

2026 ICEET

第十五屆 數位學習與教育科技國際研討會
International Conference on E-learning and Educational Technology

智慧教育×永續共榮

論文集 PROCEEDINGS



虛實整合教學對國小電路實作學習成效之影響

Effects of Physical-Virtual Integration on Elementary Students' Circuit Learning Outcomes

董金龍

TUNG, CHIN LUNG

國立臺北教育大學 數學暨資訊教育研究所 研究生

¹National Taipei University of Education, Graduate School of
Mathematic and Information Education, Student

E-mail : cltung1995@gmail.com

摘要

科技素養已成為教育改革之重點，其中實作更是培養學生問題解決能力的關鍵。然而在教學現場，傳統實作常面臨操作複雜，且受限於設備、時間與空間，難以進行充分的反覆測試與探究；純電腦模擬雖能突破時空限制並將抽象現象視覺化，卻使學生缺乏真實操作與實務除錯經驗。為突破此困境，本研究旨在探討「虛實整合教學策略」（結合電腦模擬與真實操作）對國小學童科技實作學習成效與學習動機之影響，並以電路實作教學為例。

本研究採準實驗研究設計，以臺北市某公立國小 4 班共 105 名五年級學生為對象，以班級為單位進行立意抽樣，隨機分為虛實整合組與實體操作組。透過電路學習成就測驗、學習態度及學習動機量表進行前後測。本研究目前尚在實驗階段，預期此教學策略能顯著提升電路實作學習成效。

關鍵字：虛實整合、實體操作、學習成效

Abstract

Technological literacy has become a focal point of educational reform, where hands-on practice is crucial for cultivating problem-solving skills. However, traditional physical operations often involve complex procedures and are restricted by equipment, time, and space, hindering sufficient iterative testing and exploration. While pure computer simulations overcome these constraints and visualize abstract phenomena, they lack authentic manipulation and practical troubleshooting experiences. To address this dilemma, this study investigates the impact of a "physical-virtual integrated teaching strategy"—combining computer simulations with physical operations—on elementary students' learning effectiveness and motivation, using an electric circuit unit as a case study.

A quasi-experimental design was adopted, involving 105 fifth-grade students from four classes at a public elementary school in Taipei City. Through purposive sampling, intact classes were randomly assigned to either the physical-virtual integrated group or a Hands-on Operation group. Pre-tests and post-tests are conducted using a circuit learning achievement test, alongside learning attitude and motivation scales. As this study is currently in the experimental stage, it is anticipated that this teaching strategy will significantly improve the learning effectiveness of practical circuit implementation.

Keywords: Virtual-physical integration, Hands-on Operation, Learning Effectiveness

壹、前言

當前全球教育趨勢高度聚焦於科技教育，我國十二年國民基本教育課程綱要更明定科技領域，以「做、用、想」為基本理念，強調透過動手實作培養學生解決問題的能力（教育部，2018）。然而，現行基層教師在引導學生進行電路等實作時，經常受限於設備耗材經費、空間與課堂時間不足等現實挑戰（張秉正，2019）。此外，真實的實體操作環境常伴隨硬體的物理限制，初學者常因導線斷裂、接觸不良等隨機發生的物理雜訊，而需要更複雜的實務排錯

（troubleshooting）；這種陡峭的初始學習曲線與反覆試錯，常為初學者帶來高挫折感，甚至導致動手做流於單純的步驟仿作，進而抑制了學童的探究興趣（Abburi, Praveena, & Priyakanth, 2021；Tkachuk, Merzlykin, & Donchev, 2025）。

為突破上述實體教學的瓶頸，教育現場開始廣泛導入線上電腦模擬平台（如 Tinkercad）。此類數位工具具備無耗材壓力與高安全性、理想化等特點，有效幫助學生理解抽象概念，並降低學習初期的認知負荷（cognitive load）（Li & Liang, 2024；陳欣伯，2025）。不過，純粹的數位模擬仍舊無法完全替代實體操作。模擬平台往往缺乏真實材料的觸覺與感官回饋，且過度簡化的理想化環境無法重現真實世界的複雜問題，容易使學生對物理現象的理解流於表面，並在面對真實實驗時產生認知衝突（cognitive conflict）與現實落差（Tenzin, Utha, & Seden, 2024）。

為了克服單一學習媒材的侷限並整合兩者的優勢，學界逐漸轉向關注「雙重環境方法（dual-environment approach）」（Tkachuk et al., 2025）。本研究嘗試將數位模擬的「低認知負荷」與實體操作的「真實感」進行結合，採用「先虛擬、後實體」的虛實整合教學策略。此模式宛如一道學習鷹架（scaffolding），學童先在安全、無風險的模擬環境中反覆驗證程式邏輯與電路走向，待建構準確的心智模型後，再將知識與設計轉移至實體零件接線上（Tkachuk et al., 2024；陳欣伯，2025）。這不僅能預防學童在初期因頻繁接錯線而喪失熱忱，更能透過最終的實物產出，弭平理論與實務間的落差，進而顯著強化學習者的實作動機與成就感（張秉正，2019）。本研究將此策略導入國小五年級之 Micro:bit 電路實作課程中，期盼透過對比傳統實體教學與虛實整合教學的差異，探明此模式在增進學童電路實作學習成效上的實質效益。本研究之目的有三：

1. 虛實整合教學策略對國小科技實作單元電路實作學習成就之影響。
2. 虛實整合教學策略對國小科技實作單元學習動機之影響。
3. 虛實整合教學對國小科技實作單元學習態度之影響。

貳、文獻探討

本研究旨在探討虛實整合教學策略對國小五年級學童在電路實作學習成效、學習動機與學習態度之影響。本章將針對「實體操作在科技教育中的學習特性與侷限」、「數位模擬環境之理論基礎與教學優勢」，以及「虛實整合教學策略之發展與學習成效」三個部分進行文獻評述，以奠定本研究之理論與實務根基。

一、實體操作在科技教育中的學習特性與局限

（一）真實感官回饋與實務排解能力之培養

實作是科技教育的核心精神，其理論可溯源至杜威的「做中學（Learning by doing）」理念，強調知識是由經驗的掌握與轉化結合而產生（朱耀明，2011）。在科技實作教育中，真實的實體操作能賦予學習者豐富的多重感官回饋。實體環境能透過視覺、聽覺與觸覺等多個感官通道提供具體的實際反饋，這對於發展初學者的技能至關重要（Tkachuk et al., 2025）。

此外，實體操作環境充滿了真實世界的不確定性。學生在面臨諸如接觸不良或零件損壞等突發問題時，必須主動進行除錯（Troubleshooting）。這種在真實情境中經歷陡峭的學習曲線、尋找問題根源並加以解決的歷程，能帶來無可取代的「真實感」，使學生體驗知識與真實情境的連結，驗證理論和實際的異同（賴志樑，2020；Tkachuk et al., 2025）。

（二）硬體雜訊干擾與外在認知負荷之挑戰

然而，實體操作在教學現場同時也面臨著嚴峻的教學局限。根據 Sweller（1988）的「認知負荷理論（Cognitive Load Theory）」，學習者的工作記憶容量是有限的。在初學電路概念時，學生大腦已需處理電流流向、接腳位置等複雜的「內在認知負荷（Intrinsic Cognitive Load）」。若此時還需同時應付實體環境中難以察覺的硬體故障（如：導線內部斷裂、麵包板金屬彈片疲乏），將產生龐大且無效的「外在認知負荷（Extraneous Cognitive Load）」（Lee, Plass, & Homer, 2006）。

Finkelstein 等人（2005）的研究指出，初學者在純實體環境中，極易被電路元件的「表面特徵」所誤導，且硬體問題與反覆試錯的挫折感常成為初學者的學習阻礙（Tkachuk et al., 2025）。在國小階段，每週僅有 40 分鐘的緊湊課時，學生往往將大半節課耗費在尋找「為什麼燈不亮」的無效摸索中，導致實作活動流於照圖施工的「步驟仿作」，不僅無法進行充分的反覆測試與科學探究，更嚴重抑制了學童的探究興趣與自信心（賴志樑，2020；Tenzin et al., 2024）。

二、數位模擬環境之理論基礎與教學優勢

（一）抽象概念具象化與認知鷹架之提供

為突破實體操作的瓶頸，教育現場逐漸導入線上模擬平台（如 Autodesk Tinkercad Circuits、PhET）。數位虛擬環境具有「理想化」的優勢，能將隱形的物理現象（如電子流動的路徑、電壓的波形變化）具象化（Visualization）。Trundle 與 Bell（2010）指出，電腦模擬能夠將微觀或不可見的科學現象，轉化為學習者可直接觀察的動態表徵，有效降低學習初期的認知負荷與焦慮感（陳欣伯，2025）。

從建構主義的觀點來看，電腦模擬平台扮演著極佳的「認知鷹架

(Cognitive Scaffold)」(de Jong, Linn, & Zacharia, 2013)。在虛擬環境中，學生即使接錯線導致短路，系統也會以安全的動畫（如元件爆炸圖示）提供「即時回饋 (Immediate Feedback)」，而不會產生真實的危險或材料耗損。這種「低風險、高容錯」的安全探索環境，能鼓勵學生大膽提出假設並進行驗證，幫助他們在進入真實的複雜環境前，先於大腦中建構出正確且穩固的電路心智模型 (Mental Model) (Kaldaras & Wieman, 2024; Abburi et al., 2021)。

(二) 理想化環境之局限與實作技能之缺失

儘管數位模擬在概念學習上表現優異，但純粹依賴數位模擬會導致實作技能的缺失與缺乏真實感，容易使學生對物理現象的理解流於表面，無法培養實際的操作技巧 (Tenzin et al., 2024)。Rutten, van Joolingen, & van der Veen (2012) 的研究發現，純虛擬學習容易讓學生產生情感與認知上的脫節，他們會懷疑模擬軟體中完美的理想狀態，是否真的能在充滿變數的真實世界中實現。

其次，過度簡化的理想狀態可能導致對現實的錯誤認知，使學習者誤以為真實操作也如同模擬般容易且無風險，進而缺乏面對真實實驗應有的嚴謹態度 (Tenzin et al., 2024; Tkachuk et al., 2025)。在虛擬平台上，所有的連接都是完美的，沒有摩擦力、沒有線路阻抗、沒有接點鬆脫的問題。當這些在純模擬環境中獲得高分的學生回到真實實驗室時，往往會因為缺乏對真實元件空間立體感的掌握（如不知如何折彎跳線、不會施力將零件安插至麵包板），而展現出嚴重的「技能遷移障礙 (Transfer of learning gap)」。這表明，單一的數位模擬媒材無法完全涵蓋科技實作教育中對於「動手做」的手感要求。

三、虛實整合教學策略之發展與學習成效

(一) 虛實整合之教學設計與互補優勢

過去的科學教育研究多半將「實體操作」與「數位模擬」視為互相替代 (Substitute) 的競爭方案，爭論何者較為優越。然而，隨著研究的深化，學者們逐漸意識到單一學習媒材往往難以同時兼顧抽象概念的理解與真實手感的培養。因此，當代科技與科學教育強烈提倡將兩者結合，形成「虛實整合教學策略 (Physical-Virtual Integration Strategy)」(Zacharia & de Jong, 2014)。

虛實整合的核心精神在於「截長補短」。Tenzin 等人 (2024) 針對十年級電路單元進行了實體、虛擬與虛實結合三種策略的比較研究，結果明確指出，結合策略 (Combined strategy) 能提供學生多重視角的學習經驗。學生在模擬環境中釐清了抽象概念，隨後在實體環境中驗證了這些概念在現實生活中的運作方式，這種雙重環境 (Dual-environment) 的交互參照，能幫助學生修復破碎的知識片段，建立更深層的概念理解。Tkachuk 等人 (2025) 在微電子工程教育的 STEM 專題設計中亦證實，虛擬模擬促進了快速原型設計與概念理解，而物理實作則發展了學生的動手能力與除錯技術，兩者的互補關係創造了遠勝於單一環境的全面性學習體驗。

(二) 「先虛後實」順序對學習成效與心智模型之影響

在虛實整合的實施順序上，多數研究支持「虛擬先行、實體驗證（Virtual-preceding, physical-verifying）」的序列模式。陳欣伯（2025）探討了混合線上與實體探究活動實施順序對學生電學學習成效的影響，發現「先線上後實體」的順序能更顯著提升學生的心智模型表現。這是因為學生在初次接觸複雜電路時，先透過線上模擬軟體排除了雜訊，建立了穩固的「正確通路心智模型」；當他們帶著這個清晰的藍圖進入實體操作階段時，便能有效對抗實體環境中的外在干擾，專注於解決純粹的硬體物理問題。

Jaakkola 與 Nurmi（2008）的研究同樣證實了此一觀點，他們發現先使用電腦模擬學習基礎電學，再進行實體電路組裝的國小學童，其概念理解分數顯著高於僅進行實體操作的學童。Zacharia（2007）的實證研究亦指出，將實體實驗的特定部分替換為電腦模擬先行，能有效引發學生的認知衝突並促進概念改變（Conceptual Change）。

（三）虛實整合對學習動機與態度之正向效益

在情意層面，虛實整合教學策略對學生的學習動機與態度展現出強大的推動力。依據 Keller（1987）的 ARCS 動機模型，傳統實作的高失敗率容易打擊學生的「信心（Confidence）」，而純模擬則可能因為缺乏真實感而降低「相關性（Relevance）」。虛實整合策略完美解決了此一兩難：模擬平台（如 Tinkercad）的零風險特性大幅提升了學生嘗試錯誤的意願與自信心；而後續的實體驗證環節，讓學生親手將虛擬畫面中的設計化為現實中可觸摸、會發光、會發聲的實體作品，極大地滿足了學生的「滿意度（Satisfaction）」，並證明了所學知識在真實世界中的實用價值（Hwang & Chang, 2011）。

參、研究方法與設計

一、研究對象與設計

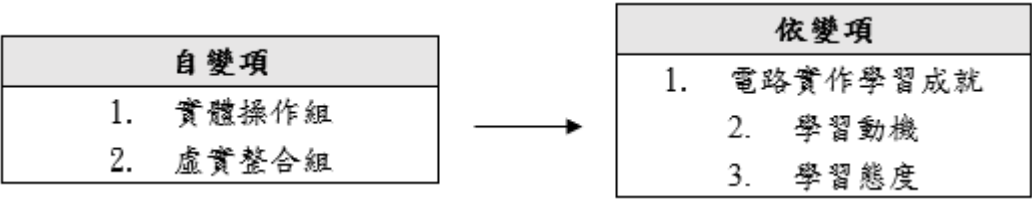
本研究採準實驗研究設計，探討不同教學策略（虛實整合教學策略、實體操作教學策略）對國小階段學習者電路實作學習成就、學習動機、學習態度的差異，進行為期六週的教學實驗。研究對象為臺北市某公立國小 4 班共 105 名五年級學生。以班級為單位進行立意抽樣，隨機分為實體操作組與虛實整合組。

表 1 不同教學策略分組之人數統計表

組別	男	女	組別總人數
實體操作組	24	28	52
虛實整合組	26	27	53

本研究旨探討虛實整合教學策略與實體操作教學策略對國小階段學習者電

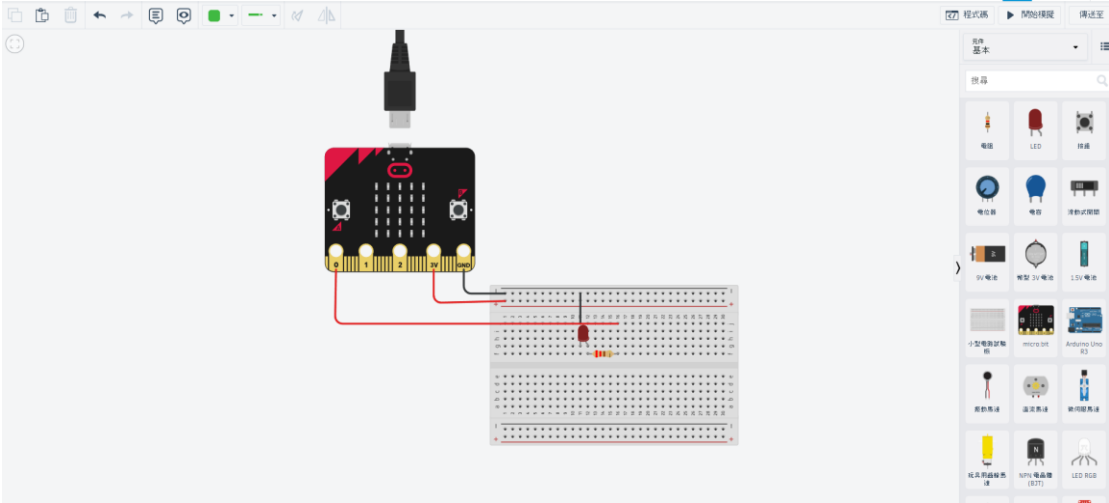
路實作學習成就、學習動機、學習態度的差異，為確保實驗內部效度，兩組課程皆由研究者擔任授課教師，以嚴格控制教學時間與教學環境之一致性。研究架構如圖 1 所示。



圖一 本研究之研究架構圖

二、教學流程與工具

本研究於教學實驗前後，所有參與者皆需進行電路實作學習成就、學習動機與學習態度之測驗，以了解實驗介入前的學習動機及學習態度情形。接著，將分別對兩組研究對象施以八週不同的教學策略。實體操作組透過教師引導，讓學生全程使用實體電子元件與 Micro:bit 控制板進行實作探究；虛實整合組以「先虛擬、後實體」的教學流程，讓學生先於 Tinkercad 平台完成虛擬電路測試，確認邏輯無誤後，再利用實體元件進行最終組裝與驗證。



圖二 Tinkercad 平台模擬測試

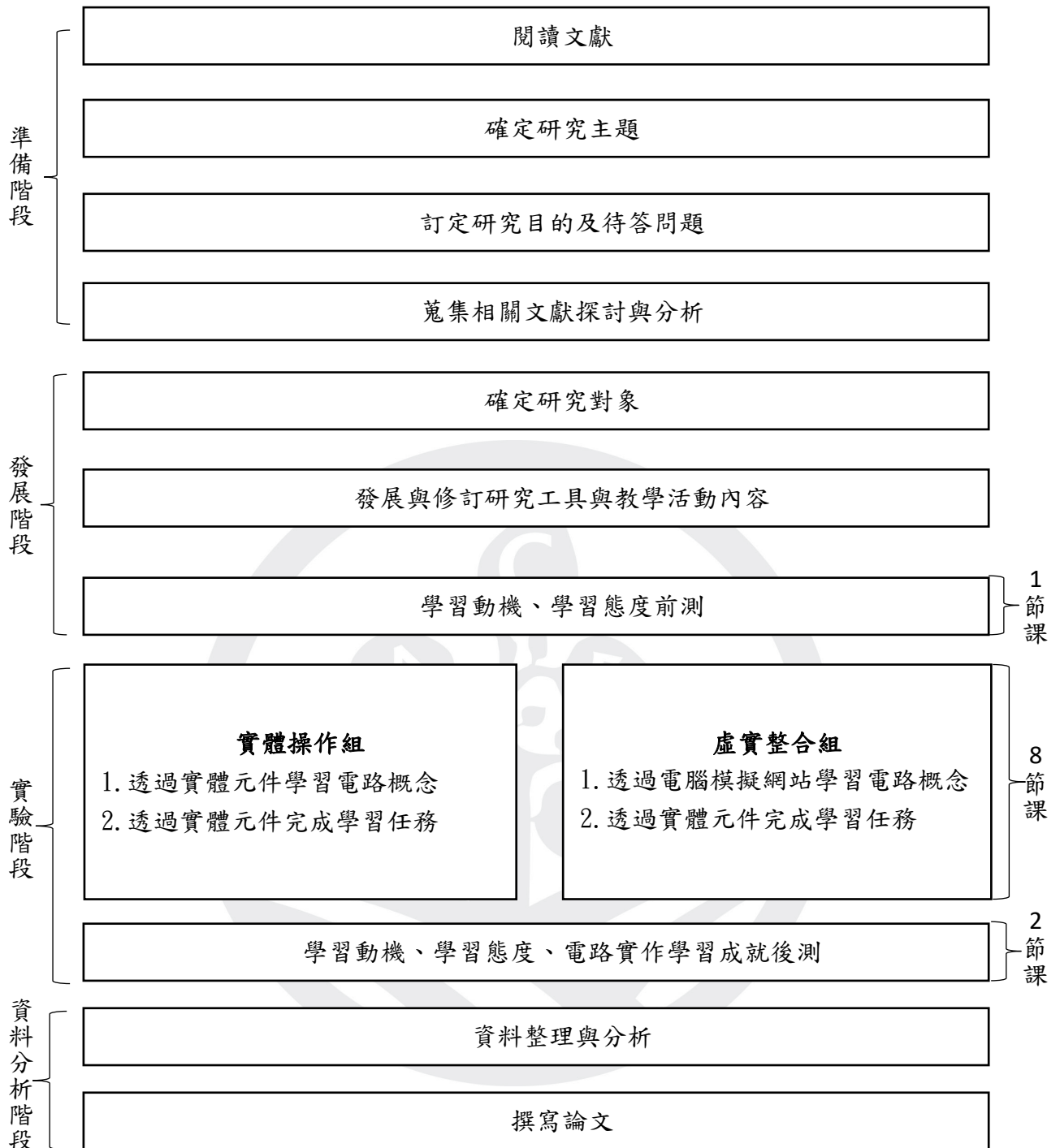


圖 3-2 研究流程圖

本研究之電路實作學習成就測驗卷，是由研究者出題並由三位資訊領域專家及資深教師審題後編訂而成。學習動機量表取自孫琇瑩（2000）依據 Keller IMMS 改編的 ARCS 學習動機問卷，問卷內容包含注意力、相關性、信心及滿意度四大向度，問卷 Cronbach' s $\alpha=0.86$ ，信度良好。學習態度量表則參考自 Hwang 與 Chang（2011）開發的學習態度量表改編，問卷內容包括測量學生對電路學習的興趣、認知價值及投入度。此問卷之內部一致性為 0.79，具良好信度。

肆、研究結果與分析

本研究旨在探討虛實整合教學策略運用於國小電路實作學習，於課堂上實施電路教學，對學習者電路實作表現之影響，並且能否提高了他們的學習動機和學習態度。

目前 6/16 到 6/22 正在進行問卷填寫，研究者依據研究過程觀察，預期實驗組（虛實整合教學策略）與對照組（實體操作教學策略）將產生顯著差異。預期成效如下羅列：

- 一、在電路實作的學習成就上，實驗組學生之表現顯著優於對照組學生之表現。
- 二、在電路實作的學習動機上，實驗組學生顯著優於對照組學生。
- 三、在電路實作的學習態度上，實驗組學生顯著優於對照組學生。

伍、結論

若本研究的預期結果成立，證明「先虛後實」的雙重環境學習能帶來更優異的學習成效與動機，這將為受限於經費、設備與授課時間的學校提供一套極具可行性的教學解方。

參考文獻

一、中文部分

1. 朱耀明 (2011)。「動手做」的學習意涵分析—杜威的經驗學習觀點。生活科技教育, 44(2), 32-43。
2. 張秉正 (2019)。應用線上電路模擬軟體促進高職生 Arduino 程式語言學習動機之研究 [碩士論文, 淡江大學]。
3. 教育部 (2018)。十二年國民基本教育課程綱要國民中學暨普通型高級中等學校—科技領域。教育部。
4. 陳欣伯 (2025)。探討混合線上與實體探究活動之實施順序對學生電學學習成效與心智模型的影響 [碩士論文, 國立彰化師範大學]。
5. 賴志樑 (2020)。生活科技課程實作教學的理論探究與教師訪談。課程與教學, 23(4), 1-25。

二、英文部分

1. Abburi, R., Praveena, M., & Priyakanth, R. (2021). TinkerCad-a web based application for virtual labs to help learners think, create and make. Journal of Engineering Education Transformations, 34(0), 535-541.
2. de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. Science, 340(6130), 305-308.
3. Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., ... & LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 1(1), 010103.
4. Hwang, G. J., & Chang, H. F. (2011). A formative assessment-based mobile learning approach to improving the learning attitudes and achievements of students. Computers & Education, 56(4), 1023-1031.
5. Jaakkola, T., & Nurmi, S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory

- activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(4), 271-283.
6. Kaldaras, L., & Wieman, C. (2024). Employing technology-enhanced feedback and scaffolding in computer simulations to support authentic problem-solving and sensemaking. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 30.
 7. Keller, J. M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of Instructional Development*, 10(3), 2-10.
 8. Lee, H., Plass, J. L., & Homer, B. D. (2006). Optimizing cognitive load for learning from computer-based science simulations. *Journal of Educational Psychology*, 98(4), 902-913.
 9. Li, J., & Liang, W. (2024). Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *PLOS ONE*.
 10. Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.
 11. Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.
 12. Tenzin, D., Utha, K., & Seden, K. (2024). Effectiveness of simulation hands-on and a combined strategy in enhancing conceptual understanding on electric circuit a comparative study.
 13. Tkachuk, H. V., Merzlykin, P. V., & Donchev, I. I. (2025). STEM project design in computer microelectronics education. *CTE Workshop Proceedings*.
 14. Trundle, K. C., & Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: a quasi-experimental study. *Computers & Education*, 54(4), 1078-1088.
 15. Zacharia, Z. C. (2007). Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 120-132.
 16. Zacharia, Z. C., & de Jong, T. (2014). The effects on students' conceptual understanding of electric circuits of introducing virtual manipulatives within a physical manipulatives-oriented curriculum. *Cognition and Instruction*, 32(2), 101-158.

