

漫談生態工程與生態工法

◎林業試驗所集水區經營組·黃瓊瑜

前言

聯合國環境規劃署(United Nations Environment Programme, UNEP)管轄之下的國際環境科技中心(International Environmental Technology Centre, IETC)對於生態系的介紹中，有如是一段敘述：「就歷史來看，環境問題的產生乃根源於不適當的決策，以及不瞭解那些決策對環境的衝擊。故必須發展新的解決途徑，而且創新的技術發展和工程必須整合起來共同運作，以獲致社會、經濟和環境的利益。生態工程就是具整合性解決途徑之一例。」

從上述一段話中，可以得知人類文明在過去一段時間的快速發展，確實有耗費資源、污染環境、破壞生態平衡的不當行為，且愈演愈烈，若無適當方法予以阻止，恐將危及後代子孫生存之所依靠。而新的思維和新的解決途徑，必須是整合性的，生態工程本質上就具有這項特性，它的基本精神以順乎自然為首要，不是征服、亦非扭曲，而是從探討整個生態系的動態運作開始，避免在人為開發過程中，造成無可回復的損害。更積極而言，生態工程要結合各種領域、如森林、水保、地質、土木、社會、經濟等等，發展新的技術，復育已受損的生態系，促使瘠劣地、崩塌地、荒廢地、受污染地的更新利用。

生態工程和生態工法定義及發展沿革

基本上，生態工程(ecologic engineering, ecoengineering)和生態工法(ecotechnology,

ecoengineering methods)是有所區分的。茲將若干具有代表性的說明列示如下：

- Uhlamn(1983)：所謂「ecotechnology」係指基於對生態的深度認知，一種用於進行生態系管理的技術，其目的在於將執行相關措施的成本及其對環境造成的損害降至最低。
- Mitsch and Jorgensn(1989)：永續經營的生態系統的設計，使人類社會與其所在之自然環境都能受益。
- 行政院公共工程委員會：「生態工程(ecoengineering)係指人類基於對生態系統的深切認知，為落實生物多樣性保育及永續發展，採取以生態為基礎、安全為導向，減少對生態系統造成傷害的永續系統工程皆稱之。」(註：2006年之前的名稱為生態工法(Ecotechnology))
- 經濟部水利署：生態工程是基於對生態系統的深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取以生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害。

之所以對生態工程和生態工法的定義和內容有諸多歧異，是因為其發展過程歷時長遠，且在不同的地區不同的文化之下，有不同的需求之故。自二十世紀初歐洲地區拜工業發展之賜，社會經濟驟然起飛，但在提昇物質生活的豐富度之餘，卻也因各項需求接踵而至，必須大量開發自然資源以因應社會發展的步調，但是隨著森林野地的過度開發利用，大規模的災害因而接二連三發

生，包括雪崩、山崩、洪氾等。尤其阿爾卑斯山區臨近數國，因此被迫必須立即提出可行的因應之道。據此，1938年德國Seifer首先提出「近自然河溪整治」的概念，此不違反生態原則之治山防洪工程，可謂「生態工法」之濫觴。爾後，人類所必須面對的環境問題，已無法侷限於集水區之經營管理議題上。而事實證明，唯有不違反大自然的運行規則，以生態系為環境管理之基本單元的原則，方是根本解決之道，因此人類展開各種利用或遵循生態特質之技術的研究與研討。是故自1950年代起，生態化的工程技術逐漸開始朝不同的應用方向發展開來，以因應水質及水量等重大問題。因此，將生態的原則納入工程思維中，亦即水質淨化工程以及水利工程，自此獨立展開。1962年H.T. Odum等提出將自律行為(self-organizing activities)之生態學概念運用於工程中，首度提及「ecological engineering」一詞，其可謂第一個定義「ecological engineering」一詞的學者。Odum當年於一場研討會中，發表「Man in the ecosystem」一文，提出一以能量為基礎的觀點「在人類所操縱的環境中，利用一小部分額外的能量來控制一個主要能量，但仍源自於自然資源的系統。生態工程所應用的規則雖以自然生態系為出發點，但之後所衍生出的新系統將有別於原者」。他隨後在所著「Environment Power and Society」一書中，延伸生態工程概念為：「生態工程便是自然之經營管理，力圖以一獨特之觀點補強習慣工程，或可謂一種與大自然的夥伴關係(partnership)」。1983年，Odum在系統生態學的研究領域中，再次為生態工程下註解：

「這種融合生態系的新式工程設計便是一種利用自律行為系統的領域」。此外，Uhlmann(1983)Straskraba(1984)以及Straskraba與Gnauck(1985)等，亦開始重視此一新興的應用科學。上述學者認為：所謂「ecotechnology」係指基於對生態的深度認知，一種用於進行生態系管理的技術，其目的在於將執行相關措施的成本及其對環境造成的損害降至最低。直至1989年，生態學家Mitsch及Jorgensen彙整具有共同特質與原則之各類型工程技術並賦予定義，至此首次明確地界定「生態工程」(ecological engineering，書中亦混用ecotechnology一字)的觀念以及適用範疇，生態工程此一學門可謂正式誕生。

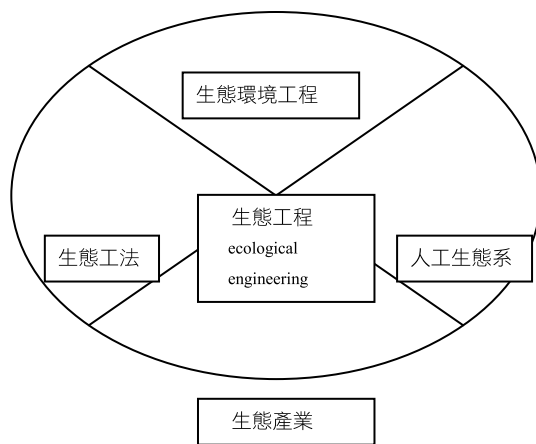


圖1 生態工程應用領域示意(黃瓊彬製)

生態工法與生態工程之尺度範疇

依Mitsch及Jorgensen(1989)之彙整，生態工程與生態工法是有層次上的不同，簡單的說，生態工法只是生態工程的一部份而已。生態工程包括四種類型(如圖1)：生態環境工程、人工生態系、生態產業、生態工法。因

此為釐清不同層次所包含的內容，兩者實不可混用，簡述如下。

- 生態環境工程：用生態系降低或解決在他處(或對其他生態系)造成嚴重傷害之污染問題
- 人工生態系：「仿」生態系或「複製」生態系以解決環境污染問題
- 生態工法：在嚴重人為干擾後，「協助」生態系恢復原貌
- 生態產業：在不危及生態平衡的前提下，利用生態系或生態資源，以供人類所需

從圖1所包括的範疇，可歸納出生態工程所要達成的目標有二：其一，對於被人為活動所帶來環境污染和土地擾動而遭到實質破壞的生態系，設法予以復舊。其二，發展嶄新兼有人類和生態價值的生態體系。更具體言之，就是將理論生態學(theoretical ecology)和應用生態學(applied ecology)緊密結合在一起，完成其一貫的核心標的。就體系的結構來看，生態工程談論的是基本立論和方向，樹立整合性的價值和規範，換句話說，是站在一個指導者的位階，使各相關學門互相配合、運作順暢。

生態工法則著眼於實務性的工作，其廣義的內涵是「為達到永續利用的目的，對周邊環境保存、維護、復舊、改良，所施作的工事，包括生物與非生物材料的應用」。狹義的內涵則為「取當地之可應用資材，在儘可能不破壞當地生態及環境景觀的原則下，對一般邊坡以及河溪，包括崩場地等特殊地形，所做之整治工程與措施」。所以針對該生態工法之定義內容，其主要精神在於：

「對生態系統之深切認知、落實生物

多樣性保育及永續發展、生態與安全並重、減輕對自然環境造成傷害。」在應用上，根據不同區域、不同目的及不同使用材料，由大尺度至小尺度，有三類不同規模的應用觀念，而具有的共通點是結合天然及人工資材，來創造健康的生態及景觀結構，它是有生命的動態結構而非硬的工程構體。故其包括的範疇依其涵蓋區域大小及性質可區分為：

1. 大區域綜合整治規劃方案
2. 以防治工法為主體的規劃方案
3. 以材料應用為主體的規劃方案



太麻里依麻林道之生態工法路面維護：應用地工材料蜂巢格網加級配夯實作為路基整治材料，其優點在於耐壓、抗沖蝕、透水性高，與周遭景物契合，且有利於草類著生(黃瓊彰攝)

生態工法之執行模式有一定的過程和檢核模式，所含之層面包括了各相關領域和學門，涵蓋自然和人文科學。簡要的說，其流程中需注意若干要項：

- 規劃區域與目標之確立(災害防治、棲地與特有生物之復育及保育、河川溪流整治、水土保持、環境綠美化)。
- 進行資料蒐集與基地分析時，必須同時與業主及相關團體進行溝通與討論。

- 進行基地生態系統環境調查時，應建立生態背景資料庫，以便後續之追蹤與調查。
- 依據規劃目標、自然與生態環境以及其他相關之各項因子，訂定設計準則，以利設計單位有依循之準則。

生態工法在觀念及實務上若干論點之探討

近幾年來，生態工法變成工程界不可或缺的萬靈丹，大小工程均需冠以生態工法，才得以名正言順。學術界也積極研究發表相關的理論及實際應用成果，從上到下幾乎陷入生態工法的漩渦之中。其實，形成一股推動生態工法的力量並非壞事，只要觀念正確、工法合宜、適地適性、落實務實，則必能改善自然環境及其生態，亦為永續發展盡一份心意。就怕只是套個名詞，計畫本身並未掌握生態工法的本質，最後只落到消化預算的窘境，甚至無益於國土復育，反而愈加重受災程度。

其實在台灣全面採用生態工法的環境尚未臻成熟，其中牽涉到自然條件的限制、地文水文因素不良、社會經濟發展的障礙、法令規章不周嚴、技術規範不完備、以及觀念和做法意見分歧，故而很多設計案雖名為生態工法，但實質上卻是仍脫不了傳統工法之俗套，處理過程欠缺生態理念。這種情況當然需要時間來改善，尤其是有關若干爭論性的議題，更要各界專業人士集思廣益、深入研討以求共識。以下提出幾個論點稍作闡述：

(一)以「生態為基礎，安全為導向」或「以安全為基礎，生態為導向」。以往工程師過分依賴鋼筋混凝土進行防災工程，其結果不

但造成環境景觀的不協調，也讓棲地及生態受到無可回覆的破壞。921地震之後政府於各項防災工程大力推動生態工法，強調順應大自然，以減少各類工程對生態環境的衝擊，但最近幾次颱風豪雨過境，以生態工法施作的工程亦造成不小的損害，引起各界質疑生態工法疑慮。生態工法並不只是綠化、美化的造景工程，它的理念強調環境復育因地制宜，故工程的安全性當列首要，但災區有些工程並非採取生態工法，只做綠化就冠上生態之名，或有些工程在設計施工時沒有符合適地性，才是釀災的主因。



蓮華池新山林道之木框格籠壩擋土牆：保護對象邊坡較低，無須高強度之RC擋土牆或鋼筋混凝土格籠壩。使用防腐木材格框內填卵石，既可保護邊坡亦兼具景觀、環保、生態的多重效果(黃瓊瑜攝)

傳統工程的概念都以「安全」為基準，往往過度使用水泥，卻在輕忽自然的力量之下，失敗的例子比比皆是。正確的做法是要打破「人定勝天」的迷思，不再用「防災」的觀念施作工程，基於對生態系統的深層認識，以生態為基礎，系統穩定及安全為導向，應用永續經營為目標的工程技術或保育方法。所以重點不在於生態或安全孰重，而

是要有以環境倫理為中心的思維。若以河川為例，真正的生態工法應是將上中下游做整體考量，也就是需要整合性的規劃，根據設定的功能和目標，訂定以集水區為一體的經營計畫；換句老詞，可說生態與保安兼顧，並達成永續經營的目標。

(二)「遷村」問題。從1958年八七水災後，每遇天然災害則事後檢討和改進方案，可謂汗牛充棟，其中「遷村」問題一再被提起，似乎是解決問題的最後一道防線。延至最近各風災後土石流，或超大豪雨後沿海淹水多日不退的現象發生，遷村之聲不絕於耳。該策略是否可一勞永逸，暫且不做評論，確是可以事先考量幾個疑問：

1. 台灣地狹人稠，連生態敏感之處，多遭墾植，何處是安全居所？國土整體規劃和合理使用分級是否完成？
2. 遷出之區域後續如何管理？任之棄置不顧，可能變成另一嚴重問題之源頭，甚而導致土地劣化或淪喪；換言之，土地倫理的問題如何解決？
3. 遷出居民的經濟、教育、人際關係、心理建設、產業機制、社區感情等等問題必須照顧、公共設施必須重建，整體所必須付出的代價非常高，且不保證成功。
4. 「遷村」是否已經變成習慣性、策略性的擋箭牌？

遷村問題太過敏感且困難重重，若是以限制開發為手段，配合完善的生態工程整體規劃，讓居民留在當地，擔任盡責的土地管理者，並在災難來臨前，協助避災，可行性要比遷村來得高。

(三)生態工法應用材料之爭議。生態工法的理念強調因地制宜，不是單靠一套方法就能夠走天下，國外使用的生態工法可以使用混凝土，但國內則避而不談或明令禁止，生態工法的理念是正確的，但該做法值得思考和改進，例如中橫的上谷關路段受創相當嚴重，因為把箱籠當作困床工，以及使用箱籠基腳坡面噴植的做法，無法抵擋集中逕流，超大豪雨一沖刷，多個路段立即發生邊坡崩塌路基流失。許多人將生態工法與傳統工法二元劃分，甚至彼此對立，這是既危險又錯誤的說法，更可能扼殺生態工法在台灣立地生根的機會，斷送台灣永續發展之路，非台灣人民之福。

生態工法沒有一定的材料與方式，對用水泥設計的工程人員來說，這等於是一場革命，因為牽涉到工程力學和安全。一百多年的研究讓鋼筋混凝土有一套計算的理論基礎。而生態工法所運用的多元材質才剛在起步階段，必須投入更多的研究，但工程設計的背景理論是一致的，只是運用的材質不同，此一領域正起步當中。生態工法不代表反水泥，水泥也是生態工法的一種材質。站在永續發展的基礎上，每個人都支持生態工法，這也是必然的趨勢，但在指出問題之外，更應該思考如何讓生態工法立地生根。

(四)政策法規、行政單位和學理技術之整合未切合實際。行政部門組織再造過程緩慢，雖然構想中有生態工法的專責機構，但是調整的過程一再變更、延宕，致使各項天然災害每年發生且逐年擴大，卻又束手無策，公權力和執行能力，不斷受到削減質疑。加之，生態工法人才培養與認證制度的建立遲遲未



蓮華池生態步道之過水路面：本生態步道結合防腐木料、塊石、級配、混凝土構造物所建構完成。其中之天然排水溝於豪雨時水量相當大，為兼顧安全和排水需求，設計為涵管加過水路面，並具有生態保育及親水的功能(黃瓊彬 攝)

能展開，仍然無法像建築技師、土木技師、水保技師等等，根據專業技術來進行環境保育的把關工作。

結語

生態工程的挑戰是要整合工程原則與科學理論，但若整合成功則可為跨領域擬自然復育(Naturalization)提供新機會。在生態工法中結合工程與生態的結果，成為一個較偏向發展中科技的一個新型工程措施，並提供了在環境保護及管理方面很多進步的機會。生態工法重視環境的價值，宣導整合工程設計與生態系統維護的重要性，並且尋求一方面解決問題，一方面兼顧永續發展的生態相

關設計方案。生態工法必須延續和師法傳統工法的施工規範，因為後者使得這個領域進步到目前水準的同時，基本上仍然能夠被人接受。由於地處亞熱帶的台灣，生態體系的複雜程度遠超過寒溫帶的歐美日等國，即使歷經數年，生態工法在國內的發展仍尚未成熟。因此，也難以產生定型化的施工規範或技術守則可供工程人員遵循，或是發生以生態工法之名，但卻不符當地生態需求之實的工程等問題。然而，生態工法的推展開啟了工程界和保育界之間的對話機制，已從過去的概念或理想，走向實務的運用，政府並將之列入重大研究與國家議題之中，相信未來定對台灣環境品質的提昇，有更正向的助益。☀