

適性化反思導向之虛擬實境消防安全學習系統建置與成效評估

Development and Evaluation of an Adaptive Reflective Virtual Reality System for Fire Safety

Education

邱珮淇¹, 范竣程², 楊雅斐^{3*}

¹高雄師範大學英語學系應用英語碩士班

²臺灣成功大學環境工程所

^{3*}中華醫事科技大學職業安全衛生系

* cillia55@gmail.com

【摘要】 本研究旨在建置並評估一套結合適性化學習與反思教學之虛擬實境（VR）消防安全學習系統，以改善傳統教學互動性不足與學習動機低落之問題。研究採準實驗設計，有效樣本為 22 名。透過前後測、問卷及統計分析檢驗學習成效與學習歷程表現。結果顯示，VR 教學系統在學習互動體驗上達顯著提升，並對學習動機呈現正向影響趨勢。此外，學生對 VR 技術接受度高，反思學習表現亦佳，顯示其能有效促進學習投入與知識內化。研究進一步指出，「互動性」、「沉浸感」與「反思歷程」為影響學習成效之關鍵因素。本研究結果支持 VR 結合適性化與反思教學之可行性，並可作為安全教育與技能訓練之重要參考。

【關鍵字】 虛擬實境；消防安全教育；適性化學習；反思教學；遊戲式學習

Abstract: This study aims to develop and evaluate a virtual reality (VR) fire safety learning system that integrates adaptive learning and reflective teaching. We conducted a quasi-experimental design with 22 valid participants in Taiwan. Data were collected via pre- and post-tests and questionnaires. The result indicated that the VR system significantly enhanced the interactive learning experience ($p < .05$) and improved learning motivation. Participants demonstrated a high acceptance of VR technology and showed strong reflective learning performance, indicating greater engagement and knowledge internalization. Furthermore, interactivity, immersion, and reflective learning are key factors that influence learning outcomes. The findings support the efficacy of integrating adaptive and reflective approaches in VR-based safety learning instruction.

Keywords: Virtual Reality, Fire Safety Education, Adaptive Learning, Reflective Learning, Game-based learning

1. 前言

隨著人口成長與經濟發展，校園對電力與火源的需求不斷攀升，使消防安全管理面臨更嚴峻挑戰，也凸顯校園在消防教育與預防上仍有不足，特別是在培養學生防災意識與應變能力方面，有相當大的進步空間 (Dougherty et al., 2007)。近年校園火災事件頻傳，除對師生生命安全造成嚴重威脅，也導致巨額財產損失。

由於校園人口密集，加上應試教育忽視實用技能，消防安全教育往往未被列為核心課程，相關設施的建置與更新亦未能同步跟進。多數學生尚未成年，自我防護與應急能力較弱，一

旦發生災害，容易造成秩序混亂並增加疏散困難。因此，全面提升校園消防安全教育已勢在必行，需透過創新教學方式與制度強化加以改善 (Hong, 2019; Yu et al., 2023)。

在消防安全教育中，理論與實務的結合為提升學習效果的關鍵。然而傳統教學模式多缺乏互動與實作機會，使學生難以有效掌握應變技能。雖然消防演練具一定效果，但受限於成本與資源，難以頻繁實施。虛擬實境 (VR) 技術能模擬真實災害情境，提供沉浸式與多感官學習體驗，已逐漸應用於教育領域。相關研究指出，VR 可有效提升學習參與度與技能訓練效果 (Feng et al., 2018)。因此，將 VR 應用於消防安全教育，可彌補傳統教學之不足。

現有研究顯示，VR 已廣泛應用於交通安全、語言學習及災害訓練等領域 (Bacca-Acosta et al., 2022; Zare et al., 2019)。然而，多數研究偏重系統開發，對學習成效與影響因素之探討仍有限 (Tichon & Burgess-Limerick, 2011)。此外，「沉浸感」、「互動性」與「學習投入」如何影響學習成效，仍缺乏系統性分析。

因此，本研究提出以下問題：

1.VR 教學是否能提升學習成效？

2.VR 學習環境中哪些因素影響學習結果？

2. 文獻回顧

2.1. 虛擬實境 (Virtual Reality, VR) 在消防安全教育之應用

虛擬實境技術已廣泛應用於安全教育與災害訓練領域。Witmer 等人 (1996) 指出，虛擬環境能有效提升使用者面對突發事件之應變能力，其高度擬真的情境模擬，使學習者能在安全環境中進行操作與決策訓練。後續研究亦發現，學習者在虛擬環境中的行為表現與真實情境具有高度相似性，顯示 VR 在消防訓練與評估上具備實用價值。

在消防安全應用方面，Smith 與 Trenholme (2009) 指出，傳統消防演練難以模擬火勢變化、煙霧擴散及出口阻塞等動態情境，而 VR 技術則能有效克服此限制，提供具臨場感之訓練環境。Chittaro 與 Ranon (2009) 亦透過嚴肅遊戲設計，協助使用者熟悉建築逃生路線與應變策略，並強調沉浸感與互動性對學習成效的重要性。

此外，DeChamplain 等人 (2012) 與 Tawadrous 等人 (2013) 之研究顯示，VR 結合即時回饋機制，能有效強化學習者對錯誤決策的理解，並提升其危機應對能力與實務操作技能。整體而言，虛擬實境與遊戲式學習在消防安全教育中具有顯著優勢，不僅能降低訓練風險，亦能提升學習參與度與技能內化效果。

然而，現有研究多著重於系統開發與情境設計，對於 VR 學習環境中「互動性」、「沉浸感」及「學習投入」等因素如何影響學習成效之系統性分析仍相對不足，亦缺乏結合教學策略（如反思教學）之實證研究。

2.2. 虛擬實境學習環境與互動科技

虛擬實境學習環境通常透過穿戴式裝置（如頭戴顯示器）提供沉浸式體驗，使學習者能以更直觀的方式參與學習歷程。Pentland (2001) 與 Viseu (2003) 指出，穿戴式技術具備即時回應與情境感知能力，能提升學習者與環境之互動性。VR 裝置之整合性與免持操作特性，有助於提升教學靈活度與學習效率。

此外，相關研究指出，VR 學習環境能促進學習參與度、提升學習動機，並支持個別化學習發展 (Bower & Sturman, 2015)。透過多感官互動與即時回饋，學習者得以在真實情境模擬中進行知識應用與技能練習。

然而，Bower 與 Sturman (2015) 亦指出，單純導入科技並不足以提升學習成效，仍需結合適當之教學設計與學習策略。因此，如何將 VR 技術與教學理論（如適性化學習與反思教學）有效整合，成為當前研究的重要課題。

2.3. 學習評鑑模型 IRAE

IRAE（識別、反思、分析、評鑑）學習評鑑模型是一種整合識別、反思、分析與評鑑的反思循環，旨在指導數位翻轉學習的實施 (Ryan, 2013)。在課前階段，教師利用數位化展示工具（如文字、圖像及影音）幫助學生透過教學影片深入理解學習重點，並留出充足的時間進行數位練習，以促進技能表現及自我效能的提升。在課堂上，學生除了進行實作演練外，還需透過小組合作及虛擬實境（VR）設備進行互動式練習並記錄過程，從而進行反思並持續修正自身表現 (Nunes et al., 2021; Yu et al., 2020)。同儕之間的交流與互助進一步推動數位科技在教育中的實踐應用。課後，教師提供分析表以便學生檢視練習成果，若達成學習標準，學生可提交結果報告以獲取教師的回饋。最終，教師透過專業評量標準，引導學生以專業的視角進行互評，並比較自身與同儕之間的差異。透過同儕互評與回饋，學生不僅能激發更高層次的思考，還能提升學習成就與自我效能 (Chen et al., 2020; Hsia & Hwang, 2021)。

3. 研究方法

本研究採單組前後測之準實驗設計（quasi-experimental design），探討虛擬實境（Virtual Reality, VR）教學介入對消防安全學習成效之影響。由於樣本數限制，未設置對照組，而係以同一組學習者進行教學介入前後之比較分析。實驗對象為五專職安科三年級 35 名學生為研究對象，扣除填答不完整或無效問卷，最終有效樣本為 22 份（N=22），透過前後測、問卷調查及行為觀察進行資料蒐集與分析。

在教學實施上，首先進行為期三週之傳統數位教學，透過校內學習平台結合影音教材與文字內容進行知識傳遞，作為前測階段；隨後進行三週之 VR 教學介入，學習者透過虛擬實境消防安全訓練系統，進行情境模擬與互動操作（如滅火器使用、逃生判斷等）如圖 1。教學結束後進行後測與問卷調查。



圖 1

吉布斯的反思週期 (Gibbs, 1988)

本研究之教學設計參考數位教育評估之學習評鑑模型（IRAE），該模型包含識別（Identification）、反思（Reflection）、分析（Analysis）與評鑑（Evaluation）之循環歷程 (Lin et al., 2021)。在課程進行中，學習者透過數位教材進行預習與知識建構，並於 VR 情境中進行實作與反思，課後再透過回饋與評估機制進行學習修正與深化 (Chen et al., 2020; Hsia & Hwang, 2021; Nunes et al., 2021; Yu et al., 2020)。

在研究工具方面，本研究採用學習成效測驗、虛擬實境接受度量表與反思學習量表進行資料蒐集，並以描述性統計與相依樣本 t 檢定進行分析。學習成效主要透過學習者在情境中

對安全隱患之辨識能力，以及其學習體驗與反思表現進行評估。反思學習量表之內部一致性信度分析如表 1，結果顯示整體量表之 Cronbach's α 為 0.982，各構面 α 值介於 0.929 至 0.966 之間，顯示量表具高度信度與良好內部一致性。

表 1

反思學習量表之內部一致性信度分析

面相	題數	Cronbach's α 係數
主動思考	4	.945
理解	4	.929
反思	4	.966
批判思考	4	.945
總量表	16	.982

註：N=22

4. 研究成果

4.1. VR 教學對學習成效之影響

表 2

VR 教學前後測之相依樣本 t 檢定分析

題目	M	SD	SE $\bar{X}$	95%CI	t	df	P Value
訓練室空間充足，沒有壓抑感	-.18182	1.43548	.30605	[-.81827 .45464]	-.594	21	.559
所接受的安全培訓，培訓方式靈活，限制少	-.09091	.61016	.13009	[-.36144 .17962]	-.699	21	.492
接受的教育訓練是身臨其境的，幾乎沒有受到外部發生的事情的干擾	-.04545	1.49530	.31880	[-.70843 .61753]	-.143	21	.888
教育訓練培訓步驟和說明很容易理解，有易於遵循的步驟	-.09091	.86790	.18504	[-.47571 .29390]	-.491	21	.628
訓練過程身心舒暢	-.27273	1.31590	.28055	[-.85617 .31071]	-.972	21	.342
教育訓練培訓過程生動互動，積極刺激個人感官	-.54545	1.18431	.25250	[-1.07055 -.02036]	-2.160	21	.042*
教育訓練培訓過程愉快有趣	-.36364	1.17698	.25093	[-.88548 .15821]	-1.449	21	.162
教育訓練培訓方式讓我更有動力和主動學習職業安全與管理	-.36364	.84771	.18073	[-.73949 .01222]	-2.012	21	.057
教育訓練培訓方式讓我興奮並激勵我繼續研究安全相關問題	.00000	.61721	.13159	[-.27366 .27366]	.000	21	1.000

註：* $p < .05$, two-tailed.

為檢驗 VR 教學介入之效果，本研究以相依樣本 t 檢定分析前後測差異，結果顯示在「教育訓練培訓過程生動互動，積極刺激個人感官」構面達顯著差異 ($t(21) = -2.160, p < .05$)，顯示 VR 教學能有效提升學習者之互動體驗。

此外，在「學習動機」相關題項中呈現邊緣顯著 ($t(21) = -2.012, p = .057$)，顯示 VR 教學對提升學習動機具有潛在正向影響如表 2。

4.2. VR 學習環境對學習結果之影響

在「VR 學習環境中哪些因素影響學習結果」方面，為進一步了解學生在 VR 學習歷程中的認知與反思表現，本研究進行描述性統計分析(表 3)。結果顯示，各題平均數介於 4.18 至 4.46 之間，多數題項平均數高於 4 分，顯示學生對於 VR 學習歷程中的思考、理解與反思表現普遍持正向態度。其中，以「改變過去安全管理及訓練方式」(M=4.455)及「主動思考操作方式」(M=4.41)表現最高，顯示 VR 教學有助於促進深層學習與行為轉變。

表 3

反思學習量表之描述性統計分析

	MIN	MAX	M	SD
1.當我在練習使用 VR 練習安全管理及施工安全教育訓練技能時，我會思考，我應該如何將動作做到標準	3.00	5.00	4.41	.796
2.如果我已經練習很多次同樣的動作，當我要再做一次的時候，我還是會先思考應該如何進行。	3.00	5.00	4.41	.796
3.當我要記住 VR 互動內容時，我不會不假思索的硬背，我會思考。	2.00	5.00	4.3182	.945
4.當我在聽老師講解 VR 互動操作與執行技巧時，除了聽老師講的內容外，我還會思考。	3.00	5.00	4.318	.839
5.這堂課要求我們理解老師所教的 VR 互動操作過程。	3.00	5.00	4.364	.902
6.如果要通過考試，你必須理解 VR 互動操作過程及技巧。	3.00	5.00	4.364	.79
7.我需要理解老師所教的內容，才能完成 VR 互動操作練習。	3.00	5.00	4.182	.853
8.在 VR 互動操作練習的過程中，你必須持續思考所教的動作與內容。	3.00	5.00	4.318	.839
9.我時常思考別人的 VR 互動操作呈現與執行過程，並試圖找出更好的方法。	3.00	5.00	4.273	.883
10.我喜歡思考自己的 VR 互動操作呈現與執行過程，並想出能進步的方法。	2.00	5.00	4.318	.894
11.我常反思我的 VR 互動操作呈現與執行過程，並思考我是否能改善我所做的。	2.00	5.00	4.364	.953
12.我時常重新評估自己的 VR 互動操作呈現與執行過程，並從中學習以改善我下次的表現。	2.00	5.00	4.364	.953
13.經過這次的 VR 互動操作課程，使我改變了我看待自己對於虛擬實境互動操作的方式。	2.00	5.00	4.364	.953
14.經過這次的 VR 互動操作課程，改變了我以往對虛擬實境互動的認識。	2.00	5.00	4.273	.935
15.經過這次的 VR 互動操作課程，我改變了我過去安全管理及施工安全教育訓練及互動的方式。	2.00	5.00	4.455	.912
16.經過這次的 VR 互動操作課程，我發現以前我認為是對的安全管理及施工安全教育訓練及互動過程，原來是錯的。	2.00	5.00	4.227	.973

註：n=22，1=非常不同意，2=不同意，3=普通，4=同意，5=非常同意

綜合量化分析結果顯示，「互動性」、「沉浸感」、「學習動機」與「反思學習」為影響學習成效之關鍵因素。其中，「互動性」為唯一達統計顯著之因素，而反思學習整體表現良好，顯示其對學習內化具有重要影響。而「學習動機」則呈現邊緣顯著，顯示其具潛在影響力。此外，反思學習表現(M=4.29)亦顯示其對學習內化具有重要作用。

5. 結論與建議

本研究旨在探討結合適性化學習與反思教學之虛擬實境消防安全學習系統對學習成效之影響。透過量化與質性分析結果，可歸納以下結論：

1. 虛擬實境有效提升學習互動體驗

研究結果顯示，VR 教學在「互動性」與「感官刺激」方面達顯著提升，顯示沉浸式學習環境能有效促進學習參與與專注度，為本研究最重要之發現。

2. 學習動機呈現正向發展趨勢

雖未達統計顯著，但學習動機呈現邊緣顯著，顯示 VR 具有促進學習投入之潛力。未來透過擴大樣本與延長教學時間，可進一步驗證其效果。

3. 學生對 VR 學習具高度接受度

VR 接受度平均數達 4.43，顯示學生普遍認同其學習價值，特別是在操作性與學習幫助性方面表現良好。

4. 反思教學促進深層學習

反思量表結果顯示學生具備良好之自我檢視與學習調整能力，顯示本研究之反思教學設計能有效促進學習內化與高層次思考。

5. 虛擬實境結合反思與適性化工具發展潛力

綜合結果顯示，結合 VR、適性化學習與反思教學之整合模式，能同時提升學習體驗與認知歷程，具備未來發展智慧教育之潛力。

研究限制與未來建議

本研究樣本數較少（ $N = 22$ ），可能影響統計推論之穩定性。未來研究建議擴大樣本規模，並結合長期追蹤設計，以進一步驗證學習成效。此外，可導入更多適性化機制（如 AI 分析），以提升系統精準度與學習效果。

參考文獻

- Bacca-Acosta, J., Tejada, J., Fabregat, R., Kinshuk, & Guevara, J. (2022). Scaffolding in immersive virtual reality environments for learning English: an eye tracking study. *Educational technology research and development*, 70(1), 339-362. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10068-7>
- Bower, M., & Sturman, D. (2015). What are the educational affordances of wearable technologies? *Computers & Education*, 88, 343-353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.013>
- Chen, I. C., Hwang, G.-J., Lai, C.-L., & Wang, W.-C. (2020). From design to reflection: Effects of peer-scoring and comments on students' behavioral patterns and learning outcomes in musical theater performance. *Computers & Education*, 150, 103856. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103856>
- Chittaro, L., & Ranon, R. (2009, 23-24 March 2009). Serious Games for Training Occupants of a Building in Personal Fire Safety Skills. 2009 Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications,
- DeChamplain, A., Rosendale, E., McCabe, I., Stephan, M., Cole, V., & Kapralos, B. (2012, 7-9 Sept. 2012). Blaze: A serious game for improving household fire safety awareness. 2012 IEEE International Games Innovation Conference,
- Dougherty, J., Pucci, P., Hemmila, M. R., Wahl, W. L., Wang, S. C., & Arbabi, S. (2007). Survey of primary school educators regarding burn-risk behaviors and fire-safety education. *Burns*, 33(4), 472-476. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.burns.2006.08.013>
- Feng, Z., González, V. A., Amor, R., Lovreglio, R., & Cabrera-Guerrero, G. (2018). Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review. *Computers & Education*, 127, 252-266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.002>
- Gibbs, G. (1988). *Learning by doing : a guide to teaching and learning methods*. Further Education Unit.
- Hong, Y.-H. (2019). Awareness on middle and high school teachers for fire safety education. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation society*, 20(8), 586-593.
- Hsia, L.-H., & Hwang, G.-J. (2021). Enhancing students' choreography and reflection in university dance courses: A mobile technology-assisted peer assessment approach. *British Journal of Educational Technology*, 52(1), 266-287. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/bjet.12986>
- Lin, J.-Y., Mahasti, N. N. N., & Huang, Y.-H. (2021). Recent advances in adsorption and coagulation for boron removal from wastewater: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124401. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124401>
- Nunes, M. E. d. S., Correa, U. C., de Souza, M. G. T. X., & Santos, S. (2021). Descriptive versus prescriptive feedback in the learning of golf putting by older persons. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 19(4), 709-721. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2020.1717579>
- Pentland, A. (2001). Wearable information devices. *IEEE Micro*, 21(3), 12-15. <https://doi.org/10.1109/MM.2001.928761>

- Ryan, M. (2013). The pedagogical balancing act: teaching reflection in higher education. *Teaching in Higher Education*, 18(2), 144-155. <https://doi.org/10.1080/13562517.2012.694104>
- Smith, S. P., & Trenholme, D. (2009). Rapid prototyping a virtual fire drill environment using computer game technology. *Fire Safety Journal*, 44(4), 559-569. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.11.004>
- Tawadrous, M., Kevan, S., Kapralos, B., & Hogue, A. (2013). A Serious Game for Incidence Response Education and Training. *The International Journal of Technology, Knowledge, and Society: Annual Review*, 8, 177-184. <https://doi.org/10.18848/1832-3669/CGP/v08i04/55528>
- Tichon, J., & Burgess-Limerick, R. (2011). A review of virtual reality as a medium for safety related training in mining. *Journal of Health & Safety Research & Practice*, 3, 33-40.
- Viseu, A. (2003). Simulation and Augmentation: Issues of Wearable Computers. *Ethics and Information Technology*, 5. <https://doi.org/10.1023/A:1024928320234>
- Witmer, B. G., Bailey, J. H., Knerr, B. W., & Parsons, K. C. (1996). Virtual spaces and real world places: transfer of route knowledge. *International Journal of Human-Computer Studies*, 45(4), 413-428. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/ijhc.1996.0060>
- Yu, C.-H., Wu, C.-C., Wang, J.-S., Chen, H.-Y., & Lin, Y.-T. (2020). Learning Tennis through Video-based Reflective Learning by Using Motion-Tracking Sensors. *Educational Technology & Society*, 23, 64-77. <https://doi.org/10.2307/26915407>
- Yu, D., Li, Q., Song, W., Xu, L., Zhang, K., & Zhou, T. (2023). Advanced Technique-Based Combination of Innovation Education and Safety Education in Higher Education. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00568>
- Zare, H., Niknami, S., Heidarnia, A., & Hossein Fallah, M. (2019). Traffic safety education for child pedestrians: A randomized controlled trial with active learning approach to develop street-crossing behaviors. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 734-742. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.10.021>