

影片註記學習系統在機構學課程之應用與評估

The Application and Assessment of Video Annotation Learning System in Mechanisms Curriculum

陳信欽、賴嘉宏、蘇彥寧、簡佑丞、蘇育正、黃悅民*、劉嘉茹

*國立成功大學工程科學系

國立高雄師範大學科學教育研究所

Hsin-Chin Chen, Chia-Hung Lai, Yen-Ning Su,

Yu-Cheng Chien, Yu-Zheng Su, Yueh-Min Huang, Chia-Ju Liu*

*Department of Engineering Science, National Cheng Kung University

Graduate Institute of Science Education, National Kaohsiung Normal University

摘要

二十一世紀已經成為一個知識經濟的時代，各國的產業界皆積極發展創新產品來贏得消費者的肯定。因此，培養同時具備創意及工程背景的人才即成為政府當前的教育方針。目前工程教育係為機械工程之基礎學科，而機構學又為機械工程最重要的基礎知識之一。然而，受限於成本限制，大部分的學校多礙於此而無法採購大型的機械裝置，故而一般教學情境中教師多藉由課本作為機構學的授課工具，用以講授課程。然而，受限於紙本圖書的物理限制，課本上的機構模型皆僅能以靜態圖片來呈現內容，使致難以將機構的運作進行完整呈現，而導致學生可能無法理解實際運作過程。有鑑於此，為了加強學生對機構運作過程的瞭解，利用多媒體影片、動畫輔助學生學習機構的運作過程即有其必要性。因此，本研究提出一個影片註記學習系統以嘗試用於大專院校的機構學課程。透過此系統，教師可運用影片註記的功能強調機構運動的重點，學生亦可利用註記系統標明學習機構的問題，以提供師生有別以往的學習體驗。待系統發展畢，本研究即透過科技接受模式來探討學生使用影片註記系統的滿意度。研究結果顯示學生對於影片註記系統有良好的接受態度及使用意圖，而此結果則可作為未來導入新興科技於機構學教學活動之參考。

關鍵字：影片、註記、機構學**Abstract**

The 21st century has become the era of a knowledge-based economy, and the industrial sectors of all countries are actively developing innovative products to win the consumers' recognition. Therefore, cultivating the talents with creative and engineering background becomes the most important education policy for the government. The mechanical engineering disciplines are the main basic knowledge of engineering science education, and Mechanisms is the most important curriculum in Mechanical Engineering. Due to most schools are unable to purchase large mechanical devices because of cost constraints, teachers are used to teach Mechanisms with textbooks. However, the model of machines are presented by static pictures in textbooks, and it is

difficult to fully present action of the machine, resulting in student may misunderstand the action of the machine in learning process. In order to enhance students to understand the operation process of machines, it is necessary to use digital videos and animations to observe the process of mechanical operation. Therefore, this study proposes a video annotation learning system for learning Mechanisms curriculum. Teachers can emphasized the focus of the mechanical motion process with multimedia annotation system, and students can use annotation tools pointed out the learning problems, providing instructional references for teachers. Meanwhile, the study uses technology acceptance model to develop questionnaire to explore the learning satisfaction of the students to use this video annotation learning. The questionnaire results showed students have a well accepted attitude and behavioral intentions for this system.

Keyword: Video, Annotation, Mechanisms

壹、前言

機電系統工程教育係以機械工程領域的學科為背景，其著重於培養實作、問題解決及系統整合能力的專業人才（Anderson, Pelz, Ringel, Clymer, & Collins, 1998; Lord, 2001）。過往曾有學者指出機械工程係為工程領域中重要的學科領域之一（Yan & Chen, 1985），而在人們的日常生活中，諸如：輪船、汽車、機車、自行車、飛機及工業機具等皆與機械工程有直接的關聯。由於機械系統（例如：齒輪、槓桿、軸承、鏈、螺旋機構以及凸輪機構等）皆須經由機械元件傳遞動能，因此，培養機械工程領域的學生瞭解機械元件的基本觀念即至關重要。在機械工程領域中，機構學為介紹機械元件基本觀念的一門基礎課程。此課程透過運動學、力學和數學來闡述機械的運動規律。關於機構學的起源係於十八世紀第一次工業革命的時期，逐漸自機械力學中另外形成一門專業學科。1960年代以後，機構學的研究方法開始從圖解法轉變為解析法和數值分析法，並採用建模技術應用到產品概念設計。機構學主要是研究機構動力學、機械彈性動力學、以及受力分析等部分。許多科技的產業中，如飛航技術、汽車工業、機器人及消費性電子產品等，多經由機構學的概念以設計裝置的運動。由於機構學為機械工程領域的基礎學科，因此，掌握機構學的基本概念即是機械工程人才的基本條件（Yan, 1998）。

由於一些大型機械的教學模型礙於成本較高，諸多大專院校可能受限於經費而無法全數採購，因此在傳統機構學的教學中，多以課本為教學媒材，並搭配投影片於教室來進行教學活動。然而，傳統教科書上所呈現的機械模型皆是採靜態圖片的方式，因此較難將機構運作的方式作動態的呈現。而為了改善此類問題，並促使學生能自教材中瞭解機構動態運作的完整過程，近年來，諸多課程已嘗試透過影片、動畫及電腦模擬等方式來進行教學活動，並取得一定的教學成效（Mu, 2010）。

有鑒於多媒體技術有助動態呈現機構運作的模式，因此本研究嘗試結合動態媒體融入於機構學課程中，以盼促進學生從中掌機構運作的原理與模式。然而，因為機構學課程的需求有別於一般靜態性質的課程，其教材除文字的描述外，一般而言亦會透過動態影片的使用，使學生經由觀看影片中機構的運作，進而瞭解其原理。但曾有相關研究指出動態影片在學習效果上不一定比靜態圖片佳（Hegarty, Kriz, & Cate, 2003）。Mayer 與 Moreno（2003）進一步認為影片在播放的過程中，學習者由於短時間內無法接收大量的資訊，恐導致學習效果不佳。

從認知負荷理論得知，動態影片對於學習者而言容易產生較高的外在認知負荷，進而影響其心理活動與知識建構。同時，動態影片的設計若過於複雜或撥放速度太快，則學習者亦將無法準確地掌握其內容 (Tversky, Morrison, & Betrancourt, 2002)。

有鑑於此，為能有效解決動態影片可能造成學習者過高的外在認知負荷，因此本研究嘗試於影片學習系統中納入註記功能，提供傳統的文字註記、圖形註記，以提供學習者經由註記策略以掌握學習內容，進而發揮多媒體影片在教學上的優勢。同時，本研究亦嘗試採用科技接受模式來發展問卷，以分析學習者使用註記工具的知覺好玩性、知覺有用性、知覺易用性、接受態度與使用意圖的關聯，瞭解註記是否能有效使學習者掌握影片的重點，進而提供建議予現場教師，作為後續調整教學活動之參考。

貳、文獻探討

一、機構學的發展與教學模式

近代的工業發展，隨著機械產業的發展，帶動電子、資訊、光電產業等相關產業的迅速發展，其因無他，只要需要有生產的工業都可以看到機械，因此機械又稱為工業之母更是毋庸置疑。而組成這些生產機械的最基本的成份就是機械元件，而將兩個以上的機械元件組成後的稱為機構，針對機構的設計部份亦或是運動的部份，目前應用的領域相當的多。在學術的發展上，將此一針對機構設計或運動的學科稱為機構學 (Martin, 1982)，又稱機動學 (Mechanisms)，這是一門發展歷史相當悠久的一個學科，其主要的探討範疇在於機構的組成、機構之間的相對關係、機構的設計方式、如何分析機構的運動等等 (Mabie, 1987)，不外乎都在環繞在這些問題上進行討論。

目前的大專院校內的教學方式，多以課堂講述的方式進行教學，另外也有教授機構學的老師透過電腦簡報的方式進行教學，亦有學校成立古機械研究中心用以存放機構，透過實體的機構讓學生進行機構學的學習。但是大多數的學校因為經費有限，無法收藏多樣的機構，若是能將機構學以多媒體影片的方式呈現，必能以較方便的形式使學生取得學習資源用以學習，但是如果要以電子書的方式呈現，則要考慮到學生學習機構學時的學習困難點，才能夠有效的讓學生學習機構學課程。過去在機構學的學習上，學生大多因為無法瞭解該機構的動作方式，亦或是無法模擬出該機構的運動形態，學生學習極需要一套可以讓其一目瞭然的系統，以輔助學生更容易的學習機構學的系統，雖然目前有部份教師致力於建構動態的機構模擬動畫，然而對於廣泛機構學而言尚屬杯水車薪。是故，若能提供一個以學習策略為導向的學習平台，或有助於提昇學生的學習成效 (陳澄，2010)。

二、認知負荷

認知負荷理論即是指學習者接受到外來的訊息，透過認知系統接收資訊，會有一定的認知負荷量，若學習者所接觸的學習教材，教材本身的困難度及呈現方式，造成學習者的認知負荷量過載，即會影響學生學習狀態 (Sweller, 1998)。認知負荷主要可以分為三種型態，第一種為內在認知負荷，主要是強調教材本身的困難度，關於教材的課程內容，對於學習者本身程度的相關性。第二種為外在認知負荷，主要是指教材內容的呈現方式不同，會影響學習

者的學習成果，例如：相同的教材內容以文字、圖片、影片等方式呈現，學習者也會有不同的學習成效。第三種為增生認知負荷，主要指出學習者必須付出多少心力才能理解教材內容。因此，一些學者指出教材的設計必須要設計符合學習者本身程度的內容，同時以學習者偏好的教材呈現方式來設計，這樣學習者才可以達到良好的學習成效(Mayer & Moreno, 2003; Paas, Renkl, & Sweller, 2003)。

三、註記系統

在傳統學習過程中，「註記」係屬學習策略相當重要的一環。若能在大量的學習資料中察覺重點所在，並從事諸如重點劃記或撰寫筆記之類的學習活動，則將較未具運用註記策略技能的學生獲得更佳的學習成效(Kırkgöz, 2010)。Wolfe (2002)指出註記不但可幫助學生學習，學生亦可透過註記以提高其學習效率。Ball, Franks, Jenkins, McGrath, 與 Leigh (2009)也提及註記可幫助學習者對教材內容的理解，並證實當學習者進行學習活動時，若能在學習媒材做有意義的註記，將對學習者的學習成效有所助益。因此，「註記行為」在整體學習活動中，扮演著不可獲缺的重要角色。漸漸地，隨著資訊科技的快速演進，學習的型式也從實體的紙本教材進化成虛擬的數位教材，並搭配相關的註記功能來輔助學習者進行學習。

隨著現代社會的數位化，學生學習方式也有所改變，原本在紙本書籍或筆記本上註記筆記的動作目前已可透過數位科技來實現相關功能。數位化後的電子教材能夠具備如：註記、分享或共同進行註記等功能，與傳統紙本註記方式相比之下擁有像是不會破壞原始教材、可即時與同儕或老師分享等優點。目前的學習系統多具備註記功能，可見註記功能是學習系統不可或缺的重要功能。在學術研究當中也有許多研究人員在探討運用數位教材的註記功能對學習績效的影響(Hoff, Wehling, & Rothkugel, 2009; Su, Yang, Hwang, & Zhang, 2010)，其中又以語言學習結合註記功能的研究多不勝數。因此，將多媒體影片教材融入教學情境之中的學習方式，是許多研究結果支持能有效提升學生學習成效和學習意願的教學情境。使得有越來越多老師也使用多媒體影片教材並搭配數位式的註記系統來進行教學。有鑒於此，基於使用多媒體教材來講解課程內容的便利性，本研究所要探討的是將機構學課程套用在使用多媒體影片教材的學習情境下對學生學習成效的影響。

四、科技接受模式

近年來，科技接受模式漸漸被運用於數位學習相關研究，Raaij 與 Schepers (2008)將科技接受模式運用在虛擬數位學習環境，結果同樣證實知覺有用對於系統使用有顯著影響，而知覺易用則透過知覺有用，間接影響系統的使用。即使套用於一般工作場合之 e-learning 系統驗證，科技接受模式同樣能夠預測使用者對於 e-learning 的使用行為意向，尤其 Liaw (2007)證實知覺有用對行為意向有很大的影響，科技接受模式如圖 1 所示。

隨著科技進步，網路學習環境的滿意度常常與教學平台的使用及成效習習相關。從學習者的認知去探討學習者對 Moodle 系統學習的滿意程度與學習效益的相關因素，由實驗證實認知有用性與易用性，皆會對學習效果造成不同層面之影響(潘朝明, 2008)。陳玉婷、蔡立元 (2009)以科技接受模式的觀點來探討資訊科技融入教學的效益分析。研究指出，影響學習效益最大因素在於教材特性。其次才是使用態度、認知有用、學習動機等。

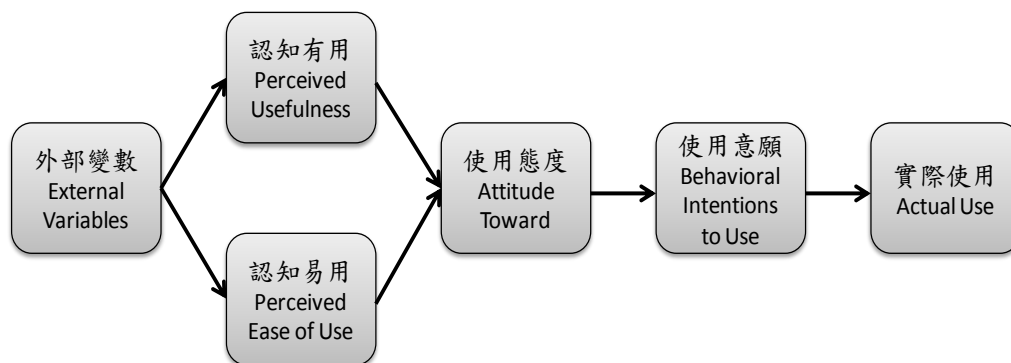


圖 1、科技接受模式 (TAM) (David, 1989)

張金鐘 (2002) 就科技接受模式的觀點，說明學生與教師使用數位教材的態度。哪些因素會影響教師與學生使用數位教材的態度與傾向，這些將有助於促進資訊融入教學的成效。此結果亦顯示，數位產品的易用性與有用性為影響學習成效的主要關鍵。

參、影片註記學習系統

本研究為了讓學生在看影音教材時有更好的學習成果，於是建構影片註記學習系統來輔助學生學習，此影片註記學習系統方便使用者加入註記而不需要複雜的過程，提供各式各樣的傳統註記工具在圖形使用者介面 (GUI)。圖 2 為影片註記系統的圖形使用者介面，主要透過 Adobe Flash Professional CS5 來開發。GUI 主要由三個部分組成，影片顯示區域、註記工具欄、註記時間表。

這個影片註記系統介面的主要目的如下：(1) 在學習材料中加入不同顏色的圖形和文本註記來強調重要的內容，並允許這些註記在正確的時間出現在屏幕上。(2) 使學習者能夠清除以前的註釋設置了一個新的註釋。大多數學生用圖形和文字註記來突顯出重要的內容，這些註記將有助於他們作重點複習。在影片註記系統的中間為影片顯示區域，影音教材在此播放讓學習者學習，學習者可以在影片顯示區域上做任何的註記，以及停止目前播放中的影片。註記工具欄提供傳統的註記功能，如鉛筆、線條、圓形、矩形、橡皮擦和文字工具。使用者可以依照自己的想法在影片教材上加上各種的註記。在此系統中，鉛筆工具可以讓學習者作隨意地畫線。線跟箭頭工具可以繪製直線和箭頭。矩形跟圓形工具可以讓學習者在影片的重要區域做上記號。文字工具提供學習者輸入文字。橡皮擦可以讓學習者用此工具清除不必要的註記。

此外，在影片顯示區域，每個功能提供不同的顏色來滿足學習者的繪製需求。註記時間表能記錄註記時間和註記工具類型，讓使用者輕易地在影片上察看各種註記。加上註記之後，影片顯示區域會展示加上去的註記。

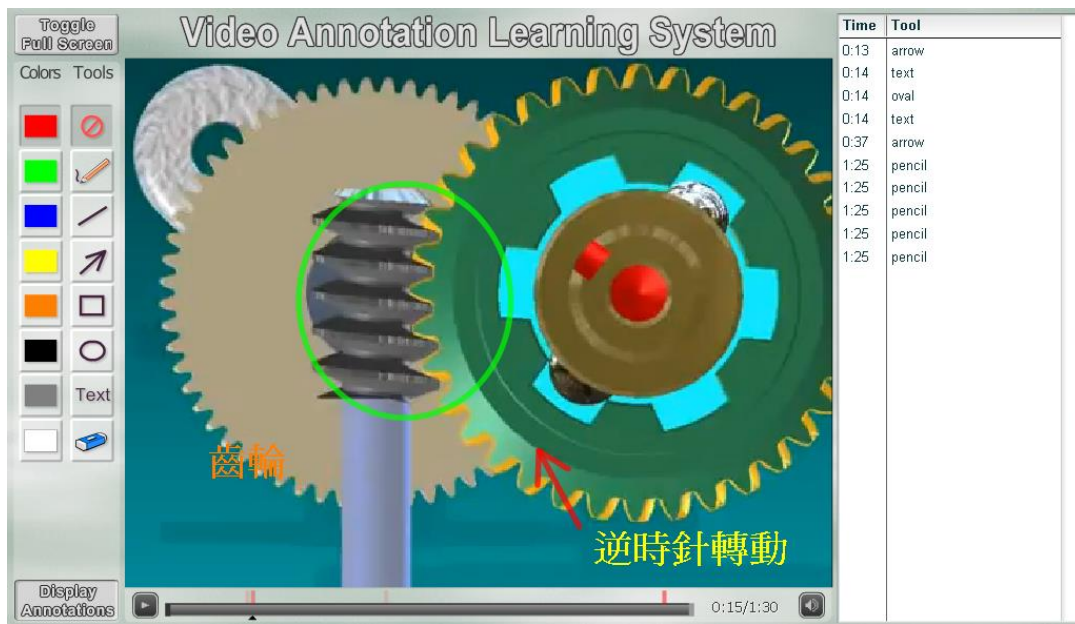


圖 2、影片註記系統介面

肆、研究方法

本研究為了證實影片註記學習系統之接受度，將以 Davis (1989) 提出的科技接受模式進行學習系統的評估。本研究除了原有的科技接受模式之構面，另加入一外部變數「知覺好玩性」(Igbaria, 1994)，如圖 3 所示。此科技接受模式構面說明如下：(1) 知覺好玩性：對於互動式學習環境感到有趣、愉悅之感受。(2) 知覺易用性：個人相信使用特定系統所不需努力 (effort) 的程度。(3) 知覺有用性：個人相信使用特定系統將會提高他/她工作表現 (performance) 的程度。(4) 接受態度：表示個人對資訊科技的感受，當系統易用性以及系統有用性程度愈高，則讓他人使用態度趨於正面。(5) 使用意圖：表示個人是否有意願再採用此資訊科技的意向。

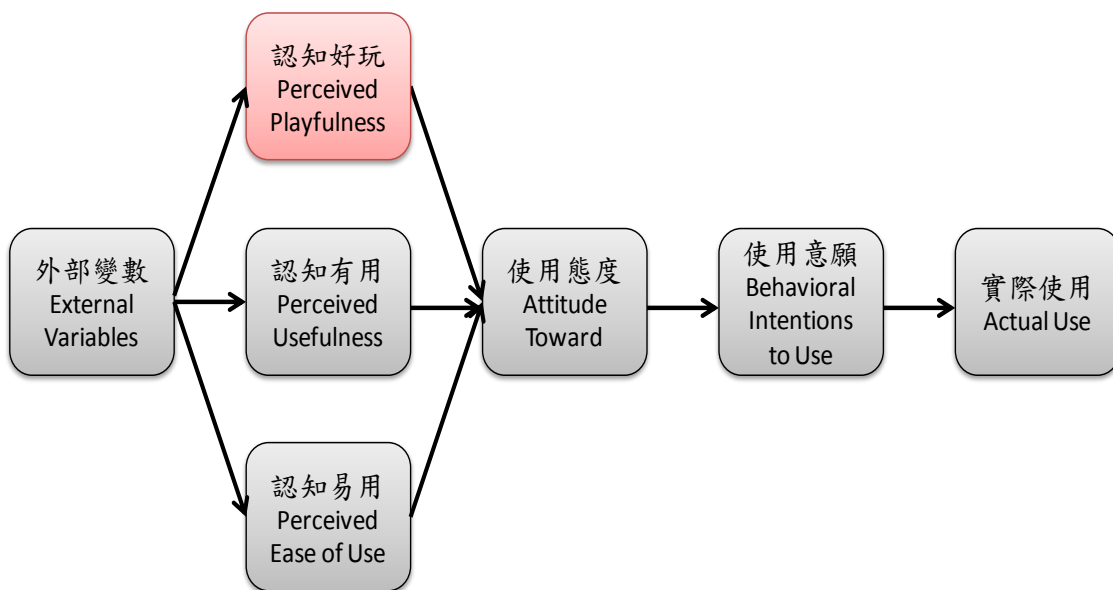


圖 3、本研究所採用之科技接受模式

本研究為了評估影片註記學習系統之效用，邀請 20 位工程領域科系且熟悉基礎電腦操作的大學部學生來參與實驗。在真正進入實驗操作前研究者將事先說明整個活動的流程以及讓參與者熟悉學習系統。之後進入學習過程，參與者則使用影片註記系統學習機構學，最後再經由填答科技接受模式問卷讓參與者評估對此影片註記系統的接受度。科技接受模式問卷共 20 題，分為 5 個構面，包含：知覺好玩性、知覺有用性、知覺易用性、接受態度與使用意圖。問卷採用李克特 5 點量表，由高至低分別為非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意。而此問卷整體的 Cronbach's α 為 0.79，顯示此問卷具備一定的信度。

伍、結果與討論

表 1 顯示科技接受模式問卷的結果。在知覺好玩性方面，總平均值為 4.05。最高平均得分為 4.15 的項目，“使用影片註記系統學習機構學，我不會注意週遭環境是否吵雜。”及“使用影片註記系統學習機構學可提升我學習興致。”，而最低的是 3.9 “使用影片註記系統學習機構學是一件趣味的的事情。”這些結果顯示，學生認為使用影片註記學習系統來學習機構學是非常有趣味性，達到寓教於樂的目的。對於知覺有用性方面，總平均達到 3.98。最高的平均得分為 4.3，為“我覺得使用影片註記系統學習機構學可提升學習成效。”，而最低的是 3.45，為“我覺得使用影片註記系統學習機構學可提升我的效率。”這一結果表示，學生普遍同意使用影片註記系統學習機構學的有效性，這個結果與一些文獻結果相似，例如:Wolfe (2002) 指出註記不僅幫助學生學習，學生亦可透過註記以提高其學習效率。

知覺易用性方面，總平均值為 4.04。最高的平均得分為 4.1 的項目，“我覺得透過影片註記系統讓機構學學習活動更容易。”，而最低的是 3.95 “我覺得影片註記系統是容易使用的。”這些結果顯示，學生接受影片註記學習系統的介面。對於接受態度方面，總平均得分為 4.08。最高的平均得分是 4.25，“我覺得使用這樣的影片註記系統來協助學習機構學是一個很好的方法。”，表示使用影片註記系統學習，提升接受態度。此外，開放式的問題為蒐集學生的回饋意見，學生表示影片註記系統，讓我更喜歡影片來學習機構學課程，結果表示大多數的學生認為提高學習興趣和促進學習成就，此結果與問卷的意見是一致的。在使用意圖方面，總平均得分為 3.96。最高的平均得分是 4.1，“我很高興使用這個影片註記系統在學習機構學上。”，表示使用影片註記系統，激發了學生學習動機，這個結果與一些文獻皆認為註記可以提升學生的學習動機(Hoff, Wehling, & Rothkugel, 2009; Su, Yang, Hwang, & Zhang, 2010)。一些學生表示，這樣的學習系統，使自然的機構學課程更有趣和吸引人的。學生希望這樣的操作方式可以應用到其他課程，使學習活動會更愉快。他們認為機構學課程覺得為一個無聊的課程，但他們發現，當然愉快的影片學習為主的學習方法，因此，他們認為同樣的效果會出現在其他課程。

表 1、科技接受模式問卷之描述統計摘要表

構面	題項	N	Mean	SD
知覺	使用影片註記系統學習機構學，我會忘記時間過多久。	20	4.00	0.80
	使用影片註記系統學習機構學，我不會注意週遭環境是否	20	4.15	0.93

好	吵雜。			
玩	使用影片註記系統學習機構學是一件趣味的的事情。	20	3.90	0.91
性	使用影片註記系統學習機構學可提升我學習興致。	20	4.15	0.59
知	我覺得使用影片註記系統學習機構學可提升學習成效。	20	4.30	0.73
覺	我覺得使用影片註記系統學習機構學可改善學習能力。	20	4.25	0.85
有	我覺得使用影片註記系統學習機構學是有用的。	20	3.90	0.72
用	我覺得使用影片註記系統學習機構學可提升我的效率。	20	3.45	0.83
性				
知	我覺得影片註記系統學習介面是清楚的。	20	4.05	0.76
覺	我覺得影片註記系統是容易使用的。	20	3.95	0.95
易	我覺得影片註記系統是操作簡單方便。	20	4.05	1.05
用	我覺得透過影片註記系統讓機構學學習活動更容易。	20	4.10	1.21
性				
接	我會保持正面的態度看待使用這個影片註記系統用在學習	20	4.20	0.61
受	機構學上。			
態	我很滿意這個影片註記系統用在學習機構學上。	20	3.95	0.95
度	我覺得使用這樣的影片註記系統來協助學習機構學是一個	20	4.25	0.79
	很好的方法。			
	我喜歡使用這樣的影片註記系統來進行學習機構學。	20	3.90	1.07
使	我願意使用這個影片註記系統在學習機構學上。	20	3.90	0.91
用	我很高興使用這個影片註記系統在學習機構學上。	20	4.10	0.91
意	在未來我傾向於增加這個影片註記系統的使用頻率。	20	4.05	0.95
圖	我希望在未來我可以繼續使用這個影片註記系統進行學習	20	3.80	1.01
	機構學。			

陸、結論

本研究發展了影片註記學習系統應用於機構學課程，讓學生可以實際去操作，體驗影片註記的感受，並將學習重點記錄於多媒體影片上，來提升機構學課程效率，也提供學習者一個生動有趣的學習經驗。為了評估影片註記學習系統應用機構學課程對學生的接受度，發展問卷來評估系統的有效性即有所必要。本研究以科技接受模式為主要的研究模式，包含知覺易用性、知覺有用性、接受態度、使用意圖並新增知覺好玩性。在實驗過程中，有 20 位學生參與實驗，在真正進入實驗活動前研究者將會事先說明整個活動的流程，以及讓參與者熟悉此學習系統。參與學習活動時，參與者使用影片註記系統學習機構學知識，最後再填寫科技接受模式問卷，讓參與者評估使用影片註記學習系統的接受度。問卷結果顯示 5 個構面的分數均大於整體量表的平均數，此一結果顯示學生普遍同意影片註記學習系統應用於機構學課

程的有用性、好玩性、易用性並有良好的接受態度及使用意圖。而此結果即可提供後續教學者導入影片註記學習系統輔助相關工程學科之參考。未來研究我們將使用準實驗設計來探討學生使用影片註記系統應用在機構學課程的學習成效。

誌謝

本研究承蒙國科會補助研究經費（計劃編號：NSC 101-2511-S-041-001-MY3, NSC 100-2631-S-006-002-, NSC 100-2511-S-006-015-MY3, NSC 100-2511-S-006-014-MY3 and NSC 100-2631-S-011-003-），使研究得以順利完成，謹此誌謝。

參考文獻

一、中文部份

- 張金鐘（2002）。以科技接受模式探討教師與學生採用數位化教材的態度（已出版之碩士論文）。國立中山大學。高雄市。
- 陳玉婷、蔡立元（2009）。從科技接受模式觀點探討資訊科技融入學習。台南科大學報（人文管理類），28，217-236。
- 陳澄（2010）。「雲端策略：雲端運算與虛擬化技術」，天下雜誌股份有限公司。
- 潘朝明（2008）。以科技接受模式探討 Moodle 應用於高中音樂課程教學之學習滿意度及學習成效之研究（未出版之碩士論文）。國立高雄師範大學。高雄市。

二、英文部份

- Anderson, B. L., Pelz, L. J., Ringel, S. A., Clymer, B. D., & Collins, S. A. (1998). Photonics laboratory with emphasis on technical diversity. *IEEE Transactions on Education*, 41(3), 194-202.
- Ball, E., Franks, H., Jenkins, J., McGrath, M., & Leigh, J. (2009). Annotation is a valuable tool to enhance learning and assessment in student essays. *Nurse Education Today*, 29(3), 284-291.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340.
- Hegarty, M., Kriz, S., & Cate, C. (2003). The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems. *Cognition and Instruction*, 21(4), 209-249.
- Hoff, C., Wehling, U., & Rothkugel, S. (2009). From paper-and-pen annotations to artefact-based mobile learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(3), 219-237.
- Igbaria, M., Schiffman, S. J., & Wieckowshi, T. S., (1994). The respective roles of perceived usefulness and perceived fun in the acceptance of microcomputer technology. *Behavior and Information Technology*, 13(6), 349-361.
- Kırkgöz, Y. (2010). Promoting students' note-taking skills through task-based learning. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 4346-4351.
- Liaw, S. S. (2007). Computers and the internet as a job assisted tool: based on the three-tire use model approach. *Computers in Human Behavior*, 23, 399-414.
- Lord, S. M. (2001). Optoelectronics experiments for first-year engineering students. *IEEE*

Transactions on Education, 44(1), 16-23.

Mabie, H. H., & Reinholtz, C. F. (1987). *Mechanisms and dynamics of machinery* (4th ed.): Wiley.

Martin, G. H. (1982). *Kinematics and dynamics of machines* (2nd ed.). NY, USA : McGraw-Hill.

Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.

Mu, X. (2010). Towards effective video annotation: An approach to automatically link notes with video content. *Computers & Education*, 55(4), 1752-1763.

Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.

Su, A., Yang, S. J. H., Hwang, W. Y., & Zhang, J. (2010). A Web 2.0-based collaborative annotation system for enhancing knowledge sharing in collaborative learning environments. *Computers & Education*, 55(2), 752-766.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.

Tversky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002). Animation: can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4), 247-262.

Van Raaij, E. M. & Schepers, J. J. L. (2008). The acceptance and use of a virtual learning environment in China. *Computers & Education*, 50(3), 838-852.

Wolfe, J. (2002). Annotation technologies: A software and research review. *Computers and Composition*, 19(4), 471-497.

Yan, H. S., & Chen, J. J. (1985). Creative design of a wheel damping mechanism. *Mechanism and Machine Theory*, 20(6), 597-600.

Yan, H. S. (1998). *Creative design of mechanical devices*. Singapore : Springer.

超大型積體電路技術實習課程學習成效評估之研究

The study on evaluating learning efficiency for the practice course of VLSI technology

許重傑

建國科技大學電子工程系

Chorng-Jye Sheu

Department of Electronic Engineering, Chienkuo Technology University

摘要

本研究首先建立一套半導體元件製程與特性分析之實習課程教材然後評估此教學系統之學習成效，透過簡至繁的漸進方式將半導體單元製程與元件特性模擬模組化以提升教學成效。本教學系統的內容主要涵蓋半導體元件製程與元件特性。課程教學的進行方式是以投影片簡報課堂講演、多媒體螢幕暨簡報錄影播放與動畫演示暨漸進式與模組化的半導體工藝電腦輔助設計軟體之電腦模擬實習，引導學生進行學習活動，讓學生對半導體元件製程與元件特性有全面性的認識。以合作學習（引導學生形成討論組/模擬實作組）為輔助，強化整體教學系統的效能。此教學系統落實於大學部之專業課程以提昇學生在半導體元件製程與元件特性上的專業認知而達到縮短知行差距（knowing-doing gap）之目標。本研究亦透過課程教學之實施逐步建立多媒體之課程教材、製程動畫、電腦模擬範例程式與操作示範動畫，將相關之課程教材與講義上傳至本校之數位學習系統亦可分享於網際網路中。學生於數位學習系統中“討論區”發表心得與討論，透過系統中“線上測驗”與“問卷”的功能對學生之學習成效進行評估以獲得即時之回饋訊息作為教學之改進。

關鍵字：半導體、製程、元件、工藝電腦輔助設計、模擬

Abstract

The objective of this study is first to build up an instructional system of the practice course of semiconductor-device manufacturing processes and characteristics analysis, and then evaluate the learning effectiveness of the system. Learning performance of students will be promoted step by step with modular simulation of semiconductor unit process and devices characteristics from simple to complicated cases. The instructional system includes the introduction of semiconductor-device manufacturing processes and devices characteristics. In order to help students completely comprehend the semiconductor-device manufacturing processes and devices characteristics, several teaching techniques including oral lectures with multimedia, animations, and software demonstration are introduced in this system. A progressive and modular method has been proposed to assist students in the learning of subjects on the techniques of semiconductor-device manufacturing processes and devices characteristics. In addition, the cooperative learning is used to increase the performances of the proposed instructional system. This instructional system was

implemented in undergraduate-level professional courses. According to the scheme of simulation program and the visualization effects shown on the screen, course materials with technology-literacy of semiconductor-device manufacturing processes and devices characteristics can be developed and reach the goal of reducing knowing-doing gap. The multimedia instructional materials, flash animations, demo program for simulation, and demo animations of computer simulation were developed while the courses are carrying on. These instructional materials can be uploaded on the e-learning platform of our school and shared as an opened digital instructional platform. Students can discuss the simulation results by using the “discussion area” on this e-learning platform, and the function of “online test” and “online questionnaire” of this e-learning platform can feedback the messages for teacher to improve this instructional system.

Keyword: Semiconductor, Manufacturing process, Device, Technology Computer Aided Design (TCAD), Simulation

壹、前言

一、研究背景

行政院經濟建設委員會（民 95）提出「我國 94-104 年科技人力供需分析」之研究報告顯示（第一部份：重要發現、第三項：短期科技人力供需推估），觀察未來 3 年重要產業科技人才調查推估結果，若在景氣持平發展的情況下，半導體產業平均每年缺 3,167 人最多，若在景氣樂觀的情況下，則仍以半導體產業平均每年缺 5,300 人最多，通訊產業平均每年缺 4,567 人次之，而其餘產業僅生技產業仍無缺口。觀察缺口變化趨勢，僅半導體產業及通訊產業缺口擴大，其餘產業缺口則逐年縮小。而有鑒於知識經濟快速發展，專業分工日趨精細，人力資本已成為經濟成長及產業發展的主要動能。故建構優質環境，提高人力素質，以適時支援產業所需之技術、專業及研發人才是刻不容緩之既定方針。

根據行政院經濟建設委員會（民 95）「2015 年經濟發展願景第一階段三年衝刺計畫（2007-2009 年）」的規劃，在套案一（產業發展）中所擬定之製造業重點產業發展目標中，半導體產業、平面顯示仍然扮演像當重要之角色，在套案三（產業人力）中提及我國產業正處轉型關鍵期，急需充裕的高階專業人力以支援產業轉型所需，因此，如何即時培育及延攬產業發展所需之技術／專業及研發人才，以促進科技創新及產業加值發展，實屬刻不容緩。在套案三中所提出的第三個策略－（扎根策略：強調務實致用教育，扎根技術及研發人力）－中說明以往高等教育人才培育分屬二條軌道，一般大學著重基礎科學與通才人力培育；技職教育則強調實務經驗與專門技術學習。近年來，隨著高等教育普及化，一般大學與技職教育逐漸融合，惟為因應未來經濟發展趨勢，高等教育人力培育有必要調整與產業密切結合，強化產業技術及研發人才之培育，以充裕產業所需人才。以建構職能導向、強調務實致用的培育及培訓措施，彌補科系變動趕不上產業動態需求的落差，培養具紮實技術和研發才能的人力，再創國家經濟發展高峰。

我國之技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色，然而建構一套完整的半導體元件製程與元件特性量測分析的實驗設備其所需之經費相當龐大，對於一般之私立技職院校難以在有限的教育資源中去建構昂貴的半導體元件製程與特性量測分析的實驗設備，因此在技

職院校大學部的學生通常只能從理論的講授中獲得半導體元件製程與元件特性量測分析等相關工藝技術之知識，而無法達到技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色之精神。私立科大的學生數學、理化方面的基礎學科能力相當的薄弱，以理論推導之傳統課堂講演成效十分不理想，學生學習興趣低落。由於半導體元件製程與特性分析之物理意義涉及許多數理方面的抽象概念，對於一般學生而言較不易瞭解。動畫模擬可以提供逼真的情境給學生反覆學習，有助於達成教學的目標。半導體工藝電腦輔助設計軟體之電腦模擬結合相關的理論教學同時藉由動畫模擬輔助教學之優點可提升學習者之學習成效。

配合國家之半導體、平面顯示製造業重點產業發展目標與因應未來經濟發展趨勢，本研究建立一套半導體元件製程與特性分析之教學系統，以簡至繁的漸進方式以及半導體單元製程、元件特性模擬模組化的方式，來提升教學成效，以培育出與光電、半導體產業密切結合之人才，強化光電、半導體產業技術及研發人才之培育，以充裕光電、半導體產業與學術界所需人才。

二、研究目的

根據行政院經濟建設委員會（民 95）「2015 年經濟發展願景第一階段三年衝刺計畫（2007-2009 年）」的規劃，在套案一（產業發展）中所擬定之製造業重點產業發展目標中，半導體產業、平面顯示仍然扮演像當重要之角色，而元件製程更是現今台灣半導體、平面顯示產業的主流。我國之技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色，然而建構一套完整的半導體元件製程與元件特性量測分析的實驗設備其所需之經費相當龐大，對於一般之技職院校（特別是私立之技職院校）更難以在有限的教育資源中去建構昂貴的半導體元件製程與元件特性量測分析的實驗設備，因此在技職院校大學部的學生通常只能從理論的講授中獲得半導體元件製程與元件特性量測分析等相關工藝技術之知識，而無法達到技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色之精神。

在精簡教育成本之前提與技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色的雙重考量之下，本研究建立一套半導體元件製程與特性分析之教學系統，以簡至繁的漸進方式以及半導體單元製程、元件特性模擬模組化的方式，來提升教學成效，培養光電、半導體產業與學術界所需之人才。課程中先以理論之說明為導引再輔以製程之電腦模擬，使學生熟習各項製程之操控因素並能進行製程整合，最後結合元件模擬軟體完成全段半導體元件之設計與製造流程。課程教學的進行方式，主要是以課堂講演與漸進式與模組化的電腦模擬教學課程，來引導學生進行學習活動，讓學生對半導體元件製程與元件特性有全面性的認識。並以合作學習（引導學生形成討論組/模擬實作組）為輔助，以強化整體教學系統的效能。此教學系統將落實於大學部之專業課程，本研究所提出的教學系統，能夠培養學生具有中華工程教育學會認證委員會之工程及科技教育認證規範（AC2010）八大核心能力（3.1.1~3.1.8），目的是希望透過一系列成果導向（outcomes-based）持續改進的評鑑方法，幫助學生得到最符合需要的知識與能力，也幫助教師掌握學生的學習狀態、作最有效率的教學。

本研究亦透過課程教學之實施逐步建立多媒體之課程教材、電腦模擬範例程式與操作示範動畫，並將相關之課程教材與講義上傳至本校數位學習系統。學生可透過數位學習系統中“討論區”發表心得與討論，同時透過系統中“線上測驗”與“問卷”的功能對學生進行每一單元之學習成效進行評估以獲得即時之回饋訊息作為教學之改進。

透過本研究中所開發之多媒體教材與 TCAD 模擬程式，搭配本校之數位學習系統將可探

討於不同教學方法之下學生對半導體元件製程與特性分析實習課程學習成效與學習滿意度之影響與差異之分析。

貳、文獻探討

一、半導體元件製程與特性分析人才培育

由於中部科學園區快速發展、科技業陸續進駐，科技業求才若渴，根據行政院經建會觀察重要產業科技人才調查推估結果之缺口變化趨勢，僅半導體產業及通訊產業缺口擴大，其餘產業缺口則逐年縮小。對於半導體產業，如何把傑出青年培養成 IC 專業人才並能快速進入半導體產業服務，以解決人才缺口，同時讓學生能在最短的時間內具備在半導體、平面顯示產業工作的基本智能是當前相當重要的工作。

由於半導體元件的尺寸不斷地縮小，於矽晶圓上的電晶體密度相對地不斷提高。各半導體單元製程的步驟變的更加複雜，尤其是預估一系列製程步驟的工作更是複雜。對於日新月異的積體電路製造技術而言，傳統實驗取向的製造方式已經不適用於複雜、精密的製程，以往實驗所帶來大量的花費與時間上的消耗，勢必要以另一種更為經濟與方便的方式取而代之。基於此原因，逐漸地有人提出以製程模擬 (process simulation) 來替代複雜的實驗步驟。此程式亦考慮個別製程步驟順序的操作，就好像實際地在晶圓上執行，經由製程模擬的數值運算與物理機構考量之後，不但可以迅速的獲知結果，更可以由模擬的結果改善整個製程品質，同時亦可加速嶄新積體電路製程、元件和電路的發展。製程模擬對製程研發工程師是非常有用的工具，此模擬允許他們將產品製程條件發佈至生產線之前，能在電腦上先執行一些試驗性之製程已縮短新製程技術之研發時間，並探討製程步驟的變化對元件參數設計的影響。一套完整的製程步驟在電腦上僅需數小時的模擬即可完成，然而對生產線而言，此套製程步驟則可能需要數個星期，若製程條件需要修改之時，則尚需數個星期的時間。將此教學系統導入科技大學大學部的學生，可將學生培養成 IC 專業人才並能快速進入半導體產業服務，以解決人才缺口，同時讓學生能在最短的時間內具備在半導體、平面顯示產業工作的基本智能，同時可以降低所需之教育成本。

為了能協助國內產業適時補充專業人才缺口，91 年 3 月 25 日於經建會由行政院副院長主持「IC 設計產業座談會」，會中結論之一便是設置「半導體學院」積極進行培訓半導體產業人才。再根據行政院國科會於 91 年 4 月 17 日通過「晶片系統國家型科技計畫」，積極整合資源進行晶片系統產業推動工作，將 IC 設計專業人才之培訓列為計畫重點之一。

另於 95 年 11 月 7 日行政院「2015 年經濟發展願景第一階段三年衝刺計畫-產業人力套案」，明確揭示透過半導體學院開發專業認證課程，經由職前、在職及轉業訓練，充裕產業所需研發人才；促使培訓機制符合產業變動需求，促進科技研發與產業創新互動與連結，提升我國人力資本之競爭優勢。

依據前三項計畫施行重點，工業局自 97 年起委託財團法人資訊工業策進會，負責統籌管理與執行，並維運半導體學院推動辦公室，期能藉由匯集產官學研多方資源，研擬出整合性的發展策略，推動並落實半導體人才培訓工作，適時協助國內半導體產業補充高素質人才，蓄積產業研發與市場能量，厚植產業實力，提升國家總體競爭力，創造出台灣半導體產業的二次躍昇。

95 年度半導體產業人才養成計畫-半導體學院之「逢甲 IC 製程工程師人才培訓班」採用與本研究相同之 TCAD 軟體進行製程模擬教學。唯該課程必須由學員自付 35,000 元之學費且為非經常性之開設課程。透過本研究之實施，學生將可循一般之專業課程選修方式選課，每年可經常性地培育至少 60~120 人以上有關半導體元件製程與元件特性分析專業技術之人才。

二、半導體元件製程與特性分析實驗課程之配置

Feldman (1973) 針對北美洲、南美洲、歐洲及亞洲等地區之 33 所大學進行半導體元件教學實驗問卷調查，其結論中指出對於一般大學而言設置一半導體元件實驗室是相當昂貴的投資，而實驗過程中有毒氣體、大量使用的溶劑以及氫氟酸 (HF) 的處理方式也衍生了許多更複雜的問題，因此著重於利用精密及有效程序之計算機模擬在未來必定越來越常見，而參與這些實驗與模擬練習的電機工程學生比例將自然地增加。

Bernstein、Minniti 與 Huang (1994) 於聖母大學 (University of Notre Dame) 開發出一新的積體電路製造實驗課程，課程進行之初先教導研究所學生以協助開發相關製程然後再實施於大學部高年級學生，該課程強調實體實驗室之建置同時成功地在 4 吋晶圓上製造具有 150 顆電晶體以上的互補式金屬-氧化物-半導體 (CMOS) 測試電路，然而，該課程亦強調電腦所扮演的角色，課程中採用商業化之模擬軟體 SUPREM3 進行製程模擬，學生被要求針對製程的每一個步驟進行電腦模擬同時與控制晶圓所發現之結果加以比較，在課程結束且完成正常工作的電路時此電腦模擬的經驗被證實是有用的。

三、半導體工藝電腦輔助設計模擬運用於半導體元件製程與特性分析實驗課程之情形

利用半導體工藝電腦輔助設計模擬 Technology Computer Aided Design (TCAD) 工具於研究所階段的教學課程中已經非常廣泛地發表於文獻中。Bindal、Parent、He 與 Kilic (2004) 使用 Silvaco 公司的元件設計工具與模擬平台，於聖荷西大學 (San Jose State University) 開發了一金氧半場效電晶體設計實驗室以強化研究所階段之元件物理課程。半導體科技產業日新月異，學術界必須跟上這個快速發展的行業，並找到有效的金氧半元件電子之教學方法。為了實現這一目標，作者認為必須解決兩個重要的問題。首先，必須鼓勵學生使用商用 CAD 工具於實驗室的設計專案。該實驗室使用 Silvaco 公司的 ATLAS 模擬器於“真實的”電晶體設計專案中。ATLAS 模擬環境利用實驗室有限的時間效率且提供關聯於可解析元件方程式與實際元件行為之有效方法。第二個問題是教導學生有效地研究和從圖書館找尋資訊而不是老師的筆記或教科書本。透過指定開放式的“現實世界”電晶體設計問題於實驗室，學生被迫去圖書館閱讀當前的技術文章以解決各種元件的設計問題。不同於 Bernstein et al. (1994) 先前於文獻中所發表之元件設計課程中為了要關聯的實驗數據與理論材料因而花費了許多的時間在潔淨室中製造元件及利用曲線追蹤儀測量元件的特性，Bindal et al. (2004) 認為元件設計課程應強調元件的物理和設計方法，而不是密集的元件製造流程，Silvaco 的元件模擬工具能夠創造出一個環境，如果需要的話，該環境可在數小時之內量測實際各種不同 MOS 電晶體結構的元件特性並加以比較。

Parent 與 Rio-Parent (2008) 也於聖荷西大學研究所階段第一年之元件物理課程中引入 TCAD (Synopsys 公司之 Sentaurus process、structure editor、device) 工具。作者表示如同 TCAD 工具重要性之與日俱增，TCAD 工具本身之使用教學也是一件困難的工作。授課教師必須察

覺教學資源不足夠時，學習這些 TCAD 工具實際上可能因壓倒學生的認知資源而阻礙學生的學習，尤其是進行複雜的專案上工作的學生。

Gallière 與 Boch (2009) 於元件物理及類比與數位積體電路設計課程中，採用 Silvaco TCAD (Athena、Atlas) 製程、元件模擬軟體與 HSPICE 電路模擬軟體作為學習之工具，作者亦強調使用該模擬軟體作為輔助教學工具之優點。

臺灣目前電子設計自動化 (Electronic Design Automation, 簡稱 EDA) 軟體基本上就是 Synopsys 與 Silvaco 這兩家公司分庭抗禮，而本研究採用範例程式庫相當豐富且由淺入深之模擬軟體 Silvaco TCAD (Athena、Atlas) 進行有關半導體元件製程與特性分析，其由淺入深之範例引導有助於大學部學生之實驗教學。相對的，Synopsys Sentaurus TCAD 則於研究所階段被廣泛地運用。

四、以 Flash 製作半導體製程動畫輔助課程教學

由於半導體元件製程與特性之物理意義涉及許多工程上的抽象概念，對於一般學生而言，較不易瞭解。動畫模擬可以提供逼真的情境給學生反覆學習，極易達成教學的目標。電腦動畫模擬結合相關教學理論，藉助動畫模擬輔助教學之優點來提升學習者之學習成效。而由於 Flash 動畫教材極適於網路環境之呈現，是目前最受歡迎的動畫軟體 (García, Quirós, & Santos, 2007)。Barak、Ashkar 與 Dori (2011) 針對一些研究人員聲稱，動畫可能會阻礙學生有意義的學習或喚起誤解而進行研究，為了考察這些主張，該研究調查動畫影片對學生的學習成果和學習動機的影響。應用定量的方法，配置科學的思維能力與學習科學動機之兩份學前與學後問卷，結果指出使用動畫影片可促進學生的解釋能力和他們對科學概念的理解，調查結果同時指出與控制組的學生對比之下，學生使用動畫影片學習科學無論是在自我效能、興趣和樂趣、連接到日常生活以及他們的未來重要性等各方面均開展了學生較高的學習科學動機。學生使用動畫影片的學習應用多媒體定義中所有的三種學習風格：視覺、聽覺和動覺。多媒體的使用和學生致力於探索日常生活經驗有關的新概念的事實可以解釋其正面結果。

本研究中即是將半導體各分站製程及製程整合以 Flash 製作具有相對物理意義之動畫，透過動畫之演繹與解說有助於學生了解實際製程背後之意涵且有助於 Silvaco TCAD 模擬程式之撰寫與修改。

五、基於工程教育認證之學生核心能力養成成效

Wu、Chang、Chen、Tsai 與 Yu (2005) 指出良好的認證制度能就國內工程教育推動的瓶頸提出建議，進而改善國內工程教育體質，而認證同時是與國際工程教育接軌最有效的機制。美國工程與科技認證委員會 (Accreditation Board of Engineering and Technology, 簡稱 ABET) 為落實其工程教育的改革，設計一套評鑑標準 (ABET EC2000) 供美國國內各大學院校工程課程採用，目的是希望透過一系列成果導向 (outcomes-based) 持續改進的評鑑方法，幫助學生得到最符合需要的知識與能力，也幫助教師掌握學生的學習狀態、作最有效率的教學。其建議在課程上注入各項包含培養跨領域的整合能力、訓練靈活運用應用軟硬體工具的能力、養成溝通技巧及書寫技術文件能力、團隊合作等十一個核心能力。基於成果導向的 ABET 課程認證制度對美國工程教育所呈現的品質保證功能，該研究運用 ABET EC2000 指標幫助教師將課程目標與教學活動、評量配合得當，設計出符合且有助於提升學生認知層次的教學方式，藉此達到良好之教學成效。結合 ABET EC2000 指標發展適切之評量方法，並為課程設計多

元、質化與量化並重的評量方法學以促進學生知識與實務的學習。

本研究根據中華工程教育學會認證委員會之工程及科技教育認證規範 (AC2010) 八大核心能力、系所教育目標與核心能力和 ABET EC2000 核心能力，透過學界、業界專家意見諮詢而制定出半導體元件製程與特性分析實習課程之教育目標與核心能力，目的是幫助學生得到最符合需要的知識與能力也幫助教師掌握學生的學習狀態並作最有效率的教學。

參、研究方法

本研究以成果導向學習 (outcome-based learning, OBL) 方式來進行大學部四年級上學期之超大型積體電路實習課程之教學系統。我們根據產業與學術研究之需求，建立教學目標、預期教學成效、教學策略及方法、評量方式與核心能力養成。並藉由多元化的教學引導 (例如，專題與問題導向學習、互動式教學、以及合作學習等)，以循序漸進的方式培養學生具備 AC2010、本系所制定之核心能力。評量則採用工程及科技教育認證規範 (AC2010) 「持續改善/評核」(continuous improvement/assessment) 之方式於多元化教學評量中，透過即時的評量回饋 (feedback)，來調整課程教學的步調與方向。

對學校而言，因為 AC2010 的認證項目揚棄了過去制式化的標準與輸入導向 (input-based) 概念，讓受認證的學系更能夠基於自身的定位、在社會中扮演的角色、以及地域性的特色等因素，擬定出各自的教育目標以接受認證。這種認證方式最大的優點，是能夠促使受認證學系依據自己的條件，建立起自己的定位與價值，進而提出切合市場需要的教育目標。舉例來說，研究型大學或技職院校，其原本設立的宗旨就有所差異，因此即便是相同學系，基於各自學校在工程科技教育上所扮演的不同角色，也勢必訂出各具特色的教育目標。而對於以專業為導向的小型校院來說，更可以透過這樣的認證精神，設定獨特的教育目標和特色，摒除與綜合型大學一起競爭的齊頭式評鑑準則，進而發展出在國外常見的「小而美」的專業知名學府。面對國內現今許多大學院校的角色定位混淆，以及所培育畢業生的專業能力不足等問題，透過這樣的認證方式，勢必可以提供一個有效的解決之道。

對學生而言，現今畢業生就在業上要具備遠比傳統學科知識更多元的能力，為了要有效把這些能力應用到課程設計中，各學系可藉由 AC2010 的成果導向認證機制清楚定義出學生的核心能力，並有技巧地加入課程中，同時也鼓勵學生必需學習在跨領域或跨組織團隊中與他人合作的能力。

一、研究對象

本研究之研究對象為建國科技大學電子工程系四技日間部選修九十九學年度第一學期“超大型積體電路實習”課程之大學部四年級甲、乙兩班學生，以甲班為實驗組學生共 54 人及乙班為對照組學生共 43 人來進行實驗研究。實驗組於網路提供以 PowerCam 錄製之課前講解、各單元製程原理之 Flash 動畫、Silvaco TCAD 模擬程式講解動畫與輔助教學影片，於課堂上再以傳統之講述教學法、示範教學法講解一次；對照組則僅於課堂上以傳統之講述教學法、示範教學法講解一次之後進行製程模擬分析與討論，探討不同教學方法對半導體元件製程與特性分析實習課程學習成效與學習滿意度之影響。Campbell 與 Stanley (1963) 提出三種前實驗設計 (或預實驗設計, pre-experimental design)，雖不符古典實驗法的科學標準，但當完整實驗設計不可得時，有時仍得利用這些模式。包括單組個案研究 (One-shot case study)、

單組前後測設計 (One-group pretest-posttest design)、靜態組間比較 (Static-group comparison) (或稱非對等控制組後測設計)等三種。本研究中僅實施後測,但透過實驗組與對照組進行比較與研究,屬於前實驗性研究設計方法中之靜態組間比較(或稱非對等控制組後測設計)之研究方法。

二、教學設計

為了從科技大學之技職教育系統中培養出半導體、光電產業半導體元件製程與特性分析所需之人才,我們於超大型積體電路實習課程之 PowerPoint 簡報理論講授搭配 Flash 動畫、多媒體 PowerCam 螢幕暨簡報錄影播放以及針對 Silvaco TCAD 軟體進行示範教學,於本課程中採用全面的電腦模擬教學,並透過分組合作學習、專題實驗之設計進而增加學習效果。而專業級製程模擬軟體的使用,避免昂貴製程設備的投資,也大幅縮短實際製程的製作時間,讓學生得到更多專案研習的次數,多方面的熟悉各項製程的整合情形。對於製程模擬軟體 Athena 的訓練,我們先以單元製程例題開始,務使學生熟習軟體的操作以及各項製程參數之影響,進而由專案研習學到各項製程的整合運用,最後得以 Atlas 軟體檢驗製程完成後的元件特性。這兩套軟體的搭配使學生對於元件的設計與製造有全面了解。這樣的學習對任何學生都是全新的體驗,也會超越傳統的課程所得,使學生將來在相關領域可立刻進入狀況並做出貢獻。

三、研究程序

本研究為達成研擬半導體元件製程與特性分析教學大綱之目的,除了以文獻探討法以了解半導體元件製程與特性分析教材的內涵外,並以學界、業界專家問卷調查的方式,蒐集半導體元件製程與特性分析所需之學習背景、教材內涵及單元項目,再根據所蒐集的資料研擬半導體元件製程與特性分析教學大綱。

本研究在文獻探討之後,以學界、業界專家進行問卷調查,蒐集相關資料,經修正後作為半導體元件製程與特性分析教學大綱(超大型積體電路技術、超大型積體電路實習),與編寫單元教材之依據,授課教師依據既有的課程內容及目標,結合 AC2010 核心能力規劃出超大型積體電路實習的課程設計,並設計期末課程問卷(量表為李克特七點量尺)。研究進行之程序如圖 1 所示(紅色部分為實驗組之操作變因)。

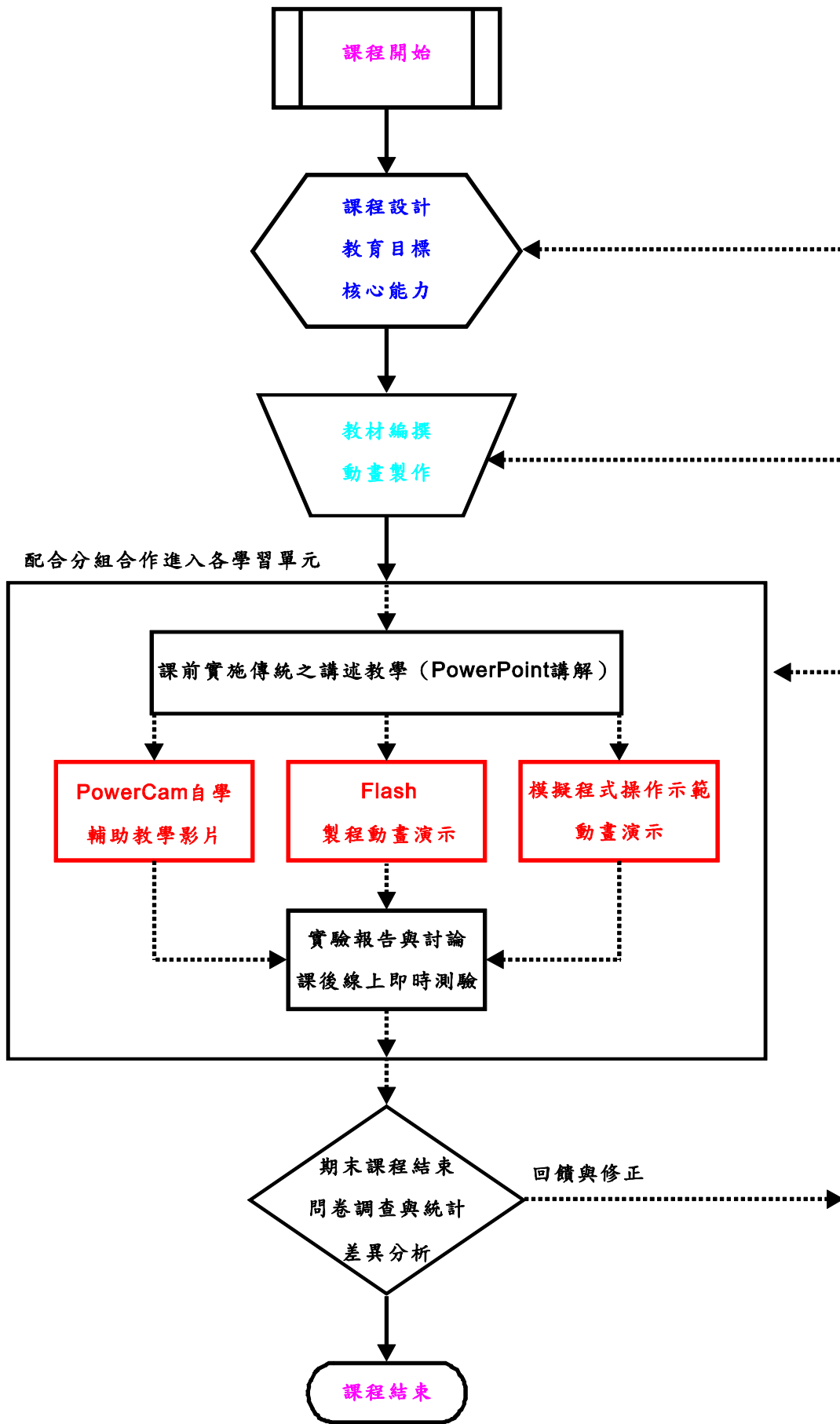


圖 1 研究進行之程序圖

肆、結果與討論

本研究以一年為期進行超大型積體電路實習課程之研究以建構半導體元件製程與特性分析教學系統。研究步驟共分為四個階段，第一階段進行課程設計，第二階段進行教材之編撰（PowerPoint 設計、Flash 動畫製作、多媒體 PowerCam 螢幕暨簡報錄影、Silvaco TCAD 程式設計與編寫），第三階段進行問卷設計，第四階段進行課程教學實驗與結果分析，依執行之時程分述如下：

一、課程設計

以文獻分析法瞭解超大型積體電路實習課程的知識、技術及學科內涵，並探討超大型積體電路實習課程的學習目標及相關的學習背景。由文獻分析之結果配合本研究之模擬軟體 Silvaco TCAD（Athena、Atlas）進行有關半導體元件製程與特性分析各教學單元之教材範圍擬定。其次以目前在學界、業界專家為對象進行問卷調查諮詢意見，以蒐集以 Silvaco TCAD（Athena、Atlas）模擬軟體進行超大型積體電路實習課程所需的教學背景、教材內涵之資料，據以規劃超大型積體電路實習課程教學大綱。

在課程開始前，依照 AC2010 之規範依照下列步驟，完成超大型積體電路實習課程設計。

- （一）、檢視學校所欲達成的教育任務、課程教案之教學目標、AC2010 核心能力，
- （二）、確認並定義課程的主要教育目標，
- （三）、定義好課程目標後，列出支持這些目標的教學策略或活動，
- （四）、列出當這些策略被成功實施後，教師期待學生應學到的知識或能力，
- （五）、檢視學生們的學習結果，並寫下學生們的學習結果與 AC2010 核心能力相符的部分，
- （六）、檢視每位學生的結果並列出能夠有效評量課程的評量方式。這些評量方式必須是可試驗的，因為教師將有機會花費更多時間在此活動的修正上。

根據學界、業界專家為對象進行問卷調查之意見回饋結果，本研究中以超大型積體電路實習課程針對以建構半導體元件製程與特性分析教學系統之目的所建立之課程教學目標與核心能力（預期成效、學生學習成果）如表 1 所示。

二、教材之編撰

本研究根據所研擬的教學大綱，依循文獻探討的教材發展策略、教材選擇與組織及教材編寫原則，編寫各教學單元的教材，同時根據各單元製程、製程整合及元件特性，設計出以簡至繁的漸進方式以及半導體單元製程、元件特性模擬模組化的方式之教學模擬程式（專題設定、原理搜尋、Silvaco TCAD 程式設計及編寫與修改、參數萃取、結果與討論）。相關教材以及模擬程式操作之動畫錄製後依照教學之實施上傳至本校之師生部落格與影音演講活動網（<http://speech.ctu.edu.tw/s0302/?nav=speech&fid=86&tab=list>）。其中包括：

- （一）、PowerPoint 教材設計，
- （二）、多媒體 PowerCam 螢幕暨簡報錄影教材製作，
- （三）、具物理意義之單元製程 Flash 動畫製作，
- （四）、設計相關課程單元之示範教學模擬程式（Silvaco TCAD 程式設計與編寫），
- （五）、Silvaco TCAD 模擬程式操作之動畫錄製。

表 1

課程教學目標與核心能力(預期成效、學生學習成果)

目標/單元 主題	核心能力	教學策略及方法	評量方式	系所核心能 力養成	ABET 評鑑 標準 A1-A11
課程教學目標： 本課程目標在於建立一套半導體元件製程與元件特性分析之實習課程教材及其學習成效評估之教學系統，以簡至繁的漸進方式以及半導體單元製程、元件特性模擬模組化的方式來提升教學成效，進而培養光電、半導體產業與學術界所需之人才。					
超大型積體 電路製程簡 介	瞭解 IC 製造流程與原 理	A 講述教學法 C 示範教學法 G. 電視及多媒體教學 法	g 課堂討論	U6 G1	A1, A5, A11
Silvaco 公司 PC Interactive Tools 簡介	1.熟悉 Deckbuild、 Tonyplot 之操作 2.學習使用電腦分析工 具	A 講述教學法 C 示範教學法 G 電視及多媒體教學法 K 電腦輔助教學法	g 課堂討論	U2, U3, U6 G1	A1, A5, A11
Silvaco 公司 Tcad 簡介	1.熟悉 Athena、Atlas 核心之模擬運作原理 2.學習使用電腦分析工 具	A 講述教學法 C 示範教學法 G 電視及多媒體教學法 K 電腦輔助教學法	g 課堂討論	U2, U3, U6 G1	A1, A5, A11
Athena 製程 模擬	1.熟練薄膜沉積、光學 微影、蝕刻、矽熱氧 化、擴散、離子植 入、金氧半場效電晶 體製程整合、互補式 金氧半反相器製程整 合之製程模擬 2.學習使用電腦分析工 具 3.培養團隊精神和合作 學習	A 講述教學法 C 示範教學法 D 作業教學法 G 電視及多媒體教學法 K 電腦輔助教學法	a 考試 b 測驗 d 報告 f 實作 g 課堂討論	U2, U3, U6, U8, U9 G1, G2	A1, A2, A4, A5, A7, A11
Atlas 元件 特性模擬	1.熟練 MOS Capacitor、 nMOSFET、 pMOSFET 元件特性 模擬 2. 學習使用電腦分析 工具 3.培養團隊精神和合作 學習	A 講述教學法 C 示範教學法 D 作業教學法 G 電視及多媒體教學法 K 電腦輔助教學法	a 考試 b 測驗 d 報告 f 實作 g 課堂討論	U2, U3, U6, U8, U9 G1, G2	A1, A2, A4, A5, A7, A11

註：G1~G9 為本系研究所學生養成之核心能力，U1~U9 為本系大學部學生養成之核心能力，A1~A11 為 ABET EC2000 核心能力。

三、問卷設計

本研究於學期開學前依據超大型積體電路實習課程設計形成問卷初稿，透過學界與業界相關人員運用專家的知識和經驗，針對問卷初稿提供意見並加以修正以形成課程期末問卷(量表為李克特七點量尺，如表 2 所示)，問卷目的在檢核學生經過一學期的課程後了解學生對各項核心能力之期望程度與自評專業能力的成長。本課程設計的核心能力指標以 AC2010 之八

項核心能力與 ABET EC2000 的十一項核心能力為參考標準，問卷問題主要以涵蓋 ABET EC2000 的其中五項指標為主 (A1、A4、A5、A7、A11)。透過表 1 亦可獲得與系所學生核心能力之關聯。

表 2
課程核心能力重要性與養成成效問卷

您個人認為這個項目重要嗎?							課程教學目標與核心能力 [預期成效、學生學習成果] (ABET 核心能力涵蓋項目)	您認為本課程提供這個項目的訓練足夠嗎?						
非常重要	重要	有點重要	普通	有點不重要	不重要	非常不重要		非常足夠	足夠	足夠	普通	有點不足	不足	非常不足
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	我能理解超大型積體電路技術之原理在本實習課程中如何被應用 (A1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	我能應用先前所學的各科工程知識到本實習課程中 (A1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在製程模擬演練中，我能應用超大型積體電路技術之原理而得到相關資料 (A1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	我能結合超大型積體電路技術之原理於本課程之實習報告中 (A1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在作實習報告時，我能調整自己來和他人合作 (A4)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在作實習報告時，我能和他人分擔責任 (A4)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在作實習報告時，我能支持團隊的目標 (A4)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在作實習報告時，我能支援其它成員 (A4)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	我能選擇適當的資源來收集所需的資訊 (A5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在作實習報告時，就所收集的資訊中，我能選擇有用之資訊 (A5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在作實習報告時，我能簡化問題並建立模型 (A5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	我能依老師指定的報告格式來完成實習報告 (A7)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在實習報告中，我能將資料用圖表呈現 (A7)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在實習報告中，我能使用圖表表現概念 (A7)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	我能使用電腦軟體 (如 SILVACO TCAD) 解決超大型積體電路技術問題 (A11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在作實習報告時，我知道有哪些可使用的技巧、技術及工具 (A11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	在作實習報告時，我有使用多項工具及技巧，以解決問題 (A11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	整體而言，上述本課程核心能力是否能提供您對未來就業或升學的能力需求?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

四、課程教學實驗與結果分析

(一) 線上測驗之實施與統計分析

於各單元製程模擬實習課後進行線上測驗，由於線上測驗安排於實驗報告上傳繳交後進行，故題數儘量力求簡要 (最多 10 題) 以免影響正常上課時間且可立即針對其學習成效進行初步之評估。實驗組共計 9 個單元分 8 次進行，對照組 (控制組) 共計 8 個單元分 7 次進行。

各單元之線上測驗分數分佈之長條圖統計分析詳如圖 2-8 所示，從測驗的結果顯示實驗組的所有單元製程與製程整合單元的測驗成績表現（平均值）均優於對照組。

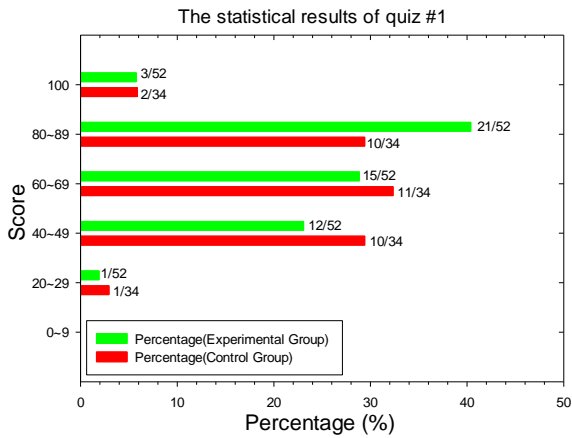


圖 2 單元 01-薄膜沉積課後測驗分析圖

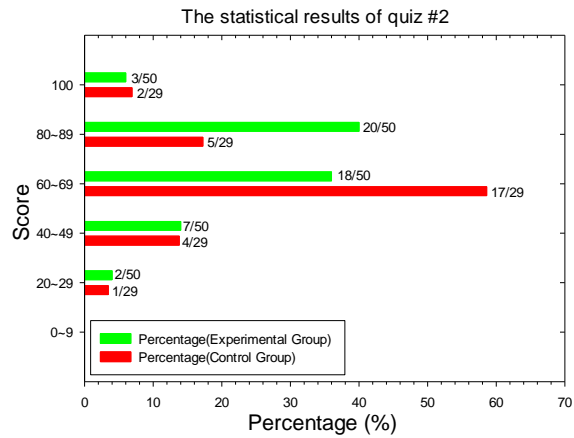


圖 3 單元 02-微影製程課後測驗分析圖

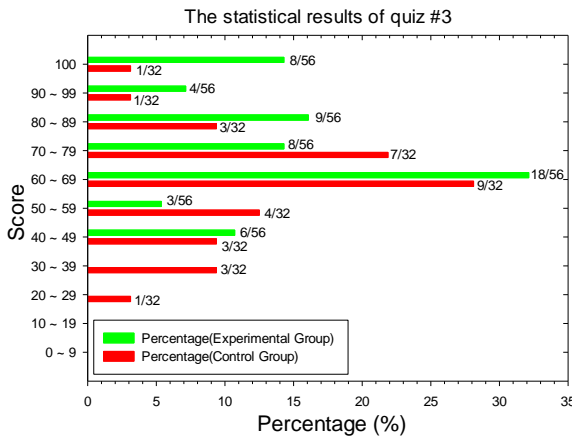


圖 4 單元 03-蝕刻製程課後測驗分析圖

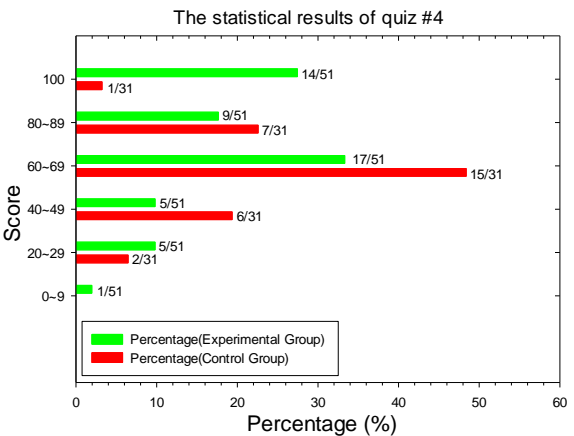


圖 5 單元 04-氧化製程課後測驗分析圖

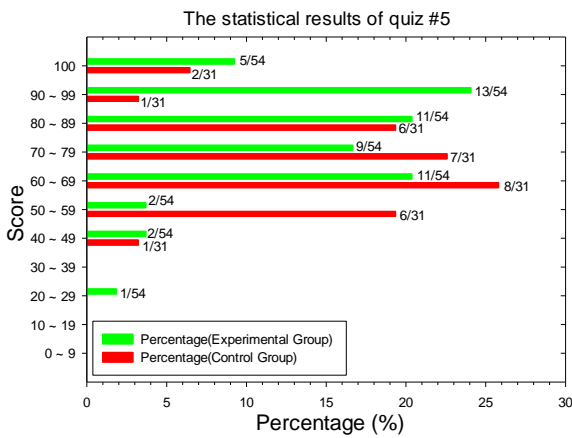


圖 6 單元 05-擴散製程課後測驗分析圖

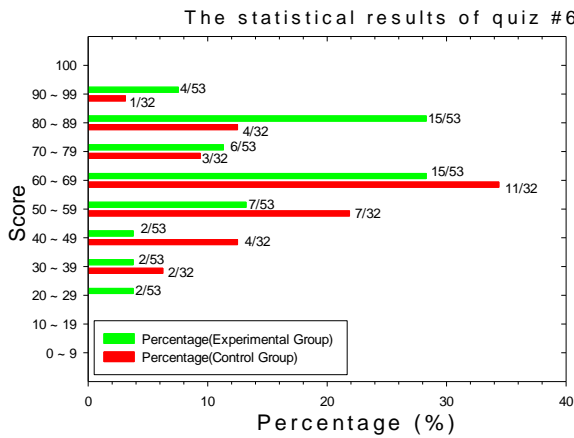


圖 7 單元 06-離子植入製程課後測驗分析圖

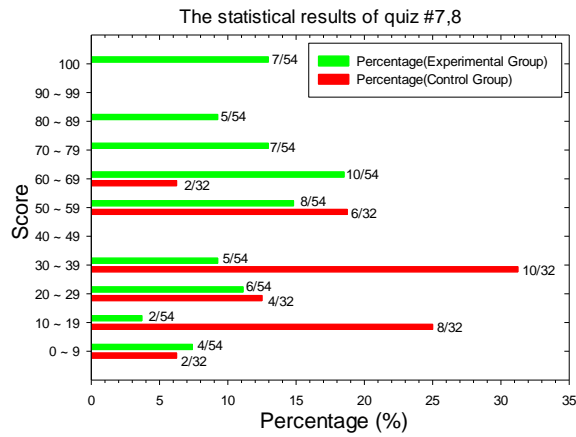


圖 8 單元 07/08-MOSFET 製程整合模擬課後測驗分析圖

針對單元 1-8 各製程模擬實習課後測驗之平均值與標準偏差，如圖 9、圖 10 將實驗組與對照組以雷達圖之形式呈現，就平均值的角度而言亦可發現實驗組的成績表現均優於對照組，特別是單元 07/08-MOSFET 製程整合模擬課後測驗的部分，由於製程複雜度的提升而實驗組的測驗成績遠高於控制組可以看出本教學系統有助於學生克服學習上的障礙進而提升學習效果。

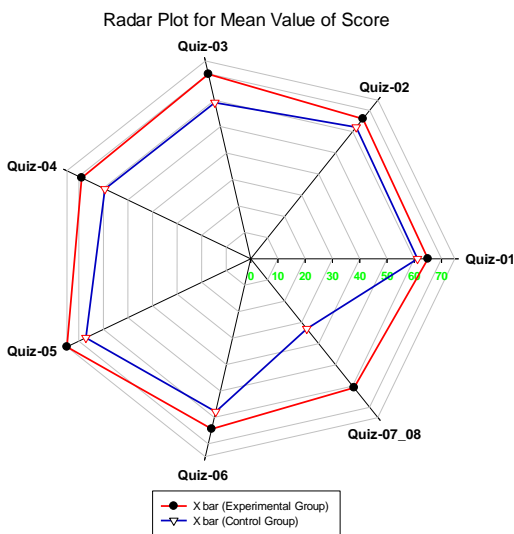


圖 9 線上測驗平均值雷達圖

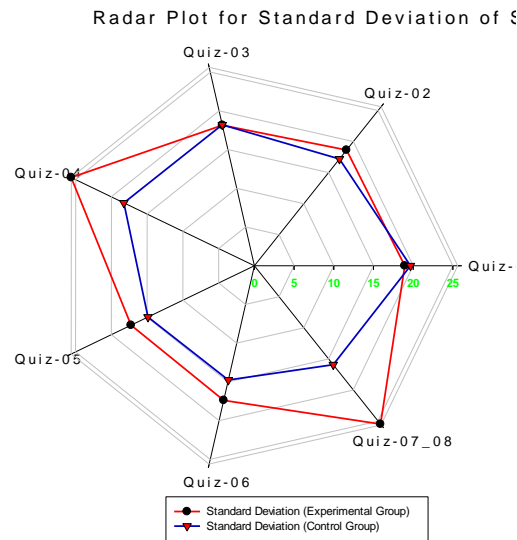


圖 10 線上測驗標準偏差值雷達圖

本研究亦以 SPSS 20 統計套裝軟體做為分析工具，針對上述之課後線上測驗以 t 考驗 (t -test) 進行差異性考驗。由表 3 的結果可知單元 03、05、07 與 08 之獨立樣本 t 檢定其顯著性值 (雙尾, p -value) 小於顯著水準 ($\alpha=0.05$)，拒絕虛無假設，即實驗組與對照組 (控制組) 的成績表現不同，實驗組的成績優於對照組 (控制組)；單元 04、06 之獨立樣本 t 檢定其顯著性值 (雙尾, p -value) 若小於顯著水準 ($\alpha=0.1$) 時，亦可看出實驗組與對照組 (控制組) 的成績表現有所不同，實驗組的成績優於對照組 (控制組)，僅課程初期之單元 01、02 線上測驗之獨立樣本 t 檢定結果比較沒有達到顯著性的差異。

表 3
課後線上測驗之獨立樣本檢定

	測驗分數的平均值(M)		平均數相等的 t 檢定	
	實驗組	對照組	t	顯著性(雙尾)
Quiz_01	65.0000	61.1765	.902	.370
Quiz_02	66.0000	62.0690	.930	.356
Quiz_03	69.8214	59.0625	2.673	.009**
Quiz_04	68.8000	59.3548	1.934	.057*
Quiz_05	74.8148	67.0968	2.086	.040**
Quiz_06	64.3396	57.8125	1.773	.080*
Quiz_07_08	60.7800	33.0000	5.998	.000**

* $p < .1$: 表示在顯著水準 $\alpha = 0.1$ 時達顯著; ** $p < .05$: 表示在顯著水準 $\alpha = 0.05$ 時達顯著。

(二) 期末課程問卷統計分析

於期末授課結束後，由超大型積體電路實習課程修課學生於線上（本校師生部落格）填寫課程核心能力重要性與養成成效問卷（如表 2），針對每一題題目之實驗組與對照組進行長條圖統計分析，核心能力重要性問卷之結果如圖 11、圖 12 所示而核心能力養成成效滿意度問卷之結果如圖 13、圖 14 所示，結果顯示實驗組的分數優於對照組。

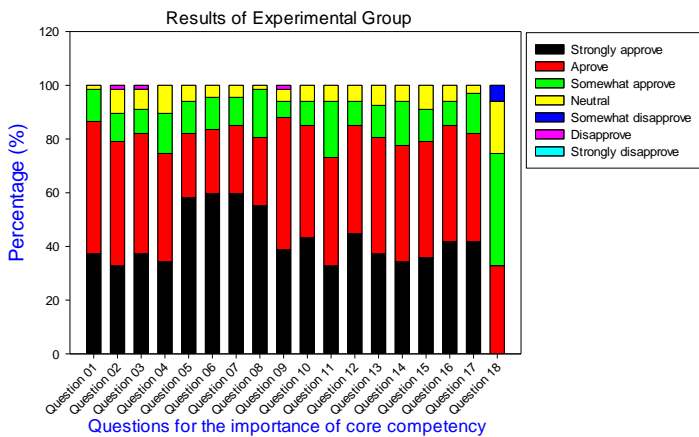


圖 11 核心能力重要性問卷(實驗組)

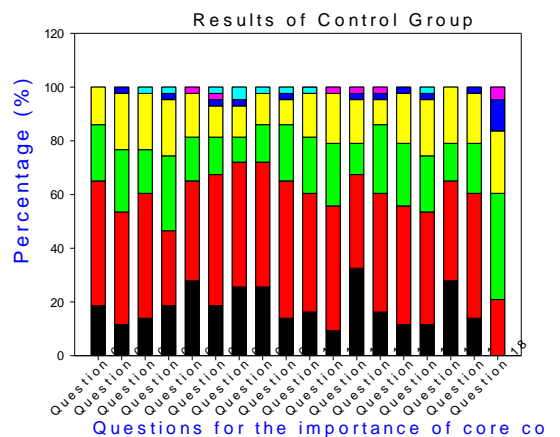


圖 12 核心能力重要性問卷(控制組)

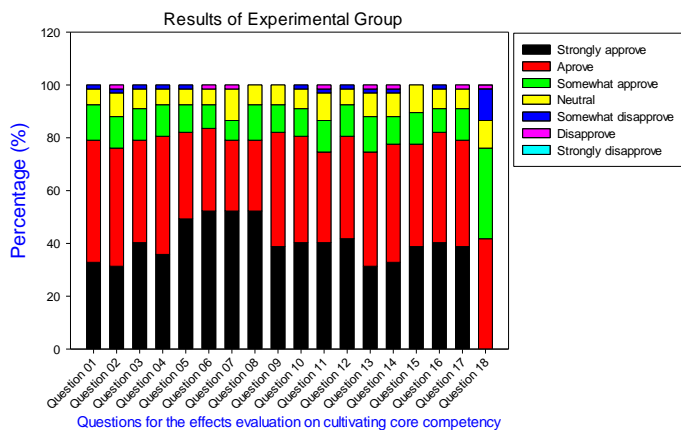


圖 13 核心能力養成成效滿意度問卷(實驗組)

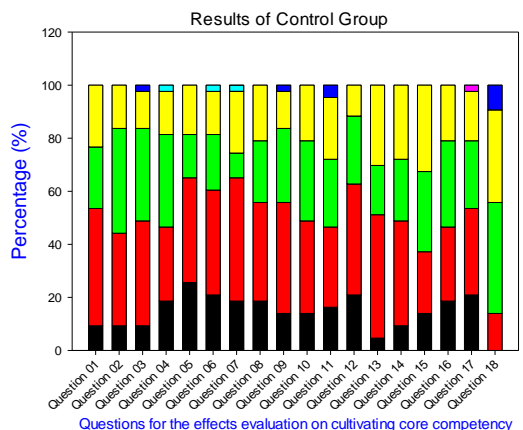


圖 14 核心能力養成成效滿意度問卷(控制組)

問卷結果同樣以 SPSS 20 進行統計分析，首先針對問卷之信度進行分析，核心能力重要性與養成成效問卷之信度分析與核心能力養成成效滿意度問卷之信度分析（如表 4）其以標準化項目為準的 Cronbach's Alpha 值均大於 0.5，顯示問卷的一致性非常高而達到問卷的正確性。

表 4

核心能力重要性問卷之信度分析

可靠性統計量		
Cronbach's Alpha 值	以標準化項目為準的 Cronbach's Alpha 值	項目的個數
.957	.958	18

核心能力養成成效滿意度問卷之信度分析

可靠性統計量		
Cronbach's Alpha 值	以標準化項目為準的 Cronbach's Alpha 值	項目的個數
.971	.972	18

接著以 t 考驗 (t -test) 進行差異性考驗，從統計結果可以看出不管是核心能力重要性問卷、核心能力養成成效滿意度問卷（表 5）所有問卷題目之獨立樣本 t 檢定其顯著性值（雙尾， p -value）均小於顯著水準（ $\alpha=0.05$ ），拒絕虛無假設，即實驗組與對照組（控制組）的成績表現不同，實驗組的成績優於對照組（控制組），其中絕大部分的問卷題目之獨立樣本 t 檢定其顯著性值（雙尾， p -value）更小於顯著水準（ $\alpha=0.01$ ）時可看出實驗組與對照組（控制組）的成績表現有更顯著的不同。

表 5

核心能力重要性問卷之獨立樣本檢定

	問卷分數的平均值(M)		平均數相等的 t 檢定	
	實驗組	對照組	t	顯著性 (雙尾)
Question_01	6.22	5.70	3.137	.002***
Question_02	5.99	5.40	2.947	.004***
Question_03	6.07	5.44	2.984	.004***
Question_04	5.99	5.30	2.993	.004***
Question_05	6.34	5.70	3.213	.002***
Question_06	6.39	5.53	3.718	.000***
Question_07	6.40	5.63	3.174	.002***
Question_08	6.34	5.77	2.992	.003***
Question_09	6.19	5.56	3.299	.001***
Question_10	6.22	5.51	3.423	.001***
Question_11	6.00	5.40	3.244	.002***
Question_12	6.24	5.72	2.548	.012**
Question_13	6.10	5.56	2.865	.005***

核心能力養成成效滿意度問卷之獨立樣本檢定

	問卷分數的平均值(M)		平均數相等的 t 檢定	
	實驗組	對照組	t	顯著性 (雙尾)
Question_01	6.03	5.40	3.477	.001***
Question_02	5.91	5.37	2.736	.007***
Question_03	6.09	5.40	3.697	.000***
Question_04	6.07	5.42	3.207	.002***
Question_05	6.22	5.72	2.570	.012**
Question_06	6.25	5.56	3.229	.002***
Question_07	6.15	5.51	2.739	.007***
Question_08	6.24	5.53	3.656	.000***
Question_09	6.13	5.51	3.443	.001***
Question_10	6.10	5.42	3.599	.000***
Question_11	5.97	5.30	2.970	.004***
Question_12	6.13	5.72	2.239	.027**
Question_13	5.90	5.26	3.153	.002***

Question_14	6.06	5.44	3.419	.001***	5.94	5.30	3.113	.002***
Question_15	6.06	5.33	3.528	.001***	6.06	5.19	4.465	.000***
Question_16	6.21	5.72	2.481	.015**	6.12	5.44	3.506	.001***
Question_17	6.21	5.51	3.753	.000***	6.07	5.51	2.812	.006***
Question_18	6.01	5.60	2.068	.042**	6.01	5.60	2.050	.043**

問卷分數的平均值(M)：為李克特七點量尺 1~7 得分之平均，

** $p < .05$ ：表示在顯著水準 $\alpha = 0.05$ 時達顯著；*** $p < .01$ ：表示在顯著水準 $\alpha = 0.01$ 時達顯著。

伍、結論

本研究旨在建立一套半導體元件製程與特性分析之實習課程教材及其學習成效評估之教學系統，以 AC2010 之八項核心能力與 ABET EC2000 的十一項核心能力為參考標準，透過學界、業界專家之意見調查完成教學大綱與核心能力之擬定，運用專家的知識和經驗設計課程期末時之核心能力重要性與養成成效問卷，問卷問題同時涵蓋了 ABET EC2000 的其中五項指標為主 (A1、A4、A5、A7、A11)。為了達成上述之課程目標與核心能力，本研究以 Silvaco TCAD (Athena、Atlas) 之 EDA 模擬軟體，完成有關半導體元件製程與特性分析各教學單元之教材 (範例程式之撰寫)。各單元製程之原理講解說明以 PowerCam 螢幕暨簡報錄影、模擬程式操作之動畫錄製以及 Flash 虛擬製程動畫皆依照教學之實施上傳至本校之師生部落格與影音演講活動網。透過實驗組與對照組兩班學生進行教學實驗，利用分組報告、課後線上測驗、期中/期末上機實作考試及期末核心能力重要性與養成成效問卷作為反饋與評估機制。

本研究主要著眼於以 EDA 製程模擬軟體為核心所建立之相關多媒體教材對課程目標與核心能力養成成效之研究，同時於課程中各單元製程實驗以分組之方式進行，由各分組參與師生教學部落格中各單元實驗之分組討論以及透過各組學生的有效分工進而完成實驗報告的情形來看，在在都顯示了合作學習 (引導學生形成討論組/模擬實作組) 之正面效益。此外，在本研究中僅以兩人為一組進行各單元實驗之分工，而於期中/期末實施個別上機實作考試以減低在自由分組中的學習依賴性。

為了驗證本研究所設計之課程符合是否符合所訂定之課程目標與核心能力，本研究以本校電子工程系大學部四年級之兩班學生分為實驗組與控制組進行教學實驗，探討不同教學方法對半導體元件製程與特性分析實習課程學習成效與學習滿意度之影響。從線上測驗之實施與統計分析以及期末課程問卷統計分析結果可發現實驗組學生之各項統計數據明顯優於控制組，透過本研究中所設計之各項教學活動使學生提升學習的意願以提升學習成效，以培育出與光電、半導體產業密切結合之人才。

本研究對於教材製作及相關的評核與系所發展的議題進行非常詳細且廣泛的討論與說明，研究結果對於電子電機領域相關課程的老師提供高度的數位課程發展參考價值，相關的實驗方法也具體突顯出此研究之重點。

誌謝

本研究承蒙國科會科教處提供計畫經費資助 (編號 NSC 99-2511-S-270-001-) 得以順利完成，特此致謝。

參考文獻

- 行政院經濟建設委員會 (民 95)。2015 年經濟發展願景第一階段三年衝刺計畫 (2007-2009 年)。行政院經濟建設委員會研究成果報告 (行政院第 3011 次會議通過)。臺北市：行政院經濟建設委員會。
- 樓玉梅、趙偉慈、范瑟珍 (民 95)。我國 94-104 年科技人力供需分析。行政院經濟建設委員會研究成果報告 (編號：(95)019.803)。臺北市：行政院經濟建設委員會。
- Barak, M., Ashkar, T., & Dori, Y. J. (2011). Learning science via animated movies: Its effect on students' thinking and motivation. *Computers & Education*, 56(3), 839-846. doi:10.1016/j.compedu.2010.10.025.
- Bernstein, G. H., Minniti, R. J., & Huang, X. K. (1994). An Advanced IC Processing Laboratory at the University of Notre Dame. *IEEE Transactions on Education*, 37(4), 334-340. doi:10.1109/13.330100.
- Bindal, A., Parent, D., He, L., & Kilic, S. (2004). *A MOSFET Design Laboratory*. Paper presented at International Conference on Engineering Education, 1-9. Retrieved from [http://www.ineer.org/Events/ICEE2004/Proceedings/Papers/177_abindal_mosfet_ICEE04_\(1\).pdf](http://www.ineer.org/Events/ICEE2004/Proceedings/Papers/177_abindal_mosfet_ICEE04_(1).pdf)
- Feldman, J. M. (1973). Semiconductor Device and Integrated Circuits Laboratories: A Survey of Current Educational Practice. *IEEE Transactions on Education*, 16(1), 2-10. doi:10.1109/TE.1973.4320780.
- Gallière, J. M., & Boch, J. (2009). *A mixed TCAD/Electrical simulation laboratory to open up the microelectronics teaching*. IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education, 37-40. doi:10.1109/MSE.2009.5270836.
- García, R. R., Quirós, J. S., Santos, R. G. (2007). Interactive multimedia animation with Macromedia Flash in Descriptive Geometry teaching. *Computers & Education*, 49(3), 615-639. doi:10.1016/j.compedu.2005.11.005.
- Parent, D. W., & Rio-Parent, L. D. (2008). Introducing TCAD Tools in a Graduate Level Device Physics Course. *IEEE Transactions on Education*, 51(3), 331-335. doi:10.1109/TE.2008.916765.
- Wu, J. C., Chang, P. F., Chen, Y. S., Tsai, S. J., & Yu, N. I. (2005). *Design of Curriculum and Assessment of Student Learning for ME Courses Based on EC-2000*. Paper presented at Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, Session 3266-ABET Issues and Capstone Design. Retrieved from http://search.asee.org/search/click?query=session_title%3A%22ABET+Issues+and+Capstone+Design%22+AND+conference%3A%222005+Annual+Conference%22&title=file%3A%2F%2Flocalhost%2FE%3A%2Fsearch%2Fconference%2F29%2FAC%25202005Paper219.pdf&url=%2Fsearch%2Ffetch%3Furl%3Dfile%253A%252F%252Flocalhost%252FE%253A%252Fsearch%252Fconference%252F29%252FAC%2525202005Paper219.pdf%26index%3Dconference_papers%26space%3D129746797203605791716676178%26type%3Dapplication%252Fpdf%26charset%3D%26spaceId=129746797203605791716676178&index=conference_papers&cha

rset=&mimeType=application%2Fpdf

Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. U.S.A. : Houghton Mifflin Company.

國內工程及科技教育認證制度實施之調查研究

Survey on the Implementation of Engineering Accreditation in Taiwan

林妙真、張佩芬*

國立中央大學學習與教學研究所

*國立中央大學學習與教學研究所

Miao-Chen Lin, *Pei-Fen Chang

Graduate Institute of Learning and Instruction, National Central University

*Graduate Institute of Learning and Instruction, National Central University

摘要

國內工程及科技教育認證制度實施至今已十年，但未有任何實徵研究探究認證所帶來的影響及實施成效。故，本研究以全國大學工學院與資電學院教師的觀點，探討其對於工程及科技教育認證的認知與實施現況。以問卷調查與深度訪談為資料蒐集方式，有效回收問卷共471份，受訪對象含院長、系主任與教師共20位。研究發現：工程及科技教育認證制度實施後教師能留意教學大綱需包含的要素、教學也較為多元；但老師們較少能依據評量結果，分析學生學習情形，這也讓老師們難以評估學生核心能力在認證實施前後有否改變。另外，教師們表示跨領域合作教學有實行上的困難。最後，根據本研究結果，提出協助工程相關系所建立評分規準的建議。

關鍵字：成果導向、工程及科技教育認證、課程與教學

Abstract

Engineering Accreditation in Taiwan has been implemented for ten years. But there have always been the absences of relevant researches to investigate the implementing effectiveness. Therefore, the aim of this study attempts to explore what condition, has the accreditation had on programs, faculties and students from the views of engineering faculty. The data were collected by questionnaire survey and in-depth interview. There are 471 valid questionnaires and 20 engineering faculties, program chairs and Deans participated in the study. The findings show that faculties could pay attention to the elements of the syllabus and teach more diversely after engineering accreditation. But faculties couldn't analyze students' learning based on the results of the assessment, which is also not easy for faculties to assess the changes of students' core competencies. In addition, faculties felled difficulty teaching interdisciplinary cooperation. Finally, according to the results of this study, recommendations are provided to establish the rubrics.

Keyword: outcomes-based, engineering accreditation, curriculum and teaching

壹、前言

「工程及科技教育認證規範」(Accreditation Criteria 2010)是以成果導向(outcomes-based)的精神,引導學系訂定合宜、具特色的教育目標,並藉以發展出合適的課程目標、教學策略、評量方式、與持續的自我改進機制,期能確實省視學系的教育價值。就提升台灣工程教育品質而言,工程及科技教育認證的最大優點在於可促使受認證學系依據自己的條件,建立起自己的定位與價值,進而提出切合市場需要的教育目標。

一、問題描述

然而,國內工程及科技教育認證實施近十年來,同時面臨以下兩個困境:

(一) 持續改進的自省機制逐漸鬆懈

雖然初次接受認證的學系,會希望有制式的表格,比較有方向感,可以節省他們準備的功夫,協助他們表達如何達成上述規範的要求,但就認證的真正意義而言,其目的在於各受認證學系能利用認證的準備過程,發揮創意與特色,建立屬於自己的「持續改善機制」,並依此擬定自主的教育品管模式和表格,而不是一味的沿用別人的表格。最令人擔心的是「形式主義」的出現,也就是說受認證系所在「格式上」或「表面上」與前人極為接近,所有的數字和圖表都有了,但實際上並沒有建立屬於自己的「自省機制」,也沒有落實「持續改善」的精神,這樣的作法是十分令人擔憂的(楊永斌、葛家豪、張佩芬、劉曼君,2005a)。

(二) 缺乏實徵研究探討工程及科技教育認證制度之現況與成效

工程及科技教育認證起源於1990年代美國工程教育界發現,其畢業生在校所習得的技能無法為工業界所用,故於1996年改革認證指標與程序,以學生的教育成果(outcomes)來評量各學系辦學的績效。而國內也於2003年成立了「中華工程教育學會」(Institute of Engineering Education Taiwan, 簡稱 IEET)推動國內工程及科技教育認證的工作,希望各學系能依據校院或學系本身的任務及特性,擬定出自我之教學目標(educational objectives),以及欲達到此一目標的學生核心能力,以進行各項教學品質的掌控,同時還可參酌社會的需求以及各項評量結果,作為學系持續改進的依據(楊永斌、葛家豪、張佩芬,2005b)。簡言之,校、院、系、教師及學生,甚至是雇主,在此革新中皆扮演著重要的角色。

國內工程及科技教育認證制度自2004年實施至今,不論是從學生、教師或是雇主角度的,尚未有任何相關研究探討其實施現況、影響。高等教育革新的評估重點在於瞭解革新的過程中,造成哪些影響,如:學生的能力、老師的教學是否有所提升與精進;接著可依循此結果決定下一步要怎麼做。倘若認證機制未能建立應有的評估,如何了解工程及科技教育認證的推行可促使工程相關科系之畢業生具備的應有知識、技能與態度?如何讓更多人願意相信工程及科技教育認證推行之意義及必要性?若要全面性瞭解工程及科技教育認證制度實施成效,需要探究所有利益關係人(stakeholders)的觀點。

目前國外針對工程及科技教育認證制度進行的實徵研究有:Koehn(1997;1999;2000;2004)針對是土木系的大學生、研究生及雇主,進行了四次有關「工程及技術教育認證委員會」(Accreditation Board for Engineering and Technology, 簡稱 ABET)對學生素質要求看法的問卷調查。研究結果皆顯示:ABET 的學生素質要求準則受到學生暨工程從業人員的肯定。美國國家科學基金會(National Science Foundation)曾經委託賓州大學(Pennsylvania State University's)協助進行「工程認證規範2000」(Engineering Criteria 2000, 簡稱 EC2000)實施的評估研究,名為「工程改革(Engineering Change)」(Lattuca, Terenzini, & Volkwein, 2006)。

此研究之目的在於提供全面的檢驗，以探討 EC 2000 對於工程教育課程、教學法、程序、政策、學生經驗以及學生學習成果之影響。調查對象包含：工學院院長、各系主任、教師、學生，以及業界的雇主。可說是相當完整的調查研究，且該評估研究乃是委託相關學者專家組成評估小組進行調查，不同於國內僅有的官方資料。**其他各國對於認證的現況調查也與國內類似，仍在初始階段。**故，本研究以 Lattuca 等人 (2006) 的研究為基礎，將研究焦點鎖定為工程相關學院教師，從院院長、系主任及教師的角度，深入探究工程及科技教育認證制度實施對他們的影響與改變。

二、研究目的

本研究目的在於探討國內工程及科技教育認證制度實施之現況。以成果導向為基礎的工程及科技教育認證是在於確保課程的品質、提升畢業生的核心能力，進而使工程相關系所達到續改善，課程與教學的改變則與教師專業成長息息相關。因此，本研究聚焦於課程與教學、學生核心能力與教師專業成長三方面。研究問題如下：

1. 瞭解國內工程及科技教育認證制度實施後，工學院與資電學院教師在課程與教學上有何改變？
2. 探討工學院與資電學院教師認為工程及科技教育認證對學生核心能力有何改變？
3. 瞭解國內工程及科技教育認證制度實施後，工學院與資電學院教師在專業成長情形為何？

貳、文獻探討

一、工程及科技教育認證制度之發展

世界各國對於工程教育的品質保證具有共識，大多國家多設有專門機構負責保障、監督該國高教品質，如美國 (Accreditation Board for Engineering and Technology)、德國 (ASIIN)、法國 (CTI)、加拿大 (The Canadian Engineering Accreditation Board)、英國 (Engineering Council) 等。而國際間更有廣泛相互認證的「華盛頓協議」(Washington Accord)，在 1989 年由美國、加拿大、愛爾蘭、紐西蘭、英國、及澳洲等六國所屬的非政府單位的工程及科技教育認證機構聯合聯署。其主要精神是在「實質相當」(substantially equivalent) 的前提下，讓各簽署會員國得以相互承認其認證過之學位，進而讓這些國家的畢業生得以在該協定中的會員國家工作或取得工程科技執業執照，達到國際互通的目標 (張佩芬、汪島軍、張淨怡，2008)。

(一) 美國

認證制度是由非官方之專業團體，根據其訂定之評核標準與方式，以認證受評學校的各項教學設備與活動。「工程及技術教育認證委員會」(Accreditation Board for Engineering and Technology, 簡稱 ABET) 就是專業負責認證的機構，主要任務在於認證美國教育機構所申請的工程及科技相關之學系與學程課程，通過認證的該學系畢業生，即被認可其完成工程專業所需之基礎教育。ABET 於 1996 年公佈認證標準「工程認證規範 2000」(EC2000)；2011 年所公布新修正的「工程及科技教育認證規範」(Criteria for Accrediting Engineering Programs, 2012 - 2013)，分別為：1) 學生 (Students)；2) 系所教育目標 (Program Educational Objectives)；3) 學生學習成效 (Student Outcomes)；4) 持續改善 (Continuous Improvement)；5) 課程 (Curriculum)；6) 教師 (Faculty)；7) 設備、設施 (Facilities)；8) 學校的支持及財務資源

(Institutional Support and Financial Resources)。

(二) 台灣

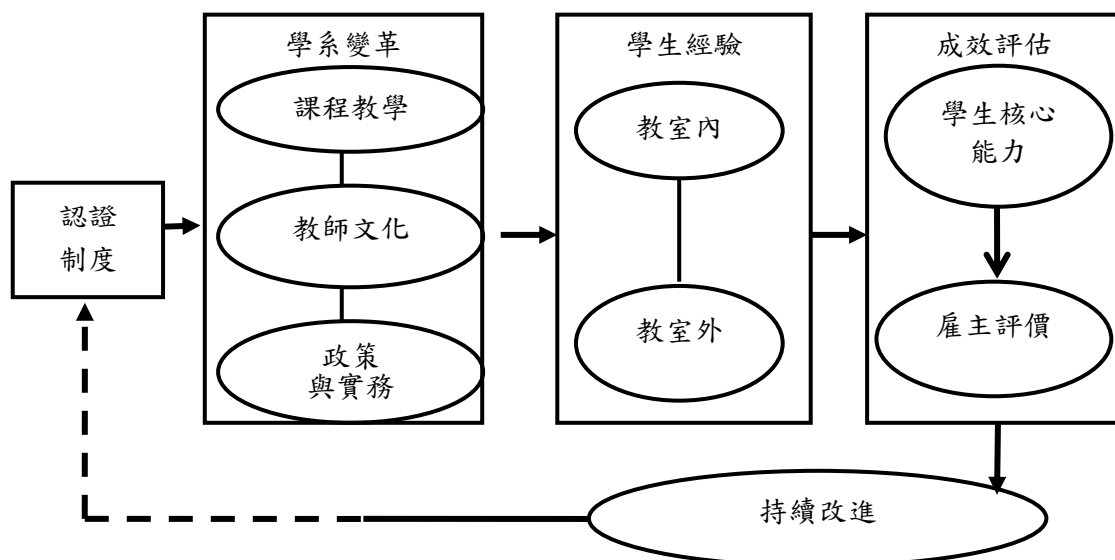
中華工程教育學會 (Institute of Engineering Education Taiwan, 簡稱 IEET) 在教育部及國科會共同支持與授權下, 於 2003 年 6 月成立, 為國內唯一「工程及科技教育認證」的國際聯絡單位, 負責對國內大專院校工程領域相關科系進行認證。教育部為鼓勵大專院校主動建立自我評鑑機制或參與類似 IEET 的國內外專業評鑑機構之評鑑工作, 以提昇教育品質、確保績效, 於 99 年起通過 IEET 認證的大專院校可免教育部系所評鑑; 101 年起通過 IEET 認證之科技大學及技術學院工程相關系所, 可免教育部之綜合評鑑。國內工程及科技教育認證制度自 2004 年實施以來, 至今已邁入第十年, 除了早期推動的工程及科技教育認證 (EAC), 100 年度起也新增設了資訊教育認證 (CAC)、技術教育認證 (TAC) 及建築教育認證 (AAC), 累計至 2013 年共 73 校 595 個系所通過認證。

「工程及科技教育認證規範」(Accreditation Criteria 2010) 內含八項: 「教育目標」、「學生」、「教學成效及評量」、「課程之組成」、「教師」、「設備及空間」、「行政支援與經費」、「學系認證規範」。其中第三項規範「教學成效及評量」, 即評量學系之教學成效及其自我評量、發展及改善計畫。

二、工程及科技教育認證制度之相關實徵研究

(一) 美國工程及科技教育認證成果評估

2002 年 ABET 委託賓州大學的高等教育研究中心 (The Center for the Study Higher Education) 檢視實施 EC2000 帶來什麼樣的影響與是否達到預期效果。Lattuca、Terenzini 以及 Volkwein 等人所組成的研究團隊為了探究工程及科技教育認證的影響, 並評估在 EC2000 實施前後學生表現的改變, 調查了美國 40 個學校七個工程領域的畢業生、教職員、系主任與雇主。圖一便是 Lattuca 研究團隊用以評估工程及科技教育認證實施的架構圖。



圖一 檢視工程及科技教育認證制度實施之研究架構圖 資料來源: 出自 Lattuca et al. (2006: 4)

Lattuca、Terenzini 以及 Volkwein (2006) 的研究發現: 在各系所的改變為在 EC2000 實

施後更加強調專業技能和主動學習、老師對於持續改善的支持度也有增加、教師的在教學方面獎勵制度也有所改善；2004年的畢業生比起1994年的畢業生更能主動學習、更能與老師互動、並給予回饋，也花較多的時間出國留學與國際交流、更能參與工程設計的比賽、對於不同的想法與人們能更開放。在學習成效方面，2004年畢業生的就業準備度較1994年畢業生佳、專業技能有所增加、實作技能則維持不變；從雇主觀點，全國性(national)企業雇主比地域(local)雇主看到了更多的改進、雇主皆認為核心能力(a-k)仍是重要的。

完成以上大型研究調查後，Lattuca後續發表的研究皆是以此為資料庫，進行一系列不同面向的實證分析，如：Volkwein、Lattuca、Harper與Domingo(2007)的研究以40所學校中203個工程系所為樣本，調查140多位系主任、1200位教師、2004年的畢業生4300位以及1994年畢業生5400位，探討不同時期系所認證標準改變所帶來的不同影響。結果發現：2004年資料顯示學生經驗與成果有著一致的水平，說明了工程及科技教育認證實現了品質保證的目標。Lambert、Terenzini與Lattuca(2007)研究發現：工程相關系所的學習不只影響學生學習經驗也影響系所的改變與教師的教學活動。學生教室內的經驗是重要的，在教室內團隊合作的經驗有助於學生發展團隊技能、分工合作以及彼此的互動；在課外活動經驗上的影響則對團隊合作經驗較小。Chen、Lattuca與Hamilton(2008)則將教師視為課程設計者，進一步探討教師在促進/維持學生參與上的角色。該研究提出：良好的教學是一個多向度的結構(multi-dimensional construct)；要讓學生充分地參與教學活動是老師與學生雙方共同的責任；教師若能持續關注學生參與的情形是能吸引並留住學生的，特別是工學院中為數較少的女學生。

Lattuca歷年研究的主要面向主要在於探討工程及科技教育認證對「教與學」的影響，及系所改變與教師教學如何影響學生學習。近年來，Lattuca則依據這些研究結果，提出教師面對課程與教學改變時的建議，如：

提供學生生接觸創新教學方法(視導教學與反思的機會)的機會，請助教紀錄課程與教學發展的紀錄(Lattuca, 2011; Lattuca & Stark, 2009)。

透過教學發展中心、工作坊，提供教師專業發展的機會，如：教學、課程設計與學生學習成效(Lattuca & Stark, 2009)，以及持續的討論，並評估課程、教學與學習的評量方式(Lattuca & Stark, 2009; Merton et al., 2001)

專業學會或社群應提供教師、系主任與院長強調有效教學重要性之專業成長課程。(Lattuca, 2011)

由上可知，「教與學」乃是工程及科技認證改變之主軸。課程與教學之改變，同樣使得學生在核心能力之表現上有所改變；而課程與教學的改變，教師會被迫重新排定教育目標的優先順序，同時還要兼顧學生技能的學習與科目知識的教學。目前的工學院與資電學院教師雖然有時也會根據學生人數與學習能力來設計課程，但通常缺乏對課程設計與所欲培養核心能力間的明確認知，如此教師要如何定義適當的教材。因此教師專業成長在工程及科技教育認證推行的過程，亦是重要的一環。透過以上的文獻探討，同步再次支持本研究以「課程與教學」、「學生核心能力」以及「教師專業成長」為主要探究向度。

(二) 國內工程及科技教育認證之相關研究

國內關於認證實施成效之相關研究，相當有限。研究者將以許維蓉(2007)所進行之研

究加以探討。許維蓉(2007)曾以國內通過工程及科技教育認證的47個學系為範圍，分層隨機抽樣300位教師進行問卷調查，另以半結構深度訪談方式訪談5位教師，以了解影響教師參與認證態度的相關因素。其研究結果發現：1.「認證目的」、「認證之教學效益」、「獎勵措施」、「行政支援」、「學校類型」、「參與學系認證工作時間」與「教師參與認證態度」達顯著正相關。2.在半淨相關複迴歸分析中，前述六項因素共解釋了「教師參與態度」50%的變異量，其中「認證目的」、「獎勵措施」與「認證之教學效益」3項因素達顯著水準。3.在多元逐步複迴歸分析方面，「認證目的」、「獎勵措施」與「認證之教學效益」依序為預測「教師參與認證態度」的因子，此三項因子共解釋了49%的變異量。4.教師對於「認證目的」之認同程度差異大。5.教師對於「認證之教學效益」的認同程度分歧大。6.學校行政支援程度影響教師投入認證工作的意願。7.獎勵措施激勵教師更關注教學工作。8.不同學校類型的持續改進積極度有所差異。9.教學互助支援的風氣尚未見成效。

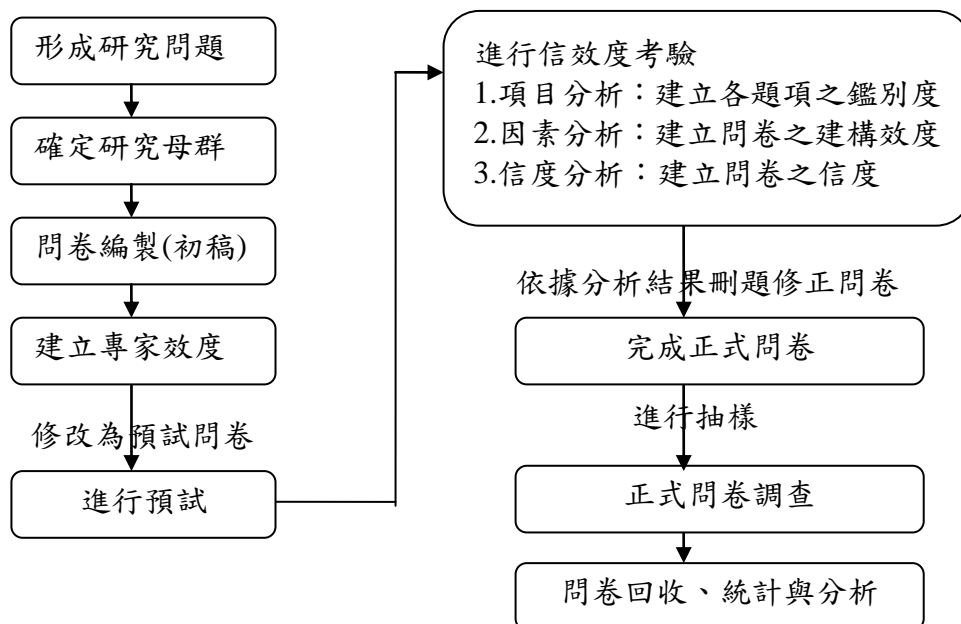
美國學者Lattuca團隊的研究是本研究重要的參考文獻。研究者以其研究成果為基礎，輔以許維蓉(2007)對國內工程及科技教育認證制度之初探為輔，以問卷調查與深度訪談並進的方法蒐集並分析院長、系所主管與教師對認證不同觀點的量化與質化資料相互比對與分析，進行深入的探討。

參、研究方法

本研究以問卷調查之量化取向探討教師對工程及科技教育認證制度實施所知覺之現況，以質性取向探究問卷調查未能得知的隱而不見部分，並將之統合應用形成研究結果。兩者的取向與目的不同，可對同一研究現象的重疊或不同的面向(facets)得到不同的理解，進而豐富、精緻了對現象的探究結果(宋曜廷、潘佩好，2010)。

一、問卷調查

本研究問卷調查進行之流程如圖二所示。分述如下：



圖二 問卷調查流程圖

(一) 問卷編制

本研究問卷主要在於瞭解國內工/資電學院教師在課程與教學上是否因工程及科技教育認證規範而有所改變，以及教師是否能依認證規範內容調整其教學，以培養具核心能力的畢業生。問卷題目參酌 Lattuca, L. R., Terenzini, P. T., and Volkwein, J. F. (2006)之「教師調查問卷」及許維蓉 (2007)「大學工科教師對實施『成果導向認證制度』之態度相關因素調查問卷」，以分析、綜合並歸納出問卷初稿共 49 題，再請指導教授審查，以做為問卷編製的依據。

(二) 建立專家效度

問卷初稿設計確定後，便進行專家意見調查，以建立專家效度。研究者將問卷分送 5 位學者專家檢視與修正。整理歸納專家、學者之意見對於問卷初稿中語意不清或用詞欠妥的句子進行修改，刪除兩題，共為 47 題。

(三) 進行預試

選取北部某一縣市通過工程及科技教育認證之系所教師為預試對象，進行問卷預試，並就預試所得資料進行統計分析，本研究預試問卷共發出 80 份，回收有效問卷為 48 份，可用率為 60%。為求本問卷之信效度，研究者透過因素、信度與項目分析，刪除不適宜之試題，修正後成為正式問卷。茲將本問卷發展過程題項刪除之歷程整理為表 1。

表 1 題項刪除歷程表

順序	統計分析	刪除題項
1.	項目分析	未刪任何題項，共 47 題
2.	因素分析	刪 2、3、6、8、12、17、21、23、26、27、33、43、47，共 34 題
3.	信度分析	未刪任何題項，共 34 題

本研究採取主成分分析 (principal component analysis) 來抽取因素，並利用最大變異法 (Varimax rotation) 進行因素旋轉，選擇負荷量大於 .54 的題項形成一個因素，得到六個特徵值大於 1 的因素，其解釋總變異量為 77.55%。在信度方面，本研究利用 Cronbach's α 值來衡量各構念的信度，所有信度係數皆高於 .70。本問卷的整體信度為 .966，達到 Cronbach (1951) 所建構的 .70 以上為高信度水準。

(四) 抽樣與正式調查

本研究係以全國通過工程及科技教育認證系所之教師為研究母群體，截至 2011 年 5 月止共有 447 個系所通過認證，共 7706 位老師。在尋找正式問卷調查的對象，為了提高回收率，研究者透過熟識的行政人員推薦學校，並引薦該校可洽詢的負責人。大多學校之聯絡人皆會協助回收，有三校則由校際聯絡人將問卷發給教師後，由教師用研究者所附回郵信封寄回。問卷共發出 1135 份，回收有效問卷 489 份，回收率為 43%。

(五) 問卷調查對象之基本資料

根據下表有效問卷之基本資料分析，需進一步說明者，分述如下：

1. 性別與職稱

問卷填答男性教師的比例約佔 90%，女性的比例約佔 10%；亦即反應國內工/資電學院教師以男性教師為多數。教師職稱分為「講師」、「助理教授」、「副教授」及「教授」，其中「副教授」人數為 178 人，佔 37.97%，比例最高；「講師」人數為 24 人，佔 5.06%，比例最低。

2. 目前是否擔任校內主管

填答教師「目前擔任校內主管」為 75 人，佔比例 15.82%；「目前未擔任校內主管」為 399 人，佔比例 84.18%。目前擔任校內主管的職位包含系主任、院長、組長、教務長、總務長、研發長等，其中以擔任系主任的比例最高、組長次之。

表 2 有效問卷之基本資料分析表

變項	組別	人數	百分比
性別	男	426	89.87%
	女	48	10.13%
職稱	講師	24	5.06%
	助理教授	115	24.26%
	副教授	180	37.97%
	教授	155	32.70%
年資	5 年以下	70	14.77%
	6-12 年	154	32.49%
	12-24 年	172	36.29%
	25 年以上	78	16.46%
任教系所	土木工程領域	44	9.28%
	化學工程領域	71	14.98%
	機械工程領域	101	21.31%
	電機/電子工程領域	178	37.55%
	資訊工程領域	57	12.03%
	其他工程相關領域	23	4.85%
目前是否擔任校內主管	是	75	15.82%
	否	399	84.18%
是否曾(現)任校外評鑑或認證委員	是	73	15.40%
	否	401	84.60%
學校屬性	國立一般大學	117	24.68%
	私立一般大學	123	25.95%
	國立科技大學	105	22.15%
	私立科技大學	129	27.22%

3. 是否曾擔任或現任校外評鑑或認證委員

受試教師「曾擔任或現任校外評鑑、認證委員」者為 73 人，佔比例 15.40%；未曾擔任或現任者為 401 人，佔比例 84.60%。

二、深度訪談

深度訪談 (in-depth interviews) 是蒐集資料的一種基本策略，以開放式反應的問題作深入的訪談，獲取「參與意義」的資料；所謂「參與意義」係指在社會環境中的個人，構思其

世界的方式，以及解釋生活中的重要事件或「賦予意義」的方式。

本研究共訪談 20 位願意主動分享、且願意據實以告的工學院教師。為真正充分瞭解教師們對認證之感受，研究者特別訪談在該系所中推動工程及科技教育認證或曾/現任系主任之教師（這些教師也多有有可能同時身兼認證訪評委員、工學院院長或校內其他行政職）。受訪教師之資料如表 3 所示：

表3 受訪對象資料表

領域	職稱	代碼	曾任系主任	曾任該系認證小組成員	曾任認證團成員	校內其他職位
	教授	01	○			
土木工程	特聘教授	14	○		○	
	教授	15	○		○	
	副教授	16		○		
化學工程	教授	02	○		○	
	教授	04	○			
機械工程	教授	03				前教務長
	教授	05	○			
	教授	06	○		○	
	助理教授	18				
電機/電子	教授	08	○		○	院長
	副教授	07	○			
	教授	09	○			
	副教授	10		○		
資訊工程	教授	11	○			
	副教授	12	○			
其他	教授	13		○		前副教務長
	副教授	17		○		
	教授	19	○			

訪談大綱係由研究者參考 Lattuca 等人 (2006) 之成果報告所擬定，希冀藉由大學教師對工程及科技教育認證經歷的充分描述，以利本研究歸納、分析大學教師對工程及科技教育認證之真實想法，研究者試圖運用此資料以探討問卷數據無法了解之背後意涵與全貌。訪談大綱方向為：

- 工程及科技教育認證制度造成了哪些（如：課程、教學、教師本身）改變？
- 學生核心能力的改變？
- 工程及科技教育認證制度帶來的優缺點
- 對工程及科技教育認證制度之建議

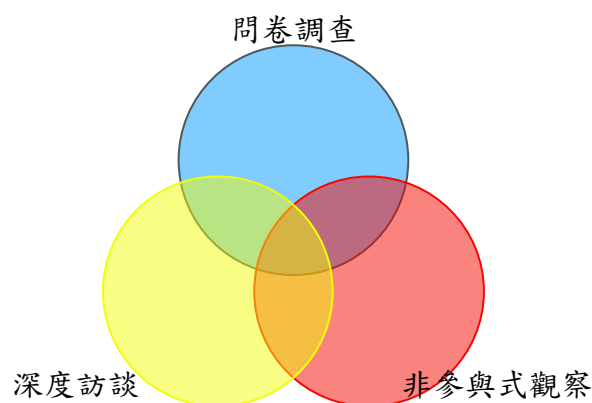
在研究者訪談 20 位工程相關系所教師後，訪談內容出現類似的情形，研究者認為已能掌握了大多數工學院與資電學院教師們的觀點，在資料的蒐集方面已達理論性飽和 (theoretical saturated)。故，本研究以 20 位教師意見為訪談資料。

三、文件資料蒐集

研究者將廣泛蒐集各種文件資料供研究資料之用。這些材料主要用來檢核和加強其他資料來源的證據，提供和研究問題有關之過去事件的佐證，如果發現文件和觀察或訪談所得的資料有所矛盾，研究者將進一步探究。包含：系所規劃、相關政策、課程架構、教師授課之課程綱要等。

四、資料蒐集與校正

為提高本研究的可信度 (truth worthiness)，本研究以多重方法蒐集資料，除了問卷調查、深度訪談，研究者也透過親身的參與，以瞭解各受認證系所的情形，因此從研究的角度是「非參與式的觀察 (non-participatory observation)」，並沒有干擾與介入任何受認證系所原有的活動。



圖三 資料蒐集之三角檢證圖 (triangulation)

將所有蒐集到的資料以三角檢證法 (triangulation) 進行資料的檢證工作，互相比較，如圖三所示；也從多角度、不同的受訪對象探究同一現象，使研究更為詳細和精緻，以及分析各項資料的分歧性，加深了解，引發新的研究層面與方向。兩兩相互的比對是為了「確保對現象的深度瞭解」，希望在問卷調查量化結果之餘，能在觀察中尋求額外的意義與詮釋。

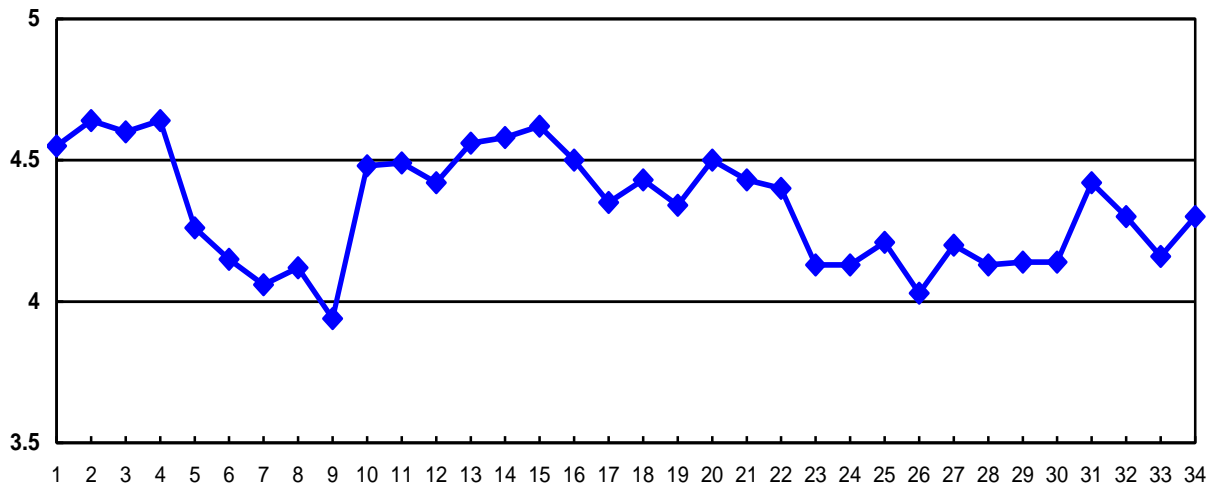
五、研究限制

Lattuca 等人 (2006) 分別調查 1994 年及 2004 年的畢業生來比較美國工程教育認證實施前、後的差異。本研究以教師為研究對象，探究工程及科技教育認證實施之現況，問卷題目所提到：「我更能...」，乃是請填答教師對比未實施認證之前的情況。主要因為國內目前通過工程教育認證共有 73 校 595 個系所，換言之，大部分的系所皆已參與認證，若要找到尚未參與認證的系所來對照，實屬困難。再者，大部分的教師皆是從認證實施前任教至今，因而採只能以追溯的方式進行資料之蒐集。故，缺乏對照組是本研究最大之限制。

肆、結果與討論

一、教師知覺工程及科技教育認證制度實施之現況分析

為了瞭解工學院教師工程及科技教育認證實施後在課程規劃與說明上的情形，研究團隊設計了三個面向、34 個題目，問卷使用的量表為：1「完全不同意」、2「不同意」、3「不太同意」、4「有點同意」、5「同意」、6「完全同意」。圖四是將各題平均數以圖示之，顯示結果得知：各題之平均數介於 4-4.7 之間，惟「9.我會採用額外測驗方式來加強學生工程圖面的閱讀能力」例外，此題同為「課程與教學」向度最低分，於下節一併討論。



圖四 各題之平均數示意圖

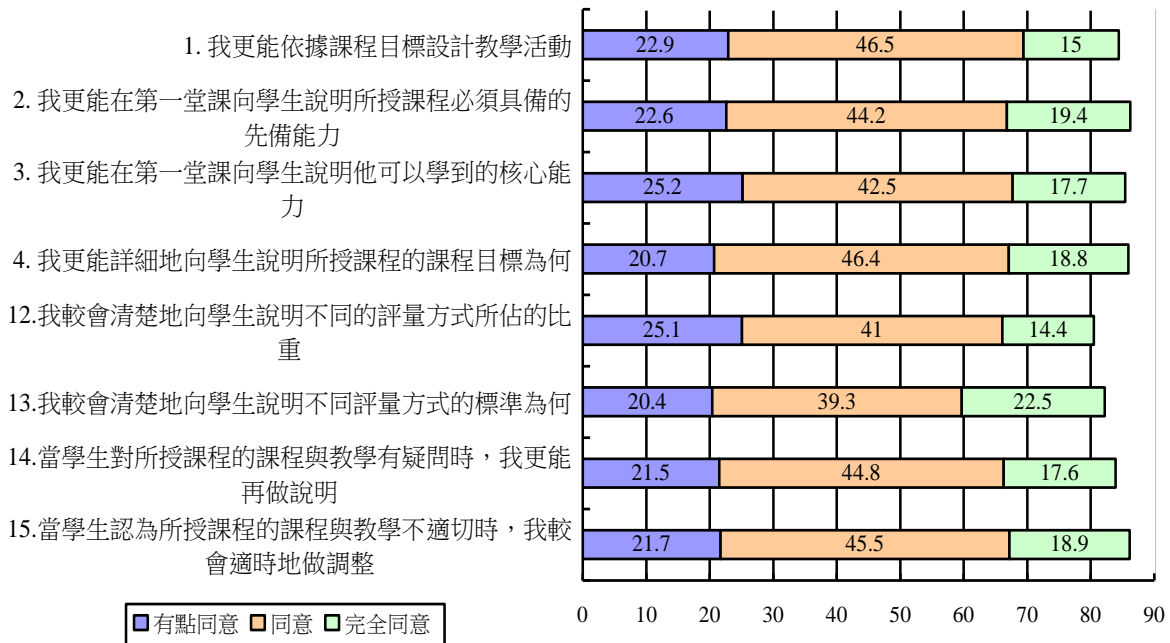
本問卷共分為三大向度分別為「課程與教學」、「學生核心能力」以及「教師專業成長」。以下詳述之：

(一) 教師知覺工程及科技教育認證制度中「課程與教學」之分析

課程與教學向度最高分為中「2.我更能在第一堂課向學生說明所授課程必須具備的先備能力 (m=4.64)」與「4.我更詳細地向學生說明所授課程的課程目標為何 (m=4.64)」；最低分是「9.我較會採用額外測驗方式來加強學生工程圖表的閱讀能力 (m=3.96)」。顯示：工程相關系所的教師多能掌握在第一堂課中向學生詳細說明該課程之目標與先備能力，對該門課有清楚的介紹；但卻較少會在課程進行時加強學生對圖表閱讀能力。研究者從受訪教師的言談中發現：儘管教師們認為圖表閱讀是項重要的能力，教師們較少採用其他教學或評量方式來加強學生此項的能力。

本向度又可細分為下列三部分：

1. 課程規劃與說明



圖五 教師在「課程規劃與說明」向度表示同意之比例圖

圖五的問題主要在於了解工程相關系所的教師們是否能持續進行規劃課程活動與討論，以及教師將課程計畫視為持續改進過程的程度。從圖五所示，約 60% 以上的教師在課程的設計與規劃上，都清楚地讓學生了解相關資訊。再者，教師也多能依據學生在課程中的情形予以調整教學。

從訪談中顯示：教師大多皆會上課前都會準備教學大綱，教學大綱都有既定的格式與內容，也都需要勾選該門課所需的核心能力。有些系所的課程大綱需要課程委員會看過。

我會去注意到核心能力要放在課程大綱裡面給學生看到...各系的課程委員會還要對各科所做的這些課程大綱內容審查。(01)

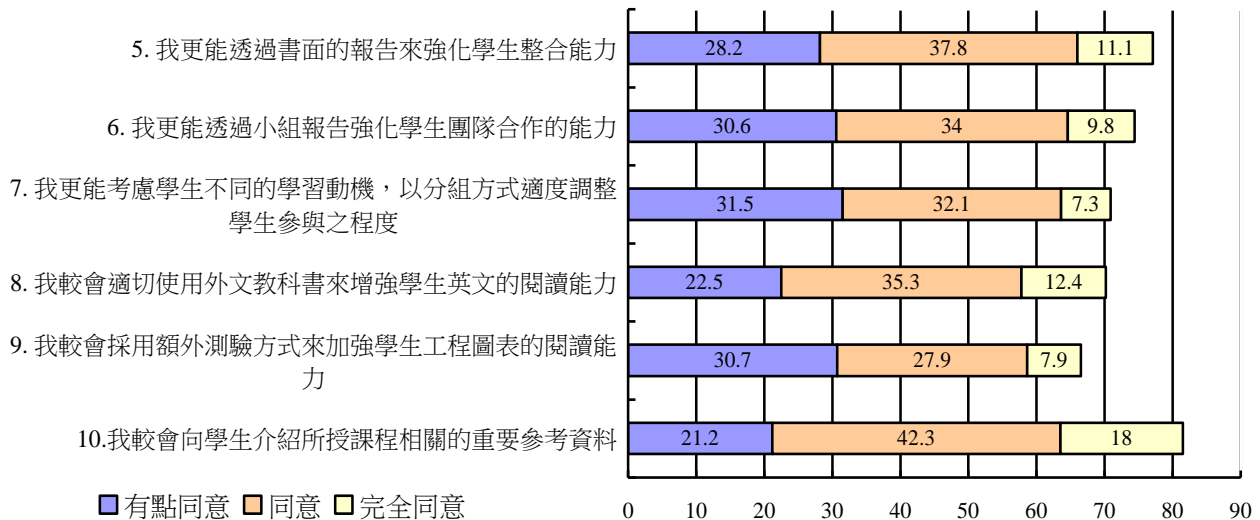
課程大綱他會在課程委員會裡面稍微討論一下...核心能力的對照就是[老師]自己檢視這樣...大綱只是說這個課程跟上下游的課程能不能接的起來 (11)

課程大綱在撰寫上跟認證以後差不了多少，就是目的，內容...一定非要寫的，對...現在又多一個跟核心能力的一個對照 (12)

更有教師提到過去可能在課程目標之設定、教材蒐集方面較為隨性，並不會留意兩者是否相互調準 (align)，但因工程及科技教育認證的實施提醒了他們更注意這個部分。如果沒有 IEET 認證的時候，大概比較不會說去很 care 就是說你原來的目標是哪些，我想教材蒐集的方向可能比較不會針對某個教育目標的需求去設計、比較會隨性，但是你如果是有 IEET 認證的話，就變成會 focus 在那塊上 (08)

2.運用多元教學方法

圖六中，約有 70% 左右的教師表示會運用不同的方法進行教學。如：透過書面報告來增加學生的整合能力（77.9%）、透過小組報告增加團隊合作的能力（74.2%）、運用外文書增加英文閱讀能力（69.9%）、利用額外的測驗增加學生閱讀工程圖表的能力（66.6%）。有 70% 左右的老師會考量學生不同的學習動機予以分組，約有 80% 的老師會向學生介紹課程重要的參考資料。



圖六 教師在「運用多元教學方法」向度表示同意之比例圖

訪談資料中，老師們更具體地談出：他們所運用哪些不同的教學方法，如在實務或操作課程中，老師們會注意安排較多的小組合作。

實驗課後來參與認證之後也可以改變成小班上課，小班上課就可以變成分組，變成三個人一組，以前要六個人一組，所以學生就有更多的機會去動手操作，這樣子他們其實也滿多同學都有口頭反應說就是他們這樣覺得比較好，比較有趣，他們也喜歡動手（01）

看你開的是什麼課，我們化工裡面有一些課程，像一些設計的課程，你一個人做不來，就是要一個小組，一個小組就是三、四個學生合力做，需要這樣子，那有些就不必要這樣子，有些確實是（02）

甚至在大一時就有實作的課程，讓學生在實際操作的過程中更有興趣、並從中發現問題。或是安排業界的教師進入課堂，讓課程更能與現場結合。

這學期我就埋了兩門實習，學生一進來，就有兩門實習課你就先動手。我希望是你可不可以從動手裡面找到有興趣？也許在二年級上到相關科目的時候，你會說原來那時候用到，在這邊會上到，那你會更認真去看，我期待希望有這樣的結果（07）

就是鼓勵譬如說我們現在的一個目標之一就是可以跟業界能夠實務上多有一些接觸業界的經驗，增加自己課程的實務性，這部分其實非常多課程都有邀請業界的老師...

(12)

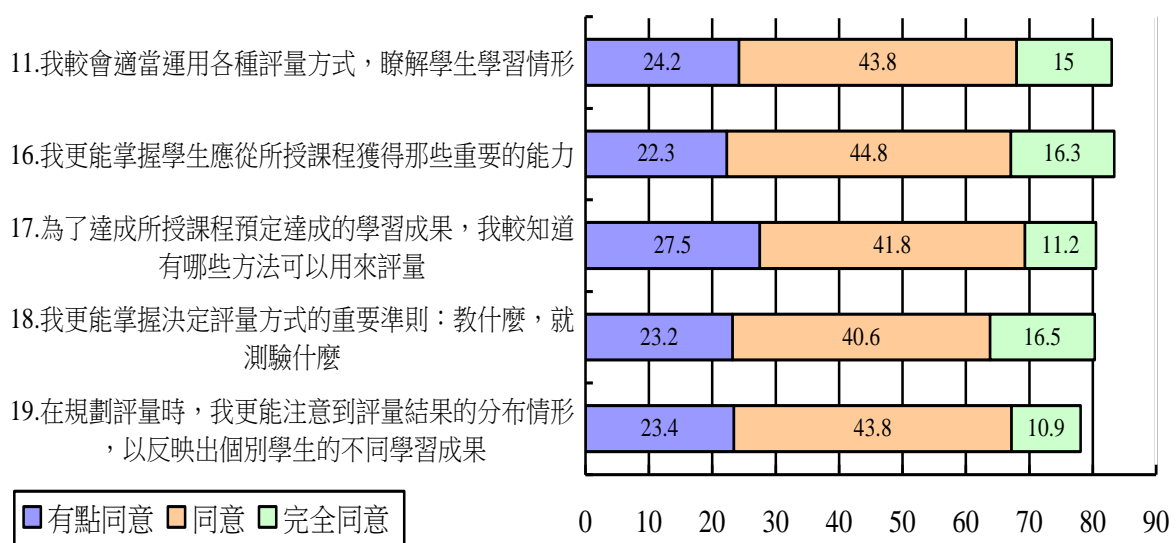
為了引發學生學習的專注，老師們也會自己想辦法改變原有的上課型態，如：每次教學前先出題目讓學生動動腦，而這樣的題目也是連接上堂課所學與這堂課的內容。有的老師則是參與問題導向學習（PBL）的工作坊，將之融入教學。

我現在每一堂課一開始都會準備個...我叫思索題，準備個小題目，對應上星期上課的內容，然後我整理一下弄一個問題出來，讓同學在這次上課的時候先想一想，再來討論，一開始我會解釋題目，然後就問同學有誰願意回答的就加分...其實是今年開始的，以前沒有...我討論的時候就跟同學說這樣的題目是滿實務的... (01)

PBL...在教學上有些調整，要分組討論...講一些實際的問題的情境，讓學生去討論...要從他們的 team work 裡面去看，評量他們成員差別程度還有 present 的能力，就不是只有傳統就是只有紙本而已，考考試就決定他們的分數...比較多元。(08)

3. 評量的使用與結果應用

圖七可看出：約 80% 左右的教師，在評量的使用及結果應用上，皆回應「同意」的選項，由此顯示出教師對於運用多元的評量及對結果應用已有相當的認識，表示教師在評量的掌握與拿捏較為熟稔。其中所佔比例較低的是「19.在規劃評量時，我更能注意到評量結果的分布情形，以反映出個別學生的不同學習成果」，老師們似乎較難依據評量的結果，進一步地分析學生的學習情況。



圖七 教師在「評量的使用與結果應用」向度表示同意之比例圖

訪談資料則顯示：教師們認為自己在評量上的改變不大，受訪的教師們大多表示要視課程屬性而定，該運用紙筆測驗的課程，他們還是會採用，尤其是基礎的理論課。但仍有老師會採用以創意競賽的方式代替期末總評量。

[Q：紙筆測驗比較減少？]沒有，也沒有，因為課的屬性可能也不會 (02)

[Q：評量上的差別]我不會，別人應該也不會有什麼很大的差別吧...像我的課程大概

就是兩次期中考、一次期末考，類似這樣子... (12)

當然是看課程屬性，不過這確實我們有那個手機創意競賽，然後有那個有些實驗他們期末也有 demo，以前實驗課比較不會拿出來 demo，可是他們現在就...做得很紅紅綠綠...只是說還是要有一個比較紙筆測驗能知道學生基礎... (09)

在老師應用評量結果方面反映了問卷的結果，對於工程及科技教育認證，大多數系所的老師們僅是提供考卷、成績單等資料給認證委員，並未進一步分析與解釋學生的學習情形與核心能力之間的達成程度。

怎麼證明你培養了你的學生有這些核心能力？那老師就只好提供他們講義，對，講義可以證明說老師是有教這些，還有考卷，你考卷也可以證明說你對學生的要求是什麼樣子的，那考卷學生考完了，那些答案紙我們都會留下來... (02)

那個部分我們沒有去對它去做一些分析，就是我們只有做...其實應該是說它要求裡面的、要作的我們大概都有做，但是後面那塊的分析其實我們是沒有作的。...其實應該是說有些東西其實我們也沒有人力做，也就是說我們只能作最基本的 (07)

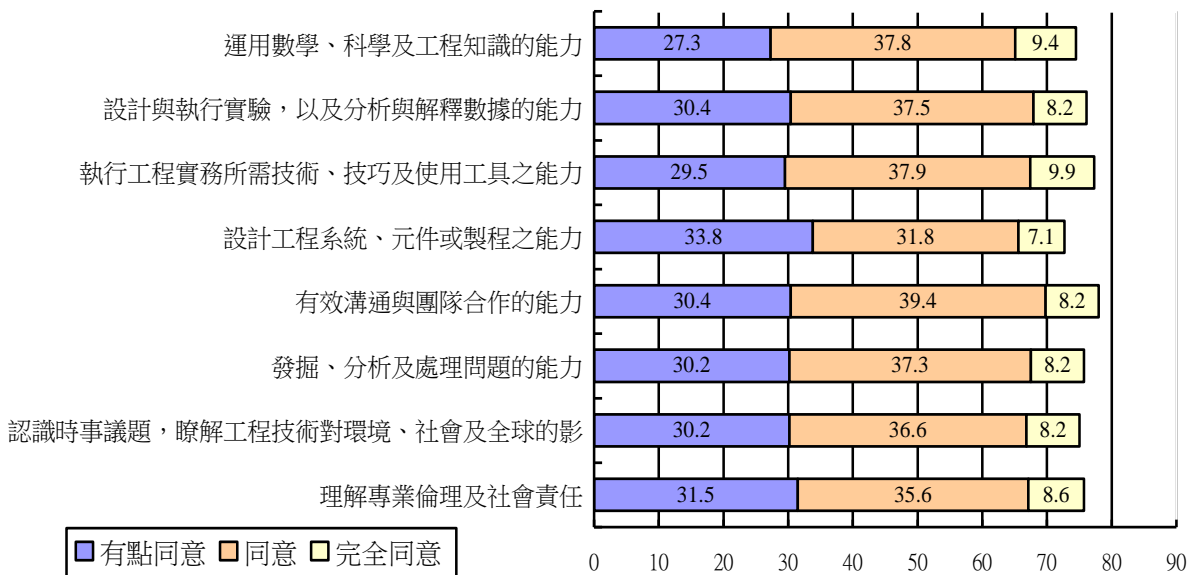
在「課程與教學向度」中，本研究與 Lattuca 等人 (2006) 的調查之不同在於更細緻地區分課程規劃、教學方法與多元評量的使用，但兩者的研究有著相似的結果，Lattuca 等人 (2006) 研究發現：超過 3/4 的系主任反應已適度或明顯的在其課程中加強了溝通、團隊合作、科技寫作、使用現代化工具、終身學習及工程設計等內容。另外，有 1/2 到 2/3 的教師表示在日常的教學中，他們增加了讓學生主動學習的方法，如團隊合作、深度訪談及專題實作等；Lattuca、Yin 與 McHale (2010) 老師運用主動學習的教學策略上有顯著的增加。

然而兩個研究中有所差異的是：Lattuca 等人 (2006) 研究發現 90% 的教師回應他們努力改進評量方法，及超過 1/2 教師自評個人在此部份有顯著的改善，以及 Lattuca、Yin 與 McHale (2010) 教師運用活動導向的評量方式 (activity-based assessments) 有顯著的增加；但本研究中問卷結果雖顯示教師在評量方法上的有不錯的掌握，但在訪談資料中，老師們則表示某些科目可以有不同的評量，但是某些科目仍是維持必須的紙筆測驗或期中考與期末考。

(二) 教師知覺工程及科技教育認證制度中「學生核心能力」之分析

在學生核心能力的部分，平均數最高分為「25.學生更具備設計工程系統、元件或製程之能力 (m=4.21)」；最低分則是「26.學生更具備執行工程實務所需技術、技巧及使用工具之能力 (m=4.03)」。顯示：教師們認為學生具備設計的能力，但缺乏執行的能力。

從圖八可看出：約有 70% 的教師在課程中能強調工程及科技教育認證規範三所重視的核心能力。其中有 78% 的教師在「有效溝通與團隊合作的能力」上增加較多，其次為「執行工程實務所需技術、技巧及使用工具之能力」(77.4%)。相對地，在「設計工程系統、元件或製程之能力」(73.1%) 相對之下是最低的。整體來看，教師對於學生在核心能力上具有中上的滿意度，從表 8 平均數為 4 以上，可知：在專業知識上，教師認為學生在修習該領域課程後皆具備基本的知識與能力，表示在此部份是符合認證規範之要求的。但在實務經驗教學上 (如：設計工程系統、元件或製程之能力) 稍微偏低 (m=4.05)。



圖八 教師在「學生核心能力之表現」向度表示同意之比例圖

從訪談資料來看，老師們對於學生在核心能力之表現並不認為認證前後有太大差異。原因可能為老師們課程內容變動不大、教學亦無太大改變，因此學生在表現上也無太大差異。

可是你說有一個很突出的這個學生能力的不一樣，我覺得沒有，至少大概沒有變差，我們學校現在也滿注重英文能力的，可是英文能力你說...嘖！他有沒有變好我也不確定（01）

（Q：認證實施之後，那學生的能力上面有什麼樣的改變？就您的教學經驗來看。）
其實我不認為，...我其實以我的立場來看，我覺得我不認為。（07）

應該沒什麼差別吧！我看，學生也沒有多大的影響，或許他會覺得多有些業師來一起上課，類似這些啦！進階的吧（12）

Lattuca 等人（2006）分別以問卷調查 1994 年與 2004 年畢業生，與本研究中以教師的觀點來探討學生核心能力的情形不同，因此在結果上亦有所差異。Lattuca 等人（2006）的研究結果為：2004 年畢業生較 1994 年的更能：1) 了解自己可影響或被影響的社會及全球性工程決策、2) 應用工程技巧、3) 團隊合作技巧、4) 了解專業倫理與職業精神等；兩者間最小的差距則在於應用數學與科學的能力。而本研究在問卷結果上老師們雖認為學生有不錯的表現（六點量表中平均數皆大於 4），但訪談中老師們則認為學生核心能力在工程及科技教育認證前後並未有太大改變。

研究者在前面發現，大多數系所的教師對於課程的評量結果未能進一步分析學生的學習情形，如此教師要如何評斷學生在核心能力上有哪些改變呢？研究者認為建立評分規準（Rubric）是能評估學生核心能力的最佳方式。評分規準可以用來評估學生在作業上的表現、反應，以瞭解學生的程度，與是否達成教師原先預期的目標。學生當然也可以透過此一歷程，進行自我調整而改善其表現（Arter & McTighe, 2001; Wiggins, 1998）。然而，研究者從訪談

中發現：各學系評估學生核心能力的方式，不外乎將各個核心能力當作問卷之題項，運用五等量表讓學生自行評量。

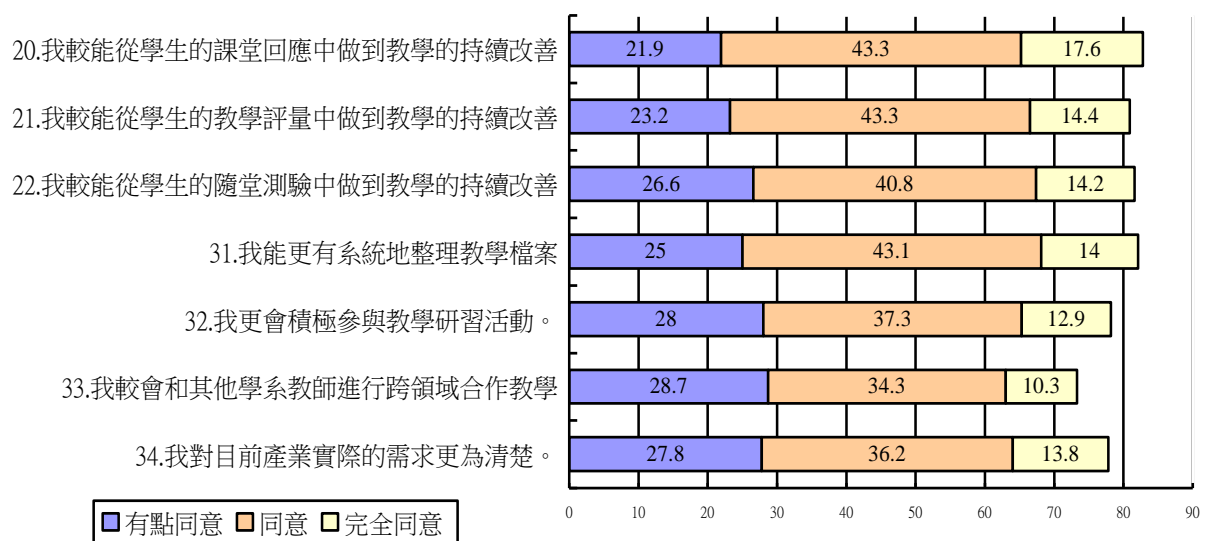
除了說有教學問卷以外...就是專門為 IEET，做了叫 IEET 問卷，所以他不是針對老師什麼教得認不認真。只是針對那個 IEET 的那個核心能力，或是說課程的目標這樣子。...IEET 的問卷就會說你覺得你數學能力有沒有學到？因為我們前面可能寫說這一門課是要加強數學能力，就說數學能力你有沒有學到，或是說這門課你覺得你英語能力有沒有增加？學生就勾很同意或什麼不同意這樣，但是看起來那個最後結果也只能這樣子。(13)

相較於認證未實施之前沒有任何評量與資料蒐集，這樣的問卷的確可提供些許的資訊，但值得深思的是這樣的方式究竟能達成多少功效。研究者認為：評量結果能正確反應學生的學習狀況，提供老師作為瞭解教學成效與調整教學內容的重要參考，才能達到評量的真正功能，亦是工程及科技教育認證的宗旨「落實持續改善」。

(三) 教師知覺工程及科技教育認證制度中「教師專業成長」之分析

在教師專業成長方面，平均數最高分為「31.我能更有系統地整理教學檔案 (m=4.42)」；最低分為「33.我較會和其他學系教師進行跨領域合作教學 (m=4.16)」。顯示：工程及科技教育認證制度的實施需要完整的佐證資料，教師多能配合蒐集與整理，但在跨領域合作教學上對教師而言，仍有難度。

依據 Lattuca 等人 (2006) 的研究發現：教師在專業發展的投入上對於學生在課程投入及學習參與有正面的影響，因此本問卷假設教師們對要符應工程及科技教育認證規範之要求，本身勢必要做一些調整。本研究發現：約有 80% 以上的教師能從教學中找到持續改善的依據。在教學檔案的整理也有不錯的表現 (m=4.42；81.2% 表示同意)，研究者推想：此可能是為了因應認證，受認證系所都必須準備許多的檔案資訊所致。



圖九 教師在「教師之自我教學改進與專業成長」向度表示同意之比例圖

在其他方面，如積極參與教學研習或對目前實務的需求的結果似乎未如 Lattuca 等人 (2006) 的研究結果：超過 2/3 的教師回應他們在過去一年中，閱讀許多有關教學的書；1/2

的教師參與正式專業發展的活動，如參加相關的研討會、工作坊，或加入某些計畫等以改進工程教育。然而，本研究發現教師們與其他教師之跨領域教學上較低，研究者認為：除了認證規範中未明確規定，在現實面中似乎也有相當的困難度。訪談中老師們亦表明：儘管他們知道工程及科技教育認證中「跨領域」是重要的項目，但是實際上並不是那麼容易實行的，能做的僅是邀請業界教師一同參與。

我們四個要去做跨領域的課程，但是沒有那麼容易，沒有那麼容易，那我們能做的就是引進外界比較有實務經驗的老師來開具有實務應用價值的一些課程，我們大概能做這樣補充（15）

整體而言，本研究之受訪教師們認為實施認證對其專業發展未有太大影響，過去也少有相關研究針對此點加以探討，研究者認為工程及科技教育認證對於教師專業成長的影響需要進一步之探討與釐清。

伍、結論與建議

本研究主要目的是以大學工學院與資電學院教師觀點，探討工程及科技教育認證制度實施之現況。透過問卷調查與深入訪談，分析並探討目前國內工程及科技教育認證實施的現況。

一、結論

問卷結果顯示：多數教師對於工程及科技教育認證制度的實施偏向正面的看法。在「課程與教學」方面，因為認證的實施，工程及科技教育認證制度的實施使得各受認證學程對於不同老師教授同一門課時，有了一致性的教學大綱。另外，許多學程也開始留意老師們教學大綱需包含的要素（如：目標、核心能力對應、評量...等），老師們較能留意教學目標與課程內容之間是否調準（alignment）。教學方面，多數老師們皆表示因為認證的原故，他們會多安排實務或實作方面的課程，並在教學中有較多的小組合作。然而受限於課程屬性，老師們仍會有講述性及紙筆測驗等傳統的方式。而老師們較為不足的是依據評量結果，分析學生學習情形。在「學生核心能力」方面，相較於問卷平均數偏高，受訪教師認為學生各項核心能力的表現在認證前後未有太大改變。這與教師未能分析學生學習情形是一體兩面的問題。「教師專業成長」方面，訪談發現：教師們對於跨領域合作教學表示有實行上的困難，工程及科技教育認證制度對於教師專業成長的影響，則需要更進一步的探討。

二、建議

本研究發現目前工程及科技教育認證最大的問題，在於大多數系所與教師僅是呈現提供考卷、成績單等資料，並未進一步分析與解釋學生的學習情形與核心能力之間的達成程度；換言之，只是檢視整體受教過程的品質，缺乏在課程上的深度檢視、探究、評量及討論等的工作。若能協助工程相關系所建立評分規準（rubrics），將欲評量的項目系統化及指標化，每項核心能力皆具備明確操作型定義、內涵說明，如此方能確保學生在畢業時皆能達到該系訂定之核心能力。

參考文獻

- 宋曜廷、潘佩妤（2010）。混合研究在教育研究的應用。*教育科學研究*，55(4)，97-130。
- 許維蓉（2007）。大學工科教師對成果導向認證制度之態度研究。國立中央大學學習與教學所，

碩士論文，未出版。

楊永斌、葛家豪、張佩芬、劉曼君 (2005a)。我國工程及科技教育認證制度現況及其未來發展。國家菁英季刊，1(3)，111-126。

楊永斌、葛家豪、張佩芬 (2005b)。我國工程及科技教育認證制度之推動現況。論文發表於「94 年度考選制度研討會系列一：建築師、技師之教育、考試、訓練、職業管理與國際接軌」研討會，台北：台灣大學應用力學所國際會議廳。

Arreola, R.A. (2007). *Developing a comprehensive Faculty Evaluation System* (3rd ed.). Bolton, MA: Anker

Chen, H. L., Lattuca, L.R., and Hamilton, E. A. (2008). Conceptualizing Engagement: Contribution of Faculty to Student Engagement in Engineering. *Journal of Engineering Education*, 97 (3), 339-53.

Dabney Creighton, S., Johnson, R. L., Penny, J., & Ernst, E. (2001). A comprehensive system for student and program assessment: Lessons learned. *International Journal of Engineering Education*, 17(1), 81-88.

Harper, B. J. & Lattuca, L. R. (2010). Tightening Curricular Connections: CQI and Effective Curriculum Planning. *Research in Higher Education*, 51 (6), 505-527. DOI 10.1007/s11162-010-9167-2.

Koehn, E. (1997). Engineering perceptions of ABET accreditation criteria. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 123(2), 66-70.

Koehn, E. (1999). Engineering design component for civil engineering curriculum. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 125(2), 35-39.

Koehn, E. (2000). Professional program criteria for civil engineering curriculum. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 126(4), 174-179.

Lambert, A. D., Terenzini, P. T., & Lattuca, L. R. (2007). More than meets the eye: Curricular and programmatic effects on student learning. *Research in Higher Education*, 48 (2), 141-168.

Lattuca, L. R., & Stark, J. S. (2009). *Shaping the college curriculum: Academic plans in context*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.

Lattuca, L. R., Terenzini, P. T., Harper, B. J., & Yin, A. C. (2010). Academic Environments in Detail: Holland's Theory at the Subdiscipline Level. *Research in Higher Education*, 51 (1), 21-39. DOI 10.1007/s11162-009-9144-9.

Lattuca, L. R., Yin, A. C., & McHale, I. M. (2010, November 18). Influences on Engineering Faculty Members' Teaching and Beliefs about Teaching. Research paper presented at the 2010 Annual Conference of The Association for the Study of Higher Education, Indianapolis, IN.

Lattuca, L.R. (2011) Influences of Engineering Faculty Members' Decisions about Educational Innovations: A Systems View of Curricular and Instructional Change. Retrieved April 16, 2011 from <http://www.nae.edu/File.aspx?id=36674>.

McGourty, J., Sebastian, C., & Swart, W. (1998). Developing a comprehensive assessment program for engineering education. *Journal of Engineering Education*, 87(4), 355-361.

McGourty, J., Shuman, L., Besterfield-Scare, M., Atman, C., Miller, R., Olds, B., Rogers, G. and Wolfe, H. (2002). Preparing for ABET EC2000: Research-Based Assessment Methods and

- Processes. *The International Journal of Engineering Education*, 18(2), 157-167.
- Miller, R. L., & Olds, B. M. (2002). Lessons learned in developing and implementing a program assessment plan. *International Journal of Engineering Education*, 18(2), 217-224.
- Soundarajan, N. (2002). Preparing for accreditation under EC 2000: An experience report. *Journal of Engineering Education*, 91(1), 117-123.
- Volkwein, J. F., Lattuca, L. R., Harper, B. J., & Domingo, R. J. (2007). Measuring the Impact of Professional Accreditation on Student Experiences and Learning Outcomes. *Research in Higher Education*, 48 (2), 251-282.

The predictive model of imagination stimulation

梁朝雲

國立臺灣大學生物產業傳播暨發展學系

Chao-yun Liang

Department of Bio-Industry Communication and Development, National Taiwan University

cliang@ntu.edu.tw; iccylian@saturn.yzu.edu.tw

Abstract

The focus of this study was on developing a theoretical framework of imagination stimulation to: (1) examine the effects of personality, psychological and environmental variables on the imagination of university students, (2) analyze the predictive relationships between these identified variables; and (3) test the mediator effect resulting from the variables of both intrinsic motivation and inspiration through action. 943 film majors from eight universities across Taiwan served as research subjects. The findings of this study provided empirical evidence to support the indicators of imaginative capabilities, psychological influence, and environmental influence. The hypothesis of the study—that the variables of both intrinsic motivation and inspiration through action mediate the effects of personality, psychological and environmental predictors, and both types of imagination—was partially supported. The structural model also showed that most personality traits had direct effects on imagination, while most psychological and environmental predictors had indirect effects.

Keywords: environmental predictors; imagination; mediator effect; personality traits; psychological predictors.

摘要

本研究旨在研發想像力激發的理論架構，在其中分析人格特質、學習心理和學習環境等變項對大學生想像力的預測關係，並驗證內在動機與做中悟的中介效果。來自臺灣各地八所大專院校之 943 位影視科系學生參與本研究。本研究結果為想像力、心理影響和環境影響提供構念分析的驗證支持。本研究假設—內在動機與做中悟在人格、心理、環境和想像力之間扮演中介變項的角色—獲得部分支持。結構方程分析結果顯示，多數的人格特質對想像力具有直接預測效果，而多數的心理和環境變項對想像力則具有間接的預測效果。

關鍵字：環境預測變項、想像力、中介效果、人格特質、心理預測變項

INTRODUCTION

The field of film production is a playground of imagination. Many film stories are derived from human experience. They may be drawn from scattered recollections of the director, or the personal story of the producer. Indeed, film production largely demands reproductive imagination. For example, the script writer must be good at generating sentiments and forming emotional

triggers within stories. The editor must make a series of proposals through subtle shifts in tense from what the sequence currently 'is' to what it 'will be'. Even an Oscar-winning actor or actress still needs to empathize with someone's emotion in order to bring the character to life.

Some films, especially science fiction movies, require tons of creative imagination. *Star-Trek* is one such example. This entertainment franchise has initiated many trends in pop-culture. Taking the nature of film production into account, the cameraman must be able to capture the angles, transitions and acting with the ideal lighting that will evoke certain feelings within the audience. The director must know how to facilitate techno-aesthetic collaboration between film engineers and theatre artists. In a production team, the producer must keep everyone motivated and well-supplied, and he must also creatively complete the project on time and under budget.

Laurier and Brown (2012) indicated that imagination, in the context of film production, can be perceived as the inter-subjective task of seeing the film-that-is-to-come through what is currently completed, what is missing, and what needs to be added. Century (2007) stated that in the techno-aesthetic frame of modern animation production, each exact imagination from a single domain has its unique contribution. When these original contributions are distributed amongst collaborators in the production team, a particularly valuable result of "exact imagination and distributed creativity" comes out. Century added that collaborative research would benefit from formulation of such an exact imagination, distributed across networks of differentiated creative individuals.

Imagination is different from creativity, but it can be perceived as the vehicle of active creativity (Gaut, 2003). Kaplan (1972) also indicated that the autonomy of imagination is the precondition of its creativity. Many studies concluded that human creativity may be influenced by the interaction between personal and environmental variables (Hennessey, & Amabile, 2010; Shalley, Zhou, & Oldham, 2004). The research team expanded the above conclusion and believed that human imagination may also be influenced by these variables. The team further divided the variables into three categories, namely environmental predictors, psychological predictors, and personality traits.

In this vein, the present study developed a theoretical framework of imagination stimulation to: (1) examine the effects of personality-, psychology-, and environment-related variables on imagination in university students, (2) analyze the predictive relationships between these identified variables; and (3) test the mediator effect resulting from the variables of both *intrinsic motivation* and *inspiration through action*. In this study, imagination refers generally to the process of transforming the inner imagery of film students, when they face a production task.

Imagination

Many exceptional artists and scientists believe that imagination has a profound impact on their creations. For example, William Shakespeare once stated that "The lunatic, the lover, and the poet, are of imagination all compact." Blaise Pascal contended that "Imagination disposes of everything; it creates beauty, justice and happiness, which are everything in this world." Albert Einstein also held that "(Imagination) is the preview of life's coming attractions." Moreover, George Lucas

claimed that “You can't do it unless you imagine it.”

Dewey (1910) explained that imagination is an aspect of reflective thinking that enables us to create ideas that not only go beyond what is given but are effective, in the sense that they are likely to transform experience as intended (p. 7). Trotman (2006) further explained that imagination is an essential human capacity in various activities such as the pursuit of creativity and innovation, the symbolic expression of ideas, and critical thinking. With a wider interpretation in regards to imagination, Craft, Chappell, and Twining (2008) proposed a concept of agency-focused ‘possibility thinking’ (or imagining) which may open a further seam of widening participation in both access to and engagement in higher education.

Liu and Noppe-Brandon (2009) held that imagination is the ability to conjure new realities and possibilities (p. 19). Imagination can unfold in the conscious and deliberate, and in the unconscious and intuitive (p. 12). They further indicated that imagination is fundamentally about making associations and analogies between things that hadn't previously seemed connected (p. 182). Many contemporary psychologists would describe imagination as one of the “higher mental functions” that “involve the synthetic combining of aspects of memories or experiences into a mental construction that differs from past or present perceived reality and many anticipate future reality” (Morosini, 2010, p. 42).

Many scholars have indicated that the activities of human imagination can be classified into two different categories: reproductive imagination and creative imagination (e.g., Betts, 1916; Colello, 2007). Reproductive imagination is characterized by the capability to reproduce mental images described by others or images from less accurate recollections of reality. This type of imagination is comprised of four characteristics, namely crystallization, dialectics, effectiveness and transformation (Liang, Hsu, Chang, & Lin, 2012). In contrast, creative imagination focuses on the attributes of initiation and originality. This type of imagination is composed of six characteristics, namely exploration, concentration, intuition, novelty, productivity and sensibility (Liang et al, 2012).

Crystallization refers to an individual's ability to express abstract ideas by using concrete examples (Perdue, 2003; Vygotsky, 2004). *Dialectics* refers to an individual's ability to seek improvement by logically analyzing ideas (Cartwright & Noone, 2006; Ribot, 1906). *Effectiveness* refers to an individual's ability to generate effective ideas about the goal (Ribot, 1906; Shin, 1994). *Transformation* refers to an individual's ability to perform tasks by transforming what they have known across multiple fields of knowledge (Ribot, 1906; Vygotsky, 1978).

Exploration refers to an individual's ability to explore the unknown (Folkmann, 2010; Valett, 1983). *Concentration* refers to an individual's ability to formalize ideas through focus (Cartwright et al., 2006; Folkmann, 2010). *Intuition* refers to an individual's ability to generate immediate associations to the target (Reichling, 1990; Townsend, 2003). *Novelty* refers to an individual's ability to create uncommon ideas (Beaney, 2005; Vygotsky, 2004). *Productivity* refers to an individual's ability to productively generate ideas (Folkmann, 2010; Ribot, 1906). *Sensibility* refers to an individual's ability to evoke feelings during the creative process (Reichling, 1990; Ricoeur, 1978).

In the current study, films are the filmmaker's creations and can be perceived as the transformation of the filmmaker's memory. Perdue (2003) indicated that film uses mixed-media to create a represented version of perceptible reality which evokes a mental concept to go beyond what is observable by the senses. Film is considered "a phantasm of images" which creates an imagined reality. The reality represents "higher truth" experienced in the viewer's imagination. Perdue further elaborated that film not only represents a version of imagination to the public in mass media form, but film also suggests an associative capability of the imagination in cognitive reasoning.

Psychological Predictors

The study of imagination has a long history associated with the field of psychology (Heath, 2008). Some psychological states, such as emotion, self-efficacy, cognition, and motivation have been proven to have an effect on imagination (Hennessey, 2004). For example, Fredrickson (2001) suggested that *emotions* such as joy and love broaden a person's available cognitive repertoire, thus enhancing creativity and imagination. Although emotions have been studied as facilitating factors in changing people's attitude, motivation, and problem-solving skills (Erez & Isen, 2002), there are other studies that argue conversely. Some studies show that emotions experienced during cognitive processing can be viewed as unnecessary loads, and they can have a negative effect on human reasoning (Paas, Renkl, & Sweller, 2003).

Many studies indicated that individuals with high *self-efficacy* perceive themselves as capable of resolving problems, and imagine the likelihood that acts can be performed (Anderson, 1983; Bandura, 2000). Bandura (2012) further indicated that self-efficacy is a focal determinant because it affects behavior both directly and by its influence on the other determinants. People with high self-efficacy, believe and imagine that they can affect change, and they have control over their thoughts, feelings, and actions. They are confident in their capacities; they are motivated to see difficult tasks as challenges rather than threats, setting meaningful goals for themselves and striving to achieve them.

The recent studies in the field of creative imagery reveal the cognitive structures and processes that are involved in creative thinking and imagination (Finke, 1996). For example, O'Connor and Aardema (2005) situated imagination within consciousness complete with its own pre-cognitive, cognitive and meta-cognitive domains. In the geneplore model of creative cognition, Finke (1996) claimed that two aspects accounted for creative thinking and imagination, a generative phase where an individual formulates mental representations, and an exploratory phase where those structures are adopted to establish creative ideas. Creative thinking at the generative phase is closely associated with generative cognition, while the exploratory phase is associated with metacognition.

In regards to motivation, Rosenbaum (2002) explained that a person's performance at a given time is affected by what they imagine and plan to do next. Oettingen and Mayer (2002) also believed that both positive expectations and fantasies would predict high-effort and successful performance. In order to examine the relationship between creativity and some personality traits, Prabhu, Sutton, and Sauser (2008) tested the meditational role of intrinsic motivation finding that creativity was positively related to self-efficacy, openness to experience and intrinsic motivation. In

addition, intrinsic motivation mediated the relationship between creativity and both personality traits of openness to experience and self-efficacy.

Environmental Predictors

Many studies have elucidated the role of environment in creativity. For example, Amabile et al. (1996) recognized crucial environmental conditions that nurture creativity: freedom, sufficient resources, challenging work, group support, supervisory encouragement, and absence of organizational impediments. Research has also suggested that the majority of individuals in a society exhibit personality traits favored by the cultural environment (Benedict, Mead, & Catherine, 1989). Moreover, Oldham and Cummings (1996) detected a four-way interaction among individual and environmental variables, in which creative performance was highest when employees with highly creative personalities worked on complex, challenging tasks under supportive supervision.

Accordingly, the college campus can be divided into four dimensions: its physical components and design, its dominant human characteristics, the organizational structures that serve its purposes, and the participants' constructions of its social climates (American College Personnel Association, 1994). First, the *physical component* dimension of a campus consists of its natural environment and man-made environment. Both components define space for activities and events, thereby encouraging some phenomena while limiting others (Strange, 2000). Second, the *organizational measure* dimension arises from the myriad decisions made about organizational purposes and functions (Strange, 2000). As a result, rules and regulations are formed, rewards systems are developed, and reports become necessary for resource allocation.

Third, the *social climate* dimension focuses on the subjective experiences of participants (Allodi, 2010; Strange & Banning, 2001). The social climate has both intrinsic influence and external impact. McMillan (1995) thus held that all schools should create a climate that is full of encouragement and support in order to cultivate student imagination. Fourth, the *human aggregate* dimension represents the collective characteristics of people who inhabit the campus environment. This dimension is about the dynamics of person-environment interactions, and reduces environmental differences to the collective effects of inhabitants' characteristics, personalities, and types (Komives & Woodard, 2003).

Furthermore, according to the recent studies in learning environments (e.g., Gislason, 2010), student learning should be separated as an independent variable to be studied. Kember, Ho, and Hong (2010) also indicated that student motivation can be enhanced through several supportive conditions, namely establishing relevance, establishing interest, allowing choice of courses, learning activities, teaching for understanding, assessment of learning activities, close teacher–student relationships, and sense of belonging between classmates. This study thus took *learning resources* into account to explore the impact of a campus environment on student imagination.

Personality Traits

Although imagination is different from creativity, it is usually viewed as the basis for cultivating creative thinking, and thus the driving force of innovation (Finke, 1996; Robinson &

Aronica, 2009). The present study expanded the argument that both imaginative and creative people share common personality traits, and these traits, in turn, may influence their imagination and creativity. This argument has been indirectly supported by several earlier studies, for example, the association between divergent thinking and imagination (Suddendorf & Fletcher-Flinn, 1999), and the personality traits of divergent thinkers (Batey, Chamorro-Premuzic, & Furnham, 2009).

Over the years, numerous researchers have found five traits that creative individuals have, namely high Openness to experience, low Agreeableness, low Conscientiousness, high Extraversion and high Neuroticism (King, McKee Walker, & Broyles, 1996; Prabhu et al., 2008). The previous study (Oldham & Cummings, 1996) also showed that employees who score high on openness to experience value environmental conditions that support creativity (e.g., supervisory encouragement) and respond to these conditions by exhibiting high creativity. Conversely, those who score lower on openness tend to devalue these conditions and respond less positively to them.

Other creative personality traits have been discussed such as: shyness, curiosity and neuroses (Nagera, 1969); being capable, clever, egotistical, insightful and resourceful (Gough, 1979); high energy, self-confidence, persistence in the face of barriers, and broad interests to recognize divergent information (Barron & Harrington, 1981); fantasy-orientation, impulsivity, emotional sensitivity, independence, unfriendliness, and the need for achievement and autonomy (Feist, 1999); divergent thinking, introversion, tolerance for ambiguity, willingness to take risks, behavioral flexibility, emotional variability, and the ability to absorb imagery (James & Asmus, 2001); a tendency towards novelty, eager to cooperate, and high self-esteem (Lee, 2005; McCrae, 1987); as well as playfulness and a sense of humor (Proyer & Ruch, 2011).

Personality traits indicate how people relate to each other and foster mutuality in the group (Clarkson, 2005). Anderson, Spataro, and Flynn (2008) found that extroverts attained more influence in a team-oriented organization, whereas conscientious individuals attained more influence in an organization in which individuals worked alone on technical tasks. Shalley et al. (2004) indicated that little research has been conducted to determine whether cognitive style or ability and personality make independent contributions to creativity or whether they interact with one another to affect an individuals' creative response. The current study is intended to provide some answers to this void in the research.

Proposed Hypotheses

Numerous studies have found that the creative personality is positively related to high intrinsic motivation and meta-cognitive ability, such as willingness to take risks and persistence in the face of barriers (Barron et al., 1981; McCrae, 1987). Previous research also claimed that people could be motivated by emotions (Bickhard, 2000) and self-efficacy (Brookhart, Walsh, & Zientarski, 2006). Much of the contemporary research concerned with creativity has been guided by an intrinsic motivation framework (Hennessey, 2004; Prabhu et al., 2008; Shalley et al., 2004). In addition, earlier studies (Deci, Connell, & Ryan, 1989) showed that external conditions, whether controlling or informational, might affect intrinsic motivation and subsequent creative performance.

In regards to the role of metacognition, many scholars claimed that people's motivation could

be augmented by their cognition (Bickhard, 2003) and metacognition (Efklides, 2011; Paris & Winograd, 1990). Fredrick (2007) also indicated that the most effective and creative problem-solvers engage in a process of metacognition in which they are aware of how they are thinking as they are doing the thinking. Vasquez and Buehler (2007) also found that people feel more motivated to succeed on a future task when they visualize its successful completion via a third-person. That is, recognition from third-persons (e.g., teachers, classmates) toward individuals' meta-cognition with hands-on practice can greatly motivate their imaginative tasks and creative performance. In his MASRL model, Efklides (2011) indicated that metacognition has positive relationships with both emotions and self-efficacy. According to the Cognitive Evaluation Theory, Deci et al. (1989) claimed that external conditions affect human cognition.

The present study took into account the crucial roles of both intrinsic motivation and metacognition on imagination-stimulation, and the practice-oriented nature of the film production field. We hypothesized that the personality, psychological, environmental predictors predict imagination through both intrinsic motivation and metacognition. To fit in with the context of film production, we renamed metacognition as *inspiration through action*. This enabled the participants to better express how they felt in regards to their imagination being influenced by metacognition with hands-on practice. Subsequently, the following relationships were hypothesized in this study:

H1: Intrinsic motivation is positively associated with both reproductive and creative imagination.

H2: Intrinsic motivation mediates the effects of personality traits and both types of imagination.

H3: Intrinsic motivation mediates the effects of psychological predictors and both types of imagination.

H4: Intrinsic motivation mediates the effects of environmental predictors and both types of imagination.

H5: Inspiration through action is positively associated with both reproductive and creative imagination.

H6: Inspiration through action mediates the effects of personality traits and both types of imagination.

H7: Inspiration through action mediates the effects of psychological predictors and both types of imagination.

H8: Inspiration through action mediates the effects of environmental predictors and both types of imagination.

METHOD

Variables and Measures

Imaginative Capability Scale. Based on Liang et al. (2012), the measure for imaginative capability was a 10-item scale which was composed of two dimensions: reproductive imagination and creative imagination. Respondents answered on a six-point scale ranging from 1 (strongly disagree) to 6 (strongly agree). In regards to reproductive imagination, some representative items are: "I often complete my tasks by focusing on effective ideas" and "I am good at seeking improvement by logically analyzing ideas." With respect to creative imagination, some

representative items are: “I often help myself imagine by arousing personal feelings” and “I often have uncommon ideas compared to others”. The Cronbach’s α of this scale in the present study is reported in Table 1.

Psychological Influence Scale. Based on Hsu, Liang, and Chang (2013), psychological influences were measured with a 26-item scale which was composed of six subscales namely: intrinsic motivation, generative cognition, positive emotion, negative emotion, inspiration through action, and self-efficacy. The *generative cognition* is a six-item subscale that measured the degree to which participants considered what cognitive approaches were important in stimulating their imagination. The *positive emotion* subscale includes three items reflecting the extent to which participants reported being positively influenced by a feeling. The *negative emotion* subscale is a three-item subscale that indicated the degree to which participants felt their imaginations were influenced by their negative psychological states and surroundings. *Self-efficacy*, a five-item scale, evaluated the extent to which participants reported being influenced by the belief in their own competence. The *intrinsic motivation* subscale consists of five items that assess participants’ imagination being influenced by personal satisfaction rather than for some external rewards. Finally, four items constitute the *inspiration through action* subscale and examine how participants felt regarding their imagination being influenced by metacognition with hands-on practice. Respondents answered on a six-point scale ranging from 1 (strongly disagree) to 6 (strongly agree). Some representative items are: “Use immersive sensory exploration to spark imagination” (generative cognition), “Joyfulness from the surroundings” (positive emotion), “Anxiety felt by individuals” (negative emotion), “Be determined to achieve set standards” (self-efficacy), “Courage to present different ideas” (intrinsic motivation), and “Hands-on design with constantly-changing concepts envisaged in mind” (inspiration through action). The Cronbach’s α of each subscale is listed in Table 1.

Environmental Influence Scale. Based on Chen, Huang, and Liang (2012), the environmental influence scale is composed of items that cluster into five subscales. The *social climate* subscale consists of four items that assess the extent to which participants reported being influenced by the climate of the class. The *physical component* subscale includes three items reflecting the degree to which participants felt the spaces and facilities in an environment stimulated their imagination. The *learning resources* subscale is a four-item subscale that assesses the degree to which participants felt the messages and activities in an environment stimulated their imagination. The *organizational measure* subscale is a six-item subscale that measures participant perception of the influence of organizational structure and instructional measures. Finally, four items constitute the *human aggregate* subscale. It reflects the extent that the imagination is influenced by the organizational culture and its dominant human characteristics by the participants. Respondents answered on a six-point scale ranging from 1 (strongly disagree) to 6 (strongly agree). Some representative items are: “Communication and discussion with classmates” (social climate), “Public spaces for creation, discussion and exhibitions” (physical component), “Dynamic audiovisual stimuli such as rhythm, sound, and movies” (learning resources), “Teacher’s encouragement and praise for taking risks” (organizational measure), and “There is a culture on campus of putting imagination into practice”

(human aggregate). The Cronbach's α of each subscale in the current study is also reported in Table 1.

Big-Five Mini-Markers (BFMM). Based on the International English Big-Five Mini-Markers (Thompson, 2008), personality traits were measured with a 40-item scale. The scale items consist of short phrases that are used to assess the traits typically associated with each of the Big-Five dimensions: extraversion (e.g., talkative, energetic, outgoing), open to experience (e.g., creative, intellectual, deep), emotional stability (e.g., unworried, unanxious, unenvious), conscientiousness (e.g., efficient, systematic, organized), and agreeableness (e.g., sympathetic, cooperative, warm). Before creating the survey, this scale was translated from English to Chinese and then translated back into English by three independent bilingual individuals to ensure equivalency of meaning (Brislin, 1980). Respondents answered on a five-point scale ranging from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). The Cronbach's α of International English BFMM in this study also refers to Table 1.

Participants and Procedure

The hypothesized model was tested with data from eight universities across different regions in Taiwan. The participants in this study were students in film programs from these universities. In order to ensure the quality of this study, the research team discussed the above scales with instructors in the target programs before carrying out the survey. The survey was delivered in each program using the same procedure and was processed in tutorial groups accompanied by the class instructors. In this manner, the problems participants faced when answering the questions could be resolved directly.

In the questionnaire, the students were asked to determine their level of agreement with regard to each imaginative capability, each item of Thompson's (2008) Big-Five Mini-Markers, and the strength of psychological/environmental influence that each item had on their imagination. Of the 1,025 participants, 943 completed all the parts of this study. The majority (70.6%) was female; 42.5% were juniors, 30.4% were sophomores, 21.5% were seniors, and 5.5% were graduate students. Participation was voluntary and guaranteed anonymity.

RESULTS

Descriptive Analysis

The data was analyzed using SPSS 17.0 software. The results of descriptive analysis, with regard to the means, the standard deviations, and the correlation among variables, are illustrated in Table 1.

TABLE 1
The *M*, *SD*, Cronbach's α , and Correlation among Variables

Variables	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. Reproductive imagination	4.42	.65	(.76)																	
2. Creative imagination	4.31	.66	.67*	(.85)																
3. Extraversion	3.35	.76	.15*	.21*	(.88)															
4. Openness	3.36	.58	.50*	.56*	.11*	(.77)														
5. Emotional Stability	2.86	.63	.07*	.07*	.00	.14*	(.80)													
6. Conscientiousness	3.36	.63	.33*	.25*	.13*	.33*	.15*	(.85)												
7. Agreeableness	3.90	.51	.20*	.15*	.20*	.13*	.17*	.19*	(.76)											
8. Physical component	4.55	.72	.12*	.14*	.04	.08*	-.05	.05	.13*	(.74)										
9. Learning resources	4.54	.79	.15*	.12*	.08*	.07*	-.03	.04	.11*	.49*	(.83)									
10. Organizational measure	4.98	.77	.18*	.14*	.08*	.10*	.01	.11*	.18*	.44*	.50*	(.91)								
11. Social climate	5.40	.67	.17*	.13*	.15*	.05	-.06	.03	.17*	.35*	.36*	.56*	(.90)							
12. Human aggregate	4.56	.99	.15*	.16*	.12*	.09*	-.05	.06	.16*	.28*	.43*	.51*	.41*	(.87)						
13. Generative cognition	4.89	.68	.26*	.26*	.09*	.20*	-.06	.08*	.13*	.34*	.39*	.39*	.37*	.32*	(.89)					
14. Intrinsic motivation	5.14	.67	.33*	.31*	.09*	.23*	-.02	.10*	.19*	.32*	.37*	.48*	.50*	.39*	.53*	(.83)				
15. Positive emotion	4.91	.82	.12*	.14*	.04	.16*	-.01	.06	.16*	.27*	.27*	.35*	.36*	.32*	.40*	.47*	(.82)			
16. Negative emotion	4.84	.99	-.03	-.01	.04	-.05	-.15*	.01	.04	.16*	.13*	.24*	.28*	.27*	.20*	.27*	.30*	(.94)		
17. Inspiration through action	4.94	.70	.30*	.30*	.10*	.22*	-.06	.13*	.12*	.31*	.36*	.43*	.46*	.39*	.55*	.60*	.44*	.29*	(.86)	
18. Self-efficacy	5.05	.73	.29*	.25*	.04	.15*	-.06	.18*	.17*	.32*	.36*	.45*	.48*	.36*	.42*	.59*	.40*	.31*	.59*	(.89)

Note: * $p < .05$, (n) = Cronbach's α .

Mediator Effect

The hypotheses of the present study suggested that five sets of variables (intrinsic motivation, inspiration through action, personality traits, psychological predictors, and environmental predictors) stimulate imagination, and that both intrinsic motivation and inspiration through action mediate the effects of the other three clusters of variables on imagination. The research team tested the mediator effect of the present study based on the four steps provided by MacKinnon et al. (2002).

First, we tested the effects of predictive variables (personality traits, psychological predictors, and environmental predictors) on outcome variables (both reproductive imagination and creative imagination). The results of this analysis showed a good fit to our data ($X^2 = 4483.67$, $df = 1770$, $p < .005$, $CFI = .97$, $RMSEA = .040$, $SRMR = .040$, $TLI = .97$, 90% CI .039 to .042). The research team removed the non-significant paths, and revised the model ($X^2 = 2023.45$, $df = 561$, $p < .005$, $CFI = .96$, $RMSEA = .053$, $SRMR = .045$, $TLI = .96$, 90% CI .050 to .055).

Second, we continually examined the effects of predictive variables on the mediator (intrinsic motivation and inspiration through action). The results of the initial and revised analyses showed a good fit to our data. The revised model demonstrated a reasonably good fit ($X^2 = 2953.68$, $df = 818$, $p < .005$, $CFI = .98$, $RMSEA = .053$, $SRMR = .045$, $TLI = .97$, 90% CI 0.51 to .055). Third, we further tested the effects of the mediator on both types of imagination. Our results still showed a

good fit to the present data ($X^2 = 4521.16$, $df = 1581$, $p < .005$, CFI = .98, RMSEA = .044, SRMR = .044, TLI = .97, 90% CI .043 to .046).

The final step described by MacKinnon et al. is to show that the strength of the relation between the predictor and the outcome is significantly reduced when the mediator is added to the model. According to our analyses, the relationships between all predictive variables and both types of imagination were significantly reduced when both mediators were included in the model. Thus, the mediation model was initially supported.

Structural Models

Although the hypothesized model ($X^2 = 5855.05$, $df = 2331$, $p < .005$, CFI = .98, RMSEA = .040, SRMR = .042, TLI = .97, 90% CI .039 to .041) showed a good fit to the present data, not all factors were significantly associated with two types of imagination. We removed the non-significant paths and then revised the structural model. The trimmed model showed a model fit comparable to that of the initial model, $X^2 = 4521.16$, $df = 1581$, $p < .005$, CFI = .98, RMSEA = .044, SRMR = .044, TLI = .97, 90% CI .043 to .046. It accounted for substantial variance in intrinsic motivation (the first mediator, $R^2 = .62$), inspiration through action (the second mediator, $R^2 = .58$), reproductive imagination ($R^2 = .50$) and creative imagination ($R^2 = .49$).

The standardized path coefficient of intrinsic motivation to reproductive imagination was $.27^*$, and the path of intrinsic motivation to creative imagination was $.11^*$. The relevant coefficients of inspiration through action were $.15^*$ and $.12^*$. With regard to predictor variables, our results showed that openness owned the strongest direct effects on reproductive imagination ($.45^*$) and creative imagination ($.60^*$), followed by the direct effect of conscientiousness on reproductive imagination ($.20^*$). The direct and indirect effects resulting from all the latent predictor variables on imagination are illustrated in Figure 1. Table 2 also reported the correlation of these predictor variables.

The case of model trimming suggested that the final model is more presentable, and hence, should be supported. Overall, the SEM results summarized in Figure 1 partially support the present hypotheses. With respect to the effects resulting from intrinsic motivation, our data showed that this variable directly influenced both creative and reproductive imagination (H1 was supported). Partially supporting the mediating hypotheses of intrinsic motivation (H2, H3 and H4), one personality trait (openness), three psychological predictors (self-efficacy, generative cognition, and positive emotion), and two environmental predictors (social climate and organizational measure) influenced imagination through their impact on intrinsic motivation.

In regards to the effects resulting from inspiration through action, the results revealed its direct effect on both types of imagination (H4 was supported). Our study also partially supported the mediating hypotheses of inspiration through action (H5, H6 and H7), two personality traits (openness and agreeableness), three psychological predictors (self-efficacy, generative cognition, and positive emotion), and two environmental predictors (social climate and human aggregate) influenced imagination through their impact on inspiration through action.

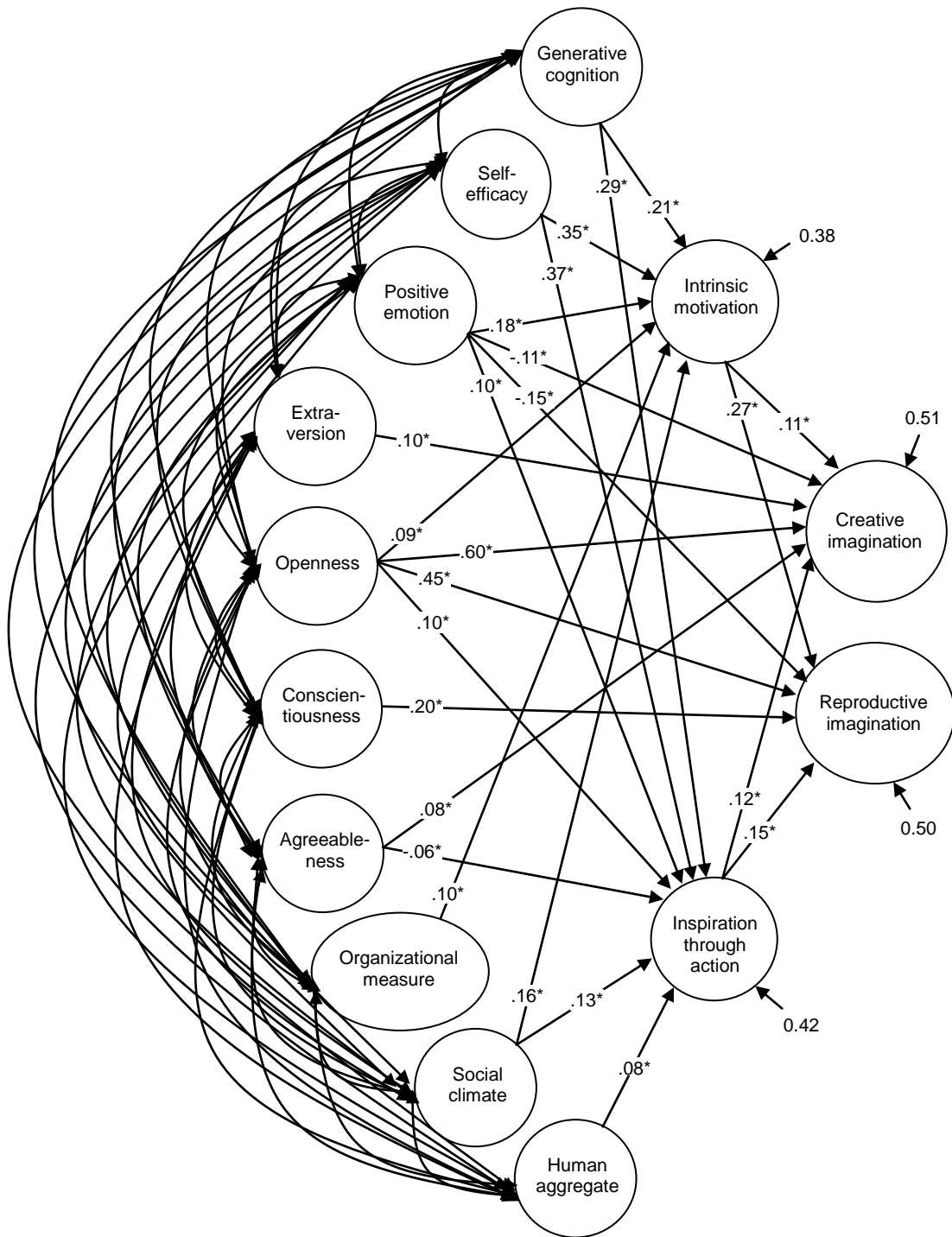


FIGURE 2 The predictive model of imagination stimulation

TABLE 2
The Correlation of Latent Predictor Variables and Their Effects

Variables	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Direct effect		Indirect effect	
											RI	CI	RI	CI
1. Extraversion	--										--	.10*	--	--
2. Openness	.16*	--									.45*	.60*	.03*	.04*
3. Conscientiousness	.17*	.41*	--								.20*	--	--	--
4. Agreeableness	.25*	.16*	.20*	--							--	.08*	-.01*	-.01*
5. Organizational measure	.09*	.11*	.11*	.20*	--						--	--	.03*	.01*
6. Social climate	.16*	.03	.04	.21*	.61*	--					--	--	.05*	.03*
7. Human aggregate	.13*	.11*	.08*	.17*	.57*	.44*	--				--	--	.01*	.01*
8. Generative cognition	.10*	.21*	.09*	.13*	.43*	.39*	.36*	--			--	--	.10*	.06*
9. Positive emotion	.08*	.16*	.06	.21*	.39*	.40*	.35*	.43*	--		-.15*	-.11*	.05*	.03*
10. Self-efficacy	.04	.16*	.19*	.19*	.50*	.51*	.40*	.46*	.44*	--	--	--	.15*	.07*

Note: * $p < .05.$, RI = Reproductive Imagination, CI = Creative Imagination

DISCUSSION

As stated earlier, while philosophical studies abound on the influence of various factors on imagination, little empirical research articulated about imaginative capabilities and influential factors, nor the way that these factors may affect these capabilities. The present study contributes to a map for traveling around in the complex world of human imagination. The results of this study increase the understanding of the influences of the long-standing individual personality, the situation-dependent psychological influences, and the context-dependent environmental impacts on human imagination.

Imaginative Capabilities

Our results supported the earlier study (Liang et al, 2012) that imaginative capabilities can be categorized into two groups. First, reproductive imagination consists of crystallization, dialectics, effectiveness and transformation. Second, creative imagination is comprised of exploration, concentration, intuition, novelty, productivity and sensibility. While in no way definitive or exhaustive, nonetheless, the study has yielded a path for further inquiries. For example, it would be interesting to elaborate each of the ten imaginative capabilities identified in this study and clarify their uses. It would also be valuable to explore which imaginative capability may be best facilitated in which age-range. It would be even more exciting to elucidate which imaginative capabilities may be required in various domains, e.g., arts, science, design, engineering, or management.

Based upon the belief in imagination as a vehicle of creativity, the results of this study open a window to empirically explore the relationship between imagination and creativity. To be more specific, it would be interesting to know if imaginative and creative individuals share common personality traits. It would also be valuable to learn which imaginative capability can trigger which creative ability. Like many time-honored measures existing in the field of creativity studies (e.g.,

Guilford, 1975; Torrance, 1998), it is important to make each imaginative capability assessable and to develop feasible capability tests. The integration of game-based learning and performance assessment may be one of the best means to develop imaginative capability tests.

Mediator effects

The present study hypothesized that intrinsic motivation and inspiration through action may play facilitating roles in augmenting the effects of identified influential variables on student imagination. Our findings partially supported this hypothesized mediating relationship. The mediator effects were majorly affected by self-efficacy and generative cognition, moderately influenced by positive emotion and social climate, and slightly affected by other variables.

Particularly, our results shed light on the crucial role that cognitive ability may play in human imagination. The cognitive ability includes self-efficacy, generative cognition and inspiration through action (i.e., metacognition with hands-on practice). The mediator effects may conclude that the cognitive ability is the most critical resource to connect human imagination and creativity. Until now, little empirical research has been articulated about the interaction between these two important human capabilities. This finding will potentially bridge the literature gap between creativity and imagination. In addition, this study also found that the mediator effect of intrinsic motivation uniquely predicted reproductive imagination. This has been an issue little discussed in the film field and highlights the need for future inquiries.

According to our data, self-efficacy, generative cognition, positive emotion and social climate contributed to the mediator effect of intrinsic motivation the most. On the other hand, the three most critical contributors to the mediator effect of inspiration through action were: self-efficacy, generative cognition and social climate. In response to these findings, film instructors may need to pay attention to: arranging interesting assignments, giving freedom during the production process, encouraging different ideas, arousing curiosity for the unknown, and inspiring different ways of thinking and/or doing during the production process. According to our study, these strategies can be best used by consolidating the influences of self-efficacy, generative cognition, and social climate.

Although we demonstrated the mediating roles of intrinsic motivation and inspiration through action in this study, we wonder if any moderators or non-linear relationships, as studied by Prabhu et al. (2008), exist in this vein? Much more work needs to be done in order to shed light on the issues of mediation and moderation, especially the effects that collaborative practice has on the interdisciplinary film production context as described by Laurier et al. (2012).

Effects on Imagination

With respect to reproductive imagination, it is not surprising to find openness to experience is positively related to reproductive imagination. In fact, many scholars have identified openness as most related to imagination (e.g., Barrick & Mount, 1991). What surprised us about the evidence shown in this study is that conscientiousness was directly associated with reproductive imagination. Few studies have implied, let alone articulated, this relationship. This may be due to the fact that previous imaginative studies largely focused on creative imagination but overlooked the mental

reproductive capability. In addition, our data also showed that reproductive imagination is positively influenced by intrinsic motivation but negatively affected by positive emotion.

These findings provide intriguing insights into student selection processes and educational strategies, not to mention employee recruitment and retention programs in the corporate world. Accordingly, to improve the reproductive imagination of film students, it may be important to use the following strategies: encourage students to be more conscientious and open to various life experiences, stimulate their intrinsic motivation, and build up their cognitive structure through hands-on practices. This study also suggests that the instructor should be adept at recognizing positive emotions while encouraging and intervening to change students' affective states whenever possible.

In regards to creative imagination, the results showed that both openness and extroversion greatly influenced creative imagination. Our data also indicated that agreeableness had a slight but significant effect on creative imagination. This finding is incompatible with earlier studies (e.g., King et al., 1996; Prabhu et al., 2008), which might stem from the oriental-western cultural difference or the research focus of this study on creative imagination rather than imagination as a whole. In addition, we also found that positive emotion had a negative impact on creative imagination. These findings further underscore the demand for more effort to be devoted to this line of research in the future.

According to these results, the following instructional strategies may be suggested: strategically use intrinsic motivation and inspiration through action as mechanisms through which self-efficacy, generative cognition, and social climate, may trigger creative imagination among students. It also suggests that each film program may need some kind of student recruitment policy. For example, assessment tools of personality traits, especially the imagination- and/or creativity-related ones, may need to be added into student-selection procedures. Instructors may also need to encourage their students to be more open to diverse life experiences in order to absorb more positive energy for creative performance.

Limitations

The social desirability and variation in context may have contributed to errors in self-reporting instruments. The choice of research tools however, was justified by the preliminary nature of most imagination studies. The questions asked in our survey did not contain any sensitive items that would cause the respondents to present themselves in a more socially acceptable manner. Furthermore, using a self-reporting survey enables us to study large samples of students. Following Chan's (2009) discussion of self-reporting measures, the samples of our study (nearly a thousand participants) were large enough across universities to allow us to generalize our findings to a larger population.

Although the final model we presented fits the data well, the predictive validity could be stronger. Similar to multiple influential variables on human creativity (Shalley et al., 2004), personality traits, psychological factors, and environmental factors are but three variables stimulating student imagination. Additional variables, such as student ethnicity, gender, age, and

school location, should be taken into account in future research. Such an inquiry might enable one to trace the complicated effects resulting from the interplay of involving variables.

CONCLUSION

Although the limitations of this study must be kept in mind, the results of this study provided several intriguing insights of how film student imagination was stimulated by the combined impact of personality traits, psychological states, and the surrounding environment. To begin, the present study lent additional support to previous study that imaginative capabilities can be categorized into two groups, namely reproductive imagination and creative imagination. Furthermore, this study extended our understanding about how strongly variables influenced on both types of imagination, and how they might function.

The results of this study partially supported the mediation model of intrinsic motivation and inspiration through action in which personality traits, individual psychology, and learning environment, both directly and indirectly influenced the two types of imagination. The mediator effects were majorly affected by self-efficacy and generative cognition, and moderately influenced by positive emotion and social climate. Also, the results indicated that the personality trait of openness was the most predictive variable to both types of imagination. With respect to reproductive imagination, it may be positively influenced by conscientiousness and intrinsic motivation, but negatively affected by positive emotion. In regards to creative imagination, it may be positively affected by extroversion and agreeableness, but also negatively influenced by positive emotion.

The fact that human imagination depends largely on individual personality traits to influence other variables (e.g., Karwowski, 2008; Karwowski & Soszynski, 2008) makes it critical for scholars in the creativity field to understand the origins of influence. The current study additionally provided empirical support that a particular mediating relationship can serve as an important source of influence. Theoretically, our results also shed light on the critical role that cognitive ability can play to connect human imagination and creativity. These findings could potentially bridge the literature gap in regards to imaginative capabilities, and the gap between creativity and imagination, which underscores the need for future inquiry.

Acknowledgments

The current study is part of the research project (NSC100-2511-S-155-005-MY2) supported by Taiwan's National Science Council. The authors would like to extend their gratitude to Li-Chong Lin of National Taiwan University for his valuable contributions in statistical analysis. Furthermore, the authors also would like to acknowledge the insightful suggestions of anonymous *Journal of Technology and Engineering Education* reviewers.

REFERENCES

Allodi, M. W. (2010). The meaning of social climate of learning environments: Some reasons why we do not care enough about it. *Learning Environments Research*, 13(2), 89-104.

- Amabile, T. M., Conti, R., Coon, H., Lazenby, J., & Herron, M. (1996). Assessing the work environment for creativity. *Academy of Management Journal*, 39(5), 1154-1184.
- American College Personnel Association. (1994). *The student learning imperative: Implications for student affairs*. Washington, DC: American College Personnel Association.
- Anderson, C. A. (1983). Imagination and expectation: The effect of imagining, behavioral scripts on personal intentions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45(2), 293-305.
- Anderson, C., Spataro, S. E., & Flynn, F. J. (2008). Personality and organizational culture as determinants of influence. *Journal of Applied Psychology*, 93(3), 702-710.
- Bandura, A. (2000). Cultivate self-efficacy for personal and organizational effectiveness. In E. A. Locke (Ed.), *Handbook of principles of organization behavior* (pp. 120-136). Oxford, UK: Blackwell.
- Bandura, A. (2012). On the functional properties of perceived self-efficacy revisited. *Journal of Management*, 38, 9-44.
- Barrick, M. R., & Mount, M. K. (1991). The big five personality dimensions and job performance: A meta-analysis. *Personnel Psychology*, 44(1), 1-26.
- Barron, F., & Harrington, D. M. (1981). Creativity, intelligence, and personality. *Annual Review of Psychology*, 32(1), 645-664.
- Batey, M., Chamorro-Premuzic, T., & Furnham, A. (2009). Intelligence and personality as predictors of divergent thinking: The role of general, fluid and crystallized intelligence. *Thinking Skills and Creativity*, 4(1), 60-69.
- Beane, M. (2005). *Imagination and creativity*. Milton Keynes, UK: Open University.
- Benedict, R., Mead, M., & Catherine, M. (1989). *Patterns of culture*. NY: Mariner Books.
- Betts, G. H. (1916). Chapter IX: Imagination. *The mind and its education* (e-Book). New York: D. Appleton and Company.
- Bickhard, M. H. (2000). Motivation and emotion: An interactive process model. In R. D. Ellis & N. Newton (Eds.), *The caldron of consciousness* (pp. 161-178). Amsterdam, Netherlands: John Benjamins.
- Bickhard, M. H. (2003). An integration of motivation and cognition. *BJEP Monograph Series II, Number 2 - Development and Motivation*, 1(1), 41-56. UK: British Psychological Society.
- Brislin, R. W. (1980). Translation and content analysis of oral and written material. In H. C. Triandis & J. W. Berry (Eds.), *Handbook of cross-cultural psychology* (Vol. 2, pp. 349-444). Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Brookhart, S. M., Walsh, J. M., & Zientarski, W. A. (2006). The dynamics of motivation and effort for classroom assessments in middle school science and social studies. *Applied Measurement in Education*, 19(2), 151-184.
- Cartwright, P., & Noone, L. (2006). Critical imagination: A pedagogy for engaging pre-service teachers in the university classroom. *College Quarterly*, 9(4), 1-14.
- Century, M. (2007, June 13-15). Exact imagination and distributed creativity: A lesson from the history of animation. *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI conference on creativity & cognition*, 83-89.

- Chan, D. (2009). So why ask me? Are self-report data really that bad? In C. E. Lance & R. J. Vandenberg (Eds.), *Statistical and methodological myths and urban legends: Doctrine, verity and fable in the organizational and social sciences* (pp. 309-335). New York, NY: Routledge.
- Chen, S. -C., Huang, Y., & Liang, C. (2012). The combined effects of learning environment and personality traits on student imagination. *Instructional Technology and Media*, 102, 62-78.
- Clarkson, A. (2005). Educating the creative imagination: A course design and its consequences. *Jung: the e-Journal of the Jungian Society for Scholarly Studies*, 1(2). Retrieved February 18, 2013, from <http://www.thejungiansociety.org/Jung%20Society/e-journal/Volume-1/Clarkson-2005.html>
- Colello, S. M. G. (2007). Imagination in children's writing: How high can fiction fly? *Notandum*, 10(14). Retrieved February 11, 2013, from <http://www.hottopos.com/notand14/silvia.pdf>.
- Craft, A., Chappell, K., & Twining, P. (2008). Learners reconceptualising education: Widening participation through creative engagement? *Innovations in Education and Teaching International*, 45(3), 235-245.
- Deci, E. L., Connell, J. P., & Ryan, R. M. (1989). Self-determination in a work organization. *Journal of Applied Psychology*, 74(4), 580-590.
- Dewey, J. (1910). *How we think* (p. 7). NY: Dover Publications.
- Efklides, A. (2011). Interactions of metacognition with motivation and affect in self-regulated learning: The MASRL model. *Educational Psychologist*, 46(1), 6-25.
- Erez, A., & Isen, A. M. (2002). The influence of positive affect on the components of expectancy motivation. *Journal of Applied Psychology*, 87(6), 1055-1067.
- Feist, G. J. (1999). The influence of personality on artistic and scientific creativity. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of human creativity* (pp. 273-296). New York: Cambridge University Press.
- Finke, R. A. (1996). Imagery, creativity, and emergent structure. *Consciousness and Cognition*, 5(3), 381-393.
- Folkman, M. N. (2010). *Enabling creativity. Imagination in design processes*. Paper presented at the 1st International Conference on Design Creativity ICDC 2010, Kobe, Japan, November 29-December 1.
- Fredrick, M. (2007). *101 things I learned in architecture school*. Cambridge, Mass: The MIT Press.
- Fredrickson, B. L. (2001). The role of positive emotions in positive psychology: The broaden-and-build theory of positive emotions. *American Psychologist*, 56(3), 218-226.
- Gaut, B. (2003). Creativity and imagination. In B. Gaut, & P. Livingston (Eds), *The creation of art*, (pp.148-73). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Gislason, N. (2010). Architectural design and the learning environment: A framework for school design research. *Learning Environments Research*, 13(2), 127-145.
- Gough, H. G. (1979). A creative personality scale for the adjective checklist. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37(8), 1398-1405.
- Guilford, J. P. (1975). Varieties of creative giftedness, their measurement and development. *Gifted Child Quarterly*, 19(2), 107-121.

- Heath, G. (2008). Exploring the imagination to establish frameworks for learning. *Studies in Philosophy and Education*, 27(2), 115-123.
- Hennessey, B. A. (2004). The social psychology of creativity: The beginnings of a multi-cultural perspective. In S. Lau (Ed.), *Creativity: When east meets west* (pp. 201-226). Hong Kong: World Scientific Publishing.
- Hennessey, B. A., & Amabile, T. M. (2010). Creativity. *Annual Review of Psychology*, 61(1), 569-598.
- Hsu, Y., Liang, C., & Chang, C. -C. (2013). The mediator effects of generative cognition on imagination stimulation. *Innovations in Education and Teaching International*, DOI: 10.1080/14703297.2013.796715.
- James, K., & Asmus, C. (2001). Personality, cognitive skills, and creativity in different life domains. *Creativity Research Journal*, 13(2), 149-159.
- Kaplan, E. K. (1972). Gaston Bachelard's philosophy of imagination: An introduction. *Philosophy and Phenomenological Research*, 33(1), 1-24.
- Karwowski, M. (2008). Measuring creativity using the Test of Creative Imagination (TCI). Part 2. On validity of the TCI, *New Educational Review*, 15(2), 216-231.
- Karwowski, M., & Soszynski, M. (2008). How to develop creative imagination? Assumptions, aims and effectiveness of Role Play Training in Creativity (RPTC). *Thinking Skills and Creativity*, 3(2), 163-171.
- Kember, D., Ho, A., & Hong, C. (2010). Characterising a teaching and learning environment capable of motivating student learning. *Learning Environments Research*, 13(1), 43-57.
- King, L. A., McKee Walker, L., & Broyles, S. J. (1996). Creativity and five-factor model. *Journal of Research in Personality*, 30(2), 189-203.
- Komives, S. R., & Woodard, D. (2003). *Student services: A handbook for the profession* (4th ed.) (p. 302.). San Francisco, LA: Jossey-Bass.
- Laurier, E., & Brown, B. (2012). The mediated work of imagination in film editing: Proposals, suggestions, re-iterations, directions and other ways of producing possible sequences. In M. Broth, E. Laurier, & L. Mondada (Eds.), *Video at work*. Routledge, New York.
- Lee, K. -H. (2005) The relationship between creative thinking ability and creative personality of 4 to 5 year-old preschoolers. *International Education Journal*, 6, 194-199.
- Liang, C., Hsu, Y., Chang, C. -C., & Lin, L. -J. (2012). In search of an index of imagination for virtual experience designers. *International Journal of Technology and Design Education*, DOI: 10.1007/s10798-012-9224-6.
- Liu, E., & Noppe-Brandon, S. (2009). *Imagination first: Unlocking the power of possibilities*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- MacKinnon, D. P., Lockwood, C. M., Hoffman, J. M., West, S. G., & Sheets, V. (2002). A comparison of methods to test mediation and other intervening variable effects. *Psychological Methods*, 7(1), 83-104.
- McCrae, R. R. (1987). Creativity, divergent thinking, and openness to experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52(6), 1258-1265.

- McMillan, M. (1995). *Education through the imagination*. Bristol, England: Thoemmes.
- Morosini, P. (2010). *Seven keys to imagination: Creating the future by imagining the unthinkable - and delivering it*. London, United Kingdom: Marshall Cavendish.
- Nagera, H. (1969). The imaginary companion: Its significance for ego development and conflict solution. *Psychoanalytic Study of the Child*, 24, 165-195.
- O'Connor, K. P., & Aardema, P. (2005). The imagination: Cognitive, pre-cognitive, and meta-cognitive aspects. *Consciousness and Cognition*, 14(2), 233-256.
- Oettingen, G., & Mayer, D. (2002). The motivating function of thinking about the future: Expectations versus fantasies. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83(5), 1198-1212.
- Oldham, G. R., & Cummings, A. (1996). Employee creativity: Personal and contextual factors at work. *Academy of Management Journal*, 39(3), 607-634.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent development. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- Paris, S., & Winograd, P. (1990). Promoting metacognition and motivation of exceptional children. *Remedial and Special Education*, 11(6), 7-15.
- Perdue, K. (2003). *Imagination*. The Chicago school of media theory. Retrieved October 16, 2012, from <http://lucian.uchicago.edu/blogs/mediatheory/keywords/imagination/>
- Prabhu, V., Sutton, C., & Sauser, W. (2008). Creativity and certain personality traits: Understanding the mediator effect of intrinsic motivation. *Creativity Research Journal*, 20(1), 53-66.
- Proyer, R. T., & Ruch, W. (2011). The virtuousness of adult playfulness: the relation of playfulness with strengths of character. *Psychology of Well-Being: Theory, Research and Practice*, 1(4), 1-12.
- Reichling, M. J. (1990). Images of imagination. *Journal of Research in Music Education*, 38(4), 282-293.
- Ribot, T. (1906). *Essay on the creative imagination*. Chicago, IL: Open Court.
- Ricoeur, P. (1978). The metaphorical process as cognition, imagination, and feeling. *Critical Inquiry*, 5(1), 143-159.
- Robinson, K., & Aronica, L. (2009). *The element: How finding your passion changes everything*. New York, NY: Penguin.
- Rosenbaum, D. A. (2002). Motor control. In H. Pashler (Series Ed.) and S. Yantis (Vol. Ed.), *Stevens' handbook of experimental psychology: Vol. 1. Sensation and perception* (3rd ed.)(pp. 315-339). New York: Wiley.
- Shalley, C. E., Zhou, J., & Oldham, G. R. (2004). The effects of personal and contextual characteristics on creativity: Where should we go from here? *Journal of Management*, 30(6), 933-958.
- Shin, U. (1994). The role of imagination in integrative knowledge: A Polanyian view. *Tradition and Discovery: The Polanyi Society Periodical*, 21(2), 16-28.
- Strange, C. C. (2000). Creating environments of ability. *New Directions for Student Services*, 91, 19-30.

- Strange, C. C., & Banning, J. H. (2001). *Educating by design: Creating campus learning environments that work*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Suddendorf, T., & Fletcher-Flinn, C. M. (1999). Children's divergent thinking improves when they understand false beliefs. *Creativity Research Journal*, 12(2), 115-128.
- Thompson, E. R. (2008). Development and Validation of an International English Big-Five Mini-Markers. *Personality and Individual Differences*, 45(6), 542-548.
- Torrance, E. P. (1998). *The Torrance Tests of Creative Thinking norms technical manual figural (streamlined) forms A & B*. Bensenville, IL: Scholastic Testing Service, Inc .
- Townsend, D. (2003). Cohen on Kant's aesthetic judgements. *British Journal of Aesthetics*, 43(1), 75-79.
- Trotman, D. (2006). Evaluating the imaginative: Situated practice and the conditions for professional judgment in imaginative education. *International Journal of Education & the Arts*, 7(3), Retrieved March 08, 2013, from <http://ijea.asu.edu/v7n3/>.
- Valett, R. E. (1983). *Strategies for developing creative imagination and thinking skills*. Retrieved December 28, 2012, from <http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED233533.pdf>.
- Vasquez, N. A., & Buehler, R. (2007). Seeing future success: Does imagery perspective influence achievement motivation? *Personality and Social Psychology Bulletin*, 33, 1392-1405.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S. (2004). Imagination and creativity in childhood. *Journal of Russian and East European Psychology*, 42(1), 7-97.