

教育科學研究期刊 第六十一卷第二期
2016 年，61 (2)，153-183
doi:10.6209/JORIES.2016.61(2).06



科技教育融入 STEM 課程的核心價值與實踐

范斯淳

國立臺灣師範大學
科技應用與人力資源發展學系

游光昭

國立臺灣師範大學
科技應用與人力資源發展學系

摘要

發展 STEM (Science, Technology, Engineering & Mathematics) 課程是近年來美國教育界所關注的課題，亦普遍受到先進國家的重視。本研究之目的是從美國科技教育學者的觀點，探討科技教育融入 STEM 課程的核心價值與實踐方式，並據以提出對臺灣科技教育融入 STEM 課程的可行性及實施建議。本研究採深度訪談的方式訪談 11 位美國科技教育學者，以瞭解美國科技教育界如何闡述 STEM 課程之核心價值，及其課程發展與實踐方式。本研究歸納之結論如下：一、科技教育的 STEM 課程應是一種整合式的教學與學習途徑；二、科技教育的 STEM 課程應著重在實作學習 (hands-on learning) 以及心智學習 (minds-on learning) 的平衡；三、科技教育的 STEM 課程應以「科技與工程議題」為核心、「工程設計」歷程為架構，而「科學探究」、「數學分析」及「科技工具」為知識整合與應用的要項。據此，本研究針對臺灣邁向 12 年國教之科技教育提出三點建議：一、國中的科技教育課程著重設計與製作的內涵，培養學生解決生活問題的能力；高中著重工程設計的內涵，培養學生整合 STEM 知識以解決實務問題的能力；二、臺灣科技教育的 STEM 課程應提供學生更多設計、探究、分析、測試與綜合評估的學習機會，以建構更完整的整合與應用能力；三、提升臺灣生活科技教師對 STEM 課程的理解與教學專業知識的準備，是落實 STEM 課程理念的關鍵課題。

關鍵詞：STEM 課程、科技教育、課程設計

通訊作者：游光昭，E-mail: kcyu@ntnu.edu.tw

收稿日期：2015/01/12；修正日期：2015/07/09；接受日期：2015/07/14。

壹、前言

發展 STEM (Science, Technology, Engineering & Mathematics) 課程是近年來美國教育界所關注的課題，亦是許多先進國家投入課程改革的焦點。因美國等先進國家多體認到，K-12 階段學生之科學、數學、科技及工程等學科的學習表現，是一個國家經濟發展的重要基礎，更是維繫國家競爭力的來源 (Gardner et al., 1983; National Governors Association [NGA], 2007)。從 1990 年代以來，許多美國的研究報告均警告，STEM 學科分科教學的方式對培養學生知識整合及解決問題的能力是不適切的 (Bybee, 2013; NGA, 2007; National Academy of Engineering [NAE] & National Research Council [NRC], 2014)。換言之，在長期分立的學科教學且缺乏將學科知識與生活連結的情境下，實難培養學生具備解決真實世界問題的能力，更使其喪失對 STEM 領域學習的興趣。近年來，美國鑑於其學生在 STEM 學科的學習成就持續低落，以及高中畢業生投入工程領域人數的減少，開始積極推動 STEM 課程的改革 (Toulmin & Groome, 2007)，而此一改革思潮亦快速地引起世界各國的關注及投入 (Ritz & Fan, 2015)。

STEM 課程注重的是培養 21 世紀新型態的能力 (Bybee, 2013; NGA, 2007; NRC, 2011; Toulmin & Groome, 2007)，其目的在培養每個人具備有解決真實世界問題的知識、態度、技能與能力，以面對快速變遷的現代社會。具體而言，美國 NAE 和 NRC (2014) 歸納各項 STEM 教育研究發現，美國現行 STEM 教育之目標可歸納為以下五種面向：一、建構整合性的 STEM 素養；二、提升 21 世紀的競爭力；三、STEM 勞動力準備 (職業試探與理解)；四、培養學習興趣與參與意願；五、發展 STEM 跨學科知識連結的能力。因此，從教育政策面來看，STEM 教育著重於人才的培育及獎勵，藉以提升 STEM 相關領域的人數及專業水準；而從教學面來看，STEM 課程則聚焦在改善 K-12 階段 STEM 領域之課程設計、教學策略及教師的教學實踐，以培養學生具有統整應用所學的能力 (Bybee, 2013)。更具體來說，如同 Bayer Corporation (2010) 和 Dayton Regional STEM Center (2011) 等研究指出，STEM 課程之規劃應著重在：一、吸引不同背景的學生積極投入學習；二、幫助學生整合 STEM 知識與技能；三、連結非 STEM 學科或真實世界的情境；四、幫助學生對 STEM 行業有更深入的了解；五、激發學生之問題解決、創造力等高層次思考能力；六、幫助學生發展團隊合作及溝通協調之能力。

更進一步來看，STEM 課程的特性是藉由工程設計的過程，展現科學探究及數學分析的應用，進而提供學生系統化的跨學科問題解決學習經驗 (Kelley, 2010)。如同近年來 STEM 相關的研究指出，工程設計取向的 STEM 課程，不但能提升學生的概念知識，亦能幫助學生培養應用科學與數學知識以解決問題的能力 (Cantrell, Pekcan, Itani, & Velasquez-Bryant, 2006; McMullin, 2014; Mehalik, Doppelt, & Schuun, 2008; NGSS Lead States, 2013; Ortiz, 2015; Schnittka & Bell, 2011; Wendell & Rogers, 2013)。例如，Cantrell 等 (2006) 指出，在科學課程

中運用工程案例進行教學，可提升學生科學概念的學習成效及綜合分析的能力。Schnittka 和 Bell (2011) 則是發現，運用具體的工程設計實物範例來講解特定的科學概念知識，可以改善學生的概念認知。而 Ortiz (2015) 則是透過教學實驗發現，結合數學與工程概念之樂高機器人課程，可以有效地幫助學生學習特定的數學概念知識，並能產生較長時間的學習保留與有效的學習遷移。然而，從不同學科觀點所詮釋的 STEM 課程，對於科學、科技、工程與數學各學科的角色定位上，往往存在有明顯的差異，也影響其課程的設計與實施 (Bybee, 2013; Sanders, 2009)。從科技教育的觀點來看，科技議題為 STEM 課程的主體，工程設計是實踐 STEM 課程的主要歷程，科學與數學則是解決問題所需的關鍵知識 (Barry, 2014; Pinelli & Haynie, 2010)；而從科學教育的觀點，STEM 課程的設計則應以科學知識為主體，工程問題是體現與應用科學原理的具體示例 (Bybee, 2013)。更具體而言，因 STEM 涵蓋了廣泛的學科領域知識整合與應用，更以培養新時代的能力及素養為目標，是以此課程往往呈現複雜多元的面向。因此，無論從科學、科技、工程或數學之角度出發，若未能釐清 STEM 課程之核心價值與實踐途徑，便貿然投入課程的設計與教學，除對教育研究者及教師而言是一大挑戰外，更可能無助於教學的實施。因此，深入探究 STEM 課程的核心價值與有意義的實踐方式，實是落實 STEM 課程不可或缺的課題。

臺灣科技教育的課程一直存有內容過於廣泛，以及忽略與科學、數學等學科知識連結性的問題，使學生經常只會在嘗試錯誤中學習，而未能有系統性地思考與判斷。臺灣正處於 12 年國教課程修正時期，此時正是再次思考、檢視與釐清科技教育內涵，並重新定位科技教育課程的最佳時機。從美國及先進國家的課程改革來看，重視跨學科知識統整、工程設計實作、與問題解決能力的 STEM 課程，是目前科技教育的重要趨勢 (范斯淳、楊錦心, 2012)。在過去 10 年間，美國是推動 STEM 課程最主要的國家，並已累積許多值得參考之課程規劃與教學實踐經驗。因此，在嘗試將 STEM 課程理念融入臺灣科技教育之前，可先探討與瞭解美國實施 STEM 課程的核心價值與實踐途徑，進而找出可依循的課程設計模式及教學實踐策略，以作為參考與借鏡。因此，本研究透過深度訪談及內容分析的方式，從美國科技教育學者的觀點，探討 STEM 課程改革之核心價值與實踐，並據以對臺灣科技教育融入 STEM 課程之可行性提出具體建議。

貳、文獻探討

一、STEM 課程之目的及特性

STEM 教育之目的在於引導學生建構跨學科知識整合的能力、提升參與 STEM 學習的興趣，進而形成 STEM 領域的就業能力、並養成 21 世紀世界公民應有的 STEM 素養 (NAE & NRC, 2014; NRC, 2011)。Bybee (2013) 亦指出，STEM 教育之目的在培養學生具備有 21 世

紀的素養與競爭力，以面對全球化的經濟與環境變遷挑戰。由此可見，「STEM 素養」與「參與意願」的提升，是 STEM 教育的重要目標，亦是規劃 STEM 課程時的核心思維。

從科學、科技、工程和數學等學科的本質來看，STEM 素養包含：在科學方面，著重科學知識與科學概念的發展，以培養科學探究以及獨立進行客觀決策的能力，並能從科學、科技的角度瞭解並思考科學議題；在科技方面，重視培養使用、管理、評鑑科技的能力，此包含科技選用、問題解決、批判思考與決策能力；在數學方面，著重在引導學生具有能力判斷及理解數學在生活中所扮演的角色，並能透過邏輯的思維，做出客觀的判斷以解決問題；而工程方面，則著重在統整應用材料、工具、技術及科學和數學知識，透過設計的歷程發展科技產物，以適切地解決問題或滿足人類的需求 (Asunda, 2012; Toulmin & Groome, 2007; Zollman, 2012)。然而，STEM 各學科雖有其學科素養之定義，但多數研究對於整體性的「STEM 素養」定義卻未有明顯的共識，因此，從不同學科的出發點所設計的 STEM 課程，便存在明顯的特質與架構差異 (Bybee, 2013)。但無論從何者之角度出發，其關鍵皆在藉由結合其他學科的內涵或特質，使課程之設計更貼近真實世界的情境，以幫助學生獲得有意義的學習經驗及引發其主動學習的意願。

換言之，對 K-12 階段 STEM 課程而言，建構學生跨學科知識連結與整合能力，是最為重要且具體可行的目標。因此，STEM 課程應蘊含有統整課程 (integrated curriculum) 的本質與概念 (NAE & NRC, 2014)。這種統整性的課程，應是重視不同科目在知識體上的差異，依據教學目標選擇不同的整合形式，幫助學生理解各科目之核心概念與歷程，進而將知識應用於解決開放性問題的能力。從相關文獻中可以歸納，STEM 課程之規劃通常應具備幾項重要特質：(一) 以真實世界的議題或問題情境為背景；(二) 以專題導向、問題導向或探究式學習等形式為課程設計之主軸；(三) 具有明確的課程目標、內容範疇及其所依循的能力指標；(四) 提供以學習者為中心的學習經驗；(五) 強調 STEM 各學科知識的連結與整合應用；(六) 重視邏輯思考、問題解決、批判思考等高層次思考能力的培育；(七) 強調課程與職場的連結性等 (Dayton Regional STEM Center, 2011; Indiana Department of Education, 2012; North Carolina Department of Public Instruction, 2013; Science Foundation Arizona, 2012)。

二、科技教育中的 STEM 課程

從科技教育發展的脈絡以及科技本質來看，科技為工程設計的產出。因此，科技教育的 STEM 課程應是以工程設計為基礎，藉由工程設計的歷程，融入科學概念與數學知識的學習與應用，使各學科知識能連貫交會。而這將有助學生在一個符合個人及科技社會需求的情境下，去運用科學探索與數學分析，來發展批判思考及問題解決的能力 (Lantz, 2009; Sorenson, 2010)，這樣的課程理念也引發近代科技教育學者對其課程設計與教學的省思。Project Lead The Way 是美國廣受歡迎的工程設計取向 STEM 課程，其形式便是藉由專題導向的活動，引導學生統整各科所學，以解決真實情境的問題 (Project Lead The Way [PLTW], 2014)。其中，

Dixon 和 Brown (2012) 曾透過教學實驗比較參與 PLTW 及未參與 PLTW 的學生在數學、科學及設計表現上之差異，其研究發現，教師在實施 STEM 課程的過程中，若沒有明確地教導學生如何應用科學與數學知識來解決工程問題，則學生無法對其設計歷程產生後設認知的能力，亦無法對其所學過的科學與數學知識進行學習遷移。Kelley (2008) 亦曾比較學生參與工程設計取向 STEM 課程和傳統科技教育課程時思考模式的差異，發現兩組學生在解決非結構性問題的思考上有明顯的差異，而這原因則歸之於，傳統科技教育課程內容缺乏數學的分析及科學探索的內容。如同 Merrill、Custer、Daugherty、Westrick 和 Zeng (2009) 的研究指出，若要在科技教育的課程中融入工程概念，教師必須強化其引導學生應用數學與科學知識，落實工程設計歷程的能力。

具體而言，如同 Kelley (2010) 所指，科技教育的 STEM 課程架構，應是以「情境學習」為驅動的齒輪，藉由「工程設計」提供學生系統化的解決問題模式，以及運用「科學探究」來解決真實世界中的問題（如圖 1 所示）。而類似的理念近年來也廣為科技教育界所討論（Moye, Dugger, & Starkweather, 2014; Pinelli & Haynie, 2010; Roberts & Cantu, 2012），並廣泛應用在不同的 STEM 課程設計之中。例如：Clark 和 Ernst (2008) 運用 STEM 課程模組進行教學實驗，證實動手實作（hands-on）活動能有效提高學生在科學及數學方面的學習表現。Moore、Miller、Lesh、Stohlmann 和 Kim (2013) 發現，強化學生在工程設計活動中的建模能力，可以提高概念性知識的理解和工程設計的表現。Crismond 和 Adams (2012) 則透過深入的文獻評析，找出九項實施工程設計教學之核心策略，其研究發現，熟練的工程設計者（Informed designer）與初學者的關鍵差異，在於是否能應用相關知識來進行有邏輯、有系統的問題解決思考與實踐。而 International Technology and Engineering Educators Association (ITEEA) 更是從其長期發展 STEM 課程的經驗中，提出 6E 學習環的學習模式，將工程（eENGINEER）的概念融入 5E 學習環模式之中，透過工程設計與科學探究的歷程，提供學生深入探索問題主題的機會，使其能將科學及數學知識應用於解決問題之中（Barry, 2014）。

綜上所述，透過文獻分析可以看出，STEM 教育之目的在幫助學生提升 STEM 各領域的學習動機與 STEM 素養，以及瞭解如何運用 STEM 知識來解決真實世界中的問題。而科技教育的 STEM 課程，則應是一種工程設計取向之跨學科統整課程，透過工程設計的實作活動連結 STEM 各學科的知識，進而形成一種整合性的學習經驗（Dugger, 2010; Morrison & Bartlett, 2009）。然而，從前述文獻的分析中，研究者亦發現在規劃 STEM 課程的過程中，仍有許多問題有待進一步地探究與釐清，例如：如何具體釐清及界定 STEM 各學科知識的內涵與比重？STEM 課程與傳統科技教育的關鍵差異為何？如何設計真正有意義且有效的 STEM 課程？教師應透過何種教學策略來協助學生落實 STEM 知識的應用？換言之，有關科技教育的 STEM 課程之核心理念與價值、科技與工程在 STEM 課程中的角色定位、STEM 課程設計的理論基礎、課程設計模式及可行的教學實踐方式等面向，皆有待更深入的探討。

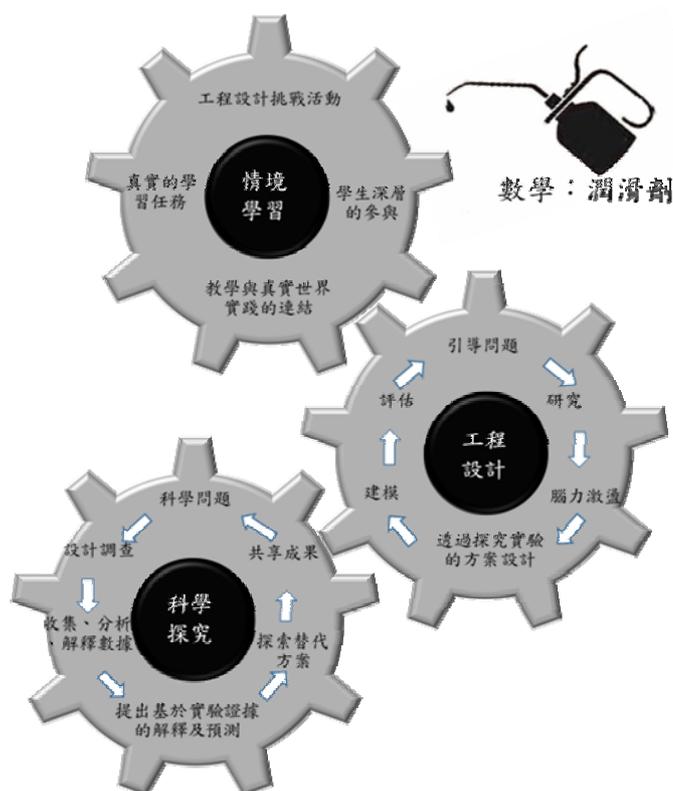


圖1. 情境學習、工程設計、科學探究關係圖。引自“Staking the Claim for the ‘T’ in STEM,” by T. R. Kelley, 2010, *The Journal of Technology Studies*, 36(1), p. 7。

參、研究方法

本研究是從美國科技教育學者的觀點，探討及分析 STEM 課程之核心價值與實踐。為達此研究目的，本研究採深度訪談的方式進行，由本研究第一作者於 2013 年至 2014 年間，前往美國研究其 STEM 課程之推展情形，並商請一位在美國科技教育領域具有高度影響力的資深教授（簡稱 R 教授），協助整體研究歷程的進行。因受限於人力及時間限制，本研究之訪談是透過視訊軟體 Adobe Connect 進行，以視訊會議的方式，由研究者個別訪談每位受訪學者。訪談期間為 2013 年 10 月至 2014 年 4 月，每次訪談時間約 60 分鐘。所有訪談過程皆使用視訊軟體之錄影功能全程錄音、錄影，且在 R 教授的協助下，所有訪談逐字稿之轉換、編碼與分析等工作皆由研究者共同完成。

一、研究對象

本研究之研究對象為 11 位美國科技教育領域的學者。因受訪對象需熟知美國 STEM 課程推展之情況，是以由 R 教授推薦熟悉美國 STEM 課程及實際從事 STEM 課程發展的學者。在

擬訂訪談名單後，由 R 教授聯繫受訪者，在取得受訪者同意後，研究者再以 E-mail 與受訪者聯繫及約定訪談時間。這 11 位學者分別任教於 Virginia (學者 A、學者 B)、North Carolina (學者 C)、Utah (學者 D)、Ohio (學者 E)、Illinois (學者 F)、Pennsylvania (學者 G)、New York (學者 H)、Maryland (學者 I)、Arkansas (學者 J) 及 Colorado (學者 K) 等州之 11 所大學，其任教科系皆為科技教育或 STEM 教育的相關系所。

二、研究工具

為瞭解美國科技教育領域發展 STEM 課程的模式，本研究在進行訪談之前，先依據研究目的及相關文獻資料，擬訂半結構式訪談大綱作為引導訪談的依據。在訪談大綱發展之初，即委請國內一位資深科技教育學者協助確認訪談大綱與研究目的之關聯性，並與 R 教授進行多次的討論。討論重點除依據美國 STEM 課程發展現況，檢視整體研究架構與訪談大綱的適切性外，亦多次修正訪談大綱之文字敘述，以確認問題描述的精確性，藉以建構訪談問題之內容效度。經討論修正後的訪談大綱，分為「STEM 課程的核心理念與價值」及「STEM 課程的設計與實踐」兩大主軸，具體的訪談問題如表 1 所示。

表 1
訪談大綱內涵

研究主題	訪談問題
STEM課程的核心理念與價值	<ol style="list-style-type: none"> 1. How do you individually define STEM Education? 2. Explain your thoughts on the use of “Technology Education” or “Technology & Engineering Education” in STEM education reform? 3. What overall outcomes or competencies do you seek with the design of K-12 STEM programs? 4. What are the key difference in teaching STEM programs and other technology education programs?
STEM課程的設計與實踐	<ol style="list-style-type: none"> 5. Are there educational philosophy and/or theories that have guided your work in developing your STEM education programs? 6. What are examples of content/units of instruction you use to construct the curriculum for K-12 STEM programs you are designing? Why did you choose these? 7. How you used Science, Technology, Engineering, and Mathematics K-12 standards in developing STEM programs and activities? 8. Are there particular instructional practices/strategies that you use to assist in delivering STEM concepts to learners in K-12 STEM programs? 9. What are the primary problems you see in implementing STEM curriculum programs involving technology education?

三、訪談資料編碼與分析方式

在資料分析的過程中，為便於資料的整理與辨識，研究者先透過逐句聽打的方式，將訪談錄音內容轉成逐字稿，而後再進行初步的流水號編碼。第一碼的英文字母為受訪者的代碼，第二碼數字為訪談問題之題號，第三碼則為代表資料的流水號，例如：A-01-01 即為第一位受訪者回答問題 1 的第一筆資料，以此類推。此後，再依循下列步驟進行資料的分析與歸納：(一) 將訪談逐字稿、STEM 相關文獻及研究過程中受訪者所提供之參考資料，進行初步的編碼與登錄；(二) 完成編碼後，依據各訪談問題，分析編碼資料並抽取其初步的概念，而後歸納出共通或相異的觀點；(三) 建立概念和概念之間的聯繫，歸納初步之研究發現；(四) 透過三角驗證的方式，將歸納出的概念與所蒐集的文獻資料，以及受訪者所提供的 STEM 課程等參考資料，做三方資料的對照，同時，亦與 R 教授討論本研究所歸納之研究發現，以確認研究者對於受訪學者之表達解讀無誤，以確保研究發現的正確性；(五) 依據研究目的，針對初步歸納之研究發現，進行更深入的分析與討論，進而形成研究結論。

四、信度與效度和研究倫理

為強化資料分析的信度，在資料分析的過程中是以三角驗證法來確保分析結果的可信度，其方式包含：以錄音、錄影工具輔助記錄、訪談多位研究對象、記錄訪談過程中受訪者所問的問題、將受訪者的回答與相關文獻進行對照分析，並針對較為複雜的內容，商請受訪者提供書面資料作為輔助，以及透過第三者的角度（即 R 教授）協助檢視資料分析的正確性等。在效度方面，為讓受訪者能充分表達自己的意見，在與訪談對象約定訪談日期後，便於 1 個月前將訪談大綱寄送給受訪者，使其能預先思考訪談問題。此外，訪談過程中亦小心控制聽、說與提問的比例，並因為全程英文訪談，為確保研究者充分且正確地理解受訪者的想法，在訪談每一題的過程中皆會透過適時的反問，與受訪者確認研究者之理解是否正確。

最後，在研究倫理方面，在與受訪學者聯繫、訪談及後續資料分析過程中，研究者皆遵守保密原則，保持受訪者資料的隱密性，不公開揭露可能使讀者察覺其身分的資訊，且所有聯絡的資料與書信在訪談完後亦皆刪除。

肆、研究結果與討論

為使研究結果之分析及討論具有整體性與邏輯性，以下之研究結果與討論將依據訪談大綱之兩大主軸：「STEM 課程的核心理念與價值」及「STEM 課程的設計與實踐」進行論述，其研究結果分析與訪談問題之對應如表 2 所示。

表 2

訪談大綱與研究結果分析對應

研究主題	研究結果分析段落	對應之訪談問題
STEM課程的核心理念與價值	(一) 對STEM定義的闡述	問題1
	(二) 在科技教育中STEM課程的定位	問題2、問題3
	(三) STEM課程vs.傳統科技教育課程	問題4
STEM課程的設計與實踐	(一) STEM課程的理論基礎（理論基礎與能力指標）	問題5、問題7
	(二) STEM課程設計的模式	問題6
	(三) STEM課程的實踐（教學策略與主要問題）	問題8、問題9

一、STEM 課程的核心理念與價值

(一) 對 STEM 定義的闡述

在問題 1，研究者先請受訪者闡述其對於 STEM 之定義。所有受訪者皆認同 STEM 本身具有「整合性」的本質，是一種整合性的教學途徑（*approach*），亦是一種跨學科的學習方式。亦即，STEM 課程是整合科學、科技、工程與數學等四項領域的統整課程，可透過不同形式的學習活動幫助學生連結科學、科技、工程與數學等學科內涵，如以下訪談內容所示：

I believe it is an integrated approach, looking at the content that across all these areas. (C-01-12)

I think STEM should be a way of integration all area, showing application and deep understanding in the areas. (E-01-02)

I define STEM as an integrative program that requires the use of math and science to solve technological and engineering problems. (G-01-01)

然而，如同 Bybee（2013）、Drake（1998）及 Fogarty（1991）等學者所指出，統整課程具有複雜性與多樣性的特質，在不同學科及不同學習場域中皆有不同的統整模式。在深入剖析受訪學者所闡述的定義亦發現，對照 Fogarty 所提出的統整課程的類型，多數學者（10 位）所界定的 STEM 課程偏向張網式（*webbed*）或整合式（*integrated*）的統整課程。具體來說，張網式的課程是以特定學科為主的課程設計，先選出具有意義的主題，而後從各學科中篩選出相關的學科知識內容，再以專題方式進行；而整合式的課程，則是以特定科技或工程主題（議題）為主軸，強調打破學科界限，直接選取與課程主題相關的重要概念形成一系列的課程單元（Fogarty, 1991）。如同 Herschbach（2011）所言，STEM 課程經常採取兩種課程取向，

一是以特定學科為主的課程設計，另一則是廣泛領域的課程設計。然而，部分受訪學者也強調，STEM 應被視為是一種跨學科學習經驗的革新，而非僅是一種教學方法或策略，因此主張 STEM 是跨學科的協同教學，由 STEM 各學科的教師透過共通的主題，連結彼此課堂中的課程內容與學習經驗。然而，從科技教育的角度來看，「STEM 是一種整合式的教學與學習途徑」，仍是受訪者對 STEM 課程定義的基本共識。

(二) 在科技教育中 STEM 課程的定位

接續對 STEM 定義的闡述之後，藉由問題 2 及問題 3，研究者進一步嘗試釐清科技教育在 STEM 教育改革中扮演的角色，並確認 STEM 課程在科技教育中的定位。對此，多數學者（九位）認為在 STEM 被廣為討論之前，科技教育領域早已存在有跨科際課程統整的理念。如同受訪者 H 指出，科技教育的統整課程可回溯到 1990 年代的 MST（Mathematics, Science, and Technology）以及 STS（Science, Technology, and Society）等課程理念。其中，MST 課程藉由提供學生科技的知識、技術與工具，來幫助學生在真實情境中探索和應用科學與數學的原理及知識（Foster, 1994; Wicklein & Schell, 1995）；而 STS 課程則是著重於探討科技與社會的互動關係，並進行批判思考與省思（Rosenthal, 1989）。然而，在近 20 年來，MST 與 STS 所受到的重視程度逐漸降低，反而愈來愈多的美國科技教師，主張強化課程中工程設計及問題解決的學習，來幫助學生更確實地應用各種學理知識與技術（Lewis, 2004）。因此，工程設計也逐漸成為美國科技教育的新焦點，許多州政府之科技教育課程也逐漸轉變為準工程取向（Pre-engineering）的科技與工程教育（Moye, Dugger, & Starkweather, 2012）。

此外，多數受訪者（10 位）認為在推動 STEM 課程的過程中，準工程取向的科技教育課程，可作為落實 STEM 跨學科整合理念最適切的科目。如以下訪談所指出：

Drafting students and creates meaningful experience for all the STEM disciplines, not just serves for technology education. (B-02-16)

... the biggest value that technology education gives to STEM education is that we can allow other subjects to integrate with us and we can support their learning. (C-02-11)

I think technology & engineering provide the perfect tool for applying math and science. So it provides STEM an opportunity to conduct engineering challenges and design problems that cause them to explore math and science concept they might not normally apply. (J-02-01)

更具體來說，在問題 3 上，多數學者（七位）認為在科技教育中，STEM 課程的主要目標，應在於幫助學生瞭解科學、科技、工程與數學等四個學科知識彼此之間的關聯性，同時瞭解

如何應用這些知識發展可行的解決方案，以解決真實世界的問題，進而成為一位良好的問題解決者。如以下訪談所指出：

We try to help the students understanding the function of design, the understanding of how one discipline affect the other, and how to bring content from all these discipline together to do better problem solve and think critically. (C-03-01)

Students need to be able to look at ill-structured problems and be taught how to solve, and it usually is done with creative. (D-03-07)

換言之，科技教育的 STEM 課程，被期待能用以幫助學生養成整合性的知識基礎及靈活的問題解決能力，使其能面對快速變動的未來社會。如同學者 H 所補充，STEM 課程應幫助學生瞭解重要的全球化科技與工程議題，並學習如何在現在或未來創造出更佳的解決方案。

因此，綜合問題 2 及問題 3 的回應資料來看，科技教育所扮演的角色可以是學科知識內容、學習情境、整合性的教學方法、學習歷程、輔助工具，更是一種有意義的實做學習經驗（hands-on learning experiences）。然而，從受訪者對於問題 2 的回應亦可發現，STEM 中的科技與工程之間的界定與區別是模糊的。如學者 G 所指出，許多 STEM 課程是將科技界定為工具，工程則界定為設計及問題解決程序；學者 C 則解釋，基於科技與工程的高度相關性，K-12 階段的科技與工程教育或許不需要有明確的區隔。相關的文獻亦曾提到，科技教育包含科技與工程概念知識的學習，亦包含應用這些知識進行工程設計的活動，而這兩者皆須運用科學和數學的知識（Havice, 2009; Kelley, 2010）。如同 Daugherty（2009）所言，在 STEM 課程中，由科學提供探究、數學提供分析及科技與工程教育提供工程設計與製作，方能形成真正有意義的學習。從過去十多年來科技教育的實施來看，多數受訪者皆認同科技與工程確實可扮演實踐 STEM 課程的主要角色，亦即，科技教育可以透過準工程取向（pre-engineering）的內涵，在 STEM 課程中找到定位。換言之，藉由工程設計活動的實踐，科技教育的 STEM 課程可幫助學生體認科學、科技、工程與數學等學科間的關聯性，同時瞭解如何應用這些知識來發展可行的解決方案，進而解決真實世界的問題。

（三）STEM 課程與傳統科技教育課程的比較

在確認 STEM 課程在科技教育中的定位後，研究者亦想釐清 STEM 課程及傳統科技教育課程之差異（問題 4）。亦即，若科技教育為實踐 STEM 課程的重要學科，STEM 課程與傳統科技教育課程是否有所差異？多數學者（七位）認為，兩者之間最大的差異在於教師設計學習活動時，應在教學過程中展現 STEM 所有面向。如以下訪談所指出：

I think the differences in design, not only the knowledge content, but how they teach the curriculum, what kind of activity they use, how they assess the activity... the STEM focus on the class, what we do in the classroom... In the traditional industrial technology, we focus on products. (F-04-01)

I think the big different between teaching STEM program and technology education we have to bring more math, more science into our curriculum material. (J-04-01)

學者 B 認為 STEM 課程應具有預覽的概念，亦即教學活動中所需使用的 STEM 知識與能力都須事先界定，使學生在解決問題之前能具備足夠的相關學理知識。更進一步來說，如同 McComas 和 McComas (2009) 所指，在 STEM 課程中，科學是提供學生對於條件限制的判斷能力以及探究思考的程序；而數學則是提供解決問題歷程的輔助、推理工具，以及溝通表達構想的管道，故藉由強化科學及數學在工程設計中的應用，可幫助學生達成最佳的學習表現。是以，如同學者 C 及學者 F 所強調，兩者最主要的差異，應是教師在實施 STEM 課程時，需強化教學過程中對科學及數學知識的闡述與應用。換言之，STEM 課程與傳統科技教育課程的差異，在於 STEM 課程更注重協助學生建構 STEM 先備知識的歷程，著重於強化科學、數學、科技與工程知識的橫向連結，進而強化學生在工程設計、探究思考及解決問題的學習。此正如 Kelley (2008) 所指出，科技教育的 STEM 課程應以工程設計模式為學習途徑，強調應用數學來預測分析解決方案的可行性，並進行最佳化修正。更具體來說，其關鍵應如同 F 學者所言，科技教育的 STEM 課程與傳統科技教育課程最大的差異，在於教學者需嘗試找回教學過程中 hands-on (實作及嘗試錯誤) 以及 minds-on (數理原理之應用與分析) 學習的平衡。如以下訪談所指出：

Definitely the content and the learning experience, I think that is the difference of STEM education focus and the traditional technology education. We have to be careful because we need to balance the hands-on and minds-on learning. (F-04-02)

(四) 討論

從 21 世紀初起，STEM 課程在美國及先進國家即不斷地受到討論，此乃因不同領域、不同學科、不同教育階段對於 STEM 教育的詮釋皆不盡相同 (Bybee, 2013)。STEM 成為一個既具體，卻又相當抽象的名詞，STEM 既代表對各學科領域的重視，亦代表一種課程設計的途徑，更是一種對於學生學習表現的期待。比喻來說，STEM 既是自變項，又是依變項，更有可能是中介或調節變項。

從科技教育課程的角度來看，科技是人類為滿足慾望及需求所設計出的產物，而工程則

是設計及研發科技產物的過程。而此過程需要整合科學原理與科技技術，並透過數學來輔助設計、測試及改良，以獲得最適切的成果 (Berry et al., 2004; Pinelli & Haynie, 2010)。因此，統整課程的多元性及複雜性，便成為 STEM 課程的基本特質。然而，如同受訪學者及相關文獻所指出，STEM 課程在某些層面上，亦反應著在當代社會中世界公民必須面對的全球性挑戰，這包含對國家競爭力的憂慮，以及對環境與相關科技議題的關注 (Bybee, 2013; NAE & NRC, 2014; NGA, 2007)。因此對學生而言，STEM 課程的核心價值與目標應在於：1.提升 STEM 素養；2.建構 21 世紀的競爭力；3.養成優質的 STEM 工作能力；4.培養對 STEM 的興趣和參與；5.連結 STEM 學科所學的能力。而對教育工作者而言，則應著重在：提升 STEM 學科專業知識內涵及改善教學法和教學的內容。

以上述核心價值為出發，各學科在投入 STEM 課程設計之前，應思考 STEM 學科彼此間橫向連結的強弱，以及探討縱向整合角色的分配 (如圖 2 所示)。換言之，STEM 跨科際統整的課程型態，可從三個問題著手思考：1.學科角色的分配？2.學科之間橫向連結的強弱？3.內容深度與廣度的拿捏標準？

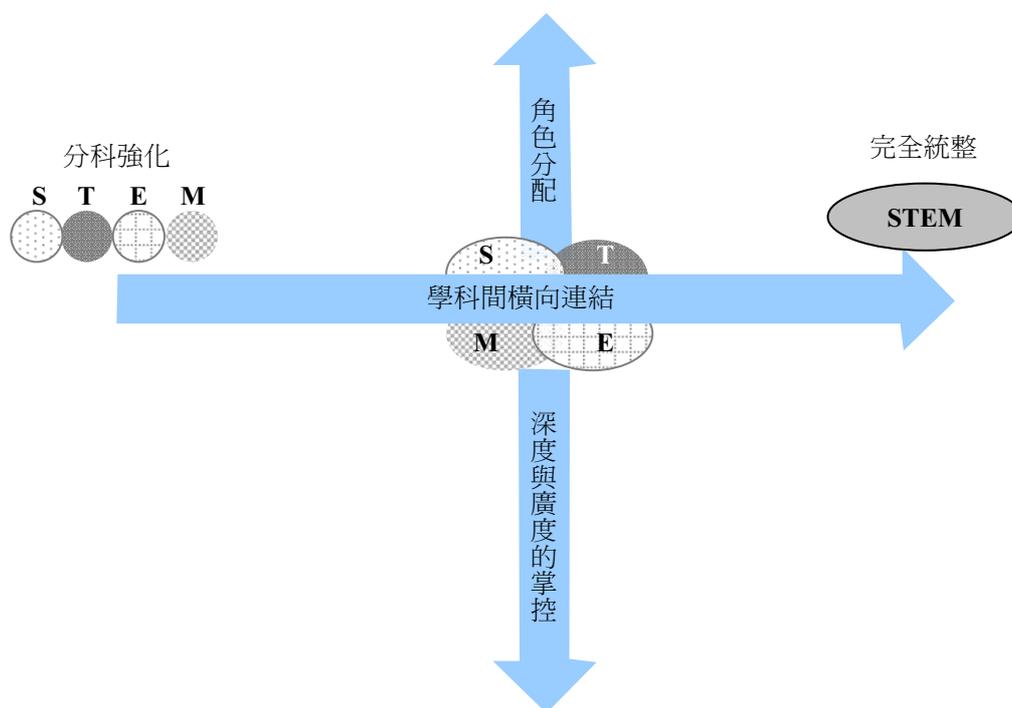


圖2. STEM課程統整的概念示意

更具體而言，STEM 應視為是一種教學的理念、課程設計的途徑，更是一種學習方法的革新。從 STEM 各學科的本質來看，STEM 課程應以工程領域的「工程設計」為主軸，由科技扮演著「學習情境（科技議題）」、「實作經驗」及「工具技術」的提供者；在此同時，科學提供「探究思考」及科學概念知識的輔助，數學則作為「分析」及「溝通」的橋梁。而在學科之間橫向連結方面，科技教育的 STEM 課程形式，應是跨學科的統整。換言之，其課程應從規劃問題解決導向的專題活動為始，連結四個學科的相關知識，而後再形成跨學科的整合性課程或專題計畫。

整體而言，科技教育中的 STEM 課程應提供學生一個具有意義及真實性的學習情境，透過工程設計歷程的實踐，引導學生在問題解決的過程中，融入科學探究與數學分析的系統性思考，以及科技工具與技術的實作應用，來達到 STEM 課程的目的。

二、STEM 課程的設計與實踐

（一）STEM 課程的理論基礎

為進一步瞭解 STEM 課程的設計與實踐，在問題 5，研究者請受訪者說明發展 STEM 課程時所依循的理論基礎。多數學者（七位）指出，其所依循的主要理念乃是「實用主義」及 J. Dewey 的「做中學」，其他延伸的相關理論則有：經驗學習理論、建構理論、問題導向學習、及專題導向學習等亦常被提及。此外，學者 A、學者 G 及學者 I 亦指出，目前美國教育界所依循的能力指標（standards），亦是形塑當代 STEM 課程設計的重要基礎。

鑑於能力指標對 STEM 課程發展的重要性，研究者請受訪學者提出其主要參照的能力指標（問題 7）。在科技與工程方面，八位受訪學者指出，科技素養標準（Standards for Technological Literacy, STL）是其發展 STEM 課程主要的指引；在科學方面，九位學者是採用 Next Generation Science Standards (NGSS) 作為規劃科學知識內涵與活動的依據，亦是規劃工程設計學習活動的重要參考；在數學方面，有六位學者採用 Common Core Mathematics Standards 作為規劃數學內容的參考。由受訪學者的回答中，研究者發現美國科學教育學會所公布之 NGSS 已成為 STEM 課程設計的主要指標，而其原因在於 NGSS 藉由將工程設計納入科學課程標準的一環，強調跨學科統整的精神與重要性（NGSS Lead States, 2013）。以此反思科技教育界主要依循的 STL，七位受訪學者就明確指出，許多 STL 中所規範之素養標準與指標內涵過於廣泛，難以對 STEM 課程設計提供有效的引導。如以下訪談內容所示：

It defined the area of the study of technology. It doesn't give enough detail to tell you what you are going to teach, at the lesson level. (D-07-05)

I think it is very good. But I think now it is over ten years old, and it needs to be revisited for some of the things were missed in. (E-07-01)

We are at a point where many of us would like a revised set of standards and one that leans a little more toward the E instead of the T. (G-07-04)

為此，許多受訪者也建議應更明確地界定工程設計的核心概念，以作為發展 STEM 課程的依據。而從近年來許多文獻中可看出：系統性思考、界定問題、確認條件限制、預測分析、建模、權衡及最佳化等概念，已逐漸成為多數研究者的共識（Carr, Bennett, & Strobel, 2012; Lewis, 2005; Merrill et al., 2009; NRC, 2009; Silk & Schunn, 2008）。除此之外，學者 B 和學者 H 亦提到，因現階段並未有單一 STEM 課程的標準或能力指標，對課程設計者及教師而言，要在有限的教學時間裡採用或依循過多的標準，其實非常困難。如以下訪談內容所示：

The reason is I don't know if it is necessary competing the standards' contents, they don't have a system adoption. And that makes thing very problematic... (B-07-01)

So I think the standards need to be crossed under some key ideas, big ideas. (H-07-05)

從課程設計的角度來看，教學內容深度與廣度的拿捏是發展 STEM 課程最主要的困難之一（Asunda, 2012; Carr et al., 2012; Custer & Daugherty, 2009; Kelley, Brenner, & Pieper, 2010）。受訪者 B 亦指出，目前仍缺乏一套系統性的方式，以有效地參照 STEM 各學科之課程標準或能力指標。對教師而言，如何避免課程標準或能力指標流於形式，及如何確認其所設計之 STEM 課程具有實質的意義與功效，是發展 STEM 課程前所須思考的課題。

（二）STEM 課程設計的模式

由於課程設計的歷程較難從學術文獻的報告中得知，因此本研究請受訪者以其所發展的 STEM 課程為例，解釋其應用的 STEM 課程設計模式及課程安排方式（問題 6）。從許多 STEM 課程的相關文獻可以看出，為因應現行教育制度與學校現況，STEM 多是以課後活動的方式進行，或是在現有的學科課堂中實施（如：科學課、科技課），而非另外開設新課程或是設立新的科目（Bayer Corporation, 2010）。如同學者 A 及學者 B 所解釋，基於目前 K-12 的教育體制，STEM 課程的設計應是維持各學科原有的課程架構，再透過整合性策略來展現 STEM 各學科間的關聯性。

由問題 6 之回應可知，有六位學者認為科技教育的 STEM 課程應以專題導向的學習活動為主，而其內容則來自各州課程標準或 STL 所列之科技領域。對照幾項美國較為大型的 STEM 課程（如：Project Lead The Way、Engineering by Design™等）可發現，不同的 STEM 課程在教育理念上雖大致相同，但在課程架構的設計與規劃上卻仍有所差異。某些課程是以培養大學工程相關科系人才為目標，其課程架構與內容通常涵蓋較多專業的工程領域知識，而其對象亦是以工程性向較強的學生為主；另外一種課程設計，則是以培養學生 STEM 素養為主軸，

其課程內容並非特定的工程專業領域，而是透過科技議題的討論來幫助學生瞭解工程的基本概念，以及引導學生省思科技、工程與社會環境間的互動關係。如同受訪者 H 所指出，STEM 課程的設計應重視與真實世界重要問題或科技議題的連結，因此，目前科技所造成的能源利用、環境污染等議題，即為 STEM 課程常見的主題。換言之，真實情境的學習是統整課程的核心概念，亦是跨學科課程能引發學生參與動機的重要關鍵 (Bybee & McCrae, 2009)，STEM 課程應重視對真實世界問題的關懷與省思，以引發學生深度的思考。如以下訪談所指出：

We provide flexibility so something can be identify as a specific social situation or something is currently identify as important within the current on community. (B-06-01)

It will be choose either because there are very important, or they were fun and very creative, they were fun and kids would be excited if teacher will be able to teach them these concepts. (D-06-01)

It will involve our child in something that have some social demands. So when we talk about food and water, these are real social problems. (H-06-01)

在課程設計模式方面，受訪學者 I 和學者 J 皆表示其 STEM 課程的設計是依循逆向設計模式 (backward design model) 進行，亦即，先依據課程標準確認學生應達成的能力指標，而後據此發展評量方式與工具，最後再規劃教材與教學策略，如以下訪談內容所示：

It comes from the book “understanding by design”, the backward design. The curriculum development in USA and professional development are using that book. (I-06-10)

Are you familiar with “understanding by design” the book? That is a curriculum model we use for all of our curriculum. Sometimes call backward design, and it starts with the end-of-goal and you go back from that. (J-06-10)

傳統的課程設計流程是先界定課程目標，再撰寫具體的教學目標、規劃課程實施流程、教材內容並選擇教學策略，最後則發展評量工具。逆向設計的概念則是反轉傳統課程設計歷程，先設定最終所欲達成的學習表現，再依據學習表現規劃評量工具，最後才進行課程內容與教材設計 (Wiggins & McTighe, 2005)。在專題導向的 STEM 課程中，教師最常遭遇的問題即是學習內容界定不清，以及難以評量學生真實的學習表現 (Mativo & Wicklein, 2011)。因此，學者 I 認為，透過逆向設計的課程設計模式，可幫助教師明確地釐清 STEM 課程所期待達成的學習表現，並思考如何幫助學生達到評量的標準。另外，受訪學者 H 則說明其課程設計是依循知情設計模式 (informed design model)，此設計模式之理念是在學生投入專題設計

前，先透過一系列的小型學習單元，探討相關的 STEM 知識與技能，以建構必要的先備知識。在這樣的情況下，學生可以運用單元中所學的知識與經驗，直接連結到專題方案的構思，而非僅是透過嘗試錯誤的方式尋找答案。如以下訪談內容所示：

The design model is call “informed design”. Informed design means that before the children start to design anything, they first build a knowledge basis... children aren't just messing around, they are not just doing tried-and-error to get their solution. (H-06-10)

此外，受訪者 K 認為應透過協同教學的方式來設計 STEM 課程，藉由科學、數學與科技教師共同合作，以發展跨學科的協同教學課程。這種課程發展模式是由教師們先透過教學會議的討論，瞭解同一學習階段中各學科的教學內容，以及所應達成的能力指標；而後，再透過橫向連結的方式，將各學科的知識內容透過特定主題加以連結，最終形成一個跨學科整合的 STEM 課程。如以下訪談內容所示：

I used a process call “blueprinting”... the blueprint is when we create the STEM curriculum, we connect then horizontally. (K-04-2)

So math teachers and science teachers and engineering teachers are teaching their content in the curriculum, in the program. But all of the kids are participate in a long term design problem. (K-06-4)

除上述受訪者所提及的課程設計模式外，2004 年 ITEEA 所發展之 STEM 課程 Engineering by Design，則應用 6E Learning byDeSIGN™ Model 的概念，將 eENGINEER 的 e 納入 5E 學習環模式中，而形成：投入（Engage）、探索（Explore）、解釋、工程（eENGINEER）、精緻化（Enrich）、評量（Evaluate）等新的 6E 模式循環歷程，以建構 STEM 課程中的學習歷程（Barry, 2014）。

然而，無論是採用何種課程設計模式，「工程設計」的歷程及「科學探究」的思維是 STEM 課程設計的兩大要素（Barry, 2014; Bybee & McCrae, 2009; Kelley, 2010）。換言之，STEM 課程設計應以真實世界的問題激發學生參與的動機；並透過適切的課程標準或能力指標，幫助教師聚焦課程中應涵蓋的 STEM 概念知識；而後以工程設計為主軸來規劃學習的歷程，並納入必要之探究思考學習單元，以協助學生具體連結與工程設計相關之 STEM 知識。

（三）STEM 課程的實踐

為進一步瞭解 STEM 課程在教學上的實踐，在問題 8 上，研究者請受訪者說明其 STEM 課程所採用之教學方法與策略。歸納受訪者之回應，STEM 課程之教學方法多是以問題導向及

專題導向的學習為主，除了傳統的講述與示範教學外，學習歷程檔案的應用、實作學習（hands-on learning），以及合作學習亦是重要的教學策略。更深入來看，學者 B 及學者 H 皆指出，STEM 課程的教學關鍵應在提供學生更多設計、探究、分析、測試與評估的機會。如以下訪談內容：

I think the main thing is we want child to design, we want child to investigate, we want child to analysis, and to develop fair tests, to make judgments about which is valuable, affect the performance of the system and how they know. (H-08-05)

此外，受訪學者亦提到，諸如：電腦輔助設計、創意思考教學、2D/3D 數位建模、實體建模、遊戲學習、電腦模擬、即時數學／科學教學等，亦是可應用的教學策略。具體而言，在實施 STEM 課程時，教學策略的選用應是以學習者為中心的學習，著重在幫助學生，更具體地察覺科學和數學知識與工程設計歷程的連結（Clark & Ernst, 2008; Merrill et al., 2009; Schnittka & Bell, 2011）。而這之中，如學者 A 所強調，學習歷程檔案／設計手札（design journal/design notebook）的運用，是輔助學生完成設計歷程及評量學生的學習表現之關鍵要素。

在問題 9，研究者請受訪學者提出實施 STEM 課程最主要的問題與困難。多數受訪學者（八位）皆明確指出，教師的準備不足是實施 STEM 課程的最大問題，其次則是設備與教學時數的問題。這原因在於多數科技教師缺乏科學與數學教學專業知識，因而對實施 STEM 課程缺乏信心。如以下訪談內容所示：

... we need to prepare teachers to be confidence in the appropriate level of math and the appropriate science concepts. (A-09-02)

Integration is difficult because in many cases the teachers don't feel confidence and comfortable teaching some things that outside their expertise. (J-09-01)

The primary problem, underprepared technology teacher. (K-09-01)

教師專業發展是成功的教學改革與教學理念推動的重要環節（Fishman, Marx, Best, & Tal, 2003），因此，如何重新調整科技教育師資培育課程，同時規劃適切的專業發展課程，將是影響未來實施 STEM 課程實施的重要因素。

（四）討論

如同 Kelly（2010）所言，科技教育的 STEM 課程具有多元化的內涵，其中，科技議題的「情境學習」、解決問題之「工程設計」及整合應用科學與數學知識之「探究思考」，應為三

大核心理念。三者彼此之間的關係如同圖 3 所示的行星齒輪，科技教育的 STEM 課程宜以重大科技議題、新興科技發展、或工程領域基礎知能為太陽齒輪，帶動整個學習歷程的情境；而工程設計則為外齒圈，每個步驟皆引導著整個工程問題解決的學習歷程；中間則透過科學探究、數學分析及科技技術來作為連結與傳動的行星齒輪。

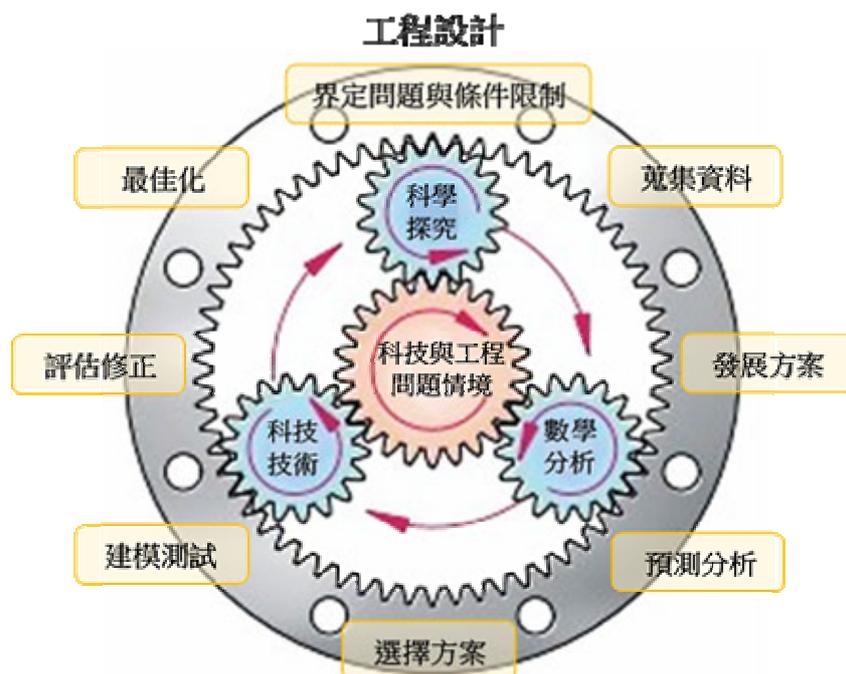


圖3. STEM課程的設計架構

在課程設計與教學實踐上，本研究從訪談資料中歸納出三種可行的 STEM 課程設計模式。第一種 STEM 課程是以工程設計的專題，輔以系列的問題解決導向或探究導向的實作活動所組成。如同 Bybee (2010) 所指出，此種模式的課程著重在呈現整合性的 STEM 知識，且可於個別學科中進行。在課程設計的過程中，教師可應用 backward design model、informed design、6E Learning byDeSIGN™ Model 等模式。然而，在運用這些設計模式時，教師必須具備獨立規劃與實施整合性 STEM 課程的能力，換言之，教師必須具備豐富的 STEM 概念知識與教學專業知識，尤其是科學、數學與工程的專業知能。如同受訪者及許多文獻所提到，實施 STEM 課程最大的問題在於教師的準備不足，許多科技教師並未有足夠的 STEM 專業知能來實施這樣的課程，同時亦缺乏足夠的教材供教師參考及使用 (Asunda, 2012; Pitt, 2009; Sanders, 2009; Williams, 2011)。因此，教師 STEM 專業知識的訓練與強化，將成為推動此課程發展模式最大的挑戰。

第二種方式則是透過 STEM 學科間的協同教學，由科技教師與其他學科教師共同合作，

透過科技議題來串連各科之間的知識內涵。如此，各科教師可專注在其學科領域的教學，降低課程準備及教學上的負擔。然而，這種模式必須仰賴教師之間良好的溝通及互動模式，方能使團隊合作發揮最佳的效益。

第三種模式是結合科學、數學及科技等學科的教師與專家組成專業發展團隊，教師彼此協助發展各自適用之 STEM 課程，而專家則提供專業領域知識的諮詢。這種方法可協助教師克服專業知識不足的問題，亦可避免因行政制度對協同教學所造成的限制。然而，無論是何種課程設計模式，皆應掌握 STEM 課程的核心價值，並提供教師持續性的教學資源支持及專業發展協助 (Wells, 2013)，如此方能有效實踐 STEM 課程跨學科知識統整的理念。

綜合訪談的資料可知，美國科技教育的 STEM 課程反應出科技教育學者對現行課程設計、教學內容及策略的省思。因此，除了在內容上增強工程設計與 STEM 知識的整合外，更重要的是喚起學校及大眾對科技及工程教育的重視。在臺灣，為因應十二年國教課程改革的呼聲，未來科技教育之核心理念，亦應引導學生透過「做、用、想」的歷程，培養學生整合理論與實務的問題解決能力 (李隆盛等, 2013)。具體來說，如圖 4 所示，本研究認為美國 STEM 課程帶來的啟示，乃是科技教育應從過去以科技領域知識體為主的課程，轉變為以工程設計歷程為主軸的課程設計。在這樣的教學歷程中，教師應幫助學生擺脫過去以嘗試錯誤為主的學習方式，並以更多元的教學策略，強化學生在工程設計活動中數學分析及科學探究的學習及應用，進而提升學生整合 STEM 知識及解決工程設計問題的能力。

三、研究範圍與限制

本研究雖透過廣泛的資料蒐集及多位專家的訪談來蒐集 STEM 課程相關資料，以期建立對於 STEM 課程核心價值與教學實踐之詮釋。然而，STEM 課程本身即具有多元化、多面向的本質。在本研究中，受限於研究者之領域專業，所訪談的對象多為科技教育領域之學者，因此，本研究部分的論述角度偏向以科技教育的觀點，來詮釋 STEM 課程的架構及其教學實施的形式。後續相關研究或可依循類似的研究方式，從科學或數學領域的角度，探討 STEM 課程的核心價值與實施，以期能找出更多值得借鏡之處。

伍、結論與建議

STEM 課程已在美國及許多先進國家興起課程改革的浪潮，並在 K-12 階段的課程設計、教學策略、學習方法，以及師資培育等面向均有明顯的變化。本研究從科技教育的角度，探討 STEM 課程之核心價值與實踐，以此歸納以下三點結論，並對臺灣邁向十二年國教之科技教育提出三點建議。

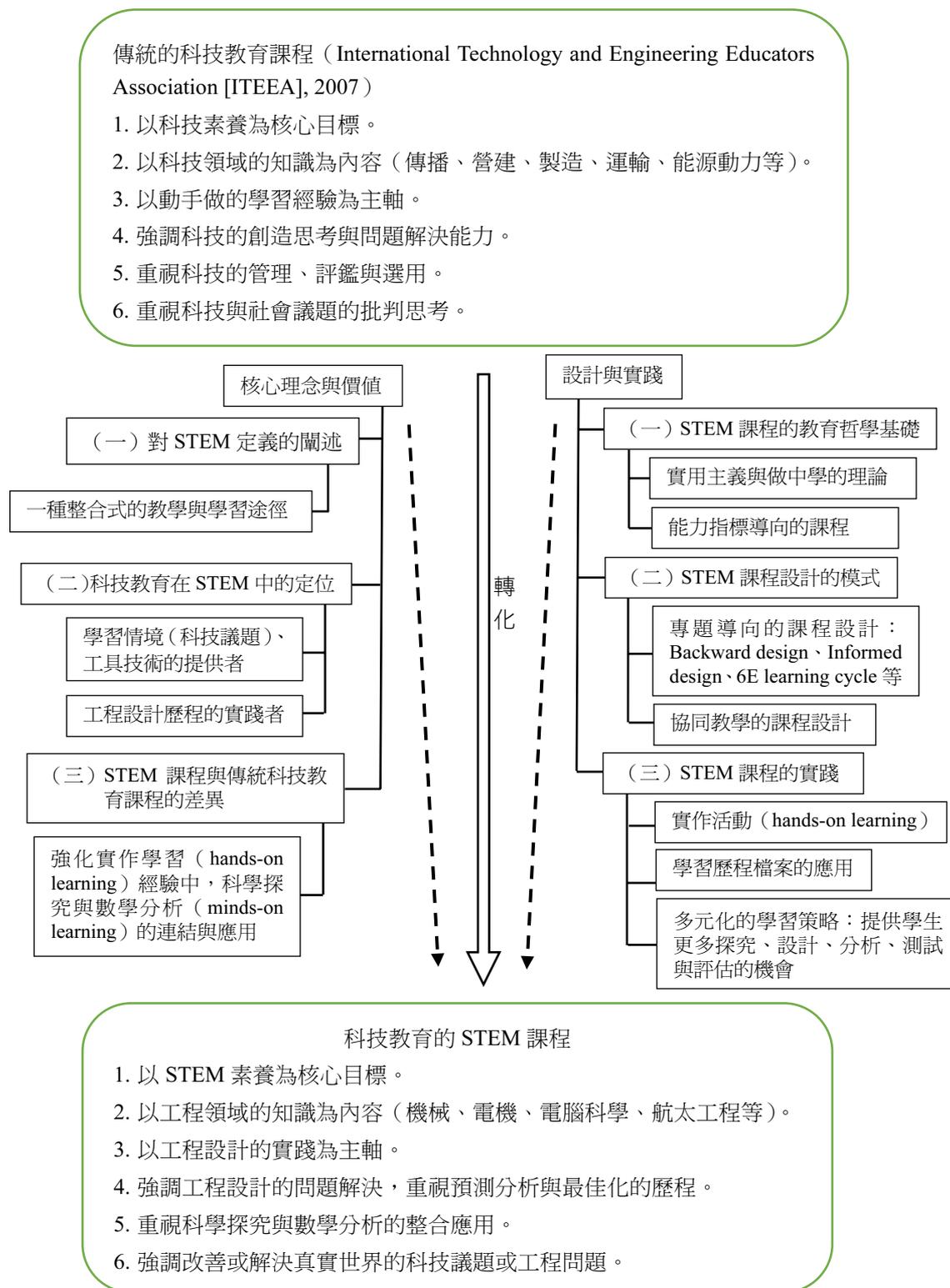


圖4. 科技教育課程的理念轉化

一、結論

(一) 科技教育的 STEM 課程應是一種整合式的教學與學習途徑

STEM 教育具有整合性的本質，從科技教育的角度來看，STEM 並非是一個新的學科科目，而是一種統整性的教育理念、一種課程設計的途徑、更是一種教學策略發展的取向，也代表一種學習方法的革新。STEM 可透過單一學科中的統整課程來實施，亦可透過協同教學的方式進行，但從科技教育的發展來看，跨科際整合的 STEM 課程是科技教育重要的教育理念與教學模式。在 K-12 教育中，科技教育可作為實踐 STEM 課程的重要領域。

(二) 科技教育的 STEM 課程應著重在 hands-on learning 以及 minds-on learning 的平衡

科技教育的 STEM 課程之核心價值，應在於找回教學與學習歷程中 hands-on learning 以及 minds-on learning 的平衡。對 STEM 課程而言，hands-on learning 是透過工程設計歷程的實踐及科技工具與技術的應用，提供學生做中學的機會；而 minds-on learning 則是透過科學探究與數學分析的系統性思考，引導學生找出學科知識與真實情境問題解決的連結。透過兩者的融合，可以幫助學生建構出靈活的問題解決能力，而此正是 STEM 課程與傳統科技教育課程的最大差異。

(三) 科技教育的 STEM 課程應以「科技與工程議題」為核心、「工程設計」歷程為架構，「科學探究」、「數學分析」及「科技工具」為知識整合與應用的要項

以實用主義之理念為基礎，專題導向的學習應為科技教育的 STEM 課程之主要形式，而課程主題則應來自重要的科技與工程議題。因此，在發展 STEM 課程之前，應先釐清課程中所蘊含之 STEM 學科知識內涵，以及預期達成的學習表現。亦即，整體的課程設計應以工程設計歷程為主要架構，呈現工程問題解決與科學探究、數學分析的連結，並應用科技工具的輔助來實踐設計構想。其中，教學策略應用的關鍵在於提供學生足夠的設計分析、探究思考與解決問題的經驗與學習，使學生能夠瞭解科學、科技、工程與數學等學科知識間的關聯性，進而掌握如何應用這些知識來解決工程設計的問題。

二、建議

(一) 國中的科技教育課程著重設計與製作的內涵，培養學生解決生活問題的能力；高中著重工程設計的內涵，培養學生整合 STEM 知識來解決實務問題的能力

為找出臺灣科技教育未來可行之路徑與核心價值，科技教育領域應更具體地找出對 STEM 課程的定位與詮釋，以釐清在不同學習階段中，科技所應扮演的角色。本研究認為，在國中

階段，科技教育的課程可著重在設計與製作的相關內涵，以培養學生解決生活問題的能力；在高中階段，則可以工程設計為內涵的 STEM 課程，以培養學生整合 STEM 知識來解決實務問題的能力。

（二）臺灣科技教育的 STEM 課程應提供學生更多設計、探究、分析、測試與綜合評估的學習機會，以建構更完整的整合與應用能力

在教學實踐上，以往的科技課程教學中，教師雖應用了許多問題導向或專題導向的教學活動，但卻未能引導學生落實數學及科學等學理知識的應用。這也導致許多學習經驗都僅是漫無目的的嘗試錯誤，而無法真正應用學科知識來解決問題。因此，科技教育的 STEM 課程實施關鍵在於教學過程中「教師對 STEM 知識的理解與詮釋」，以及在學習過程中「學生對 STEM 概念知識更精確地整合與應用」。亦即，教學過程需能提供學生更多設計、探究、分析、測試與綜合評估的機會，方能協助學生建構更完整的整合與應用能力。

（三）提升臺灣科技教師對 STEM 課程的理解與教學專業知識的準備，是落實 STEM 課程的關鍵課題

一般來說，教師準備不足及缺乏實施 STEM 教學的信心，是推動 STEM 課程的最大問題。因此，師資培育機構應重新檢視師資培育專業課程的內容，並思考如何調整 STEM 專業知識課程與教育專業科目。同時，亦需透過教師專業發展課程協助現職教師強化對於 STEM 課程理念的理解，並提升其 STEM 知識、課程發展與教材設計能力，以及教學專業知能。如此，方能提高教師投入 STEM 課程的意願，進而創造更優質的科技教育課程。

誌謝

本研究承蒙科技部計畫補助（計畫編號：NSC102-2917-I-003-001），謹此致謝。

參考文獻

一、中文文獻

李隆盛、吳正己、游光昭、周麗瑞、葉家棟、盧秋珍、沈章平（2013）。十二年國民基本教育生活與科技領域綱要內容之前導研究。國家教育研究院「十二年國民基本教育領域綱要內容前導研究」整合型研究報告（NAER-102-06-A-1-02-09-1-18）。臺北市：教育部國家教育研究院。

【Lee, L.-S., Wu, C.-C., Yu, K.-C., Chou, L.-T., Yeh, J.-D., Lu, Q.-Z., & Shen, Z.-P. (2013). *A pilot study of the national curriculum guide of technology learning area for 12-year basic education* (NAER-102-06-A-1-02-09-1-18). Taipei, Taiwan: National Academy for Educational Research.】

范斯淳、楊錦心（2012）。美日科技教育課程及其啟示。教育資料集刊，55，71-102。

【Fan, S.-C., & Yang, J.-S. (2012). The inspiration from the new technology curriculum in the United States and Japan. *Bulletin of Educational Resources and Research*, 55, 71-102.】

二、外文文獻

Asunda, P. A. (2012). Standards for technological literacy and STEM education delivery through career and technical education programs. *Journal of Technology Education*, 23(2), 44-60.

Barry, N. B. (2014). The ITEEA 6E learning ByDeSIGN™ model: Maximizing informed design and inquiry in the integrative STEH classroom. *Technology and Engineering Teacher*, 73(6), 14-19.

Bayer Corporation. (2010). *Planting the seeds for a diverse U.S. STEM pipeline: A compendium of best practice K-12 STEM education programs*. Pittsburgh, PA: Author.

Berry, R. Q., III, Reed, P. A., Ritz, J. M., Lin, C. Y., Hsiung, S., & Frazier, W. (2004). Stem initiatives: Stimulating students to improve science and mathematics achievement. *The Technology Teacher*, 64(4), 23-30.

Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30-35.

Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. Arlington, VA: NSTA Press.

Bybee, R. W., & McCrae, B. J. (2009). *PISA science 2006: Implications for science teachers and teaching*. Arlington, VA: NSTA Press.

Cantrell, P., Pekcan, G., Itani, A., & Velasquez-Bryant, N. (2006). The effects of engineering modules on student learning in middle school science classrooms. *Journal of Engineering Education*, 95(4), 301-309. doi:10.1002/j.2168-9830.2006.tb00905.x

Carr, R. L., Bennett, L. D., & Strobel, J. (2012). Engineering in the K-12 STEM standards of the 50

- U.S. states: An analysis of presence and extent. *Journal of Engineering Education*, 101(3), 539-564. doi:10.1002/j.2168-9830.2012.tb00061.x
- Clark, A. C., & Ernst, J. V. (2008). STEM-based computational modeling for technology education. *Journal of Technology Studies*, 34(1), 20-27.
- Crismond, D. P., & Adams, R. S. (2012). The informed design teaching and learning matrix. *Journal of Engineering Education*, 101(4), 738-797. doi:10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x
- Custer, R. L., & Daugherty, J. (2009). Professional development for teachers of engineering: Research and related activities. *The Bridge*, 39(3), 18-24.
- Daugherty, J. L. (2009). Engineering professional development design for secondary school teachers: A multiple case study. *Journal of Technology Education*, 21(1), 10-24.
- Dayton Regional STEM Center. (2011). *STEM education quality framework*. Retrieved from <http://daytonregionalstemcenter.org/wp-content/uploads/2012/07/Final-Framework-copyrighted.pdf>
- Dixon, R. A., & Brown, R. A. (2012). Transfer of learning: Connecting concepts during problem solving. *Journal of Technology Education*, 24(1), 2-16.
- Drake, S. M. (1998). *Creating integrated curriculum: Proven ways to increase student learning*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Dugger, W. E. (2010, December). *Evolution of STEM in the United States*. Paper presented at the 6th Biennial International Conference on Technology Education Research, Gold Coast, Queensland, Australia.
- Fishman, B. J., Marx, R. W., Best, S., & Tal, R. T. (2003). Linking teacher and student learning to improve professional development in systemic reform. *Teaching and Teacher Education*, 19(6), 643-658. doi:10.1016/S0742-051X(03)00059-3
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrate curriculum. *Educational Leadership*, 49(2), 61-65.
- Foster, P. (1994). Must we MST? *Journal of Technology Education*, 6(1), 76-84.
- Gardner, D. P., Larsen, Y. W., Baker, W. O., Campbell, A., Crosby, E. A., Foster, C. A. ... Wallace, R. (1983). *A nation at risk: The imperative for educational reform* (A report to the Nation and the Secretary of Education). Washington, DC: The National Commission on Excellence in Education, United States Department of Education.
- Haveice, W. (2009). The power and promise of a STEM education: Thriving in a complex technological world. In International Technology and Engineering Educators Association (Ed.), *The overlooked STEM imperatives: Technology and engineering* (pp. 10-17). Reston, VA: Editor.

- Herschbach, D. R. (2011). The STEM initiative: Constraints and challenges. *Journal of sTEm Teacher Education*, 48(1), 96-122.
- Indiana Department of Education. (2012). *High school STEM full implementation*. Retrieved from <http://www.doe.in.gov/sites/default/files/ccr/high-school-stem-implementationv2.pdf>
- International Technology and Engineering Educators Association. (2007). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology*. Reston, VA: Author.
- Kelley, T. R. (2008). Cognitive processes of students participating in engineering-focused design instruction. *Journal of Technology Education*, 19(2), 50-64.
- Kelley, T. R. (2010). Staking the claim for the 'T' in STEM. *The Journal of Technology Studies*, 36(1), 2-11.
- Kelley, T., Brenner, D. C., & Pieper, J. T. (2010). *PLTW and Epics-High: Curriculum comparisons to support problem solving in the context of engineering design*. Utah, UT: National Center for Engineering and Technology Education.
- Lantz, H. B., Jr. (2009). *Science, technology, engineering, and mathematics education what form? What function?* Retrieved from <http://dornsife.usc.edu/assets/sites/1/docs/jep/STEMEducationArticle.pdf>
- Lewis, T. (2004). A turn to engineering: The continuing struggle of technology education for legitimization as a school subject. *Journal of Technology Education*, 16(1), 21-39.
- Lewis, T. (2005). Coming to terms with engineering design as content. *Journal of Technology Education*, 16(2), 37-54.
- Mativo, J., & Wicklein, R. (2011). Learning effects of design strategies on high school students. *Journal of STEM Teacher Education*, 48(3), 66-92.
- McComas, W. F., & McComas, K. K. (2009). The contributions of science and mathematics to STEM education: A view from beyond the disciplines of technology and engineering. In International Technology and Engineering Educators Association (Ed.), *The overlooked STEM imperatives: Technology and engineering* (pp. 26-35). Reston, VA: Editor.
- McMullin, K. (2014). Identifying perceptions that contribute to the development of successful project lead the way pre-engineering programs in Utah. *Journal of Technology Education*, 26(1), 22-46.
- Mehalik, M. M., Doppelt, Y., & Schuun, C. D. (2008). Middle-school science through design-based learning versus scripted inquiry: Better overall science concept learning and equity gap reduction. *Journal of Engineering Education*, 97(1), 71-85. doi:10.1002/j.2168-9830.2008.tb00955.x
- Merrill, C., Custer, R. L., Daugherty, J., Westrick, M., & Zeng, Y. (2009). Delivering core

- engineering concepts to secondary level students. *Journal of Technology Education*, 20(1), 48-64.
- Moore, T. J., Miller, R. L., Lesh, R. A., Stohlmann, M. S., & Kim, Y. R. (2013). Modeling in engineering: The role of representational fluency in students' conceptual understanding. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 141-178. doi:10.1002/jee.20004
- Morrison, J., & Bartlett, R. (2009). STEM as curriculum: An experiential approach. *Education Week*, 23, 28-31.
- Moye, J. J., Dugger, W. E., & Starkweather, K. N. (2012). The status of technology and engineering education in the United States: A fourth report of the findings from the States (2011-12). *Technology and Engineering Teacher*, 71(8), 25-31.
- Moye, J. J., Dugger, W. E., & Starkweather, K. N. (2014). "Learning by doing" research introduction. *Technology & Engineering Teacher*, 74(1), 24-27.
- National Academy of Engineering, & National Research Council. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Governors Association. (2007). *Building a science, technology, engineering and math agenda*. Retrieved from <http://www.nga.org/files/live/sites/NGA/files/pdf/0702INNOVATIONSTEM.PDF>
- National Research Council. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2011). *Successful K-12 STEM education: Identifying effective approaches in science, technology, engineering, and mathematics*. Washington, DC: The National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- North Carolina Department of Public Instruction. (2013). *STEM attribute implementation rubric: High school*. Retrieved from https://www.ncsmt.org/wp-content/uploads/2013/09/STEMAttributesRubric_HIGH_v4_Aug2013_v1.pdf
- Ortiz, A. M. (2015). Examining students' proportional reasoning strategy levels as evidence of the impact of an integrated LEGO robotics and mathematics learning experience. *Journal of Technology Education*, 26(2), 46-69.
- Pinelli, T. E., & Haynie, W. J., III. (2010). A case for the nationwide inclusion of engineering in the K-12 curriculum via technology education. *Journal of Technology Education*, 21(2), 52-68.

- Pitt, J. (2009). Blurring the boundaries-STEM education and education for sustainable development. *Design and Technology Education: An International Journal*, 14(1), 37-48.
- Project Lead The Way. (2014). *Our programs*. Retrieved from <https://www.pltw.org/our-programs>
- Ritz, J. M., & Fan, S.-C. (2015). STEM and technology education: International state-of-the-art. *International Journal of Technology and Design Education*, 25(4), 429-451. doi:10.1007/s10798-014-9290-z
- Roberts, A., & Cantu, D. (2012, June). *Applying STEM instructional strategies to design and technology curriculum*. Paper presented at the PATT 26 Conference, Stockholm, Sweden.
- Rosenthal, D. B. (1989). Two approaches to STS education. *Science Education*, 73(5), 581-589. doi:10.1002/sce.3730730506
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26.
- Schnittka, C. G., & Bell, R. L. (2011). Engineering design and conceptual change in science: Addressing thermal energy and heat transfer in eighth grade. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1861-1887. doi:10.1080/09500693.2010.529177
- Science Foundation Arizona. (2012). *The STEM immersion matrix for schools and districts*. Retrieved from http://www.paulofreireschool.org/wp-content/uploads/2014/02/STEM_Matrix.pdf
- Silk, E. M., & Schunn, C. D. (2008, January). *Core concepts in engineering as a basis for understanding and improving K-12 engineering education in the United States*. Paper presented at the National Academy of Engineering/National Research Council workshop on K-12 Engineering Education, Washington, DC.
- Sorenson, B. (2010). *Alaska S.T.E.M.: Education and the economy report on the need for improved science, technology, engineering and mathematics education in Alaska*. Retrieved from <http://www.jedc.org/forms/STEMEducationJEDCFinal.pdf>
- Toulmin, C., & Groome, M. (2007). *Building a science, technology, engineering, and math agenda*. Retrieved from ERIC database. (ED496324)
- Wells, J. G. (2013). Integrative STEM education at Virginia Tech: Graduate preparation for tomorrow's leaders. *Technology & Engineering Teacher*, 72(5), 28-35.
- Wendell, K. B., & Rogers, C. B. (2013). Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 513-540. doi:10.1002/jee.20026
- Wicklein, R. C., & Schell, J. W. (1995). Case studies of multidisciplinary approaches to integrating mathematics, science and technology education. *Journal of Technology Education*, 6(2), 59-76.

- Wiggins, G., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design* (2nd ed.). Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Williams, P. J. (2011). STEM education: Proceed with caution. *Design and Technology Education*, 16(1), 26-35.
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12-19. doi:10.1111/j.1949-8594.2012.00101.x

Journal of Research in Education Sciences

2016, 61(2), 153-183

doi:10.6209/JORIES.2016.61(2).06

Core Value and Implementation of the Science, Technology, Engineering, and Mathematics Curriculum in Technology Education

Szu-Chun Fan

Department of Technology Application and Human Resource Development, National Taiwan Normal University

Kuang-Chao Yu

Department of Technology Application and Human Resource Development, National Taiwan Normal University

Abstract

The integrative science, technology, engineering, and mathematics (STEM) curriculum has become the primary focus of American education reform, as well as a new curriculum development trend in some developed countries in recent years. This study sought to develop a holistic understanding of the core value of the STEM curriculum and its implementation regarding American technology education. This study employed a qualitative in-depth interview method to explore and describe the educational philosophy and core value, curriculum design models, and instructional approaches involved in implementing the STEM curriculum. Eleven technology education experts from the United States were interviewed individually. The results are summarized as follows: (1) From the perspective of American technology education, the STEM curriculum is an integrative teaching and learning approach. (2) The core value of the STEM curriculum is to provide a balance between hands-on learning and minds-on learning. (3) Technological and engineering concerns should be the driving force of STEM-based projects; specifically, “engineering design” should be the foundation, and “science inquiry” and “mathematics analysis” should be the key capabilities for integrating and applying knowledge. From the results, three recommendations are offered for Taiwanese technology education: (1) The inclusion of “design and make” in the Taiwanese technology education curriculum should be considered as the major content for developing students’

Corresponding Author: Kuang-Chao Yu, E-mail: kcyu@ntnu.edu.tw

Manuscript received: Jan. 12, 2015; Revised: Jul. 9, 2015; Accepted: Jul. 14, 2015.

problem-solving abilities, whereas “engineering design” should be the core content used in high school to develop students’ problem-solving abilities with STEM knowledge; (2) Technology education should provide students with more learning experiences in design, inquiry, analysis, testing, and evaluation; (3) The key to successfully implementing the STEM curriculum is to equip technology teachers with an understanding of the curriculum and the involved teaching approaches.

Keywords: STEM curriculum, technology education, curriculum design