

交通建設計畫生態效益分析法之應用— 以淡水北側平面道路建設計畫為例

Eco-efficiency Analysis on Transportation Construction Project: A Case Study of Northern Bank Road of Tamsui River

蕭再安 Tzay-An Shiau¹
林重昌 Chung-Chang Lin²

摘要

目前臺灣交通建設計畫經濟效益評估採成本效益分析法(Cost-Benefit Analysis, CBA)，並未衡量難以貨幣化項目，亦未包括「節能減碳」評估機制。預算規模小、對生態衝擊有限的交通建設計畫採用成本效益分析法評估尚屬可行；惟重大交通建設計畫預算規模龐大、對生態衝擊影響嚴重，在前期規劃（可行性研究）階段評估時應更嚴謹，以避免環保及地方文史團體強烈抗爭。因此，本研究運用德國 BASF 公司「生態效益分析法(Eco-efficiency Analysis method, EEA)」，導入生態效率性概念，透過比較不同產品或製程的成本及環境衝擊來進行選擇，以生命週期為生態效益分析基礎，兼顧環境衝擊與成本考量，並以淡水河北側平面道路為例，建立生態效益分析模式，運用生態效益分析的結果，提供政府等相關利害關係人推動相關交通建設計畫之參考。

關鍵詞：經濟效益評估、成本效益分析、生態效益分析、淡水河北側平面道路

Abstract

The Cost-Benefit Analysis (CBA) on economic performance for national public construction projects used in Taiwan currently does not take into account indicators

¹ 臺灣海洋大學河海工程學系副教授。

² 臺灣海洋大學河海工程學系博士班研究生（聯絡地址：202基隆市中正區北寧路2號河工2館406室，電話：02-24622192轉6164，E-mail: d95520003@mail.ntou.edu.tw）。

being hard to be monetized nor pertaining to the "carbon reduction" mechanism. Thus, CBA is applicable for the transportation construction projects with small budget or limited environmental impact. However, in order to avoid intense resistances from environmental protection and local cultural/historical groups, the pre-planning (feasibility study) phase should be carefully evaluated for the major transportation infrastructure projects with large budget or serious environmental impact. This study applied the Eco-efficiency Analysis method (EEA) proposed by the Germany-based BASF to assess the eco-efficiency of surface roads along the north bank of the Tamsui River based on life cycle eco-analysis by comparing the costs and environmental impacts of different products or processes. The results of the eco-efficiency analysis can provide empirical implications for the government and relevant stakeholders to promote transportation construction projects.

Keywords: Economic evaluation, Cost-benefit analysis, Eco-efficiency analysis, Northern Bank Road of Tamsui River

一、前言

交通建設是國家重要的公共建設計畫，依行政院經濟建設委員會(2008)頒訂之「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」及交通部(2010)「行車成本調查分析與交通建設計畫經濟效益評估之推廣應用」，交通建設計畫經濟效益評估採成本效益分析法(Cost-Benefit Analysis, CBA)，評判基準包括淨現值(Net Present Value, NPV)、益本比(Cost-Benefit Analysis, B/C)及內生報酬率(Internal Rate of Return, IRR)三項，均以可貨幣化績效為評估範圍，並未衡量難以貨幣化項目。環保團體及文史工作者認為國內重大交通建設計畫例如淡水河北側平面道路、淡江大橋、三芝北投快速道路等，建設計畫經濟效益評估時並未考量生態面，亦沒有兼顧「節能減碳」，屢屢提出強烈抗議。行政院 99 年 2 月成立「節能減碳推動會」，並持續推動節能減碳落實於公共工程當中，為配合行政院推動「永續公共工程」，交通運輸工程建設計畫原未包括「節能減碳」評估機制，交通部進行蘇花公路山區路段改善計畫（簡稱蘇花改）將納入「碳足跡計畫」，預計在蘇花改施工過程及通車後，分別計算興建及使用所產生的碳排放量，利用在地、短程運輸建材，減少開路伐木必要。惟「碳足跡計畫」僅是生態（環境）衝擊中的一項，因此本研究檢討現行經濟效益評估制度採用之成本效益分析法優缺點，並衡酌經濟效益評估常將無法貨幣化的項目捨去，造成評估結果因此偏頗的情形，特別導入生態效率性概念，以生命週期為生態效益分析基礎，兼顧環境衝擊與成本考量，並以淡水河北側平面道路建設計畫為例，建立生態效益分析模式，產生一套生態指紋分析系統。

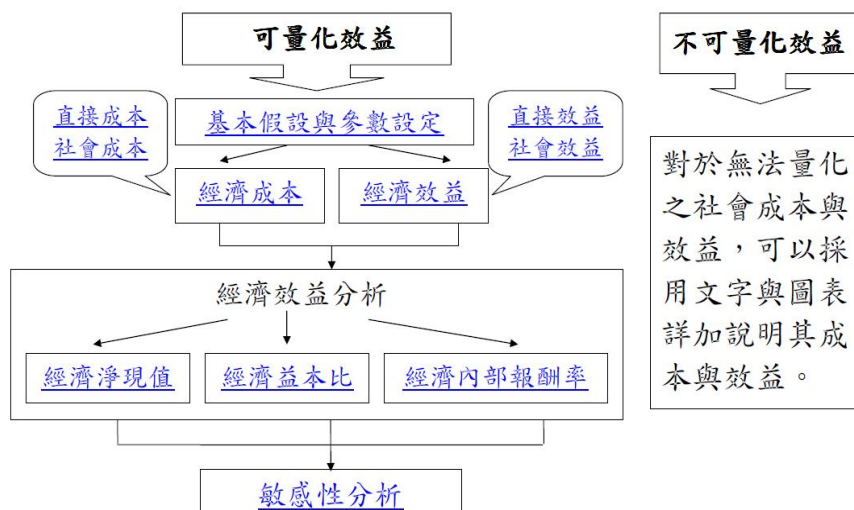
二、現行交通建設計畫經濟效益評估制度檢討

2.1 經濟效益評估的意義

我國政府部門辦理交通建設計畫先期規劃（可行性研究）階段，政府部門主辦單位應按上位計畫所設定之目標及主管業務發展需要，規劃及擬訂公共建設計畫先期規劃報告陳送主管機關審核，作為是否興建之依據。先期規劃報告（即可行性研究）之內容應包括技術可行性、市場可行性、法律可行性、土地可行性、經濟可行性、財務可行性、環境可行性、管理可行性及初步財務規劃（含民間參與可行性）等。主要目標在於確認計畫經濟可行，上揭經濟可行性與初步財務規劃內容，應包括初步成本效益評估、合理估算之成本與收益概算明細財務計畫。

先期規劃報告奉行政院核定後政府部門主辦單位擬訂綜合規劃報告（即建設計畫）中應包括詳細之選擇方案及替代方案之成本效益評估，並提供財源籌措及資金運用之財務計畫。

先期規劃之經濟效益評估及綜合規劃階段之財務計畫編製作業，由各計畫主辦單位負責編製、統籌及協調事項，並依行政院經濟建設委員會訂頒之「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」，編製周延、完整之經濟效益評估及財務計畫。經濟效益評估流程如圖 1。



資料來源：經建會(2008)。

圖 1 經濟效益評估流程圖

2.2 經濟效益評估的方法

依預算法第 34 條規定：重要公共工程建設及重大施政計畫，應先行製作選擇方案及替代方案之成本效益分析報告，並提供財源籌措及資金運用之說明，始得編列概算及預算案，並送立法院備查。「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」中「經濟效益評估篇」詳列成本效益分析方法、程序與評估要項等作業規範，以供全國各政府部門參照辦理，成本效益分析已成為我國政府部門重要公共建設及計畫方案的必要與法定作業。

成本效益分析(CBA)是計畫評估的方法之一，主要目的在於分析投資計畫的資金應用效率，或用於比較不同方案間經濟效率之優劣。它簡明的顯示資金的使用效率，讓決策者容易據以作出判斷，因此對於大多數重視經濟利益的公私部門投資而言，此法受到相當倚重並廣被使用。

2.3 評估要項

在成本效益分析中，經濟效益分析乃以計畫所能創造整體社會之效益為衡量基礎，經濟效益分析乃針對社會效益與社會成本之觀點進行，成本包括：資本成本（建造、設備、土地）、營運成本、社會成本三項；收益或效益包括：時間節省、公車成本節省、私人運具成本節省、肇事減少、減少空氣污染、土地增值及就業機會七項。主管機關對於交通建設主辦機關提報之經濟效益評估分析將實質審核是否可行，以供決策參考；惟對於無法量化之社會成本與效益，僅採用文字說明與圖表詳加說明成成本與效益。

2.4 成本效益分析法

依行政院經濟建設委員會頒訂之「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」，交通建設計畫經濟效益評估採成本效益分析法(CBA)，建立經濟效益指標包括淨現值(NPV)、益本比(B/C)、內生報酬率(IRR)三項，分述如下：

1. 經濟淨現值(NPV)

淨現值係將計畫的效益與成本化成現值，來衡量效益是否大於成本。當效益的總現值大於成本的總現值，即淨現值 >0 時，表示這個計畫或方案是值得投資的，反之則否。其計算式如(1)所示：

$$NPV = \sum_{t=0}^n [(R_t - C_t)/(1+i)^t] \quad (1)$$

其中，NPV：經濟淨現值；

R_t ：第 t 年之產出效益；

C_t ：第 t 年之投入成本；

i ：社會折現率；

t ：建設及營運年期；

n ：評估期間。

2.經濟內部報酬率(IRR)

內部報酬率(IRR)是指當計畫或方案之效益總現值等於成本總現值時之利率(i^*)。假設投資者主觀上認定之最低報酬率(Minimal Attractive Rate of Return, MARR)為 i ，當 $i^* > i$ 時，則表示該計畫或方案是可接受的，反之則予拒絕。其計算式如(2)所示：

$$\sum_{t=0}^n [(R_t - C_t)/(1+r)^t] = 0 \quad (2)$$

其中， R_t ：第 t 年之產出效益；

C_t ：第 t 年之投入成本；

i ：社會折現率；

t ：建設及營運年期；

n ：評估期間。

3.經濟益本比(B/C)

效益成本比係以計畫的效益(Benefit, B)與成本(Cost, C)之比值，來評估計畫方案之經濟可行性。當 $B/C > 1$ ，表示此計畫或方案具經濟可行性，是值得投資的，反之則否；若 $B/C = 1$ ，則該計畫或方案所產出的效益與投入的成本相等，投資與否均可。其計算式如(3)所示：

$$B/C = \sum_{t=0}^n [(R_t/(1+i)^t)] / \sum_{t=0}^n [C_t/(1+i)^t] \quad (3)$$

其中，B：產出效益總額；

C：投入成本總額；

R_t ：第 t 年之產出效益；

C_t ：第 t 年之投入成本；

i ：社會折現率；

t ：建設及營運年期；

n ：評估期間。

2.5 現行評估方法檢討

交通建設計畫採成本效益分析法，其三項指標各有其優點與限制，茲以表 1 臚列說明：

表 1 評估方法之優缺點比較分析

評估方法	意義	衡量準則	優點	缺點
經濟淨現值 (NPV)	效益的總現值減成本的總現值	$NPV > 0$ 則可投資	1.考慮貨幣的時間價值。 2.可作多項計畫比較。	1.折現率不易決定。 2.未能顯示資本的使用效率。 3.方案規模差異大時，則恐失之偏頗。
經濟內部報酬率 (IRR)	使淨現值=0之報酬率	$IRR > MARR$ 則可投資	1.明確顯示報酬率。 2.只須求出內部報酬率之近似值，即可作決策參考。 3.無須準確預估折現率。	1.隱含「在現金流量上的收入皆能以相同的報酬率再投資」之假設，不見得符合事實。 2.可能出現無解或多重解。 3.內部報酬率最高之計畫或方案，並不代表其總淨現值最大，因此多個計畫或方案進行評比時，必須再以增額報酬率法判斷。
經濟益本比 (B/C)	總效益現值÷總成本現值	$B/C > 1$ 則可投資	計算簡單、容易瞭解。	1.折現率難以適切訂定，尤其是長期性的投資。 2.效益與成本之界定不同時，則得到的B/C值不同。 3.B/C值之大小僅表示經濟效益之優劣，但B/C值最大者並非一定是「最適方案」，須再以增量分析判斷。

成本效益分析的主要功用是預估投資計畫資金的使用效率（張有恆，1992；王慶瑞，1999；鄧振源，2005），也可用於事後的追蹤比較（交通部鐵工局，1989）。其評估指數有數種計算方法，每一種方法之表現方式不同，因此需多種方法同時應用，以便相互對照（張有恆，1992；王慶瑞，1999；鄧振源，2005；何毓芬，1997）。它能很明確地表示計畫的投資效率，易於下定決策（張有恆，1992；王慶瑞，1999），但在評估公共建設的時候，卻有如下幾項困難：(1)市場不完全或無實際市場，真正價格不易估算（鄧振源，2005；何毓芬，1997）；(2)某些績效很難以貨幣尺度衡量（張有恆，1992；王慶瑞，1999）；(3)評估所需的資訊常是不完全、不確定、模糊性、假設性的（何毓芬，1997）。一般運輸建設即是在此種情況下進行成本效益評估，以致評估結果只是局部性價值（鄧振源，2005），且具有一定程度的不確定性（何毓芬，1997）。

運輸建設投入的成本是社會共有的資源，產出的效益影響整個社會的經濟，因此以整體經濟效益來評估，方能衡量其真正價值（張有恆，1992；王慶瑞，1999）。Inge Mayeres 等人(1996)、Levinson and Gillen (1997)均主張運輸建設的成本應包括外部成本；行政院經濟建設委員會頒訂之「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」亦明訂運輸建設應以社會整體經濟效益來衡量。對於運輸建設難以貨幣化衡量的外部效益，可利用「非市場估價法」(Non-Market Valuation Technique)（陸雲，1990）以及國內學術單位、研究機構、學術（位）論文研發之衡量方法進行估算。

呂學麟(2003)指出公共建設的經濟效益分析常遭逢(1)績效項目相當複雜、難以界定；(2)衡量項目越多評估結果的不確定性越高之問題，而傳統的評估模式只能提供一個「效益是否大於成本」而無任何機率表示之訊息，將難據以作出決策。因此，需要建立一個整合績效指數分析與信心指數分析的評估模式。

現行經濟效益評估採用之成本效益分析法常將無法貨幣化的項目捨去，僅以文字說明與圖表詳加說明成本與效益，造成評估結果因此偏頗的情形。另永續運輸考量之環境衝擊面亦未納入，亦造成環保團體及地方文史工作室強烈抗爭與質疑。因此，本研究檢討現行成本效益分析法之優缺點比較分析後，利用德國 BASF 公司「生態效益分析法(Eco-efficiency Analysis method, EEA)」，導入生態效率性概念，透過比較不同產品或製程的成本及環境衝擊來進行選擇，以生命週期為生態效益分析基礎，兼顧環境衝擊與成本考量，建立交通建設生態效益分析模式。

三、生態效益分析法

3.1 生態效益分析的意義

「生態效益(Eco-efficiency)」理念，是瑞士企業家 Stephan Schmidheiny 於 1992 年在「世界企業永續發展委員會(WBCSD)」報告「改變的經營之道(Changing Course)」中所提出的。此一“Eco-”的複合字，乃兼顧生態(Ecological)與經濟(Economical)兩方面效益。1996 年 BASF 為了達到公司「適用於永續概念的產品組合(portfolio)」的目標，依照永續的標準來建置產品組合，開始發展「生態效益分析法(EEA)」——一個透過比較不同產品或製程的成本及環境衝擊來進行選擇的一個工具(Schmidt *et al.*, 2004)。這個工具的建置在日後成為 BASF 重要的策略管理工具，不但能優化 BASF 的產品和製程，甚至還能用來與競爭者比較優缺點，進而推出具生態效益的產品(Stefan, 2004)。EEA 評估方式的成效不但受到 OECD、WBCSD 等國際組織與利害關係人所肯定，BASF 亦針對那些已經使用 EEA 進行評估並通過檢驗的產品發展出一個新的標章，如圖 2，以做為對這些產品的肯定(BASF, 2011)，這個方法對 BASF 公司的產品策略發展有非常重要的貢獻，已經分析過 200 種以上的產品與製程(Uhlman *et al.*, 2010)。



資料來源：BASF (2011)。

圖 2 BASF 針對通過 EEA 檢驗設計的產品標章

3.2 生態效益分析法

3.2.1 成本的評估

成本管理的良莠，對於企業經營的績效影響相當大，在許多「污染者付費」的環保法規訂定後，環境成本的負擔亦成為企業所極力想減少的部分(Earl and Clift, 1998)。因此，只運用能量化環境衝擊的產品評估工具對企業而言是不夠的，生命周期成本(Life Cycle Cost, LCC) (Jansen and Krause, 1995)與全成本分析(Total Cost Assessment, TCA) (White and Savage, 1995)等評估產品於整個生命周期經濟、環境與社會成本的工具開始被應用於產品評估當中，以期能在降低環境衝擊的同時兼顧到利益的獲取。EEA 所考慮的成本是產品對末端顧客於整個生命周期當中所造成任何費用，這包括產品的價格、相關使用產品的任何花費及產品處置時所產生的任何開銷，這些開銷包括由環境及社會衝擊所造成的花費(Bengtsson, 2004)。

3.2.2 環境衝擊分析

EEA 是以 ISO 14040 的「生命周期評估(LCA)」盤查資料為基礎，將環境衝擊分成六個項目：原料消耗、能源消耗、污染排放、毒性潛勢、風險潛勢及土地使用(Saling *et al.*, 2005)，以個別項目的「給分」系統對各盤查資料進行結合，透過對產品或製程於六個項目的個別分析，在進行產品或製程之間的比較，以此產生「生態指紋(ecologic fingerprint)」：講產品或製成個別衝擊之相互關係正規化，根據系統中每個項目的特性，將環境衝擊量最大的產品給予評價「1」，而其它產品或製程則依其相對衝擊給予評價「0」到「1」如圖 3 所示。

1. 能源消耗

能源主要是以初級能源為主，包括煤、石油、天然氣、褐煤、核能、水力發電、生質能及其它型式的能源。

2. 自然資源消耗

將包含能源在內之所消耗的資源，依其目前在地球的存量給予權重。存量是依據美國地質調查局(USGS)和其他統計資料計算所得，權重因子則和存量的大小成反比。

3. 土地使用

土地被認為是一種有限的資源，因而 BASF 將土地使用列為環境衝擊項目，並依照其擾動的程度分為 6 類：自然(Natural)、接近自然

(Close to natural)、半自然(Semi-natural)、完全不自然(Far from natural)、封閉(Sealed)、封閉且分割(Sealed and splitting)。

4. 污染物的排放

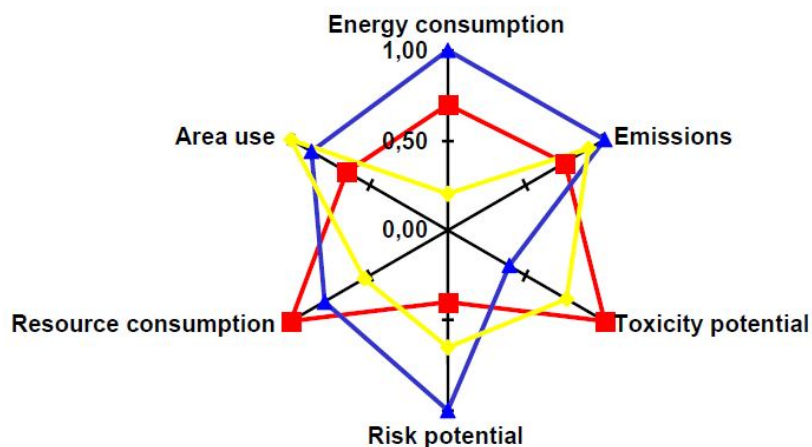
污染物排放的計算主要區分為三個項目：空氣污染物、水污染物與土壤污染物。這個項目主要計算的是在產品與製程生命周期的過程中所產生污染物的值。在計算出這三個項目的數值後需利用權重系統進行合併。

5. 毒性潛勢

毒性潛勢是在判別物質對人類健康危害的可能性，且這種危害通常是相當嚴重的(Landsiedel and Saling, 2002)，實際毒性為潛在毒性(potential toxicity)及暴露程度(exposure)的乘積。EEA 的暴露程度之權重乃依末端使用者的觀點來決定，也就是使用階段權重佔 70%，生產階段權重佔 20%，處理階段權重佔 10%。而物質的毒性潛勢，則是依風險詞彙(risk phrases)來決定。BASF 綜合一份由毒物學家及毒物學研究生做的調查報告，將風險詞彙依其嚴重性分為 6 個不同的程度，分別是 100、300、400、550、750 與 1000。

6. 風險潛勢

風險潛勢是主要是反應產品於製造、使用及棄置時所造成的意外傷害，評估方式類似現今工廠安全所計量的發生可能性與危害層級(Saling and Kicherer *et al.*, 2002)。根據 Bengtsson (2004)風險潛勢定義：風險潛勢(R)=後果嚴重性(A)× 發生可能性(E)。



資料來源：Bengtsson (2004)。

圖 3 生態指紋及盤查項目

3.2.3 環境衝擊的加總－權重系統

權重系統的設置主要是將產品與製程於環境面各項目衝擊評估正規化的結果進行合併，以此來評判產品於環境及社會面的衝擊程度(Bengtsson, 2004)。權重系統主要分為兩個層面：科學權重因子和社會權重因子，以此兩權重因子的幾何平均來做為產生整體權重因子的依據。

3.3 建立分析架構

現行經濟效益評估採用之成本效益分析法常將無法貨幣化的項目捨去，僅以文字說明與圖表詳加說明成本與效益。造成評估結果因此偏頗的情形，生態效率性分析模型為了改善傳統成本效益分析模型的缺點，周延性的考量，不僅考量內部成本及內部效益，也將外部成本及外部效益皆納入評估模型中，其架構如圖 4。

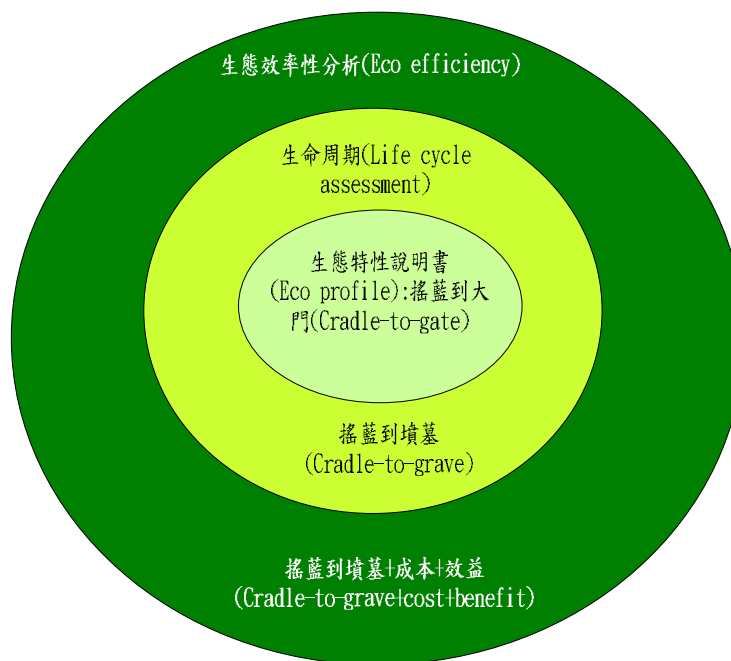
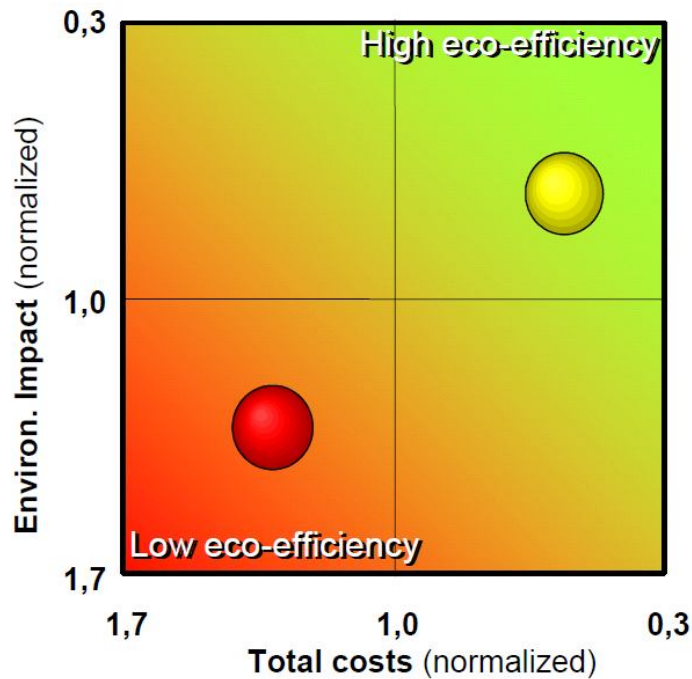


圖 4 生態效益分析架構

3.4 生態效益分析法優點

「生態效益分析法(EEA)」是依據 WBCSA 生態效益的概念，分別使用 LCA 的數據和顧客利益(customer benefit)的成本資料來計算其生態效益，透過環境衝擊與經濟效益的比值，來評估其產品與製程的良莠，並以二維的生態效益圖（如圖 5）表示。



資料來源：Bengtsson (2004)。

圖 5 兩個產品或製程的生態效益比較圖

圖中間的兩個原點表示被評估產品或製程之生態效益值，其中右上方的點表示成本低並且環境衝擊也小的產品或製程，亦即具有較佳的生態效益；反之左下方的點則表示該產品或製程具有較差的生態效益。生態效益分析法運用生態效益圖可以讓利害關係人非常容易判斷哪一個產品或製程符合生態效益。

另生態效益分析法將環境衝擊六個項目：原料消耗、能源消耗、污染排放、毒性潛勢、風險潛勢及土地使用，透過對產品或製程的個別分析，進行產品或製程之間的比較，產生「生態指紋」如圖5。從生態指紋圖可以明確瞭解產品或製程於環境面各主要評估項目的優劣情況，可以作為利害關係人選擇的參考。

傳統成本效益法評估模式只能提供一個「效益是否大於成本」，無法貨幣化的項目捨去，僅以文字說明與圖表詳加說明成本與效益，造成評估結果因此偏頗的情形，環境衝擊面亦未納入考量，亦造成環保團體及地方文史工作室強烈抗爭與質疑。生態效益分析法導入生態效率性概念，兼顧環境衝擊與成本考量，運用在交通建設計畫評估具有極大優勢。

四、案例分析-淡水河北側平面道路計畫

4.1 背景說明

目前連通臺北市與淡水地區間之道路僅有省道臺 2 線，每逢通勤尖峰時段或星期例假日，其車輛壅塞長度常綿延長達數公里，為淡水、北海岸地區進出交通瓶頸路段，造成當地觀光發展的障礙。由於省道臺 2 線為淡水、北海岸地區南向聯外唯一之公路交通孔道，故新建淡水河北側平面道路計畫，解決臺 2 線車道容量不足之問題，實有其必要性與急迫性。

4.2 路線方案研擬

計畫路廊位於淡水河與捷運淡水線軌道間，北起省道臺 2 線（登輝大道）與省道臺 2 乙線交口，南至省道臺 2 線（大度路）與中央北路交叉口附近，全長約 4.7 公里。大部分沿河岸土地布設，路廊鄰近有紅樹林保留區、河川行水區、自行車道、關渡大橋等自然生態景觀相關資源。計畫路廊因通過環境敏感區，自然生態景觀深受各相關團體重視，在符合文資法、水利法及淡水鎮民眾迫切交通需求之原則下，於路廊內研擬二條路線方案，詳圖 6。各路線方案說明如下：



資料來源：新北市政府水利局(2008)。

圖 6 淡水河北側平面道路路線方案

4.2.1 方案一

計畫路線北起省道臺 2 線（登輝大道，計畫寬度 40 公尺）與鄉道北 2 路口附近，配合規劃中的淡海輕軌高架構造，以雙車道高架跨越省道臺 2 乙線及捷運淡水線；另於省道臺 2 乙線（現況寬 25 公尺，計畫寬 30 公尺）

中央內側車道布設雙向雙車道車行箱涵，穿越臺 2 乙線及淡水捷運線於紅樹林捷運站附近接回主線為雙向四車道。

4.2.2 方案二

本方案主要為降低竹圍都市計畫區內橋樑高度以減輕視覺衝擊，路線除於基督書院下方沿省道臺 2 線中心線高架立墩外，其餘與方案一同。

4.3 經濟面－成本分析

在 EEA 評估方法當中，成本分析主要的功用是作為評斷生態效益基準，本研究所參考利用的參數分別有各車種的單位行車成本、單位時間價值以及一般公路每車道每公里年平均養護費用如表 2 及表 3，據此估計運輸道路完成後可能造成的行車成本、旅行時間價值及後續相關維護費用。

表 2 各車種成本單價一覽表

項目 \ 車種	機車	小客車	大客車	小貨車	大貨車
行車成本	10.1	11.78	11.61	8.29	5.99
時間價值	83.84	112.26	1112.02	178.72	183.93

單位：行車成本=元/公里；時間價值=元/小時。

表 3 養護成本單價表

項目	單價
平均養護費用	23.9

單位：萬元/每車道-公里-年。

成本計算除了基本的運輸設施建造成本外，另外再納入運輸設施的養護成本、行車成本、旅行時間價值、路網績效、用地取得費用及路口延滯成本等，其中路網績效在負效益的呈現下，因此以負值表示值越小越好，所得結果如表 4 所示。

表 4 三種方案成本比較分析表

運輸系統興建方案 成本項目	零方案	方案一	方案二
行車運輸成本	88.51	55.37	55.02
旅行時間價值	14.69	12.67	12.72
建造成本	0	29.90	30.20
路網績效	0	-114.70	-112.70
用地取得費用	0	8.95	8.98
養護成本	23.92	12.80	12.80
路口延滯成本	6.05	1.49	1.52
總和	133.15	6.49	8.54

單位：元/延車公里。

4.4 環境面－環境衝擊分析

EEA 對於環境面的生態效益分析主要是以 LCA 的盤查分析為基礎，並以專家學者發放問卷的方式取得社會權重作為衝擊項目結合的依據，評估三種方案於土地消耗、運具使用能源消耗、二氧化碳排放、及毒性潛勢的衝擊程度。以下就針對三種方案對環境衝擊進行分析：

1. 施工後土地消耗

EEA 將土地使用狀況分為 6 個種類：自然、接近自然、半自然、完全不自然、半開發土地及開發使用土地，依可再生資源取得的土地條件給予得分進行加權，整個評估的類型與權重因子如表 5。三種方案的土地使用狀況與給分結果如表 6，方案 1 及方案 2 施工後土地消耗屬於開發使用土地，其給分因子為 7.6；零方案為使用現有道路設施並未再造成土地方面的消耗。

表 5 不同土地類型的說明與給分因子一覽表

種類	舉例	給分因子
自然	未改變生態系統	0
接近自然狀態	森林使用或有機農業	1
半自然	草原或是牧草地	1.5
完全不自然狀態	適合耕種的農地	2.3
半開發土地	封閉和毀損土地、工業使用	5.1
開發使用土地	道路、渠道、鐵路	7.6

資料來源：Bengtsson (2004)。

表 6 三種方案土地使用狀況與給分結果表

項目	零方案	方案一	方案二	給分因子	零方案	方案一	方案二
道路使用土地	0	5.32	5.27	7.6	0	40.432	40.052
正規化					0	1	0.99

單位：平方公里。

2. 運具使用能源消耗

EEA 以資源的使用年限作為給分因子的評判依據，使用原油給分因子為 24 (Saling *et al.*, 2002)，三種方案營運後於能源的消耗量與透過 EEA 對於資源結合的加權如表 7。

表 7 三種方案營運後運具使用能源消耗量與給分結果表

項目	零方案	方案一	方案二	給分因子	零方案	方案一	方案二
原油	3208.145	1817.885	1843.772	24	76995.48	43629.24	44250.53
正規化					1	0.56	0.57

單位：公升。

3. 二氧化碳排放

EEA 對於空氣污染物的計算主要分為全球暖化潛勢(GWP)、臭氧破壞潛勢(ODP)、光化學臭氧生成潛勢(POCP)及酸化潛勢(AP)等四個評估項目。三種方案營運後交通量對於空氣污染物的部分鎖定在二氧化碳的排放，因此並未納入 ODP、POCP 與 AP。三種方案運輸方式所排放的二氧化碳，依交通部(2010)「行車成本調查分析與交通建設計畫經濟效益評估之推廣應用」計算結果如表 8 所示（計算公式=各燃料碳排放係數 × 營運後運具消耗之能源）。

表 8 三種方案營運後二氧化碳排放量總值一覽表

項目	零方案	方案一	方案二
二氧化碳排放量	7250.41	4108.42	4166.93
總值	7250.41	4108.42	4166.93
正規化	1	0.56	0.57

單位：公噸。

4. 毒性潛勢

對於毒性潛勢的計算，本研究首先依運輸過程所產生的污染物於歐盟風險詞彙的分類，再依 EEA 對於毒性潛勢的計量方式進行計算 NOX、SOX、HC 及 CO 等污染氣體給分因子為 1650，COD、BOD、SS、SO₄²⁻及 HC 等水污染排放物給分因子為 950。三種方案排放具污

染毒性的評分結果及相關係數，所列入的毒性潛勢包含空氣污染物與水污染物兩種，如表 9 及表 10。

表 9 三種方案空氣污染排放物毒性潛勢與給分結果表

項目	零方案	方案一	方案二	給分因子	零方案	方案一	方案二
NO _x	21.70	12.30	12.47	1650	35808.30	20290.05	20580.45
SO _x	0.22	0.13	0.13	1650	363	206.25	209.55
HC	38.06	21.57	21.87	1650	62794.05	35582.25	36088.80
CO	225.51	127.79	129.61	1650	372098.10	210848.60	213849.90
加權總值					471063.50	266927.10	270728.70
正規化					1	0.56	0.57

單位：公噸。

表 10 三種方案水污染排放物毒性潛勢與給分結果表

項目	零方案	方案一	方案二	給分因子	零方案	方案一	方案二
COD	0	0.4	0.4	950	0	380	380
BOD	0	1.32	1.32	950	0	1254	1254
SS	0	1.32	1.32	950	0	1254	1254
SO ₄ ²⁻	0	20	20	950	0	19000	19000
HC	0	40	40	950	0	38000	38000
加權總值					0	59888	59888
正規化					0	1	1

單位：毫克/公升。

5.生態指紋

生態指紋的產生，需先將環境的四大評估指標予以正規化的動作，對於各評估項目衝擊量最大的方案作為基準的評判值 1，計算出三種方案的相對結果如表 11。其中「毒性潛勢」的計算上需導入權重系統對於「空氣污染物」、「水污染物」的權重分配進行結合，結合後的結果需要再進行一次正規化的動作。

三種方案之「生態指紋」如圖 7，可以明確瞭解三種方案對於環境面各主要評估項目的優劣情況，可以作為利害關係人選擇的參考。其中零方案在運具使用能源消耗、二氧化碳排放等方面皆劣於方案一及方案二；但由於其未使用土地，在施工後土地消耗則優於方案一及方案二。方案一與方案二在於運具使用能源消耗、二氧化碳排放、土地使用及毒性潛勢等方面大致相同，其原因應係方案二路線除於基督書院下方沿省道臺 2 線中心線高架立墩外，其餘與方案一同。

表 11 三種方案評估正規化之結果表

興建方案		正規化結果			子項目加權結果		
環境項目		零方案	方案 1	方案 2	零方案	方案 1	方案 2
土地使用		0	1	0.99	0	1	0.99
運具使用能源消耗		1	0.57	0.57	1	0.56	0.57
二氧化碳排放		1	0.56	0.57	1	0.56	0.57
毒性 潛勢	水污染物	0	1	1	0.7	1	1
	空氣污染物	1	0.56	0.57			

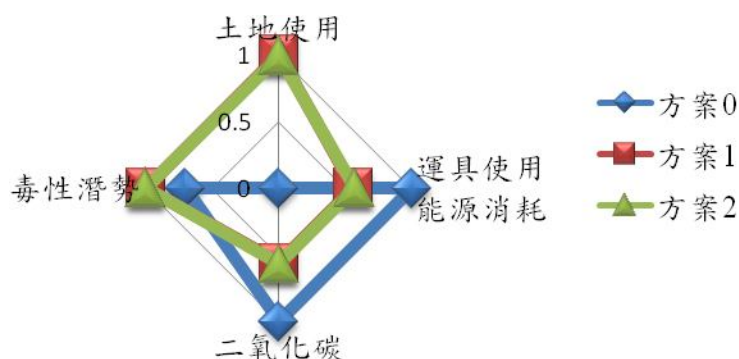


圖 7 三種方案之生態指紋圖

4.5 生態效益組合圖

EEA 權重系統中的科學權重因子，其主要功能是判定評估項目相對於整體衝擊而言所造成的衝擊程度，但由於文獻回顧資料的不足，無法得知各衝擊評估項目得於各區域（國家）總體衝擊量的值，亦無法了解總體衝擊量的設定方式。因此，本研究經團體決策評估指標權重詳如表 12。

本研究應用 EEA 方法評估三種方案在經濟及環境的結果比較如表 13，三種方案所產生的成本分別為 133.15 元/公里、6.49 元/公里與 8.54 元/公里，以三種方案產生的成本平均 49.39 元/公里作為 EEA 二維度於經濟比較的基準值 1，以此計算三種方案於成本的比較結果為 2.69、0.13 與 0.17。

透過環境面的權重對各評估項目進行加權，計算出三種方案的整體環境衝擊值為 0.68、0.78 與 0.78，以三種方案整體環境衝擊的平均 0.75 作為 EEA 二維度於環境衝擊比較的基準值 1，再以此計算三種方案環境衝擊的比較結果為 0.9、1.04 與 1.04。

表 12 三種方案經濟與環境指標之權重一覽表

構面	權重	指標	權重	細項	權重
經濟面	0.47	行車運輸成本	0.14		
		旅行時間價值	0.14		
		建造成本	0.15		
		路網績效	0.14		
		用地取得費用	0.14		
		養護成本	0.15		
		路口延滯成本	0.14		
環境面	0.53	土地使用	0.25		
		運具使用能源消耗	0.25		
		二氧化碳排放	0.25		
		毒性潛勢	0.25	空氣污染物	0.5
				水污染物	0.5

表 13 三種方案環境面的加權結果表

		正規化			加權結果			EEA 二維 度基 準值	基準設置後結果		
		零方案	方案 1	方案 2	零方案	方案 1	方案 2		零方案	方案 1	方案 2
生態 效益 分析	經濟層面： 成本	133.15	6.49	8.54				49.39	2.69	0.13	0.17
	整體環境衝擊				0.68	0.78	0.78	0.75	0.9	1.04	1.04
	土地使用	0	1	0.99							
	運具使用 能源消耗	1	0.56	0.57							
	二氧化碳 排放	1	0.56	0.57							
	毒性潛勢	0.77	1	1							

透過權重系統加權所有環境面之評估項目得出三種方案於環境面的整體衝擊；生態效益圖的產生亦是以比較的方式產生，以評估的三種方案於經濟面與環境面衝擊值之平均為基準，作為評判三種方案於永續方面表現情況。由圖 8 生態效益組合圖可知：方案 1 與方案 2 在生態效益的層面有比較高的效益，對於環境層面的破壞與成本的支出衝擊上面都遠低於零方案，因此以生態效益方面考量：方案 1 與方案 2 皆為可執行的建設計畫，然而方案 1 與方案 2 在環境層面差距不大；若再進一步以成本做比較則是以方案 1 為比較佳的建設方案。

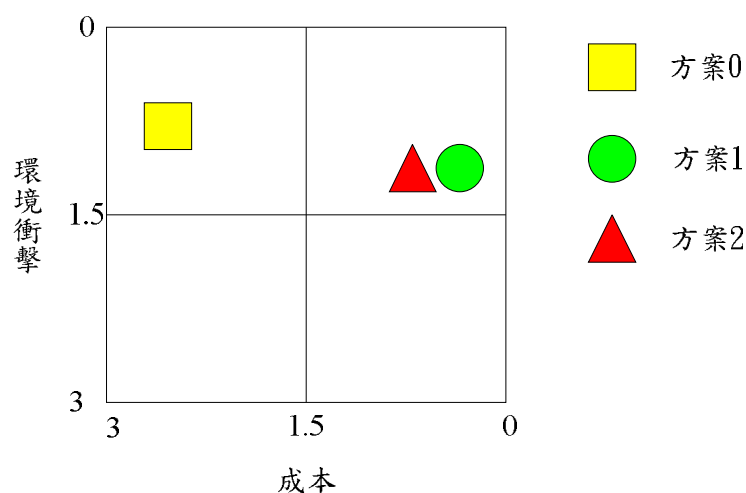


圖 8 生態效益組合圖

五、結論與建議

5.1 結論

1. 現行交通建設計畫經濟效益評估採用成本效益分析法，常將無法貨幣化的項目捨去，僅以文字說明與圖表詳加說明成本與效益，造成評估結果因此偏頗的情形。
2. 成本效益分析法評估所需的資訊常是不完全、不確定、模糊性、假設性的。交通建設在此種情況下進行成本效益評估，以致評估結果只是局部性價值，且具有一定程度的不確定性。
3. 成本效益分析法只能提供一個「效益是否大於成本」而無任何機率表示之訊息，將難據以作出決策。另永續運輸考量之環境衝擊面亦未納入，亦造成環保團體及地方文史工作者強烈抗爭與質疑，且未包括「節能減碳」評估機制，與行政院推動「永續公共工程」及全球「永續發展」趨勢相背離。
4. 生態效益分析法改善傳統成本效益分析模型的缺點，不僅考量內部成本及內部效益，也將外部成本及外部效益皆納入評估模型。生態效益分析法導入生態效率性概念，以生命週期為生態效益分析基礎，兼顧環境衝擊與成本考量，建立生態效益分析模式，產生一套生態指紋分析系統。

- 5.本研究以淡水河北側平面道路為例進行生態效益分析，由生態指紋圖可以明確瞭解淡水河北側平面道路三種方案對於環境面各主要評估項目的優劣情況。由生態效益組合圖可知，淡水河北側平面道路方案 1 與方案 2 在生態效益的層面有比較高的效益，對於環境層面的破壞與成本的支出衝擊上面都遠低於零方案；若再進一步以成本做比較則是以方案 1 為比較佳的建設方案。

5.1 建議

- 1.預算規模小、對生態衝擊有限的交通建設計畫採用成本效益分析法評估尚屬可行；惟重大交通建設計畫預算規模龐大、對生態衝擊影響嚴重，在前期規劃（可行性研究）階段評估時應更嚴謹，兼顧環境衝擊與成本考量，建議進行生態效益分析，以為周全。
- 2.為使生態效益分析法評估的完整性，科學權重中各項目整體衝擊值的訂定是一個關鍵，建議後續以生態效益分析法為評估工具的研究者應先發展出適合臺灣的科學權重整體衝擊值，以免衝擊值小的項目對整體衝擊評估產生太大的影響。
3. BASF 公司未公開科學權重各評估項目整體衝擊值的設置方式，加上臺灣環境與社會資料庫的不足，使本研究無法透過完整的統計資料進行科學權重於各個評估項目整體衝擊值的設置與計算，亦造成本研究整體環境衝擊值受到其它項目的影響，所以可以突顯科學權重設置的重要性與必要性。
- 4.生態效益分析法原係 BASF 公司評估其產品與製程是否符合生態效益、是否應改善的工具，首次運用在交通建設計畫評估，其他公共建設經濟效益評估之適用，應可進一步探討。
- 5.「永續運輸」包括經濟效率面、環境保護面及社會公平面，因此未來可以進一步運用 BASF 新發展之 SEE balance 評估工具，以 EEA 為基礎，增加社會效益分析，並以三維度的社會生態效益立體圖呈現，依方案間分析結果，提供政府等相關利害關係人選擇的參考。

參考文獻

- 反淡快大聯盟(2011)，反對淡北快速道路，護衛河岸景觀生態，擷取日期：2010 年 12 月 1 日，網站：<http://campaign.tw-npo.org>。
- 王慶瑞(2001)，運輸系統規劃，增訂版，臺北：亞聯工程顧問公司。

交通部(2010)，行車成本調查分析與交通建設計畫經濟效益評估之推廣應用。

交通部鐵工局(1989)，臺北市區鐵路地下化工程竣工後與規劃時預估經濟效益比較分析之研究。

行政院經建會(2008)，公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊。

何毓芬(1997)，模糊理論與成本效益分析方法之整合應用，交通大學碩士論文。

呂學麟(2003)，北宜直線鐵路經濟效益分析，臺灣海洋大學碩士論文。

張有恆(2006)，運輸經濟學，三版，臺北：華泰書局。

陸雲(2000)，環境資源估價之研究—非市場估價方法，中研院經濟論文。

黃瑞茂(2011)，對於淡水河北側沿河平面快速道路意見，擷取日期：2010年12月1日，網站：<http://timeboy.pixnet.net/blog/post>。

新北市政府水利局(2008)，「淡水河北側沿河平面道路可行性研究」。

新北市政府水利局(2010)，「淡水河北側沿河平面道路交通影響分析報告」。

鄧振源(2005)，計畫評估方法與應用，二版，基隆：臺灣海洋大學運籌規劃與管理研究中心。

BASF (2011), Eco-efficiency group, website:
<http://www.corporate.basf.com/en/sustainability>.

Bengtsson, S. *et al.* (2004), "The BASF Eco-efficiency Analysis Method-Applied on Environmental Impact Data from An LCA Study of Two Colorants."

Earl, G. and Clift, R. (1998), "How Important is Environmental Performance? A Case Study Measuring the Environmental Preferences of 'Business to Business' Consumers," *The Journal of Sustainable Product Design*, Issue 6, pp. 19-29.

Jansen, H. and Krause, F. L. (1995), *Life Cycle Modeling for Innovative Products and Processes*, London: Chapman & Hall.

Lansiedel, R. and Saling, P. (2002), "Assessment of Toxicological Risks for Life Cycle Assessment and Eco-efficiency Analysis," *International Journal of Lifecycle Assessment*, 7(5), pp. 261-268.

- Levison, D. and Gillen, D. (1998), "The Full of Intercity Highway Transportation," *Transportation Research D*, 3, pp. 207-233.
- Mayeres, I. Ochelen S., and Proost S. (1996), "The Marginal External Costs of Urban Transport," *Transportation Research D*, 1, pp. 111-130.
- Saling, P. and Kicherer, A. *et al.* (2002), "Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method," *International Journal of Lifecycle Assessment*, 7(4), pp. 203-218.
- Schmidt, I., Meurer, M., Saling, P., Kicherer, A., Reuter, W., and Gensch, C. (2004), "SEE Balance-Managing Sustainability of Products and Processes with Socio-Eco-efficiency Analysis by BASF," *Greener Management Internation*, Vol. 45, pp. 79-94.
- Uhlman, B. and Saling, P. (2010), "Measuring and Communicating Sustainability through Eco-efficiency Analysis," *Environmental Management*, pp. 17-26, website: <http://www.aiche.org/cep>.
- White, A. L. and Savage, D. E. (1995), "Budgeting for Environmental Projects: A survey," *Management Accounting*, Vol. 3, pp. 48-54.

(收稿2012/1/17，第一次修改2012/3/21，第二次修改2012/4/11，
定稿2012/5/11)