

氣候變遷下 綠建材環境效率初探

江哲銘 國立成功大學建築系教授

賴光邦 國立成功大學建築系教授

謝婷婷 國立成功大學建築系



一、前言

地球永續問題已成為國際重視的議題，其關鍵原因在於全球氣候變遷，各地異常氣候與災害發生頻率倍增，日益惡化的環境污染、全球溫化以及災害浩劫不斷的在世界各地發生，以至全球各國莫不審慎以對，目前國際上有許多重要會議與政策，正是以「地球環境永續」及「人本居住健康」為目標發展，包括即將於2012年11月由南韓(The Republic of Korea)與卡達(The State of Qatar)共同舉辦的COP18世界氣候變遷會議(COP18 United Nations Climate Change Conference Copenhagen)，將以「綠色經濟」為主題，為促使地球永續發展與消除貧窮(green growth to sustainable development and poverty eradication)，這項議題亦為2012年6月在里約熱內盧舉行的Rio+20高峰會的討論關鍵，另外有日本年度政策「低碳社會的環境永續生態城市(Eco City)」及「Eco-Point」綠能集點計畫，提倡節能減碳綠產品，以及世界經濟論壇所提出的「減碳・能源效率改善・推動Cool Earth計畫」、歐盟提出「Green Idea」計畫…等，全球探討的議題已由消極保守的「環境保護」、「節省能源損耗」，轉變為積極因應的「永續循環」、「生態樂活」等層面，而台灣亦積極提出生態城市、綠建築、綠建材等相關環境因應對策，尤其綠建材即是營建環境之基礎因子，應用層面最為廣泛，且直接觸

及人本健康與地球永續的關鍵。

有鑑於地球氣候變遷及環境持續惡化警訊，「減碳」成了全民基本的生活義務，而「健康」就是全民基本的生存權利，因此降低「環境成本」、提高「環境效率」且營造「環境品質」，建構一健康、減碳、循環的生活環境，是目前營建環境積極努力的目標，而綠建材即是循環社會中重要的起點，扮演關鍵因子，因此了解綠建材環境效率(Eco-Efficiency)更是此一綠色趨勢急需探求的課題。

二、地球承載與永續行動

1. 全球氣候變遷與地球環境的動態變異

1970年代駐紮南極的研究團隊意外地發現臭氧層破洞，紫外線長驅直入大氣，1987年19國科學家展開南極臭氧層調查，此研究發現不僅增加皮膚癌發生的風險，更可能加速地球暖化，人類自工業革命以來即不斷產生二氧化碳，形成日漸加厚的溫室氣體層，導致地球幅射熱累積在大氣中，是故造成地球溫度不斷提升，影響層面擴及全球性的變異，包括各地異常氣候增加(美國的卡崔納颶風、巴西2004年首次出現的「熱帶氣旋」、各地熱浪及早災)、南極冰層溶化、海平面上升、低窪地區恐因海平面上升淹沒、水資源分布不均、糧食短缺、物種遷徙或滅絕、疫病傳播及流行等等。

1988年聯合國成立了跨政府氣候變遷小組IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)，開始深入氣候變遷議題，1997年世界各國擬定京都議定書《Kyoto Protocol》限制二氧化碳的排放量，減碳議題首次邁入全球公約管制，而此一波抗暖化趨勢中，美國前總統候選人Albert Gore, Jr.(高爾)的紀錄片《不願面對的真相An Inconvenient Truth》，將科學研究實據、全球氣候變遷災害、人類工業化活動所造成的地球傷害及對未來氣候變遷之推估，訴諸影像化、平民化，影響遍及社會各個層面，將溫室效應議題推到高峰，2007年高爾及IPCC同獲諾貝爾和平獎殊榮，可見其影響甚鉅。

2. 全球永續發展行動及綠色資源趨勢

聯合國於1992年通過「二十一世紀議程」



圖1 綠色資源-生態綠建材椰殼壁材(謝婷婷攝)



圖2 綠色資源-生態綠建材稻草飾材(謝婷婷攝)

(AGENDA21)做為全球推動永續發展的行動方案，並發表「里約宣言」，提出「全球思維，在地行動」的概念，呼籲各國共同行動追求人類永續發展。邁入21世紀後，全球有關於永續、環境、生態、健康方面的議題，越來越受重視，永續建築 (Sustainable Building) 及生態建築 (Ecological Building) 已是國際之間廣為探討的熱門話題。1987年聯合國第42屆大會提出「我們共同之未來」後，各國依序提出相關評估工具，其發展大致分為三個階段：即為省能環保、生態綠化，乃至舒適健康，各國從最先面臨之省能省資源出發，逐漸瞭解地球環境與人類息息相關，因而轉向生態綠化，最後回歸至人類生活基礎之舒適與健康，所以落實於人居環境及至生態社區、生態城市規模之議題日趨受到關注。

3. 台灣永續發展政策與綠建材推動

台灣為因應全球趨勢，於民國83年6月成立「行政院全球變遷政策指導小組」，其後為擴大永續發展行動，於民國86年8月擴大為「行政院國家永續發展委員會」，逐步將「永續發展行動計畫」落實於各部會執行，且在91年提出「挑戰2008：國家重點發展計畫」以建設台灣成為綠色矽島為基本理念，輔助綠色產業包含綠建築、綠建材等永續生態產業的提升，而綠建材的推動更是在「生態城市綠建築推動方案」之總目



圖3 因地制宜的綠建材(謝婷婷攝)

標：「因應全球暖化及都市熱島效應，積極推動生態城市及綠建築，以達國土永續建設目標」下進行，並以次目標第四點：「提升室內環境控制技術，建立綠建材市場機制，創造舒適健康與優質居住空間」為執行依據，且在實施方針中第七點：「廣續推動綠建材標章制度、加強綠建材標章國際交流評定基準國際接軌」持續辦理綠建材標章推動與國際接軌計畫執行。目前國家政策更進一步針對「智慧綠建築」的整合，以促進台灣環境的永續利用、發展智慧綠色產業科技升級與經濟活動產值提升，各部會戮力推行「智慧綠建築推動方案」，辦理智慧綠建築、綠建材等相關執行工作。

筆者研究團隊於90年至今協助內政部建築研究所建立台灣「綠建材標章制度」及協助評定核發工作，「綠建材標章制度」是依據國際標準ISO15686系列、ISO21930系列、ISO14040系列及歐盟提出整合建築性能(IBP)系統之概念，以建築材料生命週期(Life Cycle) 四個階段：資源採取、製造、使用、廢棄再生，訂定四大評定分類：生態、健康、高性能及再生綠建材，評定標準是依據台灣高溫高濕之亞熱帶氣候特性所訂，希冀藉由綠建材的評定把關，鼓舞產業運用優質創新綠色科技，以省能源、省資源、對人體健康無害方式，創造因地制宜的綠建材。



圖4 台灣綠建材標章

三、氣候變遷對應與永續行動接軌

1. 因應全球氣候變遷的動態變異

地球永續問題已成為目前國際上重視的議題，其關鍵原因在於地球資源有限，根據歐盟針對地球資源議題提出：石油、煤等地球資源屬非再生性資源，即地球固有資源之定存是有限的，但人類耗用量卻是與時遽增，且地球環境的污染及災害浩劫不斷的在世界各地發生，現今過度的工業化、都市化而大量排放溫室氣體，造成日益惡化的全球溫暖現象。

自1981年世界建築師大會中所提出「建築應進入環境建築學的時代」、1983年則在永續建築理念影響下，聯合國會議成立「世界環境與發展委員會」，至1987年「蒙特婁公約」中有關臭氧



圖5 生態綠小學-億載國小(謝婷婷攝)



圖6 生態綠廠區(謝婷婷攝)

(式 1)

$$\text{環境效率(Eco-Efficiency)} = \frac{\text{產品或服務的價值(Output)}}{\text{環境負荷 (Input)}}$$

(式 2)

$$\text{綠建材環境效率 (GBM Eco-Efficiency)} = \frac{\text{綠建材產品價值 (Qn)}}{\text{綠建材環境負荷 (Ln)}}$$

層被破壞問題、1988年聯合國成立了跨政府氣候變遷小組IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)，開始深入氣候變遷議題，1992年「里約宣言」中提出的「二十一世紀議程」，皆針對全球性環境課題進行討論與執行，世界各國於1997年擬定「京都議定書Kyoto Protocol」與2002年約翰尼斯堡召開的地球高峰會，無一不為下世代生活環境積極檢討，探討的議題亦由消極保守的「環境保護」、「節省能源損耗」，轉變為積極因應的「永續循環」、「生態樂活」等層面。

2. 接軌全球永續發展行動及綠色資源趨勢

目前國際上重要之綠建材標章、綠建築及永續建築等最新趨勢議題，皆是以環境健康品

質(IEH)為主要目標，包括「ISO 21931系列」(建築營建之永續發展)、「ISO 15686系列」(建築生命週期成本評估)及「ISO 16813系列」(建築環境設計)等三部分皆有顯著之健康室內環境(IEH)項目，而美國LEED-2008、ASHRAE 2008標準、日本CASBEE-2008及歐洲Sustainable Buildings等標準，皆考量了「健康」、「能源」及「經濟成本效益」等因子，並直接透過「綠建材」(GBM)建構優質室內環境。

國內綠建材標章的管制規範則依據國際間之建材評估制度作為參考依據。自德國率先於1977年提出藍天使標章後，25年來世界各國的建材與環保標章評估日臻完善。除藍天使標章外，目前世界上尚有許多綠建材相關標章如：芬蘭建材逸散等級、丹麥與挪威的室內氣候標章、德國環保與建材的評估標章、北歐環保標章、歐盟生態標章、美國綠建材評估制度、日本環保標章與住宅性能評估標準、加拿大環保標章、韓國環保標章、中國大陸的中國環境標誌與JIS、JAS國家標準對建材甲醛濃度之逸散量規定等，近年各國更是戮力減排及推動節能綠建材與碳足跡綠建材產品等綠色科技趨勢，尤其以日本於2009年起推行「Eco-Point」綠能集點購物補助計畫，大受全民好評，提升節能減碳綠產品銷售率，擴大內需，促使日圓升值又能減輕環境負荷，實是綠建材環境效率之落實。

3. 回應台灣永續發展政策的推動

我國綠建材與健康建築在「政策面整合與導向」中，足見政府重視全民健康議題，在經建會指導下，行政院跨部會分工，內政部建築研究所推動之「綠建材標章」推展應用至「綠建築標章」、「病態建築診斷與改善」、「室內環境品

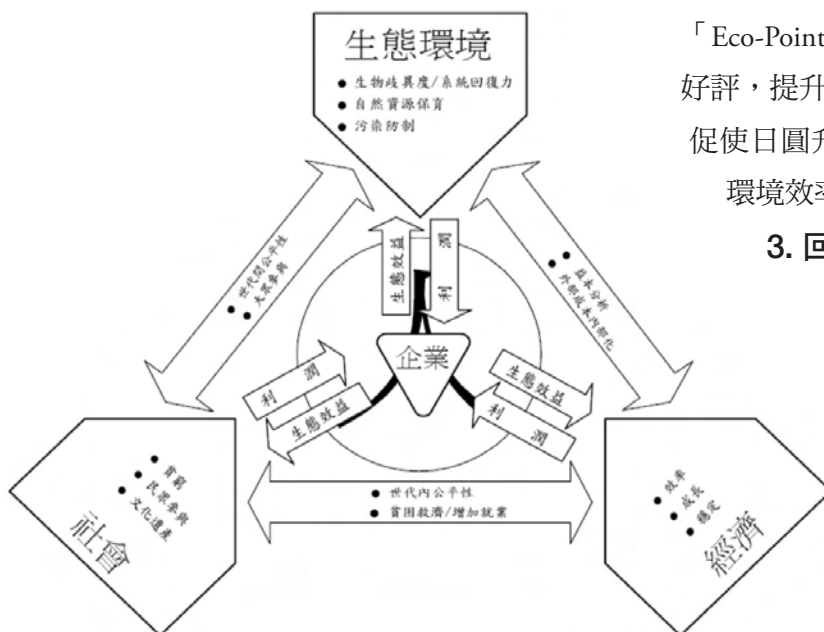


圖7 永續發展與環境效率(引自陳念平1999)

分類	國別	編碼	評估機制	生命週期 (Life Cycle – Cradle to Grave)					
				資源利用 Resource utilization	能源利用 Energy utilization	溫室氣體排放 Greenhouse gas emission	高性能表現 High-performance	環境友善 Eco-friendly	經濟性 Economic
國際永續評估體系	美國 U.S.A.	A	ISO GUIDE 64	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	美國 U.S.A.	B	LEED (Leadership in Energy and Environment Design)	◎			◎		
	國際	C	SBTool 2012 Sustainable Building Tool (iiSBE)			◎			
	英國 U.K.	D	BREEAM Building Research Establishment Environmental Assessment Method	◎		◎	◎		
	日本 Japan	E	CASBEE (Comprehensive Assessment System for Build Environment Efficiency)	◎				◎	
	瑞典 Sweden	F	EPD Environmental Product Declaration	◎	◎	◎	◎	◎	
	英國 U.K.	G	PAS2050 (BSI)			◎			
國際綠建材標章	德國 Germany	H	The Blue Angel (Eco-label with Brand Character)	◎			◎	◎	◎
	北歐 Nordic	I	Nordic Ecolabel (Nordic Ecolabelling Board)	◎		◎	◎	◎	
	歐盟 EU	J	EU-flower (The European Union Ecolabelling Board)	◎	◎		◎	◎	
	日本 Japan	K	ECO-Mark (Japan Environment Association)	◎		◎	◎	◎	◎
	美國 U.S.A.	L	GREEN SEAL	◎			◎	◎	
	台灣 Taiwan	M	TGBM (Taiwan Green Building Material)	◎	◎		◎		
綠建材 研究文獻	美國 U.S.A.	N	BEES Building for Environmental and Economic Sustainability		◎	◎	◎	◎	◎
	美國 U.S.A.	O	CSI (Construction Specifications Institute U.S.A)	◎	◎		◎	◎	◎
	美國 U.S.A.	P	CalRecycle (California Department of Resources Recycling and Recovery)	◎			◎	◎	

表1 國際綠建材相關評定機制彙整表

質」及「新建住宅評估制度」，同時營建署於建築技術規則修訂綠建材使用面積限制，提高綠建材使用比率；環保署進行室內空氣品質標準研擬及自主管理計畫，也推動公共場所IAQ管理計畫；衛生署推動醫療場所室內空氣品質改善；勞委會推動職場室內空氣污染預防與管理；教育部為了學童健康，也進行校園室內空氣品質自主管理與學童健康效應研究等相關部會同步整合綠建材及室內環境品質相關議題，協力推動良好生活環境與永續生態城市。

而內政部建築研究所從2004年推動之「綠建材標章」，延續至2012年5月已核發386件標章產品共4520種產品，並有效整合於「建築技術規則」、「綠建築標章」、「室內空氣品質管理」及「CNS國家標準」等法令制度，建築技術規則於98年7月1日開始實施「綠建材」等相關規定，其中在第321條規定「建築物之室內裝修材料及樓地板面材料應採用綠建材，其使用率應達室內裝修材料及樓地板面材料總面積百分之三十以上。」未來提升性能與效益評估，更可擴大應用於發展「生態社區及生態城市」之基礎。

現今先進國家對綠建材產品十分重視，綠建材產品也為推動生態城市與永續建築的重要元素，且尤以目前歐洲普遍推廣EPD(Environmental Product Declarations)環境產品宣告，由建材生命週期評估建材對環境之衝擊，以及全球性永續發展之脈動及各國對於綠建材的評定，皆是反映對綠建材產品的仰賴。

四、應用環境效率策略提昇綠建材應用效益

根據世界企業永續發展委員會(WBCSD)對於「環境效率」(Eco-Efficiency)定義取其經濟「Economic」與生態「Ecologic」之字首與效率「Efficiency」觀點，提出：「環境效率的達成，

須在提供價格具有競爭力的商品或服務，以滿足人們的需求、提高生活品質的同時，在商品或服務整個生命週期內，將其對環境的衝擊及天然資源的耗用，逐漸減少到地球能負荷的程度。」

「永續發展」是地球延續的必要條件，「健康舒適」則是生命延續的必要條件，而提高「建築價值」則是經濟發展的必要條件，三者之間的平衡點則是「效率的提升」，「效率」(Efficiency)是產業追求永續與健康的理想切入點，環境效率的達成，須在提供價格具有競爭力的商品或服務，以滿足人們的需求、提高生活品質的同時，在商品或服務整個生命週期內，將其對環境的衝擊及天然資源的耗用，逐漸減少到地球能負荷的程度。環境效率的觀念可以「效率」為出發點，並兼顧人類「健康」及地球「永續」發展的雙贏策略。

根據世界企業永續發展委員會(WBCSD)所提出之環境效率模式(式1)，提出生態、經濟與品質的效率關係，是為追求永續與健康的函數關係，若將此觀念延伸在綠建材研究領域，不僅可主動導引建材品質提升，更可以提早回饋修正，降低不良之環境負荷，減低對地球環境及人體健康的負面衝擊。

筆者以綠建材主題導入環境效率(Eco-Efficiency)方法論，且藉由國際上使用之「環境效率(Eco-Efficiency)評估工具」，針對「綠建材應用」之項目，以「綠建材環境負荷」及「綠建材產品價值」評估方式，建立「綠建材環境效率模式」(式2):

經由彙整國際永續評估體系、國際綠建材標章及相關建材評定機制之整合，以ISO14040系列生命週期評估(LCA)為軸向，並導入Cradle to Grave(從搖籃到墳墓)觀念為歸納原則，詳如國際綠建材相關評定機制彙整表(表1):

經由國際綠建材相關評定機制彙整表(表

環境效率 面相	評估指標	評估因子	評估細項						
氣候變遷下綠建材環境效率評估系統	環境負荷 L _s	資源利用 Resource Utilization	R-1 生態性材料	<ul style="list-style-type: none"> · 無匱乏危機 · 當地材料 · 使用自然資源 · 低人工處理 					
			R-2 再生性材料	<ul style="list-style-type: none"> · 使用再生材料(再生成份、回收材料來源) · 減少不可再生資源的使用 · 提高元件和材料的再利用性 					
			R-3 永續性材料	<ul style="list-style-type: none"> · 永續材料認證 					
			R-4 有害物質含量限制	<ul style="list-style-type: none"> · 避免含污染物的材料 · 低毒害處理(使用不含有害物質的材料) 					
		能源利用 Energy Utilization	E-1 自然再生能源運用	<ul style="list-style-type: none"> · 提高自然再生能源使用(太陽能、風能、潮汐能、能源) 					
			E-2 不可再生能源運用	<ul style="list-style-type: none"> · 減少不可再生能源使用(石油、煤炭、鋁) 					
			E-3 能源效率	<ul style="list-style-type: none"> · 提高能源利用效率 · 低耗能 					
			E-4 能量回收	<ul style="list-style-type: none"> · 能量回收 					
		溫室氣體排放 Greenhouse Gas Emission	G-1 建材之溫室氣體排放量	<ul style="list-style-type: none"> · 原料階段之溫室氣體排放量 · 製程階段之溫室氣體排放量 · 配送銷售階段之溫室氣體排放量 · 使用階段之溫室氣體排放量 · 最終丟棄階段之溫室氣體排放量 					
				環境友善 Eco-Friendly	F-1 廢棄物處置	<ul style="list-style-type: none"> · 有害廢棄物處置(酸性物質排放、危險廢物、放射性廢物、有害氣體排放、二氧化鈦、有機溶劑...) · 廢棄物減量或再利用(含包裝材料) · 潛在的環境影響(臭氧層破壞物質、棲息地破壞、臭氧損耗量、生物性毒性物質、優氧化、刺激環境和環境有害成分、粉塵量、降低噪音量...) 			
					高性能表現 High-Performance	H-1 材料高性能－提升建材性能之因子	<ul style="list-style-type: none"> · 增進室內、外音環境品質之建材性能 · 增進室內、外光環境品質之建材性能 · 增進室內、外熱環境品質之建材性能 · 增進室內、外水環境品質之建材性能 · 增進室內空氣環境品質之建材性能 · 依建材特性，提升該建材性能之因子(低健康危害風險、耐久性、耐磨性、抗壓性、抗彎性...) 		
							經濟性 Economic	V-1 建材價值	<ul style="list-style-type: none"> · 經濟效益(成本、利潤...) · 機能性(產品輕量化、高效率運輸、磨耗及維修、產品升級或改善的可能性) · 顧客滿意度

圖8 氣候變遷下綠建材環境效率評估系統(初探)

1)，相關國際永續評估體系、國際綠建材標章及相關建材評定機制所提及之眾多綠建材評估細項歸納整併，彙整成12項評估因子，並進一步歸納為6大項評估指標分別為：1.綠建材環境負荷(Ln)面向因子為：資源利用(Resource Utilization)、能源利用(Energy Utilization)、溫室氣體排放(Greenhouse Gas Emission)、環境友善(Eco-Friendly)，2.綠建材價值(Qn)面向因子為：高性能表現(High-Performance)、經濟性(Economic)，初步構成「氣候變遷下綠建材環境效率評估系統」(圖7)。

五、結論

目前國內環境政策是以節能減碳兼顧環境保護、經濟發展與樂活幸福為期許，並以建構智慧綠科技為目標，著重：「國土復育，永續台灣」、「節能減碳，邁向零碳城市」、「減碳基金，綠能產業」、「綠色路網，低碳運輸」、「綠色設計，產業永續」、「零廢棄，循環社會」，由節能減碳、健康循環的環境議題著手，這除了對於健康建築環境的提升，更提到「建構

永續循環型城市及低碳社會」，不僅回應了智慧型「人本健康、地球永續」精神，更兼顧產業經濟面成長，所以台灣綠建材制度跟上國際的先進趨勢，全力推動「減碳」義務，與落實「健康」權利，因此探討綠建材應用的環境效率(Eco-Efficiency)議題不僅可主動導引建材品質提升，更可以提早回饋修正，降低不良之環境負荷，減低對地球環境及人體健康的負面衝擊，除回應台灣「智慧綠建築」推動之方針，更可落實政策推動之實質效益。



圖10 智慧綠建築推動-智慧型環境效率(謝婷婷攝)



圖9 氣候變遷下因地制宜的綠建材環境效率(謝婷婷攝)