

技術及職業教育學報 第七卷第二期

2017年3月 頁77~98

10.6235/TVE.2615

技術型高中奈米科技教材及學習評量之研究

林逸茜¹、吳明雄²、袁宇熙³

摘要

本研究旨在建構技術型高中機械科專業科目的奈米科技教材，以及發展融入式教學模式。本研究透過實驗研究法進行驗證，所發展的教材包含 28 個單元、14 個章節的機械材料科目，以及 10 個單元、6 個章節的機械製造科目。此外，本研究亦建構了包含知識、態度和表現的 KAP 評量工具，以評估學生學習成效。總共 219 位選自北臺灣技術型高中的學生參與為期 12 周的實驗教學。經雙因子共變異數分析(Two-way MANCOVA)與單因子共變異數分析(one-way ANCOVA)後，結果顯示實驗組的奈米科技在奈米知識和態度的學習表現優於控制組。分析結果支持本研究基於學習理論所發展的教材，能夠提升學生對奈米科技的學習表現。此外，經過信效度驗證的評估工具可有效評量學生對奈米科技知識、態度、表現的學習成果。最後，研究結果支持融入式課程的策略，可有效強化技術型高中學生對新興科技的學習表現。

關鍵詞：奈米科技、機械工程、教學模式、KAP 量表、學習表現

¹ 林逸茜：國立臺灣師範大學工業教育學系

² 吳明雄：中華科技大學企業管理系

³ 袁宇熙（通訊作者）：元培醫事科技大學企業管理系

電子郵件：yuanyh@gm.ypu.edu.tw

收件日期：2017.01.09；接受日期：2017.03.21

Journal of Technological and Vocational Education

September, 2017, Vol.7 No.2, pp. 77~98

10.6235/TVE.2615

The Study of Nanotechnology Teaching Material Development and Performance Assessment for Vocational Students

I-Chien Lin¹, Ming-Hsiung Wu², Yu-Hsi Yuan³

Abstract

The main purpose of this study is to develop nano-technology materials for professional subjects to in-fused into a curriculum teaching model design for students who major in mechanical engineering. The research employs a quasi-experimental method to carry out the course that includes twenty-eight sections and fourteen chapters in Mechanical Materials as well as ten sections and six chapters in Mechanical Manufacturing. In addition, an assessment tool, the KAP scale consisting of three subscales, that is, knowledge, attitude, and performance, that developed by researchers to assess students' learning performance. There are 219 students in a vocational school in the northern Taiwan had involved in this research and taught for 12 weeks in a semester with an experimental teaching method. This study employs two-way MACOVA and one-way ANCOVA to analyze data in pre-test and post-tests both. The results show that the learning performance of experimental groups is better than control groups in nanotechnology knowledge and attitude. The result shows that the developed teaching materials base on leaning theory can promote vocational students' performance toward nanotechnology. Further, a validation instrument had developed in this study for measure the outcome of students' nanotechnology knowledge, attitude, and performance. In addition, result supported that the infused into curriculum strategy is an effective approach to enhance vocational high school student's emerging technology learning.

Keywords: Nano-technology, Mechanical Engineering, teaching model; KAP Scale, learning performance.

¹ I-Chien Lin: National Taiwan Normal University of Department of Industrial Education

² Ming-Hsiung Wu: China University of Science and Technology of Department of Business Administration

³ Yu-Hsi Yuan (Corresponding Author): Yuanpei University of Medical Technology of Department of Business Administration

E-mail: yuanyh@gm.ypu.edu.tw

Manuscript received: 2017.01.09; Accepted: 2017.03.21

壹、緒論

一、研究背景與動機

奈米科技為廿一世紀科技與產業發展最大的驅動力，而奈米結構更是一個令科學家們充滿了想像空間的神奇領域，其整體的發展使人類得以解開大自然的奧秘。奈米科技和奈米科學已經廣泛的應用在各領域中，例如醫藥和醫學、材料和製造、航空和太空科技、科學和研究等等 (Kurt, 2014)。奈米科技的學習活動在中學也大幅推動，因為人才培育投入產業發展需求刻不容緩，舉例來說，歐洲對於具備奈米科技資格的人力需求預估為四十萬人左右 (Roco, 2003)，而且也是管理者必須要知道的專業知識，以利組織營運 (Tomczyk, 2015)，因此，在奈米科技領域中，受過專業訓練的人力是非常重要的基礎。依據中區奈米科技教育資源中心 (2009) 資料顯示，有多達 45 所中學參與教育部推廣奈米科技的「K-12 教育發展計畫」，但是其中僅 2 所為技術型高中，僅佔 4.4%，相較於高中，技術型高中較缺乏參與 K-12 計畫的動機。Lavie 與 Drori (2012) 認為，學術研究能大幅激發知識的產生和應用，為了協助前瞻科技的推廣與應用，高等教育正試圖將奈米科技概念和新教法導入技術型高中的機械工程課程中，促進並提升學生的專業能力與知識 (Delale, Liaw, Jiji, Voiculescu & Yu, 2011)。Lin, Chen, Shih, Wang 與 Chang (2015) 設計原理和教學模式並整合到臺灣的科學課程中，然而其研究對象僅聚焦於當地中等學校。

值得注意的是，奈米科技可以整合到奈米科技教育領域的所有科目中 (Kurt, 2014)。奈米科技正在創造新一波的技术革命與產業，同時，呈現多學科整合性質的整體表現。因此，奈米科技所需的是擁有跨領域知識訓練、宏觀視野的人才。技術型高中學生處於職業教育的養成訓練階段，對於將來的生涯規劃，必定要有宏觀的思考，才能夠具有價值的創造。因此，教育決策單位必須審慎地規劃技術型高中學生在機械範疇的奈米科技新知，培養正確的科技素養，才能構迎接新科技的挑戰—就是接續前人創造的臺灣奇蹟，此乃本研究動機之一。另許多研究指出，技術型高中較易忽略奈米科技先備知識的養成。諸多學者主張，學生應該從高中層級開始建構健全的進階科技概念 (施琮仁、林宜平、鄭尊仁, 2016; Childress & Rhodes, 2006; Rhodes & Childress, 2010)。因此，培養技術型高中教育的奈米概念型知識與專業相關技能，設定訓練學生技能目標，幫助他們有效執行奈米技術並建構未來科技才能。據此，本研究目的係根據學習理論，發展奈米及機械課程的整合性教材、教學模式、及學生表現評量工具等等。

二、研究目的

具體而言，本研究之目的說明如後。

(一) 配合課程綱要，發展奈米科技融入技術型高中機械科專業科目之教材：機械材料與機械製造。

(二) 設計實驗教學，透過選定的研究對象進行奈米科技融入式教學，以驗證本研究所開發之教材的適用性。

(三)發展相應的學習評量工具，據以評估學生學習奈米科技融入機械專業科目之成效。

(四)依據實驗教學結果，提供奈米科技融入技術型高中機械科專業科目適宜的教學模式。

貳、理論背景

一、奈米科技

「奈米」是長度的量尺，為英文字「nano-meter」的音譯。奈米在希臘文中則意為侏儒。一奈米 (nm) 等於一公尺的十億分之一，也就是 10^{-9} (Chen, 1998; Roco, 2011)。奈米科技是涵蓋各種學科的一門科學，主要針對奈米尺寸結構，涉及在該尺寸內發展材料或設備 (Roco, 2011)。一般而言，奈米科技控制 0.10~100 奈米範圍內尺寸的材料，以產生具有廣大應用範圍的材料和設備。奈米結構係由原子和分子所組成，能產生擁有更大結構的新分子，具有新奇物理、化學及生物的性質和現象。奈米科技的目標為探索這些性質，有效製造並利用結構性改變，開發新生產技術和新產品，以及創造新價值 (Chen, 2002)。再者，奈米科技是一個完全跨領域的技術，以原子和分子等級操控系統，設計並產生新材料、奈米機器和奈米設備，促進人類的的生活 (Balakrishnan, Er & Visvanathan, 2013)。

目前，此領域正積極發展成為工業和學術的主流 (Roco, 2011)。因此，奈米科技是一個新興領域，對於人才的培育具有重要價值。Ghatts (2015) 指出，奈米科技是一個涵蓋科學、科技、工程及數學 (STEM) 的跨學科領域。教育是知識與應用的工具，它同時可以讓一個國家的經濟發展更為繁榮。這顯示教育在人們增加對科學和科技的了解上扮演重要的角色，是面對科技趨勢與挑戰的最前線。

二、有意義的學習理論

有意義的學習理論 (Meaningful learning theory) 係由美國心理學家 David P. Ausubel 所清楚定義，該理論係以「認知架構」(cognitive architecture) 為基礎，聚焦於學習者必須將新知識與他們先前的知識產生連結 (Ausubel, 1963, 1968, 1978; Ausubel, Novak & Hanesian, 1978)。講師可以利用「前導組織教學法」(advance organizer) 協助學習者進行有意義的學習 (Chen, 2003)。Ausubel 認為，有意義學習的概念是學習者試圖將新知識與相關現有知識進行整合 (Novak, 2011)。

在本研究中，奈米科技的設計材料係經由數位輔助軟體 PowerPoint 呈現。這些教材透過圖表、動畫及微電影等方式呈現奈米等級的物質運動與變化情形，再搭配「機械製造」和「機械材料」原有的機械原理和機械運作知識，設計與奈米知識的關聯性，藉以幫助學生產生學習連結與意義，形成有意義的學習。因此，有意義的學習可透過圖表讓介觀尺度的機械原理和奈米尺度的物質運作相互連結，以加強學生的奈米概念。最後，學習成效則透過本研究發展的工具「KAP 量表」進行評量。

三、雙碼理論

根據「雙碼理論」(Dual Code Theory)，人類的心理結構和知識過程源自於兩個同步和相關連的次系統，一個處理語言表徵，另一個處理視覺表徵 (Paivio, 1971)。這些表徵與感知相連，接收語言資訊，這些語言資訊會透過工作記憶的語言編碼過程分配，並做進一步轉換。雙編碼理論強調，過量的資訊會造成處理困難，引起認知負荷，且無助於對資訊的記憶和了解。學習者整合視覺或聽覺、影像或文字、文字或聲音、聲音或影像等學習教材的來源，進而刺激記憶、影響學習成果 (Chen, 1998)。

四、小結

總結以上，可進一步根據上述學習理論發展奈米知識教材。首先，教材設計者可以根據符合有意義學習理論，透過選定的機械材料和機械製造科目，掌握延伸的奈米科技知識，形成有意義的學習。此外，針對含有文字數字、動畫文字、動畫音效資訊等等融入式實驗課程，進一步開發設計 PowerPoint 教材，以符合同時接受文字-圖像、圖像-影片、文字-動畫等不同資訊型態傳遞的雙碼理論。因此，所有教材的建構，皆聚焦於讓奈米科技融入機械製造課程和機械材料課程。再者，為了探索奈米級材料與奈米科技的知識，需完成數位媒體教材內容，以求清楚顯示奈米結構和奈米功能，然後透過數位教材設計將圖與表相互連結，協助建構個人的奈米科技知識。最後，利用實驗教學法，協助學習者分辨機械材料和機械製造與奈米科技的異同，以發展與驗證融入式奈米科技的學習課程。

參、研究方法

一、評量工具

本研究設計兩階段實施，在第一階段中，採用 KAP 量表三個概念，設計與課程有關的問卷：知識 (K)、態度 (A) 和表現 (P)。在第二階段中，進行實驗教學、資料蒐集、表現評估。根據專業機械課程，從知識概念發展出 15 個問題。其他 15 個問題則是針對一般課程設計。對於態度概念，針對專業課程設計 5 個問題，其餘問題則針對一般課程。關於表現概念，針對專業課程設計 5 個問題。其他 15 個問題則以一般課程加以設計。使用 Likert's scale，針對 A 和 P 量表，等級從 1 分 (完全不同意) 到 5 分 (完全同意)。

表 1

KAP 量表題數一覽表

量表種類	題型	題數
K (knowledge, 知識)	一般題型	15
	專業題型	15
A (attitude, 態度)	一般題型	15

(續下頁)

量表種類	題型	題數
P (Performance, 表現)	專業題型	5
	一般題型	15
	專業題型	5

至於信度分析結果，知識題項 (K) 的庫李信度 (KR-20) 為 0.812，顯示題項有良好的信度。其次，態度量表 (A) 的 Cronbach's α 值為 0.936。第三，表現量表 (P) 的 Cronbach's α 值 0.945，顯示，這三個量表具有高度內部一致性信度。

二、參與者和實驗設計

依據立意抽樣法，以選定的六個班級進行實驗組和控制組的分派，受試者為技術型高中機械科的一年級和三年級學生。其中授課科目為「機械製造」的班級，以機械製造科一年級 38 名學生代表控制組 A；其他兩班級共 74 名學生則分派為實驗組 1A 與 2A。此外，再由其中授課科目為「機械材料」的班級，從機械科三年級抽樣取得 35 名學生為控制組 B，另選取兩個班級級計 72 名學生作為實驗組 1B 與 2B，參與者人數總計 219 名學生，實驗組和控制組的學生人數如表 2 所示。其中控制組依照正常講述授課，不進行任何實驗教學介入處理措施；實驗組則進行奈米科技融入式教學。

表 2

實驗組和控制組樣本分配表

科目	組別	樣本
機械製造	實驗組 1A (PPT)	38 人
	實驗組 2A (PPT+概念圖)	36 人
	控制組 A	38 人
機械材料	實驗組 1B (PPT)	35 人
	實驗組 2B (PPT+概念圖)	37 人
	控制組 B	35 人
總計：		219 人

考量隨機選取和參與者分配在現實的教學場域非常困難，因此，本研究使用準實驗研究設計 (quasi-experimental designs) 的前後測不等控制組設計 (nonequivalent pretest-posttest control group design)。依變數置入實驗組的奈米科技知識課程中。控制組進行傳統教法，不使用奈米科技材料。學習成效透過 KAP 量表評量，以檢測參與者的奈米科技知識、態度和表現，實驗設計請見表 3。

表 3

本研究類實驗性設計表

組別	前測	實驗處理	後測
實驗組 1A (PPT)	Y ₁	X ₁	Y ₇
實驗組 2A (PPT+概念圖)	Y ₂	X ₂	Y ₈
控制組 A	Y ₃	--	Y ₉
實驗組 1B (PPT)	Y ₄	X ₃	Y ₁₀
實驗組 2B (PPT+概念圖)	Y ₅	X ₄	Y ₁₁
控制組 B	Y ₆	--	Y ₁₂

註：Y₁ 至 Y₆ 為利用 KAP 量表的前測。

X₁ 至 X₄ 置入課程教學法。

Y₇ 至 Y₁₂ 為利用 KAP 量表的後測。

本研究目的在評估實驗教學參與者經過實驗教學課程後，其奈米科技知識、奈米科技態度及奈米應用表現的變化程度，並在課程教授前、後，用 KAP 量表測量。

三、實驗教材

設計奈米置入課程作為我們實驗課程，係由研究團隊所開發，包含奈米科技概念和應用實例。這些實驗科目在機械製造的課程共 6 個章、10 小節；機械材料課程有 14 個章、28 小節。因此，此課程的教材包含教科書、多媒體教材、PowerPoint 教材及影片。課程為「機械製造」和「機械材料」單元，所發展的奈米科技知識教材透過專家會議討論並檢視其合宜性。專家會議成員包含技術型高中教師，以及大學的教育專家和課程專家。關於單元選擇有三個原則。第一，單元內容符合奈米科技的基礎概念。其次，單元必須與生活應用相關。最後，單元必須與產業關聯。為了使已開發的教材符合「機械製造」和「機械材料」的原課程內容，因此舉行兩次專家會議來檢視本研究所發展的奈米科技教材。此外，為了確認已開發教材的合適性，乃進行先導性研究 (pilot study)，對選取的班級教授 3 週，教學互動過程用攝影機錄製。此外，亦參考授課教師自行填寫的教學日記和學生的訪談內容。研究者根據這些記錄檢視並修正教材。融入式單元的章節請見附錄一和附錄二。

四、實施程序

本研究進行三階段課程設計程序，第一階段是教材的開發和確認，所有選取教材都透過專家會議取得。第二階段為前導性研究 (pilot-study)，目的為檢測本研究所開發之教材的適當性與教學模式的合宜性。第三階段為將實驗課程融入正式課程中。在實驗教學中，授課教師將奈米科技教材融入專業課程中，每個教學單元時間為 10 至 15 分鐘。此融入式課程設計依 Becker (1969) 的概念，如果兩

個以上科目有關聯，知識單元應分成幾個子單元，然後依照課程綱要加以編排。此實驗課程屬融入式課程模式，將奈米科技概念融入所選取的正式課程單元中。在 10~15 分鐘的融入式課程單元內，授課教師用研究團隊所開發的數位教材（PowerPoint）教授奈米知識，然後說明該授課科目單元和奈米科技知識之間的應用與關聯性（請見圖 1）。

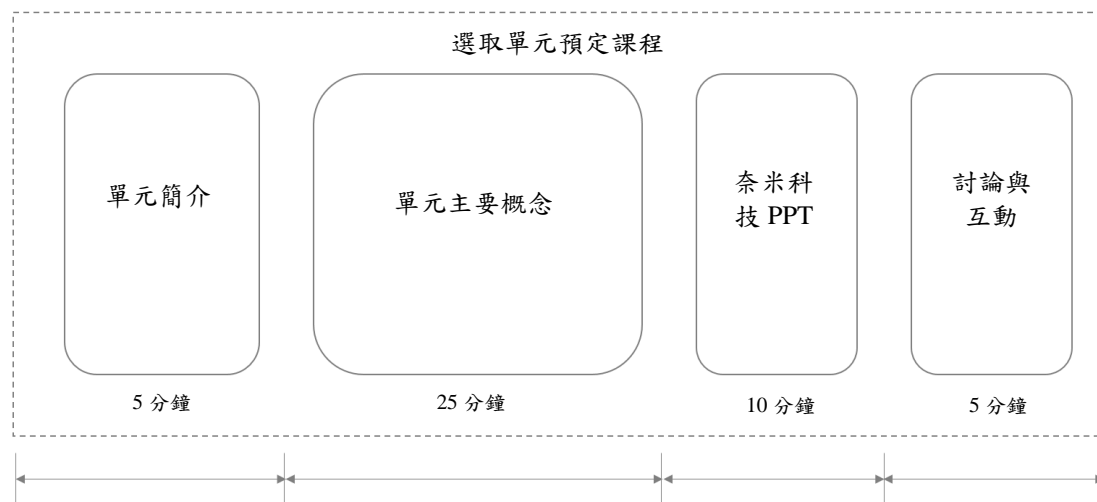


圖 1 奈米科技知識的融入式課程設計模式示意圖

五、實驗效度

為了處理實驗設計的效度影響，本研究採用排除策略（McMillan, 2007），說明如後。

歷史影響：參與者在實驗處理期間，不涉入適用中學畢業後學生的奈米科技相關教材。再者，比較實驗組和控制組，以確認排除歷史影響因素。

成熟因素：實驗組和控制組年齡相仿，且選修相同的科目，因此本研究排除參與者的成熟因素。

統計迴歸：選取組別根據其學習表現和學習成果，在相同等級上加以比較，並以統計迴歸加以控制。

選擇偏差：為了掌控此困難，針對所有參與者進行設計前測，了解他們先前有關奈米科技的先備知識。

實驗流失率：由於從目前班級選取參與者，控制組的樣本流失率約為 2~6%。

實驗檢定：將設計良好的工具分成知識、態度和表現等，在多個面向量測參與者的學習成果。此外，知識面向在不同單元測量（請參閱附錄 I 和附錄 II），使本研究可以控制檢測偏差。

工具性：所有工具都在專家會議和研究人員小組會議中建構、檢視並修正。已開發的研究工具在建構後就不會更改，以確保一致性。

補償性競爭：為了避免原本課程被奈米科技知識涵蓋，實施一套設計課程作為本研究的教學法。因此，不論參與者是否屬於實驗組或控制組，他們的原本課程保持不變，所以這個困難在本研究中已受到控制。

肆、結果

本研究利用問卷調查來量測並蒐集資料，利用統計分析軟體 SPSS 作為描述性統計、信度及效度分析、變異數分析等。本研究進行雙因子多變量共變異數分析 (MANCOVA)，檢測不同組別 (兩個實驗組和一個控制組) 和課程 (機械製造和機械材料) 之間 KAP 量表結果是否有明顯差異。

一、KAP 量表

置入奈米科技中的專業科目的十五個題目，依序屬於知識領域部分第 16~30 題。學生填寫完問卷後，正確答案得 1 分，不正確得 0 分。因此，總分範圍為 0 到 15 分。在態度領域部分，五項依序為第 16~20 題。有些問題為 1~5 分，有些則為 5 分，所以總分範圍為 5~25 分。在專業領域方面，5 項依序為第 16~20 題，評分方式與態度領域相同。每個實驗組 KAP 量表前測和後測分數的平均數和標準差，請見表 4。

表 4

不同組別的 KAP 平均數和標準差摘要表

科目	組別	子量表	前測		後測	
			M	SD	M	SD
機械製造	實驗組 1A	K	6.45	2.11	10.29	2.70
		A	17.34	2.69	16.30	2.93
		P	11.34	3.57	12.62	3.61
	實驗組 2A	K	5.80	2.07	9.08	2.56
		A	17.43	3.47	18.11	2.85
		P	13.29	3.89	12.50	3.97
	控制組 A	K	5.89	1.90	5.59	2.39
		A	17.26	3.84	16.73	4.15
		P	12.97	4.60	14.51	3.28
機械材料	實驗組 1B	K	6.14	1.83	8.38	2.53
		A	19.46	3.89	18.68	2.95
		P	11.63	4.26	12.03	4.82
	實驗組 2B	K	5.85	1.79	7.89	1.65
		A	19.84	3.38	19.92	3.62
		P	12.43	4.50	13.58	3.34
	控制組 B	K	5.76	1.80	5.61	1.69
		A	18.76	3.22	19.42	3.31
		P	11.09	3.48	13.09	4.49

二、學習表現之檢定

為了釐清不同組別中各種科目的學習表現，因此進行一個多變量共變異數分析 (MANCOVA)。依變數是 KAP 量表專業題目的前測總分數，共變數是 KAP 量表專業題目的後測分數，固定因子是不同實驗組和科目。需解讀在檢測雙向 MANCOVA 前，交互作用在不同實驗組和科目之間是否有明顯差異 (Wu, 2008)。

如有明顯差異，需進一步進行單純主要效果檢定，檢查這兩個獨立變數。排除 KAP 專業題目前測資料分析顯示，當自變數與實驗組和科目不同時，交互作用未達顯著水準 (Wilks' Lambda=.943; $p>.05$)。下一步是檢測兩個依變數的單純主要效果，結果請見表 5。

表 5
雙因子 MONCONA 分析彙整

來源	df	SSCP			Wilks'	F 值		
					Λ	K	A	P
組別	2	498.826	-11.898	-157.489	.877***	49.568***		
		-11.898	95.499	22.137			5.292**	
		-157.489	22.137	53.271				1.992
科目	1	49.603	-78.660	4.860	.622***	9.858**		
		-78.660	124.739	-7.708			13.824***	
		4.860	-7.708	.476				.036
組別*科目	2	26.911	15.478	-.411	.943	2.674		
		15.478	12.647	-15.157			.701	
		-.411	-15.157	59.451				2.223

註：* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

三、單純主要效果檢定

根據雙向 MANCOVA 的結果，需檢測兩個自變數的單純主要效果，不同組別和科目的平均數檢測如下：

(一) K 專業題目的檢測

1. 不同組別之間差異平均值的檢測

根據表 4，不同組別的主要影響具有明顯差異 (Wilks' $\Lambda=.877$; $p<.001$)，顯示 KAP 專業量表不同組別之間的明顯差異。根據 K 量表結果，顯示有明顯差異 ($F=49.568$; $p<.001$)。One-way MANOVA 係用來檢測不同組別之間的差異。根據組內同質性檢測的結果，依迴歸分析顯示，共變數和依變數之間沒有明顯差異 ($F_{(2,201)}=.620$; $p>.05$)。這表示，共變數 (前測的 K 分數) 和依變數 (後測的分數) 之間的關係，對於自變數的差異等級不會有影響。因此，下一步便是檢測共變數 (Wu, 2008)。One-way ANCOVA 的分析彙整如以下表 6。

表 6

K 平均數分數不同組別的 One-way ANCONA 分析彙整

來源	Type III SS	df	MS	F	局部 η^2
共變數 (K 前測)	114.989	1	114.989	21.879***	.097
組間 (組別)	514.527	2	257.264	48.950***	.326
誤差	1066.891	203	5.256		

註：*** $p<.001$

表 5 顯示，除了每個組別的前、後測 K 專業問題外，還有明顯差異 ($F_{(2,203)}=48.950; p<.001$)。在事後檢測中，實驗組的數值(經調整的平均值=9.273; SE=2.71; $p<.001$)高於控制組。實驗組 II 的數值(經調整的平均值=9.273; SE=2.71; $p<.001$)也較控制組高。再者，實驗組 1 和 2 之間沒有明顯差異 ($p>.05$)。統計檢定力 (statistic power) 的檢測為機率，執行這個檢測來確定不成立的原假設 (false null hypothesis) 是否有效。還有，如果統計檢定力過高，研究結果和實際現象之間不一致的問題將可避免。

一般而言，研究達到明顯等級的數值為 0.05，統計檢定力則須達到至少 0.8 (Cohen, 1998)。組別間單變量數值明顯 ($F=48.950; p<.001$)，統計檢定力數值為 0.999。因此，可以合理推定統計檢定力不錯。Cohen (1998) 認為，具有影響大小值的適當標準的研究，應該高於 0.80。計算實驗組 1 的分析 (實驗 1B、E1B、E1A，教學法：PPT)，Cohen 的 $d=13.382$ ，影響大小為 0.989，實驗組 2 (E2B、E2A，教學法：PPT 及學習概念圖) 的值為 Cohen 的 $d=13.382$ ，影響大小為 0.989。這表示以奈米科技知識為基礎的課程，具有相當大的影響大小值。我們實驗教學的期望目標已經達成。

2. 不同科目之間差異平均數分數的檢測

關於不同科目的主要影響明顯差異，可參閱表 4 ($Wilks' \Lambda=.622; p<.001$)，在 KAP 專業量表組別之間至少有一個領域有明顯差異。根據 K 量表的結果，顯示有明顯差異 ($F=9.858; p<.01$)。其次，One-way MANOVA 係用來檢測組別之間的差異。

各組一致性檢測的結果，根據迴歸分析顯示，共變數和依變數之間沒有明顯差異 ($F_{(1,203)}=.006; p>.05$)，這表示共變數 (前測的 K 分數) 和依變數 (後測的 K 分數) 之間的關係，在自變數不同等級中沒有差異。下一步便是檢測共變數。One-way ANCOVA 的結果彙整，請參閱表 7。

表 7

K 子量表組間 One-way ANCOVA 分析結果彙整表

來源	Type III SS	df	MS	F
共變數 (K 前測)	114.989	1	114.989	21.879***
組間	514.527	2	257.264	48.950***
誤差	1066.891	203	5.256	

註：*** $p<.001$

表 7 顯示，除了各種課程前、後測 K 專業問題外，不同班級有明顯差異 ($F_{(2,203)}=48.950; p<.001$)。在事後檢測之後，機械製造班級的數值 (調整後平均數=7.393; SE=.279; $p<.05$) 高於機械材料班級 (調整後平均數=9.273; SE=2.71; $p<.001$)。

(二) 專業題目的檢測

1. 不同實驗組之間的差異平均數檢測

表 4 中不同實驗組的主要影響有明顯差異，很明顯的是，在 KAP 專業量表，不同實驗組中，至少有一個領域具有明顯差異。再者，A 量表的結果顯示明顯差異 ($F=5.292; p<.001$)。One-way MANOVA 是用來檢測各組間的差異。各組中同質性檢測的結果，依迴歸分析，共變數和依變數之間沒有明顯差異 ($F_{(2,198)}=.351; p>.05$)。這表示，共變數（前測的 A 分數）和依變數（後測的 A 分數）對自變數的不同等級沒有差別。因此，下一步便是檢測共變數。One-way ANCOVA 的結果彙整，請見表 8 ($Wilks' \Lambda=.877; p<.001$)。

表 8

A 子量表組間 One-way ANCOVA 分析彙整表

來源	Type III SS	df	MS	F
共變數 (A 前測)	517.993	1	517.993	54.004***
組間	111.068	2	55.534	5.790**
誤差	1918.333	200	9.592	

註：** $p<.01$; *** $p<.001$

表 7 顯示，除了在不同課程前、後測中 K 專業題目外，在不同班級有明顯差異 ($F_{(2,200)}=5.790; p<.01$)。在事後檢測後，實驗組 2 的數值（調整後平均數 = 19.244; SE = .384; $p<.001$) 高於實驗組 1 (調整後平均數 = 17.451; SE = .368; $p<.01$) 和控制組 1 (調整後平均數 = 18.090; SE = .376; $p<.05$)。再者，實驗組 1 和控制組 2 之間沒有明顯差異 ($p>.05$)。組別之間的單變量數值有明顯差異 ($F=5.790; p<.01$)，統計檢定力數值為 0.866，因此合理判定統計檢定力不錯。

計算實驗組 1 (實驗組 1B、E1B、E1A，教學法：PPT) 的分析，Cohen's $d=13.382$ ，影響大小為 0.989，實驗組 2 (E2B、E2A，教學法：PPT、學習概念圖) 為 Cohen's $d=3.307$ ，影響大小為 0.835，這表示以奈米科技知識為基礎的課程對實驗組 2 有極大的影響。我們預期的實驗教學目標已經達成。不過，實驗組 2 (E1B、E1A，教學法：PPT) 的數值為 Cohen's $d=-1.718$ ，影響大小為 -0.651，這表示實驗組 1 需進行單純主要效果的檢定。

2. 不同課程之間不同平均數分數的檢測

不同組別主要影響的明顯差異，列示於表 4 ($Wilks' \Lambda=.877; p<.001$)，這表示在 KAP 專業量表上，不同組之間至少一個領域有明顯差異。此外，A 前測的結果具有明顯差異 ($F=13.824; p<.01$)。One-way MANOVA 係用來檢測各組間的差異。

根據該組內同質性檢測的結果，依迴歸分析，顯示共變數和依變數之間沒有明顯差異 ($F_{(1,200)}=.075; p>.05$)，這表示共變數（前測的 A 分數）和依變數（後測的 A 分數）之間的關係，對自變數的不同等級沒有差異。因此，下一步便是檢測共變數。One-way ANCOVA 的結果彙整於表 9。

表 9

A 平均數分數中不同組別 One-way ANCONA 分析結果彙整表

來源	型式 III SS	df	MS	F	局部 η^2
共變數 (A 前測)	359.394	1	359.394	37.996***	.159
組間	128.177	1	128.177	13.551***	.063
誤差	1901.225	201	9.459		

註：*** $p < .001$

表 9 顯示，除了不同課程 K 專業問題之外，不同班級有明顯差異 ($F_{(1,201)} = 13.551$; $p < .001$)。經過事後檢測後，機械材料的數值 (調整後平均數=19.122; $SE = .323$; $p < .001$) 高於機械製造 (調整後平均數=17.633; $SE = .323$; $p < .001$)。

伍、結論與建議

一、研究結論

(一) 發展奈米科技融入機械材料與機械製造課程之教材

經研究團隊邀集高職機械科教師、教育領域學者等教材開發團隊，已獲致具體的成果 (如附錄一、附錄二)。在機械材料融入奈米教學的單元數，共有 27 個單元研發成功；而在機械製造融入奈米教學的單元數，共有 11 個單元研發成功。所開發的融入式單元，都能夠與正常上課內容相互呼應並凸顯連結，此對於學生的學習反應有重要貢獻。

(二) 奈米科技融入式數位教材適用性驗證

經由研究團隊所開發出來的 38 個融入式教材，再透過為期 16 週的實驗教學，據以驗證其適用性。結果呈現奈米科技融入式數位教材獲得學生的好評，除了對於奈米尺度的物理特性及運作方式有深刻的印象外，更能夠充分了解奈米科技與日常生活的結合實例，顯示奈米科技融入式數位教材是適合高職機械科學生學習。

(三) 建構融入式奈米科技學習成效評量工具

為了瞭解與評量學生對於融入式奈米科技學習成效，加上目前沒有針對高職的機械製造與機械材料評量工具，因此，本研究所建構的知識 (K)、態度 (A) 和表現 (P) 問卷深具代表性意涵，而成效評估結果也支持融入式奈米科技學習是有效的學習成效評估工具。

(四) 完成融入式奈米科技教學模式

經由實驗教學的資料蒐集，奈米科技融入式數位教材與學習模式獲得統計分析的支持。首先，經平均數差異公式檢定後，結果呈現 K 和 A 量表奈米科技專業題項測驗結果，支持實驗組 (E2A、E2B) 的學習成效優於控制組 (CB、CA)，再追蹤統計檢定力 (power) 和效果量 (effect) 皆達標準。然而，在 6 個組別中，專業題目 P 量表的結果不具明顯差異。本研究聚焦於奈米科技專業知識部分，顯示機械製造班級的學習成效優於機械材料班級。

然在態度專業題目部分，機械材料班級的表現優於機械製造班級。鑒於這些結果，機械材料的內容比機械製造的內容更為具體，學生覺得前者讓他們更容易與具體產品作連結。相反的，奈米製造為高科技，比較難以向學生講解說明。因此，研究結果顯示研究者在教室的教學情境中，所必須面對的困難。

再者，在不同課程中教授與專業科項有關的班級之間，沒有明顯差異。這顯示，在對六個組別進行實驗性教學後，學生的表現並沒有明顯差異的情形存在。結果也顯示，本實驗課程的數位多媒體教材，係設計用以涵蓋奈米科技概念並置入機械專業課程之中，且這些數位教材給予學生在學習上的幫助非常具體。Ghattas 與 Carver (2012) 的研究結果支持本結果，亦即將奈米科學整合到學校科學課程對學生是相關且有意義的。此外，老師的任務是引起學生對於學習奈米科技的動機，以及其在未來職場上可能的重要性。最後，本研究提出融入式奈米科技知識教學模式，可有效在原有科目內，融入奈米科技知識，裨益學生吸收除機械製造與機械材料原有知識外，更多有利於未來專業成長的奈米科技知識。

二、研究建議

相較之下，美國政府聚焦於新興科技並將之反映在他們的教育政策中，如為高三 (K-12) 教科書開發一套學習系統、微型視訊 (micro video)、教育專業研究院、教材、國家教學與學習中心、網站、網路資源等等 (National Nanotechnology Initiative, 2016)。針對國家競爭，臺灣應該提早從高三 (K-12) 開始教導新興科技，以加強職業人才的培養。因此，本研究的結果可應在技術型高中實施，以提升學生的新興科技學習。

三、研究限制和未來研究方向

本研究的結果具有理論與教學法的意涵。不過，我們的研究有若干限制。首先，資料是在臺灣蒐集，因此結果受文化限制，無法擴及其他國家。我們的研究對象為技術型高中學生，研究結果可能不適用於不同科系的學生。未來研究可以收集並分析來自更多國家的資料，研究結果可以擴及其他類型的對象。其次，本研究性質上為跨領域，資料僅在同期收集一次，因此研究結果可以反向因果關係 (reverse causality) 解釋。未來研究者研究時，可以考慮縱貫性設計 (longitudinal design)，以追蹤一段時間和因果方向的變化形態。

參考文獻

- 中區奈米科技教育資源中心 (2009)。中區奈米科技 K-12 教育發展中心簡介。取自 <http://web.nchu.edu.tw/~k12/index-all.html>
- 施琮仁、林宜平、鄭尊仁 (2016)。奈米科技發展與政策之常民認知。《中華傳播學刊》，29，1-37。
- Ausubel, D. (1963). *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. New York, NY: Grune & Stratton.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York, NY: Holt, Rinehart & Winston.
- Ausubel, D. (1978). In defense of advance organizers: A reply to the critics. *Review of Educational Research*, 48, 251-257.
- Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1978). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York, NY: Holt, Rinehart & Winston.
- Balakrishnan, B., Er, P. H., & Visvanathan, P. (2013). Socio-ethical education in nanotechnology engineering programmes: A case study in Malaysia. *Science & Engineering Ethics*, 19, 1341-1355.
- Becker, J. M. (1969). *An Examination of Objectives, Needs and Priorities in the United States Elementary and Secondary Schools*. Report of the U.S. Office of Education on Project 6-2408. Retrieved from <https://eric.ed.gov/?id=ED031612>
- Chen, M. C. (2002). Nano Technology and Practical Application. *Taiwan Association of Banks Newsletter*, 12, 1-4.
- Chen, M. P. (1998). Innovation Diffusion Theory and Information Education and Promotion. *Taiwan Education*, 572, 2-10.
- Chen, S. J. (2003). *Ausubel's meaningful learning theory and teaching applications*, *New Trends in Learning and Teaching*. Taiwan, Taipei: Psychology.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Gukksdake, NJ: Erlbaum.
- Childress, V., & Rhodes, C. (2006). *Research in engineering and technology education*. Logan, Utah: The National Center for Engineering and Technology Education.
- Commonwealth of Australia (2002). *Employability skills for the future*. Australian National Training Authority, AU.
- Delale, F., Liaw, B. M., Jiji, L. M., Voiculescu, I., & Yu, H. (2011). Infusion of emerging technologies and new teaching methods into the mechanical engineering curriculum at The City College of New York. *Advances in Engineering Education*, 2(4), 1-36.
- Dvir, T., Timko, B. P., Kohane, D. S., & Langer, R. (2011). Nanotechnological strategies for engineering complex tissues. *Nature Nanotechnology*, 6, 13-22.

- Ghattas, N. I., & Carver, J. S. (2012) Integrating nanotechnology into school education: a review of the literature. *Research in Science and Technological Education*, 30(3), 271-284.
- Ghattas, N. I. (2015). *Middle and high school science teachers' attitudes toward nanotechnology and intention to implement it in science classrooms*. Unpublished doctoral dissertation, West Virginia University, Department of Education and Human Services. Retrieved from ProQuest Dissertation and theses database. (UMI No.3741899). Retrieved from <http://adsabs.harvard.edu/abs/2015PhDT.....162G>
- Kurt, M. (2014). Determination of pre-service biology and chemistry teachers' opinions and knowledge levels on nanotechnology. *International Journal of Academic Research*, 6(2), 62-68.
- Lavie, D., & Drori, I. (2012). Collaborating for knowledge creation and application: The case of nanotechnology research programs. *Organization Science*, 23(3), 707-724.
- Lin, S. F., Chen, J. Y., Shih, K. Y., Wang, K. H., & Chang, H. P. (2015). Science teachers' perceptions of nanotechnology teaching and professional development: a survey study in Taiwan. *Nanotechnology News*, 4(1), 71-80.
- McMillan, J. H. (2007). Randomized field trials and internal validity: Not so fast my friend. *Practical Assessment Research & Evaluation*, 12(15), 1-6.
- National Nanotechnology Initiative (2016). *Nanotechnology for K-12 teachers*. Retrieved from <http://www.nano.gov/education-training/teacher-resources>
- Novak, J. D. (2011). A theory of education: meaningful learning underlies the constructive integration of thinking, feeling, and acting leading to empowerment for commitment and responsibility. *Meaningful Learning Review*, 1(2), 1-14.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Rhodes, C., & Childress, V. (2010). Engineering student outcomes for infusion into technology literacy programs: Grades 9-12. *Journal of Technology Education*, 21(2), 69-83.
- Roco, M. C. (2003). Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine. *Current Opinion in Biotechnology*, 14(3), 337-346.
- Roco, M. C. (2011). The long view of nanotechnology development: the national nanotechnology initiative at 10 years. *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 427-445.
- Tomczyk, M. (2015). *NanoInnovation: What Every Manager Needs to Know*. Germany, Weinheim: Wiley-VCH.
- Wu, M. L. (2008). *SPSS Operation and application: Practical of questionnaire statistical analysis*. Taiwan, Taipei: Wunan.

附錄一、機械材料融入奈米教學課程表

單元主題	內容綱要
1.緒論	1.材料與文明。 2.材料與工程。(MA01a 奈米材料、PPT 檔) 3.材料製程、結構與性質。 (MA01b 奈米材料的製備和性質、PPT 檔)
2.金屬及合金簡介	1.元素的分類。 2.原子構造及原子鍵結。 3.材料分類及各類材料特性。 (MA02a 奈米材料的分類及特性) 4.金屬及合金的通性。(MA02b 奈米合金的特性)
3.金屬材料之組織及結晶構造	1.金屬之晶粒及組織。 2.金屬的結晶構造。 (MA03a 奈米碳管的特殊結晶構造) 3.金屬及合金之平衡圖： (1)相律。 (2)純金屬之平衡圖。 (3)二元合金平衡圖之表示法。 (4)二元合金平衡圖之種類。
4.材料之物理、化學及機械性質	1.材料之物理性質。(MA04a 奈米材料的物理性質) 2.材料之化學性質。(MA04b 奈米材料的化學性質) 3.材料之機械性質。(MA04c 奈米材料的機械性質) 4.材料機械性質之試驗法。 (MA04d 奈米材料機械性質的試驗法)
5.鋼鐵材料	1.鋼鐵生產製程概述。 (MA05a 奈米材料的生產製程概述、PPT 檔) 2.鋼鐵材料之加工方法。 (MA05b 奈米材料的加工方法、PPT 檔) 3.鋼鐵中的合金元素。 (MA05c 奈米材料的合金元素、PPT 檔) 4.鋼鐵材料規格。 5.鋼鐵材料之種類。(MA05d 奈米材料的種類、PPT 檔)
6.鋼鐵材料之熱處理	1.鐵碳平衡圖。 (MA06a 奈米處理的鐵碳顯微鏡組織、PPT 檔) 2.恒溫變態曲線圖與冷卻曲線圖。 3.碳鋼之熱處理方法。

	<p>4.熱處理爐及其週邊設備。 (MA06b 奈米材料的製備機具、PPT 檔)</p> <p>5.鋼鐵材料之表面硬化處理。 (MA06c 奈米的表面處理、PPT 檔)</p>
7.非鐵金屬材料	<p>1.鋁及鋁合金。(MA07a 奈米鋁)</p> <p>2.鎂及鎂合金。</p> <p>3.鈦及鈦合金。(MA07b 奈米二氧化鈦)</p> <p>4.銅及銅合金。(MA07c 奈米銅)</p> <p>5.鎳及鎳合金。(MA07d 奈米鎳)</p> <p>6.鋅及鋅合金。</p> <p>7.錫、鉛及其合金。</p> <p>8.貴金屬。(MA07e 奈米金、MA07f 奈米銀)</p>
8.陶瓷材料	<p>1.結晶陶瓷。</p> <p>2.非結晶陶瓷。</p> <p>3.玻璃陶瓷。</p> <p>4.陶瓷製程。(MA08a 奈米陶瓷、PPT 檔、教學概念圖)</p>
9.高分子材料	<p>1.聚化反應。</p> <p>2.熱塑性高分子材料。</p> <p>3.熱固性高分子材料。</p> <p>4.彈性(橡膠)高分子材料。</p> <p>5.高分子材料之成形。 (MA09a 高分子奈米材料、PPT 檔、教學概念圖)</p>
10.複合材料	<p>1.強化材。</p> <p>2.基材。</p> <p>3.結合材。</p> <p>4.纖維複合材。</p> <p>5.粒子複合材。</p> <p>6.板狀複合材。 (MA10a 高分子奈米複合材料、PPT 檔、教學概念圖)</p>
11.電子材料	<p>1.本質半導體。</p> <p>2.異質半導體。</p> <p>3.化合物半導體。*</p> <p>4.非晶質半導體。*</p> <p>5.半導體之電性質。</p> <p>6.超導體。(MA11a 電子奈米材料)</p>

12.磁性材料	1.材料的磁性。 2.金屬磁體。 3.陶瓷磁體。(MA12a 奈米磁性材料)
13.光電材料	1.介電材料。 2.陶瓷介電材料。 3.液晶材料。 4.光纖材料。 5.透明材料與發光材料。(MA13a 奈米光電材料)
14.新材料	1.奈米材料簡介。(MA14a 奈米材料簡介) 2.其它新材料。

附錄二、機械製造融入奈米教學課程表

單元主題	內容綱要
1.機械製造的演進	1.加工機器的演進。 (MB01a 奈米的基礎概念、PPT、教學概念圖) [產品:咖啡紗] 2.機械製造的過程。 3.切削性加工與非切削性加工。 4.切削工具的發展。 (MB01b 奈米科技的發展、PPT、教學概念圖) [產品:高安全性鋰電池] [故事:費曼談太空梭爆炸] 5.機械製造方法之趨勢。 (MB01c 奈米材料的製造方法、PPT、教學概念圖) [產品:奈米碳管顯示資訊看板] [故事:元智大學發明競賽得獎]
2.材料與加工	1.材料的分類。(MB02a 奈米材料、PPT) [產品:含香奈米茶王壺、奈米銀遠紅外線健康襪] [故事:巴克球] 2.材料的規格。 3.主要機械材料的加工性。 (MB02b 奈米材料的特性、PPT) [產品:奈米陶瓷溫控直髮器] 4.材料的選用。
3.鑄造	1.概述。 2.模型。 3.鑄模種類。 4.砂模的製造。 5.機械造模 6.特殊鑄造法。 7.金屬熔化及澆鑄。 8.鑄件之清理與檢驗。(MB03a 奈米材料的檢驗、PPT) [產品:光觸媒抗菌燈管]
4.塑性加工	1.塑性加工概述。 2.金屬之熱作。 3.金屬之冷作。
5.銲接	1.銲接概述。 2.軟銲與硬銲。 3.氣銲。

	<p>4.電銲。</p> <p>5.其他銲接方法。</p> <p>6.接頭形狀。</p> <p>7.銲接符號與檢驗。</p>
6.表面處理	<p>1.表面塗層。(MB06a 奈米塗層) [產品:奈米馬桶、奈米鏡面]</p> <p>2.表面硬化。</p> <p>3.防鏽蝕處理。(MB06b 奈米防鏽蝕處理) [產品:奈米銀抑菌批土、水泥漆] [故事:人類很早以前運用奈米材料的事例]</p>
7.量測與品管	<p>1.公差與配合。</p> <p>2.工件量測。</p> <p>3.品質管制與實施。</p>
8.切削加工	<p>1.切削加工概述。</p> <p>2.切削基本原理。</p> <p>3.切削劑。</p>
9.工作機械	<p>1.車床。</p> <p>2.鑽床與搪床。</p> <p>3.鉋床。</p> <p>4.鋸床及拉床。</p> <p>5.銑床。</p> <p>6.磨床。</p> <p>7.CNC 工作機械。</p>
10.螺紋與齒輪製造	<p>1.螺紋之概述。</p> <p>2.螺紋加工。</p> <p>3.齒輪之概述。(MB10a 奈米齒輪、PPT、教學概念圖) [故事:奈米機器人]</p> <p>4.齒輪加工。</p>
11.非傳統加工	<p>1.粉末冶金。(MB11a 奈米微粒、PPT、教學概念圖)</p> <p>2.塑膠加工。(MB11b 奈米塑膠、PPT、教學概念圖) [故事:工研院研發奈米相關產品]</p> <p>3.電積成形。</p> <p>4.放電加工。</p> <p>5.特殊切削加工。</p>
12.電腦輔助製造	<p>1.數值控制機械。</p> <p>2.生產自動化。</p> <p>3.機械製造之展望。</p>

13.新興製造技術	<ol style="list-style-type: none">1.半導體製程簡介。2.微細製造簡介。3.其它製造技術。
-----------	--