

新世代工程人才培育

■ 文／呂良正・國立臺灣大學土木工程學系教授、中華工程教育學會秘書長兼認證委員會執行長

《未來在等待的人才》(A Whole New Mind: Why Right Brainers Will Rule the Future) 一書闡述未來的人才除了專業能力外，還要能具備六項感性力量，才能勝出。

書中主旨如下：不只有功能，還重設計；不只論點，還說故事；不只談專業，還須整合；不只講邏輯，還給關懷；不只能正經，還會玩樂；不只顧賺錢，還重意義。過去我們強調功能、論點、專業、邏輯、正經、賺錢；但未來的人才除了這些，若要有競爭力，尚需具備這六項感性的力量：有設計能力、會說故事、有整合能力、有關懷的心、懂得玩樂、做有意義的事。

畢業生核心能力

美國土木工程師學會(American Society of Civil Engineers, ASCE)提出土木工程師應具備的15項能力，分別是設計(Design)、永續(Sustainability)、當代及歷史議題(Contemporary & Historic Issues)、風險及不確定性(Risk & Uncertainty)、專案管理(Project Management)、技術規範(Technical Specification)、溝通能力(Communication)、公共政策(Public Policy)、商業及公共行政(Business & Public Administration)、全球化

(Globalization)、領導能力(Leadership)、團隊合作(Teamwork)、態度(Attitudes)、終身學習(Lifelong Learning)、專業及倫理責任(Professional & Ethical Responsibility)。

若放大來看，整個工程及技術相關的教育及職業能力，一定需要知道的是國際工程聯盟(International Engineering Alliance, IEA)所制定的能力。IEA底下涵蓋三個工程技術教育協定(華盛頓協定、雪梨協定、都柏林協定)及四個工程師及技術人員相關協定(亞太工程師協定、國際工程師協定、國際工程技術士協定、國際工程技術員協定)。教育協定中明訂有12項畢業生核心能力(Graduate Attributes)，包括：運用工程知識(Using Engineering Knowledge)、問題分析(Problem Analysis)、設計與產生解決方案(Design/Development of Solutions)、調查(Investigations)、現代工具的使用(Modern Tool Usage)、工程師與社會(the Engineer and Society)、環境與永續(Environment and Sustainability)、專業倫理(Ethics)、獨立工作與團隊合作(Individual and Teamwork)、溝通能力(Communication)、計畫管理與財務(Project/Engineering Management)、終身學習(Life Long Learning)。

而工程師及技術人員協定有13項職業技能

(Professional Competencies)，基本上可包含於ASCE的15項能力中；當然每個領域會有不同於其他領域的特殊性，例如當代及歷史議題、公共政策、商業及公共行政是土木領域比較特殊的。

核心能力與認證的關係

提到畢業生核心能力，就必須了解十多年來國內教育認證的情況。目前國內工程、技術、資訊、建築及設計相關領域的大專校院系，多數已經接受中華工程教育學會 (IEET) 的認證，以工程領域為例，目前認證比例高達80%。IEET創立於2003年，已是多項國際協定的會員，包括華盛頓協定 (Washington Accord) (工程教育認證)、雪梨協定 (Sydney Accord) (技術教育認證)、首爾協定 (Seoul Accord) (資訊教育認證)，同時也是坎培拉協定 (Canberra Accord) (建築教育認證) 準會員。學系通過IEET認證，其畢業生學歷可以為協定會員國所承認，增加畢業生國際移動力。華盛頓協定目前有19個會員國，雪梨協定10個，首爾協定8個，坎培拉協定7個；因此國際移動更顯重要。

認證與學生能力的培育關係為何？認證是依據規範，以工程教育認證為例，其中最重要的「規範3」即要求學生畢業當下應具備的核心能力，包括：(1)運用數學、科學及工程知識的能力；(2)設計與執行實驗，以及分析與解釋資料的能力；(3)執行工程實務所需技術、技巧及使用現代工具的能力；(4)設計工程系統、元件或製程的能力；(5)專案管理 (含經費規劃)、有效溝通、領域整合與團隊合作的能力；(6)發掘、分析、應用研究成果及因應複雜且整合性工程問題的能力；(7)認識時事議題，了解工程技術對環境、社會及全球的影響，並培養持續學習的習慣與能力；(8)理解及應用專業倫理，認知社會責任及尊重多元觀

點。

上述八項核心能力是參照IEA12項畢業生核心能力訂定，濃縮成項目少一點，在評量上比較容易執行。受到認證的影響，國際上對於教學的成效評量，已都走向學生成果導向，也就是藉由課程培育學生核心能力，並搭配一套評量方法了解達成度，最後反饋於課程持續改進。

由於許多核心能力的培育並不是過去傳統課程可以達到的，經驗顯示許多感性或是軟實力相關的核心能力，透過實作課程 (Hands-on Courses) 來培育更為有效。正因如此，筆者於2010年2月起擔任國立臺灣大學土木工程學系系主任的六年半期間，在系上老師共同努力下，設計了一系列的實作課程，八年來的確看到成效，本文分享此一經驗。

實作課程三部曲

實作課程首部曲稱為「奠基石」(Cornerstone)，是大一(上)必修的「土木工程概念設計」及大一(下)必修的「土木工程基本實作」；二部曲稱為「核心石」(Keystone)，是大二(下)必修的「結構與流力實驗」；三部曲為「總整性課程」(Capstone)，是大三、大四的「土木工程設計實務課程」。以上實作課程三部曲同步在2010年啟動。對設計領域如建築系來說，由大到畢業連貫的實作(設計)課程是很常見的，工程領域則少有這樣漸進式的實作課程。

首部曲：Cornerstone

主要是讓大一學生認識土木並激發學習興趣。大一(上)的「土木工程概念設計」透過土木案例介紹，了解工程師所扮演的角色以及面對的問題，藉此訓練學生解決問題的能力，再由學生分組討論一個事先擬定之議題，於課程中當場畫圖

並上臺報告，接著由授課老師邀請與談人進行評論與專題演講。此課程的另一重點是學期海報設計，學生分組合作，有專屬的Studio實作空間。

大一（下）的「土木工程基本實作」是第二門Cornerstone，透過分組合作，從動手製作模型、實驗室載重試驗到最後的競賽，可以激發出學生的學習潛能，進而提高學習興趣。每年授課老師也會改變基本實作的內容，近幾年如阻尼器結構模型製作與振動台試驗、開合橋設計及遙控小汽車控制設計、具控制開合功能的巨蛋設計等。

二部曲：Keystone

臺大土木系自100學年度開始，將「結構及流力實驗」課程在同一學期進行，稱之為Keystone。由於規模大、耗時多，先以一班試行，前半學期是做一個木橋設計，後半學期為氣動力浮體設計。2017年，為使橋作品能展示於校園供遊客體驗，改以鋼結構搭配木片，常見遊客行走其上或坐著聊天，效果非常好。

三部曲：Capstone

透過總整性課程驗證學生學習成果已成為國際趨勢，特別是各國工程教育認證機構近年來都紛紛將總整性課程納入認證規範，例如IEET2014年版的規範，即已納入總整性課程的規定。

● 透過課程檢證核心能力

Capstone不同於其他實作課程，必須具備整合性質，讓學生有機會運用及整合過去所學，解決一個接近實際的工程問題，老師藉此了解學生知識、技術和態度等核心能力之具備程度，透過適當之評量，將結果反饋到課程改善。因此，Capstone課程最重要的是能對應到系上所訂多數的畢業生核心能力，若僅對應到少數的核心能力，不能被視為Capstone課程。透過這個課程檢

視和佐證畢業生該有的核心能力，尤其是解決問題（彰顯執行設計）的能力。此外，也可檢視和佐證學生的團隊合作、領域整合（和不同專長或領域人士合作）、有效溝通和專案管理等能力。

筆者曾於2012年代表華盛頓協定審查韓國認證機構「韓國工程教育認證委員會」（Accreditation Board for Engineering Education of Korea, ABEEK）的認證過程，ABEEK對於實作課程要求很明確，認證學程必須有12學分的設計或實作課程，在Capstone課程之外也要求基本實作或設計，這點與臺大土木系的三部曲精神相同。ABEEK的認證委員常就Capstone內容和學系深入討論詢問並仔細檢視學生作品。

而加拿大認證機構「加拿大工程認證委員會」（Canadian Engineering Accreditation Board, CEAB）要求設計學分要有相當於臺灣的12學分，且Capstone至少占半數，相當於二門課。今（2018）年1月，筆者以亞太工程師協定（APEC Engineer Agreement）審查團主席身分，到秘魯利馬審查秘魯工程師學會（Colegio de Ingenieros del Perú, CIP）加入亞太工程師協定的入會申請，了解到秘魯大學工程教育最後一年幾乎都是讓學生花在Capstone課程上。

● 題目多元，學生回饋好

2010年，土木系開始啟動Capstone，希望結合老師的研究專長及業界工程師的經驗，擬定案例，讓學生解決問題。課程修習的對象以大三、大四學生為目標，學生分組進行專案研究，其角色相當於顧問公司承攬一個規劃設計案。

此課程的名稱為「土木工程設計實務」，每學期的上課內容會於前一學期期末公布，讓有興趣的學生組隊修課。為規劃及執行此門課，系上必須提供充分資源，授課老師與顧問公司工程師並針對相關主題，提供課程講授、研究指導、電腦

模擬與各種軟硬體支援及各種相關技術文件與資料。最後學生成果除以海報展示外，另須完成期末報告，類似服務建議書，當然，過程中的口頭進度報告與期末成果簡報都是不可或缺的。

總計八年來，Capstone陸續推出約30個主題，包括：臺大人文大樓規劃設計檢討、土木系學會交誼空間改造計畫、荖濃溪洪水監測與緊急撤離之便橋設計、石門水庫壩體的安全評估與災害的應對方案、國民運動中心規劃設計與委外經營等，近幾年平均一年5個。土木領域廣，題目多元，會讓學生選擇性多，學生一有興趣，成果自然好。曾經聽過其他系所的學生只做單一題目，結果回饋很糟。

● 配合核心能力評分

Capstone評量是很重要的工作，在一般課程中，執行評量者當然是任課教師，但針對Capstone課程，除任課教師外，也常邀請業界人士參與，甚至學系辦理聯合發表會，系上老師一起參與評量。

過去教師在評量學生的專題或類似課程中，多數是給學生或小組一個分數。在IEET認證的引導下，配合Capstone所對應的核心能力（每項核心能力的權重可因主題而不同），授課教師給學生團隊的分數可明確看出每項核心能力上的表現，平均團隊的成績後，更可進一步顯示同學在核心能力上的整體概況，例如在那些核心能力上的學習較好，那些核心能力必須加強等。這些資訊可以提供學系具體的課程調整和改進方向參考。

相信過程 實作讓學習成效更顯著

臺大土木系實作課程三部曲推動八年來，獲得

不少具體成效，許多老師熱情投入是成功關鍵，系上的行政與經費全力支援也不可或缺。我們陸續獲得許多肯定，例如成為2013年臺大唯一獲得「教育部補助大學校院推動課程分流計畫——創新模式類型計畫」補助的系所。2014年土木系團隊亦於北二區總整課程競賽中獲得銀牌獎。2015更勇奪全國大專院校工程創意競賽金牌，2016年及2017年獲得冠軍與亞軍。

2015年11月，《商業周刊》專欄文章〈誰說大學不能「學以致用」？大一就要做出「耐震停車塔」，載越重、搖越大，分數越高！〉報導了臺大土木系大一課程「土木工程基本實作」的成果。最值得驕傲的是，土木系學生團隊在溪頭設計了一座行人步橋，已於2017年5月完工啟用。

筆者曾多次到國內及美國、義大利、日本、港澳、中國大陸的學校或相關會議上分享臺大土木系的實作課程三部曲，受到許多好評，大家都認為是一種很好的人才培育模式。在演講中，筆者經常以前言提到的《未來在等待的人才》這本書所闡述的六項高感性力量做結尾，認為透過這些實作課程，除了培育專業能力外，應該有更多的機會培育未來人才所該具備的高感性力量。

前言中所提到的ASCE15項核心能力、IEA12項能力或IEET8項核心能力，除了一般專業課程外，若能搭配這些實作課程來培育，成效會更為顯著。最後以2015年參觀哈佛大學（Harvard University）設計研究所學生工作室，張貼於側門的一張海報所寫的“TRUST THE PROCESS”來做本文結尾。是的，日以繼夜的實作確實很辛苦，但要「相信這個過程」，因為是值得的！

◎ 參考文獻

呂良正(2014)。臺大土木系Capstone課程經驗分享。《評鑑雙月刊》，49，21-24。

劉曼君、呂良正(2014)。透過Capstone課程培育與檢視畢業生核心能力。《評鑑雙月刊》，49，17-20。