

國中 STEM 跨領域教師專業發展與課程設計 實踐探究：以一所臺灣東部完全中學為例

林成財¹ 鄭章華² 孫台育³

摘要

108新課綱正式實施，以跨領域的課程設計與實踐為彈性課程發展重點項目亦為學校校務發展特色之一。但在國中的教學現場中，仍有許多教師不清楚應該要如何進行跨領域教學合作，以及如何跨領域課程設計以引導學生學習。本研究採個案研究進行以質性為主、量化為輔，藉此研究科學、科技、工程、數學跨領域教學合作課程設計與實踐，以提出整合型課程方案，及STEM跨領域教師專業學習社群運作歷程困境，以供中小學教學現場教師參考。本研究的分析與探討，主要獲得的結論如下：1. STEM課程適合以跨領域教師專業學習社群模式進行。社群的運作必須有共同備課與增能的時間，最佳狀態為每周固定時段。2. STEM跨領域教學設計模式，以主題單元融入跨領域知識方式進行，需充分溝通平衡跨領域知識點，建構課程結構性。課程時數安排以兩節連排讓學生進行深度實作與討論，STEM跨領域課程實施初期，面對跨領域教師專業限制困境，以不同領域教師協同教學效果較佳。3. 學生學習經驗問卷顯示學生喜歡STEM跨領域的課程體驗，對於跨領域主題單元所應用的學科知識有著更深的學習印象。

關鍵詞：協同教學、STEM 課程、教師專業學習社群

¹ 國立東華大學教育與潛能開發學系博士候選人／慈濟大學附屬高級中學專任教師

² 國立彰化師範大學科學教育研究所專任助理教授

³ 國立東華大學教育與潛能開發學系博士生／花蓮縣立美崙國中校長

通訊作者：孫台育，E-mail: santaiyu@ms14.hinet.net

收稿日期：2023/04/13；接受刊登日期：2023/09/13

[https://doi.org/10.6618/HSSRP.202406_18\(2\).2](https://doi.org/10.6618/HSSRP.202406_18(2).2)

壹、研究背景與目的

教育部自 103 年 11 月發布的《十二年國民基本教育課程總綱綱要》(以下簡稱《十二年國教課程總綱》，是我國自國小、國中九年一貫課程與高中 99 課綱實施以來最大的教育變革。此次十二年國教新課綱正式實施，給予學校相當大的彈性自主空間，鼓勵國、高中發展彈性學習課程或是多元選修外；於科技領域課程綱要特別強調積極發展 STEM 跨領域統整課程，以學習者為中心跨領域整合學習經驗，以培養學生跨領域整合能力的問題，達成適性揚才、成就每一位孩子的教育理想。

為符應各項產業快速且多元化的發展需求，有效整合科學 (Science)、科技 (Technology)、工程 (Engineering) 與數學 (Mathematics) 的跨領域學習課程解決方案，逐漸受到國際教育社群的高度重視。歐洲國家、澳洲、美國、香港等都將 STEM 教育列為教育發展重點，從師資培育到課程設計與實施，積極發展 STEM 跨領域統整課程 (Science-Technology-Engineering-Mathematics) (蔡進雄, 2019; 湯維玲, 2019)。我國教育部與國科會等政府單位也開始重視跨領域學習，積極推動跨領域教學，STEM 教育如雨後春筍般地不斷出現，教育研究十分受到重視，但許多學者紛紛剖析 STEM 教育所可能面臨的課題與挑戰，如澳洲的數學教育學者 English 等人 (2016) 在論及如何改善中小學的 STEM 教育時，便提及現階段有許多學者在談論 STEM 教育時，常僅站在單一學科的角度，而缺乏跨領域的整合性，此外，STEM 教育的理論基礎為何？科學、科技、工程與數學在 STEM 教育中所應扮演的角色為何 (Pitt, 2009; Sanders, 2012; Sidawi, 2009)？如何讓學生在 STEM 教育中能夠平等地接觸到四個不同的學科 (American Institutes for Research [AIR], 2016)？又，探究教師進行 STEM 科際整合教學的影響因素，驗證 STEM 教學模組的效益等 (Lin & Williams, 2016, 2017; Lin et al., 2020)。但這些研究仍難以全面地解決上述的課題與挑戰，也無法提供一個完善的理論模式以供推動 STEM 教育研究的學者參照，且教學實務現場的教師在落實 STEM 科際整合教學時，也經常遭遇不知道如何安排適切的跨領域整合學習經驗，以培養學生跨領域整合能力的問題。因此如何結合過去學者的研究成果，提出適切的跨領域課程方案，仍存在許多有待解決的課題與挑戰。

以東部一所完全中學為例，實施十二年國教後，依教育部 (2020) 修訂頒行之高級中等教育法第六章第 35 條，高級中等學校直升名額不得高於國民中學

部應屆畢業學生人數百分之五十。教育部將全國劃分為 15 個高中職免試就學區，主要目的在鼓勵學生就近入學，導致學校逐漸社區化。使得完全中學招收社區學生免試入學的比例必然愈來愈多，學生的學習經驗、先備知識與能力、未來發展志向等差異亦愈來愈大，課程與教學若不能及早因應變革，必然無法因應學生的個別需求及問題解決能力，此外，完全中學師資結構多元及專業化，可以超前部屬，有完善理論架構，以在地化 STEM 課程設計，提出整合型課程方案，提供以供推動 STEM 教育的教學實務現場的教師在落實 STEM 科際整合教學參照，以培養學生跨領域整合能力的問題。

研究者擔任多年課程教學領導經驗，新課綱正式實施，對於 STEM 跨領域課程設計及教師專業成長是考驗也是契機，本研究以教師專業學習社群結合科學、科技、工程與數學領域專長的資深現職教師，針對 STEM 跨領域學習提出整合型課程方案，系統化引領國中學生進行跨領域學習，培養學生跨領域知識整合應用能力，期望有效提升中學生運算思維與問題解決能力。課程設計以符合運算思維內涵的 STEM 課程與教學方案，除了協助學習者在有品質的思考鷹架之下，建構科學知識與實作能力，同時增進教育學術社群對運算思維的實踐之理解。經由四位含跨科學、科技、工程與數學領域的資深教師組成 STEM Men's Talk 跨領域教師專業學習社群。團隊成員各自在本科教學與研究方面皆具備相當經驗。社群運作方式採定期聚會，STEM 讀書會、共同備課、實驗教學、教學與觀課心得交流、各領域專業知能分享等方式進行。綜合上述，本研究焦點以下三個項目：

- 一、促進 STEM 跨領域教師專業發展模式為何？
- 二、促進 STEM 跨領域課程與教學的設計與實施方法為何？
- 三、經由 STEM 跨領域課堂實踐，學生學習的反應為何？

貳、文獻探討

一、STEM 跨領域課程

國外一些大學開始提供 STEM(Science-Technology-Engineering-Mathematics) 跨領域課程，整合科學、科技、工程與數學的學習領域，提供 K-12 階段的學生在科技領域更加深入的學習經驗（陳志嘉、謝淑惠，2008）。Yakman（2010）提

出在 STEM 教育上再加上藝術（Arts）教育形成 STEAM（Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics）教育，是結合科學、技術、工程、藝術及數學的跨領域學習作為，期望引導學生在數學邏輯的運算基礎下，藉由動手建構工程與呈現藝術美學來理解學科知識和技術內涵。在跨學科領域的教學架構下，以特定主題做為學生學習的主體，不再限制於分科教學，學生可從不同的角度進行操作與思考，培養出跨界整合與溝通的能力。

跨領域統整課程，Bernstein（1971）指出統整型課程應從深層結構走向表層結構，亦即先習得領域共通的求知方法，其次才是各領域的知識獲得。Jacobs（1989）提出併行學科（parallel disciplinary）、多學科（multi-disciplinary）、科際整合（inter-disciplinary）等方式進行跨領域統整課程。Fogarty（1991）提出以蜂窩式（Cellular）、連接式（Connected）、嵌套式（Nested）、順序式（Sequenced）、共享式（Shared）、張網式（Webbed）、線串式（Thresded）、統合式（Integrated）、沉浸式（Immersed）、網絡式（Networked）等十種模式發展跨領域統整課程。Bryan（2020）提出 STEM 課程可以主動學習（Active learning）與同儕學習（Peer-Based Learning）方式進行，教師教學模式可採行同儕教學（Peer Instruction）方式進行。教育部 12 年國教新課綱總綱允許教師針對部分課程進行協同教學（collaborative teaching）（教育部，2014）。

在實施科際整合單元模式時，Jacobs（1989）所提出的選擇一個主題、設計一個整合課程、教學實施、評估學生的學習成果等四個基本步驟，以及林坤誼（2021）針對 STEM 跨領域合作設計所提出的創建合作團隊、確認核心價值、設計學習情境、規劃實踐活動、深化學習經驗、落實評量反饋六個步驟，皆為教育實踐的重要指引。這些步驟有助於確保教育者能夠有效地實施跨領域教學，同時也能協助學生更好地學習並應用所習得的知識。

在 STEM 跨領域課程中，教育者需要創建合作團隊，讓學生自主地選擇並分組，從而促進彼此之間的合作與溝通能力（林坤誼，2021）。此外，教育者需要確保課程內容具有核心價值，並經由設計學習情境、規劃實踐活動，讓學生能深入了解各學科領域的知識與技能。最後，教育者需對學生的學習進行評估，並提供實質的反饋，以便學生對自己的學習進行改進和調整（林坤誼，2021）。

為了達成協同教學的目標，本研究將以林坤誼（2021）的 STEM 跨領域合作設計六步驟，1. 創建合作團隊；2. 確認核心價值；3. 設計學習情境；4. 規劃實踐活動；5. 深化學習經驗以及 6. 落實評量反饋，確保學生在跨學科的環境中獲得全面的學習經驗（林坤誼，2021）。同時，透過主動學習和同儕教學等策

略 (Bryan, 2020)，教育者將能夠更有效地支持學生的學習需求，並提高他們的跨領域整合與溝通能力。

二、設計思考與運算思維

Wing (2006) 提出的觀點，運算思維 (Computational Thinking，縮寫為 CT) 是每個人的基本技能，而不僅僅是電腦科學家的技能。這包括解決問題、設計系統和理解人類行為，並利用計算機科學的基本概念來進行。在 STEM 教育的背景下，運算思維指的是將問題及其解決方案形式化的思考過程，這樣可以有效地由信息處理代理 (通常是計算機) 執行這些解決方案。這包括問題分解、抽象、模式識別和算法思維等概念。這些技能不僅對於電腦編程非常重要，而且對於廣泛的 STEM 學科也非常重要。運算思維指的是形成問題與表述解法，使得人類或電腦能有效率地使用演算方法與工具來解決問題的過程 (林育慈、吳正己，2016；Wing, 2006)。

Barr 和 Stephenson (2011) 提出，對 K-12 學生教授運算思維可以幫助他們發展解決問題的技能，這些技能不僅對於 STEM 的未來學習有用，對於一般的教育和生活技能也非常有用。Grover 和 Pea (2013) 的另一項研究中進一步強調了運算思維在 STEM 教育中的關鍵作用。他們認為，從小培養運算思維可以幫助學生更好地理解並參與一個越來越受科技主導的世界。然而，要將運算思維最好地融入 STEM 教育，需要改變課程和教學方法。Yadav 等人 (2014) 的研究認為，教師專業發展應將運算思維納入其課程中，以準備未來的教師將運算思維融入他們的教學實踐。

教育部 12 年國教科技領域綱要提到科技領域提到：

課程發展與實踐是以學生的生活經驗、需求以及學習興趣為基礎，在問題解決與實作的過程中培養學生「設計思考」與「運算思維」的知能。「設計思考」在透過觀察並解決生活中的問題，強調「做、用、想」的能力，培養學生動手做的能力，使用科技產品的能力，以及設計與批判思考的能力。「運算思維」是透過電腦科學相關知能的學習，培養邏輯思考與系統化思考等 (教育部，2018)。

近年來運算思維的重要性在世界各國逐漸受到重視，它與總綱核心素養中的「系統思考與問題解決」、「規劃執行與創新應變」、「符號運用與溝通表達」、及「科技資訊與媒體」等素養密切相關。再者，帶給學生動手做的學習經驗也是這一波課程改革的重點 (教育部，2014)，從而發展相關的核心素養，能運用所學於日常生活或是專業科目中。劉明洲 (2017) 建議中學階段運算思維的課

程與教學應多與生活脈絡及其他課程結合，宜更著重實用性的作品製作，且興趣與習慣重於知識傳遞，學習的氛圍應該是自由、愉快、被鼓勵與具有挑戰性的。Tsai 等人（2022）的研究結果顯示以 STEM 為基礎的遊戲設計專案，可以有效幫助國小教師在課程中獲得運算思維概念。Yildiz Durak 等人（2022）的研究顯示運算思維和設計思考可以提高教師整合 STEM 專業發展的能力。

本研究嘗試以 Barr 和 Stephenson（2011）提出運算思維中的問題解析、資料表示、模式化與模擬、抽象化、演算法思維等 5 項元素，以領域與領域知識表格化對應方式設計課程提升社群教師 STEM 跨領域課程與教學設計能力，參見表 2。教學過程中有效連結學生的生活經驗，培養在情境中培養問題解決與應用能力。

三、教師專業學習社群成長

（一）教師專業成長方式：專業學習社群

教師專業學習社群，是透過同儕教師間的經驗分享與知識研修提升教師的專業能力。其概念為美國的教育學者 Hord（1997）提出，強調教育專業人士應該透過協作和共同學習的方式，來不斷提升教學效能。國家教師發展協會（National Staff Development Council [NSDC], 2001）明確的定義為一群有志提昇教師教學與學生學習的教師所組成的專業學習團隊，成員可以同校亦可跨校，其主要目的在日常教學改進、教學試驗與反思，以提昇學生的學習成效。有效的教師專業成長方式在於建立專業學習社群（Garet et al., 1999; Borko, 2004），可以促成同儕教師間主動合作學習（Darling-Hammond, 1996; Garet et al., 2001）。近年，教師專業學習社群已成為新課綱實施過程中常見的教師專業發展方式之一，其特色是一群教師因課程發展需要形成專業成長團體，定期聚會研修課程內容、學習目標與教學計劃，解決教學實務上的問題。在 STEM 教育的教師專業發展部分，范斯淳和游光昭（2016）認為教師對 STEM 課程的理解與專業準備，是落實 STEM 教育的關鍵課題。

（二）教師專業成長模式：課堂教學研究

「課堂教學研究」教師專業成長模式，主要包括四個循環步驟（Fernandez & Yoshida, 2004）。1. 教師合作確認課堂學習目標。2. 教師共同擬出課堂計畫。3. 課堂計劃完成後，由一位教師進行教學，同儕教師從旁觀察，課堂計劃為教師課堂觀察依據。4. 課堂觀察後，教師進行討論與反思教學，除提供教學回饋與建議給被觀察教師，同時精進課堂計畫。

本研究成立 STEM Men's Talk 教師專業學習社群，以「課堂教學研究」模式進行教師專業成長。目的在建立跨領域教師共同備課平台，並透過 STEM 跨領域教案設計、教學、觀課、議課，社群教師討論與反思持續精進教學方案，同時提升教師 STEM 跨領域課程設計與教學能力。

參、研究方法與資料蒐集分析

一、研究參與者

本研究以花蓮北區一所住校型完全中學，選定該校國中部七年級一個班級 34 位學生為教學研究對象。參與研究人員包括大學端研究人員以及四位分別在科學、科技、工程與數學領域教學年資達十年以上的資深現場教師。

科學領域教師為生物學專家，是大學兼任助理教授及全國科展生物科評審；科技領域專家是通過經濟部認證的優良 3D 研發廠商負責人，同時也是教育部特聘的 3D 列印課程巡迴講師；工程領域教師是高職汽修科老師，為機械動力專家，同時是國立大學科學教育博士；數學領域教師一位是教育部數學學科中心高中數學種子教師，同時是國立大學教育學研究所課程與教學博士生。

四位教師組成 STEM 跨領域教師專業學習社群(PLC)，定期聚會研修 STEM 教學模組，完成之後於選定班級進行教學實驗，從學生的課堂學習觀察與課後回饋中，探討課程設計與教學成效及學生學習情況。

二、課時規劃

本研究運用教育部 108 課綱，以國中階段 6 節彈性學習時間實施，因應實作與討論需求，教學時數規劃為每周兩堂課連排。表 1 節錄四週 8 節教學重點。

表 1
四週 8 節教學重點

週次	單元名稱	時間	課程內容	運算思維能力
第 11 週	機械動力連桿(一)	100 分鐘	動力機械機件作動方式探討(一)。以智高積木輔助。	模式化與模擬 演算法思維
第 12 週	機械動力連桿(二)	100 分鐘	動力機械機件作動方式探討(一)。以智高積木輔助。	模式化與模擬 演算法思維

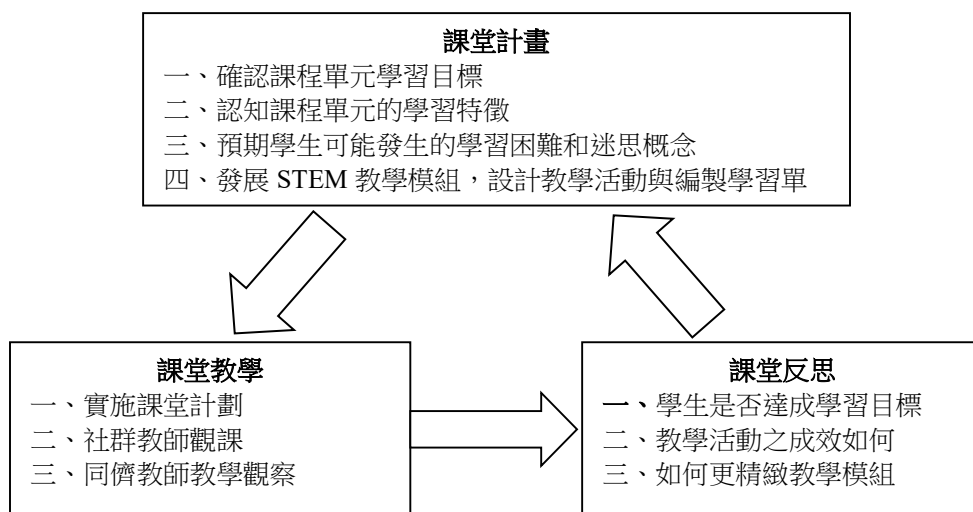
(續)

週次	單元名稱	時間	課程內容	運算思維能力
第 13 週	3D 製圖（一）	100 分鐘	3D 電腦繪圖概念與實作	問題分解 抽象化 演算法思維
第 14 週	3D 製圖（二）	100 分鐘	3D 電腦繪圖實作	模式化與模擬 演算法思維

三、研究流程

教師專業學習社群以「課堂教學研究」模式研修 STEM 教學模組。考慮研究現場實務應用，研究團隊將四階段的課堂教學研究（lesson study）（Fernandez & Yoshida, 2004）簡化為「課堂計畫」、「課堂教學」、「課堂反思」三個階段。本研究的課堂研究模式流程如圖 1 所示：

圖 1
發展 STEM 學習教材之課堂研究模式



四、資料蒐集與分析

（一）STEM 跨領域教師專業成長問卷

透過社群教師專業成長問卷探詢教師的社群運作經驗，對 STEM 跨領域課程發展的實務建議。問卷題目如下：

1. 參與 STEM MEN's TALK 跨領域教師專業學習社群，我印象最深刻的的事情是？
2. 參與 STEM MEN's TALK 跨領域教師專業學習社群，我覺得最有成就感的事情是？
3. 在 STEM MEN's TALK 跨領域教師專業學習社群共同備課過程中，我遭遇過的挑戰是？
4. 參與 STEM MEN's TALK 跨領域教師專業學習社群後，對於自己專業領域的教學產生哪些影響？
5. 我認為可行的 STEM 跨領域課程發展做法是？
6. 參與 STEM MEN's TALK 跨領域教師專業學習社群，我覺得成長最多的部分是？

研究者在蒐集教師的質性回答之後，採行持續比較法（鈕文英，2020）。由第一位作者分析教師在問卷上的質性作答，藉由反覆閱讀作答文字並對每個作答進行初步的開放編碼，標記出類別或概念。然後，透過反覆閱讀和對比不同教師的回答，研究者進一步精緻化這些概念，並找出其間的相互關係。在分析的過程中，由第三位作者檢視類別或概念的合適性以及研究資料詮釋的一致性。本研究藉由不同研究者視角的三角校正，增加研究分析的信實度（Lincoln & Guba, 1985）。

（二）學生課堂學習單

透過學生課堂學習單檢視學生學習成效與解決問題的思路歷程。研究者與社群教師共同檢視學生學習單，從各領域知識點與跨領域問題解決情況，檢視學生是否達到預期的學習目標。

（三）學生問卷

研究團隊自編問卷，共 13 道題，按 Likert 五點量表呈現，分為「非常同意」、「同意」、「普通」、「不同意」、「非常不同意」五個向度，探詢參與 STEM 科學探究課程班級學生的意見。總共有 33 位學生作答。問卷由四位跨領域社群教師討論編製，由第二作者檢視。蒐集到的學生問卷資料是以描述性統計進行分析，探詢學生 STEM 跨領域課程的課堂學習經驗。計分方式為「非常同意」（5 分）、「同意」（4 分）、「普通」（3 分）、「不同意」（2 分）、「非常不同意」（1 分）。

肆、研究結果與討論

社群教師團隊以 STEM 教師專業學習社群進行共同備課與協同教學作為的課程研發與教學的運作模式。以生物觀察延伸至動力學的 STEM 課程方案，運用系統化的課程單元建構學生 STEM 跨領域知識整合能力，提出如何透過 STEM 跨領域課程培養學生運算思維能力之可行方案。分析學生學習經驗問卷施測結果顯示參與課程實驗的學生有著正向的課堂學習經驗。

一、STEM 跨領域教師專業成長

參與課程研究教師涵跨自然科學、資訊科技、動力工程與數學領域教師，在組成 STEM 跨領域教師專業學習社群運作初期，每個星期四晚上 18:30 到 21:00 固定時間與地點共同備課；寒假與暑假期間進行為期 3 天到 5 天的專業增能與共同備課。初期社群教師對跨領域課程與教學不熟悉，採取課程協同教學方式進行。

圖 2
社群教師定期共同備課（一）



圖 3
社群教師定期共同備課（二）

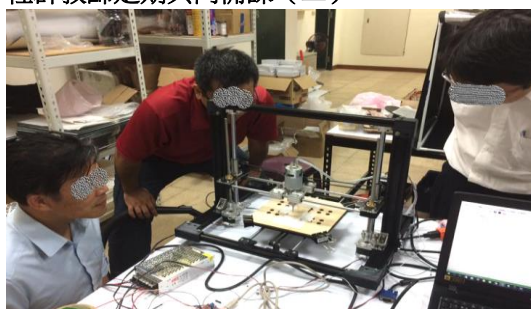


圖 4
社群教師定期共同備課（三）



圖 5
社群教師協同教學



定期的社群增能、共備與對話過程中，因為對跨領域專業知識與教學方法的陌生，曾經歷一段透過彼此專業知識分享與對話，相互理解對方知識領域的時期。

成員間彼此分享知識，從不同專業角度，提出不一樣的見解。相互激盪出新的火花，這最讓我感到印象深刻。也最能擴大產生專業知識。(科學領域教師)

每位老師的專長都不同，但是都能夠傾聽彼此的專業，進而思索如何將夥伴的專業納進自身課程發展之中。(科技領域教師)

印象最深刻的是社群開始運作初期無法參與討論只是靜靜地聽夥伴們對話，約莫到了第四、第五次聚會時才漸漸找到數學在 STEM 跨領域主題課程中可以著力的點，之後就越來越順了。(數學領域教師)

參與研究教師在 STEM 跨領域教師社群運作初期，透過專業分享與傾聽有效建立跨領域知識連結點，從初期的所摸索到方向明確需要一段醞釀時期。困難點在於跨領域知識不容易整合。社群教師透過選定生物型態觀察、甲蟲基本構造課程單元主題，由各領域教師提出在問題解決過程可以著力的知識點與工具，將其妥適融入課程中。值得一提的是，第一次數學融入是觀察甲蟲的腳的數目，緊接著是學習單中畫甲蟲時的比例概念。社群教師理解到 STEM 跨領域課程初期跨領域知識的融入不必過於艱澀，而是越自然越好，學生可以直接運用的知識最佳。

(一) STEM 跨領域課程的困難與挑戰

STEM 跨領域教師專業學習社群普遍感受到，面對 STEM 跨領域探究課程是困難且極具挑戰性的。不同領域教師遇到的困難是不一樣的。

不同領域間的專業連結，需要中間的橋接。這方面的問題，仍待進一步的突破。(科學領域老師)

經常遇到的問題是團隊成員需要花費一番討論，方能跳脫彼此專業思考模式與適時調整實施方式。如何在「學生學習需求，調整出最佳的跨領域課程內容。」是值得深思的。(科技領域老師)

為了讓課程單元之間的學習內容可以更連貫，在設計單元活動時，需要思考使用恰當的教材及教具，調整課程內容難易度去符合國一學習階段學生。(工程領域老師)

社群共同備課過程中，最大的挑戰是常常無法理解不同領域教師所表達的專業知識內容是甚麼？（數學領域老師）

參與研究教師共同感受到的 STEM 跨領域課程挑戰在於跨領域知識間的橋接與整合，教師們對於克服挑戰共同的觀點是如何理解不同領域專業知識及公平平衡跨域課程設計，經由專家陪伴與社群教師放下本位，真誠傾聽建立跨領域知識連結點，透過專業有效對話與討論，再提出可行的問題解決方案。另外，透過讀書會的形式，共同閱讀一些相對應的文獻資料，也能有效提升教師對跨領域知識的認知理解。

（二）可行的 STEM 跨領域課程發展方式

研究團隊認知到，欲進行 STEM 跨領域課程發展不容易由單一教師獨力進行，因此嘗試以組成 STEM 教師專業學習社群方式運作，經由長期的社群運作經驗，研究教師認為可行的課程發展模式描述如下：

每周需固定時間聚會討論，每次討論需設定目標與任務，由成員輪流擔任領導。這樣每個月剛好有一個人輪值，兼顧每個人的專業。（科學領域教師）STEM 課程經常伴隨問題解決（PS）的教學目標，而問題解決的歷程通常是高抽象性、高複雜性的思考與技巧。STEM 課程初期，可基於近側區間與建構 PS 學習鷹架提供學生學習的方向與指引。如此可適度降低複雜學理的抽象度、協助建構 PS 演算法的思考方法與經驗，以同時適度調整學習障礙。在此學習歷程中，依據個別學生學習狀態，逐步在學習內容上加深加廣。（科技領域教師）

結合不同領域專長的教師，針對共同感興趣的課程領域，進行多次且持續的課程討論。在社群活動時，每個成員都能提供課程單元活動設計，其他成員也能隨時提出具體可行的建議，在互信互助的基礎下，達成課程活動的規劃及教師專業成長。（工程領域教師）

我認為以選定特定主題的主題式探究課程，依問題解決需求融入跨領域知識是最可行的 STEM 跨領域課程發展模式。因應教師專業知識的差異性，因應課程需求兩位或多位教師協同教學，適時解決學生在不同專業領域的各種提問，可以有效提升課程與知識整合順暢度。（數學領域教師）

從參與研究教師的問卷回饋中歸納發現，社群定期聚會共同擬定課程主題與目標，由成員輪流主導各次的討論主題，成員在互信互助的基礎下，提供自身專業領域上可以融入課程主題的可行性知識建議，教學上使用協同教學方式進行，可有效提升課程與知識整合順暢度。例如展骨標本製作單元，課程實施初期由於科學專業知識較重，可由科學教師主授課，其他領域教師為輔。當社群教師熟悉課程內容後，也可以是其他領域教師主授課，科學教師為輔，適時回答學生提問並引導學生解決問題。

二、課程發展與學生課堂學習

本研究 STEM 跨領域課程與教學的設計與實施方法為社群教師運用主題式單元設計 STEM 跨領域課程，課程目標在引導學生將跨領域知識應用於情境中，解決情境中的實務問題。整學期課程規劃生物型態與觀察、甲蟲基本構造、步行原理、無動力連桿系統、機械動力連桿系統、3D 列印製圖、動力控制等 7 大主題式單元。依照各個主題單元，各領域提出相對應的領域知識點並融入課程中，跨領域知識點與課程對應關係，如表 2 所示。

表 2
融入 STEM 跨領域課程模組中的知識點

領域	科學領域	科技領域	工程領域	數學領域
領域 知識	1. 生物結構。 2. 生物標本製作。 3. 生物步行原理。 4. 力與力臂。	1. 3D 列印原理。 2. 3D 列印電腦繪圖。 3. 槓桿原理。 4. 連桿原理。	1. 齒輪設計與應用。 2. 連桿系統設計應用。 3. 馬達運轉原理與應用。	1. 統計圖表：如次數分配表。 2. 比與比例式。 3. 齒輪比，齒輪半徑、周長，齒數計算。 4. 槓桿原理，力矩計算。 5. 幾何截平面。

課程規劃邏輯為從校園生態觀察到透過放大鏡與顯微鏡觀察象鼻蟲外觀特徵，由展骨標本製作認識甲蟲身體基本構造，從甲蟲身體構造中探討甲蟲的步行原理與飛行原理，最後引入連桿系統、3D 列印。團隊教師透過馬達動力驅動仿生自走車，以序列化課程，引導學生認識仿生動力系統的基本概念。表 3 為課程與運算思維對應關係。

表 3
STEM 跨領域探究課程與運算思維元素對應關係

運算思維元素	STEM 跨領域課程內容	實施方式
問題解析	核心問題：動物是如何運動的？ 從觀察甲蟲的甲蟲身體結構與步行狀態，推測甲蟲運動原理。	1.生態紀錄影片觀察。 2.校園獨角仙與高砂锹形蟲，身體結構與步行動作觀察。
資料表示	1.巨觀與微觀下的甲蟲生物特徵。 2.展骨標本製作，平面呈現展骨標本，觀察甲蟲身體結構。	1.以觀察手繪圖像呈現。 2.以展骨標本作品呈現。
模式化與模擬	1.連桿系統設計與實作。 2.模仿生物步行模式思考連桿系統設計。	以現場實作體驗進行。
抽象化	1.槓桿原理的理解與應用。 2.克服限制，設計可完成目標動作的機械結構。	透過實作與討論，觀察出連桿系統的機械結構與功能。
演算法思維	1.甲蟲身體結構比例。 2.槓桿原理，連桿系統力臂與力矩計算。 3.3D 列印電腦繪圖。	1.連結國中數學領域 7 年級比與比例式概念。 2.連結國中自然領域力矩會改變物體的轉動，槓桿是力矩的作用。 3.齒輪設計、3D 繪圖與 3D 列印齒輪製作。

課程進行種透過影像與課堂觀察記錄學生課堂學習情形，圖 6 為學生展骨標本製作，認識甲蟲身體結構。圖 7 為連桿系統設計，了解機械原理。

圖 6
學生展骨標本製作（成品於右上角）



圖 7
學生槓桿原理連桿系統操作



教師透過學生課堂學習單設計，引領學生透過象鼻蟲生物特徵的觀察、型態預測、顯微鏡實際觀察，培養學生觀察、假設與驗證的思維能力。圖 8 與圖 9 為學生課堂學習單，評量方式為畫出甲蟲外觀特徵與各種放大倍率微觀特徵各得 1 分，心得 1 分，合計 7 分。5~7 分為優、3~4 分為甲、0~3 為乙，共三個級

距。透過學習活動設計與學生完成的學習紀錄，明顯看出學生在預測與實際觀察上的差異性，有效提升學生的學習印象與知識建構。

圖 8
學生課堂學習單（一）

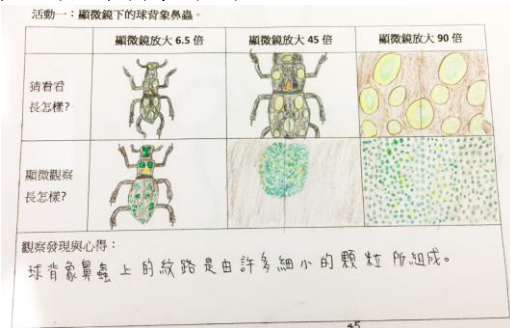
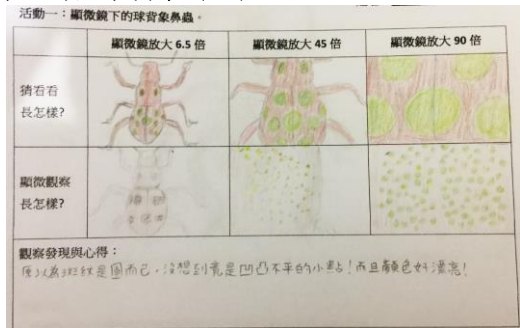


圖 9
學生課堂學習單（二）



以圖 8、圖 9 兩組學生作品為例，學生能夠具體掌握象鼻蟲各種放大倍率特徵，並能於心得表達時清楚說明觀察到的具體現象，因此這兩組皆獲得滿分 7 的高分，評量結果等級為優。

在為高砂鋸鋏形蟲造一個家的分組學習活動中，學生透過團體討論，擬定設計圖並決定材料、工具與尺寸量測，建構自然科學結合數學長度量測與空間概念的 STEM 跨領域課程活動，圖 10 與圖 11 學生完成的設計圖中清楚呈現其知識建構狀態。評量方式為畫出具體概念圖 5 分、比例合適 5 分、符合高砂鋸鋏形蟲生物習性 5 分、口語表達能清楚解說設計理念 5 分，合計 20 分。15~20 分為優、10~14 分為甲、0~9 為乙，共三個級距。由於高砂鋸鋏形蟲棲息於樹形高大的臺灣欖樹，設計圖中呈現的比例關係、空間位置概念與材料配置，可以清楚觀察出學生的跨領域整合學習成果。

圖 10
學生課堂學習單（三）

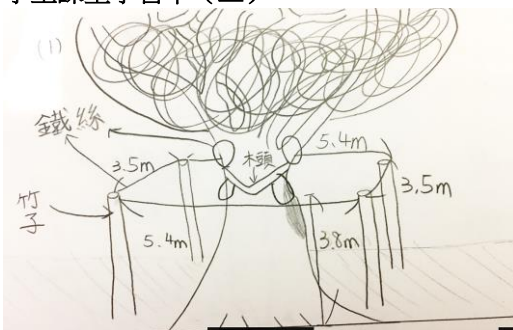


圖 11
學生課堂學習單（四）

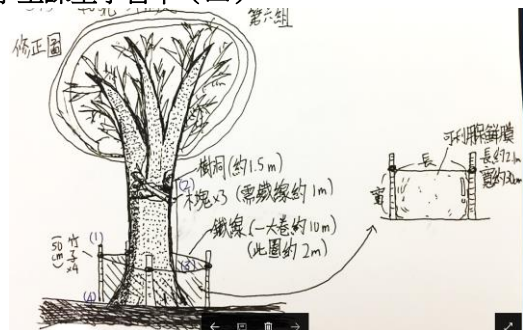


表 4

評量結果

評量面項	圖 10 組學生得分	圖 11 組學生得分
畫出具體概念圖	4	5
比例合適	4	5
符合高砂鋤形蟲生物習性	5	5
口語表達能清楚解說設計理念	5	5
總分（級距）	18（優）	20（優）

以圖 10、圖 11 兩組學生作品，由於學生能夠具體掌握樹的高度、高砂鋤形蟲喜歡棲息於樹幹底層的生態習性，並能於口語表達時清楚圖示說明設計理念，因此這兩項獲得滿分 5 分的高分，評量結果等級為優。

透過馬達動力自走車實作主題式專題課程，整合電腦繪圖與 3D 列印科技、馬達動力、游標卡尺等跨領域素材整合應用課程，引導學生建構 3D 電腦繪圖能力、認識 3D 列印原理與實機操作、馬達與電力控制單元認識、數學量測工具應用等。於 3D 電腦繪圖過程中培養學生運算思維能力。由於學生普遍對 3D 列印與機電整合介面不熟悉，教師團隊發現，課程時間必須足夠，學生才有充分時間進行設計方案擬定、問題討論、實機操作與知識內化。圖 12 與圖 13 為學生 3D 列印與動力控制課程上課照片。

圖 12

電腦繪圖與 3D 列印科技

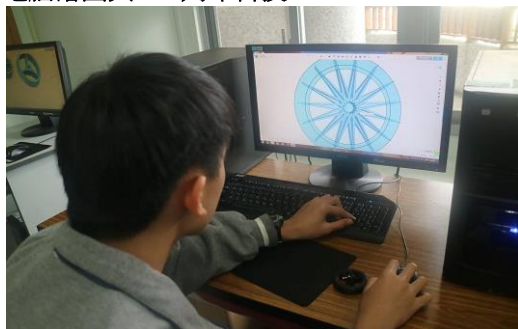
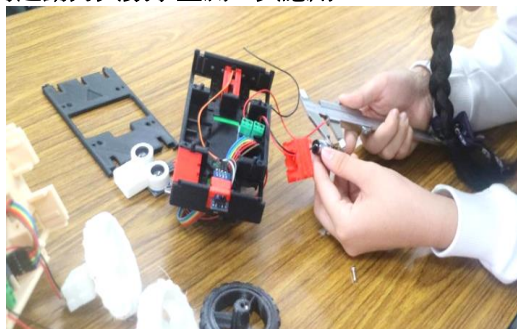


圖 13

馬達動力與數學量測工具應用



整體而言，受限跨領域學科專業知識的複雜度，STEM 跨領域課程的設計與實施不容易由單一教師獨力設計完成，研究團隊以跨領域教師專業學習社群模式取得成功的課程發展經驗。學生的學習效果以連結生活情境經驗且能動手操作的探究與實作方式為最佳，研究團隊關注到學生討論與實作的時間必須足夠充分為宜。

三、學生對於跨領域教學的反應

研究團隊針對課程實施對象學生，發出 STEM 跨領域探究課程問卷，探詢學生接受 STEM 跨領域課程的學習經驗，共發出 34 份、回收問卷 33 份、其中有效問卷 32 份，問卷回收率 0.97，其中 Cronbach's α 係數為 0.902 顯示此份問卷具備良好內部一致性，信度十分良好，其描述性統計結果如下表所示：

表 5
STEM 跨領域探究課程學習經驗問卷分析結果

課堂參與	平均數	標準差
1. 我喜歡上 STEM 科學探究課程	4.56	0.62
2. 比起一般的課堂，我在 STEM 科學探究課堂上比較能用心學習	4.22	0.91
3. 比起一般的課堂，我覺得在 STEM 科學探究課堂上沒有更多與老師討論的機會	4.09	1.06
4. 比起一般的課堂，我覺得在 STEM 科學探究課堂上有更多與同學討論的機會	4.38	0.83
學生課堂學習經驗		
1. 認識生物型態課程，使我更認識生物型態	4.56	0.72
2. 展骨標本製作課程，使我更認識生物的身體構造	4.59	0.71
3. 無動力連桿系統與動力連桿系統單元，使我更認識機件作動原理	4.63	0.55
4. 3D 製圖與列印課程，提升我的空間位置概念	4.59	0.67
5. 3D 製圖與列印課程，使我更認識 3D 列印機的機械原理	4.59	0.67
學生的課堂學習回饋	平均數	標準差
1. 我很認真的上 STEM 科學探究課程	4.34	0.75
2. 我不期待每一次的 STEM 科學探究課程	4.44	0.76
3. 在 STEM 科學探究課程，我看見不同學科領域知識的整合應用	4.31	1.2
4. 在 STEM 科學探究課程後，我會思考整合不同學科知識以解決問題	4.31	0.82

整體而言，學生對於 STEM 科學探究課程在「課堂參與」、「學生課堂學習經驗」、「學生的課堂學習回饋」三個面向均有著正向的學習回饋，所有項目的平均數皆高於 4 分。其中「我喜歡上 STEM 科學探究課程」命題及「學生課堂學習經驗」整個面向上平均值皆高於 4.56，顯示學生除了非常喜歡 STEM 科學探究課程外，學生也確實在此課程中有效學習到課程中所傳遞的知識。

值得注意的是在「在 STEM 科學探究課程，我看見不同學科知識領域的整合應用」命題的標準差 1.2，為整份問卷標準差最大值，顯示學生是否能從課程中覺察跨學科知識領域的整合應用存在明顯的個別差異性。

另外「比起一般的課堂，我覺得在 STEM 科學探究課堂上沒有更多與老師討論的機會」命題的標準差 1.06，為整份問卷標準差第二大值，進一步探詢學生與任課教師後發現，原因在於個性內向的學生仍舊不敢主動向老師提問與意見討論。

觀察到「我喜歡上 STEM 科學探究課程」平均 4.56 分，「我不期待每一次的 STEM 科學探究課程」平均 4.44 分。在這兩個命題上學生的答題解果超出預期，讓研究者進一步追問學生原因，學生的回饋是他們喜歡上 STEM 課程，但沒有特別期待，因為這樣的課程很燒腦、很辛苦。

伍、結論與建議

本研究以跨領域教師社群發展 STEM 課程，課程實施採協同教學模式進行，課程設計採林坤誼 STEM 跨領域合作設計六步驟設計課程。

（一）研究結果

1. STEM 跨領域教師專業成長，時間空間為必要元素，以多元溝通，合作共創專業成長跨領域課程的設計與實施，適合以跨領域教師專業學習社群模式進行。社群的運作必須有共同備課與增能的時間，最佳狀態為每周固定時段。建議有意推動 STEM 跨領域課程的學校，在社群教師提出共備時段需求後，由行政端配合調整課務空出共同時段共同備課與增能，可行性較高。此外，欲實施 STEM 跨領域探究與實作課程的學校，需規劃充足的課堂時間進行，建議最佳狀態為兩節課連排，以穩定的教學節奏提升學生深度思考與實作效果。課程設計宜使用主題式單元設計，以解決問題為目的，適時引入跨領域知識。在教學上建議可以兩位或多位跨領域教師協同教學進行，可以有效提升課程與跨領域知識整合順暢度。

2. STEM 跨領域教學設計模式，透過溝通平衡知識點，依課程主題需要適當融入跨領域知識，以建構跨領域課程的結構性與步驟性。擬定科學、科技、工程、數學 STEM 跨領域教學設計模式，需從平衡知識點開始、建立跨領域 PLC

團隊、擬定課程主題、設計學習情境、強化實作體驗、落實評量機制六個步驟，明確指引教師團隊發展跨領域課程設計結構步驟。

3. STEM 跨領域學生探究課程經驗，學習經驗豐富，學生能覺察應用問題解決能力。STEM 跨領域學生的問卷分析結果，顯示學生有著極正向的學習經驗，透過教師在課程中於跨領域知識連結點，向學生說明不同領域知識間的關鍵連結，引領學生覺察應用跨領域知識解決問題的能力。此外，學生覺得學習氣氛是自由、愉快及有趣。

（二）經由 STEM 跨領域教學實踐後建議

1. 從課程設計到教學實踐，理解到 STEM 跨領域課程初期跨領域知識的融入不必過於艱澀，不必為了融入而融入課程設計，而是以在校主題特色開始，以學習者為中心，學生先備經驗且學生可以直接運用的知識最佳。另，有關資訊科技融入課程的部分，除了 3D 列印機、雷射光雕機等新興數位科技工具的融入外，建議可以透過學習任務設計，引導學生上網蒐集解決問題過程中，可以使用的學科知識。

2. 教師專業社群成長，由放下學科本位到理解不同領域專業知識。社群運作過程中，宜有專家陪伴與連結，引導如何傾聽與對話，建立專業有效對話機制，減輕老師共同備課負擔。

3. STEM 跨領域學習氛圍自由愉快，對於同儕溝通合作仍是具有挑戰性的。教師對於個性內向同學，授課教師宜採取主動關心、提問與鼓勵、引導同儕討論方式，增進師生或學生間的課堂互動，以掌握學生課堂學習狀態。對於學習成就高的同學，可以引導學生挑戰更高層次的學習任務。

（三）研究限制與建議

本研究在完全中學進行，有來自高中端比的科學設備、資源、經費、師資比較容易建立跨領域社群與課程實施，課程操作起來比較順利，但對於一般國中而言，可能不易做到。另外，本研究僅擇其中一個班級進行實驗教學，若要推廣到全年段所有班級學生，在師資、設備資源上都會面臨挑戰。未來研究者若要在一般中學實施，建議先盤點學校資源設備師資，設計適合該校的 STEM 課程。必要時可以跨校合作模式進行。

參考文獻

- 林育慈、吳正己（2016）。運算思維與中小學資訊科技課程。**教育脈動**，7。
<http://pulse.naer.edu.tw/content.aspx?type=A&sid=244>
- 林坤誼（2021）。STEM 跨領域教學合作設計模式與有效失敗經驗設計之研究。
人文社會科學研究教育類，15（2），1-18。
- 范斯淳、游光昭（2016）。科技教育融入 STEM 課程的核心價值與實踐。**教育科學研究期刊**，61（2），153-183。
- 教育部（2014）。十二年國民基本教育課程綱要總綱。
- 教育部（2018）。十二年國民基本教育科技領域課程綱要。
- 教育部（2020）。高級中等教育法。
- 陳志嘉、謝淑惠（2008）。美國近代科技教育發展與現況。**生活科技教育月刊**，41（6），18-36。
- 湯維玲（2019）。探究美國 STEM 與 STEAM 教育的發展。**課程與教學**，22（2），49-77。
- 鈕文英（2020）。質性研究方法與論文寫作（第三版）。雙葉書廊。
- 劉明洲（2017）。創客教育、運算思維、程式設計~幾個從「想」到「做」的課程與教學設計觀念。**臺灣教育評論月刊**，6（1），138-140。
- 蔡進雄（2019，1月）。各國推動 STEM 教育的新動態。**國家教育研究院電子報**，180。https://epaper.naer.edu.tw/upfiles/edm_180_3176_pdf_0.pdf
- American Institutes for Research. (2016). STEM 2026: A vision for innovation in STEM education. <https://www.scribd.com/document/395518655/Air-stem2026-Report-2016>
- Barr, V., & Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: What is involved and what is the role of the computer science education community? *ACM Inroads*, 2, 48-54.
- Bernstein, B. (1971). On the classification and framing of educational knowledge. In M. F. D. Young (Ed.), *Knowledge and Control* (pp. 47-69). Collier Macmillan.
- Borko, H. (2004). Professional development and teacher learning: Mapping the terrain. *Educational Researcher*, 33(8), 3-15.
- Bryan, E. (2020). *STEM Education for the 21st Century*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-41633-1>

- Darling-Hammond, L. (1996). The quiet revolution: Rethinking teacher development. *Educational Leadership*, 53(6), 4-10.
- English, L. D., King, D., & Smeed, J. (2016). Advancing integrated STEM learning through engineering design: Sixth-grade students' design and construction of earthquake resistant buildings. *The Journal of Educational Research*, 110(3), 255-271. <https://doi.org/10.1080/00220671.2016.1264053>
- Fernandez, C., & Yoshida, M. (2004). *Lesson Study: A Japanese approach to improving mathematics teaching and learning*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Fogarty, R. (1991). *How to integrate the curricula*. Skylight.
- Garet, M. S., Birman, B. E., Porter, A. C., Desimone, L., & Herman, R. (1999). *Designing effective professional development: Lessons from the Eisenhower program*. U.S. Department of Education.
- Garet, M. S., Porter, A.C., Desimone, L., Birman, B. F., & Yoon, K. S. (2001). What makes professional development effective? Results from a national sample of teachers. *American Educational Research Journal*, 38(4), 915-945.
- Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational Thinking in K–12: A Review of the State of the Field. *Educational Researcher*, 42(1), 38-43.
- Hord, S. M. (1997). *Professional learning communities: Communities of continuous inquiry and improvement*. Southwest Educational Development Laboratory.
- Jacobs, H. (1989). *Interdisciplinary curriculum: Design and implementation*. Association for Supervision and Curriculum Development.
- Lin, K. Y., & Williams, P. J. (2016). Taiwanese preservice teachers' Science, Technology, Engineering, and Mathematics teaching intention. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(6), 1021-1036. <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9645-2>
- Lin, K. Y., & Williams, P. J. (2017). Two-stage hands-on technology activity to develop preservice teachers' competency in applying science and mathematics concepts. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(1), 89-105. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9340-1>
- Lin, K. Y., Hsiao, H. S., Williams, P. J., & Chen, Y. H. (2020). Effects of 6E-oriented STEM practical activities in cultivating middle school students' attitudes toward

- technology and technological inquiry ability. *Research in Science and Technological Education*, 38(1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1561432>
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Sage Publications.
- National Staff Development Council. (2001). *NSDC Standards for staff development* (Rev. ed.).
- Pitt, J. (2009). Blurring the Boundaries--STEM Education and Education for Sustainable Development. *Design and Technology Education: An International Journal*, 14, 37-48.
- Sanders, M. (2012, December 8). *Integrative STEM education as "best practice"* [Paper presentation]. 7th Biennial International Technology Education Research Conference, Queensland, Australia. <https://vtechworks.lib.vt.edu/server/api/core/bitstreams/7ec725ae-a319-493a-8270-f12e1c85cd38/content>
- Sidawi, M. M. (2009). Teaching science through designing technology. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(3), 269-287. <https://doi.org/10.1007/s10798-007-9045-1>
- Tsai, F.-H., Hsiao, H.-S., Yu, K.-C., & Lin, K.-Y. (2022). Development and effectiveness evaluation of a STEM-based game-design project for preservice primary teacher education. *International Journal of Technology & Design Education*, 32(5), 2403-2424. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09702-5>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambruch, S., & Korb, J. T. (2014). Computational Thinking in Elementary and Secondary Teacher Education. *ACM Transactions on Computing Education*, 14(1), 1-16.
- Yakman, G. (2010). What is the point of STEAM?-A Brief Overview. Steam: A Framework for Teaching Across the Disciplines. *STEAM Education*, 7(9), 1-9.
- Yildiz Durak, H., Uslu, N. A., Bilici, S. C., & Güler, B. (2022). Examining the predictors of TPACK for integrated STEM: Science teaching self-efficacy, computational thinking, and design thinking. *Education and Information Technologies*, 28, 7927-7954. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11505-7>

Professional Development and Curriculum Design Practice of STEM Interdisciplinary Teachers in Junior High School: A Case Study of a School in Eastern Taiwan

Cheng-Tsai Lin¹ Chang-Hua Chen² Tai-Yu Sun³

Abstract

The twelve-year basic education curriculum guidelines emphasize interdisciplinary curriculum design and practice, essential for flexible curriculum development and school improvement. However, many junior high school teachers need help implementing interdisciplinary teaching and designing curricula to facilitate student learning. This study used a case study approach with qualitative and supplementary quantitative methods to propose an integrated curriculum framework for STEM (science, technology, engineering, and mathematics) interdisciplinary teaching collaboration. It also examined the challenges faced by professional learning communities for STEM teachers. The findings offered valuable insights for primary and secondary school teachers, highlighting that the STEM curriculum is conducive to interdisciplinary professional learning communities. Effective community operation requires common preparation and capacity-building time, ideally a fixed weekly slot. The STEM teaching model should integrate thematic units, interdisciplinary knowledge, and balanced communication to construct the curriculum. Course hours should be scheduled in consecutive periods for in-depth student engagement. At the initial stage of implementing interdisciplinary STEM courses, the challenge of teachers'

¹ Ph.D. Candidate, Department of Education and Human Potentials Development, National Dong Hwa University; Full-time Teachers, Tzu Chi Senior High School Affiliated with Tzu Chi University.

² Assistant Professor, Graduate Institute of Science Education, National Changhua University of Education

³ Ph.D. Student, Department of Education and Human Potentials Development, National Dong Hwa University; Principal, Meilun Junior High School, Hualien County

Corresponding Author: Tai-Yu Sun, E-mail: santaiyu@ms14.hinet.net

Received: 2023/04/13; Accepted: 2023/09/13

[https://doi.org/10.6618/HSSRP.202406_18\(2\).2](https://doi.org/10.6618/HSSRP.202406_18(2).2)

professional limitations in different fields is better addressed through collaborative teaching by teachers from different disciplines. Student feedback indicated a positive experience and a deeper understanding of disciplinary knowledge within interdisciplinary thematic units.

Keywords: Interdisciplinary Teaching Collaboration, STEM, Professional Learning Community