

出國報告（出國類別：實習）

綠色建築與 CO₂ 減量於變電所設計之應用

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：才喬柏 8 等土木工程師

派赴國家：日本

出國期間：97 年 10 月 27 日至 97 年 10 月 31 日

報告日期：97 年 12 月 19 日

| 摘 要 |

現今地球環保最大的危機，在於地球氣候的高溫化現象，其肇因於大氣溫室氣體的大量增加，使進入地球大氣圈後的太陽輻射，因溫室氣體的溫室效應而難以重返大氣圈，導致大氣圈內氣溫日益高昇，使得地球環境快速地惡化及異化。

因此從 1992 年「地球高峰會議」制定的「全球氣候變化綱要公約」，到 1998 年的「京都議定書」，全世界各國無不積極致力於二氧化碳等溫室氣體的減量。我國雖非議定書之締約國，殊無法自外於地球環保的國際要務。

台電公司近年積極推動輸變電工程計畫，於全國各地興建屋內型變電所，若能在設計階段，導入綠色建築及 CO₂ 減量之建築手法，將能帶動國內綠建築產業市場機制及環境的成形，進而展現地球環保國際合作之具體成果。

| 目 次 |

壹. 研 習 目 的	2
貳. 研 習 過 程	3
參. 研 習 內 容 及 心 得	5
一.綠色建築與 CO ₂ 減量問題	5
二.建 築 構 造 與 國 土 保 護	5
三.建 築 物 生 命 週 期 設 計	7
四.台灣建築物 LCCO ₂ 評估	8
五.耐久化的建築物生命週期設計	9
六.熱 濕 氣 候 的 綠 色 建 築	10
七.建 築 物 的 日 常 節 能	11
八.水 資 源 的 有 效 利 用	12
九.良 好 的 通 風 採 光 計 畫	13
肆. 結 論 與 建 議	14

壹.研習目的

綠色建築的思潮最早起源於 70 年代的 2 次世界能源危機，當時因為石油恐慌而興起了建築界的節約能源設計運動，同時引發「低能源建築」、「誘導式太陽能建築」、「生態建築」、「風土建築」的熱潮，至今猶為環境設計思潮的主流。近年更在地球環境危機聲中，產生「生命週期評估」、「CO₂減量」、「建材再生利用」、「生物多樣性設計」等全面性的地球環保，即「綠色建築」之設計理念。

台電公司近年積極推動輸變電工程計畫，於全國各地興建屋內型變電所，相對以往之戶外型開關場設施，對周遭環境之視覺衝擊已不復見，縱使如此，卻未能改變變電所鄰避的性質，屢因民意抗爭致使工程推動困難。

近來石油價格持續攀升，正引起大眾對地球資源過度消耗的省思，值此時機，若能由「地球溫暖化」、「資源枯竭」、「生物多樣化環境」等地球尺度，將「CO₂減量」、「節能減碳」、「建立生態綠網系統」等建築產業的環保議題，納入變電所設計，或可稍減反對興建的抗爭意識，甚而帶動國內綠建築產業市場機制及環境的成形。

日本都會地區地狹人稠，社經情況與我國類似，有關日方變電所針對綠建築之評估手法與經驗，值得為本公司變電所規劃之借鏡參考。

貳.研習過程

日本都市化程度較台灣為高，由於都市工、商、住宅建物密集，就統計建築產業相關之 CO₂ 排放比例約佔 36%(1990 年)，在台灣則約為 28.8%，該國如何屏除過去高耗能、高污染的建築構造設計，致力綠色建築及永續發展，殊堪我國借鏡，因此選擇日本為本次實習計畫的參訪國家。

日本中部電力公司所在名古屋市，係愛知縣縣政府所在地，於江戶幕府時代，作為東海道要地，並防禦大阪方面來犯，德川家康曾遷府至此，是一具歷史意義之古都，現今已發展為一工業大城。

本次參訪中部電力公司於名古屋市投資興建之「名城變電所」，位於距名古屋車站約 10 分鐘車程之市中心，係建造於名古屋城西南側名城公園之「地下型變電所」，地上構造物僅見電梯直井突出物及必要之通風管道設施。

名古屋城作為傳統古城，週邊綠意盎然，名城變電所位於公園地下，因此其地上構造物亦仿造白壁、石垣及日本式屋瓦設計，輔以瀑布、水池等造景，與鄰近之古城意象相互呼應；為營塑護城牆/河意象，排風管道立面以石材堆砌，牆面瀑水潺流。其中，水景採雨水回收循環利用，符合綠建築設計概念。由於上述設計手法受到極高的評價，變電所於平成 11 年(1999 年)完工後旋即獲得名古屋市都市景觀賞之表彰。

名城變電所採「地下型變電所」興建，建築結構採平板系統(無樑版)設計，其節省之樑深，使開挖深度減少下，樓層淨高度仍能滿足變電設備裝機及維修需求，除減少大量土石方開挖及運棄，同時亦減少模板及混凝土使用量，以綠建築的角度而言，則減少了大量建築廢棄物產生及 CO₂ 的排放量。

本變電所因定位為無人化變電所，其空間視作機電設備之格納場所，內部除控制室及會議室等供人員使用之處所外，其餘露明之牆面、頂版均採清水模板，節省

不必要之粉刷處理及室內裝修等營建成本。此外，水電設備採明管設計，將原本須埋設於柱樑樓版內之管路明管化，除增加了維修便利性，同時避免複雜的水電管路造成結構上的弱點。前述作法在節省營建成本外，也增加了建築物的耐久性；延長建築物的生命週期，同時意味著減少了 CO₂ 排放密度。

本次參訪過程中對日本電力公司針對變電所設計有效利用「結構合理化」、「建築輕量化」與「資源回收再利用」等具體手法，有了深刻體驗，也堅信「綠建築」這個課題是值得返國後深入探討的主題。

參.研習內容及心得

一.綠色建築與 CO₂ 減量問題

根據聯合國氣候變化政府間專家委員會 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)的界定，影響地球氣候的人造溫室氣體有二氧化碳 CO₂、氧化亞氮 N₂O、甲烷 CH₄ 以及氟氯碳化物 CFCs 等 4 種氣體，由於大氣中 CO₂ 氣體所佔比例最大，且殘留壽命最長，因此一般對於地球氣候高溫化均以最大影響力之 CO₂ 氣體為指標。

就地球環保觀點而言，建築上的一磚、一瓦、一鐵、一玻璃都是能源的產物，都排放著大量的 CO₂，減少一份不必要的建材，就等於減少大量的 CO₂ 排放量。建材的 CO₂ 排放，並非建材本身會釋放 CO₂ 氣體，而是因為建材加工過程消耗著電力或煤、石油、天然氣等化石燃料，因而釋放出大量的 CO₂。

其中，建築物於結構體中鋼筋與混凝土均為高加工度、高 CO₂ 排放量之建材，在整棟建築物 CO₂ 排放量中，相對於其他內外裝修材料所佔比例最大。因此，建築物 CO₂ 減量對策的重點在於減少結構體工程的建材使用量，例如以較佳的構造方式、結構系統、結構輕量化等手法，才能有效降低總 CO₂ 排放量。

二.建築構造與國土保護

目前台灣建築產業最大的環保問題，一言以蔽之，在於擁有全球最高密度的鋼筋混凝土(RC)構造物。RC建築物主要由高耗能、高污染、高CO₂排放的水泥所鑄成，水泥從石灰石開採，經窯燒製成熟料，再加入石膏研磨成水泥，生產過程耗用大量煤與電能，並排放大量CO₂。

另一方面，RC建築物不只在水泥、煉鋼、燒窯之建材生產階段產生高污染，在營建過程及日後的拆除廢棄物之污染也相當嚴重。平均而言，每平方公尺的樓地板面積，在施工階段約會產生1.8Kg的粉塵與0.14m³的固體廢棄物；在日後拆除階段則產生1.23m³的固體廢棄物，不僅危害人體，也造成大量的廢棄物處理負擔。

為了減少RC構造的高污染，「建築輕量化」無疑是一種最有效的對策，其中尤以採用鋼結構建築是一種最符合CO₂減量的建築型態。鋼構造最明顯的優點為其構造遠較RC構造輕量化。鋼構造如能搭配金屬玻璃的帷幕外牆與輕量隔間，在結構設計上可比同規模的RC建築減少4成以上的自重負擔，如此不僅在耐震上能有效減低地震水平橫向作用力，也可有效減少結構建材的使用量。因此，鋼構造除了可減少高耗能的混凝土使用量外，也可有效減少主結構之斷面設計。

「建築輕量化」最大的環保貢獻在於減少建材的使用量，進而促成節能、省資源、減少廢棄物與溫室氣體排放量。「建築輕量化」不只是消極避免使用笨重的混凝土構造，更應在設計階段講求平面、立面、剖面及跨距等合理的結構設計，包括使用鋼骨化結構及金屬化外牆等輕量化計畫。

雖然鋼鐵建材也是高耗能產物，但由於其回收再生率甚高，是屬於相對環保的建材。鋼構造建築物拆除後所產生的廢棄物量，僅約為RC構造的四分之一，也因此被譽為綠色建材。

眾所周知的，在如日本的先進國家一般大眾住宅大部分都為木造建築，而大型建築物則大多為鋼構造，RC構造僅存在少數昂貴的公共建築物。相對的，台灣現階段由一般住宅乃至二、三十層樓以上的高層建築，仍舊大量設計成RC構造，除造成大量的溫室氣體排放及廢棄物的產生，混凝土所須的骨材大量消耗造成河砂枯竭，陸砂的開採更導致棲息物種的滅絕。

CO₂減量的精神不僅在於減少溫室氣體排放量，也在於減少建材使用量、促進節

能、保護地球資源、減少廢棄物。台灣擁有世界最高密度的鋼筋混凝土建築市場，讓鋼構造、木構造建築市場無立錐之地，造成國土嚴重流失甚至危及國人生命財產安全。本公司變電所受限於使用需求，固然無法採木構造設計，但仍可儘量採鋼構造設計，並減少不必要的造型變化、不合理的結構尺寸及不均勻對稱的平面設計，以「結構合理化」、「建築輕量化」與「建材再利用」等具體手法，達成CO₂減量的目的。

三.建築物生命週期設計

現代綠色建築理論，除了上述於建造階段的地球環保評估，另外值得探討的尚有「生命週期評估」(Life Cycle Assessment，簡稱LCA)。所謂建築物的生命週期(Life Cycle，簡稱LC)就是建築物由出生-建造到滅亡-拆除的時間，所謂綠色建築的LCA即由建材生產、營建運輸到建築物拆解、廢棄物處理等過程的環境影響評估，亦即從建築物的「搖籃到墳場」進行全面性、系統性的環境影響評估。LCA法是現代「價值工程」與「信賴工程」的基本學理，在90年代逐漸成為綠色建築評估的理想。

日本曾以辦公建築50年生命週期來進行經濟評估，發現初期的企劃、設計、營建成本僅佔26%，完工後的營運、修繕、更新約佔27%，50年的水電能源支出約佔21%，稅金、利息、保險等一般管理費則佔26%(日本建築士連合會，1994，P8)。亦即從經濟投資之LCA來看，辦公建築的初期成本約僅佔四分之一，完工後的運轉成本高達初期成本的三倍之多。另外從綠色建築的地球環保LCA來看，完工後的CO₂排放量可能高達完工前的7~8倍以上。因此，進行綠色建築設計者，絕不能忽略建築完工後的LCA評估。

為了解建築物LC特性，有下列4種角度可定義不同建築物生命週期的意義：

1.物理耐用年數(結構安全的LC)

因長期使用使建築物產生結構強度嚴重老化、居住安全堪慮而必須拆除重建時的建築壽命，即所謂的物理耐用年數。

2.機能耐用年數(空間設備機能的LC)

因生活空間、工作效率、舒適健康上機能的老化或不堪使用而拆除時之建築壽命，其有時透過維護、更新、改建等手法可予延長，但是當機能已不符所需，即使結構安全無虞但無投資效益，而必須予以拆除重建，此建築壽命謂之機能耐用年數。

3.社會耐用年數(社會機能的LC)

因為都市計畫變更、交通變遷、居住人口變化、環境惡化、地價上漲、停車不足等社會因素，必須提前拆除重建時之建築壽命謂之。某種程度而言社會耐用年數才是實際的耐用年數。

4.稅法耐用年數(財稅法的LC)

財稅法上為了資產估價、銀行貸款、減稅償還之計算依據而規定的建築壽命，稱固定資產耐用年數。

以上4種LC角度中，社會耐用年數通常最短，但卻是市場上建築物真正的拆除壽命，大部分建築物均難以使用到結構安全的物理耐用年數。綜合考量經濟發展與社會成熟等因素下，目前台灣以40年作為LCA的標準值，例如台灣的綠色建築評估體系中的綠化指標，即以40年CO₂固定量作為評估工具。

四.台灣建築物LCCO₂評估

建築物對於環境衝擊的LCA是綠色建築重要的一環，建築物之LC大致可分為①

建材生產運輸、②營建施工、③日常使用、④更新修繕、⑤拆除廢棄處理、⑥建材回收使用等6個階段。所謂建築物生命週期之CO₂排放量，係建築物由建材生產、營建運輸到建築物拆解、廢棄物處理等建築物LC各階段的總CO₂排放量，以LCCO₂稱之。

其中，由各類建築物日常耗能的CO₂排放量模擬評估結果，可發現辦公建築日常耗能的CO₂排放量佔40年LCCO₂之比例遠高於住宅，其原因乃在於辦公建築之耗能密度遠大於住宅之故，因此諸如飯店、醫院、百貨商場等更高耗能的建築物，其日常耗能CO₂排放比例顯然更高。由此可推論，在台灣這種熱濕氣候國家無論任何類型建築物日常耗能的CO₂排放，在LCCO₂佔絕大的比例，可見主宰建築LCCO₂減量之重點乃在於「日常節能」對策，其他針對建材生產、運輸、營建、修繕、更新、拆除、廢棄等方面的減量對策所能發揮的LCCO₂減量功效相對不高。

五.耐久化的建築物生命週期設計

增加建築物之耐久性有助於減少LCCO₂排放密度，若能提升建築之耐久性以延長建築物之LC，將是很重要的地球環保對策。然而，建築物實際的物理耐用年數受到①建築軀體、②內部裝修、③設備等三大部分耐用年數之影響。由於一般RC建築區體真正在結構安全之LC約為60年以上，約為其他二部分LC(約15年)之4倍以上，因此在建築區體之物理生命週期中必然經過多次更新修繕。然而，建築物常因多次更新修繕而導致嚴重損傷，因而縮短了實際的物理耐用年數。因此，若能設法使更新修繕對建築壽命的損傷降低，自然能有效延長建築物之LC。

所謂耐久化的建築物LC設計，不外乎採用耐久性(durability)、維修性(maintainability)、彈性(flexibility)等3項設計對策予以達成。第1項耐久性設計係單純地增加結構強度，屬相對容易處理的對策，亦是最有效的LCA設計。在日

本的LCA評估法中，認為倘若能將結構強度增加20%，同時增加樓高10%與設備空間20%，則可將原有30~40年之建築物壽命提升至百年。其他關於維修性與彈性之設計關鍵，在於水電設備之明管設計：將現行許多埋設於柱樑樓版內之管路明管化，可增加維修便利性、避免複雜的水電管路造成結構上的弱點，對於延長建築物壽命有相當大之助益。

六.熱濕氣候的綠色建築

綠色建築有一項重要的基本精神：「全球性思考與本土化行動(Think globally,Act locally)」。所謂「全球化思考」即前述的地球環保責任，「本土化行動」則指營建產業技術與建築文化特色。過去許多熱帶國家在學習西方近代化建築科學的過程，往往不顧自身的氣候風土而一味抄襲歐美寒帶氣候的建築造型，造成建築紋理混淆與都市風格錯亂，也造成嚴重的能源浪費。

例如，適合於歐美寒帶氣候的玻璃建築，被新興熱帶或亞熱帶國家認為是科技與文明的象徵，殊不知玻璃大樓是一種很不適合熱濕氣候的建築時尚，有違生態氣候原則。

基本上，玻璃是一種優良保溫材料，相當適合於寒帶氣候下作為保溫抗寒並兼具採光功能的外殼介面，原本只用於溫室建築的玻璃結構，逐漸廣泛被採用於一般公共建築，隨著營建技術的提升，在近代更發展出全面玻璃帷幕構造的形式。

玻璃建築不適用於熱帶氣候的主要原因，在於玻璃具有「溫室效應」。所謂「溫室效應」，係指玻璃因材料特性，可讓短波的日光穿透入室內，但穿入室內後熱量即轉化為長波幅射而不易消散至室外，使熱氣累積於室內造成溫度上升。特別是大面積透明開口的玻璃帷幕建築，會引進大量日射熱使空調耗電量暴增數倍。

此外，玻璃雖然是優良保溫建材，惟保溫能力終究無法與隔熱實牆比擬，因此玻

玻璃大樓即使適合於寒冷氣候，卻也較一般建築物更加耗能。因此，無論在寒帶或熱帶氣候下，玻璃建築在居住舒適及環保節能上，均是相當不利的型態。縱使近來玻璃在保溫、遮陽功能上均有突破性的改善，仍無法改變大面玻璃先天在耗能上之弱點。

為了避免上述玻璃建築造成能源浪費、室內環境惡化、空調設備量大增，甚至反光公害等嚴重的環保問題，台灣應專注於適合熱濕氣候的本土化綠色建築，屏除對玻璃建築的迷思，朝建築物「隔熱」、「遮陽」與「通風」設施作最合理、有效的組合，方能發揮最大節能功效。

因此，為配合我國亞熱帶長日照、多雨的氣候特性，建築設計應塑造「適中的開口」、「豐富的陰影」、「充分的通風」等建築特徵，即發展遮陽、雨庇及導風袖版等立面造型，善用迴廊、戶外遮雨玄關等建築語彙，呈現特有的「輕巧謙虛」、「陰影韻律」之建築風格。

七.建築物的日常節能

建築物的日常耗能，包括空調、照明、機電等三部分，通常以空調及照明用電佔最大比例，而本公司變電所機電設備之耗能，節約的空間有限，故針對空調及照明的節能設計功效較大。另外，空調及照明之耗能受到建築外殼影響甚鉅，因此，我國綠建築評估之「日常節能指標」即以建築外殼、空調及照明為三大評估對象。

根據過去調查研究指出，建築外殼設計之良窳，可使其空調耗能相差達4、5倍之多，同時在照明耗能上則至少尚有20~30%的節能空間，可見建築節能設計的功效十分廣大。另一方面，由於建築物的使用壽命長，其節能的累積效果遠勝於其他工業產品，因此，建築節能設計可說是國家能源節約政策重要的一環。

依據綠建築評估系統之「日常節能指標」要求，較現行「建築技術規則」之規範基準嚴格約百分之二十，除預防空調及照明設備系統的超量與低效率設計，對於晝光利用、太陽能利用等節能設計，亦設有優惠評估的辦法。此外，日常節能與水資源同為綠建築評估之2項門檻指標，本公司變電所屬公有建築物，依法須取得「候選綠建築證書」及「綠建築標章」，因此，若能依評估系統之日常節能指標要求從事設計，即能確實達成能源節約的目標。

八.水資源的有效利用

台灣年平均降雨量高達2,510mm，為世界平均雨量之3.5倍，但因人口密度高，使每人平均分配降雨量僅有4.4m³，不及世界平均值之六分之一，加以雨量分布不均、用水浪費、水資源利用效率不佳等因素，致常受缺水之苦。

台灣由於地形陡峭，河流湍急，平均有五成以上之降雨，未能被利用就直接流入海中，甚為可惜，若能廣泛設置雨水儲存利用及中水回收利用系統，可解除不少水荒的壓力。

水資源與日常節能同為綠建築之2項門檻指標，分為用水器材及大量耗水項目等二大部分進行評估。由於各類建築之用水型態複雜不易分類，因此難以採用用水量作為評估指標，而以省水器材(具省水標章產品)予以規範用水量。另一方面，針對大量耗水之建築案件，則要求設置裸露土地覆蓋、節水澆灌系統、雨水儲集利用或中水利用設施等彌補(mitigation)措施，其中尤以地被覆蓋以防止裸露土地的揚塵與水分蒸散，或設置微滴灌、噴霧器噴灌、自動偵濕澆灌等節水澆灌系統，係最有效的節水彌補設計。綠建築政策要求大量耗水之使用者須加倍付出彌補的代價，亦符合水資源利用之公平正義原則。本公司變電所設計亦廣泛採用前述手法通過水資源指標評估。

九.良好的通風採光計畫

良好的通風採光計畫是降低建築空調耗能的先決條件，是最自然、以柔克剛的建築節能手法，也是綠色建築最重要的氣候調節對策。

熱濕氣候是地球上亟需通風的地區，亦是風力通風潛力最佳的地區。探索世界的風土建築，可發現熱濕氣候的建築文化，大量採用迴廊、高架通風地板、百葉通風、高屋頂、浮力通風塔、多孔隙外殼、遮陽板、陽台、導風型開窗等建築元素，本次赴日本考察，亦發現其造型前衛之商辦大樓，普遍採用外掛遮陽百葉，除兼顧造型美觀外，同時達到遮陽、導風之功能，間接降低空調耗能，亦是反璞歸真的設計實例。

自然採光是無可取代的自然資產，更可創造獨特的空間氛圍，建築設計若能利用自然採光創造空間效果，輔以高效率的燈具、適當的照度、照明方式及開關控制等設計，當可達到節約用電、降低電氣設備投資及減少維修成本之目標。

日光與風力是取之不盡、用之不竭的再生能源，除上述採光與通風外，尚有風力發電及太陽能光電板等設計手法，若能有效加以利用，更對地球資源的節約具正面意義。

肆. 結論與建議

綠色建築及永續發展是當今建築思潮之主流，本公司近年推動輸變電計畫，配合城鄉用電需求於全國各地廣設屋內型變電所，於設計階段可積極導入下列具體手法：

- 一．建築輕量化，減少建材使用量；
- 二．平面、立面、剖面及跨距等合理的結構設計，減少不必要的造型變化、不合理的結構尺寸及不均勻對稱的平面設計；
- 三．採用回收再生率高及低廢棄物量的鋼結構建築；
- 四．高維修性的設計；
- 五．日常節能設計；
- 六．資源回收再利用；
- 七．善用再生能源。

現今地球資源日益匱乏，「綠建築」的環保思潮已不可遏抑，我國除於「建築技術規則」設專章規範，更推動公有建築物須取得「綠建築標章」，並落實審議及管理。本公司身為國內電業之龍頭，於建築設計若能積極落實上述綠色建築及CO₂減量之具體手法，風行草偃，當能帶動國內綠建築產業市場機制及環境益臻成熟，為地球環保帶來正面之效應。