



低碳，對預拌混凝土業發展的思考

楊志強 / 國產建材實業股份有限公司 副總經理

隨著世界工業經濟的發展、人口的劇增、人類慾望的無限上升和生產生活方式的毫無節制，世界氣候面臨越來越嚴重的問題，二氧化碳排放量愈來愈大致使地球臭氧層破壞，全球極端性、災難性氣候變化屢屢出現，已經嚴重危害到人類的生存環境和健康安全。

台灣溫室氣體排放總量占全世界第 21 位^[1]，社會科技的發展與節能減碳的矛盾，是當前不容回避的關鍵問題。

混凝土的使用已有一百多年歷史，是目前最大宗的建築材料，且仍將是未來可見 100 年內主要的建築材料，但傳統的混凝土材料對人居環境有諸多負面影響，2018 年台灣混凝土使用量約為 3,973 萬立方米，這其中約需水泥 1,430 萬噸、粒料 7 千萬噸之資源，巨大的能源消耗使得環境問題日益突出；因此，積極地開發利用綠混凝土；最大限度地綜合利用自然資源和能源、降低能耗和物耗、減少對環境的負面效應，對於混凝土的未來發展具有至關重要的意義。

建築節能，首要必需材料低碳

根據資料顯示，全球房地產建築業的能耗占全球總能耗的 32%^[2]；而高達 90% 以上的已有建物都是高耗能建築^[2]。臺灣 2018 年核發建築物建造執照樓地板面積統計達 184 萬平方公尺，倘若可以提高建築能效，其將可以減少數萬噸的二氧化碳排放。目前全球關注的低碳話題，對台灣營建產業的影響極為深遠；欣慰的是，國內公部門已有共識，並有積極的行動作為回應低碳號召，為生態環保、節能減碳貢獻心力。一切跡象顯示，低碳建築（綠建築）已逐漸成為國際建築界的主流趨勢。

低碳建築（綠建築）對採用新建材、新工藝、新技術的要求更高。目前從國內角度觀之範圍來看，低碳建築（綠建築）仍然只處於初期發展階段，從國內來講，也只是一個概念和試驗階段，純粹理論意義上的低碳建築（綠建築）可說少之又少。世界各國儘管有低碳理念上的建築，但也只是反映在建築的某一部分或一些設施，對整體建築而言，或許未必稱得上是

真正的低碳建築（綠建築）；惟讓人可喜的是，目前已經有不少建築開始部分地採用低碳理念設計、施工，隨著新技術和經濟的發展，低碳建築（綠建築）必將強有力地推進建築節能。

低碳混凝土的『綠色』意涵

建造低碳建築，首要必須使用節能、低碳的建築材料，這樣才能真正達到建築節目的目的，才能符合低碳的要求。

在現代建築中，混凝土是用量最大且十分重要的材料之一，如何使混凝土成為低碳的綠色材料，目前國內產、官、學、研仍未有統一的共識，但一般說來，綠混凝土應具有比傳統混凝土更優化的再生性資源循環使用及有害物質的最低排放，其既能減少環境污染，又能與自然生態系統協調共生。「綠」的涵義應可解釋為節約資源與能耗、不破壞環境且更有利於環境可持續的發展，既滿足使用者的需求，又不危害自然生態。

混凝土作為現代建築的主材料，若考慮其須為減碳貢獻，首當其衝即是考慮由預拌混凝土生產供應廠著手進行，由於預拌混凝土使用專用機具與專業人員操作，其具有獨特的集中攪拌、良好的計量控制、先進的拌合流程與現代化的檢測手段等，都能保證預拌混凝土有理由、有能力實現低碳作為。

然而，影響預拌混凝土發揮『綠色』內含的層面很多，但總體歸納，欲將混凝土設計成為「綠色」產品，筆者認為應該從『發揮材料特性』、『陳舊規範修正』、『提升耐久性』、『綜合經濟考量』、『合理施工』與『正確使用』這幾個方面綜合考量，分述如下：

充分發揮材料特性

以自充填混凝土為例，自充填混凝土的材料特性主要是由工作性所控制，為了符合流動性、黏滯性、充填性的需求，故而所使用之膠結材料勢必須達一定用量以上方可符合。一般而言，自充填混凝土為了符合工作性能之要求，所使用之膠結材料用量反應在混凝土抗壓強度的表現皆可達 6,000psi 以上。然而，對於混凝土材料未深入瞭解的使用者，為了迎合現行使用最廣泛的 3,000 psi ~ 4,000 psi 抗壓強度之混凝土需求，硬是將自充填混凝土原本即可發揮的抗壓強度表現，透過各種手段迫使其抗壓強度縮限於一定範圍之內。原來是一項高抗壓強度之材料，在進行結構設計時，即可因此而縮小結構斷面增加使用空間、減輕混凝土自重、增加整體結構工程之勁度，但是卻因為使用者未明瞭材料特性，使得其在結構設計時仍是將之視為高流動性能的一般抗壓強度（3,000 psi ~ 4,000 psi）混凝土，從而迫使預拌混凝土材料供應商為了迎合中低抗壓強度的需求，必須透過各種方式壓抑 SCC 的正常強度發展。在 2000 ~ 2006 年時「中、低強度自充填混凝土」的配比設計、學術論文、使用實績等如雨後春筍般崛起，即是因其對材料的使用需求與特性未能充分瞭解，導致積非成是的觀念與做法。

將原本可發揮的材料特性予以「封印」並限制發展，雖然令人匪夷所思，卻仍然有許多使用及設計單位仍奉為圭臬，這樣的衝突皆是因為對於材料的特性認識不足所引起，在政府推行「節能減碳」的今日，讓材料充分發揮其應有的特性，並藉此節約材料的浪費，這才是綠色混凝土的初衷。

規範標準的與時俱進

混凝土設計應考慮不同的用途，從而於設計時有所偏重。現在混凝土大多作為受壓材料使用，故而應充分考慮其受壓性能；此外還有很多特殊用途的混凝土，在設計時更應注意其適用性，根據其功能要求有所側重，如無細粒料混凝土其功能主要是作為透水使用，我們其實不需一味追求多功能的混凝土，如此將造成材料的浪費。

再者，現行規範中，許多內容仍未能跟隨混凝土的產製能力與時俱進，材料規範仍維持 10 年前之水準，卻未能適時的修正。公部門在高喊「節能減碳」的同時，實應深切的檢討規範的可行性是否符合環保及現行使用之訴求，實在不需再墨守成規，以過去的觀念套用於現行的施工做法。例如『公共工程施工綱要規範』為工程單位使用最廣之引據來源，其 03050 章 V11.0「混凝土基本材料及施工一般要求」內容所述（2.1.1），3,000psi 最大水膠比為 0.59、4,000 psi 最大水膠比為 0.45，雖然內容述明「本表僅供配比設計參考，實際材料用量仍應以配比設計結果為準」，然多數工程人員未必能瞭解混凝土各項材料特性，更遑論混凝土配比設計基礎，再加上目前預拌混凝土廠的拌合機械效能已非昔日重力式拌合機可比擬，混凝土材料專業從業人員皆知，以目前的混凝土拌製技術普遍而論，水膠比為 0.55 ~ 0.65 拌製 3,000 psi ~ 4,000 psi 抗壓強度之混凝土實是輕而易舉之事；若依公共工程施工綱要規範限定之水膠比 0.59、0.48 拌製為 3,000 psi、4,000 psi 之混凝土，實在是材料上的浪費。

現行規範的適用性是否須再申論檢討，實有賴產、官、學界的工程先進共同研議，如此所得之「綠色」效益，將是最直接的回饋，其效益甚為可觀。

混凝土工程一條龍作業、提昇混凝土的品質與耐久性

將建設工程壽命從 10 年提高到 20 年、100 年以上，其必將按比例節約能源，並減少污染的排放。這種減少是成倍的，因此提高建設工程的壽命應該是節能減碳必須重視的重要環節。

混凝土工程因其工程量浩大，將會因耐久性不足對未來社會造成極為沉重的負擔，提高混凝土的耐久性顯得越來越重要。現在混凝土的一個發展方向是高性能混

凝土，而其基本的特點是耐久性，但是提高混凝土耐久性並不意味著混凝土的材料成本一定會增加。在多所應用工業副產品之高爐爐石、飛灰合理使用，以取代部分的水泥，如此不但可以「減廢」，且由於混凝土後期強度的提升、耐久性增加、降低混凝土材料之成本造價，還可以相應的「節能」，故合理適當的卜作嵐材料使用，將是未來「綠色」混凝土的一項基調主軸。

自從 921 之後，混凝土材料的生產及品管措施備受社會各界關注，故而漸漸的衍生許多第三公正單位進行預拌混凝土材料供應商的品管驗證作業，如台灣營建研究院所推出的 GRMC 認證「優」標章，以驗證預拌混凝土生產工廠的品質管制，再加上營造單位及業主不定時的驗廠及認證（二、三級品管），故具有品牌形象及合法作業的預拌混凝土材料供應商，其品質應都可符合設計需求，但這一切僅止於「混凝土材料」本身。

現行混凝土工程上仍以「泵送」作為主要的澆置措施，根據營建署頒布之「預拌混凝土工程專業營造業」所述，其業務範圍包括：「預拌混凝土之泵送、澆置、搗實工程」，意即混凝土材料的生產品質管控與後續的養護工項未含及於「預拌混凝土工程專業營造業」的業務內容，一般學界與業界也多未對該部分工作內容及管制有較多之著墨，致使「泵送」混凝土的過程中動輒加水，使得澆鑄於結構的混凝土品質已與預拌車洩料的混凝土材料有相當之歧異，再加上營造單位或許未必進行混凝土養護工項，重重的不利因素疊加，將使得最終的結構品質讓人存疑！

「權力」與「責任」是不可劃分的，想要擁有權力則必須對其職權範圍內的事情負責。然而「預拌混凝土工程專業營造業」僅需 2 百萬資本額即可申請成立營運，而且以目前的工程生態而言，其甚至有替代工地營造監工人員對預拌混凝土廠所生產之產品品質進行「品管」作業（預拌廠生產之混凝土坍度雖可符合工程合約內容，但仍嫌坍度過低而拒絕施工或自行加水）。常想擁有權力，但又不肯對其職掌內的事情負責，以至於國內工程界到處可見有權無責之情形。

現行混凝土工程生態為混凝土生產及施工是由兩家不同的企業共同完成的，一旦混凝土品質發生問題，容易造成生產單位及施工單位相互推諉，不易確切界定事故的主要責任者。要徹底解決這些環節可能產生的問題，建議是將混凝土工程（生產、運輸、泵送、澆製、搗實、養護）從營建工程中切割剝離，將

現行由預拌混凝土廠生產運輸、營建施工單位泵送養護，雙方共同完成的混凝土工程運行模式，簡化為混凝土工程全程由預拌混凝土生產單位負責完成的一元化作業。如此不僅能釐清預拌混凝土運行模式中的職責關係，且將有助於混凝土品質及耐久性的提升，解決混凝土工程的長久沉痾。

綜合考量混凝土各項經濟指標

政府、學界大力鼓吹使用「再生粒料」於混凝土之中，期以營建廢棄物回收作為再生混凝土用粒料，解決國內天然砂石料源之短缺，達到環保和資源再利用之功能。甚至欲以添加再生粒料於混凝土中之比例，來作為評論預拌混凝土供應商是否具有「綠」性質之指標。其立意雖良善，但是回歸事件的本質，營建廢棄物的清理與再利用，本應是有一套嚴謹的處理機制，若是強加要求營建廢棄物一定須應用於混凝土之中，變成營建廢棄物的處理是預拌混凝土供應商的責任，卻未必是社會之福、國家之利。

應用「再生粒料」於混凝土中時，若欲達成與天然粒料相同的混凝土品質，則須於「再生粒料」材料的選擇與配比設計的研製同時進行慎選，水泥材料的使用比例或許需較一般使用天然粒料的普通混凝土為高，如此相較之下，產製成本是否有達至「經濟」的要求，是需要再行精算討論。而若使用「再生粒料」於混凝土中，配比設計未有對應之調整時，雖然產製成本較為「經濟」，然最終之混能土品質是否可符合需求卻是仍待商榷！

目前台灣非法之預拌混凝土廠眾多，再加上預拌混凝土的利潤被極度的壓縮，在一片紅海之中，若是政府再大力鼓吹「再生粒料」的使用，部份不肖業者因為生存的壓力，檯面上雖說仍是遵守國家要求之規範，檯面下的生產品質或許未必盡然，「再生粒料」的品質與添加比例若淪為無人確切的監控與管理，如此的工程品質也不必再說了，縱使材料能夠「節能減碳」，也並非當初設計的初衷！

經濟性是混凝土的一項綜合性指標，在滿足前三者的前提下，設計時應考慮與混凝土有關的各項經濟指標，除了考慮材料本身價格，還應一併考慮到施工的附加成本及潛在的經濟因素（如對環境的影響等），如此精算後方能取決混凝土的使用材料與配比設計，若未通盤考量，而僅欲達某一目標卻忽略了其他的產出成本，未必符合「綠色」混凝土之內涵。

綠色施工

施工階段既是規劃、設計的實現過程，又是大規模改變自然生態環境、消耗自然能源的過程，因此對這一過程進行控制和管理，倡導以節約能源、降低消耗、減少污染的產生量和排放量為基本宗旨，對於推行土木、建築的可持續發展策略，推廣綠色施工有著不可忽視的作用。

混凝土的綠色不光是指其材料本身，實際上混凝土施工中的一些問題對混凝土材料強度的發展、能耗的降低、減少混凝土施工附屬的浪費等有著直接的影響。如採用自充填混凝土可以省掉混凝土的振搗，從而減少污染、減少能耗和勞動力的投入；又如混凝土的養護，雖然簡單，但卻是一個很重要的技術環節，除了灑水或滯水養護外，我們是否考慮節水問題，是否考慮除了用水養護以外的其它更好的養護方法，在有些臨時用水、水壓不高的高層建築混凝土養護之處，我們採用養護液養護，但我們是否能進一步研究保證混凝土強度等其它性能符合設計要求，而又可自行養護的混凝土？

由於受到工期的限制，施工進度過快（7天、5天、甚至3天一個建築樓層）卻又忽略了對混凝土施以正確的養護作業，這對混凝土的耐久性發展是極為不利的，業主通常未認識到耐久性問題及其對使用壽命的長期影響，因此不願為增加耐久性付出更多的代價。根據相關資料統計，一般耐久性的問題總是出現在建築物完工後的10年中，其中60%出現在完工後的3年之內^[3]。為此建議應對設計、監造、施工者規定法定的責任保固期，這種負有經濟責任的法律規定可能是保證耐久性的最重要的制度保障。

綠色的使用

建築物也是一個產品，對於這個產品的使用，我們也應該像其他的產品一樣提醒使用者注意產品的使用事項；然在現實的情況下，混凝土結構不正常使用的情況比比皆是，如加蓋超載、牆面開槽鑿洞或外推、改變使用功能等等，而使用者往往卻忽略了採取相應的結構補強措施，以確保結構物的結構行為可符合設計所需。

混凝土結構建築物（包括土木結構）交付使用時，也應該有產品使用說明書，用通俗易懂的語言或文字告訴用戶使用時應注意的事項、如何正確使用、如何

保護或加強，以及出現哪些問題屬於正常（如牆面粉飾的砂漿發生乾燥收縮裂紋）、一般問題該如何處理；出現哪類問題時要撤離報警等等。只有這樣，才會引起社會對自己生活空間的關注與重視，才會「善待」材料和與之形成的結構，提高建築物的耐久性，減少不必要的生命財產安全事故。

創造永續經濟

研究綠色混凝土材料和技術無疑是今後混凝土發展的趨勢。綠色混凝土不僅僅是一種材料、一項技術或一個法規，它應是一個完整的體系，從原材料、生產、設計、施工、使用，一直到建築物的解體和再利用，從各項過程的角度研究混凝土材料生產和使用過程中，資源與能源的合理化利用，以實現「節能、減廢、再利用」的持續發展。

當前在大環境尚處於逐步推動改善的情況下，對實施綠色混凝土應有足夠的耐心，過分強調綠色混凝土，可能會有些曲高和寡，惟有創造「環境保護、節能減碳」的社會氛圍，並使各項相應措施逐步的推向軌道才是正確的做法，強推是難以奏效的。當前應該重於宣導，更應該給予較明顯的政策性扶持推動。空洞的、口惠的做法是徒勞無功的，當前需要釐清的問題是，推行綠色混凝土是否會增加即期成本？增加多少？如果增加成本推高了本已備受責難的房價，會不會影響大眾的使用意願？如果這些較為切實的問題不加以解決，只是單純的強調綠色混凝土對環境的長遠好處，很可能在市場上受阻，最後反而使永續的概念蒙受非難。

針對國際能源價格持續攀升與當今台灣資源匱乏之下，為促進台灣產業升級及創造永續經濟，其實應更加速「綠混凝土」永續行動策略的發展。鼓勵產業升級創新、提昇產業競爭力、修正不當產業制度規範、創造永續經濟與環境保護、落實污染者付費原則等，儘速將具有共識的結論轉化為具體行動，透過產、官、學、研、民等各界共同合作，一一落實，才有可能使台灣在同時落實環境保護下，朝向永續經濟的發展。

參考文獻

1. 環保署，『2018年中華民國國家溫室氣體清冊報告』，<http://bit.ly/2m7LZVR>
2. 中國建築節能協會，『中國建築能耗研究報告』，<http://bit.ly/2IKWBJO>
3. 內政部建築研究所，『提升建築物長期品質與機能推動架構之初步研究』，<http://bit.ly/2m7RSCr> 