

科技部補助專題研究計畫報告

虛擬實境應用對高中STEAM探究學習效果與創意表現的影響-虛
擬實境應用對高中STEAM探究學習效果與創意表現的影響-結構
設計教學模組研究(第3年)

報告類別：成果報告
計畫類別：整合型計畫
計畫編號：MOST 106-2511-S-003-020-MY3
執行期間：108年08月01日至109年07月31日
執行單位：國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系(所)

計畫主持人：林弘昌

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：陳彥綸
講師級-兼任助理：黃國斌
大專生-兼任助理：謝宣而
大專生-兼任助理：黃紹峯

本研究具有政策應用參考價值：否 是，建議提供機關
(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)
本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

中華民國 109 年 10 月 31 日

中文摘要：探究學習效果與創造力是工程教育重要的學習表現，而STEAM是國際工程教育的趨勢，虛擬實境則是目前教育訓練最吸引人的科技應用趨勢之一。本研究以三年的時間開發二套虛擬實境STEAM探究學習教材，以了解虛擬實境技術的應用對於高中STEAM探究學習效果與創意表現的影響，並推廣虛擬實境STEAM 探究學習模組。本研究的「結構設計」教材內容係參考107 年課綱所訂定的生活科技科學習內容進行編製。本研究應用虛擬實境及「體驗式學習」教學策略，以建構一套適合於高中學習科技與工程領域知識與技能的探究學習流程。研究對象是台北市立成功高級中學九年級的四個班級，共149位學生（其中男女生比例相當）。研究中將以班級為單位，將研究對象分派為實驗組和控制組二組。其中實驗組接受「虛擬實境+體驗式學習」與「虛擬實境」教學，控制組則採取一般傳統的教學，進行為期十週的實驗教學。然後，透過實證研究，比較不同的教學方式（虛擬實境+體驗式學習、虛擬實境、傳統教學）對於二組學生在結構設計學科知識、STEAM態度、創意表現與空間能力的表現差異。最後，本研究根據研究發現提出相關建議，供未來高中生活科技科應用虛擬實境實施體驗式學習及進一步研究的參考。

中文關鍵詞：虛擬實境、STEAM、體驗式學習、創意表現、結構設計

英文摘要：Exploring learning effects and creativity is an important learning performance of engineering education, while STEAM is the trend of international engineering education, and virtual reality is one of the most attractive technology application trends in education and training. This research took three years to develop two sets of virtual reality STEAM inquiry learning materials to understand the impact of the application of virtual reality technology on high school STEAM inquiry learning effects and creative performance, and to promote the virtual reality STEAM inquiry learning module. The content of the "Structural Design" learning activity in this study is compiled with reference to the learning content of the Life Science and Technology subject specified in the 107 national curriculum outline. This research applies virtual reality and "experiential learning" teaching strategies to construct a set of inquiry learning processes suitable for high school learning technology and engineering knowledge and skills. The subjects of the study are four classes in the ninth grade of Taipei City Chenggong Senior High School, with a total of 149 students (the ratio of male to female students is equal). In the study, the class will be used as the unit, and the research objects will be divided into two groups: experimental group and control group. Among them, the experimental group accepts "virtual reality + experiential learning" and "virtual reality" teaching, while the control group adopts general traditional teaching for ten weeks of experimental teaching. Then, through

empirical research, compare the performance differences of different teaching methods (virtual reality + experiential learning, virtual reality, traditional teaching) for the two groups of students in structural design subject knowledge, STEAM attitude, creative performance and spatial ability. Finally, this research puts forward relevant suggestions based on the research findings, which can be used as a reference for future high school life science and technology subjects to implement experiential learning and further research using virtual reality.

英文關鍵詞：Virtual reality, STEAM, Experiential learning, Creative expression, Structural design

虛擬實境應用對高中 STEAM 探究學習效果與創意表現的影響－結構設計教學 模組研究 三年期成果報告

計畫所屬學門：應用科學教育學門 (學門代碼：SSS04) (重點代號：402.7 及 405.3)

本計畫符合科技部科教國合司 106 年度專題研究計畫學門規畫重點研究項目中，應用科學教育學門 (學門代碼：SSS04) (二)工程教育之 STEM 議題之研究(重點代號：402.7)，以及(五)新興人機互動與數位科技於技術教育與工程教育的應用(重點代號：405.3)之重點項目。

壹、緒論

一、研究背景與動機

(一)探究學習效果與創造力是工程教育重要的學習表現

近年來科技資訊技術快速發展讓各國愈趨重視工程與科技教育，其於現今市場狀態對國家的經濟與科技發展甚為重要。

我國十二年國民基本教育中透過科技領域的設立，將強調科技與工程內涵、培養學生的科技素養，透過運用科技工具、材料、資源，進而培養學生動手實作，以及設計與創造科技工具及資訊系統的知能，同時也涵育創新設計、批判思考、問題解決、邏輯與運算思維等高層次思考的能力。

而課綱中科技領域生活科技科的課程內容以創意設計與工程設計為核心，教材內容以產品設計、機構設計、結構設計、電機電子機電整合設計為主要的內涵，透過「做、用、想」的方式培養學生對於學習科學的興趣以及知識能力培養整合不同學科領域的知識，以提升解決問題的能力(如圖 1)(李隆盛、吳正己、游光昭、周麗瑞、葉家棟、盧秋珍、沈章平，2013)。

因此十二國教新課綱中透過科技領域的設立，將科技與工程之內涵納入中學科技領域之課程規畫，籍以強化中學學生的動手實作及跨學科學習的經驗，並可以協助高中學生加強其對工程教育的興趣及了解。

(二)STEAM 是國際工程教育的趨勢

工程與科技教育對於國家的經濟與科技發展甚為重要，加強國民工程與科技教育以因應二十一世紀知識經濟的挑戰，並增強國家經濟競爭力，乃是世界各國一致的共識。近年來，美國意識到科技教育的不足會造成人才的短缺，因此美國國家科學委員會(National Science Board, NSB)提出了由科學、科技、工程和數學整合的 STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)教育(International Technology Education Association., 1996)，並將在 2017 年撥款七十億美元用來支持聯邦政府的 STEM 教育，以培養學生的 STEM 能力，為國家培養素質高的數學家、科學家、工程師及科技教育人才(White House., 2016)。另外，英國的官方調查發現 43%的科技相關工作職缺將因 STEM 能力不足，無法填滿職缺，於是積極從體制內及體制外的教育積極推動 STEM 教育。例如 2011 年就撥款 4 億 5 千萬英鎊資助「千禧委員會」(Millennium Commission)的 STEM 教育(The Parliamentary Office of Science and Technology., 2011; UK Commission for Employment and Skills., 2015)。

STEM 教學模式本質為跨科際整合課程，為以科技情境與工程設計為主體，融入數學與科學的概念以進行科技教育教學模組之發展，進而形成 STEM 取向之科技與工程教育課程(羅希哲、陳柏豪、石儒居、蔡華齡、蔡慧音，2009)。基於完整能力養成與跨科整合學習的觀點，STEAM 成了更加整合的教育概念。例如南韓的教育部就提出 STEAM 的教育規劃，其中也強調人文學科(liberal arts)的整合(Jho, Hong, & Song, 2016)。因此，STEAM 教育不僅達到跨科整合的學習效果，發揮學習內容的實用價值，並且更有助於培養 STEAM 的專業人力，提升人

力素質。

(三) 虛擬實境是目前教育訓練最吸引人的科技應用趨勢之一

VR(虛擬實境)可不受地點、時間限制地重現學習或訓練環境及感受。其不僅可改善傳統學習方法的限制，更藉著虛擬實境其互動與擬真之特性，加強了教育訓練內容訊息的傳達(許嘉宏, 2005, p. 1)。是目前最吸引人的科技應用趨勢之一，常應用於醫學、科技和教育訓練等方面。

虛擬實境在教學方面可以設計情境式教學以模擬各種實作的情境(Ausburn & Ausburn, 2004, p. 1)。具有高安全、低成本的特色，能提供臨場感、趣味性、沉浸效果、探索、操作性、動態互動性和即時的視覺回饋(阮氏惠, 2010)，可以提供學習者探索和進行差異化教學，能夠提供以學生為中心的學習模式(E.-L. Lee et al., 2009, p. 833)，是一項很實用的教學工具。

(四) 本計畫將了解虛擬實境在高中準工程課程之教學設計及實施成效

學生對於學習科學抽象概念，像是結構、力的合成與分解等相關抽象內容會感到比較多的障礙，這些難以直接具象化的觀念模型往往造成學生在學習上的困難(Arnold & Millar, 1987; Carlton, 1999; 林靜雯、邱美虹, 2009)。另外，傳統教學上利用橋樑結構實施結構的設計練習時，有些教師會先利用義大利麵條以熱熔膠建立各種結構並進行測試以決定一組最堅固的結構，然後再於紙面或電腦上設計設計橋樑的結構，並以膠水接合木棒以完成橋樑的結構，最後再以各組的橋樑結構承载力進行測試或比賽。可以想見傳統的教學方式不但曠日費時，而且無法排除製作過程中製作技巧等可能影響結構強度的因素，也可能因此降低了學生的學習動力。

因此，本計畫將著重針對高中生活科技課中的結構設計等準工程課程，透過 STEAM 模式進行實作、使用、思考的歷程，讓學生透過橋樑及家具結構等主題，應用 VR 虛擬實境實作活動協助學生統整知識與技能，以協助學生將抽象概念實體化的方式進行結構設計的教學，培養學生結構設計能力以及空間概念，並透過教學實驗了解對於學生探究學習和創意表現的成效。

二、各分年研究目的

本研究討論的議題主要將探討虛擬實境應用於高中 STEAM 探究學習效果與創意表現的影響，以培養高中生對未來進入工程與科技領域的正確認知、態度與興趣。各分年主要的研究目的如下：

(一) 第一年研究目的

1. 建構橋樑工程設計的概念知識。
2. 發展「橋樑結構」虛擬實境 STEAM 探究學習模組。
3. 進行先導教學實驗，探討不同教學策略對於橋樑結構設計的教學成效。
4. 分析虛擬實境結構設計教學模組於高中 STEAM 探究學習的融入模式。

(二) 第二年研究目的

1. 建構紙家具結構設計的概念知識。
2. 探討紙家具的形式。
3. 探討適合以紙箱作為材料的紙家具結構種類。
4. 探討如何利用瓦楞紙箱作為材料，透過簡單剪裁及凹折製作紙家具的方法。
5. 根據第一年先導實驗之結果與修正建議，發展「紙家具結構」虛擬實境 STEAM 進階探究學習模組。

(三) 第三年研究目的

1. 進行「紙家具結構」虛擬實境 STEAM 進階探究學習模組正式教學實驗，探討不同教學策

略對於紙家具結構設計的教學成效。

2.分析虛擬實境結構設計教學模組於高中 STEAM 探究學習的融入模式。

3.探討學生的探究學習效果（知識）和對於空間能力的影響。

4.分析及檢討教學實驗結果後提出修正建議。

5.將前二年發展的教學教案整合成一套高中 STEAM 虛擬實境結構設計教學模組，並製成可商品化之教材包以利未來教師搭配使用。

貳、研究方法

一、第一年研究方法

(一)研究設計

本研究應用虛擬實境與輔助學習軟體於橋樑結構設計教學活動設計之目的為二：(1)規劃橋樑工程設計教學活動；(2)改善橋樑結構設計課程過去在結構力學教學上過於抽象的問題。為達成上述目的，本研究的實驗組藉由虛擬實境搭配輔助學習軟體規劃橋樑結構設計課程，而控制組則採用實體教具規劃課程，以觀察實驗組與控制組在橋樑結構設計的概念知識學習上是否存在差異，並瞭解何種教學策略對學生在橋樑結構設計的概念知識學習上是最有助益，進而幫助學生設計與製作出結構完善的橋樑。

綜上所述，第一年橋樑結構教學實驗設計的教學目標如下：

- 1.學習者能夠描述各種橋樑的型態。
- 2.學習者能夠描述橋樑構成的方式。
- 3.學習者能夠了解結構設計的內涵。

(二)研究對象

本研究的教學實驗實施於台北市某市立高中，並採立意抽樣的方式，選擇該校高中一年級，並有選修生活科技課程的四個班級，其中一班 38 人，另外三個班級各 37 人，共計 149 人進行實驗。

(三)研究工具

本研究應用虛擬實境與傳統教學模式，並搭配不同的輔助學習軟體或教具於高中橋樑結構設計教學活動，以探討高一學生在結構設計概念知識的學習成效，因此本研究規劃了學習單與課程反思單作為探討的依據。

二、第二年研究方法

(一)問卷調查法—評估大眾對紙家具的看法與接受度

為了得知使用者對於紙箱家具的看法，本研究透過網路問卷調查了使用者的偏好。問卷樣本數為 571 份，男女比約為 3:5，年齡層中 12~25 歲偏多 (37.7%)。

(二)實驗法—評估紙箱再利用於製作紙家具之適用性與結構外觀的設計

本研究分別針對紙家具的「結構設計」、「尺寸設計」及「耐用性與承載能力」進行實驗。

1.結構設計實驗

(1)實驗目的：思考各種可能性，設計出多種不同的結構。

(2)實驗方法：運用腦力激盪法，羅列紙箱可以做成哪些產品，並挑選可行性與吸引力較高的方案進行細項思考與建模，針對模型的優缺點後再進行檢討與改善，最終以紙箱做出成品。

2.尺寸設計實驗

(1)實驗目的：使用工適學，構思出符合人因工程的結構設計。

(2)實驗方法與設計：參考需要的人體計測資料，設計符合人體工學的產品尺寸，並以符合最大群體的消費者為首要目標。

3.產品耐用性與承載能力測驗

(1)實驗目的：為了解紙家具是否具耐用性與適用性，故參考人因工程與家具測試系統，模擬企業測試系統機具的運作方式，所設計之實驗。

(2)實驗前準備：透過上述研究法與文獻探討，選定紙箱規格並產出紙家具。

(3)實驗設計：雖參考各國與各企業之家具測試系統，但因應材料特性，本研究以耐用度為實驗主軸，防水及防燒等不在此實驗考量當中。

(三)問卷調查法—評估紙家具的功能和使用意見

為評估本研究所設計之紙家具是否兼具功能性與美觀，並了解使用者對該紙家具的接受程度，故進行問卷調查。填寫問卷前，會先請受測者動手組裝某一紙家具，並實際使用之，再透過問卷詢問受測者對本研究之紙家具的看法。本研究針對受測者的問卷結果做以下分析：

- 1.受測者基本資料：住房情況、搬遷頻率。
- 2.紙箱使用狀況分析：紙箱取得時機、處理方式。
- 3.紙箱製作紙家具調查分析：製作難易度、對製作時間長短的感受。
- 4.紙家具功能性分析：安全感、舒適度、尺寸適合度、方便性、整體實用性。
- 5.紙家具外觀喜好度調查分析：造型、顏色、材質、整體外觀偏好。
- 6.紙家具使用意見調查：對於使用本研究之紙家具的意願。

(二)研究對象

我們透過網路問卷調查了使用者的偏好，問卷樣本數為 571 份，男女比約為 3:5，年齡層中 12~25 歲佔 37.7%。

(三)研究工具

- (1)使用者對紙家具的看法與接受度調查問卷。
- (2)問卷調查法—評估紙家具的功能和使用意見

三、第三年研究方法

(一)研究設計

本計畫主要負責「結構設計」課程的教材開發、教學實驗和教材推廣。本計畫以教學方式（虛擬實境+電腦輔助學習軟體、一般傳統教學）為自變項，以探究學習效果（結構設計概念）、探究能力、設計能力、學習滿意度為依變項，以比較不同的教學方式在各依變項的差異情形。

本研究應用虛擬實境與輔助學習軟體於紙家具結構設計教學活動設計之目的為二：(1)規劃紙家具設計教學活動；(2)改善紙家具結構設計課程過去在結構力學教學上過於抽象的問題。

為達上述研究目的，本研究的實驗組藉由虛擬實境搭配輔助學習軟體規劃紙家具結構設計課程，而控制組則採用實體教具規劃課程，以觀察實驗組與控制組在紙家具結構設計的概念知識學習上是否存在差異，並瞭解何種教學策略對學生在紙家具結構設計的概念知識學習上是最有助益，並幫助學生設計與製作出結構完善的家具。

綜上所述，本研究的教學目標如下：

- 1.學習者能夠描述各種家具的型態。
- 2.學習者能夠描述紙家具構成的方式。
- 3.學習者能夠了解紙家具結構設計的內涵。

(二)研究對象

本研究的教學實驗實施於台南市某國立高中，並採立意抽樣的方式，選擇該校高中一年級，並有選修生活科技課程的六個班級，其中三班為實驗組，共 114 人，另外三班為控制組，共 114 人，共計 228 人進行實驗。

(三)研究工具

本研究應用虛擬實境與傳統教學模式，並搭配不同的輔助學習軟體或教具於高中紙家具結構設計教學活動，欲探討高一學生在結構設計概念知識的學習成效，因此本研究規劃了學習單與課程反思單，以作為探討的依據。本研究所使用的工具包括以下幾項：

- 1.課程滿意度量表(線上問卷)，網址：<https://goo.gl/forms/CPCPoCuzEoaCKz8A3>
- 2.探究能力量表(線上問卷)，網址：<https://goo.gl/forms/ce6cy6dbnp5OYP7d2>
- 3.工程設計自我效能量表(線上問卷)，網址：<https://goo.gl/forms/stON4GslSWCq7XNc2>
- 4.學習歷程檔案(紙本)

參、結果與討論

一、第一年結果與討論

本研究在實施橋樑結構設計教學後，統整每週課程的學習單、實施三週課程後的反思單以及研究者的教學紀錄，並根據學習單的評分結果進行平均數、標準差以及 t 檢定之統計分析，同時對照學習單各活動所採用的教學設備、學生填寫的反思單與研究者的教學紀錄提出各概念知識之學習成效。

以下就本課程的各項概念知識學習結果討論教學中所使用的虛擬實境設備、輔助學習軟體/教具之教學效果。

(一)概念 1：引起學習動機

本研究規劃引起學習動機之目的為引起學生對該課程的學習動機與興趣，使學生迅速投入並初步瞭解課程主題，而根據研究結果發現，實驗組與控制組在引起動機上有顯著差異，且實驗組的表現比控制組好。實驗組相較於控制組所採用的教學設備較能維持學生的興趣，此外，實驗組藉由 zSpace 與 Bridge Constructor FREE 的教學活動安排使學生更能全面的認識當週課程主題—結構型態，如：何謂結構、結構設計的要點、各種結構種類等，再者，由於 Bridge Constructor FREE 遊戲軟體為三者軟硬體設備中最具挑戰性，因此 Bridge Constructor FREE 最能激起學生的學習動機。

(二)概念 2：結構的定義與內涵

本研究規劃結構的定義與內涵之目的為讓學生瞭解結構的定義與應用、結構設計的要點、結構的勁度與材料的強度、各種結構種類，以建構學生對結構的概念知識，而根據研究結果發現，實驗組與控制組在結構的定義與內涵上有顯著差異，且實驗組的表現比控制組好（如表 3）。由於實驗組與控制組的教學方式有所差異，因此使得在該概念知識的回答上實驗組表現較控制組好，且實驗組對於結構的認識較控制組深入，考量到的面向也較多元，像是包含組成方式、承重、力的傳遞等，而控制組則較侷限於組成方式。

(三)概念 3：認識各種橋樑結構型態

本研究規劃認識各種橋樑結構型態之目的為讓學生將課程知識應用到生活上，學生除了能夠在課堂上學習結構的定義與內涵、橋樑結構型態等，亦能聯想到在生活中各地區的橋樑是屬於何種結構型態，而根據研究結果發現，實驗組與控制組在認識各種橋樑結構型態並無顯著差異。雖然實驗組與控制組採用不同的教學方式來進行各種橋樑結構型態的教學，但由於該概念知識題目的設計上，著重於讓學生「分享」在生活中遇過的或喜歡的橋樑結構型態，因此兩組在認識各種橋樑結構型態上並無顯著差異。

(四)概念 4：設計橋樑的概念

本研究規劃設計橋樑的概念之目的為讓學生在進入當週課程主題—結構力學與力學分析前，能夠先釐清設計橋樑需考量的要素，以達到複習前一週課程的目的，再進一步讓學生體悟到力學分析在設計橋樑時的重要性，因為力學將會影響到橋樑是否能夠穩固、承重，而根據研究結果發現，實驗組與控制組在設計橋樑的概念上有顯著差異，且實驗組的表現比控制組佳。雖然實驗組與控制組在當週課程實施前，教師皆有複習前一週課程知識，然實驗組與控制組採行不同工具探究概念知識，且部分控制組的學生對教師教授的概念知識存在誤解，以致於兩組學生在設計橋樑的概念上有顯著差異。

(五)概念 5：桁架受力分析

本研究規劃桁架受力分析之目的為讓學生在進入橋樑力學分析前，先建立基本桁架力學分析的概念，透過由簡入深的方式，如：內力、外力、反力的判斷、簡易的力學分析，以減緩學生的認知負荷，而根據研究結果發現，實驗組與控制組在設計橋樑的概念上無顯著差異，但控制組的表現卻優於實驗組。由於桁架受力分析課程內容過於深入、抽象，且教師只透過投影片進行教學，以致於學生須花費一些時間吸收、理解，因此實驗組與控制組在桁架受力分析上並無顯著差異，然由於教師在實驗組與控制組的課程所提供的教材在細膩度上有些差異，使得控制組在該概念知識學習上優於實驗組。

(六)概念 6：不同橋樑桿件抗拉與抗壓情形分析

本研究規劃不同橋樑桿件抗拉與抗壓情形分析之目的為讓學生學習橋樑力學分析，以應

用到橋樑設計與製作上，使學生能製作出承重能力不錯的橋樑，而根據研究結果發現，實驗組與控制組在設計橋樑的概念上有顯著差異，且實驗組的表現比控制組佳。由於實驗組採用 WPBD 進行橋樑力學分析，而 WPBD 在力學分析上比起智高結構積木相對便利，可直接幫助學生將各個桿件的受力情形分析呈現出來，因此實驗組學生並不需要像控制組需自行分析桿件受力情形，而在 WPBD 發揮了輔助學習的狀況下，使得實驗組與控制組在不同橋樑桿件抗拉與抗壓情形分析上有顯著差異。

(七)概念 7：正確選擇橋樑設計桿件

本研究規劃正確選擇橋樑設計桿件之目的為讓學生瞭解材料抗拉與抗壓的強度，以利於學生在製作橋樑時材料的選擇，進而強化橋樑的承重能力，而根據研究結果發現，實驗組與控制組在設計橋樑的概念上有顯著差異，且控制組的表現比實驗組佳。由於實驗組的學生對於輔助學習軟體—WPBD 的介面尚未熟悉，且透過 WPBD 理解材料抗拉與抗壓的強度過於抽象，以致於實驗組與控制組在正確選擇橋樑設計桿件上有顯著差異，且控制組的表現優於實驗組。

二、第二年結果與討論

(一)適合以郵局紙箱作為材料的紙家具

紙家具可以依據功能及形式分為收納系列、承載系列、壁掛系列、桌上系列等四個系列，其中適合以郵局紙箱作為材料的紙家具如下所述：

1.收納系列

- (1)書櫃、鞋櫃：由於完整的書櫃、鞋櫃體積太過龐大，故較適合發展為組裝式並以一個紙箱做成一個組裝元件。
- (2)收納箱：紙箱未加工時已經具備收納箱的功能，我們認為較有發展潛力的方向即為設計組裝式的收納箱。

2.承載系列

- (1)凳子：考量到體積與形狀相仿、功能需求單一且製作步驟較少，故凳子為適合以一個紙箱作為材料發展的紙家具。
- (2)椅子：相較於凳子多了椅背的造型與功能，設計與製作上的難度都高出凳子許多，故椅子相較於凳子較不適合以一個紙箱作為材料。
- (3)桌子：一般常見的桌子的體積過大，可能較不適合，但若是以懶人桌、床上桌的形式製作，會較符合一個紙箱所能夠達到的設計。
- (4)床：床的體積太過龐大且需要的承重面積大，因此不適合以一個紙箱作為原料製作。

3.壁掛系列

- (1)鑰匙箱、櫥櫃：若需增加「壁掛」的功能在紙箱家具上，勢必需要其他媒材(如膠、釘子等)，與本研究的設計理念不合。

4.桌上系列

- (1)閱讀架：承重的需求相對於承載系列而言較為小，且體積與紙箱大小相近，適合以一個紙箱做為材料製作。
- (2)桌曆：若要以紙箱作為材料製作的話，萬年曆的實用性相較於年曆、月曆或日曆來說會更加適合。
- (3)手機架：結構單純，適合以一個紙箱製作多個手機架。

(二)適合紙箱家具的結構

為找出適合紙箱家具的結構有哪些，經本研究觀察並分析市面上不同形式的紙家具所使用的接合結構，再透過建模歸納出合適的承重結構，其結果如下：

1.適合紙箱家具的接合結構

市面現有紙家具使用的接合方式包括：插樁接、十字搭接、槽接、凹折、接著劑、鉚釘

和榫接片等。研究者進一步將紙家具各部位所應用的接合結構，發現紙家具最常使用的接合結構依序是凹折、十字搭接與插榫接。本研究於發展各種自創紙家具的形式時，發現為減少加工困難度，也都是使用這三種接合結構，故我們認為「凹折」、「十字搭接」與「插榫接」是製作紙箱家具最適合的接合結構。

2.適合紙箱家具的承重結構

為了解適合紙箱家具的承重結構，我們利用槓片逐漸加壓，觀察本研究所研發之紙箱家具的變形情形。根據實驗結果，本研究發現目前的承載類紙箱家具都能承重 120 公斤重而不致損壞。故本研究認為「利用垂直壓力的施力模式將力直接傳導或分散至地面」是最適合紙箱家具的承重結構，且對於需要承載人體體重的椅凳類紙箱家具而言，若沒有使用此種結構，就很容易變形或傾斜。而其他如收納類、桌上系列等紙箱家具，僅須妥善利用基本的接合結構即可維持結構穩定。

(三)透過簡單加工將紙箱製成紙家具的方法

1.瓦楞紙的加工方法

加工方法會因「材料特性」與「加工需求」而有不同，材料特性包含瓦楞紙的結構與瓦楞方向，故可以加工方向分為「順瓦楞方向」、「垂直瓦楞方向」及「斜瓦楞方向」三種，而加工需求分為「切斷」、「向內凹折」與「向外凹折」三種。

2.可透過簡單加工完成之紙箱家具

經分析後本研究共設計出 5 種形式的紙箱家具共 11 個，且其可透過簡單加工製作而成。

(四)設計以紙箱家具作為教材並符合 108 課綱內涵的教案

本研究在研發出幾種紙箱凳子後，發現紙家具適合用來當作 108 課綱中七年級結構教學的教材，其原因如下：(1)紙箱的材質限制非常多，對結構設計的要求也較大，較能讓學生體會到結構的重要性。(2)現有結構教案多以橋樑、建築為主，教無法貼近學生生活，學生做出成品後在生活中也無法應用，若是能以自己設計的結構做成家具，學生的學習勢必會有更深的體會。(3)紙箱是非常容易取得的材料，教師不必再購買材料去做結構的教學。基於前述理由，本研究認為紙箱家具適合應用於七年級的結構教學。

三、第三年結果與討論

本研究已經完成紙家具結構教材的設計，教學實驗部分亦已於 109 年 5 月 31 日完成紙家具結構設計作品的承重測試，並進行學後能力的後測，各項研究資料回收後利用統計軟體進行處理與分析，以探討不同教學策略對於紙家具結構設計的教學成效。

肆、結論與建議

一、第一年結論與建議

本研究發現：(1)虛擬實境與輔助學習軟體於橋樑結構設計教學活動有助於建構橋樑設計概念，(2)zSpace 與 Bridge Constuction FREE 有助於引起學習動機，(3)WPBD 有助於建立橋樑結構力學分析的概念，(4)智高結構積木可以幫助學生理解結構受力情形，有助於選擇正確的橋樑桿件。最後，本研究根據研究發現針對虛擬實境教材的研發、橋樑結構設計課程教學策略、設計橋樑結構教學活動等提出相關建議，希望對於我國中等教育階段科技領域之「工程設計」核心課程教學有所助益。

本研究利用虛擬實境、輔助學習軟體與教具實施橋樑結構設計教學，並在分析完學習單、課程反思單與研究者教學觀察的紀錄後，提出以下結論。

(一)虛擬實境與輔助學習軟體於橋樑結構設計教學活動有助於建構橋樑設計概念

本研究實施橋樑結構設計教學活動的目的即是欲建立學生橋樑工程設計的概念，因此本研究將課程規劃為 7 個概念，分別為：引起學習動機、結構的定義與內涵、認識各種橋樑結構型態、設計橋樑的概念、桁架受力分析、不同橋樑桿件抗拉與抗壓情形分析、正確選擇橋樑設計桿件，透過 7 個概念知識的學習以建立學生橋樑設計的概念，並探討使用不同教學策略下的學習成效。從本研究結果可以發現，除了「認識各種橋樑結構型態」與「桁架受力分析」的概念無顯著外，其餘五個概念皆顯著，且其中有四個概念知識實驗組的表現優於控制組，分別為「引起學習動機」、「結構的定義與內涵」、「設計橋樑的概念」與「不同橋樑桿件

抗拉與抗壓情形分析」，顯然橋樑結構設計教學活動融入虛擬實境與輔助學習軟體教實體教具有更好的學習成效，再者，在整體的表現上，從活動學習單一、二的分析結果可發現，實驗組在該課程的學習效果上優於控制組。由此可見，結構力學分析課程的規劃，須透過不同教學策略才能夠幫助學生建立設計橋樑的概念、分析橋樑各桿件受力情形，以及根據橋樑受力結果選擇合適的桿件材料等知識，以利於學生未來在橋樑設計與製作時，能設計出一座結構穩固橋樑。

(二)zSpace 與 Bridge Constuction FREE 有助於引起學習動機

本研究採用 zSpace 與 Bridge Constuction FREE 的目的是為了讓實驗組學生在操作虛擬實境設備與進行橋樑建造遊戲競賽中引起學習動機，並根據研究結果提出以下教學成效：

1. 虛擬實境設備有助於橋樑結構設計教學中的引起學習動機。
2. 虛擬實境設備相較於過去 3D 建模軟體來說，橋樑模型具有遠近之分且更為真實，因此能提升學生的學習興趣。
3. 虛擬實境教材開發不易，開發者須對於 3D 建模、模擬的開發技術非常純熟，因此目前的虛擬實境課程較侷限於橋樑 3D 模型的展示。
4. 由於 zSpace 為一項新穎的虛擬實境設備，學生認為在操作上並不容易，且有少部分學生在操作過程感到暈眩不適。
5. 由於 Bridge Constructor FREE 遊戲內容具有挑戰性，因此有助於提升學生的學習動機。
6. 由於 Bridge Constructor FREE 遊戲在進行橋樑建造時，提供玩家選材、承重、成本等遊戲元素，因此有助於學生建構橋樑結構設計的基本概念。

(三)WPBD 有助於建立橋樑結構力學分析的概念

本研究採用 WPBD 的目的是為了讓實驗組學生能夠在橋樑結構設計課程中，學習橋樑結構力學分析以及材料抗拉與抗壓之強度，以助於學生在設計與製作橋樑時，能正確選擇橋樑桿件以強化橋樑的承重能力，並根據研究結果提出以下教學成效：

1. WPBD 能夠有效地進行橋樑結構力學分析，並能夠瞭解每根桿件的受力情形(拉力或壓力)，進而根據分析結果更換材料的材質與尺寸，因此有助於實現工程設計流程。
2. 由於 WPBD 以模擬的方式進行橋樑承重分析及瞭解各桿件受力情形，因此在學生無法實際觸摸到橋樑桿的情況下，使得學生只能以較抽象的方式思考材料抗拉與抗壓的強度，以致於不利於正確選擇橋樑設計桿件的教學。

(四)智高結構積木有助於學生正確選擇不同受力的橋樑桿件

本研究採用實體教具的目的是為了讓控制組學生能夠在橋樑結構設計課程中引起學習動機，並學習橋樑結構力學分析以及材料抗拉與抗壓之強度，以助於學生在設計與製作橋樑時，能正確選擇橋樑桿件以強化橋樑的承重能力，因此本研究在教學上安排一項實體教具—智高結構積木，並根據研究結果提出以下教學成效：

1. 智高結構積木的模型組裝雖然具有挑戰性，因此能引起學生的學習動機，但由於組裝與拆卸模型較為費時，因此學生的興趣會逐漸下降。
2. 智高結構積木的模型組裝有助於結構穩固程度的測試。
3. 智高結構積木可讓學生嘗試組裝各種橋樑結構型態，以認識橋樑結構的組成，然卻步利於橋樑結構力學分析，學生需自行分析才能夠瞭解每根桿件的受力情形(拉力或壓力)。
4. 智高結構積木提供各種尺寸的零件與繩索，使學生能以較具體的方式思考材料抗拉與抗壓的強度，因此有利於正確選擇橋樑設計桿件的教學。

由於十二年國民基本教育課程綱要—科技領域草案強調工程設計的重要性，因此在橋樑結構設計教學活動的規劃上，結構力學分析課程將不可或缺，此外，為使學生能夠學習橋樑結構設計課程的概念知識，以助於日後學生在橋樑的設計發想與製作，所以本研究認為在橋樑結構設計概念知識課程上應規劃結構型態與橋樑結構、結構力學與力學分析二個部分進行教學，且本研究根據教學成效發現不同的課程概念搭配不同的教學輔助工具，將有助於教學

目標的達成。因此，本研究針對虛擬實境、輔助學習軟體與實體教具應用於橋樑結構設計教學活動提出以下建議：

(一)善用虛擬實境與輔助學習軟體於橋樑結構設計教學活動

根據研究結果顯示，不管是建立橋樑結構的基本概念或是結構力學分析的概念，若能融入虛擬實境與輔助學習軟體，將能夠使學生的學習成效表現更為突出。由於虛擬實境與輔助學習軟體有助於引起學生的學習動機，並建立設計橋樑的基本概念，以及橋樑桿件抗拉與抗壓的分析，進而瞭解桿件材料對橋樑結構穩固性的影響，因此本研究認為若橋樑結構設計教學活動能夠融入虛擬實境與輔助學習軟體，將有利於學生學習橋樑結構設計的概念知識，並有助於培養學生在橋樑設計與製作的的能力。

(二)開發多元的虛擬實境教材並適當地應用於橋樑結構設計教學活動

根據研究結論顯示，虛擬實境設備有助於引起學生在橋樑結構設計教學活動中的學習動機與興趣，主要在於虛擬實境設備之於學生為項新穎的設備，能夠激發學生的好奇心而促使學生使用該設備，然由於虛擬實境教材開發不易，因此本研究認為若要有效地將虛擬實境設備融入到橋樑結構設計教學活動，研究者必須先培養虛擬實境開發技術，如：學習 3D 建模、程式語言等，以全面發揮虛擬實境融入感、互動性及想像力的特性，使課程內容更加多元，像是能夠增加虛擬結構力學模擬課程。

(三)採用合適的教學策略使輔助學習軟體有效地應用於橋樑結構設計教學活動

Bridge Constructor FREE 為一項遊戲軟體，但由於該軟體設計的核心是讓學生能夠從遊戲中建構橋樑設計須考量的要素，因此遊戲元素包含選材、承重、成本等概念，有助於學生建立橋樑設計的基本知識。而 WPBD 的開發原先即為幫助學生建立並體驗工程設計流程，因此學生能夠在該軟體中學習工程設計的相關歷程，如：設計各種橋樑型態、橋樑桿件的選擇、承重測試等，而根據研究結論發現，學生透過 WPBD 能夠有效地進行各種橋樑結構的力學分析。根據研究結論顯示，以上兩款輔助學習軟體—Bridge Constructor FREE 與 WPBD 均有助於提升學生在橋樑結構設計教學活動中的學習動機與興趣，以及橋樑結構力學分析，因此未來教師若欲實施橋樑結構設計教學活動時，將可善用 Bridge Constructor FREE 與 WPBD 於橋樑結構力學分析教學中，而該教學同時又能滿足十二年國教新課綱在生活科技課程中所強調的「工程設計」，然為了能夠有效地將 WPBD 融入至課程中，教師可採用練習教學法講授 WPBD 軟體操作，以幫助學生熟悉 WPBD 的介面與各項功能。

(四)掌握教學活動數量使實體教具有效地應用於橋樑結構設計教學活動

根據研究結論顯示，實體教具—智高結構積木有助於提升學生的學習動機，且能有效地幫助學生在橋樑設計時選擇適當的桿件材料，以強化橋樑的結構。未來若教師欲使用智高結構積木應用於橋樑結構設計教學活動，應掌握教學活動的數量，像是只規劃幾種簡單的結構組裝，如：正方形、三角形等，或安排少量且簡單的橋樑模型組裝活動，讓學生組裝完畢後，能夠比較不同結構的穩定性以及思考如何進一步強化結構。其次，教師可善用實體教具能實際「摸的到」的特性，講授材料抗拉與抗壓的強度之課程，將有助於提升學生在橋樑設計與製作時，正確選擇合適橋樑桿件的能力。

二、第二年結論與建議

(一)凳子與矮桌等小型家具適合以郵局紙箱作為材料。

要製作以「紙箱」做為材料的紙家具，最大的限制就是材料的大小。在收納系列、桌椅系列、壁掛系列與桌上系列四種紙家具的類別中，桌椅系列與桌上系列最適合以郵局紙箱為材料製作紙箱家具，因為郵局大型紙箱的規格有個特點，即高度恰好與人乘坐的高度相似，故凳子類的家具最適合以大型紙箱來製作，而若要製作桌子，高度與桌面大小都有些不足，但透過加工降低高度後，仍可當作床上桌等矮桌使用。而桌上系列因體積相對紙箱較小，故只要有需求，並選擇適合的紙箱規格，便很有機會做出實品，且因材料足夠，更容易結合不同的功能或想法，做出更有創造力與多元的成品。

(二)適合以紙箱作為材料的紙家具接合結構以「凹折、十字搭接與插榫接」為主，承重結構則以能「利用垂直壓力的施力模式將力直接傳導或分散至地面」的設計為主。

因應紙箱的材料特性，如瓦楞紙的厚度與硬度、紙材的結構、紙箱本身的凹折痕跡與瓦

楞方向等因素，並考慮加工方式的難易、複雜與耗時程度，所以使用紙箱作為材料時，最合適的接合結構為凹折、十字搭接與插榫接。

而對瓦楞紙而言，同樣的施力大小，對紙板施以「垂直壓力」的承重效果最好，否則紙板可能因分力產生的力矩而變形，導致紙家具的承重效果變差，嚴重時會致使紙家具損壞無法使用。

(三)透過設計圖及加工方法的引導，可以方便使用者以瓦楞紙箱製作紙家具。

要使大眾能以簡單的剪裁及凹折做出紙家具，需有設計圖與加工方法的引導。其設計圖需符合設計原則：(1)盡量維持形狀的對稱(2)盡量使用垂直壓力的施力方式將力分散至地面(3)盡量減少加工，避免破壞材料本身的結構。而加工方法的訂定需考慮大眾較易取得的裁切工具為何，本研究整理三個加工方向一順瓦楞方向、垂直瓦楞方向及斜瓦楞方向，與三個加工需求一切斷、向內凹折及向外凹折，兩兩搭配後的加工情境，提出適合美工刀等切割用具的紙箱加工方法。

透過本研究提出之紙箱家具設計圖與加工方法，使用者將能以少量的加工與時間製作出紙家具

(四)本研究所提出的教案有助於 108 課綱的教學

因應 108 新課綱中生活科技科的結構教學需求，本研究以紙箱家具為核心設計之教案有助於結構教學的創新，讓學生能從中學習力的概念、接合結構、承重結構與結構的重要性，並能運用所學與創意設計出實用的紙家具；也提供教師新的教學題材，激發新的可能性。

三、第三年結論與建議

依據第三年的研究結果，本研究主要提出以下具體的結論：

(1)虛擬實境融入 6E 教學策略的「紙家具結構」虛擬實境 STEAM 進階探究學習模組有助於培養高中生的探究式學習效果。(2)虛擬實境融入 6E 教學策略的「紙家具結構」虛擬實境 STEAM 進階探究學習模組有助於培養高中生的空間能力。依據前述的研究結論，本研究建議未來可以參考本研究所設計的虛擬實境教學模式，協助學生將抽象概念實體化的方式進行結構設計的教學，將有助於學生理解抽象的結構概念，並增進結構的學習效果。

四、計畫成果的推廣

本計畫以三年的時間發展虛擬實境教材、進行實驗研究以及推廣，除了希望加強 VR 教材在教學方面的應用以外，並能了解高中學生使用虛擬教材在結構設計能力和空間能力的學習成效，以對應高中學生升入大學的準工程教育。

參考文獻

略。

計畫執行期間已發表期刊論文

本計畫在 106-108 年度 (2017-2019) 執行期間的計畫成果，包括發表了三篇 SSCI 期刊論文及二篇國內期刊論文：

Lin, H.-C., Chang, Y.-s., & Li, W.-H. (2020). Effects of a virtual reality teaching application on engineering design creativity of boys and girls. *Thinking Skills and Creativity*, 37, 100705. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100705>. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871187120301796>

Chen, J.-C., Huang, Y., Lin, K.-Y., Chang, Y.-S., Lin, H.-C., Lin, C.-Y., & Hsiao, H.-S. (2020). Developing a hands-on activity using virtual reality to help students learn by doing. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(1), 46-60. doi:10.1111/jcal.12389. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/jcal.12389>

Chang, Y.-S., Lin, H.-C., Chien, Y.-H., & Yen, W.-H. (2018). Effects of creative components and creative behavior on design creativity. *Thinking Skills and Creativity*, 29, 23-31. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.05.007>. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871187118300695>

- 周惠柔、林弘昌（2018）。應用虛擬實境與輔助學習軟體於高中橋樑結構設計概念之學習成效。科技與人力教育季刊，4(4)，34-66。
- 周惠柔、林弘昌（2018）。應用虛擬實境技術與 6E 教學模式於高中生活科技課程之結構教學單元設計。科技與人力教育季刊，4(3)，67-89。

106年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：林弘昌		計畫編號：106-2511-S-003-020-MY3	
計畫名稱：虛擬實境應用對高中STEAM探究學習效果與創意表現的影響－結構設計教學模組研究			
成果項目		量化	單位 質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)
國內	學術性論文	期刊論文	2 篇 周惠柔、林弘昌 (2018)。應用虛擬實境與輔助學習軟體於高中橋樑結構設計概念之學習成效。科技與人力教育季刊，4(4)，34-66。 周惠柔、林弘昌 (2018)。應用虛擬實境技術與6E教學模式於高中生活科技課程之結構教學單元設計。科技與人力教育季刊，4(3)，67-89。
		研討會論文	0
		專書	0 本
		專書論文	0 章
		技術報告	0 篇
		其他	0 篇
國外	學術性論文	期刊論文	3 篇 Lin, H.-C., Chang, Y.-s., & Li, W.-H. (2020). Effects of a virtual reality teaching application on engineering design creativity of boys and girls. Thinking Skills and Creativity, 37, 100705. doi:https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100705. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871187120301796 Chen, J.-C., Huang, Y., Lin, K.-Y., Chang, Y.-S., Lin, H.-C., Lin, C.-Y., & Hsiao, H.-S. (2020). Developing a hands-on activity using virtual reality to help students learn by doing. Journal of Computer Assisted Learning, 36(1), 46-60. doi:10.1111/jcal.12389. Retrieved from https://doi.org/10.1111/jcal.12389 Chang, Y.-S., Lin, H.-C., Chien, Y.-H., & Yen, W.-H. (2018). Effects of creative components and creative behavior on design creativity. Thinking Skills and Creativity, 29, 23-31. doi:https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.05.007. Retrieved from

					http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871187118300695
		研討會論文	0		
		專書	0	本	
		專書論文	0	章	
		技術報告	0	篇	
		其他	0	篇	
參與計畫人力	本國籍	大專生	2	人次	謝宣而、黃紹峯
		碩士生	2		黃國斌、陳彥綸
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)		<p>目前我國仍主要以不同的科目進行教學，學生較無法了解學科與學科之間的關聯性，對於培養知識統整性應用與思考能力皆成效不彰，因此未來的課程發展趨勢，必定需整合不同課程間的教學。畢竟教學的最終目標是要使學生能自主地解決各種問題，培養學生「帶得走的能力」。本計畫以橋樑的結構設計為例，提出一個STEM教學設計的實例，提供給老師們參考。此外，也提到在發展STEM教學活動之同時，參考6E模式（投入、探索、解釋、工程件模、豐富、評鑑）及工程設計程序進行流程安排。本計畫的實施經驗有助於了解虛擬實境於中學階段的課程設計，包括虛擬實境教學的設計及成效、STEM課程規劃以及6E教學模式對於學生探究學習的影響。另外，本計畫的研究成果可以提供辦理師資增能活動的參考，透過虛擬實境及教學輔具的輔助，有助於老師理解結構的空間構成及製作程序以及未來在結構概念的教學，進一步可以指導學生將各種結構應用於設計生活中適用的產品，有助於中學階段生活科技課程的實施。</p>			
	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述		
科教國 公司 計畫 加填 項目	測驗工具（含質性與量性）	0			
	課程/模組	0			
	電腦及網路系統或工具	0			
	教材	0			
	舉辦之活動/競賽	0			
	研討會/工作坊	0			
	電子報、網站	0			
	計畫成果推廣之參與（閱聽）人數	0			