的必要。

影響評析中，環境影響之主要類別一般設為人體健康、生態健康及資源消耗三項，也有人提議第三項應改為社會福利改變伴隨之資源消耗的影響，或將社會福利變化視為第四個影響類別。

本書的最終結論是，影響評析工具或程序已發展了一部分，然而影響評析仍處於萌芽狀態，科學上實際應用的生命週期評析方法仍須投入很多研究才能完成，未來生命週期評析的努力方向如下：

- (1)做長期(數年)的研究，以確保有效的生命週期評析工具及方法論之發展。
- (2)應以個案研究方式驗證影響評析步驟的有效性。
- (3)引進其他領域的資訊到生命週期評析中，其範圍應嚴格的審查。
- (4)研究環境影響之因果關係。
- (5)資源消耗之影響應予以量化，評估方法需建立。
- (6)應用不同的決策理論到生命週期評析時須嚴格審查。
- (7)社會活動對生態、人體健康及資源消耗的影響須進一步研究，將其納入生命週期評析之方法也要再評估。

5.5 生命週期評析指南⁽⁶⁾

生命週期評析指南為1993年3月31～4月3日所召開之研討會所做成的成果報告，出版日期為1994年2月，這次座談會由來自13個國家50位專家所組成。這次會議中已將生命週期盤查分析之完整風貌呈現出來，但影響評析，仍處於理論的發展，而改善評析更只是觀念沒有實際的方法被提出。

此書與前述之二本書中不同之處，在於提出生命週期評析之發表及推廣的指導原則。它不是一部詳盡方法論的文獻，只是進行回顧發表及使用生命週期評析之一般性原則及架構，以增加研究的品質及可靠度。

5.6 產品設計之環境優先策略(EPS)模式

產品設計之環境優先策略模式乃由瑞典發展完成，其特色為定義資源使用、污染排放及廢棄物製造之環境承載指數(environmental load index)，據此產品設計之環境優先策略體系能計算某特定產品對環境產生之所有衝擊，最值得一提的是產品設計之環境優先策略考慮到到生態面的影響。

3.8 環保策略工具—生命週期評析技術之內涵及發展現況

產品設計之環境優先策略包含：盤查、分類、特性描述及評估四部份。使用的軟體有：

1. 盤查方面利用生命週期評析盤查工具。
2. 評估方面利用EPS環境會計方法。簡單的產品設計之環境優先策略體系公式如下：

$$\text{環境承載指數} \times \text{數量} = \text{環境承載值}$$

環境承載指數：為一數值，顯示隨某特定量的產品或元素生產或人類活動所造成的整個環境承載力大小。

上列計算方法須符合下列幾點：

- 為全球性分析，包含自然資源的使用，並需與經濟面相連結。
- 能重覆計算。
- 能做敏感度分析及誤差分析。
- 能提供價值判斷。
- 有彈性，能隨時加入新的科學發明及盤查資料。
- 能瀏覽所有計算步驟，具有透明性及一致性。

5.7 全球環境管理機構之環境自我評析計畫 (ESAP)

全球環境管理機構之環境自我評析計畫為透過企業組織衡量及改善環境管理系統，注意力放在國際合作政策體系之設計和績效衡量。其所設定之環境管理原則如下：

1. 政策設定(policy setting)
 - 合作之優先順序(corporate priority)
 - 事前評析(prior assessment)
 - 產品和服務(product & service)
 - 預警方法分析(precautionary approach)
2. 體系和程序(system and procedure)
 - 整合管理(integrated management)
 - 設備和操作(facilities and operations)
 - 研究(research)
 - 緊急狀況之預先準備(emergency preparedness)

3.監督及報告(monitoring & reporting)

- 改善程序(process of improvement)
- 開放性考量(openness to concerns)
- 承諾及報告(compliance and reporting)

4.執行與教育(implementation and education)

- 員工教育(employee education)
- 消費者意見(customer advice)
- 承包商與供應商(contractor and suppliers)
- 技術移轉(transfer of technology)
- 一般的貢獻(contributing to the common effort)

生命週期評析方法，在環境保護上之應用，已如前述；然而細部之評估仍有待建立，目前極需建立一套完整的資料庫，因此盤查分析之完整及精確性為首要的工作目標，有了完整及精確的資料庫才能更進一步進行評估研究。

六、國際環境管理標準ISO-14000/TC 207之組織架構⁽³⁾

為了整合各國的環境管理制度，建立一套全球共通的環境管理標準，國際標準組織(ISO)在1992年成立了一個技術委員會(TC 207)。TC 207目前已有36個國家，3,000位專家參與，從事這項定名為ISO-14000的標準制定工作，並且預計在1996年完成初稿。TC 207其下設六個次級委員會(subcommittees,SC)及一個工作組織(working group 1,TC 207/WG 1)，其組織架構如圖4所示。

由圖4可發現ISO-14000的內容除了環境管理系統(Environmental Management Systems)外，還包括了環境查核(Environmental Auditing)、生命週期評析(Life Cycle Assessment)、環境績效評估(Environmental Performance Evaluation)及產品的環保標準(Environmental Aspects in Product Standards)及環保標章(Eco-labeling)等，ISO-14000的推行，不僅影響產業界的競爭力，更關係到全國環保工作的推行，實有必要密切注意其制定進度及發展趨勢。



圖4 ISO-14000/TC 207之組織架構

七、結語

生命週期評析技術近幾年蓬勃發展，已成為評估環保的工具之一，雖然在影響評析及改善評析方面，國際間尚未達成共識，然而就其目前的發展現況來看，生命週期評析技術將是未來產業界應刻不容緩推動的工作。

本文已簡單介紹生命週期評析技術內涵及其發展歷史與發展現況，由於生命週期評析是一項非常浩大的工作，實際進行仍需進一步做更深入的研究，同時，國際標準組織正積極的進行 ISO-14000的制定工作，未來進行生命週期評析勢必要符合其規範，才能獲得國際認同。

顯然，臺灣的環保工作還有很長遠的路要走，政府及民間都應該相互努力為環保進一份心力才是。

參考文獻

- 1.工研院能資所，里約會後的前瞻之路，國際環保通訊季刊第五期，民國83年7月。
- 2.蘇宗粲，清潔生產技術－工業界的新機會，清潔生產技術研討會民國83年9月。
- 3.工研院，產品生命週期評估的現況與課題，日本產業速報，83年6月。
- 4.SETAC, A Technical Framework for Life-Cycle Assessments, Feb. 1994.
- 5.SETAC, Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice', 1993.
- 6.SETAC, A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment, March 1993.
- 7.CSA, Life Cycle Assessment-Environmental Technology, Canadian Standards Association, Feb. 1994.
- 8.Vigon, B.W. et. al., Life-cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Risk Reduction Engineering Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA, Nov., 1992.
- 9.Nord Product, Life Cycle Assessments-Principles and Methodology, Sep. 1992.