

第一章 緒論

1-1 研究動機

近年來面對著空氣、水、廢棄物等污染問題以及酸雨、臭氧層變薄、熱帶雨林破壞及沙漠化等環境問題不斷的發生，國際間紛紛召開會議以研商因應之道。聯合國世界環境與發展委員會（World Commission on Environment and Development）於 1987 年提出了「永續發展」（Sustainable Development）的理念與政策，強調地球發展與環境生態共生共存的重要及必要性；而在里約熱內盧召開的聯合國環境暨發展會議（UNCED），又稱地球高峰會議，簽訂了《氣候變化綱要公約》，明定各已開發國到公元 2000 年之二氧化碳排放量須回歸 1990 年水準。以永續發展為原則的環保工作，已被公認為全世界、全人類共同的責任，而如何確保地球環境生態資源的永續發展，業已成為全球性國際環保工作的趨勢與重點。

台灣地區約 76.6%人口集中在都市化地區，建築生產及都市開發過程缺乏整體生態考量，在自由發展的情形下產生諸多如建築生命週期各階段的污染、建築產業能源不當利用、建築資源未能有效利用和都市永續發展面臨危機等問題。內政部建築研究所為響應聯合國「公元 2000 年全球住居策略」，有效減緩建築及都市開發對環境造成的負荷，創造都市永續發展的有利環境，已擬定「綠建築與居住環境科技」計畫，積極進行建築污染防治、建築節約能源、建築資源利用及室內環境品質的研究發展工作。營建署也在營建政策白皮書中提出推動「綠色建築」政策，以地球環保永續經營為最高指導方針，並以提倡節約能源、綠化減廢及城鄉風貌作為推動「綠色建築政策」之階段性目標。

國內建築產業因生產技術落後及環境管理不良，在建材生產、運輸、工程施工等過程中常對環境造成相當程度的負荷與污染。據研究指出，國內建築產業二氧化碳排放量在民國 83 年約佔全國總排放量 33.5%左右。雖然建築主要產業如水泥、鋼鐵業在實施節約能源查核制度以及污染管制多年下已見成效，但仍落後美日等國有一

段距離。不同建築材料(不同構造方式)的選擇，對生態環境的負荷與影響往往有直接的相關性，如何擴大建築節約能源效能、加強都市能源管理、研發合理的建築構造方式與建築生產技術以減緩能源消耗、降低溫室氣體排放量、改善都市熱島現象已是刻不容緩的課題。

1-2 研究目的

國內建築物之主要構造方式為 RC 構造、SRC 構造以及鋼骨構造。根據民國 84 年台灣營建統計年報，各種構造形式核發使用執照之總樓地板面積分別為：RC 構造 50,030,043 m²、SRC 構造 2,852,887 m² 以及鋼骨構造 1,158,733 m²，顯現台灣目前仍以 RC 構造方式最受歡迎。有鑑於環境因素在選擇建築構造方式時的重要性，本研究擬針對建築物不同構造方式其主體結構材料之使用對環境所造成之負荷與影響進行研究，主要目的為：

- 瞭解國內建築物主體材料之使用對環境所造成之影響負荷情形，做為發展建築產業污染防制科技之評估依據。
- 比較建築物不同構造方式於生命週期內對環境所造成之負荷度異同，以供國內建築物設計時參考。
- 與先進國家之建築物材料環境負荷情形相比較，做為國內建築產業改進生產流程之參考。

1-3 研究方法與流程

本研究擬以生命週期評估 (Life Cycle Assessment, LCA) 觀念針對建築物各種主要構造方式如 RC 構造、鋼骨構造、SRC 構造及木構造等所造成的環境負荷與影響進行分析與研究。生命週期評估是一項 1960 年代即開始發展的環境管理工具。依照美國毒物及化學協會(SETAC)的定義，LCA 是：

「以科學的方式，有系統的清查及盤點活動、產品及服務，在其生命週期（原料採取、製造、運銷、使用、廢棄處置）中所使用的能源和資源以及排放至環境的各種污染物，加以評估並量化以

求得對環境所產生的負荷及衝擊，同時做出結論來作為尋求改善時之參考。」

生命週期評估應包含四大部份(圖 1-1)：定義目標及界定範圍 (goal definition and scoping)、盤查分析 (inventory analysis)、影響評估 (impact assessment)、及改善評估 (improvement assessment)。定義目標及界定範圍是對研究目的、研究對象及事先要準備的條件進行瞭解，確認有哪些資料可供生命週期盤查、影響分析及改善評估使用；盤查分析是一種技術性、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、液體排放物、固體廢棄物及其他排放資料予以量化；影響評估是一種技術化的、數量化的、質量化的程序，將盤查過程所認定的環境影響予以分類評估。改善評估為生命週期評估最後一個工作，在於認定、評估及選擇有助於改善環境的方法。較詳盡之生命週期評估方式簡介，請參考附錄 A。

應用生命週期評估理念及方法，本研究流程如圖 1-2 所示，分述如下：

1. 國內外文獻資料回顧

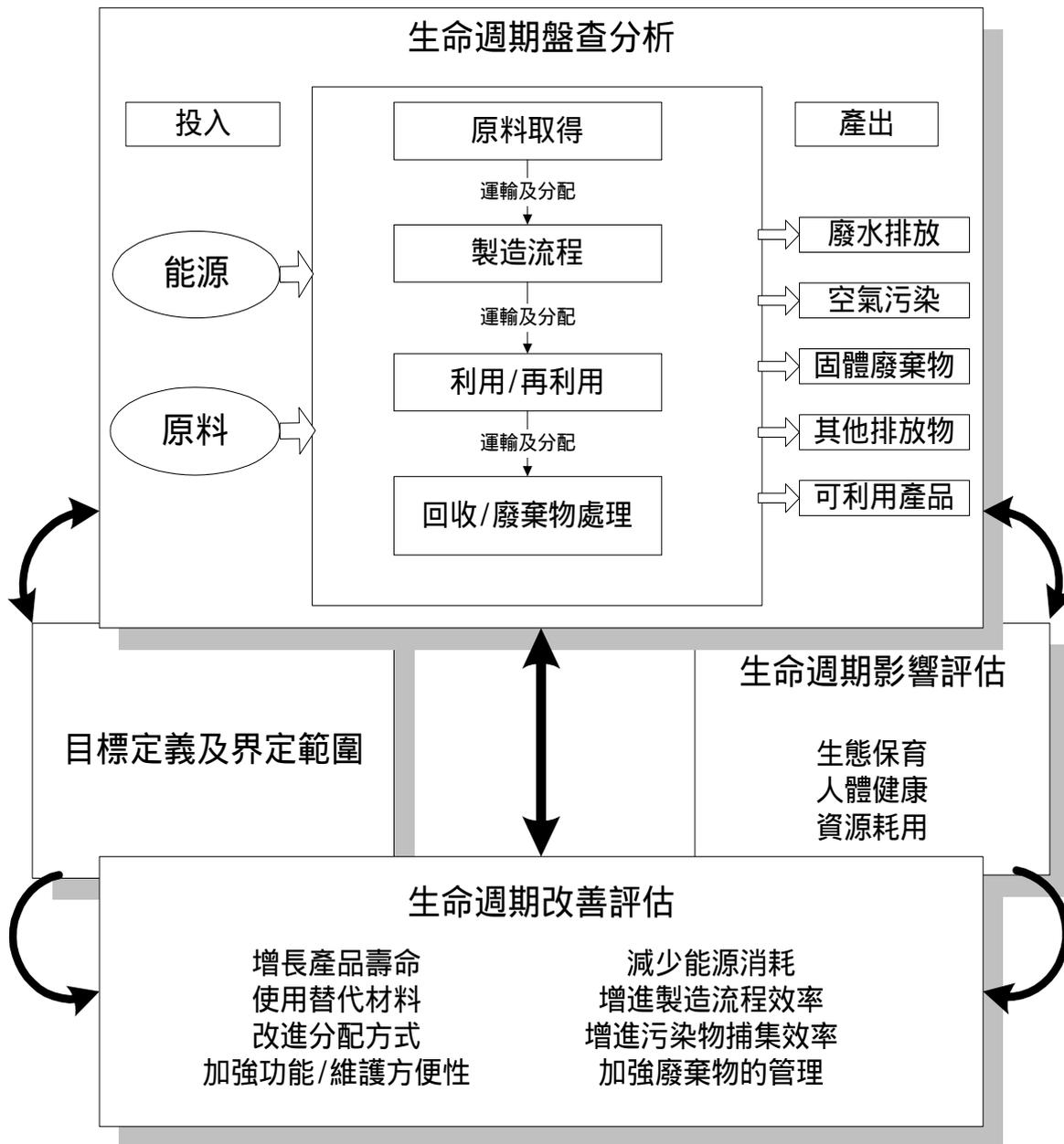
蒐集整理國內外有關建築結構主體材料在生命週期中對環境造成負荷影響之文獻資料。

2. 建築生命週期評估架構建立

步驟二是依據文獻資料建立建築物生命週期評估之架構，包括建築物生命週期從原料開採、生產製造、施工建造及拆除廢棄等各階段之定義，以及評估指標項目如 CO₂、能源耗用以及各種污染物之選擇界定。

3. 生命週期環境負荷資料數據收集(盤查分析)

此步驟是針對不同建築物構造形式，依步驟 2 建立之評估架構進行生命週期各階段環境負荷資料數據收集，瞭解其污染情形。必要時並視資料收集情形及資料的品質(如資料不完備)對原本設計之架構加以調整。



資料來源：CSA, Life Cycle Assessment, 由 Forintek, Building Material in the Context of Sustainable Development 中摘錄，本研究重製

圖 1-1 生命週期評估結構

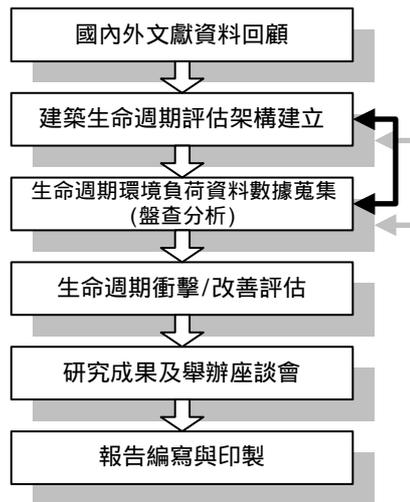


圖 1-2 研究流程

4. 生命週期環境衝擊及改善評估

統合整理步驟 1 所蒐集之國內外文獻資料及步驟 3 蒐集之環境負荷結果資料，實施建築生命週期環境衝擊評估，以瞭解比較建築物不同構造方式材料使用對環境之負荷與影響。接下來並進行包括使用飛灰、爐石粉取代水泥、延長建築物使用壽命、建築拆除廢棄物回收在利用等方法之改善評估。同時透過網際網路接觸國外相關研究單位，瞭解國外研究情形及取得國外研究成果，以便和本研究相互比較。

5. 研究成果座談會

透過座談會之舉辦，討論研究結果，審查資料品質，參考產官學研專家學者意見，並推廣建築產業技術升級，減少建築材料使用對環境所造成之負荷。

6. 報告撰寫與印製

最後是報告撰寫，經審查後再行印刷製作報告。

第二章 文獻回顧

本章內容為將本研究蒐集之國內外建築物環境影響負荷相關之研究文獻，以及使用的環境影響數據資料，做一簡單介紹，以方便後續相關研究者查詢。

2-1 國內外建築物環境影響負荷文獻回顧

- (1) 生命週期評析技術之建立計畫八十四年度計畫執行報告，周幼寧等，工研院能資所，民國 84 年

本報告為工研院能資所欲建立本土化 LCA 技術而進行之計畫，內容包含「參與國際環保，追求永續發展」研討會論文集、「生命週期評析技術移轉及訓練課程報告」、「Life Cycle Assessment Seminar and Technology Transfer Session for Industrial Technology Research Institute」訓練課程講義以及「環保策略工具 - 生命週期評析技術之內涵及發展現況」等。根據本報告可瞭解 LCA 方法、架構、及在各國應用之狀況。

- (2) 台灣建築產業的能源與環保衝擊評估，林憲德等，國科會專題計畫，民國 85 年

該研究之內容包含針對建築物生命週期中建材生產、營建運輸以及日常使用等階段之能源耗用與能源相關溫室氣體排放情形進行評估，根據不同建築物使用類型（辦公、住宅、學校）、生產架構（軀體工程結構體、非結構體等）實施能源與環保的衝擊評估，並比較 RC、鋼骨、SRC 構造建築物於建材生產階段造成的環境衝擊。該研究建立了 79 至 83 年之「建築相關產品單位生產耗能量(熱值單位)及 CO₂*排放量」，而使用的資料則以 83 年為主。該研究並統計了鋼筋混凝土造之各種使用類型建築 184 棟之單位建材用量，以及北部十五棟高層辦公建築單位

建材用量，其中 RC、SRC、鋼骨構造各五棟。其研究成果凸顯 RC 構造對環保所造成之傷害，根據該研究，若以鋼骨構造替代 83 年 RC 構造建築物之建設，在建材生產階段，節約能源方面將減少 7.5×10^{12} kcal 之消耗，在二氧化碳的排放量上將減少 5.01×10^6 t。

- (3) 中日工程技術研討會建築研究組論文集①，內政部建築研究所，中國工程師學會，民國 86 年

本論文集主要是日本方面對環境共生建築，也就是綠建築方面工作的介紹，包括兩篇演講稿以及三篇相關論述，有助於瞭解日本方面對建築環境影響評估方法以及進行情形：

- 日本之環境共生型建築技術的背景與現況
- 環境共生建築理念與方法
- 建築生產與環境
- 各國朝向環境共生建築物的動向
- 省能、省資源及生命週期的成本

日本方面目前的評估方式以 LCA 方法為主，其主要工作重點為省能、省資源以及減低溫室氣體的排放。在本論文集內主要是對環境共生概念作一簡介，至於數據資料方面並不多。

- (4) Building Materials in the Context of Sustainable Development, Natural resources Canada, Forintek Canada Corp., 1993

Forintek Canada Corp.於民國 79 年開始，集合專家學者，針對不同的建築構造方式（RC、鋼骨及木構造）實施生命週期環境衝擊評估。其最終目的在：

- 建立一套環境設計軟體(Environmental Design Model)以評估使用不同的建築材料對環境造成的後果。
- 在一種整體的永續發展系統架構下，提供一套客觀的、可提供給公眾的資料，作為選擇建築材料之參考。
- 指引建築產業研發更有效方式利用天然資源以及建築材

料，以達到將環境衝擊降至最低的目標。

最近於 84 年一月出版的 Phase III Reports 主要為環境衝擊評估指標和方法建立；而之前的 Phase II Reports 主要在建立各種建築材料的單位排放因子(unit emission factor)。目前已建立排放因子的建築材料已有三十種以上。

- (5) Sustainable Building Technical Manual, Public Technology Inc., US Green building council, 1996

由美國環保署(USEPA)以及能源部(USDOE)贊助，Public Technology Inc.(PTI)與 US Green Building Council(USGBC)執行出版之《永續發展建築技術手冊》，內容包含綠建築設計、施工、營運各階段的環境問題，建議採行以及注意事項。

- (6) Steel Instead Of Wood In Residential Buildings , SBI , 1994

文內指出不論是以生命週期成本觀點以及建築過程廢棄物產生量觀點，在中低層住宅建築，鋼鐵構造都比木構造更經濟環保。作者並提出數據指出美國、日本、澳洲等地以鋼鐵構造住宅取代木構造住宅之趨勢有逐漸加強之勢。文末並預測在瑞典以及整個歐洲，鋼鐵構造也將逐漸取代木構造住宅建築。

- (7) Environmental Building News, “Cement and Concrete: Environmental Considerations”, Vol.2 No.2 , 1996

本文利用美國 EPA、加拿大 UBC 以及 Forintek 資料討論混凝土在其生命週期對環境的負荷與影響。文中除提出水泥、混凝土產製過程在資源耗用、能源耗用、CO₂ 排放、空氣污染、水污染以及廢棄物等項目之污染情形外，並討論混凝土建築對人體健康的影響。文末並提出建議事項，例如精確估計混凝土使用量以減廢、以樁基代替筏式基礎以減少混凝土用量、使用預鑄工法、使用飛灰等方法等。

2-2 建築產業之環境衝擊負荷資料

- (1) 營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估，章裕民等，

環保署，民國 85 年

都會區空氣品質之惡化，部份源自於營建工程之相關開發及施工過程。該研究針對國內道路、建築、橋梁工程以及砂石運輸、管線開挖、區域開發等領域進行逸散性粉塵排放現況調查，利用粉體工學相關原理及參用國內外既有模式推估各類工程逸散粉塵量與排放係數，並探討相關污染防治措施之效能。該研究為環保署開徵營建空污費之主要參考依據之一。根據該研究報告成果，整體營建工程逸散粉塵排放量總計每年約 56.4 萬噸，其中建築工程約每年 12.26 萬噸 (21.7%)，數量相當可觀。該研究並以 RC 及鋼骨之構造區分，針對各類評量基準(如基地面積、土方量、工期等)推估出逸散性粉塵排放係數。

(2) 行業污染特性手冊，環保署，民國 85 年

本手冊針對各種污染情形嚴重行業進行製程分析，並參考美國 AP-42 以及 Source Classification Codes(SCC)之排放因子(emission factor)，提出各行業之空氣污染排放係數。與本研究相關者包括鐵礦初級熔煉業、電弧爐煉鋼業及水泥業等。

(3) 節約能源年報，經濟部能源委員會

經濟部能源委員會自民國 75 年起針對國內能源大用戶進行能源查核，委託工研院能資所執行能源查核計畫，並將成果展現在每年的節約能源年報。水泥及鋼鐵業（不含一貫作業煉鋼廠）為耗能相當大之製造業，年報中敘述其主要產品製程以及耗能資料。預拌混凝土業以及砂石、營造業雖已有多家達到能源大用戶標準，但能源密集度相對上仍不夠大以至於未統計在年報內。

(4) 營建工程公害之防制，林耀煌等，內政部建築研究所，民國 83 年

內政部建築研究所三年來對於營建公害之防制研究，包括「建築過程污染源現況分析與管理制度之研究 - (先期規畫報告) 建築過程污染公害問題之分析」、「營建工程公害防治與管理策略」、「建立營建公害管理制度之研究」等，在彙整了上述研究成果後，將之整理成本報告。內容為對相關法令之整合及管理制度之探討，公害防治觀念、原理、對策之探討，國內外公害管制標準適用性之探討及技術規範架構之研擬，以及工程廢棄物特性，利用途徑及未來應用之探討。根據本報告可瞭解建築物在建造施工過程對環境的負荷與影響。

- (5) 正確使用飛灰以提昇混凝土品質，台灣營建研究中心，民國 85 年

台電公司以及台灣營建研究院為了推行飛灰資源化，並避免飛灰不當或不正常使用，舉辦「正確使用飛灰以提昇混凝土品質」研討會，並出版論文集。內容包含飛灰特性介紹，飛灰混凝土產製與品管方法，飛灰混凝土之工程性質，及如何正確使用飛灰提高混凝土耐久性等。

- (6) 含爐石粉及氣冷爐石骨材混凝土之配比研究 - 南星計畫之工程材料初期探討，陳振川等，台灣營建研究中心，中國鋼鐵股份有限公司，民國 78 年

本研究報告乃配合高雄大林埔填海計畫以利用中鋼公司爐石充當海堤混凝土材料之初步研究。內容包含研究以爐石粉替代水泥、水淬爐石替代細骨材、氣冷爐石替代粗骨材之配比設計。研究結果顯示，爐石作為粗細骨材可符合低強度混凝土的工作要求，以爐石粉替代水泥在適當比例下亦可增加混凝土晚期強度。

第三章 建築生命週期評估架構建立

本章內容在介紹建築物生命週期各階段之定義、各階段所造成的環境影響與負荷以及本研究使用之評估指標，並建立合理、具完整性之生命週期評估架構以資應用。

3-1 生命週期各階段定義

一般建築物主體構造材料之生命週期包括原料開採、建材生產、施工建造、日常使用、拆除及廢棄物處理等各階段，依結構型式之不同，所使用材料亦因而迥異。譬如像 RC 主體結構(圖 3-1)所使用之主要材料為混凝土、鋼筋，而鋼骨結構主要是鋼版及型鋼。當建築物達到服務年限而遭拆除時，又會因構造方式之差異而產生不同的廢棄物，譬如像鋼骨結構物拆除時產生廢鋼材，而木結構產生廢木材等。

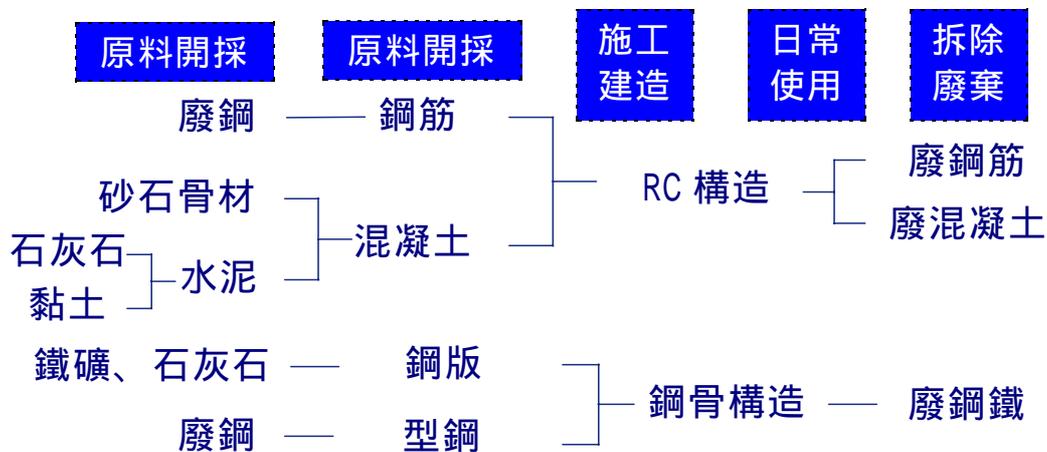


圖 3-1 建築主體構造材料之生命週期簡圖

建築物主體構造之生命週期各階段所考量評估之內容項目，以 RC 及鋼骨構造為例，條列於表 3-1。譬如原料開採階段將評估砂石、水泥原料及鐵礦之開採及運送過程；建材製造階段將考量水泥業生

產水泥、砂石廠生產粗細骨材、預拌混凝土及鋼鐵業之鋼筋、型鋼及鋼版等之製造及運送過程，餘此類推。在下一節中將會概述其所產生的環境負荷與影響。

3-2 生命週期各階段對環境之衝擊影響

本節將針對建築物生命週期各階段中包含之各項產品及活動，瞭解其製造過程或活動流程對環境所造成的負荷與影響，並選取其所造成之主要污染項目，建立評估指標。

3-2.1 原料開採階段及建材生產階段

3-2.1.1 砂石骨材

國內混凝土使用之骨材有 90%是由河川砂礫採石而來。砂石場作業流程可以圖 3-2 表示。碎石作業一般由碎石機完成，可分壓碎式以及擊碎式兩種。

表 3-1 建築物生命週期各階段定義

| | |
|---------|---|
| 原料開採階段 | 1.開採砂石之過程及運送過程 2.開採水泥原料過程及運送過程 3. 開採鐵礦及運送過程 |
| 建材製造階段 | 1.水泥業生產水泥過程及運送過程 2.砂石廠生產粗細骨材之過程以及運送過程 3.預拌混凝土製造過程及運送過程 4.鋼鐵業之鋼筋、型鋼及鋼板製造過程及運送過程 |
| 施工建造階段 | 1.RC 建築主體構造之興建過程 2.鋼結構建築主體構造之興建過程 |
| 日常使用階段 | 1.RC 建築興建完成後至拆除前之使用過程 2.鋼結構建築興建完成後至拆除前之使用過程 |
| 拆除階段 | 1.RC 建築之拆除過程 2.鋼結構建築之拆除過程 |
| 廢棄物處理階段 | 1.RC 建築拆除後之廢棄物，如鋼筋混凝土塊之廢棄或分離、回收過程 2.鋼結構建築拆除後之廢鋼、廢混凝土塊之廢棄或分離、回收過程 |

由製程可看出，空氣污染源可能有車行場區、風蝕作用、裝載作業、卸料作業、碎石作業等處逸散之粒狀物。而洗選骨材排出含泥砂之混濁廢水，以及無計畫的濫採砂石將會對河川生態造成相當大的影響，且對景觀造成的衝擊亦不可小覷。此外，砂石車由於業務上的競爭，往往有超載的情形，不但破壞路面且易肇事，付出的社會成本難以估計。

3-2.1.2 水泥

水泥的原料主要是石灰石以及黏土，生產每公噸水泥所耗用原料耗用比例如表 3-2 所示，其中石灰石佔 84%為最主要成分。台灣的石灰石礦一般產於山上，採取的方法一般使用炸採法，利用索道或卡車運輸，經過粗碎、細碎後儲存於石灰石庫內。但炸採方式不但有粉塵、噪音污染問題，且對自然景觀衝擊相當的嚴重。目前已有東部水泥廠採用豎井開採法，此法成本較高，但是對環境衝擊較低。石灰石經過與鐵渣、矽砂、黏土依比例調和後研磨成細粉，也就是水泥生料，儲存於生料庫中。此階段消耗的能源消耗以研磨機的電力為主。生料經預熱後送入旋窯燒結成熟料，急速冷卻、儲存之後，將熟料加入適量石膏，研磨成細粉即為水泥。水泥經包裝機裝袋即為袋裝水泥，亦可不經包裝直接運銷稱散裝水泥。將礦物以及化學摻料依適當比例加入熟料中一起研磨則可生產出各種不同種類之水泥。



圖 3-2 建築用砂石生產流程圖

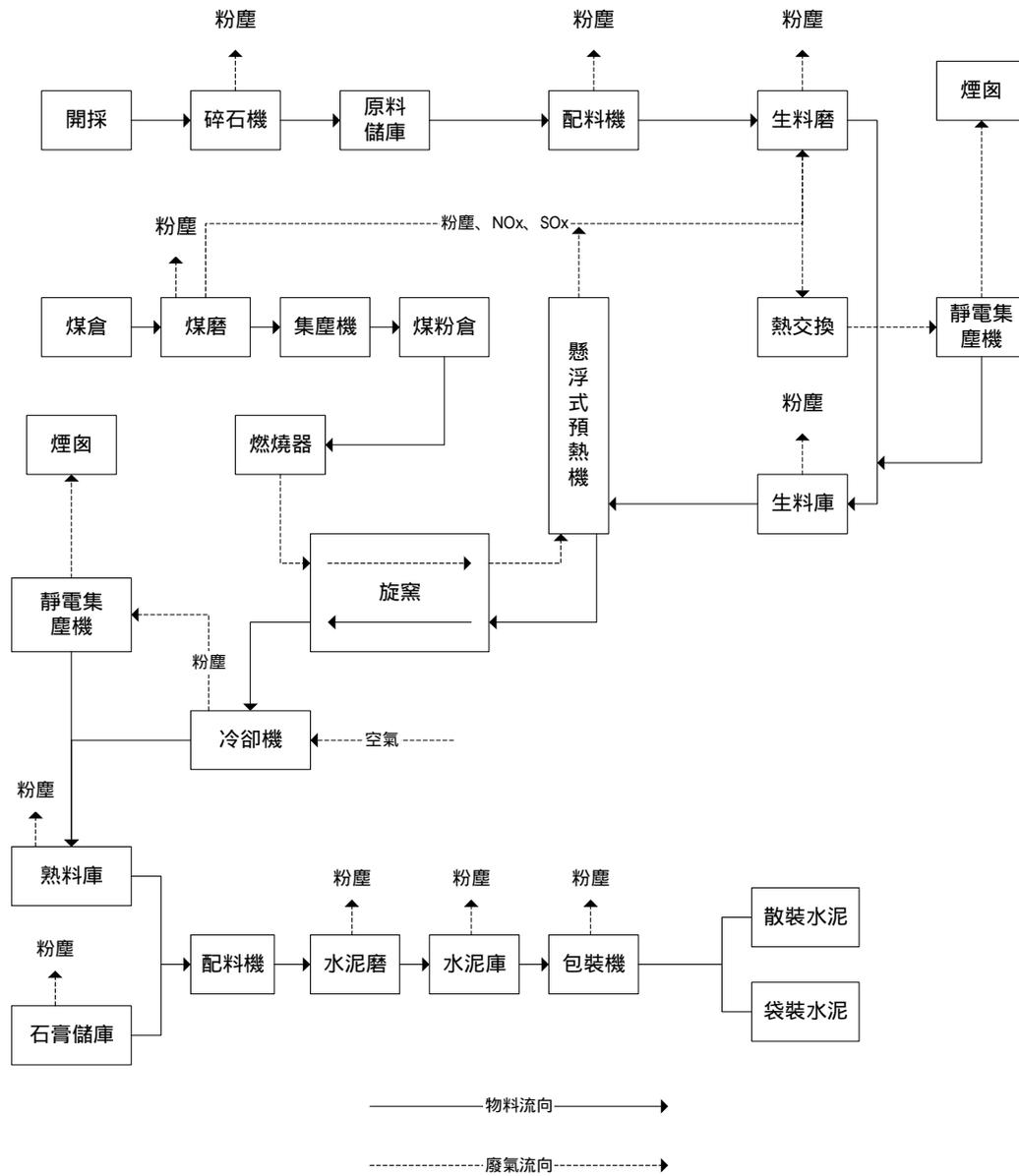


圖3-3 水泥生產流程圖

由能源平衡表及節約能源年報中可知，水泥業在燃料耗用主要為旋窯用之燃料煤，以及生料磨、水泥磨、SP 排風機、煤磨和靜電集塵器耗用之電力。此外部份廠家在點燃鍋爐時使用燃料油，因非一般性作法，本研究予以忽略。由於水泥業為能源密集度最高的製造業，大量的使用粉煤產生了可觀的 NO_x 及 SO_x。而從圖 3-3 可看出，水泥生產幾乎每一步驟都會有粒狀污染物的產生，而各水泥廠也都配備集塵設備以達到空氣品質標準。國內水泥業全以乾拌生產，故水污染僅限於機具的清洗，可以加以忽略。廢棄物方面，主要為集塵器收集之粒狀物，大部份都回收使用。

表 3-2 生產每公噸水泥耗用原料比例

| 原料 | 耗用量(公噸) | 比率(%) |
|-----|---------|-------|
| 石灰石 | 1.400 | 84.3 |
| 矽砂 | 0.055 | 3.3 |
| 鐵渣 | 0.020 | 1.3 |
| 黏土 | 0.150 | 9.0 |
| 石膏 | 0.035 | 2.1 |
| 合計 | 1.600 | 100.0 |

資料來源：經濟部能委會，82 年節約能源年報

3-2.1.3 鋼板、型鋼及鋼筋

鋼鐵構材來源，也就是鋼胚的生產方式有兩種：第一種是用鐵礦砂、石灰石配合焦煤為原料經過高爐配合氧化轉爐煉製方式如圖 3-4，目前僅有中鋼一家，其產品為鋼板；另一種是以廢鋼為原料，經過電弧爐煉製，目前國內鋼筋幾乎百分之百都是由此而來，而國內的最大 H 型鋼廠商東和鋼鐵也是以此方式製造。

就鋼板製造過程而言，鐵礦之熔煉有燒結、煉焦及煉鐵三製程，需經過燒結工廠、煉焦爐及高爐，煉出的銑鐵經過轉爐以及壓延即可製成鋼板。生成空氣污染物中以逸散性粉塵最為嚴重，此外還有 CO、VOC、NO_x、SO_x、鉛等之排放。而固體廢棄物有爐渣以及集塵而來的污泥，可做為建築材料或是填土處理。

圖 3-4 一貫作業煉鋼流程圖

圖 3-5 電弧爐煉鋼及軋鋼作業流程圖

基本上鋼筋、型鋼、製程皆相似，主要是將電弧爐煉出之鋼胚以加熱爐加熱後，經軋鋼機加工而成，而由車載送出，其製程如圖 3-5。鋼鐵軋製過程造成的污染相對下比較小，一般均不處理或與電弧爐廢氣一併處理後排放至大氣中。由於廢鋼帶有相當多的雜質，故電弧爐煉鋼業產生相當多的廢棄物，主要為集塵灰以及爐渣。集塵灰中包含許多重金屬成分，環保署將其列為有害廢棄物，依照新的廢棄物清理法，必須回收處理。爐渣為氣冷爐渣，可作為輕質骨材之一種，但應用在建築物構造中仍不普遍，多僅在低強度混凝土構造中使用。

3-2.1.4 預拌混凝土

水泥以及骨材在送入預拌混凝土廠後，經過儲存、秤量後，依比例加水拌合便成為預拌混凝土，其拌合及輸送一般分為下列三種方式：

- 中央配料及拌合式(Central Batched and Mixed) -
混凝土在混凝土拌合廠(Concrete Batching and Mixing Plants)中配料並完成拌合作業然後卸料到拌合車或卡車上運送到澆置地點。此種方式較常使用在運距在 1 小時車程以內情形下。
- 途拌式(Transit Mixed) -
混凝土材料在混凝土配料廠(Concrete Batching Plant)計量配比後，剩餘的拌合工作都在預拌車(Truck Mixer)運送途中完成者稱之。一般在氣候炎熱 運距較長情形下使用。
- 分拌式(Sharing Mixed) -
混凝土材料先在混凝土拌合廠中先行稍加拌合，然後在拌合車中繼續完成所需的拌合工作，此種方式用於混凝土需求較大時。

混凝土拌合廠製造混凝土的程序如圖 3-6 所示。國內混凝土廠品質參差不齊，且非法廠家數目據推估甚至超過合法廠家數

目，在污染防治措施的投資、使用差異相當大。空氣污染可能發生在骨材堆置、輸送，以及水泥進料等動作逸散出的粒狀物；但若整廠採密閉方式作業，由於混凝土廠沒有廢氣的排放，粒狀物並沒有隨廢氣排出的可能，因此幾乎可以達到零排放的標準。水污染源來自於骨材、機具的清洗、以及遭退貨的混凝土回收清洗後的廢水。這些含水泥的廢水具強鹼性，對水中生態將有相當大的影響。遭到退貨的混凝土是廢棄物的主要來源，基於經濟上的考量，預拌廠通常會將骨材洗出再利用，剩餘廢泥水若無回收處理則直接排放。

3-2.2 施工建造階段

一般建築物主體工程施工步驟包含各種構造型式建築物共通的整地、基樁、擋土、開挖、搬運、臨時設備（臨時支撐、工寮）等工程以及依結構形式不同的混凝土工程（包含鋼筋）、鋼骨工程等。國內鋼骨構造建築物之地下結構體皆非純鋼骨構造，因為我國建築法規定建築物需向下開挖一定深度地下室作為防空避難室，且避難室必須為鋼筋混凝土或鋼骨鋼筋混凝土造。此外，一般鋼骨構造建築物由於有防火、隔熱處理以及樓版強度的考量，故仍有混凝土工程的施作，只是數量上與 RC、SRC 構造建築物比較起來就少了許多。表 3-3 為建築物主體工程產生的環境影響情形。

3-2.2.1 不同建築構造形式共通之施工步驟

由表 3-3 可見不同構造方式建築物共通的基樁、擋土、開挖工程常產生噪音、振動、空氣污染、水污染、地層下陷以及廢棄物等問題。此部份產生之粉塵，除了直接逸散至大氣部份外，落下之塵埃更會因日後施工機具或風吹擾動而造成二次污染。其中基樁工程一般被認為是產生噪音、振動公害最為嚴重的工程。

3-2.2.2 混凝土工程

而在依照建築物構造形式而有不同的混凝土工程、鋼骨工程所產生的污染程度方面根據日人原田實以及橫田依早彌的研究，

可表示如表 3-4。混凝土澆灌機具會產生噪音與振動，但就整體而言都不大；由表 3-4 中可看出混凝土澆置過程對環境的影響大多屬中等程度。混凝土施工除了混凝土的澆置以及鋼筋的切割、捆紮，另外還包括模版以及臨時支撐等臨時設備工程。國內一般除了大型高層建築物或業主指定時可能使用系統模版外，一般建築工程仍使用木模。據《營建工程資源供需推估架構》統計，RC 建築物每 m² 樓版面積約需 4.2 平方公尺之木模版。一般估計一套木模版僅能使用 2~3 次，但據了解，許多工地為了節省，一套模版即使已經有漏漿的情形產生，常仍用到十次左右。木模版在不堪使用後並沒有回收，而是當場燒掉，於是產生了大量未處理即排放的空氣污染物以及廢棄物。

表 3-3 建築工程各類作業可能產生之公害

| | 噪音 | 振動 | 空氣污染 | 水污染 | 土壤污染 | 惡臭 | 地層下陷 | 廢棄物 |
|--------|----|----|------|-----|------|----|------|-----|
| 基樁作業 | | | | | | | | |
| 擋土作業 | | | | | | | | |
| 開挖作業 | | | | | | | | |
| 搬運作業 | | | | | | | | |
| 臨時設備工程 | | | | | | | | |
| 混凝土工程 | | | | | | | | |
| 鋼骨工程 | | | | | | | | |

：較常發生 ：常發生 ：有可能發生 空白：較少發生

資料來源：林耀煌，營建工程公害之防制，本研究整理補充

3-2.2.3 鋼骨工程

鋼骨結構工程的構件較重，且多在空中作業，必須使用吊車。由表 3-4 亦可看出鋼骨結構工程之環境影響主要在吊車在搬運、吊放鋼材時，以及對孔、接合時產生之噪音。但是由於鋼骨建築多為預製構件，施工迅速，50 層樓建築最快僅需一年即可完工。在工期減短的情況下，對當地交通、作息等等干擾的時間也可望相對的減少。

表 3-4 營建工程施工噪音振動粉塵影響程度例

| | 作業內容 | 施工機械 | 噪音 | 振動 | 粉塵 |
|-------|------|---------|----|----|----|
| 混凝土工程 | 搬運 | 混凝土泵 | | × | - |
| | 鋪築 | 混凝土修整機 | | × | × |
| | | 震動器 | | | |
| | 噴漿 | 混凝土噴漿機 | | - | |
| 鋼骨工程 | 組立 | 牽引式起重機 | | - | × |
| | | 輪式起重機 | | - | × |
| | | 履帶式起重機 | | - | × |
| | | 塔式起重機 | × | - | - |
| | 接合 | 鉚釘機 | | × | - |
| | | 衝擊扳手 | | - | - |
| | | 熔接器、切斷器 | × | - | |
| | 研磨機 | | - | × | |

：影響程度大 ：影響程度中等 ×：影響程度小 -：無影響

資料來源：鹿島出版會，建設工事的噪音、振動、粉塵之防止對策

3-2.3 日常使用階段

本階段包含的活動相當複雜，包括與建築物使用形式（辦公、住宅、學校）緊密相關的建築物內空調、照明、烹飪等等，同時包括建築材料的汰換維修等。此外，建築物於使用期間內，可能受到大氣腐蝕、雨水沖刷、甚至地震、火災等等都包含在本階段考慮範圍內。根據以上活動，可以看出建築物日常使用階段可能產生的環境衝擊有：

- 建築物內部活動耗用的資源及能源
- 建築物內部活動產生之空氣污染物、廢水、廢棄物
- 建築材料汰換、維修工作耗用的資源以及產出的污染
- 建築材料逸散之污染物

3-2.4 拆除階段

一般真正因為材料自然衰老而「死亡」的建築物並不多，拆除建築物的原因多是基於建築物品質劣化至不堪使用、與都市計畫衝突、機能不符使用、或為創造更大經濟效益等等考量。建築物之品

質劣化可能有下列原因：

- 設計考慮不夠周詳，未能配合當地氣候環境
- 建築材料、施工品質不良
- 天災人禍，如火災和地震
- 以上種種原因的加總

根據營建署的統計，民國 81~85 年平均每年拆除建築物戶數約 7,000 戶左右，多是民國 60 年或更早以前興建之一般平房或低層建築物。據統計，以每戶面積 100 平方公尺(30 坪)計算，廢棄混凝土的數量大約在每年 42 萬 m³ 左右。

拆除工法種類相當多，一般可分破碎拆除與構件拆除兩種。表 3-5 列舉出各種 RC 構造使用的拆除解體方法之施工特性以及環境影響特性。破碎拆除是在原地將房屋破碎成小碎塊運出，而構件拆除是將梁、柱、版、牆等構件切割成適當大小再進行二次破碎。二次破碎地點可在場內或場外。由表 3-5 可看出，大部份拆除方式皆容易產生粉塵、噪音及振動，部份必須使用水的拆除方式則有水污染的問題。

根據訪問專家的結果，世界各地的鋼骨結構建築拆除的案例都很少見。而國內鋼骨建築正在推廣階段，拆除的案例更可以說是沒有。不過鋼骨結構在拆除時應該相當容易，只要把外牆移除，將鋼鐵構件利用火焰方式切割搬走，也就是可以用解體拆除的方式，將較一般 RC 的破碎拆除方式產生較少的污染量。

表 3-5 各種解體機器、工法之施工特性及公害特性

| 分 | 各 器 | 施 工 特 性 | | | | 公 害 特 性 | | | | 備 註 | |
|------------|---------|---------|-----|---------|---------|------------------------------|----|----|----|---------|-----------------------------------|
| | | 事前作業 | 安全性 | 破碎能率 | 二次破碎處理 | 型態、重量 | 噪音 | 振動 | 粉塵 | | 其他 |
| 一般 用之工法 | 千斤頂 | 無 | 高 | 大 | 無 | 移動式 4.8t | 小 | 小 | 中 | | 對樓版、梁之拆除有效。必須用吊車等吊上頂層。 |
| | 壓碎機 | 無 | 高 | 大 | 無 | 懸吊式 1.0~4.3t 移動式 16~44.6t | 小 | 小 | 中 | | 對梁、柱之拆除有效。懸吊式需用吊車。 |
| | 切削器 | 無 | 高 | - *1 | - *2 | 移動式 1.2t 軌道式 70kg | 中 | 小 | 小 | 需要排水 | 能用於全部之構件。搬出時要用吊車。塊狀時需二次破碎。 |
| | 手提式破碎機 | 無 | 高 | 小 | 無 | 20~40kg | 大 | 小 | 大 | | 絕緣、小塊切割用。連續作業時間 30 分以內。 |
| | 大型破碎機 | 無 | 高 | 大 | 無 | 移動式 10~16t | 大 | 中 | 大 | | 需要有強固之作業樓版。採用油壓式，雖效率會降低但可減少噪音。 |
| | 鋼球 | 無 | 低 | 大 | 無 | 鋼球 0.5~1.5t 吊車 22~27t | 中 | 大 | 大 | 需要飛散物防止 | 可使用於全部之構材，但不適合基礎。需要吊車。 |
| 特殊情形採用之工法 | 火藥 | 有 | 低 | 大 | 有 | - | 中 | 大 | 中 | 需要飛散物防止 | 對基礎、梁、柱、巨積混凝土拆除有效。需要爆破圍籬通常是大切割破碎。 |
| | 混凝土破碎器 | 有 | 低 | 大 | 有 | - | 中 | 中 | 中 | 需要飛散物防止 | 安全性較火藥高。 |
| | 高壓瓦斯破碎器 | 有 | 低 | - | 有 | - | 中 | 小 | 中 | 需要飛散物防止 | 對鋼筋混凝土拆除有效。需要爆破圍籬。 |
| | 油壓孔擴大器 | 有 | 高 | - | 有 | 17.5~31kg | 小 | 小 | 小 | - | 對無筋混凝土有效。 |
| | 生石灰破碎法 | 有 | 高 | - | 有 | - | 小 | 小 | 小 | - | 對無筋混凝土有效。但須注意火災、火傷。 |
| 其他 | 直接通電加熱器 | 有 | - | - | 有 | - | 小 | 小 | 小 | - | 必須設置圍籬。 |
| | 電磁誘導加熱器 | 無 | - | - | 有 | - | 小 | 小 | 小 | - | 必須設置圍籬。 |
| | 電磁波破碎器 | 無 | 低 | - | 有 | - | 小 | 小 | 小 | 需要漏洩防止 | 對人體、通信電波等有害。 |
| | 噴水 | 無 | 低 | - | 有 | - | 大 | 小 | 小 | 需要排水 | |

註： 1. 切削器因是線狀破碎，不在比較對象內。

2. 一般是構件拆除，故不在比較範圍內。

資料來源：建築業協會 RC 破壞工法委員會，鋼筋混凝土構造式之無公害破壞工法指針，由《營建公害防治與管理策略中摘錄》

3-2.5 廢棄物處理階段

一般 RC 建築拆除之廢棄物通常有土石、磚瓦、混凝土塊、鋼筋、以及一些家具及裝潢材料等，而目前分類處理的情形並不普遍。結構體中鋼筋混凝土元件分離出之鋼筋由於可售予廢鐵回收商，是目前回收較為良好之材料，但有些工地對於接頭部份不易拆除的鋼筋仍直接和混凝土一併丟棄。混凝土及磚頭碎塊在雨天工地泥濘時可以作為回填道路材料；平時無銷路則以棄土處理。當廢棄物無法再利用時，處理廢棄物費用約佔總拆除工程費用 50% 左右。現在已有將廢棄混凝土塊破碎回收作為骨材的研究，但是在成本的考慮下尚無法市場化。

電弧爐煉鋼業廣義上說來可說是廢棄物處理行業，根據鋼鐵同業公會資料，85 年台灣自產廢鋼約 521 萬公噸，還需進口廢鋼 110 萬公噸。由於鋼鐵具有磁性，回收時僅需經過破碎，而後以磁鐵篩選過後，即可加以熔煉。鋼鐵在多次熔煉後，會有一定程度的變質，但是由於每次的回收多會有由鐵礦煉製而來，一般所謂處女鋼的加入，故廢鋼的回收可以說是一直循環不已，形成一個封閉的生命週期。

3-3 評估指標建立

通常在環保領域中，將環境影響與負荷大致分類為資源耗用 (resource depletion)、人類健康 (human health)、生態保育 (ecological health, or environmental health) 三大類。一般環保領域與衝擊種類關係可如表 3-6 所示。

綜合前一節建築物生命週期各階段對環境所造成污染項目及情況的瞭解，並顧及資料之可取得性，本研究選定六大指標：資源耗用、能源耗用(合成能源)、CO₂ 排放、逸散性粉塵排放、固態廢棄物產生以及景觀衝擊，以進行後續的生命週期資料盤查分析、衝擊與改善評估等活動，整理於表 3-7。而其他如氣狀污染物、水污染等項目雖也將一併評估，但僅作為次要的參考比較。

表 3-6、一般環保領域與衝擊種類間之關係

| 衝擊種類 (例) | 一般環保領域 | | |
|---|--------|------|------|
| | 資源耗用 | 人體健康 | 生態保育 |
| 資源減少 生物性資源 非生物性資源 | | | |
| 環境污染 全球溫暖化效應 臭氧層破壞 對人類之毒性 對生態之毒性 光化學氧化物之生成 酸雨 優氧化 懸浮粒狀物 | | | |
| 生態及景觀破壞 土地使用 | | | |

：表示直接的衝擊潛能

：表示間接的衝擊潛能

資料來源：中日工程技術研討會建築研究組論文集①、本研究

此外，根據《台灣地區營建工程能量之調查與分析》，建築物每 m² 樓地板面積建材使用量可能因建築物設計之使用功能形式(住宅、辦公、學校等)以及建造總樓層高度而不同。一般鋼骨和 SRC 構造在中、低層建築的應用程度並不高，且多為辦公建築，在其他使用形式方面資料不易取得。為求得各構造比較上的一致性，故本研究之評估對象以 RC、SRC 以及鋼骨造之高層辦公建築物為主。國外如美、日，鋼構以及木構造廣為應用在低、中層住宅，其研究資料多針對低、中層建築，可作為未來研發低、中層住宅或學校合理構造方式之參考。國外研究發展現況在 5-9 節有較詳盡的敘述。

本研究所稱資源耗用，專指建材資源，而不包括如水、土地、勞力等其他資源。本研究並將以國內預估剩下可利用的地球天然資源量來探討各種建築構造消耗的資源，並比較評估其回收潛能。

通常在進行能量耗用評估時，一般多以合成能源 (embodied energy) 作為評估依據，其係指一個產品或活動在其生命週期中所有使用能源之加總。就建築材料而言，乃是指其原料開採、生產製

造以及運輸、廢棄處理耗用能源之總和。而一棟建築物主體構造材料的合成能源，便是其材料合成能源之合計。

表 3-7 生命週期評估項目及影響程度

| | | 資源 耗用 | 能源 耗用 | CO ₂ 排放 | 逸散性粉 塵排放 | 固態廢棄 物產生 | 景觀衝擊 |
|-------------|-----|----------|----------|-----------------------|-------------|-------------|------|
| 原料開採 階段 | 砂石 | - | | | | - | |
| | 石灰石 | - | | | | - | |
| | 鐵礦 | - | | | | - | |
| 建材生產 階段 | 水泥 | | | | | - | × |
| | 鋼筋 | | | | | - | × |
| | 型鋼 | | | | | - | × |
| | 鋼板 | | | | | - | × |
| | 混凝土 | | | | | - | × |
| 施工建造 階段 | RC | - | | | | - | |
| | 鋼骨 | - | | | | - | |
| 日常使用 階段 | RC | - | | | × | - | × |
| | 鋼骨 | - | | | × | - | × |
| 拆除階段 | RC | - | | | | | × |
| | 鋼骨 | - | | | | | |
| 廢棄物處 理階段 | RC | | | | | - | |
| | 鋼骨 | | | | | - | |

：嚴重影響 ：有影響 ×：極小或不影響 -：無資料或不考慮
資料來源：本研究

全球溫暖化效應可算是目前最重大的全球性環境問題之一。造成全球溫暖化的溫室氣體包含二氧化碳、甲烷、氧化亞氮以及氟氯碳化物等等，而其中 CO₂ 影響最大，也是氣候變化綱要公約中，對全球溫暖化的評估基準。本研究中亦是以 CO₂ 排放量為評估指標。

懸浮粒狀物及落塵可合稱逸散性粉塵，不但使得環境髒污，其中 PM₁₀(粒徑小於 10 μm 的懸浮粒狀物)更被懷疑與人類呼吸道病變有關。故逸散性粉塵排放為本研究另一項評估指標。

在廢棄物方面，由於本研究並未取得建材生產過程所產生廢棄物之本土化資料，故本研究所討論之廢棄物為建築拆除廢棄物，如廢混凝土、廢鋼等等。

景觀生態衝擊包含自然景觀的破壞，以及生態環境的改變，一般發生在原料開採階段。由於其衝擊並不容易量化，故本研究將以敘述方式比較之。

本研究雖因時間關係未能深入探討指標間之相互關係，但此六大指標除能源耗用與 CO₂ 產生量可說是息息相關外，其他指標間可看出相關性並不高。為了方便整體考量，建議未來研究中應以社會成本為依據，進行指標間之整合。

除以上六大項指標外，本研究亦將對造成酸雨的硫氧化物 (SO_x)、氮氧化物 (NO_x)，以及和 NO_x 同為光煙霧效應因子的一氧化碳 (CO) 進行探討。水污染方面則考慮廢水產生量，生化需氧量 (BOD)、化學需氧量 (COD) 以及水中懸浮微粒 (SS)。

3-4 改善方式概述

進行改善工作之目標，如同圖 1-1 所示，主要是要減少能源與資源耗用，以及抑制生命週期污染產生。使用的方法可以有選用替代材料、增長產品的使用壽命、改善運銷 / 分配過程、強化功能 / 可維護性、增進產製效率、加強污染物捕集效率以及加強廢棄物的管理等等。一般為減輕建築物對地球環境衝擊的方法，《平成生產事典》中《建築生產與環境》一文中亦舉了相當多例子，茲將與本計畫內容較為相關者整理出來，見於表 3-8。

減低建材生產階段環境負荷除可針對建築相關產業加強污染防治措施以及改善製程外，利用建築設計降低單位建材用量或使用替代建材也是可行的辦法。近年來由於骨材資源不足、混凝土業競爭激烈、電廠飛灰棄置問題等，國內外已開始進行替代建材之研究如使用飛灰、爐石粉替代水泥、使用天然或人造輕質骨材代替砂石等等。

在施工建造階段減低環境負荷策略可為加強工地環境管理，減少不必要的建材浪費，使用清潔技術的施工方法，或選用可對應低環境衝擊工法的建築材料。

而在日常使用階段，也就是建築節能方面，內政部建研所也已進行多年研究。經過適當平面設計、遮陽後的建築物，日常用電甚至已可以節省達一半以上。

而要減少拆除以及廢棄物處理階段的環境影響，可以採用容易拆除或改建的建築設計，也就是模組化的概念，減少耗能、噪音、粉塵等等環境衝擊。

本研究在進行生命週期盤查以及影響評估後，決定選擇使用飛灰、爐石粉替代水泥、延長建築物使用壽命、加強拆除廢棄物回收、以及以鋼骨構造代替所有構造方式等改善方法加以評估。

表 3-8 減輕建築生產對地球環境衝擊的方法

| 種類 | 對策 | 方法例 |
|-------------------------------|-----------------------|--|
| 全球 溫暖化抑制 | 抑制 CO ₂ 排放 | <ul style="list-style-type: none"> • 使用合成能量較低的建築結構材料 • 重複使用合成能量較高的建築材料 • 活用、循環使用水泥及廢鋼材 |
| 抑制 源 消耗 以及 少 物 | 延長建築物使用壽命 | <ul style="list-style-type: none"> • 提高建築物構造耐久性 • 設計容易變更改用途、方便改造之建築物：開放式建築 • 對既有建築的活用、再利用 • 良好的都市計畫，減少必須拆除之建築物 |
| | 化石能源以及資源的有效利用 | (以抑制 CO ₂ 排放為基準) |
| | Reuse /Recycle 的推動 | <ul style="list-style-type: none"> • 活用各種拆除廢料成為建材 • 採用容易分離拆除廢料的建造工法 • 標示建材原料成分含量 |
| | 活用副產品 | <ul style="list-style-type: none"> • 活用建材、能源生產以及建造時伴隨的副產品 |
| | 減少伴隨施工產生的廢棄物 | <ul style="list-style-type: none"> • 改善設計，使用清淨技術的工法 • 避免材料剩餘 • 分類收集施工現場廢棄物 |
| 抑制酸雨影響物質的發生 | | <ul style="list-style-type: none"> • 工廠需做除硫措施 • 採用低硫燃料如天然氣 |

資料來源：平成生產事典，由中日工程技術研討會建築研究組論文集①摘錄，本研究補充

第四章、國內建築物生命週期盤查分析

本章內容主要是對國內建築主體構造進行生命週期盤查分析，以各項環境負荷評估項目分類，針對生命週期各階段逐項量化其所造成的衝擊影響，進行資料計算整理，供生命週期影響評估以及改善評估使用。

4-1 資源耗用

一般常用混凝土強度在 210 kg/cm² 到 350 kg/cm² 之間，以高層建築物而言，使用 280 kg/cm² 預拌混凝土應是較合理之假設。根據民國 83 年出版的《工料分析》，強度 280 kg/cm² 預拌混凝土每 m³ 約需 8.5 包水泥(425kg)，以及 1.26 m³ 的砂石骨材。而生產每公噸水泥需耗用之原料種類及數量已列於表 3-2。在熱軋鋼版方面，本研究利用 Forintek Canada Corp. 資料中，生產每公噸熱軋鋼版約需 1.2 t 的鐵礦以及 0.18 t 的石灰石計算。至於鋼筋及型鋼製造，經訪談得知，製造一噸型鋼或鋼筋約需 1.2 t 廢鋼以及 33kg 的生石灰。

由《台灣建築產業的能源與環保評估》以及本研究訪查結果，可統計出 RC、SRC、以及鋼骨高層辦公建築物每 m² 樓地板面積所需主體結構建材用量，列於表 4-1 之左半部。這些建築物之詳細資料可參照附錄 D。接著我們便可以利用上述資料，計算不同構造方式所消耗的天然資源。計算結果示於表 4-1 之右半部。

表 4-1 建築物平均消耗資源量

| | 樣本數 | 型鋼用量 (t/m ²) | 鋼版用量 (t/m ²) | 混凝土用量 (m ³ /m ²) | 鋼筋用量 (t/m ²) | 水泥用量 (kg/m ²) | 石灰石用量 (kg/m ²) | 砂石用量 (m ³ /m ²) | 廢鋼用量 (t/m ²) | 鐵礦用量 (t/m ²) |
|-------|-----|--------------------------|--------------------------|---|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| RC構造 | 13 | - | - | 0.67 | 0.163 | 284.8 | 405.1 | 0.84 | 0.196 | - |
| SRC構造 | 5 | 0.128 | - | 0.59 | 0.082 | 250.8 | 359.4 | 0.74 | 0.252 | - |
| 鋼骨構造 | 10 | 0.174 | 0.008 | 0.25 | 0.047 | 104.6 | 156.6 | 0.31 | 0.260 | 0.009 |

資料來源：本研究整理

4-2 合成能源

4-2.1 原料開採以及建材製造階段

4-2.1.1 砂石骨材

因無法取得直接針對砂石業統計之能源使用資料，故本研究採用行政院主計處出版《台閩地區工商業普查資料》中土石採取業部份之生產用電力費以及生產用燃料耗用總值加以推估。由於工商業普查每五年舉行一次，而民國 85 年普查結果約在 87 年才會公佈，本研究僅能取 80 年之資料計算。民國 80 年土石業共耗用 648,208,000 元之燃料費用以及 590,586,000 元之電力費用。假設燃料均使用柴油，將燃料費用除以中油公定普通柴油批發價格 14.5 元/l，可估算土石採取業生產每年耗用柴油 44,704,000 l。由於電力計算方式牽涉時間電價，以及各種優惠等問題，並不是以台電公佈的營業用電價格為準；故無法直接以電價轉成用電度數。將耗用之柴油量及電費除上 80 年黏土、矽砂、級配、天然石、碎石、土石總產量 41,633,536 m³，可得到生產 1m³ 砂石需耗用 1.07 公升之柴油以及 14.2 元的電力。由於電力度數之不可得，故本研究另採用《台灣建築產業的能源與環保衝擊評估》中資料之砂礫生產耗電量 1.32 kWh/m³。

4-2.1.2 水泥

民國 84 年水泥業耗能量為 2.0×10^{13} kcal，佔全年國內能源消費的 4.2%，在製造業中僅次於鋼鐵工業。本研究使用 84 年節約能源年報中水泥單位產品耗能量。表 4-2 為卜特蘭水泥生產製程能源比例平衡圖。由表中可看出各生產階段所佔耗能比例，其中採石部僅佔 2.13%，主要耗能還是在研磨、煨燒過程。

由表 4-2 可看出水泥製造主要耗能種類為電力以及粉煤。此外有些廠會添加少許石油焦，而另外有些廠會在起爐時使用燃料油提高爐體溫度，或是使用柴油引擎發電實施汽電共生；但是確切數據並無法得知。根據民國 84 年節約能源年報統計 14 家水泥廠結果，水泥(卜特蘭水泥)的單位耗電量在 101.7~127.63 kWh/t

之間，平均 111.415 kWh/t。而單位耗煤量在 111.94~162.08 kg/t 之間，平均 133.68 kg/t。

表 4-2 水泥製程各階段耗能分析

| 外購電力 | |
|--------------|---------|
| 採石部 (石灰石開採) | 2.13% |
| 生料部 (原料研磨) | 26.78% |
| 熟料部 (熟料燒成) | 25.43% |
| 煤粉部 (燃料煤研磨) | 5.19% |
| 水泥部 (水泥研磨) | 38.67% |
| 包裝部 (袋裝水泥研磨) | 1.04% |
| 其他 | 0.76% |
| 燃料煤 | |
| 熟料部 (熟料燒成) | 100.00% |

資料來源：經濟部能委會，85 年節約能源年報

4-2.1.3 鋼鐵構材

鋼鐵業為一基礎工業，能源消費比例居製造業之首。根據台灣能源平衡表，民國 84 年鋼鐵工業總耗能為 5.0×10^{13} kcal，佔全國總耗能 10.3%，而其中有 46% 的產品流向營造業。

節約能源年報並未對國內唯一的鋼版製造廠商，也就是中鋼進行查核統計，故本研究取用 Forintek Canada Corp. 之資料作為評估依據。據其指出，生產一公噸的熱軋鋼版，需耗用 18497 GJ 的煤、1485 GJ 的電力、1913 GJ 的天然氣以及其他少量的燃料油、柴油和汽油等等。本研究依照能源熱值將以上數據轉換為用量，結果表示於表 4-4 之中。

鋼筋為鋼鐵業最大宗產品，其生產流程耗能分析如表 4-3 所示。根據《節約能源年報》之統計，生產一噸普通鋼筋需耗用 604.0 kWh 的電力以及 44.2 l 的燃料油。此處數據與年報中之「製造業產品單位耗能統計」表中所載數值並不一致，經詢問後得知是因為兩者計算方式並不同，且前者包含營業用電所致。為求與其他製品之一致性，本研究決定使用年報中製造業產品單位耗能統計

資料。將鋼胚耗能加上鋼筋生產耗能，得到生產每公噸鋼筋耗電 586.0 kWh/t，耗燃油 44.2 l/t。在型鋼耗能方面，以鋼胚煉製耗能加上型鋼製造過程耗能得到生產一公噸型鋼需耗用 605.00 kWh 電力以及 44.2 l 的燃料油。雖然國內以廢鋼製造鋼版技術仍不普及，但此處仍試著計算其耗能。85 年節約能源年報並未統計鋼版耗能資料，故本研究取 82 年節約能源年報資料。生產每 t 以廢鋼為原料的鋼版需耗電 617.4 kWh，耗用燃料油 52.45 l。

4-2.1.4 預拌混凝土

每 m³ 預拌混凝土生產耗能根據《台灣建築產業的能源與環保衝擊評估》統計得每 m³ 耗電量為 3.4 度，而並不耗用燃油。

表 4-3 普通鋼筋製程能源平衡圖

| | 製造階段 | 耗用量 | |
|-----|-----------|--------|--------|
| | 電力 | 電弧爐 | 73.69% |
| | 吸塵設備 | 7.28% | 44 kWh |
| | 連續鑄造及水處理 | 3.8% | 23 kWh |
| | 軋鋼機 | 9.27% | 56 kWh |
| | 其他（含營業用電） | 5.96% | 36 kWh |
| 燃料油 | 加熱爐 | 92.76% | 41 l |
| | 電弧爐 | 7.24% | 3.2 l |

資料來源：經濟部能委會，85 年節約能源年報

4-2.1.5 綜合整理

以上資料，在電能的計算方面，可以從生產面與消費面來考慮。例如《節約能源年報》將一度電相當於 860 kcal 計算，此為消費面的考量；而又如《台灣建築產業的能源與環保衝擊評估》將廠熱耗率，也就是生產電能所必須耗用的能量計算進來，此為生產面的考量。本研究分三種方式計算能源熱值：生產面、消費面以及化石能源的消耗。計算化石能源的消耗是為了估計溫室氣體排放量之用。發電時僅有火力發電是燃燒化石能源而來，故計算時僅需考慮火力發電部份（生產面）。火力、水力及核能發電

廠的發電效率以及廠熱耗率均整理在附錄 B。依照以上方式加總後得到各項產品的單位耗能如表 4-4：

表 4-4 建材單位產品耗能

| 產品名 | 單位 | 原料 | 電力 (kWh) | 燃料油 (l) | 柴油 (l) | 煤 (kg) | 天然氣 (l) | 熱能 (消費面) (kcal) | 熱能 (生產面) (kcal) | 化石能源消耗 (kcal) |
|-----|----------------|---------|----------|---------|--------|--------|---------|-----------------|-----------------|---------------|
| 砂石 | m ³ | 河川採石 | 1.5 | 0.0 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 9352 | 11434 | 10107 |
| 水泥 | t | 石灰石等 | 111.4 | 0.0 | 0.0 | 133.7 | 0.0 | 951373 | 1110309 | 1009013 |
| 鋼胚 | t | 廢鋼 | 530.0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 483400 | 1239420 | 757580 |
| 鋼筋 | t | 廢鋼 | 586.0 | 44.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 910600 | 1746502 | 1213750 |
| 型鋼 | t | 廢鋼 | 605.0 | 44.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 926940 | 1789944 | 1239919 |
| 鋼版 | t | 廢鋼 | 617.4 | 52.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1013504 | 1894196 | 1332898 |
| 鋼版 | t | 鐵礦 | 339.6 | 7.6 | 20.7 | 641.6 | 0.23 | 4703601 | 5589439 | 4910314 |
| 混凝土 | m ³ | 水泥、骨材、水 | 3.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2924 | 7774 | 4683 |

資料來源：本研究整理（註：不包含運輸耗能）

4-2.2 施工建造階段

根據 84 年能源平衡表，民國 84 年營造業共耗用 564,163,000 kWh 電力($48,518 \times 10^7$ kcal)，以及 52,681,000 l 的柴油($46,359 \times 10^7$ kcal)，以及 127,890,000 l 的燃料油($117,659 \times 10^7$ kcal)。另根據 80 年工商業普查營造業卷，建築工程業動力費用支出佔營造業總動力費支出的 17.2% 推估，建築工程業民國 84 年共耗用 96,036,036 kWh 電力、9,061,132 l 柴油及 21,997,080 l 的燃料油。將其除以民國 84 年發給使用執照總樓版面積 55,262,803 m²，可得到建築物於施工建造階段每年每 m² 樓地板面積耗能約有電力 1.738 kWh、柴油 0.398 l 以及燃料油 0.164 l。仿照上法，本研究得出民國 80 年到民國 84 年建築物建造施工階段每 m² 樓地板面積耗用能量如表 4-5。

由於施工建造階段耗用能量因施工方法、施工機具以及設計方式等等因素而可能有相當大的差異，而國內尚無各工法的耗用能量統計資料，並不能根據結構形式加以區分比較，而僅能以上述方式估計之。

表 4-5 建築物建造施工階段每 m² 樓地板面積耗用能量

| 年度 | 電力 (kWh) | 燃料油(l) | 柴油(l) | 熱能(kcal) (消費面) | 熱能(kcal) (生產面) | 化石能源消耗(kcal) |
|----|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|--------------|
| 84 | 1.738 | 0.398 | 0.164 | 6599 | 9078 | 7498 |
| 83 | 1.681 | 0.360 | 0.155 | 6118 | 8516 | 6988 |
| 82 | 1.743 | 0.404 | 0.200 | 6976 | 9463 | 7878 |
| 81 | 1.788 | 0.422 | 0.261 | 7714 | 10265 | 8639 |
| 80 | 1.538 | 0.409 | 0.359 | 8243 | 10437 | 9038 |
| 平均 | 1.700 | 0.390 | 0.210 | 6963 | 9395 | 7845 |

資料來源：本研究整理

4-2.3 日常使用階段

國內目前並沒有依建築物結構形式分類之日常耗能統計資料。而根據《台灣建築產業的能源與環保評估》之統計，民國 82 年住宅建築單位樓地板每年耗用能源為 113,199 kcal/m² year。另一方面國內尚無根據商業建築物使用類型統計日常耗能量資料，故該研究另使用《建築生命週期能源消費與溫室氣體排放量分析》一書中建立之不同使用類型建築物之單位樓地板面積能源耗用量如表 4-6。其原始資料來自於中國技術服務社於民國 80~81 年間對 60 棟商業建築物所做的能源使用調查。

4-2.4 拆除階段

依照《營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估》訪談結果，國內拆除 1m² 樓地板面積之 RC 建築物約需耗用 3.0 l 的柴油。鋼結構拆除如前述，仍無案例資料可循。

4-2.5 廢棄物處理階段

廢鐵回收處理過程等同原料開採。而混凝土方面，假設廢棄混凝土塊目前均以棄土處理，故此處僅需計算廢鋼、廢土之運輸能量。由於運輸能量相對下非常小，且資料不易取得，本階段仍無法

得出結果。

表 4-6 建築依使用類型分類單位樓地板面積耗能

| 商業建築類型 | 調查樣本數 | 能源消費種類 | 單位樓地板面積耗能量 (kcal/m ² year) |
|--------|-------|-------------------|---------------------------------------|
| 住宅 | - | 電力、天然氣 | 113199 |
| 辦公 | 10 | 電力 | 141335 (± 48895) |
| 百貨 | 10 | 電力、天然氣 | 309644 (± 82478) |
| 旅館 | 19 | 電力、鍋爐油、天然氣、燃料油 | 432291 (± 152451) |
| 醫院 | 16 | 電力、鍋爐油、天然氣、燃料油、柴油 | 298282 (± 165484) |

資料來源：劉漢卿，《建築生命週期能源消費與溫室氣體排放量分析》，由《台灣建築產業的能源與環保評估》摘錄

4-2.6 各階段運輸

由《台灣建築產業的能源與環保評估》根據交通部資料計算結果可得建築物主體結構建材民國 83 運輸耗能如表 4-7。產品運輸階段耗用能源與開採、生產時耗用能源相比，主要在砂石以及預拌混凝土兩項較大，其他均相當小，都在 1%以下。

表 4-7 建築材料運輸耗能

| | 貨運公里數 | 貨運噸數 | 平均運送公里數 | 單位運量能源消耗 (kcal/t) |
|-------|-----------|----------|---------|-------------------|
| 砂石 | 22430096 | 72245337 | 0.31 | 3902.2 |
| 鋼胚 | 1737635 | 975482 | 1.78 | 2238.9 |
| 鋼筋 | 26387047 | 3993616 | 6.61 | 8304.5 |
| 型鋼 | 31755051 | 3793338 | 8.37 | 10521.6 |
| 鋼版 | 58008128 | 5444628 | 10.65 | 13391.0 |
| 水泥 | 77429160 | 11063781 | 7.00 | 8796.1 |
| 預拌混凝土 | 102434991 | 66067400 | 1.55 | 1948.7 |

資料來源：林憲德，《台灣建築產業的能源與環保評估》

為方便後續計算，我們將表 4-7 的建材運輸耗能以及表 4-4 的建材生產耗能合計而得到建材生產及運輸的總耗能量，如表 4-8 所示。

表 4-8 建材生產及運輸的總耗能

| 建材種類 | 單位 | 建材製造 | | | 運輸 | 合計 | | |
|-----------|----------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| | | 單位能源消耗 (生產面) (kcal) | 單位能源消耗 (消費面) (kcal) | 單位化石能源 消耗 (kcal) | 單位 能源 消耗 (kcal) | 單位能 源消耗 (生產面) (kcal) | 單位能 源消耗 (消費面) (kcal) | 單位化石 能源消耗 (kcal) |
| 砂石 | m ³ | 11434.2 | 9352 | 10107 | 3902 | 15336.4 | 13253.8 | 14009.1 |
| 鋼胚 | t | 1239420.2 | 483400 | 757580 | 2239 | 1241659.1 | 485638.9 | 759819.2 |
| 鋼筋 | t | 1746501.6 | 910600 | 1213750 | 8305 | 1754806.2 | 918904.5 | 1222054.8 |
| 型鋼 | t | 1789944.2 | 926940 | 1239919 | 10522 | 1800465.9 | 937461.6 | 1250441.0 |
| 鋼版 | t | 1894196.3 | 1013504 | 1332898 | 13391 | 1907587.2 | 1026895.0 | 1346289.1 |
| 鋼版 | t | 5589439 | 4703601 | 4910314 | 13391 | 5602829.8 | 4716991.7 | 4923704.7 |
| 水泥 | t | 1110308.6 | 951373 | 1009013 | 8796 | 1119104.8 | 960169.3 | 1017809.3 |
| 預拌 混凝土 | m ³ | 10901.9 | 6052 | 7811 | 1949 | 12850.7 | 8000.7 | 9759.6 |

資料來源：本研究整理

4-3 CO₂ 排放

根據 IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change , 氣候變動各國委員會) 之界定 , 人為造成的溫室氣體包含二氧化碳、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)以及已開始禁用的氟氯碳化物(CFCs)。依 IPCC 對 1980 年全球溫暖化的估計 , 各種溫室氣體的貢獻以 CO₂ 佔 55%比例為最大 , 其次是 CH₄ 以及 N₂O , 分別是 15%及 6%。

依照下列 IPCC 公佈之 CO₂ 計算方法步驟 , 可求出建材單位產品與能源使用相關的 CO₂ 排放量 :

- (1)估計各種化石能源之使用量 , 並以原始單位表示之。
- (2)根據不同能源的熱含量 , 將能源的消費面由原始單位轉為熱值單位 (GJ, 10⁹ 焦耳) 。
- (3)各種能源之使用量乘上各自的碳排放係數得到碳排放量的初步估計。各種能源的碳排放量見附錄 C。

- (4)扣除碳固定化的部份。石油腦、潤滑油、柏油、原料煤所提出的 oils、tars、原料天然氣和液化石油氣都包含碳固定化部份而必須扣除。這六項的二氧化碳排放量必須乘上碳固化百分比。各種碳固化百分比亦見於附錄 C。考慮燃燒不完全，總碳排放量必須再乘上 99%。
- (5)排放碳量乘上 44/12，也就是分子量比，即可轉化為二氧化碳排放量。

將表 4-4 之建材單位產品耗能以上述方式計算可得建材製造單位產品 CO₂ 排放量，如表 4-9 所示。由於水泥製程中包含石灰石的分解(CaCO₃ → CaO+CO₂)，而根據 Oak Ridge National Laboratory 的研究指出，生產一噸水泥因石灰石分解而產生的 CO₂ 約有 103 kg；而電弧爐煉製廢鋼也需加入生石灰(CaO)，由石灰石分解反應式可計算出生產每公斤生石灰同時有 0.786 kg 的 CO₂ 伴隨產生，故電弧爐生產一噸鋼胚約產生 25.9 kg 的 CO₂。表 4-3 中之數據已包含此部份之 CO₂ 排放量。

運輸階段單位產品 CO₂ 排放量可由《台灣建築產業的能源與環保評估》得知，列於表 4-10。施工建造每年每 m² 樓地板面積 CO₂ 排放量可依照 IPCC 方法計算，結果列於表 4-11。而日常使用階段每年每 m² 樓地板面積 CO₂ 排放量之計算亦可由《台灣建築產業的能源與環保評估》得知，列於表 4-12。最後，為方便計算，將建材生產（表 4-9）與運輸階段（表 4-10）加起來，得到建材生產與運輸 CO₂ 總排放量，如表 4-13。

表 4-9 建材製造單位產品 CO₂ 排放量

| 產品名 | 單位 | 原料 | 電力 (kWh) | 燃料油 (l) | 柴油 (l) | 煤 (kg) | 天然氣 (l) | 化石能源消耗 (kcal) | CO ₂ 排放量 (kg) |
|-------|----------------|---------|----------|---------|--------|--------|---------|---------------|--------------------------|
| 建築用砂石 | m ³ | 河川採石 | 1.5 | 0.0 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 10107 | 3.2 |
| 水泥原料 | 每t水泥 | 石灰石、黏土等 | 2.4 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 21504 | 8.3 |
| 水泥 | t | 水泥原料 | 111.4 | 0.0 | 0.0 | 133.7 | 0.0 | 1009013 | 490.5 |
| 鋼胚 | t | 廢鋼 | 530.0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 757580 | 262.5 |
| 鋼筋 | t | 廢鋼 | 586.0 | 44.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1213750 | 410.4 |
| 型鋼 | t | 廢鋼 | 605.0 | 44.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1239919 | 419.5 |
| 鋼版 | t | 廢鋼 | 617.4 | 52.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1332898 | 449.7 |
| 鋼版 | t | 鐵礦 | 399.6 | 7.6 | 20.7 | 641.6 | 0.23 | 4910314 | 1730.7 |
| 預拌混凝土 | m ³ | 水泥、骨材 | 3.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4683 | 1.6 |

資料來源：本研究整理

表 4-10 建築材料運輸 CO₂ 排放量

| | 單位 | 總貨運公里數 | 貨運量 | 平均運送公里數 | 單位運量能源消耗 (kcal) | 單位運量 CO ₂ 排放量 (kg) |
|-------|----------------|-----------|----------|---------|-----------------|-------------------------------|
| 砂石 | m ³ | 22430096 | 42497257 | 0.53 | 6633.4 | 2.0400 |
| 鋼胚 | t | 1737635 | 975482 | 1.78 | 2238.9 | 0.0007 |
| 鋼筋 | t | 26387047 | 3993616 | 6.61 | 8304.5 | 0.0025 |
| 型鋼 | t | 31755051 | 3793338 | 8.37 | 10521.6 | 0.0032 |
| 鋼版 | t | 58008128 | 5444628 | 10.65 | 13391.0 | 0.0041 |
| 水泥 | t | 77429160 | 11063781 | 7.00 | 8796.1 | 0.0027 |
| 預拌混凝土 | m ³ | 102434991 | 27528083 | 3.72 | 4677.6 | 1.4400 |

資料來源：林憲德，《台灣建築產業的能源與環保評估》

表 4-11 施工建造階段每 m² 樓地板面積 CO₂ 排放量

| 年度 | 電力 (kWh) | 燃料油(l) | 柴油(l) | 熱能(kcal) (消費面) | 熱能(kcal) (生產面) | 化石能源消耗(kcal) | CO ₂ 排放量(kg) |
|------|----------|--------|-------|----------------|----------------|--------------|-------------------------|
| 84 | 1.738 | 0.398 | 0.164 | 6599 | 9078 | 7498 | 2.44 |
| 83 | 1.681 | 0.360 | 0.155 | 6118 | 8516 | 6988 | 2.28 |
| 82 | 1.743 | 0.404 | 0.200 | 6976 | 9463 | 7878 | 2.56 |
| 81 | 1.788 | 0.422 | 0.261 | 7714 | 10265 | 8639 | 2.80 |
| 80 | 1.538 | 0.409 | 0.359 | 8243 | 10437 | 9038 | 2.90 |
| 加權平均 | 1.700 | 0.390 | 0.210 | 6963.3 | 9395.3 | 7845.3 | 2.55 |

資料來源：本研究整理

表 4-12 日常使用階段每 m² 樓地板面積 CO₂ 排放量

| 建築類別 | 單位樓地板面積耗能量 (kcal/m ² year) | 單位樓地板面積二氧化碳排放量 (kg/m ² year) |
|------|---------------------------------------|---|
| 住宅 | 113199 | 26.1 |
| 辦公 | 141335 (± 48895) | 25.2 |
| 百貨 | 309644 (± 82478) | 55.2 |
| 旅館 | 432291 (± 152451) | 107.5 |
| 醫院 | 298282 (± 165484) | 65.9 |

資料來源：劉漢卿，《建築生命週期能源消費與溫室氣體排放量分析》，由《台灣建築產業的能源與環保評估》摘錄

表 4-13 建材生產與運輸合計 CO₂ 排放量

| | 單位 | 建材製造 | | 運輸 | | 合計 | |
|-------|----------------|--------------|-------------------------|------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| | | 化石能源消耗(kcal) | CO ₂ 排放量(kg) | 能源消耗(kcal) | CO ₂ 排放量(kg) | 化石能源消耗(kcal) | CO ₂ 排放量(kg) |
| 砂石 | m ³ | 10107 | 3.17 | 3902 | 0.001 | 14009.1 | 3.18 |
| 鋼胚 | t | 757580 | 262.52 | 2239 | 0.001 | 759819.2 | 262.52 |
| 鋼筋 | t | 1213750 | 410.39 | 8305 | 0.003 | 1222054.8 | 410.39 |
| 型鋼 | t | 1239919 | 419.48 | 10522 | 0.003 | 1250441.0 | 419.49 |
| 鋼版* | t | 1332898 | 449.66 | 13391 | 0.004 | 1346289.1 | 449.67 |
| 鋼版** | t | 4910314 | 1731 | 13391 | 0.004 | 4923704.7 | 1730.71 |
| 水泥 | t | 1009013 | 490.20 | 8796 | 0.003 | 1017809.3 | 490.20 |
| 預拌混凝土 | m ³ | 7811 | 2.63 | 1949 | 0.001 | 9759.6 | 2.63 |

*：由廢鋼煉製 **：由鐵礦煉製

資料來源：本研究整理

4-4 廢棄物

由於本研究僅考慮拆除廢棄物，其產量可直接由表 4-1 左半部之各種構造方式建築物之單位面積建材使用量計算而得。建築物主體構造拆除後產生的廢棄物，可分為廢鋼與廢棄混凝土兩大類，而廢鋼包括廢鋼筋、廢型鋼以及廢鋼版。根據表 4-1 可算出各建築構造方式廢棄物產量，示如表 4-14。

表 4-14 各構造方式廢棄物產量

單位：每 m² 樓地板面積

| | 廢鋼 | 廢棄混凝土 |
|-----|---------|----------------------|
| | 產生量(kg) | 產生量(m ³) |
| RC | 0.163 | 0.670 |
| 鋼骨 | 0.225 | 0.246 |
| SRC | 0.210 | 0.590 |

資料來源：本研究

4-5 景觀生態衝擊

景觀衝擊並不容易量化，故在此處並不包含景觀生態衝擊的計算資料，而直接以敘述方式進行生命週期衝擊評估。

4-6 逸散性粉塵及其他環境污染

4-6.1 逸散性粉塵及其他空氣污染

4-6.1.1 原料開採與建材製造階段

本研究根據環保署空保處於民國 85 年出版的《行業污染手冊》中建立水泥、高爐煉鐵、電弧爐煉鋼等產品的製程污染排放係數，而砂石場及混凝土作業的製程排放係數則採用環保署《營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估》中提出之砂石場及混凝土作業的排放係數。另外為考慮燃料燃燒排放之部份，故本研究另使用環保署《大台北高雄地區空氣污染源排放資料調查及減量規畫》報告中之工、商、住宅燃料排放係數，利用 4-2 節計算出之建築物各階段耗能加以計算，並與製程排放加總，得到建材製造階段單位產品空氣污染物排放量。表 4-15 到 4-18 為文獻中之原始數據，而表 4-19 則是本研究將其整理計算得出之建材製造階段單位產品空氣污染物排放量，並將項目減少為粒狀物、 SO_x 、 NO_x 、CO 以及 CH_4 五項。

此處必須特別提出的一點是，製程排放係數的原始數據並非完全本土化資料，其中有相當多的原始數據是美國 AP-42 的資料。將來若建立具代表性的本土化數據，當以之為準。

表 4-15 空污排放係數原始數據 (工業製程)

| 行業別 | 製造過程 | 污染種類 | | | | | | | 估算基礎 | 單位 |
|---------|------------|--------|------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|------|---------|----------------------|
| | | PART | PM ₁₀ | SO _x | NO _x | VOC | CO | lead | | |
| 鋼鐵冶煉業 | 碳鋼製造(電弧爐) | 24.80 | 14.38 | 0.35 | 0.05 | 0.17 | 8.93 | - | 生產量 | kg/ton |
| 鋼鐵鑄造業 | 鋼鑄造 | 6.45 | 3.12 | 0.12 | 0.10 | 0.17 | - | - | 金屬處理量 | kg/ton |
| 煉鐵業 | 燒結製程 | 10.85 | 1.63 | 1.31 | 0.15 | 3.09 | 21.82 | - | 生產量 | kg/ton |
| | 煉焦製程 | 5.82 | 3.09 | 3.93 | 0.35 | 3.88 | 0.63 | - | 煤進料量 | kg/ton |
| | *煉鐵製程 | 117.85 | 71.57 | 1.49 | 0.01 | 3.78 | 868.0 | 0.07 | 生產量 | kg/ton |
| 金屬軋製程序 | 熱壓延(鋼) | - | - | - | - | 0.04 | - | - | 最終成品 | kg/ton |
| | 冷壓延(鋼) | - | - | - | - | 0.28 | - | - | 最終成品 | kg/ton |
| | 退火爐(鋼) | - | - | - | 0.05 | 0 | - | - | 最終成品 | kg/ton |
| 金屬熱處理程序 | 加熱爐(一般) | - | - | 0 | 1.98 | 0.05 | - | - | 最終成品 | kg/ton |
| | 液體冷卻措施(水淬) | - | 0 | 0 | 0 | 138.9 | - | - | 最終成品 | kg/ton |
| 石灰石採礦 | ** | 131.85 | - | - | - | - | - | - | 處理量 | g/ton |
| | *** | 366.5 | - | - | - | - | - | - | 處理量 | g/ton |
| | **** | 350.66 | - | - | - | - | - | - | 處理量 | g/ton |
| | ***** | 32.71 | - | - | - | - | - | - | 處理量 | g/ton |
| 水泥業(國內) | 生料磨 | 32 | - | 0 | 0 | - | - | - | 生料量 | kg/ton |
| | 預熱機旋窯 | 126.98 | - | 5.06 | 1.39 | - | - | - | 水泥產量 | kg/ton |
| | 水泥磨 | 47.62 | - | 0 | 0 | - | - | - | 水泥產量 | kg/ton |
| | 冷卻機 | 4.56 | - | 0 | 0 | - | - | - | 水泥產量 | kg/ton |
| 水泥業(國外) | 生料磨 | 37.2 | - | 0.11 | 1.31 | - | - | - | 生料量 | kg/ton |
| | 預熱機旋窯 | - | - | - | - | - | - | - | 水泥產量 | kg/ton |
| | 水泥磨 | 113.95 | - | 0.14 | 0.5 | - | - | - | 水泥產量 | kg/ton |
| | 冷卻機 | 9.8 | - | 0.08 | 0.04 | - | - | - | 水泥產量 | kg/ton |
| 砂石場作業 | | 0.414 | - | - | - | - | - | - | 作業面積、時期 | kg/m ² /月 |
| | | 0.345 | - | - | - | - | - | - | 砂石重 | kg/ton |
| 預拌混凝土廠 | 含碎石作業 | 0.719 | - | - | - | - | - | - | 混凝土體積 | kg/m ³ |
| | | 0.313 | - | - | - | - | - | - | 混凝土重 | kg/ton |
| | | 0.0024 | - | - | - | - | - | - | 水泥重 | kg/kg |
| | 不含碎石 | 0.21 | - | - | - | - | - | - | 混凝土體積 | kg/m ³ |
| | | 0.483 | - | - | - | - | - | - | 混凝土重 | kg/ton |
| | | 0.0016 | - | - | - | - | - | - | 水泥重 | kg/kg |

* : 以高爐減壓閥 1 個計算 ** : 美國 AP-42 數據

*** : 加州面源方式推估 **** : 台灣東部露天石礦開採與環境保護研究

***** : 實測數據

實際數據等於表內排放係數 × (1-防制措施係數)

資料來源：環保署《行業污染手冊》、《營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估》

表 4-16 工業燃料排放係數

| | TSP | SO ₂ | NO _x | CO | CH ₄ | 單位 |
|-----|-------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------------------------|
| 煤 | 30 | 19.5S* | 7 | 2.5 | 0.015 | kg/Mt |
| 天然氣 | 16~80 | 9.6 | 2240 | 560 | 48 | kg/10 ⁶ m ³ |
| LPG | 0.01~0.05 | 0.10S** | 1.49 | 0.37 | 0.03 | kg/kl |
| 蒸餾油 | 0.25 | 17S* | 2.4 | 0.6 | 0.006 | kg/kl |
| 燃料油 | 1.25S*+0.38 | 19S* | 6.6 | 0.6 | 0.12 | kg/kl |

註：S*為含硫量之百分比

S**設液化石油氣含硫量為 366g/100m³

資料來源：環保署，大台北高雄地區空氣污染源排放資料調查及減量規畫

表 4-17 商業燃料排放係數

| | TSP | SO ₂ | NO _x | CO | CH ₄ | 單位 |
|-----|-------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------------------------|
| 煤 | 7.5 | 15.5S* | 1.5 | 45 | 4 | kg/Mt |
| 天然氣 | 16~80 | 9.6 | 1600 | 320 | 43 | kg/10 ⁶ m ³ |
| LPG | 0.01~0.05 | 0.01S** | 1.05 | 0.22 | 0.03 | kg/kl |
| 蒸餾油 | 0.24 | 17S* | 2.4 | 0.6 | 0.026 | kg/kl |
| 燃料油 | 1.25S*+0.38 | 19S* | 6.6 | 0.6 | 0.057 | kg/kl |

註：S*為含硫量之百分比

S**設液化石油氣含硫量為 366g/100m³

資料來源：環保署，大台北高雄地區空氣污染源排放資料調查及減量規畫

表 4-18 住宅燃料排放係數

| | TSP | SO ₂ | NO _x | CO | CH ₄ | 單位 |
|-----|-----------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------------------------|
| 煤 | 7.5 | 15.5S* | 1.5 | 45 | 4 | kg/Mt |
| 天然氣 | 16~80 | 9.6 | 1600 | 320 | 43 | kg/10 ⁶ m ³ |
| LPG | 0.01~0.05 | 0.01S** | 1.05 | 0.22 | 0.03 | kg/kl |

註：S*為含硫量之百分比

S**設液化石油氣含硫量為 366g/100m³

資料來源：環保署，大台北高雄地區空氣污染源排放資料調查及減量規畫

表 4-19 建材製造階段單位產品空氣污染排放量

單位：kg

| 產品 | 單位 | particulate | SO _x | NO _x | CO | CH ₄ |
|-------|----------------|-------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|
| 建築用砂石 | m ³ | 0.59 | 0.003 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| 水泥原料 | 每t水泥 | 0.49 | 0.005 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| 水泥 | t | 288.42 | 5.303 | 1.435 | 0.005 | 0.001 |
| 鋼胚 | t | 36.47 | 1.619 | 0.284 | 0.023 | 0.004 |
| 鋼筋 | t | 36.60 | 3.307 | 2.578 | 0.050 | 0.010 |
| 型鋼 | t | 36.60 | 3.348 | 2.586 | 0.051 | 0.010 |
| 鋼版* | t | 36.63 | 3.689 | 2.646 | 0.057 | 0.011 |
| 鋼版** | t | 129.09 | 4.162 | 0.390 | 0.021 | 0.004 |
| 預拌混凝土 | m ³ | 0.21 | 0.007 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |

*：由電弧爐煉製 **：由鐵礦煉製

資料來源：本研究整理

4-6.1.2 施工建造階段

RC 建築及鋼骨建築施工建造階段空氣污染量可由《營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估》得知，如表 4-20 所示。其中由基地面積、工期方式推估方式較為準確，但本研究並未取得建築物工期資料，而僅能以樓版面積方式推算之。

表 4-20 施工建造階段逸散性粉塵排放量

| | particulate | 單位 | 基準 |
|----------|-------------|--------------------------|---------|
| RC建築施工建造 | 0.355 | kg/m ² /month | 基地面積、工期 |
| | 1.824 | kg/m ² | 樓版面積 |
| 鋼骨建築施工建造 | 0.298 | kg/m ² /month | 基地面積、工期 |
| | 1.277 | kg/m ² | 樓版面積 |

資料來源：環保署，營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估

4-6.1.3 拆除階段

《營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估》僅計算 RC 建築物拆除階段造成的逸散粉塵量，鋼骨結構的拆除則無數

據 拆除每 m² 樓地板面積 RC 建築物造成的逸散粉塵量約為 0.11 kg。但據該報告指出，此數據僅能提供參考。

4-6.1.4 廢棄物處理階段

本研究未得到此處的量化數據。

4-6.1.5 各階段運輸

本研究根據表 4-6 之建材產品單位運距，利用《大台北高雄地區空氣污染源排放資料調查及減量規畫》中大台北高雄地區各級道路各車種民國 77 年之排放係數計算，得到建材產品單位運輸造成之空氣污染，列於表 4-21。燃料以及移動排放數據資料在粒狀物方面僅有 TSP 的係數，而不包含落塵量。故本研究提出之數據應較實際數量稍低。但其影響並不會很明顯，因為相較於製程排放，運輸以及燃燒排放都相當小。

表 4-21 建材單位產品運輸空氣污染量

| | 單位 | 總貨運 公里數 | 貨運量 | 平均運送 公里數 | particu- late(g) | SOx (g) | NOx (g) | CO (g) |
|-------|----------------|------------|----------|-------------|---------------------|---------------|---------------|-----------------|
| 砂石 | m ³ | 22430096 | 42497257 | 0.528 | 0.0037 | 0.0022 | 0.0071 | 0.000015 |
| 鋼胚 | t | 1737635 | 975482 | 1.781 | 0.0125 | 0.0076 | 0.0240 | 0.000050 |
| 鋼筋 | t | 26387047 | 3993616 | 6.607 | 0.0464 | 0.0281 | 0.0892 | 0.000186 |
| 型鋼 | t | 31755051 | 3793338 | 8.371 | 0.0589 | 0.0356 | 0.1130 | 0.000235 |
| 鋼版 | t | 58008128 | 5444628 | 10.654 | 0.0749 | 0.0453 | 0.1438 | 0.000300 |
| 水泥 | t | 77429160 | 11063781 | 6.998 | 0.0492 | 0.0297 | 0.0945 | 0.000197 |
| 預拌混凝土 | m ³ | 102434991 | 27528083 | 3.721 | 0.0262 | 0.0158 | 0.0502 | 0.000105 |

資料來源：環保署，大台北高雄地區空氣污染源排放資料調查及減量規畫

為方便計算，將造成之空氣污染加總得到建材生產及運輸階段合計的空氣污染排放係數，列於表 4-22。

4-6.2 水污染

就本研究範圍內，水污染主要污染源僅有一貫作業煉鋼廠、軋鋼業以及土石採取業。根據環保署資料，上述製程排放係數如表 4-23 所示。

表 4-22 建材生產與運輸空氣污染總排放量

| | 單位 | particulate | SO _x | NO _x | CO | CH ₄ |
|-------|----------------|-------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|
| 建築用砂石 | m ³ | 0.59 | 0.005 | 0.008 | 0.000 | 0.000 |
| 水泥 | t | 288.47 | 5.333 | 1.529 | 0.005 | 0.001 |
| 鋼胚* | t | 36.48 | 1.627 | 0.308 | 0.023 | 0.004 |
| 鋼筋* | t | 36.64 | 3.335 | 2.668 | 0.051 | 0.010 |
| 型鋼* | t | 36.66 | 3.384 | 2.699 | 0.051 | 0.010 |
| 鋼版* | t | 36.70 | 3.734 | 2.789 | 0.057 | 0.011 |
| 鋼版** | t | 129.16 | 4.207 | 0.534 | 0.021 | 0.004 |
| 預拌混凝土 | m ³ | 0.24 | 0.023 | 0.052 | 0.000 | 0.000 |

*：由電弧爐煉製 **：由鐵礦煉製

資料來源：本研究整理

表 4-23 建材生產水污染排放係數

| 業別 | 單位 | 廢水產生量(l) | | COD產生量(g) | | COD排放量(g) | |
|-----------|-------------------|-------------|--------------|---------------|---------|-----------|------------|
| | | 範圍值 | 平均值 | 範圍值 | 平均值 | 範圍值 | 平均值 |
| 一貫作業煉鋼廠 | t | 1,300~4,400 | 1,730 | 382~3,397 | 890 | 94~392 | 147 |
| 軋鋼業 | t鋼品 | 70~318 | 120 | 21~454 | 66 | 7~29 | 13 |
| 土石採取業 | m ³ 土石 | 380~12,539 | 1,854 | 30~10,507 | 960 | 2~990 | 95 |
| BOD產生量(g) | | BOD排放量(g) | | SS產生量(g) | | SS排放量(g) | |
| 範圍值 | 平均值 | 範圍值 | 平均值 | 範圍值 | 平均值 | 範圍值 | 平均值 |
| 57~510 | 133 | 19~78 | 28 | 1,105~6,094 | 2,053 | 13~66 | 22 |
| 4~91 | 16 | 1~6 | 2 | 21~95 | 29 | 0.40~16 | 5 |
| - | - | - | - | 456~1,283,602 | 112,518 | 4~7,524 | 766 |

資料來源：環保署

第五章 生命週期環境衝擊評估

在完成前一章的生命週期盤查分析之後，我們即可以進行生命週期環境衝擊評估。本章根據不同的構造方式，評估其對環境的衝擊以及影響，以作為選擇建築構造方式的參考。如前所述，本章以探討 RC、SRC 以及鋼骨造之高層辦公建築物為主。

5-1 資源耗用

5-1.1 現況分析

a. 砂石骨材

根據台灣省水利局的調查，台灣的河川砂石可利用量約剩下不到 30,000,000m³。砂石嚴重不足的問題，已經反映出 RC 建築發展的危機。面臨這個危機，各界已經紛紛提出東砂西運、海砂應用、進口砂石、研發砂石替代物、砂石回收等等解決方案來因應。

b. 水泥

根據行政院公共建設督導會報委託營造業研究發展基金會執行之《工程建設資源調查暨道路工程基準建構之研究》，國內水泥年標準產能約 22,982,000 t，年最大產能約為 26,291,408 t。而台灣水泥年消耗量為 27,973,394 t。數據顯示國內水泥無法自給自足，而實際上 82 年的水泥進口量已經佔生產量的 17%。且在水泥業東移這段期間，水泥產量勢必減少，因此水泥不足也是 RC 建築物面臨的一大問題。

c. 石灰石

根據民國 68 年中國礦冶學會所進行的《台灣石灰石礦與水泥工業之發展》，台灣在當年預估蘊藏的石灰石礦約有 1,279,000,000 t，主要分佈在南部與東部。隨著水泥業東移政策的進行，西、南部的石灰石採礦權將在最近陸續停止，而東部預估的石灰石可採量僅 520,000,000 t，以經濟部礦業局 81 年估計

台灣每年石灰石消費 26,407,000 t 計算，在民國 101 年，也就是 15 年後，石灰石礦也將面臨枯竭的命運。

d. 廢鋼

台灣廢鋼年生產約 5,210,000 t，且每年還需從世界各地進口約 1,100,000 t，呈現不足的狀態。在廢棄物越境移動問題遭到各國注意的情形下，若未來廢鋼年產量增加，其出口可能遭到禁止或管制，而產生廢鋼過剩的處理問題。

e. 鐵礦

台灣鐵礦多由澳洲、巴西、南非等國進口。中鋼年粗鋼產能約為 565 萬噸。在目前應用狀況下，尚不至產生問題；但是由於鐵礦全部依賴進口，國際情勢一旦發生變化，可能會面臨無鐵礦可用情況。

5-1.2 評估比較

由表 4-20 中可看出，鋼骨構造每 m^2 樓地板面積僅需 RC 構造 36.7% 的砂石使用量，可節省砂石用量 63.3%，是解決國內砂石骨材不足的有效辦法之一。SRC 構造每 m^2 樓地板面積的砂石使用量相當於 RC 構造的 88.1%，整體上對解決砂石不足之貢獻並不算大。在水泥方面，鋼骨構造每 m^2 樓地板面積僅需 RC 構造 36.7% 的水泥，而 SRC 則為 88.1%。就石灰石而言，鋼骨構造每 m^2 樓地板面積可較 RC 構造節省 61.3% 的石灰石，而 SRC 構造僅能節省 11.3%。而在廢鋼方面，鋼骨構造僅較 RC 構造增加約 33.1% 的用量，而 SRC 構造較 RC 構造增加 28.8% 的廢鋼用量，與鋼骨相差不多。表 5-1 為這些結果的整理。

表 5-1 各構造方式資源耗用比較

單位：每 m² 樓地板面積

| 構造方式 | 水泥 | | 石灰石 | | 砂石 | | 廢鋼 | | 鐵礦 | |
|------|---------|---------|--------|---------|----------------------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | 用量 (kg) | 與RC 之比值 | 用量 (t) | 與RC 之比值 | 用量 (m ³) | 與RC 之比值 | 用量 (t) | 與RC 之比值 | 用量 (t) | 與RC 之比值 |
| RC | 284.8 | 1.00 | 405.1 | 1.00 | 0.84 | 1.00 | 0.196 | 1.00 | - | - |
| SRC | 250.8 | 0.88 | 359.4 | 0.89 | 0.74 | 0.88 | 0.252 | 1.29 | - | - |
| 鋼骨 | 104.6 | 0.37 | 156.6 | 0.39 | 0.31 | 0.37 | 0.260 | 1.33 | 0.009 | - |

資料來源：本研究

由表中我們可看出，從資源耗用的觀點看來，RC 構造使用廢鋼量與鋼骨構造相差不大，卻多使用了許多不能再生的原料 (non-renewable material) 如石灰石、砂石骨材等。顧鋼骨構造之使用應較 RC 有利於地球資源之永續發展。至於 SRC 構造，在增加了大量鋼材的使用後卻僅節省極為有限的混凝土用量，似乎比 RC 構造更不利地球資源發展。

5-2 合成能源

5-2.1 現況分析

台灣地區自產能源貧瘠，根據民國 84 年台灣能源平衡表指出，84 年我國自產能源熱值僅有 3.0×10^{13} kcal，而有 6.8×10^{14} kcal 需仰賴進口。不但如此，由於國民生產毛額的增加，對能源的需求也相對提高，使得能源進口依存率由 75 年的 89% 逐年提高到現在的 95% 以上，進口石油依存度更高達 99.8%。在如此高的進口依存度下，國際局勢一旦變化，台灣即可能陷入能源危機之中。

5-2.2 評估比較

生產 1m³ 混凝土消耗的能源以生產面計有 513,347kcal，消費面計有 440,676kcal。接下來我們即可計算 RC 建築物主體結構建材的合成能源；將上一節之表 4-23 的資源耗用，以及前一章表 4-7

的能源消耗對應的項目相乘，我們可以得到 RC 建築在每 m² 樓地板面積單位計算下原料開採以及建材製造階段消耗的能源。而依照同樣方式可計算鋼骨、SRC 構造建築物原料開採以及建材製造階段消耗之能源，結果表示於表 5-2。至於在建造施工階段以及日常使用階段，由於資料的不足，並無法針對構造方式加以比較。

表 5-2 各建築構造方式主體建材合成能源比較

單位：每 m² 樓地板面積

| 構造方式 | 生產面 | | 消費面 | | 化石能源消耗 | |
|------|-----------|---------|------------|---------|-----------|---------|
| | 耗能 (kcal) | 與RC 之比值 | 消耗量 (kcal) | 與RC 之比值 | 耗能 (kcal) | 與RC 之比值 |
| RC | 630,048 | 1 | 512156 | 1 | 445,072 | 1 |
| 鋼骨 | 566,863 | 0.90 | 429293 | 0.84 | 352,449 | 0.79 |
| SRC | 677,229 | 1.07 | 535813 | 1.05 | 455,344 | 1.02 |

資料來源：本研究整理

表 5-2 中顯示，就能源生產面而言，鋼骨構造比 RC 構造節省約 10% 的能源用量，而就消費面而言，節約量更達 21%，應為電弧爐煉鋼耗用大量電力的緣故。而 SRC 構造在能源耗用的表現依然是最不良的，比 RC 構造稍微多一些。故在節約能源的觀點看來，鋼骨構造的表現是最好的，RC 次之，而 SRC 構造以些微差距墊後。

5-3 CO₂ 排放

5-3.1 現況分析

根據《溫室效應減緩計畫 - 1990 台灣地區溫室效應氣體之調查》，1990 全球每年 CO₂ 排放量約 2.6×10^{10} t，台灣地區每年 CO₂ 排放量 2.6×10^{10} t 雖僅佔 0.4%，但是如用每年每人排放量比較，台灣地區每人每年排放 5.3t CO₂ 仍較世界平均 5.0 t 為高。據研究，80 年以後，在不加管制情形下，台灣每年 CO₂ 排放量將以 6% 比

率成長。在全球氣候變化綱要公約規定各已開發國每年 CO₂ 排放量之必須抑制在 1990 年排放水平情形下，外匯存底名列前茅的台灣，若不盡量設法抑制 CO₂ 的產生，未來極有可能遭到各國貿易、外交上的抵制。

而根據工研院能資所 82 年出版之《台灣地區與能源使用相關的 CO₂ 排放量及特性分析》指出，80 年水泥以及鋼鐵基本工業兩者分別佔工業製程的 12% 以及 23%，共排放 CO₂ 22,268,000 公噸。建築產業對全球溫暖化效應應負之責任，不言可喻。

5-3.2 評估比較

這裡我們同樣必須先計算出混凝土的 CO₂ 排放。仿照上一節算法，體積 1m³ 之強度 280 kg/cm² 混凝土排放的 CO₂ 為 216.15 kg。接下來我們即可計算各種構造方式建築物主體結構建材的 CO₂ 排放；利用表 4-23，以及表 4-12 及我們可以得到 RC、鋼骨、SRC 構造建築在每 m² 樓地板面積單位計算下原料開採以及建材製造階段的 CO₂ 排放，結果表示於表 5-3。

由表中可看出，以減緩全球溫暖化效應，抑制 CO₂ 排放的觀點，鋼骨構造仍然是我們最佳的選擇，其排放量僅有 RC 構造的 75.2%。SRC 構造排放量較 RC 構造多出 1.5%，還是敬陪末座。

表 5-3 各構造方式建材製造運輸階段 CO₂ 排放量

單位：每 m² 樓地板面積

| 構造種類 | 化石能源消耗 | | CO ₂ 排放量 | |
|------|------------|---------|---------------------|---------|
| | 消耗量 (kcal) | 與RC 之比值 | 消耗量 (kcal) | 與RC 之比值 |
| RC | 512156 | 1 | 211.7 | 1 |
| 鋼骨 | 429293 | 0.84 | 159.3 | 0.752 |
| SRC | 535813 | 1.05 | 214.9 | 1.015 |

資料來源：本研究整理

5-4 逸散性粉塵

5-4.1 現況分析

根據環保署 80 年進行之《北、中、南、高地區空氣污染物排放總量調查及減量規畫》估計，83 年台灣地區總懸浮微粒(TSP)自然成長之總年排放量為 1,226,165 公噸，控制後的排放量為 706,652 公噸，主要來自於道路行駛揚塵以及工業製程。若根據環保署 80 年之《大台北高雄地區空氣污染源排放資料調查及減量規畫調查》之推估，大台北地區逸散性粉塵年排放量為 154,166 公噸，主要污染源有道路行駛揚塵 54%、電廠 6.7%、工業燃燒 6.3%、以及營建工程 9.2%。高雄地區逸散性粉塵年排放總量 198,816 公噸，最大污染源也是道路行駛揚塵 29.2%，其他主要污染源有水泥業 17.6%、中鋼 14.2%、其他鋼鐵業 4.0%、電廠 9.7%、工業燃燒 9.1%、以及營建工程 2.9%等。數據顯示建材主要工業的水泥、鋼鐵業都是污染量相當高的產業。事實上，根據環保署 80 年《擴大列管空氣污染源督導改善計畫（第二年）》之推估，水泥製造程序的逸散性粉塵生成量每年可達 1,564,253 公噸，為該研究推估出之最大污染製程。此外，煉鋼用之電弧爐每年生成 184,702 公噸也為十大固定污染源第四名。此外，環保署公告的第一批公私場所應設置變更及操作許可之固定污染源即包括電弧爐煉鋼程序及水泥製造業；第二批即包括鐵初級熔煉、煉焦、煉鋼等鋼鐵冶煉程序以及預拌混凝土製造程序，幾乎包括所有本研究涉及之建材產業。無適當管制之營建施工、土石堆置等程序也被公告為空氣污染行為，足見建築產業逸散性粉塵污染的嚴重性。

5-4.2 生命週期逸散性粉塵排放評估

混凝土如同上述計算方法，生產每公噸強度 280 kg/cm² 混凝土共排放 123.3 kg 之逸散性粉塵。於是我們利用表 4-23 以及表 4-20 可以得到各構造方式每 m² 樓地板面積原料開採以及建材製造、運輸階段的逸散性粉塵排放量，結果示於表 5-4。施工建造階段各構造方式逸散性粉塵排放量同樣表示於表 5-4 中。日常使用階段可視為無粉塵排放，而拆除、廢棄階段資料不足，故本階段僅能比較建材製造、運輸以及施工建造階段的逸散性粉塵數量。

表 5-4 各構造方式逸散性粉塵排放量

單位：每 m² 樓地板面積

| 構造方式 | | | | | | |
|------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | 排放量 (kg) | 與RC 之比值 | 排放量 (kg) | 與RC 之比值 | 排放量 (kg) | 與RC 之比值 |
| RC | 88.61 | 1.00 | 1.824 | 1.000 | 0.1086 | 1.000 |
| 鋼骨 | 39.47 | 0.445 | 1.277 | 0.700 | 無資料 | 無資料 |
| SRC | 80.46 | 0.908 | 無資料 | 無資料 | 無資料 | 無資料 |

資料來源：本研究整理

由表中我們可以看出，在逸散性粉塵排放的表現方面，鋼骨構造的排放量在建材生產、運輸階段僅佔 RC 構造的 45%，建造施工階段僅有 70%，優於 RC 以及 SRC 構造。SRC 構造在建材生產、運輸階段排放量佔 RC 構造的 90.8%，稍優於 RC 構造。

5-5 廢棄物

5-5.1 現況分析

根據環保署統計，營建廢棄物每年約產生 580 萬公噸，全為不可分解的無機物質如土、石、混凝土塊等。在地狹人稠的台灣，廢棄物已經越來越難找到去處。

5-5.2 評估比較

由表中可看出，在廢鋼方面，鋼骨構造產生量為最大，較 RC 構造多出 38%；SRC 構造次之，較 RC 構造多出 29%。但在廢棄混凝土方面，鋼骨構造產生量較 RC 構造少了 63%，SRC 僅較 RC 構造少 12%。由於廢鋼是可回收材料，而廢棄混凝土在台灣仍是直接丟棄，故就廢棄物產生量觀點，RC 構造產生最多廢棄物，SRC 構造次之，而鋼骨構造最少。

表 5-5 各構造方式廢棄物產量

單位：每 m² 樓地板面積

| | 廢鋼 | | 廢棄混凝土 | |
|-----|---------|--------|----------------------|--------|
| | 產生量(kg) | 與RC之比值 | 產生量(m ³) | 與RC之比值 |
| RC | 0.163 | 1.00 | 0.670 | 1.00 |
| 鋼骨 | 0.225 | 1.38 | 0.246 | 0.37 |
| SRC | 0.210 | 1.29 | 0.590 | 0.88 |

資料來源：本研究

5-6 景觀生態衝擊

5-6.1 現況分析

水泥業為了開採石灰石礦，在採礦、棄土、採礦道路的開挖等過程往往使得整體景觀遭到破壞，使人們經過便覺得不悅，並使原始物種生態體系遭到不易恢復的改變，高雄半屏山便是一例。根據蔣本立等於 82 年的研究指出，高雄民眾平均願付出 1,607 元以改善半屏山的景觀，花蓮地區遊客更願意付出平均 2,965 元的價值來保留和平水泥專業區的景觀。現在東部已有水泥廠利用豎井方式採礦，可望保留大部份的山坡綠地。

在鋼鐵方面，由於鐵礦皆為進口，故在台灣並看不見挖掘鐵礦造成的景觀衝擊。根據 Forintek Canada Corp. 的研究以及 Environmental Building News 的報導，美國鐵礦由於使用露天開採 (open mining)，使得地表沖刷 (surface erosion) 的速率達到每年 48,000 tons/mi²，相當於 16,835 t/km²。如同石灰石的開採，鐵礦開採同樣會造成物種棲息環境的完全破壞，大量的探測樁 (tailing pile) 釋放出相當數量的金屬以及礦物質，使得當地的水資源遭到污染。這些情形在南美洲國家更為嚴重。

至於由廢鋼鐵煉製的鋼材，雖然因為含有雜質的關係，製造鋼板的技術較為困難，但是由於其並不需要開採礦物，對於自然景觀的衝擊幾乎是零，值得加以研究推廣。

5-6.2 評估比較

景觀生態衝擊是很難量化的。且在同樣的採礦內容，使用不同開採的方法造成的景觀生態的衝擊差異程度，可能比不同的採礦內容，採用相同的開採方法更大。Forintek Canada Corp. 在 Phase II

reports 中仍無法利用量化方法進行結構方式間的比較。Environmental Policy Research 的 Paehlke 博士的建議是利用五種不同的面向(dimension)來評分，他並做出初步的比較如表 5-6。由表中看出，各種構造方式造成的景觀生態衝擊特性不同，不能很明確的說出到底哪一種較為有利。不過根據該報告的評分，混凝土構造得到 14.5 分，鋼骨構造得到 13.0 分，而木構造得到 29.5 分為最差的方式。故鋼骨構造可能仍為比較好的選擇。本研究於此處並不打算比較木構造，但是可以將其看做一個對照的標準。

表 5-6 資源開採的敘述性分析
(verbal characterization of the impacts of resource extraction)

| 資源種類 | 面向(dimensions) | | | |
|------|-----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| | 廣度 (extensiveness) | 強度 (Intensity) | 時間長度 (duration) | 顯著性 (significance) |
| 混凝土 | 中等到低 | 高到中等 | 中等 | 低到非常低 |
| 鋼鐵 | 低到非常低 | 高 | 高 | 非常低 |
| 木材 | 非常高到高 | 中等 | 變異性高 且非常複雜 | 在某些林場 非常高 |

資料來源：Forintek Canada Corp. , Sustainable Materials Project: Phase II Summary Report

但是如果我們以「台灣地區的景觀衝擊」而言，由於石灰石、砂石骨材都多為自產，相較於鐵礦的全部進口，我們可以說，多使用鋼構造，由於僅有相對少量石灰石的使用，可以有效減緩台灣的景觀衝擊。

5-7 其他環境排放

5-7.1 現況分析

其他環境排放與建築產業較為相關的有空氣污染的 SO_x 、 NO_x 、 CO 、 CH_4 ，以及水體污染物等。 SO_x 、 NO_x 是酸雨的成因，

根據環保署資料，台北地區 85 年降雨平均 pH 值為 4.82，而台灣地區發生酸雨 (pH<5.0) 之機率高達 48.15%。本研究中 SO_x、NO_x 排放較嚴重者主要為水泥、鋼鐵等使用較多煤之行業。水體污染物就環保署的統計，僅有一貫煉鋼廠以及土石採取業較大，但並非高度污染行業。

5-7.2 空氣污染評估

如同粒狀物的計算方式，本研究得到各構造方式於建材生產、運輸階段的各種氣狀污染物排放量，如表 5-5 所示。而其他階段因無資料，故不能加以比較。

由表中可以看出，鋼骨構造的 SO_x、NO_x 排放分別為 RC 的 64.6% 以及 84.9%，而 SRC 構造則佔 99.0% 以及 107.9%。故就減輕酸雨發生的考慮方面，鋼骨構造還是勝過其他兩種構造方式。SRC 的表現則約略與 RC 構造相同。而在 CO 以及 CH₄ 排放方面，鋼骨構造以及 SRC 構造則約略相似，而 RC 構造在這方面的表現則是最好的。

表 5-7 各構造方式氣狀污染物排放量

單位：每 m² 樓地板面積

| 構造方式 | SO _x | | NO _x | | CO | | CH ₄ | |
|------|-----------------|---------|-----------------|---------|----------|---------|-----------------|---------|
| | 排放量 (kg) | 與RC 之比值 | 排放量 (kg) | 與RC 之比值 | 排放量 (kg) | 與RC 之比值 | 排放量 (kg) | 與RC 之比值 |
| RC | 2.082 | 1.000 | 0.912 | 1.000 | 0.0098 | 1.000 | 0.0018 | 1.000 |
| 鋼骨 | 1.344 | 0.646 | 0.774 | 0.849 | 0.0121 | 1.229 | 0.0023 | 1.245 |
| SRC | 2.062 | 0.990 | 0.984 | 1.079 | 0.0121 | 1.233 | 0.0023 | 1.240 |

資料來源：本研究整理

5-7.3 水污染評估

根據表 4-21 以及表 4-23 我們便可以計算各建築構造方式的建材製造及運輸階段水污染排放量如表 5-8 所示。至於建造施工階段、日常使用階段以及拆除、廢棄階段並沒有資料可以比較。

表 5-8 各建築構造方式水污染排放量

單位：每 m² 樓地板面積

| 構造方式 | 廢水產生量 (l) | COD 產生量 (g) | COD 排放量 (g) | BOD 產生量 (g) | BOD 排放量 (g) | SS 產生量 (g) | SS 排放量 (g) |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| RC | 1709 | 885.5 | 88.68 | 2.61 | 0.33 | 102,531 | 698.8 |
| SS | 661 | 343.1 | 35.88 | 4.66 | 0.67 | 37,667 | 257.6 |
| SRC | 1513 | 784.2 | 78.96 | 3.36 | 0.42 | 90,690 | 619.9 |
| 與RC構造之比值 | | | | | | | |
| 構造方式 | 廢水產生量 | COD 產生量 | COD 排放量 | BOD 產生量 | BOD 排放量 | SS 產生量 | SS 排放量 |
| RC | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 鋼骨 | 0.387 | 0.388 | 0.405 | 1.788 | 2.067 | 0.367 | 0.369 |
| SRC | 0.885 | 0.886 | 0.890 | 1.288 | 1.288 | 0.885 | 0.887 |

資料來源：本研究整理

由表 5-8 中可以看出，廢水的產生量以 RC 最大，SRC 次之，鋼骨構造的產生量為 RC 構造的 38.7%。雖然一貫煉鋼廠是大量耗水的工業，但是在鋼骨結構中，由一貫煉鋼廠生產的鋼板用量每 m² 樓地板面積僅 8 kg，故產生廢水量反而比較少。而土石採取業同樣利用大量的水來洗選骨材，且在 RC 建築物每 m² 樓地板面積需要 0.91m³ 的砂石，較鋼骨結構多出三倍，故 RC 構造產生廢水量會比鋼骨構造大。在 COD 以及 SS 產生量、排放量方面，三種構造方式的表現都是鋼骨最佳、SRC 次之、RC 構造最差。另外因土石洗選過程不會造成水質 BOD 的上升，故在 BOD 方面表現鋼骨構造就是最差的了，SRC 構造次之，而 RC 構造最佳。

5-8 小結

根據生命週期評估的概念，生命週期各階段的衝擊負荷量應該加總起來，才是真正一棟建築物造成的環境衝擊。由於國內環境基礎資料並不完整，故在建築物生命週期之部份階段，本研究並未取得完整的數據資料；但就一般認為與構造方式之不同直接相關部份

如建材耗用階段，本研究已做了詳細的評估。

在資源耗用方面，在建造施工階段亦有資源之消耗如模版、支撐等臨時材料，本研究並未統計。而在能源耗用以及 CO₂ 排放方面，建築構造方式對日常使用、施工建造、拆除廢棄耗能的影響本研究也並未找到資料。逸散性粉塵排放及其他空氣污染方面，本研究亦未取得鋼骨構造在拆除廢棄，以及 SRC 構造在施工建造、拆除廢棄階段的推估數量。廢棄物方面在建材使用階段本土化數據也尚待建立。以上種種，值得後續研究，可以更加完整的瞭解建築構造方式對環境負荷與影響。

5-8.1 建築物生命週期整體環境衝擊

有鑑於本研究於部份階段資料較為不足，本節目的在探討建築生命週期各階段造成環境負荷之程度。先舉能源耗用為例（表 5-9），若建築物使用壽命為 40 年，將建材生產階段、施工建造、拆除廢棄耗能平均分攤到使用壽命當中，可看出建材生產階段僅佔此建築物每年全部耗能的 10% 左右，而建造施工以及拆除廢棄階段產生的負荷更少，加起來還不到 1%；影響最大的是在日常使用階段。

但是在其他指標例如逸散性粉塵排放（表 5-10），由於日常使用階段並不排放粉塵，因此建材製造階段產生的污染量佔建築生命週期總排放量的比例就相當大。另外又如日常使用階段發生的資源、廢棄物跟建築構造方式更可說是沒有關係，幾乎完全發生在建材製造階段。故本研究偏重建材製造階段產生的比較結果，就正確性以及代表性來講，應沒有太大的問題。

表 5-9 建築物生命週期各階段耗能比較

單位：kcal/每年 每 m²樓地板面積

| | 建材製造 | 建造施工 | 日常使用 | 拆除廢棄 |
|----|--------|--------|---------|-------|
| RC | 630048 | *28186 | 5653400 | 26400 |
| 鋼骨 | 566863 | N/A | 5653400 | N/A |

| | | | | |
|-----|--------|-----|---------|-----|
| SRC | 677229 | N/A | 5653400 | N/A |
|-----|--------|-----|---------|-----|

N/A: 無資料 * : 為台灣所有建築工程每年平均值

資料來源：本研究

表 5-10 建築物生命週期各階段逸散性粉塵比較

單位：kg/每 m² 樓地板面積

| | 建材製造 | 建造施工 | 日常使用 | 拆除廢棄 |
|-----|-------|-------|------|--------|
| RC | 88.61 | 1.824 | 0 | 0.1086 |
| 鋼骨 | 39.47 | 1.277 | 0 | N/A |
| SRC | 80.46 | N/A | 0 | N/A |

N/A: 無資料

資料來源：本研究

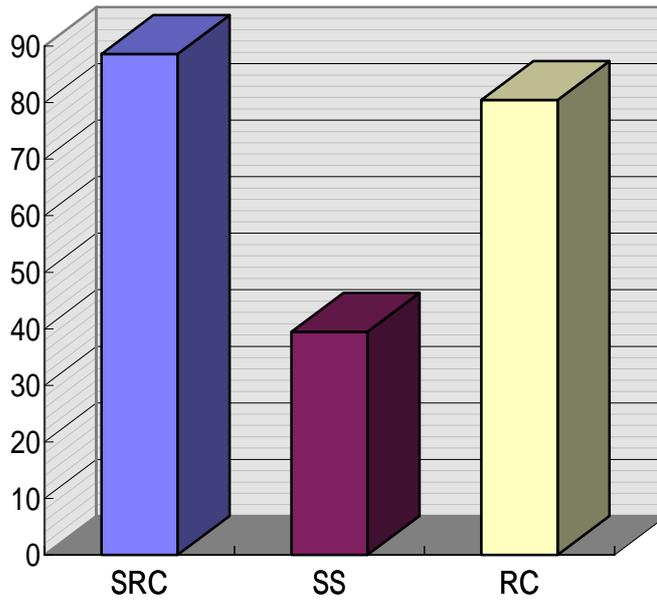
5-8.2 建築構造方式對環境負荷與影響之整體比較

在資源耗用方面，可知 RC 構造消耗的石灰石以及砂石數量最多，而鋼骨構造最少，僅為 RC 構造的 3/8 左右。廢鋼可說是廢棄物回收而來，可以不將其視為資源的一種，如此一來鋼骨便僅比 RC、SRC 構造多使用相當少量的鐵礦，卻可以減少大量的石灰石以及砂石用量，是最好的選擇。SRC 次之，而 RC 明顯是最差的。

在能源耗用方面，就生產面而言，SRC 構造最差，RC 構造次之，而鋼骨構造最佳；SRC 約比 RC 多 7%，而鋼骨構造約比 RC 構造少 10% 的用量。在不可更新的化石能源方面，鋼骨構造的優勢更大，與 RC 構造的差距達到 21%。而 SRC 與 RC 構造僅 2% 差距，可視為相同。

在 CO₂ 排放量方面，鋼骨構造可比 RC 構造減少 26%，而 SRC 構造與 RC 構造相差不多。故就減輕全球溫暖化效應的觀點，鋼骨構造是最佳的。

而在逸散性粉塵排放方面，由圖 5-1 可以看出，鋼骨構造明顯低於 SRC 以及 RC 構造，而 SRC 構造稍高於 RC 構造。以逸散性人體健康的觀點，應該以鋼骨構造為優先選擇。

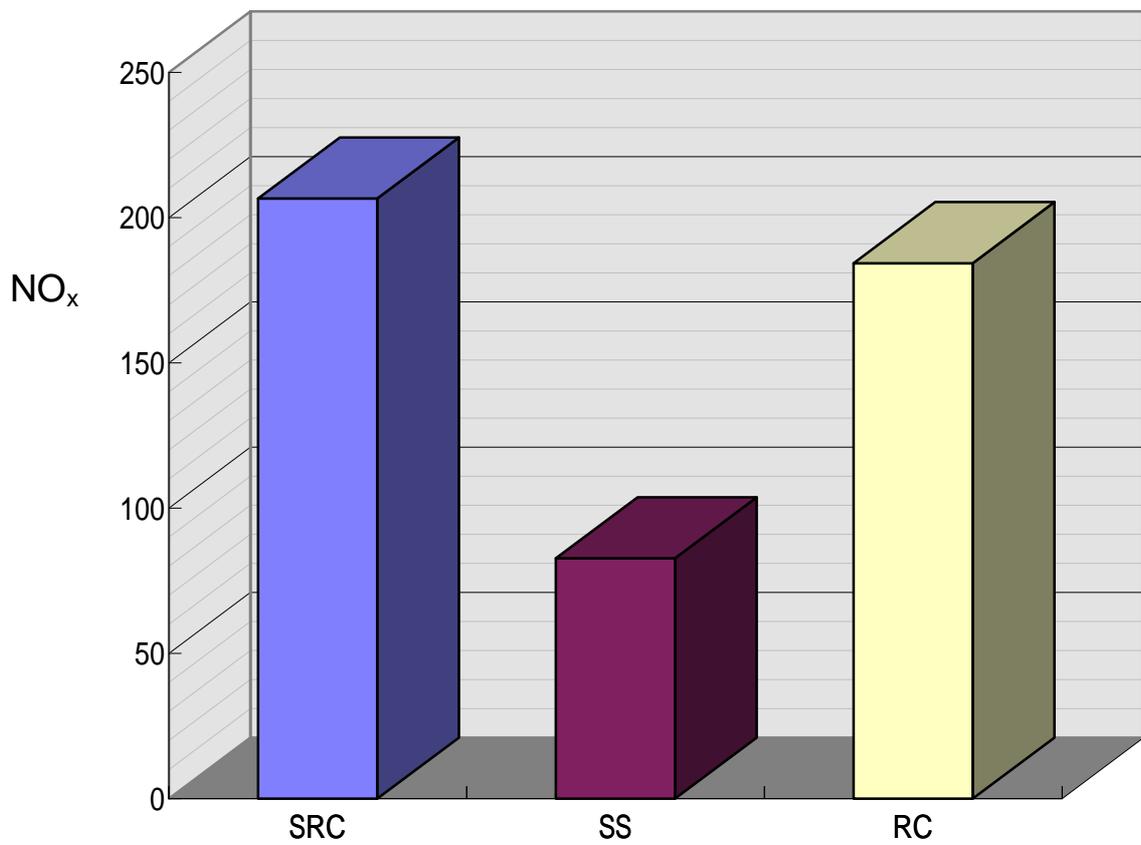
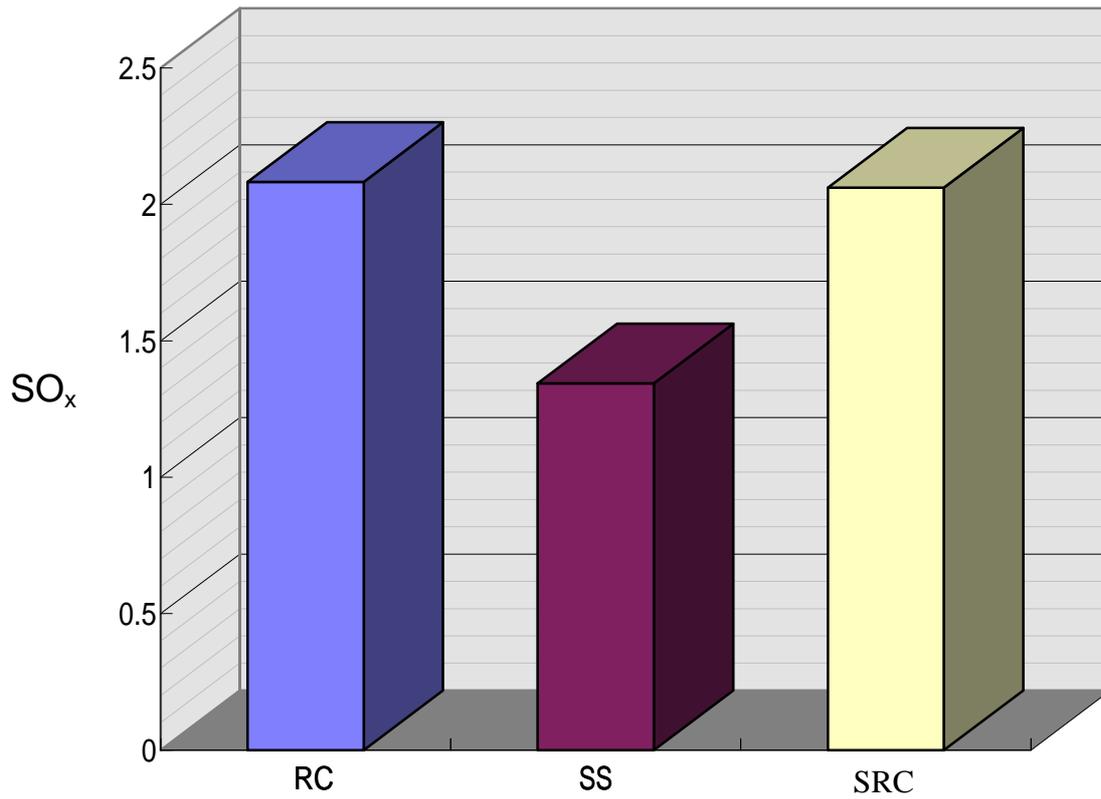


單位：kg /每 m² 樓地板面積

圖 5-1 各構造方式逸散性粉塵排放量比較

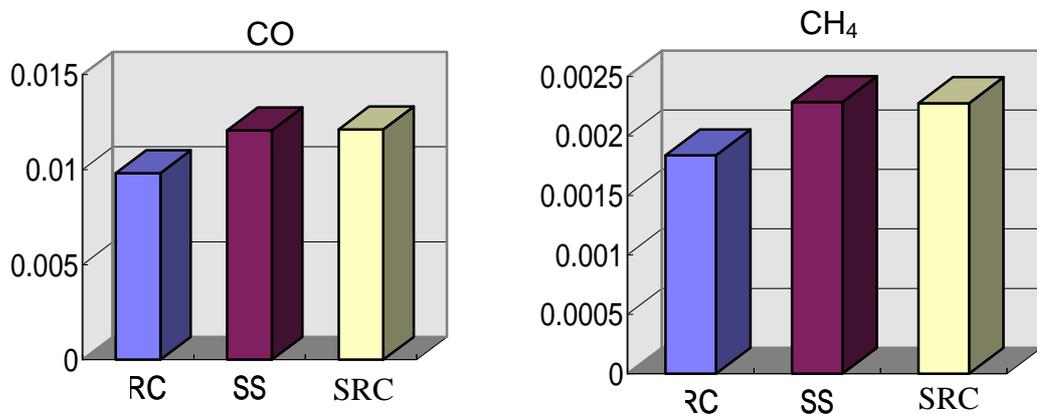
就廢棄物產生量以及回收情形而言，由於廢棄混凝土目前並無法回收，而廢鋼目前回收情形較佳，故使用混凝土數量較少的鋼骨構造目前較 RC 以及 SRC 構造為優。

景觀生態衝擊方面，雖然目前評估方式仍不能確立，但是就台灣本土環境而言，僅有石灰石以及砂石開採會造成景觀生態衝擊，故使用較少鋼骨構造石灰石以及砂石的鋼骨構造較 RC 以及 SRC 構造為佳。



單位：kg/每 m² 樓地板面積
 圖 5-2 各構造方式 NO_x 以及 SO_x 排放量

其他環境污染物方面，就 SO_x 以及 NO_x 而言，如圖 5-2 所示，鋼骨構造同樣明顯小於 RC 構造以及 SRC 構造的排放量。故在減低酸雨發生的機率觀點，鋼骨構造也是最好的選擇。而 CO 以及 CH_4 方面，在圖 5-3 可看出，鋼骨以及 SRC 相若，而 RC 構造明顯優於此兩種構造方式。水污染方面，鋼骨構造在 COD 以及 SS 方面低於 RC 以及 SRC 構造，但在 BOD 方面高於此兩者。故本研究無法確定此三種構造方式何者為較佳。



單位：kg/每 m² 樓地板面積

圖 5-3 各構造方式 CO 以及 CH₄ 排放量

5-9 國外研究成果

由於國外 RC 構造應用並不像台灣這麼普遍，主要建築物形式為鋼骨構造以及木構造，其中又有大部份是屬於低中層建築，故國外研究多偏向於低層住宅鋼構造與木構造的評估。目前已知國外進行建築構造方式環境負荷比較之研究有加拿大 Natural Resources Canada 委託 Forintek Canada Corp. 進行的《Building Materials in The context of Sustainable Development》，目前該研究已自行成立名為「ATHENA」的非營利機構，專門處理研究事宜。該研究自 1990 年開始，集合專家學者，針對不同的建築構造方式(RC、鋼骨及木構造)，在一種整體的永續發展系統架構下，實施生命週期評

估，以指引建築產業研發更有效方式來使用天然資源以及建築材料，達到將環境衝擊降至最低的目標。其最終目的在建立一套環境設計軟體(Environmental Design Model)以評估不同的建築材料使用對環境造成的後果。該研究已完成第三階段(Phase III)，目前研究成果主要有三十種以上各種建築材料的單位排放因子(unit emission factor)，以及環境衝擊評估指標和方法之建立。其結果廣為美國 EBN，USGBC，ACI 等組織單位引用，本研究亦將其作為主要參考比較對象。

另外，瑞典 SBI、英國 BRE、荷蘭 IVAM、美國 IRIS 等單位也正進行一系列研究。例如據 SBI 觀點，不論是以生命週期成本觀點以及建築過程廢棄物產生量而言，鋼鐵構造之中低層住宅建築比木構造更經濟環保。SBI 並提出數據指出，美國、日本、澳洲等地以鋼骨構造取代木構造住宅之趨勢正逐漸加強，並預測在瑞典以及整個歐洲，鋼鐵構造也將逐漸取代木構造住宅建築。至於 IVAM 以及 IRIS 的研究，除了建築主體構造材料外，尚包括其他非構造材料之 LCA 結果，IVAM 出版的建材資料庫目前已包含 150 種以上材料。

根據 ATHENA 之最近研究成果，一棟總樓版面積 4,620m²、地上三層、地下一層之辦公建築物，經過其軟體計算過後，在生態衝擊面，鋼構造是木構造的 1.24 倍，RC 構造是木構造的 2.12 倍；溫室氣體方面，鋼構是木構造的 1.67 倍，而 RC 是 2.03 倍。空氣污染方面，鋼構是木構造的 1.89 倍，RC 構造是 2.19 倍。在能量耗用上，鋼構是木構造的 2.27 倍，而 RC 是 1.83 倍。廢棄物產量，鋼構是木構造的 1.21 倍，RC 構造是木構造的 2.18 倍。由結果可看出，鋼構在大多數的指標，均優於 RC 構造；然而木構造卻較鋼骨構造更為良好。該研究同時亦比較學校建築物，同樣得到相似的結果。故在低層建築物，以環保觀點觀之，木構造以及鋼構造的建築方式似乎是一個相當值得發展的方向。

另一方面，根據本研究進行生命週期盤查分析之結果與 Forintek 研究結果相比較發現，本研究在建材產品產生的部份污染量較其數據為低。例如，該研究推估出製造強度 15MPa (約 153 kg/cm²) 的預拌混凝土所產生的環境負荷在逸散性粉塵排放方面有 442.28

kg，較本研究推算之生產每公噸強度 280 kg/cm² 混凝土共排放 123.3 kg 之逸散性粉塵多出相當大之比例。在檢視文獻[11]的研究方法後，發現本研究之建材運輸距離明顯較 Forintek 提出之數據為低，此應為主要原因之一。此外，因本研究使用資料並不是直接訪查，而是取用現存統計資料，因此統計的項目上如耗能種類、污染排放量等並沒有國外詳盡，而且正確性並無法掌握，此應為主要原因之二。因此，進行國內建材 LCA 之本土化調查，整合基礎資料，應是未來工作之優先重點。

第六章 生命週期改善評估

6-1 替代建材使用

本節主要針對目前逐漸被採用的以飛灰、爐石粉取代水泥之情形，進行其對建築物生命週期環境影響負荷之改善評估。

6-1.1 使用飛灰取代水泥用量

飛灰是矽灰(pozzolan)之一種，原本屬於廢棄物之一。近年來，在台灣電力公司以及學術研究單位的推動下，飛灰的應用已經漸漸普及，且技術也逐漸成熟。適當的添加飛灰在混凝土中，可以增加混凝土的工作性，減少水泥用量，增加晚期強度，還可以加強水密性以及耐久性，無論就經濟或環保觀點，都是相當好的選擇。惟需特別注意的是，由於飛灰本身為燃煤發電時之副產品，品質上目前並無管控，因此在選擇添加飛灰時，應謹慎評估其可能造成之負面效果。國內飛灰的應用始於霧社水力發電場大壩，而現今房屋結構，飛灰取代水泥率通常在 15%左右，而一般規範均以 30%為上限。由於飛灰原本為廢棄物，可視其「製程」耗能為零，同時不產生各種空氣、水污染以及廢棄物，故在計算其取代水泥可達成的環保貢獻時，僅需計算因水泥減少而減少的環境負荷即可。

6-1.1.1 資源耗用

如表 6-1 所示，為三種構造方式應用飛灰混凝土時的資源耗用情況。由表中可看出，在飛灰取代 30%水泥情況下可看出，鋼骨構造減少的石灰石使用比例比 RC 構造、SRC 構造更大。故以資源有效利用的觀點來看，SRC 及 RC 構造仍然無法比得上鋼構造。但是 RC 構造的石灰石用量已經只比鋼骨結構多出 176.6 kg，比原來的 248.5kg 減少了 71.9kg。

表 6-1 添加飛灰對資源耗用的減少功效

單位：每 m² 樓地板面積

| 取代比例 | 構造別 | 水泥用量(kg) | 石灰石用量(kg) | 節省石灰石比例 |
|------|-----|----------|-----------|---------|
| 30% | RC | 199.33 | 279.06 | 31.12% |
| | 鋼骨 | 73.19 | 102.46 | 34.58% |
| | SRC | 175.53 | 245.74 | 31.62% |

資料來源：本研究

6-1.1.2 能源消耗

根據表 6-2 的計算結果可以看出在 30%的取代比例下，RC 構造的生產面能源消耗已僅比鋼骨構造多出 2,686 kcal，可以說幾乎相等。而在消費面能源消耗以及化石能源消耗方面，鋼骨構造還是明顯優於 RC 及 SRC 構造，不過差距也已經相當的縮小。

表 6-2 添加飛灰對節約能源的能效

單位：每 m² 樓地板面積

| 取代比例 | 構造方式 | 能源消耗 (生產面) (kcal) | 能源消耗 (消費面) (kcal) | 化石能源消耗 (kcal) | 節省能源比例 | | |
|------|------|-------------------------|-------------------------|------------------|---------------|---------------|--------|
| | | | | | 能源消耗 (生產面) | 能源消耗 (消費面) | 化石能源消耗 |
| 30% | RC | 534448 | 363050 | 425210 | 15.17% | 18.43% | 16.98% |
| | 鋼骨 | 531762 | 322333 | 397369 | 6.19% | 8.54% | 7.44% |
| | SRC | 593044 | 383116 | 459249 | 12.43% | 15.86% | 14.29% |

資料來源：本研究

6-1.1.3 CO₂ 排放

在 CO₂ 減量方面，使用飛灰的能效同樣相當的顯著。在表 6-3 的計算結果中可以看出，RC 構造的 CO₂ 排放量從原本鋼骨構造的 1.33 倍降低到 1.18 倍，原來 52.43 kg 的差距僅剩 25.9 kg。至於 SRC 構造與 RC 構造之間的差別仍然不大。

表 6-3 添加飛灰對減少 CO₂ 排放的能效

單位：每 m² 樓地板面積

| 取代比例 | 構造別 | CO ₂ 排放量 (kg) | CO ₂ 減少排放比例 |
|------|-----|--------------------------|------------------------|
| 30% | RC | 169.85 | 19.78% |
| | 鋼骨 | 143.92 | 9.65% |
| | SRC | 178.00 | 17.16% |

資料來源：本研究整理

6-1.1.4 逸散性粉塵

在逸散性粉塵方面，由表 6-4 的計算結果可看出，添加飛灰對粒狀物減少的功效也相當大，以 RC 構造為例，以飛灰取代水泥的比例近似於減少粒狀物排放比例。但是由於鋼骨結構同樣的也因水泥量的減少而大量的降低粒狀物排放量，故即使在 30% 的取代量下，RC 構造的粉塵排放量仍與原先差異不大。

表 6-4 添加飛灰對減低逸散性粉塵排放量的功效

單位：每 m² 樓地板面積

| 取代比例 | 構造方式 | 粒狀物排放量(kg) | 減少粒狀物排放比例 |
|------|------|------------|-----------|
| 30% | RC | 63.96 | 27.82% |
| | 鋼骨 | 30.42 | 22.93% |
| | SRC | 58.76 | 26.96% |

資料來源：本研究

6-1.1.5 其他環境污染

在氣狀污染物方面，由表 6-5 的計算結果可以看出，添加飛灰對 SO_x 以及 NO_x 的減少功效較為明顯，而在 CO 以及 CH₄ 方面差異並不會很大。

在 NO_x 以及 SO_x 方面，就 RC 構造而言，以 30% 取代量，減

少程度可以達到 21.88%以及 14.33%；RC 構造的 NO_x 以及 SO_x 排放量分別為鋼骨構造的 1.38 以及 1.08 倍，較不添加飛灰時的 1.55 以及 1.18 倍已有相當的改善，但是仍有一定程度的差距。

而在 CO 以及 CH₄ 方面，使用飛灰減少各構造方式的排放量都在 5%以下。在 30%的取代比例下，RC 構造減少排放量達到 4%左右，而鋼骨構造僅 1%出頭，使得 RC 構造的排放量由原先鋼骨構造的 80%左右降低到 78%左右。

表 6-5 添加飛灰對減少氣狀污染物排放的功效

單位：每 m² 樓地板面積

| 取代比例 | 構造方式 | SO _x 排放量(kg) | NO _x 排放量(kg) | CO 排放量(kg) | CH ₄ 排放量(kg) | 減少污染物排放比例 | | | |
|------|------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|
| | | | | | | SO _x | NO _x | CO | CH ₄ |
| 30% | RC | 1.627 | 0.781 | 0.00942 | 0.00177 | 21.88% | 14.33% | 4.12% | 3.85% |
| | 鋼骨 | 1.177 | 0.726 | 0.01192 | 0.00226 | 12.44% | 6.20% | 1.23% | 1.14% |
| | SRC | 1.660 | 0.869 | 0.01176 | 0.00221 | 19.46% | 11.69% | 2.94% | 2.73% |

資料來源：本研究

在水污染方面，由於水泥使用並不產生水污染，故以飛灰取代水泥並無法減少水污染的發生。

值得注意的是，在飛灰取代 30%水泥後，雖然鋼骨構造在環境負荷各方面指標的表現仍優於 RC 構造，但彼此間的差距已顯著縮小。兩者差距縮小的主因為 RC 構造較鋼骨構造大量使用水泥，因此若能以飛灰取代水泥，則兩者間對環境所造成負荷的差距便得以縮小。

6-1.2 使用爐石粉取代水泥

爐石為高爐煉鐵過程之副產品，國內早期均將之視為廢棄物，不但未能妥善利用，而且需要耗費資源、能源以及土地加以運送、掩埋。中鋼近年來致力於爐石資源化，並投資成立中聯爐石公司，處理相關工作。高爐石利用冷卻方式，可以製成與水泥熟料相近特性之水淬爐石，經適當催化會與水以及氫氧化鈣產生波索蘭反應 (Pozzolanic Reaction)，產生膠結作用。如同飛灰，將水淬爐石加

以乾燥研磨後即可用以直接取代水泥，或是與水泥同時研磨，作成高爐水泥。由於爐石粉的品質一般較飛灰為佳，故在取代比例上可較飛灰為高。

爐石由於必須經過研磨過程，所以必須耗用一些能量。根據 84 年《節約能源年報》指出，生產一公噸爐石粉必須使用 51.75 kWh 的電力。生產爐石造成的能源消耗及 CO₂ 排放，可仿照的第四章的建材產品計算方式，計算結果如表 6-6 所示。由於添加爐石粉在減少資源耗用、粒狀物排放以及其他污染排放的功效與飛灰相似，故此處僅討論添加爐石粉對節約能源及減少 CO₂ 排放的功效。

表 6-6 生產每噸爐石之能源消耗及 CO₂ 排放

| 原料 | 消耗電力 (kWh) | 能源耗用 (消費面) (kcal) | 能源耗用 (生產面) (kcal) | 化石能源消耗 (kcal) | CO ₂ 排放量 (kg) |
|----|------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------------------|
| 爐渣 | 51.75 | 44505.00 | 118323.96 | 71276.38 | 39.86846 |

資料來源：本研究整理

根據訪談專家結果，添加爐石粉取代水泥之比例，在建築物當中以不超過 35% 為較可行，此外爐石粉可以與飛灰併用，但兩者合計取代水泥比例也以不超過 35% 為宜。由於飛灰並不需耗用能量，故以下就爐石粉取代水泥 35% 的比例以及以飛灰 30% 的取代比例加上爐石粉 5% 的取代比例探討其在節約能源以及減少 CO₂ 排放的功效。

6-1.2.1 能源耗用

表 6-7 顯示，在以爐石粉取代 35% 水泥用量情形下，RC 構造建築的生產面能源消耗已經低於鋼骨構造建築，消費面能源消耗也已經僅比鋼骨構造多出 12%，比不添加飛灰時的 26% 已經有大幅度的改善。同樣的取代量下，在化石能源消耗方面，RC 構造

也僅比鋼骨構造多出 6%，比不添加飛灰時 19%，同樣也改善了許多。

若是以飛灰取代 30%水泥，而以爐石粉取代 5%水泥的情形下，RC 構造建築的生產面能源消耗為鋼骨構造建築的 98.7%，消費面能源消耗比鋼骨構造僅多出 10%(33131 kcal)，化石能源比鋼骨構造多出 5%(19312 kcal)，顯示 RC 構造以生產面能源消耗來看是比鋼骨構造更好的選擇。至於化石能源以及消費面能源方面，差距已經不大。

6-1.2.2 CO₂ 排放量

在減少 CO₂ 排放量方面，由表 6-8 的計算結果可以看出，在使用爐石粉取代 35%水泥的情況下，RC 構造的 CO₂ 排放量減少為鋼骨構造的 116.8%，僅相差 24kg。而 SRC 構造為鋼骨構造的 122.8%，差距也縮小為 32.5kg。

而利用飛灰取代 30%，爐石取代 5%水泥的情況下，RC 構造的 CO₂ 排放量再減少為鋼骨構造的 115.4%，差距也降到 22kg。SRC 構造的排放量此時降為鋼骨構造的 121.7%，差距為 31kg。

6-1.3 整體貢獻

若將本研究得到之各種構造方式的每 m² 樓地板面積使用飛灰以及爐石粉替代水泥所能減少的各項環境負荷，乘上營建統計年報各構造方式的每年核發使用執照總樓地板面積，我們便可以得到使用飛灰以及爐石粉替代水泥所能減少的整體環境衝擊，如表 6-9 以及表 6-10。

但此處需注意的是，本研究是針對高層辦公建築物進行生命週期評估，單位樓地板面積使用的建材數量會較低層及住宅建築為多，故此處計算結果會有高估的情形。

表 6-7 爐石粉取代水泥對節約能源的功效

單位：每 m² 樓地板面積

| 取代比例 | 構造方式 | 能源耗用 (生產面) (kcal) | 能源耗用 (消費面) (kcal) | 化石能源消耗 (kcal) | 減少比例 | | |
|-----------------|------|-------------------------|-------------------------|------------------|---------------|---------------|--------|
| | | | | | 能源耗用 (生產面) | 能源耗用 (消費面) | 化石能源消耗 |
| 35% | RC | 522951 | 361172 | 417822 | 17.00% | 18.85% | 18.42% |
| | 鋼骨 | 527541 | 321644 | 394657 | 6.94% | 8.74% | 8.07% |
| | SRC | 582919 | 381462 | 452743 | 13.93% | 16.23% | 15.50% |
| 30%飛灰+5% 爐石粉 | RC | 519149 | 351064 | 411733 | 17.60% | 21.12% | 19.61% |
| | 鋼骨 | 526145 | 317933 | 392421 | 7.18% | 9.79% | 8.59% |
| | SRC | 579571 | 372561 | 447382 | 14.42% | 18.18% | 16.50% |

資料來源：本研究

表 6-8 使用爐石取代水泥對減少 CO₂ 排放之功效

單位：每 m² 樓地板面積

| 取代比率 | 構造方式 | CO ₂ 排放量 | 減少CO ₂ 排放量比率 |
|------------|------|---------------------|-------------------------|
| 35% | RC | 166.85 | 21.20% |
| | 鋼骨 | 142.82 | 10.34% |
| | SRC | 175.35 | 18.39% |
| 30%飛灰+5%爐石 | RC | 163.44 | 22.81% |
| | 鋼骨 | 141.57 | 11.13% |
| | SRC | 172.35 | 19.79% |

資料來源：本研究

表 6-9 使用飛灰取代 30%水泥每年減少之環境負荷量

| | 能源消耗 (生產面) (10 ⁶ kcal) | 能源消耗 (消費面) (10 ⁶ kcal) | 化石能源 消耗 (10 ⁶ kcal) | CO ₂ 排放量 (10 ³ t) | 粒狀物 排放量 (t) | SO _x 排放量 (t) | NO _x 排放量 (t) | CO 排放量 (t) | CH ₄ 排放量 (t) |
|-----|---|---|--------------------------------------|---|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|
| RC | 4,131,866 | 3,545,058 | 3,757,872 | 1,810 | 1,065,387 | 19689 | 5,647 | 17.5 | 3.06 |
| 鋼骨 | 39,218 | 33,648 | 35,668 | 17 | 10,111 | 187 | 54 | 0.2 | 0.03 |
| SRC | 263,055 | 225,696 | 239,245 | 115 | 67,807 | 1253 | 360 | 1.1 | 0.19 |
| 合計 | 4,434,139 | 3,804,402 | 4,032,784 | 1,942 | 1,143,306 | 21,129 | 6,060 | 18.8 | 3.28 |

資料來源：本研究

表 6-10 使用爐石粉取代水泥每年減少之環境負荷量

| 取代方式 | 構造 方式 | 能源消耗 (生產面) (10 ⁶ kcal) | 能源消耗 (消費面) (10 ⁶ kcal) | 化石能 源消耗 (10 ⁶ kcal) | CO ₂ 排放量 (10 ³ t) |
|----------------------------|----------|---|---|--------------------------------------|---|
| 以爐石粉取 代35%水泥 | RC | 4,628,807 | 3,626,224 | 4,077,163 | 1,940 |
| | 鋼骨 | 43,934 | 34,418 | 38,698 | 18 |
| | SRC | 294,693 | 230,864 | 259,573 | 124 |
| | 合計 | 4,967,434 | 3,891,506 | 4,375,434 | 2,082 |
| 以飛灰取代 30%，爐石粉 取代5%水泥 | RC | 4,793,124 | 4,063,090 | 4,340,323 | 2,087 |
| | 鋼骨 | 45,494 | 38,565 | 41,196 | 20 |
| | SRC | 305,155 | 258,677 | 276,327 | 133 |
| | 合計 | 5,143,773 | 4,360,332 | 4,657,846 | 2,240 |

資料來源：本研究

由表 6-9 可以看出，利用飛灰取代水泥，每年合計可以節省 4.4×10^{12} kcal 的能源（生產面），佔台灣能源總需要量的 0.68%，等於台灣可以少進口 692,834 t 的煤。而在 CO₂ 排放方面，每年合計可以減少 1,942,000 t，每人可以減少約 0.09t 的排放量。在空氣污染物方面，每年可以減少 1,143,306 t 的粒狀物，相當於台北地區約 8 年的排放總量。SO_x 以及 NO_x 的減少量分別為 21,129 t 以及 6,060 t，約相當於台灣全年排放量的 5% 以及 1%。至於 CO 以及 CH₄ 因為原本數量太小，與台灣總排放量比較並不明顯。

由表 6-10 可以看出，利用爐石粉取代 35% 水泥，每年合計可以節省 4.97×10^{12} kcal 的能源（生產面），佔台灣能源總需要量的

0.77%。而在 CO₂ 排放方面，每年合計可以減少 2,082,000 t，每人可以減少約 0.1t 的排放量。若利用飛灰取代 30%，並以爐石粉取代 5%水泥，每年合計可以節省 5.1×10^{12} kcal 的能源(生產面)。而在 CO₂ 排放方面，每年合計可以減少排放 2,240,000 t，每人更可以減少約 0.12t 的排放量。

6-2 延長建築物使用壽命

除了日常使用階段外，建築物生命週期其他各階段對環境所造成的年負荷量很明顯的可因建築物使用壽命之延長而減低。以 RC 建築物每年每 m² 樓地板面積 CO₂ 排放量為例(圖 6-1)，若能將一般 RC 建築物之使用年限從 40 年提高到 100 年，則每年每 m² 樓地板面積 CO₂ 排放量可從 30.97kg 減低至 27.51kg，其中除日常使用階段的 25.2kg 不變外，其餘各階段都按比例縮減了 60%。

單位：kg/每年 每 m² 樓地板面積

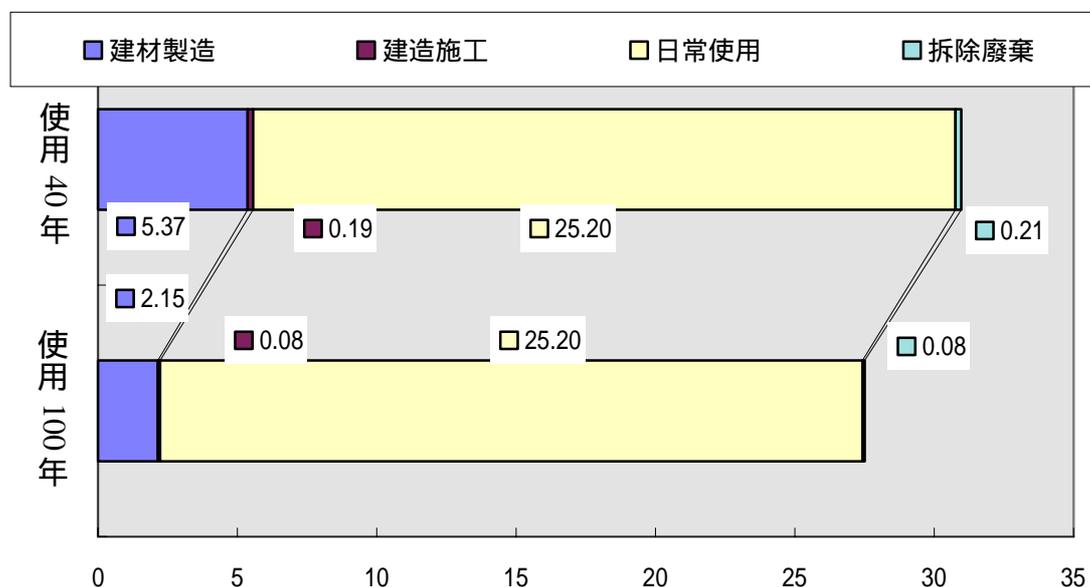


圖 6-1 延長建築物使用壽命對減少 CO₂ 排放的貢獻

在這個例子裡因日常使用階段之 CO₂ 排放量佔建築物生命週期

絕大半排放量，因此在建築物使用壽命得以延長後，建築物每年每 m^2 樓地板面積 CO_2 排放量並未明顯減少。但若以其他環境評估指標如資源耗用、逸散性粉塵或固態廢棄物等來加以計算，則其因壽命延長而得以減少之排放量無疑地將是很可觀的。而建築物使用壽命之延長可經由能開放式建築設計，提高服務年限；提高建築材料之耐久性；使用高性能混凝土、以及鋼筋的塗佈等方式加強 RC 構造的耐久性；或加強防蝕以增加鋼骨構造的壽命等等方式來達成。

6-3 拆除廢棄物再利用

雖然目前無案例可循，但由 RC 構造中的廢鋼筋回收情形可推估，鋼骨構造拆除後之廢鋼由於回收方便、經濟效益大，回收率應該相當良好。這些拆除後的廢鋼由於已使用相當長的一段時間，故不能直接再利用，而必須送入電弧爐重新煉製。由於鋼鐵構材如型鋼、鋼筋皆已為由廢鋼生產而來，故本研究僅探討混凝土部份。

廢棄混凝土塊的回收，雖然目前已有學理基礎，並已應用在道路工程上，但是應用在建築物裡頭，目前在經濟面的考量下仍不受歡迎。內政部建築研究所出版的混凝土施工規範內也規定可以利用破碎混凝土塊作為骨材。本研究在此評估若將拆除的混凝土全數回收對資源耗用的減輕程度。至於其他環境負荷項目由於基礎資料如廢混凝土塊處理耗能、產生污染量等等仍未建立，需留待後續之研究。

若以民國 84 年核發建築使用執照總樓地板面積計算，這些建築在使用壽命結束時，產生的廢棄混凝土數量分別為 RC 構造 $28,957,785 m^3$ 、鋼骨構造 $274,852 m^3$ 、SRC 構造 $1,843,599 m^3$ ，總共 $31,076,236 m^3$ 。若全部能回收再利用，一年等於可以節省三千萬立方公尺的砂石開採量，相當於北部地區總可採砂石量的 77%，也相當於 13 條頭前溪，5 條曾文溪的可採砂石量。由此可看出，將廢棄混凝土塊作為骨材在減輕國內骨材不足壓力的潛力是非常大的。此外，回收廢棄混凝土的環保貢獻還包括減少河川砂石開採造成的景觀生態衝擊，以及大量減輕廢棄物的處理困難。在台灣砂石資源以及土地資源已嚴重不足的情況下，實應積極研發推廣此一方

面之相關技術。

6-4 以鋼骨構造代替 RC 構造

本研究利用各種指標以及改善方式進行評估後，發現鋼骨構造於各方面之表現皆優於其他的構造方式。因此，最有效降低建築物對環境的負荷與影響的方法，便是利用鋼骨構造取代 RC、SRC 構造建築物。本節即針對下列方案 - 假設 84 年核發使用執照總樓地板面積全以鋼骨構造興建，估算其較實際狀況所能減少的環境負荷與影響量。

在資源耗用方面，如表 6-11 所示，可節省國內石灰石 60% 以及砂石 62% 的開採量。而在增加的 43 萬公噸鐵礦使用量來講，僅佔中鋼年產量的 1% 不到，相形之下量並不大。

表 6-11 以鋼骨構造取代其他構造方式每年減少資源耗用量

| | 水泥用量 (t) | 石灰石用量 (t) | 砂石用量 (m ³) | 鐵礦用量 (t) |
|---------|-------------|--------------|---------------------------|-------------|
| 實際狀況 | 13,207,400 | 18,806,767 | 39,156,057 | 10,458 |
| 全以鋼骨建造 | 4,962,215 | 7,433,145 | 14,711,508 | 444,250 |
| 減少/增加量 | -8,245,185 | -11,373,623 | -24,444,548 | +433,792 |
| 減少/增加比例 | -62% | -60% | -62% | +4148% |

資料來源：本研究

表 6-12 以鋼骨構造取代其他構造方式每年減少能源耗用量

| | 單位能源消耗 (生產面) (kcal) | 單位能源消耗 (消費面) (kcal) | 單位化石 能源消耗 (kcal) |
|---------|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| 實際狀況 | 3.2×10^{13} | 2.1×10^{13} | 2.5×10^{13} |
| 全以鋼骨建造 | 2.7×10^{13} | 1.7×10^{13} | 2.0×10^{13} |
| 減少/增加量 | -5.0×10^{12} | -4.7×10^{12} | -4.9×10^{12} |
| 減少/增加比例 | -16% | -22% | -19% |

資料來源：本研究

在能源消耗方面計算結果如表 6-12 所示，節約能源比例可達 10% (生產面) 以及 21% (消費面)，節省下來的能源熱值 (生產

面)達到 3.1×10^{12} kcal，相當於台灣三座核能發電廠年發電量的十分之一，此數目相當驚人。

而在 CO₂ 排放量方面，如表 6-13 所示，每年可以減少兩百四十萬公噸的 CO₂ 排放，相當於每人減少 0.116t 的排放量，對我國達到國際上對 CO₂ 排放量標準也有相當大的幫助。

表 6-13 以鋼骨構造取代其他構造方式每年減少 CO₂ 排放量

| | CO ₂ 排放量(t) |
|---------|------------------------|
| 實際狀況 | 10,000,491 |
| 全以鋼骨建造 | 7,560,661 |
| 減少/增加量 | -2,439,830 |
| 減少/增加比例 | -24% |

資料來源：本研究

其他空氣污染物可減少的排放量如表 6-14 所示，以粒狀物的減少最為明顯。而 SO_x 以及 NO_x 的減少量分別約為台灣地區總排放量之 8% 以及 2%。CO 及 CH₄ 的減少量則相當小，幾乎沒有影響。

表 6-14 以鋼骨構造取代其他構造方式每年可減少空氣污染量

| | 粒狀物 (t) | SO _x (t) | NO _x (t) | CO (t) | CH ₄ (t) |
|---------|------------|------------------------|------------------------|-----------|------------------------|
| 實際狀況 | 4,125,291 | 97,944 | 43,337 | 476 | 89 |
| 全以鋼骨建造 | 1,925,664 | 63,796 | 36,750 | 573 | 108 |
| 減少/增加量 | -2,199,627 | -34,148 | -6,587 | +97 | +19 |
| 減少/增加比例 | -53.3% | -35% | -15% | +20% | +22% |

資料來源：本研究

至於減少水污染程度計算結果如表 6-15 所示，至於減少污染量由於建築產生之水污染量與台灣之總量相比本來就不大，故幾乎不造成什麼影響。

表 6-15 以鋼骨構造取代其他構造方式每年可減少水污染量

| | 廢水 產生量 (l) | COD 產生量 (t) | COD 排放量 (t) | BOD 產生量 (t) | BOD 排放量 (t) | SS 產生量 (t) | SS 排放量 (t) |
|-------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 實際 狀況 | 7.9×10^{10} | 4.1×10^4 | 4.1×10^3 | 130 | 16 | 4.8×10^6 | 3.2×10^4 |
| 全以鋼 骨建造 | 3.1×10^{10} | 1.6×10^4 | 1.7×10^3 | 220 | 32 | 1.8×10^6 | 1.2×10^4 |
| 減少/增 加量 | -4.8×10^{10} | -2.5×10^4 | -2.4×10^3 | 93 | +16 | -3.0×10^6 | -2.0×10^4 |
| 減少/增 加比例 | -60% | -60% | -59% | +72% | +98% | -62% | -62% |

資料來源：本研究

在廢棄物減量方面，如表 6-16 所示，廢鋼無法減少，反而增加了一千多萬公噸。在廢混凝土方面，可以減少約兩千萬立方公尺（約四千八百萬公噸，以一立方公尺混凝土 2.5 公噸計）的廢混凝土。

表 6-16 以鋼骨構造取代其他構造方式每年可減少廢棄物量

| | 廢鋼 (t) | 廢混凝土 (m ³) |
|---------|---------------------|---------------------------|
| 實際狀況 | 7.95×10^6 | 3.11×10^7 |
| 全以鋼骨建造 | 2.01×10^7 | 1.17×10^7 |
| 減少/增加量 | $+1.22 \times 10^7$ | -1.94×10^7 |
| 減少/增加比例 | +153% | -62% |

資料來源：本研究

在此要特別強調的是，台灣並不自產鐵礦砂（全部進口），而以上的討論並未考慮國外開採鐵礦以及進口鐵礦過程當中之相關運輸作業對環境所造成的負荷與影響。此外，不同建築構造物在功能使用的表現各有其優劣處，在此純粹是從環保觀點，並根據已蒐集到資料所進行之探討。

第七章 結論與建議

7-1 結論

7-1.1 鋼骨構造較符合地球環保

表 7-1 為 RC 鋼骨與 SRC 構造方式建築物不含日常使用階段之生命週期環境負荷與影響比較。由表 7-1 中可以看出，鋼骨構造除了在鐵礦的耗用上較 RC 及 SRC 構造為多之外，其餘不論在其他資源耗用、能源耗用、CO₂ 排放、逸散性粉塵排放、拆除廢棄物、以及景觀衝擊等環境負荷項目評估中的表現，均明顯的較 RC 以及 SRC 構造為佳，因此從環保的觀點來看，鋼骨構造的選用確是較有利於地球生態資源的永續發展，亦較符合建築開發與環境共生共存的理念。

國內建築物目前仍是以 RC 及 SRC 構造為主，各佔約 92% 以及 5% (84 年台灣營建統計年報)。由於鋼骨構造較符合地球環保需求，若能多多選用來代替 RC 以及 SRC 構造方式，則對減輕建築開發予環境所造成之衝擊影響有莫大之助益。本研究並針對以鋼骨構造完全取代 RC 及 SRC 構造可達成之環保功效，進行改善評估，得到結果如下，充分顯示鋼骨構造的選用對減緩建築物環境衝擊之顯著貢獻：

- ◆一年可以減少 24,444,548 m³ 的砂石開採量，11,373,623 t 的石灰石開採量；但需增加 433,792 t 的鐵礦開採量。
- ◆一年可以減少 5.0×10^{12} kcal 的能源耗用。
- ◆一年可以減少 2,439,830 t 的 CO₂ 排放量，每人減少約 0.116t 的排放。
- ◆一年可以減少 2,199,627 t 的粉塵排放量。
- ◆每年可減少 1.22×10^7 m³ 的廢棄混凝土，但須增加 1.94×10^7 t 的廢鋼產生。

| | | 建材製造運輸 | 施工建造 | 拆除廢棄 | 小計 | 環保表現 | |
|--------------------|-----------------------|------------|---------|---------|---------|-------|---|
| 合成能源(kcal) | RC | 630,048 | **9,395 | 26,400 | 665.843 | | |
| | 鋼骨 | 566,863 | **9,395 | *26,400 | 602.658 | ☺ | |
| | SRC | 677,229 | **9,395 | *26,400 | 713,024 | | |
| CO ₂ 排放 | RC | 211.7 | 2.55 | 8.20 | 222.5 | | |
| | 鋼骨 | 159.3 | 2.55 | *8.20 | 170.0 | ☺ | |
| | SRC | 214.9 | 2.55 | *8.20 | 225.6 | | |
| 逸散性粉塵排放 | RC | 206.57 | 1.82 | 0.11 | 208.50 | | |
| | 鋼骨 | 82.79 | 1.28 | *0.11 | 84.18 | ☺ | |
| | SRC | 184.34 | *1.82 | *0.11 | 186.27 | | |
| 資源耗用 | 砂石(m ³) | RC | 0.84 | - | - | - | |
| | | 鋼骨 | 0.31 | - | - | - | ☺ |
| | | SRC | 0.74 | - | - | - | |
| | 石灰石(t) | RC | 0.405 | - | - | - | |
| | | 鋼骨 | 0.157 | - | - | - | ☺ |
| | | SRC | 0.359 | - | - | - | |
| | 廢鋼(t) | RC | 0.196 | - | - | - | ☺ |
| | | 鋼骨 | 0.260 | - | - | - | |
| | | SRC | 0.252 | - | - | - | |
| | 鐵礦(t) | RC | 0.000 | - | - | - | ☺ |
| | | 鋼骨 | 0.009 | - | - | - | |
| | | SRC | 0.000 | - | - | - | ☺ |
| 拆除廢棄物 | 廢鋼(t) | RC | - | - | 0.163 | 0.163 | ☺ |
| | | 鋼骨 | - | - | 0.225 | 0.225 | |
| | | SRC | - | - | 0.210 | 0.210 | |
| | 廢混凝土(m ³) | RC | - | - | 0.670 | 0.670 | |
| | | 鋼骨 | - | - | 0.246 | 0.246 | ☺ |
| | | SRC | - | - | 0.590 | 0.590 | |
| 景觀衝擊 | RC | 使用最多砂石、石灰石 | | | | | |
| | 鋼骨 | 使用最少砂石、石灰石 | | | | ☺ | |
| | SRC | 使用次多砂石、石灰石 | | | | | |

7-1.2 與國外成果相比較

國外 RC 構造應用不如台灣普遍，主要建築物型式為鋼骨構造以及木構造，其中絕大部份是屬於低中層建築物，故國外研究多偏向低層鋼構造與木構造住宅建築的評估。目前已知國外進行建築構造方式環境負荷比較之研究有加拿大 Natural Resources Canada 委託 Forintek Canada Corp. 進行之《Building in the Context of Sustainable Development》，目前已移交 ATHENA 公司辦理。該研究最終目的在建立一套環境設計軟體 ATHENA™ (Environmental Design model) 以評估不同的建築材料使用對環境造成的後果，現已完成第三階段 (Phase III)，研究成果有 30 種以上的建築材料之排放因子 (emission factor) 以及環境衝擊評估指標與方法之建立，結果廣為美國 EBN、USGBC、ACI 等組織引用，為本研究主要參考比較對象。此外，瑞典 SBI、英國 BRE、荷蘭 IVAM、美國 IRIS 也正進行一系列研究。IVAM 以及 IRIS 的研究除了主體結構材料外，尚包括其他非構造材料之 LCA 結果，IVAM 出版的資料庫目前已包含 150 種以上材料。

本研究目前取得 Forintek 於 Phase II 及 Phase III 的研究成果報告，因其與本研究較為相關且根據本研究進行生命週期盤查分析之結果與 Forintek 研究結果相比較，本研究在建材產品產生的污染量較低。例如該研究推估出製造強度 15MPa (約 153 kg/cm²) 的預拌混凝土所產生的環境負荷在逸散性粉塵排放方面有 442.28 kg，較本研究推算之數據多出甚多。原因應為：

- ◆本研究之建材運輸距離較 Forintek 提出之數據為低
- ◆本研究使用資料並不是直接訪查，而是取用現存統計資料，在統計的項目上如耗能種類等並沒有國外詳盡，且正確性並不能掌握。

7-1.3 飛灰、爐石粉可減緩環境負荷量

以飛灰與爐石粉取代水泥，可以有效地減緩建築物開發所造成的環境負荷，根據本研究數據統計，若以飛灰取代 30% 水泥，則每

年合計可以：

- ◆節省 4.4×10^{12} kcal 的能源（生產面），佔台灣能源總需要量的 0.68%。
- ◆減少 1,942,000 t 的 CO₂ 排放，每人可以減少約 0.09t 的排放量。
- ◆減少 1,143,306 t 的粒狀物，21,129 t 的 SO_x 以及 6,060t 的 NO_x 排放。
- ◆減少少量的 CO 以及 CH₄ 排放。

此外，若以爐石取代 35%水泥，則每年合計更可以節省下列的環境負荷：

- ◆ 4.97×10^{12} kcal 的能源，佔台灣能源需要量的 0.77%。
- ◆2,082,000 的 CO₂ 排放，每人每年可減少 0.1t 的排放。

國內建築多以 RC 構造方式為主，民國 84 年佔 92% 的高比例，而 RC 構造又是各記專構造方式最大量使用水泥的。因此若在不影響建築物功能、品質以及混凝土強度等要求下，多多使用飛灰以及爐石粉以取代水泥，對減輕建築開發對環境造成之衝擊，將有很大幫助。

7-1.4 其他可減輕環境負荷之方案

本研究並針對其他可減緩建築物環境衝擊之方案，進行改善評估。首先是建築物使用壽命延長，若不考慮建築物日常使用階段對環境所造成的衝擊負荷，則建築物生命週期其他階段每年對環境所造成的污染或負荷量，將隨著建築物壽命之延長而成比例的縮減。譬如以一棟使用 100 年的建築物與使用 40 年的建築物相比，若將日常使用階段除外，前者於生命週期其他階段對環境所造成的負荷量僅為後者之 40%。因此，若能以開放式建築設計、使用高性能混凝土、以及鋼筋的塗佈等方式加強 RC 構造的耐久性；或加強防蝕以增加鋼骨構造的壽命等等方式來達成延長建築物壽命之目的，可減輕建築開發每年產生之環境負荷量。

此外，回收再利用拆除廢棄物亦可減緩建築對環境造成之衝擊。目前國內雖無鋼骨構造建築物之拆除案例可循，但由 RC 構造拆除後之廢鋼筋回收情形來看，未來廢鋼之回收率應當相當的良好。而拆除後的廢混凝土，除少量應用在道路工程外，目前多遭丟棄。根據本研究計算，若能將於 84 年開始使用的建築物在將來拆除時所有產生的廢棄混凝土悉數予以回收，一年等於可以節省三千萬立方公尺的砂石開採量，相當於北部地區總可採砂石量的 77%，也相當於 13 條頭前溪，5 條曾文溪的可採砂石量。

7-2 研究成果與限制

7-2.1 研究成果

1. 建立建築物生命週期評估架構與方法，可供建築開發環境影響評估之參考。
2. 比較建築不同主體構造形式材料使用對環境所造成之負荷與影響，可供建築物設計時結構形式之選擇參考。
3. 蒐集國外建築開發造成環境衝擊之相關文獻資料，瞭解國外研究進展情況，並與本研究計算之污染負荷結果進行初步比較，做為國內後續研究及污染防治科技發展參考。
4. 針對數項環境衝擊改善方案進行評估，如以飛灰、爐石粉取代水泥、建築拆除後廢棄物回收再利用等，瞭解其對環境負荷減緩之貢獻，並盡量予以量化。所建立的評估模式及方法，亦可作為未來評估其他改善方案時參考。

7-2.2 研究結果應用之限制

1. 本研究基於鋼骨、SRC 構造方式多應用在高層辦公建築物，為取得一致性，故以高層辦公建築物為比較對象。由於單位建材用量之不同，直接引用於其他形式之建築將有失其準確性。
2. 本研究收集之基礎資料皆為其他研究單位之統計資料，而非本

研究自行統計之結果。故本研究結果之代表性以及準確性取決於資料來源之特性。

3. 本研究在進行建築構造之生命週期環境衝擊評估時，當某些階段之國內污染負荷相關資料付之闕如或無法取得時，改以國外資料替代。
4. 由於國內目前並無針對不同構造方式於施工建造、日常使用及拆除廢棄階段所造成污染負荷之統計資料，且國外目前亦尚未有已完成之研究資料數據可供參考，故本研究於進行生命週期環境衝擊評估時，僅能以一部分構造形式的平均值來表示。
5. 本研究進行建築構造方式環境影響評估之計算時，並未考慮國外開採鐵礦以及進口、運輸鐵礦和廢鋼等過程中對環境所可能造成的污染負荷。

7-3 建議

● 建築設計

- 應正視 RC 構造以及 SRC 構造造成之環境負荷嚴重性，選用負荷較小的鋼骨構造方式。
- 使用如飛灰、爐石等替代建材，減少水泥用量。
- 應利用各種方法如開放式建築、增加建材耐久性等等，以延長建築物使用壽命

● 建材產業

- 應加強污染防制以及節能技術，並減少資源耗用，多利用產業廢棄物製造建材。
- 建材生產者應負責考慮回收問題，如同保特瓶業者必須回收保特瓶一般。

● 政府部門

- 應推動飛灰、爐石粉之使用，並教育產業界正確使用飛灰、

爐石以提昇混凝土品質。

- 應推廣鋼骨結構，加強大專院校土木工程科系對鋼骨構造設計之教育。

● 學術研究

- 儘速建立或整合國內建築材料環境基礎資料，例如範圍更廣、精度更佳之 LCA 調查，以提高研究推估結果之正確性與代表性。
- 由於建築施工多在人口密度高之都會區進行，故應儘速進行國內目前使用之各種建築物施工建造方法之環境影響評估，比較構造工法之環境衝擊，以補本研究未能完成之部分。
- 一棟建築物的日常使用階段往往長達數十年，故應研究比較各主體構造方式在日常使用階段對環境造成負荷與影響之異同，以補本研究之不足。
- 加速廢棄混凝土回收再利用之技術研擬，或由國外引進可行方法。
- 除傳統混凝土、鋼等建築物主體構造材料外，應進行其他替代材料之研發，符合經濟及環保等之要求

● 消費者

- 應考慮鋼骨構造在環保上的價值，認識其所能舒緩之社會成本代價，避免僅因經濟成本之考量而優先選擇 RC 或 SRC 構造。

參考文獻

1. 林憲德等，台灣建築產業的能源與環保衝擊評估，行政院國家科學委員會專題計畫，國立成功大學建築研究所執行，民國 85 年 7 月
2. 劉漢卿，建築生命週期能源消費與溫室氣體排放量分析，成大建研所碩士論文，民國 83 年 6 月
3. 楊詡照，建築環保另一章：RC 結構物最傷害地球環境？，建築師雜誌，民國 84 年 10 月
4. 內政部建築研究所、中國工程師學會，第十七屆中日工程技術研討會 建築研究組 論文集① 「綠建築的計畫與設計」
壹、日本之環境共生型建築技術的背景與現況
貳、環境共生型建築物理概念與方法
小玉佑一郎、松尾 陽等，民國 85 年 11 月
5. 行政院主計處，80 年台閩地區工商服務業普查報告 - 營造業，民國 82 年
6. 行政院主計處，80 年台閩地區工商服務業普查報告 - 製造業，民國 82 年
7. 行政院主計處，80 年台閩地區工商服務業普查報告 - 礦石業，民國 82 年
8. 經濟部統計處，工業生產統計月報，民國 85 年
9. 內政部營建署，84 年台灣地區營建統計年報，民國 85 年
10. 交通部統計處，中華民國台灣地區汽車貨運調查報告，民國 84 年 1 月至 12 月
11. 彭雲宏等，台灣地區營建工程能量之調查與分析，內政部建築研究所籌備處專題計畫，中央營建技術顧問研究社執行，民國 80 年 6 月
12. 建築材料，第十五屆中日工程技術研討會 - 建築研究組②，內政部建研所籌備處，83 年 11 月
13. 江金山等，工程建設資源調查暨道路工程推估基準建構之研究，中華民國營造業研究發展基金會，行政院公共建設督導會報專案研究報告，84 年 5 月
14. 彭雲宏等，台灣地區營建工程能量之調查與分析（二），內政部建築研究所籌備處專題計畫，台灣營建研究中心執行，民國 81 年 1 月
15. 經濟部能源委員會，節約能源年報，工業技術研究院能源與資源

- 研究所主編，民國 83 年
16. 經濟部能源委員會，節約能源年報，工業技術研究院能源與資源研究所主編，民國 84 年
 17. 經濟部能源委員會，節約能源年報，工業技術研究院能源與資源研究所主編，民國 85 年
 18. 經濟部能委會，台灣能源平衡表，民國 85 年
 19. 林憲德等，建築節約能源設計的指標與基準，內政部建築研究所籌備處專題計畫，中華民國建築協會執行，民國 80 年 4 月
 20. 林憲德等，建築節約能源基本教材，內政部建築研究所籌備處專題計畫，中華民國建築協會、國立成功大學建築研究所執行，民國 85 年 7 月
 21. 黃南淵等，建築物拆除行政作業及技術準則，內政部建築研究所籌備處專題計畫，中華民國建築學會執行，民國 80 年 1 月
 22. 沈進發等，混凝土工程施工規範，內政部建築研究所籌備處、內政部營建署，民國 84 年 4 月
 23. 陳生金等，鋼結構施工規範，內政部建築研究所籌備處、內政部營建署，民國 84 年 4 月
 24. 蔡兆陽等，台灣地區發展木結構建築可行性之研究，全美林產品協會，財團法人中央營建技術顧問研究社執行，民國 83 年 8 月
 25. 常正之，混凝土施工，三民書局，民國 84 年 3 月。
 26. 中央標準局、台灣營建研究中心，本土環境與建築材料標準化座談會講義集，民國 85 年 3 月
 27. 章裕民等，營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估研究報告，行政院環境保護署專題計畫，國立台北技術學院土木工程系執行，民國 85 年 6 月
 28. 梁啟源等，營建空氣污染防制費徵收研訂計畫研究報告，行政院環境保護署專題計畫，台灣綜合研究院執行，民國 85 年 6 月
 29. 林耀煌等，營建公害之防制，內政部建築研究所籌備處，民國 83 年 6 月
 30. 林耀煌等，建立營建公害管理制度之研究，內政部建築研究所籌備處專題計畫，財團法人台灣營建研究中心執行，民國 80 年 6 月
 31. 林耀煌等，營建工程公害防治與管理策略，內政部建築研究所籌備處專題計畫，中華民國建築學會執行，民國 78 年 6 月
 32. 張世典等，建築污染過程污染源現況分析與管理制度之研究先期規畫報告 - 建築過程污染公害問題之分析，中華民國建築學會，建築研究所籌備小組，民國 77 年 8 月

33. 細數八大營建公害，環保與經濟，民國 82 年
34. 現代營建雜誌社，工料分析，民國 83 年 3 月
35. 高健章等，輕質混凝土在國內發展之研究，內政部建築研究所籌備處專題計畫，國立台灣大學與慶齡工業發展基金會合設工業研究中心執行，民國 82 年 6 月
36. 楊任徵、黃肇英、朱育華、方良吉等，台灣地區與能源使用相關的 CO₂ 排放量及特性分析，工業技術研究院能源與資源研究所，民國 82 年 5 月
37. 高惠玲、盧明俊、周幼寧，環保策略工具 - 生命週期評估技術之內涵及發展現況，工業污染防治，民國 84 年 4 月
38. 鄭文哲、周幼寧，生命週期評估技術簡介，中華民國環保科技協會會務通訊，民國 84 年 7 月
39. 簡偉華、高惠玲，國外因應 ISO14000 標準動態報導，ISO14000 速報第二期，民國 84 年 6 月
40. 吳明洋，環境管理國際標準之發展趨勢以及我國因應之道，行政院環境保護署環境檢驗所，民國 83 年 11 月
41. 于寧，環保標章對產業之影響，工業技術研究院污染防治技術發展中心，民國 83 年 11 月
42. 顧洋，生命週期分析應用及推動現況，國立工業技術學院化工系，民國 83 年 11 月
43. 顧洋，因應未來環保潮流工程技術的發展趨勢，國立工業技術學院化工系，民國 83 年 1 月
44. 高惠玲，生命週期評估技術移轉及訓練課程報告，工業技術研究院能源與資源研究所，民國 84 年 1 月
45. Weston Interational, Inc., Life Cycle Assessment Seminar and Technology Transfer Session for Industrial Technology Research Institute 訓練課程講義，工業技術研究院能源與資源研究所，84 年 1 月
46. 美國系統應用公司、中鼎工程股份有限公司、美國能源及環境分析公司，大台北高雄地區空氣污染源排放資料調查及減量規畫計畫期末報告，行政院環境保護署，民國 80 年 1 月
47. 行政院環境保護署空氣品質保護及噪音管制處，行業污染特性手冊，民國 85 年 5 月
48. 蕭新煌、蔣本基、劉小如、朱雲鵬，台灣 2000 年，天下文化出版公司，民國 82 年 10 月
49. 劉德明，環境科學，淑馨出版社，民國 85 年 11 月
50. 陳王琨，營建工程環境管理與污染防制，淑馨出版社，民國 85

年 7 月

51. 李開天，擴大列管固定空氣污染源督導改善計畫，中國技術服務社，行政院環境保護署，民國 80 年 6 月
52. 淑馨出版社，最新環保法規，民國 84 年 3 月
53. Henry C. Perkins 著，林政剛等譯，空氣污染，美商麥格羅 希爾國際股份有限公司，84 年 6 月
54. 行政院環境保護署，粒狀粉塵污染源分類及控制技術手冊，民國 79 年 1 月
55. 台灣研究基金會，環境保護與產業政策，前衛出版社，83 年 12 月
56. 中國技術服務社、京華環境工程股份有限公司，煉鋼業、非鐵金屬冶煉製造業、金屬切割業空氣污染管制規範研訂計畫，行政院環境保護署，民國 82 年 6 月
57. 黃炳照等，空氣污染防治費徵收制度、營建空氣污染管制制度及特定行業個別排放標準期末報告
58. 馬小康等，台灣地區氮氧化物排放總量削減計畫（III）- 固定污染源燃燒過程排放氮氧化物之現況與排放標準關係之研究，行政院環境保護署，民國 80 年 2 月
59. 康城工程顧問股份有限公司，水泥業暨採礦作業空氣污染管制規範研訂計畫，行政院環境保護署，民國 83 年 6 月
60. 日本環境廳原著，於幼華審訂，環保小百科，台灣英文雜誌社，民國 79 年 7 月
61. 天下編輯，環境台灣，天下雜誌，民國 85 年 9 月
62. 台灣營建研究中心，”正確使用飛灰以提昇混凝土品質”，民國 85 年 12 月
63. 陳振川，”含爐石粉及氣冷爐石骨材混凝土之配比研究 - 南星計畫之工程材料初期探討”，台灣營建研究中心，中國鋼鐵股份有限公司，民國 78 年
64. 黃兆龍等，爐石在混凝土之應用 - 固態廢料處理方案之二，台灣營建研究中心，83 年 11 月
65. 財團法人台灣營建研究中心、台灣電力公司，運用飛灰提昇混凝土品質研討會論文集，85 年 1 月
66. 台灣地區輕質骨材物理、化學及力學性資料之建立，王櫻茂等，內政部建築研究所籌備處專題計畫，財團法人台灣營建研究中心、國立成功大學土木系執行，民國 83 年 6 月
67. Steel or Wood Framing, Which Way should We GO?, Environmental Building News, Vol.4 No.4, 1996

68. Cement and Concrete: Environmental Considerations, Environmental Building News, Vol.2 No.2, 1996
69. Concrete as a CO₂ Sink?, Environmental Building News, Vol.4 No.5, 1996
70. Life Cycle studies and ecolabelling of building materials , British Ceramic Transactions , 1994
71. BRE , Life Cycle Embodied Energy and CO₂ in Buildings , 1996
72. Forintek Corp. , The Sustainable Construction Materials Project , Phase II Summary Report, 1993
73. Forintek Corp. , The Sustainable Construction Materials Project , Phase III Summary Report, 1995
74. SBI , LCA of Building Frames , 1996
75. SBI , Building for the Environment - Building in Steel , 1996
76. SBI , Steel instead of wood in residential buildings , 1994
77. ASCE , Source Evaluation of Solid Waste in Building Construction , 1994.9
78. Public Technology Inc. , Sustainable Building Technical Manual, , US Green building council, 1996

附錄 A 生命週期評估簡介

本附錄摘錄整理本研究蒐集到之有關生命週期評估相關文獻資料，期能更清楚說明生命週期評估之內容。至於生命週期完整說明可參考 SETAC 出版之 LCA 相關叢書。

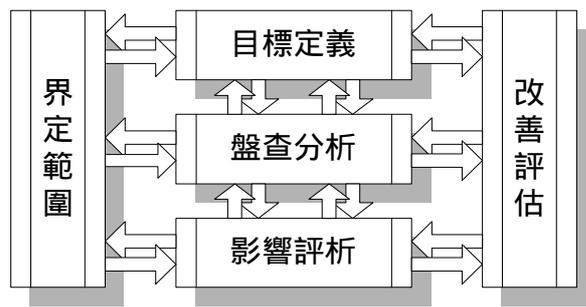
A-1 生命週期評估方法簡介

生命週期評估(Life-Cycle Assessment, LCA) 是一項 1960 年代即開始發展的環境管理工具。美國毒物及化學協會(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。美國毒物及化學協會於 1990 年開始進行生命週期評估之研究，並不斷召開會議研討生命週期評估方法論(methodology) 及架構，其出版的相關資料目前已成為世界各國進行生命週期評估之首要參考準則。國際標準組織(ISO) 在開發 ISO-14000 系列標準時，即成立 TC207/SC5 來負責發展 LCA 相關的原則及指導方針。台灣方面，目前工業技術研究院正積極發展中，本章圖文主要摘錄工研院能資所出版之文件而來。

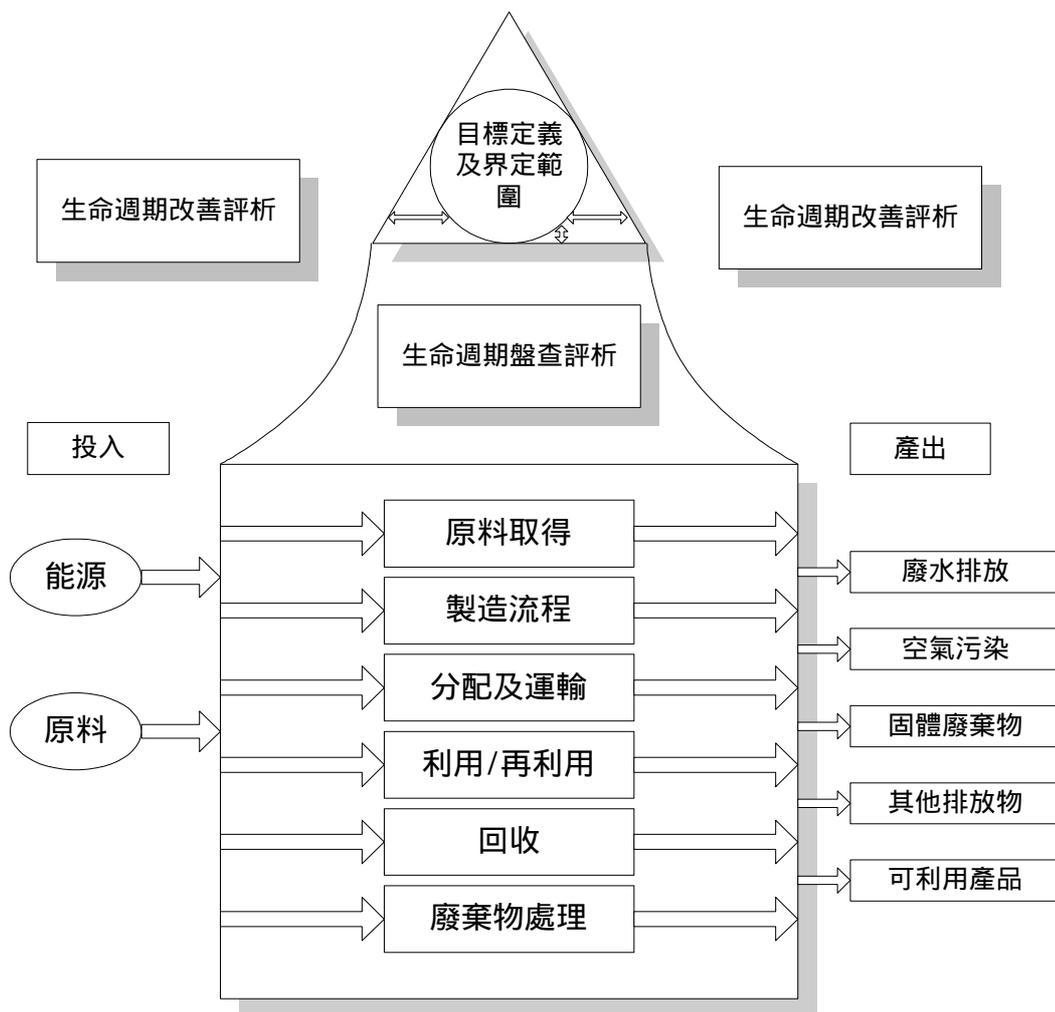
依照 ISO/CD 14040 的條文，以及 SETAC 對 LCA 的定義，LCA 是以科學的方式，有系統的清查及盤點活動、產品及服務，在其生命週期(原料採取、製造、運銷、使用、廢棄處置)中所使用的能源和資源以及排放至環境的各種污染物，加以評估並量化以求得對環境所產生的負荷及衝擊，同時做出結論來作為尋求改善時之參考。進行生命週期評估的目的在為產品或活動建立一套從搖籃到墳墓(cradle to grave) 完整能源與資源耗用及污染或廢棄物量的資料庫，以便從中規畫最佳的管理策略，減少能源與資源的使用量，降低對環境所造成的傷害，並提出改善之道，達成清潔生產的目標，使經濟發展與環境保護並行不悖，以完成永續發展的事業。

生命週期應包含四大部份：定義目標及界定範圍(goal definition and scoping)、盤查分析(inventory analysis)、影響評估(impact

assessment)、及改善評估。



圖A-1 生命週期評析各階段關係圖



圖A-2 生命週期結構示意圖

A-2 定義目標及界定範圍

在進行研究前，必須對研究目的、研究對象及事先要準備的條件進行瞭解，此瞭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估。在此階段必先確認有哪些資料可供生命週期盤查、影響分析及改善評估使用，否則當真正應用時將面臨資料不足的情況。

A-2.1 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估的理由及成果如何提供進一步地應用，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？

A-2.2 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可符合研究目的。所有的範圍、方法、資料類別及假設必須清楚明瞭的說明，除了資料的平均值以外，資料的變異性也應納入估計，必須強調的是在整個生命週期評估階段中，範圍需隨資訊的添加而隨時修正及改良。

A-2.3 建立衡量單位

建立衡量單位可以用以衡量體系功能，避免目的及範圍界定混淆不清。而在比較研究中，需注意體系應有相同的功能才能互相比較。

A-2.4 資料品質評估

生命週期評估是一種資料密集的工作，資料的準確性直接影響到評估成果的準確性。資料品質評估為生命週期評估之整合性分析，資料應達成何種品質需清楚定義，才能進行有效的評估。資料品質評估為個別投入產出資料之可靠度的指標，由於最終決策乃根據整個資料而來，需要資料品質之可靠度，因而此步驟不可或缺。資料通常必須查明其準確性、完整性、代表性、透明

性、可比較性以及研究結果的再現性等等。

A-3 生命週期盤查分析

生命週期盤查(Life-Cycle Inventory, LCI) 是一種技術性、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、液體排放物、固體廢棄物及其他排放資料予以量化，可用以評估如何減少生產及包裝原料或活動所引發的環境衝擊，同時亦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。需注意的是 LCI 並等於生命週期評估，完整的生命週期評估必須包含影響以及改善評估。

A-4 生命週期影響評估

生命週期影響評估(Life Cycle Impact Assessment) 是一種技術化的、數量化的、質量化的程序，將盤查過程所認定的環境影響予以分類評估。一般分為三個步驟：分類(classification)、特徵化(characterization) 以及評估(valuation)。

通常在環保領域中，環境影響與負荷大致可分類為資源耗用(resource depletion)、人類健康(human health)、生態健全(ecological health, or environmental health)。在資源耗用一項，若是將能源耗用獨立出來，一般稱為合成能源(embodied energy)。合成能源是指一個產品或活動在其生命週期中所有使用能源之加總。一般環保領域與衝擊種類間關係可如表 A-1 表示。

接下來，特徵化乃是將影響類別中，完成分類的部份予以分析、量化以及加總其影響。目前的趨勢是在不同影響類別中，找出相同的影響因子，例如溫室氣體的排放量即是因為化石能源的使用，而與合成能源的因子相同。最後把不同影響類別的促成因子予以加權，以便不同影響類別彼此之間互相比較。

A-5 改善評估

改善評估為生命週期最後一個工作，同時也是展現最終結果的工作。改善評估與一般的品質管理差別在於改善評估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估類似設計一全新的產品，不僅要提出減輕環境各種負擔的方法，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的危害。

改善評估在於認定、評估及選擇有助於環境改善的方法，使用盤查分析結果可反映那些措施可幫助改善環境、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其棲息地之破壞程度，採用較優良的製造方法，以確保物種及其棲息地之完整。
- 極小化廢棄物排放，並改善回收體系以方便廢棄物回收利用。

進行改善評估之步驟如下：

- (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) 建立其他替代方案之評估方法
- (6) 設計最佳化

實際進行建築物生命週期評估可以從生態面、經濟面及技術面三方面著手，完整之生命週期評估架構如圖 A-3 所示。在生態面之環境生命週期分析中，進行材料選擇、能源使用及污染排放、各項廢棄物資料之盤查分析；風險分析、環境影響評估等之影響評估；以及觀察市場以利改善評估。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估。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、功能等之影響評估；以及採取管理觀點進行改善評估。

| 盤查分析 | | 影響評估 | 改善評估 |
|---|--|------------------------------|----------------------------------|
| 驗證能源與原料流程 | | 量化原料與能源流程 | 生態的重要性 流程與產品的改變 |
| 步驟一 | | 步驟二 | 步驟三 |
| 投入 能源→ 原料→ <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> 原料取得 ↓ 製造流程 ↓ 分配及運輸 ↓ 利用/再利用//維修 ↓ 回收 ↓ 廢棄物處理 </div> 產出 →廢水排放 →空氣污染 →固體廢棄物 →其他排放物 →可利用產品 | | 原料選擇 能源使用 污染排放 廢棄物質 | 風險分析 環境影響 評估 市場觀察 |
| 投入 能源→ 原料→ <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> 原料取得 ↓ 製造流程 ↓ 分配及運輸 ↓ 利用/再利用//維修 ↓ 回收 ↓ 廢棄物處理 </div> 產出 →廢水排放 →空氣污染 →固體廢棄物 →其他排放物 →可利用產品 | | 替代成本 預測成本 真實成本 | 節省成本 市場效益 適應性評估 效益-成本分析 |
| 投入 能源→ 原料→ <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> 原料取得 ↓ 製造流程 ↓ 分配及運輸 ↓ 利用/再利用//維修 ↓ 回收 ↓ 廢棄物處理 </div> 產出 →廢水排放 →空氣污染 →固體廢棄物 →其他排放物 →可利用產品 | | 強度 重量 績效 | 結構 生命週期 長度 功能 管理觀點 |

圖 A-3、生命週期整體架構示意圖

參考文獻：生命週期評估技術之建立計畫八十四年度計畫執行報告，工業技術研究院，能源與資源研究所，1995.7

附錄 B 台電發電比例及廠熱耗率

單位：%

| 年度別 | 總計 | 水力發電 | 火力發電 | | | | 核能發電 | 火力發電廠熱耗率 (kcal/kwh) | 核能發電廠熱耗率 (kcal/kwh) |
|------|-----|------|-------|-------|-------|------|-------|---------------------|---------------------|
| | | | 小計 | 燃煤 | 燃油 | 燃氣 | | | |
| 1990 | 100 | 9.58 | 51.96 | 25.37 | 25.38 | 1.21 | 38.46 | 2300.4 | 2644 |
| 1991 | 100 | 5.93 | 56.06 | 26.77 | 26.42 | 2.87 | 38.01 | 2309.4 | 2644 |
| 1992 | 100 | 8.63 | 56.38 | 32.17 | 21.32 | 2.89 | 34.99 | 2292.3 | 2644 |
| 1993 | 100 | 6.42 | 60.75 | 35.32 | 23.18 | 2.25 | 32.83 | 2251.8 | 2658 |
| 1994 | 100 | 7.85 | 61.36 | 35.44 | 21.42 | 4.50 | 30.79 | 2142.9 | 2600 |
| 1995 | 100 | 6.90 | 62.90 | 33.20 | 24.10 | 4.60 | 28.80 | 2189.7 | 2621 |

資料來源：經濟部能源委員會，台灣電力公司

註：水力發電廠熱耗率 2236 kcal/kWh

附錄 C 能源熱值及各種能源的碳排放量

表 C - 1 各項能源熱值單位換算表

| 項目 Item | 單位 Unit | 熱值 Heating Value | 項目 Item | 單位 Unit | 熱值 Heating Value |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------|---|--------------------------|------------------------|
| 自產煤 (Indigenous coal) | 千卡/公斤 (kcal/kg) | 6,200 | 航空燃油 (Jet Fuel) | 千卡/公升 (kcal/liter) | 8,000 |
| 進口原料煤 (Imported Coking Coal) | " | 6,800 | 煤油 (Kerosene) | " | 8,500 |
| 進口燃料煤 (Imported Steam Coal) | " | 6,400 | 柴油 (Diesel Oil) | " | 8,800 |
| 焦炭 (Coke) | " | 7,000 | 燃料油 (Fuel Oil) | " | 9,200 |
| 煤氣 (Coke Oven Gas) | 千卡/立方 公尺 (kcal/kg) | 5,000 | 潤滑油 (Lubricants) | " | 9,600 |
| 煤球 (Patent Fuel) | 千卡/公斤 (kcal/kg) | 3,800 | 柏油 (Asphalts) | " | 10,000 |
| 高爐氣 (Blast Furnace Gas) | " | 713 | 溶劑油 (solvents) | " | 8,300 |
| 原油 (Crude Oil) | 千卡/公升 (kcal/liter) | 9,000 | 石油腦 (Naphthas) | " | 7,800 |
| 液化油 (Liquid Oil) | " | 8,900 | 烯烴類 (Olefins) | " | 5,600 |
| 煉油氣 (Refinery Gas) | 千卡/立方 公尺 (kcal/kg) | 9,000 | 芳香烴類 (Aromatics) | " | 8,800 |
| 液化石油氣 (L.P.G) | 千卡/公升 (kcal/liter) | 6,635 | 其他石油產品 (Other Petroleum Products) | " | 9,000 |
| 丙烷混合氣 (Propane Air, PA) | 千卡/立方 公尺 (kcal/kg) | 12,750 | 液化天然氣 (L.N.G.) | 千卡/立方 公尺 (kcal/kg) | 9,900 |
| 天然汽油 (Natural Gasoline) | 千卡/公升 (kcal/liter) | 6,700 | 天然氣 (Natural Gas) | " | 8,900 |
| 航空汽油 (Aviation Gasoline) | " | 7,500 | 電力(消費面) (Electricity) | 千卡/度 (kcal/kWh) | 860 |
| 車用汽油 (Motor Gasoline) | " | 7,800 | 水力與核能 (供給面) (Hydro & Nuclear) | 千卡/度 (kcal/kWh) | 2,236 |

資料來源：台灣能源平衡表

表 C-2 各項能源與石化製品之碳排放係數

| 能源種類 | 碳排放係數 (公斤碳/10 億焦耳) (kg/10 ⁸ joule) |
|--------------------------|---|
| 原油(Crude Oil) | 20.0 |
| 天然汽油(Natural Gasoline) | (20.0) |
| 汽油(Gasoline) | 18.9 |
| 煤油(Kerosene) | 19.5 |
| 航空燃油(Jet Fuel) | (20.0) |
| 柴油(Diesel Oil) | 20.2 |
| 殘餘燃料油(Residual Fuel Oil) | 21.1 |
| 液化石油氣(LPG) | 17.2 |
| 石油腦(naphtha) | (20.0) |
| 柏油(bitumen) | (20.0) |
| 潤滑油(lubricant) | (20.0) |
| 石油焦(petroleum coke) | (20.0) |
| 石化原料(refinery feedstock) | (20.0) |
| 原料煤(coking coal) | 25.8 |
| 燃料煤(steam coal) | 25.8 |
| 褐碳(lignite) | 26.1 |
| 褐碳(sub-bitumen coal) | 27.6 |
| 泥煤(peat) | 28.9 |
| 煤球(BKB & patent coal) | (25.8) |
| 焦炭(coke) | (25.8) |
| 天然氣(dry natural gas) | 15.3 |

資料來源：IPCC

註：表中數字加括號者僅為 IPCC 提供的參考值。各國可據自己持有情況使用不同的數值，但必須提出可供檢核的數據。

表 C - 3 碳固定化係數

| 原料 / 製品 | 碳固定化百分比 carbon sequestered percentage |
|---|--|
| 石油腦(naphtha) | 80% |
| 潤滑油(lubricant) | 50% |
| 柏油(bitumen) | 100% |
| 原料煤所得的 oils 和 tars* (coal oils and tars from coking coal)* | 75% |
| 做為原料的天然氣(gas as feedstock) | 33% |
| 做為原料的液化石油氣(LPG as feedstock) | 80% |

*：若無此項的詳細消費量數值，可由原料煤的消費量乘上 6%作為粗略估計。

資料來源：IPCC

附錄 D 本研究使用之高層辦公建築物資料

表 D-1 RC 結構高層辦公建築物資料

| 編號 | 地區 | 地上層 | 地下層 | 總樓地板面積 m ² | 鋼筋用量 t | 混凝土用量 m ³ |
|----|----|-----|-----|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | 樓層數 | 樓層數 | | | |
| 1 | 北 | 21 | 3 | 48550 | 8739 | 29130 |
| 2 | 北 | 20 | 3 | 33472 | 5757 | 21087 |
| 3 | 北 | 21 | 4 | 45320 | 7478 | 27645 |
| 4 | 北 | 21 | 3 | 44383 | 6170 | 27517 |
| 5 | 北 | 20 | 3 | 27585 | 3945 | 17654 |
| 6 | 中 | 21 | 4 | 20754 | 3487 | 15378 |
| 7 | 中 | 22 | 3 | 27992 | 5182 | 20144 |
| 8 | 中 | 19 | 3 | 30811 | 4596 | 20007 |
| 9 | 中 | 17 | 3 | 24515 | 4005 | 16620 |
| 10 | 南 | 23 | 4 | 43456 | 8032 | 34310 |
| 11 | 南 | 20 | 3 | 38122 | 6183 | 25933 |
| 12 | 南 | 19 | 3 | 30527 | 4404 | 21654 |
| 13 | 南 | 22 | 3 | 40291 | 6459 | 28727 |
| 平均 | | 20 | 3 | 35059.8 | 0.163 (每m ²) | 0.671 (每m ²) |

表 D-2 鋼骨結構高層辦公建築物資料

| 編號 | 地區 | 地上層 | 地下層 | 總樓地板 面積 m ² | 型鋼用 量 | 鋼板用 量 | 鋼筋用量 t | 混凝土 用量 m ³ |
|----|----|-----|-----|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | 樓層數 | 樓層數 | | (t) | (t) | | |
| 1 | 北 | 20 | 2 | 33448 | 4479 | 271 | 1347 | 5352 |
| 2 | 北 | 21 | 3 | 42410 | 5291 | 335 | 1707 | 7633 |
| 3 | 北 | 22 | 3 | 32140 | 3562 | N/A | 1600 | 4400 |
| 4 | 北 | 24 | 3 | 29500 | 4246 | 236 | 1150 | 5900 |
| 5 | 北 | 24 | 4 | 44246 | 5322 | 355 | 2199 | 7300 |
| 6 | 北 | 25 | 5 | 48754 | 5816 | 383 | 2326 | 8434 |
| 7 | 北 | 27 | 5 | 60419 | 25345 | N/A | 2778 | 22590 |
| 8 | 中 | 28 | 3 | 50389 | 6629 | N/A | 1445 | 5806 |
| 9 | 南 | 32 | 5 | 41653 | 6363 | N/A | 2754 | 11676 |
| 10 | 北 | 36 | 3 | 73515 | 12487 | N/A | 4026 | 33055 |
| 平均 | | 26 | 4 | | 0.17c | 0.008 (每m ²) | 0.047 (每m ²) | 0.246 (每m ²) |

表 D-3 SRC 結構高層辦公建築物資料

| 編號 | 地區 | 地上層 | 地下層 | 總樓地板 面積 m ² | 型鋼用 量 (t) | 混凝土 用量 m ³ | 鋼筋用量 (t) |
|----|----|-----|-----|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | 樓層數 | 樓層數 | | | | |
| A | 20 | 5 | 北 | 34053 | 4084 | 21113 | 2386 |
| B | 26 | 4 | 北 | 30420 | 3398 | 17948 | 2990 |
| C | 25 | 3 | 北 | 43854 | 4924 | 26751 | 2576 |
| D | 21 | 4 | 北 | 19422 | 2272 | 11070 | 1729 |
| E | 22 | 4 | 北 | 38053 | 4062 | 21310 | 3473 |
| 平均 | | 26 | 4 | 9156 | 0.113 (每m ²) | 0.592 (每m ²) | 0.079 (每m ²) |

附錄 D 本研究使用名詞縮寫解釋

- LCA : Life Cycle Assessment , 生命週期評估
- LCI : Life Cycle Inventory Analysis , 生命週期盤查分析
- TSP : Total Suspending Particle , 總懸浮微粒
- PM₁₀ : 粒徑小於 10mm 的懸浮微粒
- BOD : 生化需氧量
- COD : 化學需氧量
- SS : 懸浮微粒