

STEAM取向之Maker教學

簡佑宏* 副教授
朱柏穎 助理教授
簡爾君 研究生

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系
大同大學工業設計學系
國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

摘要

為培育具備美學和科技素養之工科領域設計人才，本研究提出在高中階段發展STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics)取向之Maker教學課程。以能夠高速前進、具備美觀造型的賽車設計活動發展課程後進行教學實驗，並且比較高中生和設計學院大學生參與課程後之表現，以瞭解學生能力上的差異與需求。研究結果顯示高中生和設計學院大學生的作品創意和學習成效皆具顯著的差異，實驗結果可作為未來發展STEAM取向Maker課程設計與教學之參考。

關鍵詞：課程、設計、Maker、STEAM

*本篇論文通訊作者：簡佑宏，通訊方式：roland.chien@ntnu.edu.tw。

STEAM-oriented Maker Curriculum

Yu-Hung Chien * Associate Professor

Po-Ying Chu Assistant Professor

Er-Jiun Chien Graduate Student

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

Department of Industrial Design, Tatung University

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

Abstract

To enable to cultivate students the literacy of aesthetics and technology in the engineering design field. We developed a Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) oriented Maker curriculum centered on designing a high-speed stylish racing car. After developing the curriculum, we analyzed the learning outcomes of two groups of students (high school students and design college students) to assess their competencies. There were significant differences in creativity and learning outcomes. The findings of the present study would benefit the future design, development, and implementation of STEAM curricula.

keywords: curriculum, design, Maker, STEAM

*Corresponding author: Yu-Hung Chien, E-mail: roland.chien@ntnu.edu.tw

壹、前言

近年來隨著科技發展，產品、系統、環境日趨複雜，產業界發現高等教育中的工科領域設計教育（例如建築設計、環境設計、工業設計系）偏重於機能與形體美學的教育內容不能滿足就業市場中設計人才必須具備科技素養的迫切需求，進而呼籲高等設計教育必須改變（Norman, 2010）。以工業設計為例，由於早期的工業設計成品大多是實體產品，設計師專注於形體、機能、材料與製程。然而，今日設計師面對的問題複雜、具挑戰性、需具備新的技能。例如現在的工業設計師需要瞭解產品中的微處理器、顯示器、驅動裝置、感應器。愈來愈多產品加入通訊模組，安全與隱私、社群網路、人類社交互動議題的相關知識也更顯得重要。原有的設計技能，如素描、繪圖、模型等，必須被新時代的技能，如程式撰寫、互動與人類認知等所補強。例如透過快速製作原型進行使用者經驗測試與分析是工業設計中必要的產品開發流程，其意味著設計師必須懂得一些社會與行為科學、統計學和實驗設計。在教育單位，工業設計多偏向隸屬於藝術領域，而很少見到設計教育的課程將科學、數學、科技或社會科學課程納入規劃中。

上述的高等設計教育企求改變的方向，其實可提早從中等教育做起，落實設計人才美學與科技素養的培育。在十二年國教中，生活科技教育具有銜接高等工程教育作為工程進路與科技入門的功能（Moye, Dugger, & Starkweather, 2012）；十二年國教的美感教育則著重培育美感知能與素養（教育部，2014）。國高中生對工科設計領域的興趣，經常啟迪於生活科技的動手實作和美術科目的美學和創意思考。倘若，能將兩個藝能課程內容加以結合，應能使有志於朝向工科設計領域的學生，同時具備並能融合美感與科技素養，進而符合設計產業人才培育需求。因此，本研究以工業設計人才培育為例，再後續的文獻探討針對：（1）設計產業人才應具備美學與科技素養加以論述後，進而（2）討論 STEAM（Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics）導向之 Maker 教學與設計產業人才培育的關係。隨後於研究方法中，根據前述之文獻探討與分析。（3）發展 STEAM 取向 Maker 課程設計並進行實驗，最後（4）分析教學實驗之結果以作為未來發展 STEAM 教學和 Maker 課程設計與教學之參考。

貳、文獻探討

一、設計產業人才應注重美學與科技素養之培育

設計概念與科技素養息息相關，二十一世紀產品的設計與開發必須配合科技的發展與應用。同時設計發展階段必須要探討與重視製造量產的議題，因此設計與工程的關係

亦緊密結合在一起 (Cheng & Hsiao, 2001)。工科領域設計人才的訓練不僅僅需要工藝技術和造型美學如造型原理、模型製作、表現技法等科目的訓練，隨著科技的迭代，設計實務需要人才具備應用新興科技的能力，特別是在工程技術方面 (Jonathan, 2014)。荷蘭著名的代爾夫特理工大學 (Delft University of Technology) 的工業設計工程學程不僅重視造型美學的能力，更將工程科學、數學、人文社會科學、統計等相關知識納入課程架構 (Roozenburg, van Breemen, & Mooy, 2008)；美國史丹福大學的產品設計學程，則將數學、科學、工程等科目訂定為必修學科 (Stanford Bulletin, 2017)。

近年來，不管是產業界或是設計教育研究，發現工科設計領域的大學生經常提出很好的構想，但是不太熟悉相關科學原理，亦不瞭解科技和工程技術，以致鮮少嶄新的設計方案能真正實現 (Norman, 2010)。因此，如何使學生兼具應用科技、科學、工程和數學等知識並融入人文社會科學和美學的概念，實為重要課題。由於設計是一種兼具使用者與生產者觀點的創造力活動，以工業量產思維創造兼顧外形、結構與機能的產品 (Black, 1983)。工業設計應具備科技與工程之素養以因應新興科技快速的演進，更注重以系統化方式結合工程技術與造型能力，考量人性、消費者和市場的產品開發過程，也就是以知識、技術、方法、專業態度考量設計、科技、使用者和商業市場 (Cheng & Hsiao, 2001)。因此，設計教育應以問題解決為導向尋求具有創造力的解決方案，過程中模擬實際情境，強調屏除先入為主觀念，保持心胸開放 (open-mind) 和不斷反覆修正構思 (Fan & Yu, 2015)，並且結合科學、數學、科技概念導入相關情境的問題，增加學生應用知識以及訓練學生評估、分析、預測、建構模式等高層次批判思考的技巧 (NGSS Lead States 2013; Wendell & Rogers 2013)。為銜接大學工科領域設計教育，提供具探索性的 (exploratory)、預備性的 (preparatory) 性質，以科技情境與設計為主體，讓學生整合各學科知識以進行設計的課程，使其能夠透過各個設計階段進行設計活動以開發科技產品或研發系統，並解決科技或工程相關的問題 (Fan & Yu, 2015) 甚為重要。此種銜接課程之設計與發展可以從了解被銜接的雙方學生能力開始 (Atman, Adams, Cardella, Turns, Mosborg, & Saleem, 2007; Atman, Cardella, Turn, & Adams, 2005; Newstetter and McCracken, 2001)。

二、STEAM與Maker教學

九十年代美國意識到科技教育的不足會造成科技人才的短缺，降低國家競爭力與經濟成長動能。因此美國國家科學委員會提出推動 STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) 教育，其主要目的在於提升其國民科學與數學的能力和興趣以促進科技人才的培育。在臺灣，學生數學與科學表現雖然頗佳，但是最常為人所關切的是學生擁有科學、數學等學科的知識，但是缺乏實務應用這些學科知識的能力與經驗 (Lin et.

al, 2009)。學生面臨問題解決常憑直覺進行，而並非應用科學、數學等學科知識進行問題解決。因此強調透過實務課程安排，將 STEM 知識整合於專題式課程，避免偏重學科知識的學習，實有必要。美國推動 STEM 教育行之有年，然而推動至今發現 STEM 教育仍然缺乏提振學生科學學習興趣的重要觸媒劑。為了能更提升學生的學習興趣，世界各國探討如何將人文方面的藝術、設計融入 STEM 形成 STEAM 教育，讓學生因融入設計與藝術而對科學、數學等學科知識感到興趣 (Quigley & Herro, 2016; Zschenderlein, 2011)。由於傳統印象中 STEM 領域人才著重於聚斂性思維 (convergent thinking)，而藝術領域人才則著重擴散性思維 (divergent thinking)，若能融合兩種思維則能產生強大的跨領域問題解決能力和創造力發展，培育具全球競爭力之人才 (Land, 2013)。結合藝術與科學可以訓練學生創造力、批判性思考和合作學習，發展能夠解決問題的終生技能 (Milkova, Crossman, Wiles, & Allen, 2012; Mote, Strelecki, & Johnson, 2014)。國家科技進步與經濟發展不僅是擁有知識與科技，而是要融合科技與創意。STEAM 讓學生擁有全面成功、具有創造力和革新的可能 (Land, 2013)。STEAM 教育的出現在於結合人文藝術與科學可解決原本 STEM 教育不足之處。而就本研究所述及的設計人才培育問題，亦恰好是 STEM 教育發展成 STEAM 教育的一體兩面，即藝術亦須要透過 STEM 領域學科讓 STEAM 知識整合運用，讓學生進行創意構思時，不僅僅是要 KNOW WHAT 還要 KNOW HOW，更要 KNOW WHY，要知道為什麼在設計上需要 STEM 相關知識的整合，才能在設計產品、設備或系統時，真正具有後續持續開發的潛力，而不會在沒有深入瞭解一個科學概念、科技或工程技術，就任意提出運用該科學概念、新興科技或工程技術的設計構想，同時不會因為問題解決與批判思考能力不足，導致設計看似構想新穎但最後毫無實現的可能性，浪費研發資源和時間。

Maker 運動 (The Maker Movement) 隨著 2005 年 MAKE 雜誌的成立、推動而造成風潮。Maker 運動促成製造業、工程、設計和硬體科技等的創新發展。Maker 運動在教育上即讓學生從單純的教育接收者進階成為自己教育生活的創造者或開發者；從被指導做某一件事情轉化成為自我導向的獨立學習個體，是一種促進創造力與批判性思考的新興教學模式。學者 (Gerstein, 2013) 指出 Maker 教育具有數個重要的特質，能夠與 STEAM 結合，包括：

- (一) 驅動學生的內在動機：Maker 教學活動驅使學生運用創造力和技能、鼓勵自我表達和創造屬於自己的產品，在教學現場可以輕易驅動學生內在的學習動機，而不須透過他人給予的評價、分數、獎勵和讚美的外激。
- (二) 引領學生全心的投入：透過與創意、創新、問題解決相關的 STEAM 實作活動，驅動興趣而學習。教學活動經常讓學生產生心流 (flow) 的經驗，使其沉浸在完

成一件作品的滿足過程中。

- (三) 具差異化的學習歷程：差異化教學是近來教學上重要的教育觀念，讓不同成就的同學有更多適性學習的機會（鄭章華、林成財、蔡曉楓，2016）。Maker 教學活動可提供差異化教學的機會，在實作活動中，教師可以依據學生的程度，配合學生滿足不同學生能力的學習需求。
- (四) 學科整合實務教學：Maker 教學可以完全的融入 STEAM 知能。例如設計製作一個寵物機器人，可以與科學（如物理的位移、負載、光）、科技（如線上虛擬動作原形的技術）、工程（如機器手臂建構）、藝術（如幫寵物機器人設計一個故事情境和說故事的口語技巧以及寵物造型設計）和數學（測量、計算、修剪、建造寵物機器人原型）。
- (五) 個人應變能力的培育：個人應變能力是一種多重技能資產，能解決問題、接受挑戰、從失望中復原和在逆境中能夠生存。Maker 實作活動會使學生遭遇千變萬化的問題，有助於建構個人應變能力。

鑒於上述，因此本研究發展（1）整合藝術和 STEM 的 Maker 專題實作課程：二氧化碳賽車設計。其次，當發展銜接課程，若能瞭解高中生與大學生間能力的差異，便能瞭解未來知識能力的需求，妥適設計課程。因此，本研究的目的（2）透過教學實驗，瞭解高中生與大學生在參與課程的差異。由於目前發展相關課程的研究尚少，本研究內容將可作為相關課程設計與發展參考，有助於協助學生自我探索及學習，加強國高中與大學工科類科系所的連結，符合培植符合國家發展政策的工科設計人才。

貳、研究方法

一、研究對象

臺北市某公立高中十年級兩個班37名男學生和35名女學生，共72人參與本實驗。臺北市某大學設計學院一年級大學生12名。所有學生皆未曾製作過二氧化碳賽車，但大學生皆有模型製作之經驗。

二、課程發展

課程發展透過工程設計流程規劃二氧化碳賽車設計教學活動，圖1為設計學院12名一年級大學生測試二氧化碳賽車競速活動的照片。二氧化碳賽車的動力來源是來自於車體後方的高壓二氧化碳鋼瓶，噴發的氣體動力與火箭升空的原理相似，而高速的賽車會受到哪些因素影響，亦可從實際車輛設計的規則上找到原因。其次車體造型影響賽車速

度，因此美觀與速度需整體考量，是一個很好的 STEAM 教學活動，其與各個學科的結合包括科學：牛頓第二、第三運動定律的概念、空氣阻力和風阻係數；科技：運輸科技的相關概念；工程：工程設計流程的建構；藝術：造型原理、形隨機能知概念；數學：幾何繪圖、正投影面積計算、車體重量預測等。

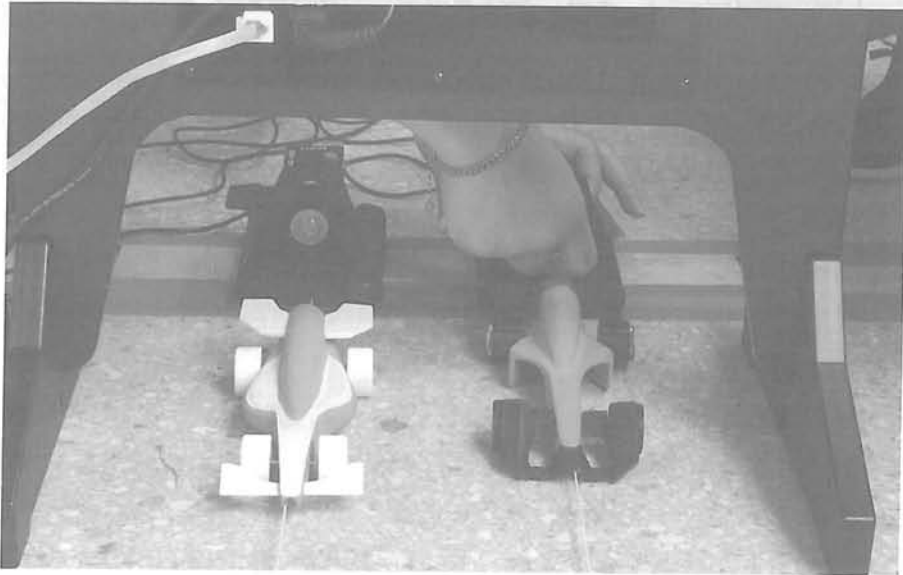


圖 1 參與本研究之設計學院大學生以數位工具製作之二氧化碳賽車作品

教學活動為期四週，每週兩節課 100 分鐘，共計 400 分鐘。課程由研究者與三位科技教育師資培育生共同規劃包括：教材準備、教案發展與撰寫、實作所需要的材料、設備和實作流程的安排。課程初步建構完成後，曾邀請七位生活科技教師（1）聆聽課程內容之介紹，（2）動手試作賽車，（3）並體驗競賽過程後，針對課程規劃與實作活動提出建議。以下為修正後之課程流程描述。

- （一）第一週：介紹二氧化碳賽車之活動和賽車競賽影片，以激發學生興趣並說明實作活動目標，同時引導學生思考賽車設計相關問題，讓學生界定、分析可能的問題，使其產生設計構想。最後透過學習單回顧學生在其他科目上獲得的相關知識，例如：牛頓運動定律、工程圖學、造型美學等。
- （二）第二週：學生蒐集賽車相關資料，運用先前學過之 STEAM 知識進行二氧化碳賽車的車體設計、於方格紙上繪製設計圖後，利用鑽床、帶鋸機、線鋸機、砂輪機等各式機具進行車體的切割、砂磨等實作活動。設計學院大學生則同時運用 3D 繪圖、數位加工工具和手工具進行加工。

- (三) 第三週：高中生進行分組，每班 36 人，以三人為一組，共分成 12 組。各組員討論彼此作品後，從三件作品中挑選出最佳 3D 設計案進行車體的組裝。組裝後進行測試、修正與改進車體，並加強外觀造型。12 名設計學院大學生則是各自完成作品後進行測試、修正。
- (四) 第四週：進行設計創意發表、競速名次預測和從事競速活動，最後再次以學習單進行反思、回饋的活動和總結課程。競速測試以競速系統紀錄手動觸發時間與二氧化碳車移動時間。

相關本研究更進一步與詳盡的教學實驗課程規劃，在研究高中生3D列印課程STEM取向準工程課程設計中有具體實作時使用材料、教學設計等相關說明(簡佑宏、張玉山、簡爾君，2016)。

三、研究工具

(一) 創意產品語意量表

本研究採用修訂自 Besemer and Treffinger (1981) 的「創意產品語意量表」(Chang, 2002)，針對三個構面的七個項目對學生作品進行評分，包括：1.新穎性構面：評量學生作品的「外觀」(作品整體的造型設計是否具特殊性)、「材料」(材料的選擇是否獨具特色)和「結構」(車輪與車體結構的設計上是否獨一無二)等三個項目評定是否具獨特性。2.功能性構面：依照競速時實測的狀況，評量其「耐用性」(作品是否遺失零件或損毀)與「使用性」(作品是否能夠確實達成任務)。3.精緻性構面：依照外觀的「一致性」(作品外觀是否整體一致)與「吸引力」(作品的整體外觀是否能夠吸引目光)兩點評量。評分以五點量表(最低 1 分，最高 5 分)評分。本量表先邀請三位生活科技教師評量 36 件高中生的創意手作木筆筒，Kendall's W test (Kendall & Smith, 1939) 顯示在新穎性、功能性、成熟度等三個構面具顯著高相關信度檢定 (.72, .85, and .76; $p < .001$)。

(二) 競速預測

每位學生在競速活動前，回顧先前課程中已學過的 STEM 相關知識，高中生與同組組員、大學生各自找同學討論設計方案，從 12 台車中預測一台跑的最快的二氧化碳賽車，以此評估每位學生應用 STEM 知識的效果。

(三) 競速活動

競速時，兩台二氧化碳車同時競賽。高中生以班為單位，大學生則以課程為單位，於課間實施競速活動。每組參與競賽的學生可自由挑選同時競賽的二氧化碳車以增加趣味性。同學先將車體齊頭置於出發線，手動觸發二氧化碳鋼瓶，競速測試紀錄學生手動觸發二氧化碳鋼瓶的時間和車移動時間。故整體競速時間 = 學生觸發反應毫秒數 + 車行徑毫秒數。

(四) 學習成效

學習成效以學生的學習單為依據，學習單內容包括 STEAM 知識問題回答、資料蒐集內容、繪製設計構想的草圖、與組員討論的分析記錄、預測分析結果、實測成績紀錄、修正與改善討論記錄和對課程的心得與回饋。而本教學實驗，由執行高中實驗教學的三位老師對所有學生的學習單中的 STEAM 知識問題回答、資料蒐集內容、繪製設計構想的草圖、與組員討論的分析記錄、修正與改善討論記錄等項目做出個別項目評分，分數範圍為 0—100 分，學生所得的分數即為學習成效評估之依據。

肆、結果

一、造型創意

學生車體造型在三個構面的七個項目所得之分數平均值如表 1。創意產品語意量表中三個構面中，獨立樣本 t 檢定分析顯示高中生和設計學院大學生在功能構面無顯著差異，但是在新穎性和精緻性構面的平均分數具顯著差異 ($t(82) = -5.71, p < .001$; $t(82) = -7.10, p < .001$)。設計學院大學生在新穎性構面和精緻性構面的平均分數顯著優於高中生的平均分數。

表 1 高中生與設計學院大學生創意產品語意量表的分數表現

| 變項 | 高中生 | | 設計學院大學生 | | t 檢定 |
|-----|------|-----|---------|------|---------|
| | M | SD | M | SD | |
| 新穎性 | 2.68 | .52 | 3.60 | .46 | -5.71** |
| 材料 | 3.01 | .49 | 3.42 | .79 | -2.43* |
| 外觀 | 2.68 | .82 | 4.14 | 1.17 | -5.35** |
| 結構 | 2.36 | .82 | 3.50 | 1.19 | -4.81** |
| 功能性 | 4.23 | .40 | 4.05 | .42 | 1.38 |
| 耐用性 | 3.89 | .43 | 3.86 | .28 | .21 |
| 使用性 | 4.57 | .62 | 4.25 | .62 | 1.64 |
| 精緻性 | 2.60 | .63 | 4.11 | .98 | -7.10** |
| 一致性 | 2.61 | .59 | 4.36 | .85 | -8.94** |
| 吸引力 | 2.58 | .78 | 3.86 | 1.45 | -4.56** |

* $p < .05$; ** $p < .001$.

分別針對構面下七個子項目進行t檢定分析顯示，在材料、外觀、結構、一致性和吸引力等五個項目的平均分數，高中生和設計學院大學生具顯著差異 ($t(82) = -2.43, p < .05$; $t(82) = -5.35, p < .001$; $t(82) = -4.81, p < .001$; $t(82) = -8.94, p < .001$; $t(82) = -4.56, p < .001$)。設計學院大學生的平均分數顯著優於高中生的平均分數。至於在耐用性與使用性兩個項目則無顯著差異。圖2為部分學生作品。

學生作品

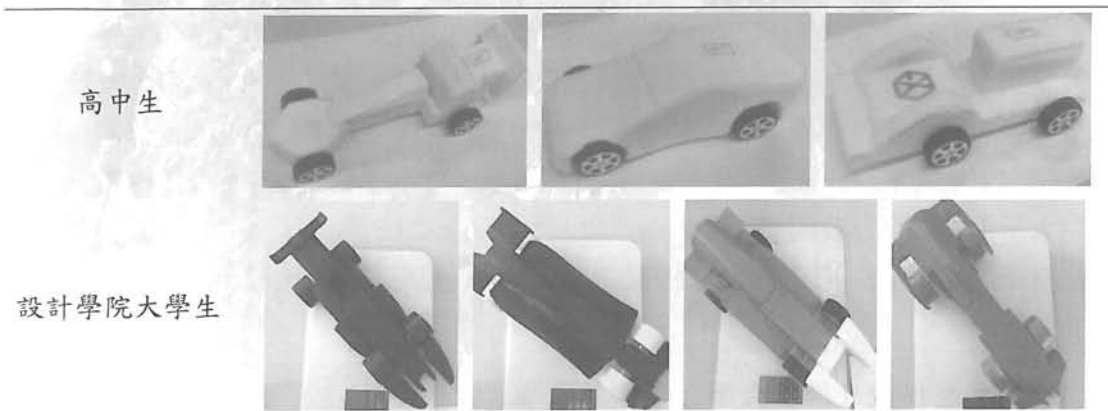


圖2 高中生與設計學院大學生的車體設計範例

二、預測準確性分析

表2為學生正確預測競速成績的百分比。獨立樣本t檢定分析顯示學生預測之車輛為競速成績第二或三名車輛的百分比上以及預測之車輛為競速成績第一名車輛的百分比上皆無顯著差異。

表2 高中生與設計學院大學生預測準確性百分比

| 預測項目 | 高中生 | | 設計學院大學生 | | t 檢定 |
|-----------------|-----|-----|---------|-----|------|
| | M | SD | M | SD | |
| 預測之車輛為第二或三名的百分比 | 26% | 44% | 25% | 45% | .10 |
| 預測車輛為第一名的百分比 | 17% | 38% | 17% | 39% | .02 |

三、競速成績

表3為學生的平均競速成績。觸發反應上，高中生和設計學院大學生在手動觸發反應秒數無顯著差異，在車體行徑時間上，高中生和設計學院大學生亦無顯著差異。

表 3 高中生與設計學院大學生二氧化碳車競速成績（毫秒）

| 預測項目 | 高中生 | | 設計學院大學生 | | t 檢定 |
|--------|------|-----|---------|-----|-------|
| | M | SD | M | SD | |
| 觸發反應時間 | 244 | 159 | 190 | 58 | 1.12 |
| 車體行徑時間 | 1591 | 416 | 1868 | 462 | -1.82 |
| 整體時間 | 1835 | 476 | 2508 | 470 | -1.33 |

四、學習成效

各組學生的學習單在各個面向的平均成績如表 4。在 STEAM 知識方面，高中生與設計學院大學生的平均分數無顯著差異。在資料蒐集和工程製圖方面，高中生與設計學院大學生的平均分數具顯著差異 ($t(82) = -2.07, p < .05$; $t(82) = -3.15, p < .001$)，設計學院大學生的平均分數顯著優於高中生的平均分數。在小組討論方面，高中生與設計學院大學生的平均分數具顯著差異 ($t(82) = 2.03, p < .05$)，高中生的平均分數顯著優於設計學院大學生的平均分數。在測試方面，高中生與設計學院大學生的平均分數無顯著差異。

表 4 高中生與設計學院大學生學習單成績

| 項目 | 高中生 | | 設計學院大學生 | | t 檢定 |
|----------|-------|-------|---------|-------|---------|
| | M | SD | M | SD | |
| STEAM 知識 | 79.28 | 9.51 | 75.83 | 14.90 | 1.06 |
| 資料蒐集 | 79.04 | 11.25 | 86.17 | 9.66 | -2.07* |
| 工程製圖 | 73.83 | 12.61 | 85.83 | 9.25 | -3.15** |
| 討論 | 86.16 | 5.93 | 81.75 | 12.08 | 2.03* |
| 測試 | 73.35 | 9.57 | 72.42 | 8.24 | .32 |

* $p < .05$; ** $p < .001$.

伍、討論與結論

一、造型創意

學生車體造型創意表現上，新穎性和精緻性兩個構面具顯著差異，功能性構面則不具顯著差異。首先討論新穎性構面下的材料、外觀和結構項目。在外觀項目上，課程不限定車的形式和造型，學生必須同時考量速度和造型美學的關係。學生作品約略有一般房車 (Sedan) 造型、Formula 1 賽車和 dragster 賽車三種車子的造型。圖 3 為三種不同車型的範例。速度是本課程活動首需考量的設計要素，一般而言 dragster 賽車造型適用

於直線加速之競賽，Formula 1 賽車則著重於彎道操控，而一般汽車的造型則較不做競速之用途，而是以造型視覺美學刺激消費市場為主。有趣的是設計學院學生多採用 Formula 1 賽車造型，而高中生則有 dragster 賽車造型和一般房車造型。明顯的，高中生較多能以速度為活動重點，考量科學原理後進行車體設計，然而多數高中生最後呈現一般房車的造型設計，主要原因乃局限於造型能力、繪圖與製作經驗的不足，造成設計上的困難，最後選擇以簡單的方式做一般房車造型呈現，也因此在外觀項目的平均分數顯著低於設計學院大學生。多數高中生手繪草圖與繪製三視圖的能力不純熟，因此在造型構想上相當受限。設計學院大學生則因為受過完整的素描、工程繪圖和 3D 數位建模的訓練，造型處理較能隨心所欲。然而，設計學院大學生雖能瞭解 dragster 賽車造型與競速的關係，但多數大學生選擇 Formula 1 賽車造型，因為 Formula 1 賽車造型較豐富，在造型發展上較具挑戰性，因而設計學院大學生的作品在外觀項目上有較高的得分。另外，設計學院大學生有潛在以 Formula 1 賽車造型挑戰 dragster 賽車造型的企圖，然而此一挑戰意念並無結合科學原理進行造型設計，以致最後競速成績較低。如同 Norman (2010) 所述，目前設計領域的大學生經常提出很好的構想，即使學過相關科學原理，卻有學生不認為這些相關科學原理為真正影響競速活動的關鍵，亦或是企圖打破 dragster 賽車造型會是最佳的競速造型決策，卻無足夠相關 STEM 知識足以應用。至於在材料的項目上，高中生亦顯著低於設計學院大學生。大學生明顯的會在製作過程中思考取得可用於強化車身結構的材料，例如使用墊片或是套管增加車體穩定性，而少有高中生取得額外材料強化車身結構。由於高中生能投入非考試科目的時間侷限，學生要有多餘時間思考、蒐集其他材料相當不易。然而在材料部分可考量由教師提供各式各樣不同尺寸、樣式、功能的材料，讓高中學生不需要花時間自行蒐集，但要對材料選擇進行抉擇，同樣可以達到在材料應用的目的。在結構項目上，以往二氧化碳賽車的課程活動以手工對質地較軟的木材進行加工，其對學生手工能力的要求高。後續可考慮運用 Maker 教育經常使用的數位加工工具，協助高中生克服手工技術不純熟時所造成的車體左右不對稱、孔洞歪斜、孔洞過大、前後車軸不平行的問題。由機器取代手工製作，產出的作品精密度較高，車體結構較完整。由於運用新興數位工具進行教學是 Maker 教育的特色。隨著 3D 列印的普及可以成為教室中低成本、無需模具快速成型，能讓創新想法得以輕易實現的工具 (Lipson & Kurman, 2013; Snyder, Andrews, Weislogel et al, 2014)。至於精緻性構面，同樣因為上述有關車身造型、材料、結構等原因，設計學院大學生自然在一致性的項目和吸引力項目上有較好的表現。而在功能性構面的耐用性項目和使用性項目方面，由於高中生和設計學院大學生的作品在競速過程雖皆有少數車子出現零件掉落或是車體損毀的現象，但都可以順利跑到終點，故在此二個項目的評分無顯著差異。



圖 3 三種不同車型的範例

二、預測準確性分析

競速預測分析的結果發現高中生和設計學院大學生並無顯著差異。但是由於實驗設計上高中生的作品多偏向房車，而設計學院大學生作品多偏向 Formula 1 賽車造型，兩組學生針對不同樣本進行預測，此結論是否可推論兩組學生運用 STEM 知識的效果必須謹慎做進一步探討。另外，影響車速的因素除了造型還可能受車身加工精確度的影響，故在預測比較上不能排除因為加工技巧而影響競速成績的因素，而能真正基於科學理論進行速度預測。後續實作可考慮透過數位加工改善加工品質，讓車速與造型有更確切之關係，而不會因無法觀察的製造誤差，導致學生在進行預測時會有失準的狀況。

三、競速成績

競速方面，高中生和設計學院大學生觸發時間無顯著差異，即學生的動作與認知技能差不多，在車速方面亦無顯著差異。部分高中生選擇速度較快的 dragster 造型，其他多數學生則以房車造型為主，而設計學院大學生的作品則以 Formula 1 賽車造型為主，而沒有選擇製作 dragster 車形。車體組裝上，設計學院大學生的完整性較佳，但也因 Formula 1 賽車造型複雜，細節較多，增加影響競速表現的變因。最後在多重因素影響下，高中生和設計學院大學生的整體競速成績無顯著差異。

四、學習成效

高中生和設計學院大學生的學習單在 STEAM 知識方面無顯著差異，學生對於課程所回顧有關知識理論，如科學原理、數學公式、機構和美的形式理等內容都能有相當的理解性。在資料蒐集方面，設計學院大學生顯著優於高中生，高中生蒐集資料之深度與廣度上皆不如大學生。在工程製圖方面，設計學院大學生的平均分數顯著優於高中生。就工程技術而言，工程製圖為表達設計之重要技能，高中生在三視圖的表現上感到困難，許多學生表示不會繪製腦中所構思的車形之三視圖，發展汽車造型的空間關係。在討論方面，高中生的平均分數顯著高於設計學院大學生，高中以小組為合作討論分組，大學生則無小組分組，影響大學生主動與同學和師長討論之動機，此點或許是影響討論

績效之故，值得進一步探討。在測試方面，高中生和設計學院大學生間無顯著差異，整體平均分數亦無顯著差異。測試為工程設計一個重要的流程，工程設計必須經過不斷測試與修正以求產品最佳化。在測試項目發現，無論大學生和高中生都不太確實在測試的實施與紀錄。研究指出新手設計師常用嘗試錯誤的方式進行測試，而有經驗的設計師會依據經驗採取特別的策略進行測試（Ahmed, Wallace, & Blessing, 2003）。但是在本研究中僅部分學生（高中生和大學生皆然）會透過例如：以斜坡測試車子下滑後的直線行走穩定性，以固定的力量滾動四個輪子測試四個輪子摩擦力是否一致等等。多數大學生和許多高中生一樣，沒有實際利用科學的方法思考測試策略。

五、結論

整體而言，整合 STEAM 知識，發展重視科技、人文與實作的 Maker 課程，使工科設計學生注意科技與美學的關係，瞭解人文與科學知識皆是產品開發的基礎。將這樣的整合性課程於高中實施，使高中生正確瞭解工業設計必須同時重視科學、數學理論，運用科技與工程以設計出以人為中心具備美學的產品。本研究發展 STEAM 教學為時勢所趨，故結合 STEAM 和 Maker 發展銜接大學工科設計相關科系的高中工程課程，同時教學內容經教學實驗，比較大學生與高中生學習成效後做出檢討與修正。課程後續將透過教育部在各縣市進行教師研習活動，透過工作坊讓更多正職教師熟悉此一課程內容與實作活動。研習結束後，老師們便可自行成立社群與其他各校的老師甚至其他領域之老師進行課程的共同準備課程活動，讓課程可以在老師規畫下開始實施。此一課程發展與驗證的模式，亦可作為後續其他 STEAM 取向 Maker 課程設計與發展參考。

參考文獻

- 教育部（2014）。教育部美感教育中長程計畫。取自 <file:///C:/Users/306/Downloads/1020827核定版—美感教育第一期五年計畫.pdf>
- 鄭章華、林成財、蔡曉楓（2016）。國中數學差異化教材設計與實施初探。中等教育，67（4），38-56。
- 簡佑宏、張玉山、簡爾君（2016）。STEM 取向準工程課程設計：以二氧化碳賽車單元為例。科技與人力教育季刊，3（1），32-52。
- Ahmed, S., Wallace, K. M., & Blessing, L. T. (2003). Understanding the differences between how novice and experienced designers approach design tasks. *Research in engineering design*, 14(1), 1-11.

- Atman, C. J., Adams, R. S., Cardella, M. E., Turns, J., Mosborg, S., & Saleem, J. (2007). Engineering design processes: A comparison of students and expert practitioners. *Journal of Engineering Education*, 96(4), 359-379.
- Atman, C. J., Cardella, M. E., Turns, J., & Adams, R. (2005). Comparing freshman and senior engineering design processes: An in-depth follow-up study. *Design studies*, 26(4), 325-357.
- Besemer, S. P., & Treffinger, D. J. (1981). Analysis of creative products: Review and synthesis. *Journal of Creative Behavior*, 15, 158-178.
- Black, M. (1983). *The Black Papers on Design*, Oxford, Pergamon Press.
- Burt, M. (2015). McLaren unveils brain-controlled, solar-powered future Formula 1 car. *Autocar*. Retrieved from <http://www.autocar.co.uk/car-news/motorsport/mclaren-unveils-brain-controlled-solar-powered-future-formula-1-car>
- Chang, Y. S. (2002). *A study on creativity of virtual Teams* (Unpublished doctoral thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.
- Cheng, W. J., & Hsiao, H. C. (2001). *A creative teaching method for the industrial design (engineering) education on the foundational course*. Paper presented at the 4th UICEE Annual Conference on Engineering Education, Bangkok, Thailand.
- Fan, S. C., & Yu, K. C. (2015). How an integrative STEM curriculum can benefit students in engineering design practices. *International Journal of Technology and Design Education*. Advance online publication. doi:10.1037/a0028240
- Gerstein (2013). STEAM and maker education: Inclusive, engaging, self-differentiating. *User Generated Education*. Retrieved from <https://usergeneratededucation.wordpress.com/2013/07/23/steam-and-maker-education-inclusive-engaging-self-differentiating/>
- Jonathan, I. (2014). Design education is “tragic”. *Dezeen Magazine*. Retrieved from <http://www.dezeen.com/2014/11/13/design-education-tragic-says-jonathan-ive-apple/>
- Kendall, M. G. & Smith, B. B. (1939). The problem of m rankings. *The Annals of Mathematical Statistics*, 10(3), 275-287.
- Land, M. H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. *Procedia Computer Science*, 20, 547-552.
- Lin, K. Y., Lee, L. S., Chang, L. T., & Tsai, L. C. (2009). A study of a curriculum of pre-engineering technology education in Taiwan. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 7(2), 186-191.

- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. New York, NY: John Wiley and Sons.
- Mike Hepp Racing. (2017). *The Dragster*. Retrieved from <http://www.mikeheppracing.com/the-dragster/>
- Milkova, L., Crossman, C., Wiles, S., & Allen, T. (2012). Engagement and skill development in biology students through analysis of art. *CBE Life Sciences Education, 12*(4), 687-700.
- Mote, C., Strelecki, K., & Johnson, K. (2014). Cultivating high-level organizational engagement to promote novel learning experiences in STEAM. *The STEAM Journal, 1*(2), 18.
- Moye, J. J., Dugger, J. W. E., & Starkweather, K. N. (2012). The status of technology and engineering education in the United States: A fourth report of the findings from the States (2011-12). *Technology Engineering Teacher, 71*(8), 25-31.
- Newstetter, W. C., & McCracken, W. M. (2001). Novice conceptions of design: Implications for the design of learning environments. *Design knowing and learning: Cognition in design education, 1*, 63-77.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: National Academies Press.
- Norman, D. (2010). Why design education must change. *Core 77*. Retrieved from <http://www.core77.com/posts/17993/why-design-education-must-change-17993>
- Quigley, C. F., & Herro, D. (2016). Finding the joy in the unknown: Implementation of STEAM teaching practices in middle school science and math classrooms. *Journal of Science Education and Technology, 25*(3), 410-426.
- Roozenburg, N., van Breemen, E., & Mooy, S. (2008). *A competency-directed curriculum for industrial design engineering*, Paper presented at the 10th International Conference on Engineering and Product Design Education, Barcelona, Spain.
- Snyder, T. J., Andrews, M., & Weislogel, M.,...Graft, J. (2014). 3D systems' technology overview and new applications in manufacturing, engineering, science, and education. *3D Printing and Additive Manufacturing, 2*, 169-176.
- Snyder, T. J., Andrews, M., Weislogel, M., Moeck, P., Stone-Sundberg, J., Birkes, D., Hoffert, M. P., Lindeman, A., Morrill, J., Fercak, O., Friedman, S., Gunderson, J., Ha, A., McCollister, J., Chen, Y., Geile, J., Wollman, A., Attari, B., Botnen, N., Vuppuluri, V., Shim, J., Kaminsky, W., Adams, D., & Graft, J. (2014). 3D systems' technology

overview and new applications in manufacturing, engineering, science, and education. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 2, 169-176.

Stanford Bulletin (2017). *Product Design Program*. Retrieved from https://web.stanford.edu/group/ughb/cgi-bin/handbook/index.php/Product_Design_Program

Wendell, K. B., & Rogers, C. B. (2013). Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 513-540.

wiseGeek (2017). *What is the Difference between a Coupe and a Sedan?*. Retrieved from <http://www.wisegeek.org/what-is-the-difference-between-a-coupe-and-a-sedan.htm#>

Zschenderlein, H. (2011). *STEM to STEAM: Developing New Frameworks for Art/Science Pedagogy*. National Science Foundation, Providence, Rhode Island, USA.