科學教育學刊
2011, 第十九卷第五期, 435-459

Chinese Journal of Science Education
2011, 19(5), 435-459

結合實物與虛擬實驗促進八年級學生「溫度與熱」知識整合、實驗能力與學習策略之研究

蔡錕承　張欣怡*

國立高雄師範大學　科學教育研究所

(投稿日期：民國100年2月17日，修訂日期：民國100年7月29日，接受日期：民國100年9月5日)

摘要：本研究探討八年級學生接受網路科學探究課程——「溫度與熱」單元教學後，課程中所包含的兩種實驗，實物實驗(hands-on experiment)與虛擬實驗(virtual experiment)，於促進學生溫度與熱概念之知識整合成效，並討論學生進行實物與虛擬實驗所展現的學習策略與實驗能力，以瞭解本研究虛擬與實物實驗於學生學習所扮演的角色，以及學生實驗能力由實物實驗過渡至虛擬實驗的情形。本研究採混合研究法，以32位高雄市八年級學生為研究對象，資料收集包含進行課程之前、後測驗、課程中之嵌入式評量、以及學生電腦操作與討論影音檔。研究結果顯示實物與虛擬實驗活動均可促進學生知識整合。多數學生並可將於實物實驗所展現之實驗能力過渡至虛擬實驗。而兩種實驗活動均可促進學生高層次學習策略的使用。然而，有較多學生於理解本研究虛擬實驗的研究情境與問題產生困難，另一方面，則有較多的學生於解釋實物實驗的結果並連結至科學原則產生困難，但本研究亦提出證據，說明這些困難應為課程中意欲的困難。

關鍵詞：知識整合、虛擬實驗、溫度與熱、實物實驗

壹、緒論

溫度與熱是眾多科學概念中與日常生活相關的概念，同時也是物理、化學、生物、地球科學等自然科學的基礎概念。然而溫度與熱的現象在日常生活中親身體驗的機會很多，多數學生在學習有關「溫度與熱」的課程之前，即持有某些另有概念(alternative conceptions；陳文典、劉德生，1994)，且研究發現，即使經過學校一般課程教學後，學生仍會繼續使用這些另有概念(Clark, 2003; Slotta & Linn, 2009)。例如：學生無法區分

*通訊作者：張欣怡

溫度與熱，認為熱是一種物質，熱傳導即為熱這個物質由物體的一端流至另一端或另一物體(Erickson & Tiberghien, 1985)。這些另有概念與不清楚熱的微觀現象以及熱傳導的機制有關，因此，欲建立適當的溫度與熱概念，學生需要了解熱係一種能量，熱傳導機制為物體之分子或粒子的碰撞，由分子運動速度較快之高溫物體碰撞分子運動速度較慢之低溫物體，進行熱傳導(American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1993; National Research Council [NRC], 1996)。

然而，在我國國中階段教科書中，有關溫度與熱的部分，皆未觸及熱傳導之分子或粒子觀概念，亦有國中教師認為國中學生無法理解熱傳導機制與分子觀(Chang & Linn, 2010)。本研究所使用的網路科學探究課程(Web-based Inquiry Science Environment, WISE; Linn, 2006)——「溫度與熱」(Clark & Sampson, 2007)，則包含「溫度與熱」實物實驗以及「熱傳導機制」之分子觀虛擬實驗，本研究經由觀察與分析學生於實物實驗與虛擬實驗的學習過程，包括學生所展現之實驗能力以及所使用之學習策略，以了解課程中加入分子觀之虛擬實驗，是否有助學生對溫度與熱概念的了解。對於學生之溫度與熱科學概念與另有概念之關係，本研究採知識整合觀點，強調學生的另有或原本概念為學習新概念之基礎(diSessa, 1993; Parnafes, 2010; Slotta & Linn, 2009)，課程引導學生進行實物與虛擬實驗時，強調引出學生想法、幫助學生擴增新想法、區分與連結想法等知識整合過程(Linn; Slotta & Linn)。本研究資料分析方法亦採取知識整合編碼(Lee, Liu, & Linn, 2011)，以了解學生於課程前後、以及實物實驗與虛擬實驗前後，其知識整合程度之發展。

如同某些教育科技優勢與限制的研究與觀點(Hegarty, 2004; Linn, Chang, Chiu, Zhang, & McElhaney, 2011)，本研究主張實物實驗與虛擬實驗各有其優勢與限制，本研究聚焦於「溫度與熱」概念，認為實物實驗是學生在學習「溫度、觸覺與熱傳導」概念時(例如：不同材質之物體雖具同溫度，但其摸起來感覺不同是因不同材質之物體其傳熱速度不同)，幫助學生利用實物、感官經驗與實驗以建立適當概念的重要活動；而虛擬實驗則對於幫助學生理解抽象或無法以肉眼觀察之科學概念與現象有良好成效之活動(Linn et al.)，例如：學生在學習熱傳導機制時，虛擬實驗幫助學生產生分子觀的解釋，建立適當熱傳導機制與現象解釋的科學概念，兩者於促進學生溫度與熱概念之成效，缺一不可。

已有研究將實物實驗與虛擬實驗結合，探討實物實驗結合虛擬實驗對學生學習科學的成效(Jaakkola, Nurmi, & Veermans, 2011; Zacharia, Olympiou, & Papaevripidou, 2008)，同樣地，本研究實施之課程包含實物與虛擬實驗，並依過去於教室中實施與參與教師所建議的順序(Clark & Sampson, 2007)，先讓學生進行「溫度與熱」觸覺與溫度測量實物實驗，再引導學生進行「熱傳導機制」分子模擬實驗。因此本研究並非比較實物實驗與虛擬實驗成效的準實驗設計，亦不探討實物與虛擬實驗先後順序的問題。而是探討在先進行溫度與熱實物實驗、後進行溫度與熱虛擬實驗的教學情境下，學生知識整合的程度，實驗能力的過渡，以及學習策略的使用。本研究探討的研究問題為：

一、學生經過溫度與熱實物實驗與熱傳導機制之分子觀虛擬實驗活動後對溫度與熱概念知識整合程度是否提升？

二、學生於溫度與熱實物實驗與熱傳導機制

之分子觀虛擬實驗活動中所顯現之實驗能力為何？其實驗能力由實物實驗過渡至虛擬實驗的情形為何？

三、學生於溫度與熱實物實驗與熱傳導機制之分子觀虛擬實驗活動中所使用之學習策略為何？

貳、文獻探討

一、學生溫度與熱之另有概念

研究指出學生對於「溫度與熱」普遍存有另有概念(陳文典、劉德生，1994；謝秀月，1995；Erickson, 1979; Kesidou & Duit, 1993; Paik, Cho, & Go, 2007)。學生於溫度與熱之另有概念可依三方面整理：溫度與熱、熱傳導、與熱平衡。在「熱」與「溫度」概念方面，學生認為熱等於溫度，亦即為物體的冷熱程度，且溫度是物質所含熱(量)之多寡的量度，不同物體溫度相等則熱量也相等，溫度高者熱量必較多(Kesidou & Duit)，學生會將物體分類為冷的物體、中溫度的物體與熱的物體(如金屬是冷的，木頭則不冷不熱；謝秀月、郭重吉，1991)。在「熱傳導」概念方面，學生認為熱具有物質的特性，且有流動性，會經由溫度高、熱量高的地方傳到溫度低、熱量低的地方(陳文典、劉德生；Erickson; Erickson & Tiberghien, 1985)。在「熱平衡」概念方面，學生會以物體的材料判斷溫度，而非與周遭溫度的傳導與平衡，不同的材料在相同的環境裡有不同的溫度，不太可能達到熱平衡(謝秀月；Erickson & Tiberghien; Paik et al.)，例如：將金屬湯匙與木製湯匙一同放入熱湯中，經過一段長時間後，學生認為金屬湯匙的溫度仍會高於木製湯匙。當面對熱平衡的問題時，學生通常無法考慮影響熱平衡的所有因素，尤其是環境的因素，認為不同材質處在同一環境中不會達成熱平衡。

學生所持有溫度與熱之另有概念多源自於日常生活所熟悉之物品與直觀的經驗，且多會依照其所知覺到的屬性特徵來做判別(陳文典、劉德生，1994)，例如：學生會習慣由觸覺來判斷物品溫度的高低，金屬的物品摸起來會比較熱或比較涼，所以認為溫度會比其他物質(例如：木頭)來的較高或較低。此外學生也會依照物品的外形做為其判斷溫度高低的依據，學生會認為體積大的冰塊摸起來較冰且不容易融化，所以溫度會比體積較小的冰塊低(Paik et al., 2007)。此外，對於熱傳導的機制，多數學生對熱傳導是由分子碰撞所形成的概念不清楚，而常將熱傳導認爲是「熱的移動」(Erickson & Tiberghien, 1985)。

二、以知識整合觀點促進溫度與熱概念學習

Linn (2006)指出當學生在學習科學概念時經常會產生混淆、矛盾及困惑，這是因為學習者對於科學現象與概念並沒有深入理解。為了改善這樣的情況，教學應引導學生對於所觀察到的自然現象進行知識的連結，並整合在不同情境的想法與概念，以增進學生對科學概念的理解並成為終身的學習者(Bell & Linn, 2000)。知識整合觀點(Linn, Davis, & Bell, 2004; Linn & Eylon, 2006)強調學習者原來持有的想法為學習新想法的基礎，學習者藉由觀察到的科學現象或新增的科學原則，知道自己原有知識不足之處，而在原有的想法中增加新的想法，並將這些想法做連結與區分，再將出現矛盾的想法進行調解與整合。所謂知識整合，即包含上述過程並應用在真實情境經驗，進而發展出堅固、有用的知識(Davis, 2003)。

因此，教學上要促進學生知識整合，

首先要確認學生想法不足之處(identifying weaknesses)，接下來則要幫助學生增加新想法(adding ideas)、連結想法(linking ideas)、區分想法(distinguishing ideas)與調解想法(reconciling ideas)，以發展出符合科學概念與原則的知識。「確認想法不足之處」是指學習者在學習過程中遭遇到無法以舊有想法解釋的問題與現象；「增加新想法」是指學習者增加不同於舊有的想法；「連結想法」是指學習者的想法連結符合科學性的原則與連結真實世界經驗；「區分想法」是指學習者區別其想法中哪些符合科學原則；「調解想法」是指學習者調解其符合科學原則與不符合科學原則的想法進而發展出符合科學概念與原則的知識(Linn, 2006)。

本研究將知識整合教學策略融入於課程中的實物與虛擬實驗活動(表1)。首先在實物實驗方面，學生在活動進行前可能持有的另有概念包含「以物體的材料判斷溫度，並認為不同的材料在相同的房間裡會有不同的溫度，不太可能達到熱平衡」與「解釋物體的溫度時依本身的觸覺感受來判別溫度的高低」。為改善學生的另有概念，並促進「溫度與熱」知識整合，本研究使用知識整合教學策略是藉由實物實驗並結合「預測—觀察—解釋」教學策略(Linn & Eylon, 2006; White & Gunstone, 1992)，先引出學生想法，再引導學生進行不同材料物質的溫度測量，並比較觸碰之冷熱感覺與溫度，以幫助學生「確認想法不足」，並「增加新想法」，繼而引導學生解釋實驗結果，以促進其「區分想法」與「調解想法」而達到知識整合的目的(Clark & Sampson, 2007)。

在經由實物實驗幫助學生建立「不同材料、不會自行發熱之物體其觸碰冷熱感覺不同，不代表溫度不同，且久置於教室內溫度會趨於一致」的概念後，本研究之課程再進一步融入虛擬實驗以幫助學生瞭解熱傳導與平衡的機制。在虛擬實驗進行前學生可能持有的另有概念包含「學生將熱傳導認爲是熱的移動，熱將會從一物體移到另一物體，熱具有物質流動的特性」與「學生認為兩物體

表1：「溫度與熱」另有概念、知識整合觀點與教學策略

「溫度與熱」另有概念	知識整合觀點	知識整合教學策略
學生以物體的材料判斷溫度，而非周遭溫度的平衡，認為不同的材料在相同的房間裡會有不同的溫度，不太可能達到熱平衡(謝秀月，1995；Paik et al., 2007)。	學生的想法來自生活中直觀的經驗，例如由觸覺來判斷溫度，依學生的想法為教學的起點。	實物實驗：久置教室物品之溫度測量。 預測—實驗—觀察—解釋。
學生在解釋物體的溫度時以本身的觸覺感受來判別溫度的高低(陳文典、劉德生，1994)。	學生的想法同樣來自生活中直觀的經驗，由觸覺來判斷物體溫度的高低。	實物實驗：不同材料之物品之觸覺與實際溫度之比較。 預測—實驗—觀察—解釋
將熱傳導認爲是『熱的移動』，熱將會從一物體移到另一物體，熱具有物質流動的特性(Erickson, 1979; Erickson & Tiberghien, 1985)。	學生的想法來自過往溫度測量實驗，由實驗中發現物體溫度的變化，認為熱傳導是熱量與溫度的移動。	虛擬實驗：熱傳導時之分子運動模擬。 預測—實驗—觀察—解釋。
兩物體必須是同種物質才能達熱平衡，不同種物質不太可能達熱平衡(Erickson & Tiberghien, 1985)。	學生的想法來自生活中直觀的經驗，認為不同物質冷熱觸覺不同，溫度也不同，不會達到一致。	虛擬實驗：不同材料之物質進行熱傳導時之分子運動模擬與溫度變化曲線圖。 預測—實驗—觀察—解釋

必須是同種物質才能達熱平衡，不同種物質不太可能達熱平衡」。本研究知識整合教學策略透過分子觀的虛擬實驗，同樣結合「預測—觀察—解釋」的教學策略，先經由預測活動引出學生想法，再以分子運動實驗與模擬提供學生熱傳導與熱平衡機制的證據，引導學生觀察與解釋，藉此幫助學生增加新想法，並在解釋實驗結果中「區分想法」與「調解想法」而達到知識整合的目的(Linn & Eylon, 2006)。

三、實驗能力

本研究聚焦於發展學生的三種實驗能力：「擷取研究問題能力」、「選擇實驗物件能力」及「解釋實驗結果能力」。實驗能力為學生進行實驗活動時所展現的技能，而實驗活動為促進學生學習科學的重要環節(Hofstein & Lunetta, 2004)。Hofstein與Lunetta認為實驗活動之基本且中心的定義為「學生與材料(material)或模型(model)的互動與觀察以瞭解自然世界」(Hofstein & Lunetta, p. 31，作者自譯)。其中互動即指學生利用實物為材料或是利用現代科技的電腦模擬進行物件的選擇與操作以進行實驗活動。此一基本定義顯示實驗操作於實驗活動的重要角色。以本研究的實物與虛擬的實驗情境而言，學生的適當實驗操作來自於能依據實驗目的選擇不同材料的物件進行溫度測量或分子模擬，因此在實驗操作方面聚焦於選擇實驗物件能力。

另外，Hofstein與Lunetta (2004)指出近年有關科學實驗的研究受到建構主義與科學探究的影響，對過去食譜式實驗進行批判與反思。根據建構主義與科學探究的觀點，科學實驗強調學生對研究目的與研究問題的理解。美國「探究與國家科學教育標準」(NRC, 2000)強調學生在進行科學探究的初始且重要的特徵為學生能投入科學問題。劉宏文與張惠博(2001)指出學生對於研究問題的形成與其本身的學習與生活經驗有關，形成研究問題的過程，也會隨著研究情境的發展而更加精鍊，且提升學生提取研究問題能力有助於幫助其進行高階創造思考與解決問題能力。本研究分別於實物實驗與虛擬實驗活動中設計研究情境，提供研究目的，並觀察學生如何由研究情境中理解並擷取研究問題。

Hofstein與Lunetta (2004)強調學生經由實驗過程與利用實驗結果進行科學解釋的重要，學生對於實驗中所獲得的結果如何解釋並連結至實驗問題，是學生在實驗活動的重要能力。研究指出學生在進行科學解釋時產生的困難包括：(一)科學術語的運用有困難；(二)使用證據能力不足；以及(三)推理過程或機制的描述不清楚等(謝州恩、吳心楷，2005)。因此若要提升學生的解釋能力可在教學上安排學生運用科學概念進行現象的解釋，並增加在不同情境中的概念之應用。本研究以知識整合觀點為基礎，引導學生在進行科學解釋時，連結實驗問題、比較實驗前的預測、以及利用實驗產生的證據，以幫助學生發展適當的實驗解釋能力。

四、虛擬實驗與實物實驗

虛擬實驗是以網頁或軟體，融入高互動的動畫(animation)、模擬(simulation)或視覺表徵(visualization)，於電腦上呈現(Linn et al., 2011)，學生可以藉由改變虛擬實驗環境中的某些參數或是變項，進行實驗與觀察結果。整理文獻後得到虛擬實驗的特性包括：以電腦為媒介(林小慧，2008；孫光天、林勇成，2003；Triona & Klahr, 2003; Winn et al., 2006; Zacharia et al., 2008)、強調實驗操作(林小慧；孫光天、林勇成；Klahr, Triona,

& Williams, 2007; Zacharia et al.)、實驗環境事先設計且模擬出的實驗結果是受到控制的(孫光天、林勇成；Finkelstein, Adams, & Keller, 2005; Zacharia, 2007; Zacharia et al.)、不受時空限制且操作符合時間經濟效益(Klahr et al.; Winn et al.)、以及可用於特殊情境如某些實驗無法以實體進行的，例如以微觀的分子世界與巨觀的天文模型(林小慧)。

實物實驗係指在傳統實驗室或教室中以實體物件進行實驗操作，例如使用試管、機器設備、與化學物品等(Finkelstein et al., 2005; Klahr et al., 2007; Triona & Klahr, 2003)。Winn等(2006)與Klahr等認為實物實驗有其重要性，學習者可從真實的實驗情境中藉由動手做學習科學技能，而實驗場地經驗有助於接觸新領域的初學者學習課本較難以傳授的科學知識與科學本質。的確，虛擬實驗有其限制與不足，例如本研究中的冷熱感覺與溫度的關係，透過實物的觸覺與溫度測量，提供學生感官經驗，是無法由虛擬實驗取代。此外，虛擬實驗是一個事先設定好的理想情境，在這個情境中實驗結果是透過電腦程式運算而得，因為是處於理想化的環境中，無法呈現實驗誤差。然而實驗誤差是科學探究過程中存在的現象，科學家如何處理與解讀實驗誤差，可幫助學生了解科學本質其中一個面向。事實上，本研究融入虛擬實驗於課程中的設計，並非採用以虛擬實驗取代實物實驗的觀點，而是兩者互為補充的觀點，於適當時機引導學生進行實物實驗與虛擬實驗，換句話說，係符合科學本質與探究之科學實務模式(Linn & Eylon, 2006; NRC, 2007)，引導學生分別於不同的溫度與熱科學概念與情境下，進行實驗。

有關比較實物實驗與虛擬實驗對學生學習成效，研究指出學生使用虛擬實驗之學習成效優於學生使用實物實驗之學習成效(孫光天、林勇成，2003；Finkelstein et al., 2005; Zacharia et al., 2008)。然而，另有研究指出即使將虛擬實驗的實驗環境模擬如同實物實驗一樣，使用實物實驗學習的學生在學習成就上的表現並不亞於虛擬實驗的學生(Klahr et al., 2007; Triona & Klahr, 2003; Winn et al., 2006)。這些比較實物實驗與虛擬實驗之實驗或準實驗設計之研究，已顯示實物實驗或虛擬實驗皆有可能促進學習。同樣重要並仍須進一步舉證的問題是，實物實驗與虛擬實驗分別在何種主題或是條件下，如何能促進學習？也就是說，在進行教學時，實物實驗最能促進哪些主題與概念的學習？同樣地，虛擬實驗又最能促進哪些主題與概念的學習？

另外，某些研究探討結合實物與虛擬實驗對學生學習科學的成效。例如：Zacharia等(2008)設計一個「溫度與熱」課程，課程中結合實物實驗與虛擬實驗，研究結果顯示利用虛擬實驗加實物實驗學習的學生其學習成效大於只使用實物實驗學習的學生。另外Jaakkola等(2011)的研究也出現類似的研究結果，研究結果顯示利用虛擬實驗加實物實驗學習的學生其學習成效大於只使用單一種實驗學習的學生。

經整理上述研究，發現對於學生在一般實物實驗中所觀察不到的科學現象與概念，如「酸鹼中和」、「磁力」、「電流」等概念，學生使用虛擬實驗的學習成效較好，而對於在一般實物實驗中可以觀察到的科學現象與概念，如「針孔成像」、「彈簧實驗」等概念，學生使用實物實驗的學習成效並不亞於使用虛擬實驗學習的學生。另外像是「溫度與熱」概念、設計「電子電路」等其同時兼具巨觀與微觀現象的單元課程，研究結果顯示使用虛擬結合實物實驗教學有助於學生對科學概念的理解與學習，且學生學習

成效大於只使用單一種實驗學習的學生。然而過去研究仍未探討虛擬實驗對於促進學習、特別是認知層面的機制，以及學生是否能將實驗能力過渡至虛擬實驗。

五、學習策略

學習策略泛指在學習歷程中，學習者為完成學習任務而進行的行為與思考(張新仁，2006；Weinstein & Mayer, 1986)，亦可為由教學者引導學習者進行有系統、有組織的方法以促進學生的行為、認知與動機(陳李綢，1995；Katims & Harris, 1997)。由此可知，學習策略包含了外顯的行為和內在的思考，也可分為由教學者所引導或是由學習者所自發的。由教學者所引導的學習策略研究指出教學活動引導學生進行反思的(reflective)學習策略，能增進學生科學概念的學習(謝甫佩、洪振方，2003；Chang, Quintana, & Krajcik, 2010; Davis, 2003; Davis & Linn, 2000)。例如：謝甫佩與洪振方採準實驗設計，以教學引導反省思考學習策略的學生為實驗組，使用慣用學習策略的學生為對照組，進行電磁學實驗教學，教學時間為三周。反省思考學習策略指的是學生進行「做」、「看」、「想」、「評量」、「應用」的行動步驟，「做」是做實驗，「看」是觀看實驗結果，「想」是解釋觀察結果與思考過程，「評量」是比較相同或不同的地方，並評量自己的想法或檢討失敗的原因，「應用」則是將所學到的知識用來解決問題或運用在日常生活中。研究結果顯示在採用反省思考的實驗組學生在電磁概念遷移的表現優於對照組，且實驗組學生在自然科學習策略的表現也比對照組好。

本研究的學習策略係指學習者自發的行為以幫助其本身完成學習任務(張新仁，2006；Weinstein & Mayer, 1986)。舉例來說，本研究課程引導學生擷取研究問題、進行實驗操作、與解釋實驗結果等三階段學習任務，本研究定義學生為完成這些任務而自發出現的行為為學習策略，詳細類別於研究方法中討論。本研究分析學習者於進行實物與虛擬實驗時所產生之自發學習策略，並比較相同的學習者分別於實物與虛擬實驗時所展現學習策略之異同，分析結果可幫助瞭解實物實驗是否僅能促進學生動手做(hands-on; Klahr et al., 2007)，或是亦能促進學生的認知與思考(minds-on)，以及比較虛擬實驗於此兩向度(hands-on and minds-on)對於學習所扮演的角色。另外，研究指出計畫與監控係含有後設層次的策略，可幫助學習者進行學習任務的規劃與執行(Davis, 2003; Davis & Linn, 2000; Quintana, Eng, Carra, Wu, & Soloway, 1999; Stratford, 1996)，而比較與連結等為精緻化的策略，可幫助學生進行知識的整合(Lewalter, 2003)，這些學習策略均屬高層次的學習策略。本研究觀察與分析學生是否出現這些高層次學習策略以及何時出現這些高層次學習策略。

參、研究方法

本研究採混合研究法(Johnson & Christensen, 2008)，在一個研究中混合了量化和質性的研究方法、觀念及技術，利用混合研究法的最基本且重要原則，即所收集的資料彼此具備互補的優點與不重覆的缺點，以達成採用混合研究法的目的，包括：校正(triangulation)、補充(complementarity)、發展(development)、激發(initiation)、或拓展(expansion; Johnson & Christensen)。本研究的三個研究問題中，問題一以前後測驗的量化資料與分析方法探討學生在接受課程與實驗活動對溫度與熱概念的知識整合是否提升，問題二、三則以質性的分析方法，探討

學生在實驗過程中所展現的學習策略與實驗能力。本研究包含了量化與質性的研究問題，藉量化與質性的資料與分析方法，達到混合研究法中補充與拓展的目的。

一、研究情境：溫度與熱數位課程

本研究所使用之「溫度與熱課程」發展自網路科學探究平台(WISE)中的「Thermodynamics: Probing Your Surroundings」單元(Clark & Sampson, 2007; Linn, 2006; Slotta & Linn, 2009)。本研究修改該課程之實物與虛擬實驗活動(http://wise.berkeley.edu/student/topFrame.php?projectID=37240)。在實物實驗方面(圖1)，學生經引導選擇教室內六樣物品進行冷熱觸覺與溫度預測，接著利用實驗器材——數位溫度探測棒，進行溫度測量，本研究修改嵌入式評量以引導學生進行實驗，包括：從實驗情境中擷取研究問題、預測結果與進行實驗包括：選擇實驗物件、操作實驗、最後則解釋實驗結果(如圖1左邊所示，學生按下不同步驟、出現彈跳視窗、並回答視窗中的引導問題，如圖1右下所示)。在虛擬實驗方面，本研究融入molecular workbench (Xie & Tinker, 2006)發展之熱傳導機制分子模擬(圖2)，並設計嵌入式評量引導學生進行實驗，引導方式與實物實驗相同，包括：從實驗情境中擷取研究問題、預測實驗結果、選擇實驗物件、操作實驗與解釋實驗結果。在課程活動安排上，學生先進行熱傳導與平衡實物實驗後再進行熱傳導機制虛擬實驗，課程實施時學生以兩人一組，使用一臺桌上型電腦方式進行。

本課程教學時間(不包含前、後測驗的時間)為一周共五堂課，每堂課進行約45分鐘，課程教學前以額外一堂課先進行前測，教學後再另以額外一堂課進行後測。課程中第一堂課為實物實驗(活動一，如前段所述)；第二堂課至第三堂課前半，課程以生活中常見實例為情境，包括熱杯子與冷桌面間的熱傳導(活動二)以及不同物質如金屬、木頭與塑膠製物品的熱傳導速度(活動三)，引導學生學習熱傳導與熱平衡概念、並連結日常生活溫度與熱現象與經驗；第三堂後半與第四堂課為虛擬實驗(活動四，如前段



圖1：本研究溫度與熱課程中的實物實驗活動

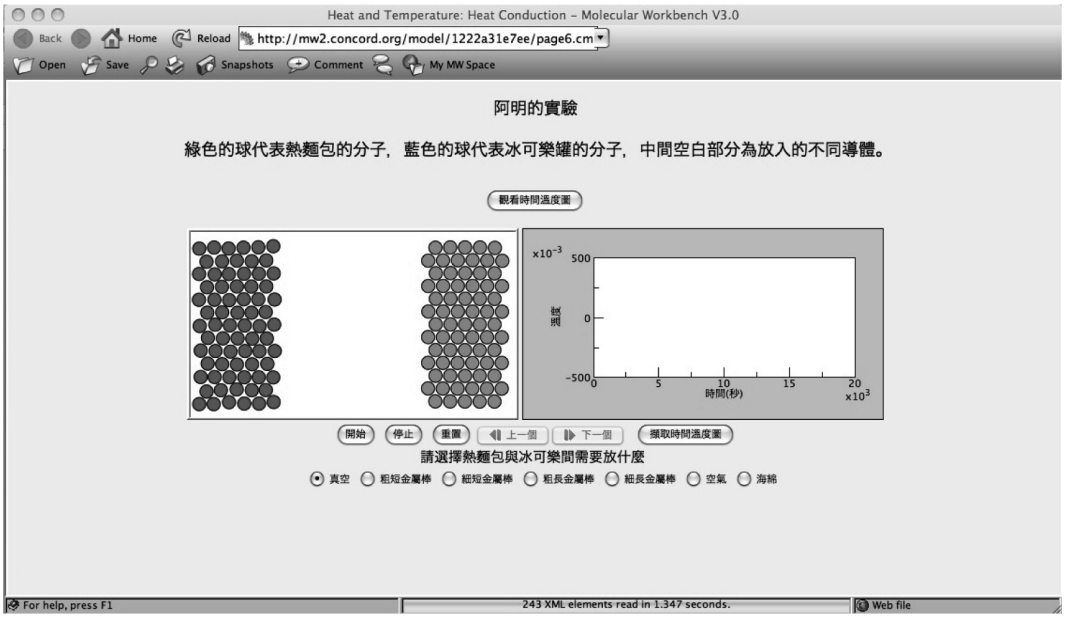

圖2：熱傳導機制分子觀虛擬實驗

所述)；第五堂課引導學生依據前四堂課所學，討論與歸納熱傳導與熱平衡之科學原則以進行概念統整(活動五)。

本課程目標為：引導學生理解(一)物體的冷熱感覺與溫度；(二)高溫時分子運動速度較快、低溫時分子運動速度較慢；(三)熱傳導是經由分子的碰撞由高溫傳至低溫直至相同溫度(分子運動速度趨於一致)而達熱平衡；(四)不同材質的物質熱傳導速度不同。本課程實施期間為暑期的正式課堂，於前、後測的五堂課期間此課程是學生唯一接受的課程，該期間教師並未進行任何教科書的講解或其他理化概念的授課。

二、研究參與者

本研究以高雄市一所公立中學八年級學生為研究對象，共一個班級，人數為32人，其中男生與女生各有16位，課程在暑假期間實施，學生出席率變化較大，共有6位學生未參與前測或後測，因此前、後測皆參與之學生為26人，其中男生為12位、女生為14位。在課程實施期間32位學生皆全程參與。學校採常態編班，班級間學生程度差異不大。此外，這些學生都是第一次使用WISE課程，且對於溫度與熱概念僅於國小六年級學習過相關概念。該校校長、教務主任相當支持教師將科技融入教學，該校師生對於使用科技融入教與學的經驗豐富。

實施該課程的授課教師教學年資為18年，使用科技融入教學經驗豐富，但本研究所施行的「溫度與熱」課程是該位教師初次使用。經由課室觀察顯示該教師遵循溫度與熱課程所設計之每一步驟，然而教師於學生學習過程中所扮演的角色不在本文所探討範圍內。

三、研究流程與工具

(一)「溫度與熱」成就測驗

「溫度與熱」成就測驗之前、後測題目相同，共計四大題組及其中包含的十小題(六題問答題、四題選擇題)，總分為28分。

題目來源係修改自WISE「溫度與熱課程」評量，以測量學生的知識整合與實驗能力(Lee et al., 2011; Linn, Lee, Tinker, Husic, & Chiu, 2006)。所測量之知識整合內容係依據教學目標，包含：(1)不同材質的物體熱傳導速度不一樣，保溫效果也不一樣；(2)不同材質物體(非自行發熱物體)久置後，溫度會逐漸變成與周遭環境一樣；(3)相同溫度、不同材質物體之冷熱感覺不同係因材質的熱傳導速度不同；(4)熱由高溫傳至低溫直至相同溫度；(5)高溫時分子運動速度較快，低溫時分子運動速度較慢。實驗能力部分則包含：(1)擷取研究問題能力；(2)選擇實驗物件能力；(3)解釋實驗結果能力。本成就測驗設計完成後經科教專家與科學教師的審視與數次編修，評估測驗內容之適切性，以建立內容及建構效度。

本測驗工具於另一班級共30位八年級學生進行預試，內部一致性信度(Chronbach's alpha)為 .72，屬適當。正式實施時內部一致性信度(Chronbach's alpha)為 .75，並加採評分者間同意度(intercoder agreement; Lombard, Snyder-Duch, & Bracken, 2002)，由本文作者與另一位科學教育研究者分別獨立評分，再對照彼此所給予的分數，以下列公式計算評分者間同意度百分比。

評分者間同意度百分比 = 兩獨立評分者一致的評分之次數／每人總評分次數 × 100%

舉例來說，兩評分者共評20份考卷，每個考卷共十題，因此每人總評分次數為200次，若經比對後可得兩人於此200次中給予一致的分數的次數(如兩人同樣給S1學生第一題為2分)為150次，則評分者間同意度為75%。而本研究溫度與熱成就測驗之評分者間同意度達87%，不一致的評分經由討論達成最後給分的共識。

(二)「溫度與熱」課程嵌入式評量

本課程之嵌入式評量係於課程中所插入的文字提問問題，下方並附有區塊供學生填入答案(如圖一右下方的彈出視窗即為嵌入式評量一例)。嵌入式評量為一種形成性評量，也為課程的一部分。在課程實施所扮演的角色有二，包括引導學生進行思考與討論以及供教師或研究者瞭解學生的學習過程與發展。所有學生在課程進行中，以兩人為一組，對「溫度與熱」課程中所包含的嵌入式評量，以討論及電腦輸入的方式進行回答。在實物與虛擬兩個實驗活動中共包含十四題嵌入式評量，題目以預測、觀察、解釋教學模式(Linn & Eylon, 2006; White & Gunstone, 1992)結合實驗活動設計而成，屬於問答題，利用提問引導學生根據課程頁面、圖表與實驗數據進行預測或解釋。嵌入式評量經由科教學者與專家教師審查與建議，經過十餘次修正建立內容效度。信度方面亦採用評分者間同意度，評分者間同意度達90%。

四、資料蒐集與分析

本研究蒐集之資料包括溫度與熱成就測驗前後測、嵌入式評量、學習過程中小組成員間的討論與電腦操作畫面三種，各項資料來源、數量與分析目的對應至研究問題整理如表2。

涉及評分的資料有三種，分別是：(一)前、後測知識整合評分，評量學生經過全部課程前、後知識整合程度(回應研究問題一)；(二)「預測」與「解釋」嵌入式評量知識整合評分，評量學生在實物實驗前、後對於溫度與熱概念知識整合程度之變化；以及在虛擬實驗前、後對於溫度與熱概念知識整合程度之變化(回應研究問題一)；(三)「實驗能力」嵌入式評量評分，是結合學生於嵌

入式評量的回答以及小組側錄檔(為電子檔案紀錄小組討論聲音與電腦操作畫面)，評量在實驗過程中學生所展現的實驗能力(回應研究問題二)。最後，學生的學習策略則是以小組側錄檔為資料來源(回應研究問題三)。各項資料的編碼架構與分析流程分述如下。

前、後測評分採知識整合評分標準(Lee et al., 2011)，如表3所示。得分越高者，表示其科學概念知識整合程度越佳。本研究以Wilcoxon符號排序檢定檢驗學生知識整合程

表2：研究問題、資料來源、數量與分析目的

研究問題	資料來源			資料數量	分析目的
	前後測	嵌入式評量	側錄檔		
一、學生經過實物實驗與虛擬實驗活動後對溫度與熱概念知識整合程度是否提升？	*	*		前後測(共26份，6位學生未參加前或後測) 4題「預測」與「解釋」嵌入式評量(共16組)	瞭解學生在經過實物實驗與虛擬實驗課程後的知識整合程度是否成長以及成長幅度。
二、學生於實物實驗與虛擬實驗活動中所顯現之實驗能力為何？其過渡情形又如何？		*	*	10題「實驗能力」嵌入式評量(共16組) 16組操作側錄檔	描述學生在實物實驗與虛擬實驗所展現的實驗能力；瞭解學生實驗能力由實物實驗過渡至虛擬實驗之情形。
三、學生於實物實驗與虛擬實驗活動中所使用之學習策略為何？			*	10組討論側錄檔(6組聲音不清楚而無法提供完整資料)	描述學生在實物實驗與虛擬實驗中所使用的學習策略的類別與數量；瞭解學生在兩種實驗是否使用相同或不同的學習策略。

表3：知識整合評分標準(以溫度與熱成就測驗中第二題為例)

題目：小宇是建築工人，他要將金屬建材跟木頭建材運送到工地，而為了方便載運將其放置在貨車上。工地很遙遠，天氣又熱。他花了很長的一段時間才到工地。請問；你認為到達工地時木頭建材與金屬建材何者溫度較高？為什麼？同樣溫度的兩個不同材質物體，摸起來的感覺會一樣嗎？為什麼？

概念1：物體的溫度會逐漸變成跟他周遭環境一樣的溫度

概念2：相同溫度之不同材質感覺不同係因材質的傳導速度不同

題號	分數	評分細則
2	0	**沒有回答研究問題(空白、沒寫)**
	1	**回答研究問題無包含相關概念或錯誤或不適當的概念** (例如：金屬建材會吸熱，所以溫度較高)
	2	**回答研究問題不完整或部分適當** (例如：兩者溫度相同，但無理由)
	3	**正確回答研究問題且包含單一正確概念** (例如：兩者溫度會相同，因達熱平衡時物體溫度會與周遭溫度相同)
	4	**正確回答研究問題且連結兩個或更多概念** (例如：物體的溫度經過一段時間後會逐漸變成跟他周遭環境一樣的溫度、材質的傳導速度不同，因此兩物溫度雖然相同但因不同材質感覺不同)

度在課程前後是否達差異。另外採用效果量(effect size; Cohen, 1988)，以得知學生知識整合程度差異的幅度。

在「預測」與「解釋」嵌入式評量的部份，評分同樣採知識整合評分標準，每題得分為0到4分，4分表示學習者可連結兩個以上概念，3分表示回答包含其中一項概念且正確、2分是提到相關概念但是解釋不完整或部分適當、1分是回答內容包含錯誤或不適當概念、0分則是空白無回答。預測與解釋的提問相同，採用的評分標準也相同。例如：實物實驗「預測」嵌入式評量要求學生於實驗前預測教室內六樣物品的溫度以及提出有此預測的理由，「解釋」之嵌入式評量要求學生於實驗後解釋六樣物品溫度的測量結果。本研究以Wilcoxon符號排序檢定分別檢驗學生在實物實驗前的預測與實驗後的解釋中所使用的概念之知識整合程度是否達差異，以及學生在虛擬實驗前的預測與實驗後的解釋中所使用的概念之知識整合程度是否達差異。另亦採用效果量(Cohen, 1988)，以得知學生分別在不同類別的實驗之前後，知識整合程度差異的幅度。

在「實驗能力」嵌入式評量部份，評分標準如表4，分為三方面。第一方面為從實驗情境中擷取研究問題能力。本課程於學

表4：實驗能力評分標準

實驗能力向度	類別	給分	說明	學生回答範例
擷取研究問題	不相關	0	回答無包含相關概念或抄襲(不相關)	S：小平想要知道……不同材質吸收冷熱的速度不同。
	部份適當	1	研究問題不完整或部分適當	S：為什麼物品的溫度不一樣？
	適當	2	研究問題完整且適當	S：小平想要知道……不同的材質是否會有不同的溫度？
選擇實驗物件	不適當	0	學生在實驗物件上皆選擇同一種材質進行實驗操作(皆選擇同一種材質)(無法回答研究問題)	學生選擇：椅子(木材)、杯墊(木質)、櫃子(木材)、黑板(木材)
	部分適當	1	學生在實驗物件上部分選擇同一種材質(重複同一材質)進行實驗操作(所有物件並非皆為不同材質)	學生選擇：滑鼠(塑膠)、鍵盤(塑膠)、麥克風(鐵)、鐵蓋(鐵)、橡皮擦、筆(塑膠)
	適當	2	學生在實驗物件上均選擇不同材質進行實驗操作(符合研究目的)	學生選擇：橡皮擦、乒乓球(塑膠)、滴瓶(玻璃)、電腦主機(鐵)、電池(鋁)、電腦桌(木頭)
解釋實驗結果	不適當	0	解釋實驗結果與回答研究問題無包含相關概念或錯誤或不適當的概念	S：不符合；因為物品要量過才知道溫度。
	部分適當	1	解釋實驗結果與回答研究問題不完整或部分適當	S：我發現這六樣物品的溫度不一樣，但差不多，因為物品性質不一樣。
	簡單適當	2	解釋實驗結果正確與正確回答研究問題且包含單一正確概念(單一概念正確)	S：我發現這六樣物品的溫度都差不多，因為室溫溫度的關係。
	複雜適當	3	解釋實驗結果正確與正確回答研究問題且連結兩個或更多概念(連結概念)	S：我發現這六樣物品的溫度差距不大；因為物品都在室內，與室內溫度差不多，而摸起來不一樣是因為塑膠傳熱比較慢，鐵傳熱比較快。

生實驗前的嵌入式評量除前述要求學生進行預測外，亦要求學生從課程情境中擷取研究問題，例如：「請用你自己的話解釋阿明的研究問題是什麼？」，本研究依評分標準分析學生於此類嵌入式評量之回答。第二方面為選擇實驗物件能力，此部分是依評分標準分析學生側錄檔。第三方面為解釋實驗結果能力，與上段「解釋」嵌入式評量的評分標準差異在於一為用以評量學生知識整合另一為評量學生實驗解釋能力。學生於「實驗能力」嵌入式評量並沒有「無作答」之情形。

在學習策略方面，小組成員間的電腦側錄檔轉為逐字稿後，利用Nvivo8編碼軟體進行編碼與分析，其中編碼架構如表5。編碼分為三層次，分別為實驗類別、實驗過程與學習策略，其中實驗類別包含實物實驗與虛擬實驗；實驗過程則分為聚焦研究問題、進行實驗操作、及解釋實驗結果；學習策略則分類為計畫、回顧、預覽、連結、監控、提問、分工及觀察共八項。學習策略編碼的產生方式係先依據文獻彙整出可能的學習策略類別，再經由本研究的學生資料予以刪去或

表5：小組成員間討論與電腦操作畫面側錄檔編碼架構

實驗類別	實驗過程	學習策略	定義	舉例
實物實驗	聚焦研究問題	計畫	擬定研究問題	「研究問題就是……這裡啊，小明想要知道甚麼？」
			擬定實驗物件選擇	「要我們去選、我們選擇那個。」
虛擬實驗	進行實驗操作	回顧	回顧個人筆記「note」	點選前面已完成頁面
			回顧情境頁面	點選回小平情境頁面
			回顧虛擬實驗模擬	點選前面MWB阿明的實驗
			回顧實物實驗結果	點選回實驗結果頁面
	解釋實驗結果	預覽	預覽個人筆記「note」	預先點選「你在電腦模擬中學到了甚麼」NOTE
			預覽情境頁面	預先點選活動二內容
			預覽虛擬實驗模擬	預先點選電腦模擬
			預覽實物實驗結果	
		連結	連結先備知識或經驗	「紙是幾度？」「看是放在哪裡，影印機出來的就很熱。」
		監控	確認小組是否完成作答	確認小組對於研究問題的回答
			確認小組答案是否正確	確認答案並儲存
			確認小組活動進度	「我們好像做得最快耶。」
		問答	向同儕提出技術性問題	「溫度計測量是點哪裡？」(問他人)
			向同儕提出學科性問題	「解釋為什麼？這個你們是怎麼回答的？」(問他人)
			向教師提出技術性問題	「要量哪裡？」(問老師)
			向教師提出學科性問題	「老師，為什麼要怎麼回答啊？」
			向夥伴提出技術性問題	「溫度計是點哪裡啊？」(問同組同學)
			向夥伴提出學科性問題	「根據你測量結果你發現甚麼？我發現這六樣物品的溫度要怎麼寫？」
		分工	課程活動中進行任務分配，以合作學習方式完成任務	「我量一個，你量一個。」
		觀察	觀察實驗過程與討論	「你看，你看，溫度在下降了。」

新增。例如：計畫、監控(Davis, 2003; Davis & Linn, 2000; Quintana et al., 1999; Stratford, 1996)、連結(Lewalter, 2003)與觀察(謝甫佩、洪振方，2003)係來自文獻且本研究學生展現的學習策略類別，而回顧、預覽、問答與分工為本研究學生所展現的、未見於所探討文獻中新增的學習策略類別。其中，觀察亦列為學習策略的類別之一乃因本研究學生自發性的利用觀察作為一種方法，以幫助其完成學習任務，例如：當學生經由課程的引導，被要求進行實驗解釋時，有些學生便再進行實驗並觀察之後才進行解釋的撰寫，而有些學生則沒有再進行實驗觀察，而是以其它的策略如彼此問答以完成解釋的任務。為了描述前者的行為，本研究認為有必要將觀察視為一學習策略類別。在學習策略的分析與結果，係為描述學生在各個實驗操作過程中使用學習策略的次數與百分比。

肆、研究結果與討論

一、實物實驗與虛擬實驗促進學生「溫度與熱」知識整合

(一)學生在「溫度與熱」課程前後之成就測驗表現

表6列出學生於溫度與熱成就測驗前後測結果。該成就測驗總分為28分，學生在溫度與熱前測平均數為15.50，經過本研究課程後，後測平均數為17.69，兩者差異達統計上的顯著水準($z = 2.65$，$p = .01$)，效果量為0.52，達中度(Cohen, 1988)。此結果顯示經過本研究「溫度與熱」課程，學生於溫度與熱之知識整合與實驗能力有所進步，且進步幅度達中度效果量。

(二)學生於實物實驗與虛擬實驗之嵌入式評量表現

結果整理如表7。在實物實驗的部份，學生在「預測」嵌入式評量的平均數為1.38，而「解釋」嵌入式評量的平均數為1.81，差異達統計之顯著水準($z = 1.93$, $p = .05$)，效果量為0.55，達中度(Cohen, 1988)，顯示學生經過實物實驗後對熱平衡之巨觀概念與現象之知識整合程度有進步。在虛擬實驗部份，學生在「預測」嵌入式評量的平均數為1.81，而「解釋」嵌入式評量的平均數為2.44，差異達統計之顯著水準($z = 2.20$, $p = .03$)，效果量為0.58，達中度(Cohen)。顯示學生經過虛擬實驗後對熱傳導機制分子觀之知識整合程度有所提升。參與本研究理化教師曾預測其八年級學生於學習熱傳導分子觀會

表6：溫度與熱成就測驗前後測結果

	樣本數	平均數	標準差	*z*值	*p*值	效果量
溫度與熱前測	26	15.50	4.393	2.65	.01**	0.52
溫度與熱後測	26	17.69	4.106			

*$p \le .05$, **$p \le .01$

表7：實物實驗與虛擬實驗嵌入式評量分析結果

實驗類別	預測平均	預測標準差	解釋平均	解釋標準差	*z*值	*p*值	效果量
實物實驗	1.38	0.619	1.81	0.911	1.93	.05*	0.55
虛擬實驗	1.81	0.981	2.44	0.964	2.20	.03*	0.58

*$p \le .05$, **$p \le .01$

有困難，恐無法理解而影響學習成效(Chang & Linn, 2010)，本研究的結果顯示，課程中加入的熱傳導分子虛擬實驗對學生的學習有正向的效果。另外，前後測與嵌入式評量的結果一致，本研究之溫度與熱課程及其中的兩種實驗——實物實驗與虛擬實驗——對本研究八年級學生的學習有中度的效果量。

二、學生於實物實驗與虛擬實驗中顯現之實驗能力

(一)擷取研究問題能力

學生在實物實驗與虛擬實驗活動中要先由課程所提供之情境擷取研究問題，根據學生於擷取研究問題嵌入式評量上的回答，分析結果整理於表8。

在實物實驗中有31%的學生展現適當擷取研究問題能力，44%的學生之研究問題為部份適當，仍有25%的學生無法從課程提供的情境中擷取研究問題。在進行虛擬實驗時，有31%的學生展現適當擷取研究問題能力，25%的學生之研究問題為部份適當，而有44%的學生無法從課程提供的情境中擷取研究問題。整體而言，除了三組學生無論在實物或虛擬實驗皆顯示其無法適當擷取研究問題外，共有八組學生能將擷取研究問題能力由實物實驗過渡至虛擬實驗(7組表現相同)或是表現更佳1組)，而有五組學生則顯現退步的情形，亦即無法將實物實驗所展現的擷取研究問題能力過渡至虛擬實驗之組別佔的比例頗高(31%)，顯示同樣進行擷取研究問題的任務，在本研究之虛擬實驗中較多學生顯現困難，推測原因與研究情境是否令學生感到熟悉有關，實物實驗有關冷熱感覺與溫度，與學生日常生活經驗息息相關，然而虛擬實驗觸及分子概念，研究情境與陳述較無法由學生日常生活可觀察之現象出發，可能為造成部份學生理解研究情境之困難。

(二)選擇實驗物件能力

學生在進行實物與虛擬實驗時，需依研究目的選擇不同材質物品進行實驗。分析結果整理於表9。整體而言，學生在虛擬實驗表現較佳，有81%學生能適當選擇不同材質物品進行實驗，相較之下，僅有56%的學生於實物實驗時適當選擇實驗物件。可能原因係在虛擬實驗中已限制學生可選擇之物件，相較之下，學生進行實物實驗時，有7組學生未能依研究目的選擇適當的物件(例如：選擇同樣材質的物品進行溫度測量，然而研究情境與問題係為「不同材質之冷熱觸感不同的物品其溫度為何？」)，如同一些動手做的活動通常可以引起學生的好奇心與趨動其進行任務，如何引導學生在動手做的同

表8：擷取研究問題能力與過渡情形(n = 16)

實物實驗擷取研究問題能力得分			虛擬實驗擷取研究問題能力得分		
			不相關	部分適當	適當
			0分	1分	2分
		組數(百分比)	7 (44%)	4 (25%)	5 (31%)
不相關	0分	4 (25%)	3		1
部分適當	1分	7 (44%)	4	3	
適當	2分	5 (31%)		1	4

表9：選擇實驗物件能力與過渡情形(n = 16)

實物實驗選擇實驗物件能力得分			虛擬實驗選擇實驗物件能力得分		
			不適當	部分適當	適當
			0分	1分	2分
		組數(百分比)	1 (6%)	2 (13%)	13 (81%)
不適當	0分	0 (0%)			
部分適當	1分	7 (44%)		1	6
適當	2分	9 (56%)	1	1	7

時，更能心到並有目的的進行操作，為實物實驗活動要關注的重點之一。另外，在實驗能力過渡方面，可以由實物實驗過渡至虛擬實驗或者更佳的組別共有14組，僅有兩組有退步的情形，相較「擷取研究問題」有5組無法過渡的情形，顯示於實驗物件選擇能力方面，有較多組能進行實驗能力的過渡。

(三)解釋實驗結果能力

學生在實驗完成，需於嵌入式評量中針對實驗結果進行解釋，分析結果整理於表10。整體而言，學生在虛擬實驗表現較佳，共有八組學生顯示簡單或複雜但皆為適當的解釋，相較之下，僅有五組學生於實物實驗展現簡單或複雜但皆為適當的解釋。

推測前述結果可能原因與虛擬實驗之環境係為理想化環境有關，其中的分子動畫模擬與溫度曲線圖，均為經過理想化之標準模型(Xie & Tinker, 2006)，旨在透過由學生的互動與操作，清楚傳達其中包含的科學概念，此部份也提供本研究所融入之分子模擬係對八年級學生是有效的證據，由學生之側錄檔發現學生在進行虛擬實驗結果解釋時，會回上個頁面重覆操作虛擬實驗，反覆觀看與檢查證據，此舉有助學生產生適當的實驗結果之解釋。相較之下，在有限的學習時間下，實物實驗的進行通常無法重覆，而實驗的操作如溫度測量，在非理想的環境下，更常出現實驗誤差，造成學生解釋實驗結果與連結科學概念的困難。本研究進行實物實驗時，有6組學生無法為實物實驗結果提出適當的解釋，這六組學生均無法由溫度測量的數據，連結到「不同材質物品久置教室會與周遭達到熱平衡而溫度相同」的科學原則，係與其所測得之溫度有小數點之誤差而造成的混淆、以及所處環境未達熱平衡(例如：測量電腦主機旁的物品溫度較高)超出學生所能推理之範圍有關。此一部份需要更多教

表10：解釋實驗結果能力與過渡情形(n = 16)

實物實驗解釋實驗結果能力得分			虛擬實驗解釋實驗結果能力得分			
			不適當	部分適當	簡單適當	複雜適當
			0分	1分	2分	3分
		組數(百分比)	2 (13%)	6 (37%)	6 (37%)	2 (13%)
不適當	0分	6 (37%)	2		4	
部分適當	1分	5 (31%)		5		
簡單適當	2分	2 (13%)			2	
複雜適當	3分	3 (19%)		1		2

學的設計與教師引導，為實物實驗設計應留意處之一。

而在解釋實驗結果能力的過渡方面，除了有兩組學生無論在實物或虛擬實驗皆無法適當解釋研究結果外，有四組學生表現更佳，共有九組學生能將解釋研究結果能力由實物實驗過渡至虛擬實驗(9組表現相同)，而有一組學生則顯現退步的情形。

比較學生於實驗能力三方面、由實物至虛擬實驗的過渡情形，本研究結果顯示，多數組別均能過渡其實驗能力，不能過渡的組別數，在擷取研究問題能力方面最多(5組)，選擇實驗物件能力次之(2組)，解釋實驗結果能力最少(1組)，學生不能過渡實驗能力，係顯示任務的難易程度加深，意即在本研究的虛擬實驗中，學生較有困難的是理解研究情境與問題，而在實驗操作與解釋方面出現較少的困難。雖然如此，由前述虛擬實驗嵌入式評量的分析結果顯示，學生進行虛擬實驗前後的知識整合程度有顯著提升，顯示整體而言虛擬實驗對學生的知識整合提升是有幫助的。

三、學生於實物實驗與虛擬實驗中使用之學習策略

學生在實物與虛擬實驗中自發產生的學習策略之百分比，整理如圖3。由圖3可以發現，不論在實物或虛擬實驗中學生所使用的學習策略比例最高的均為「問答」，而使用學習策略比例最低的則均是「預覽」。進一步分析學生在「問答」之對話，可將學生的問答方式分為兩種，第一種是「技術性」問題，為學生對於課程介面、任務流程、軟硬體設施操作等方面的問題，第二種是「內容性」問題，係為學生在實驗中，與科學概念相關之問題。分析學生的討論對話，發現學生透過與同儕及教師的內容性問題之問答，可幫助學生釐清想法，建立正確適當的科學概念。此外，比較學生在實物與虛擬實驗中所使用的學習策略百分比後，發現兩者之間差異較大者有「連結」與「分工」學習策略的使用。

圖4與圖5進一步分析與比較，在實物與虛擬實驗的三個階段，包括學生聚焦研究問

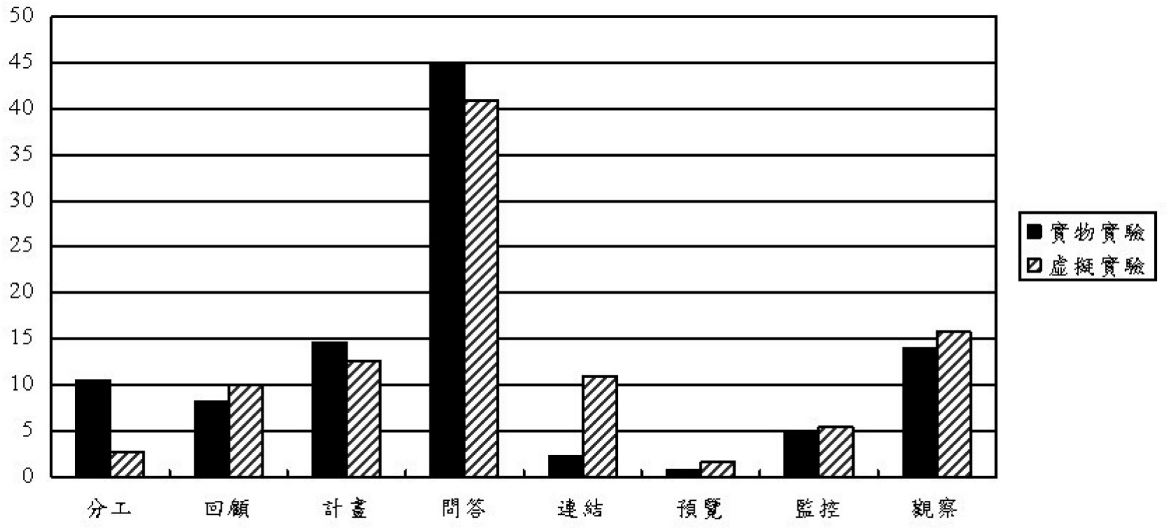

圖3：實物實驗與虛擬實驗學習策略百分比

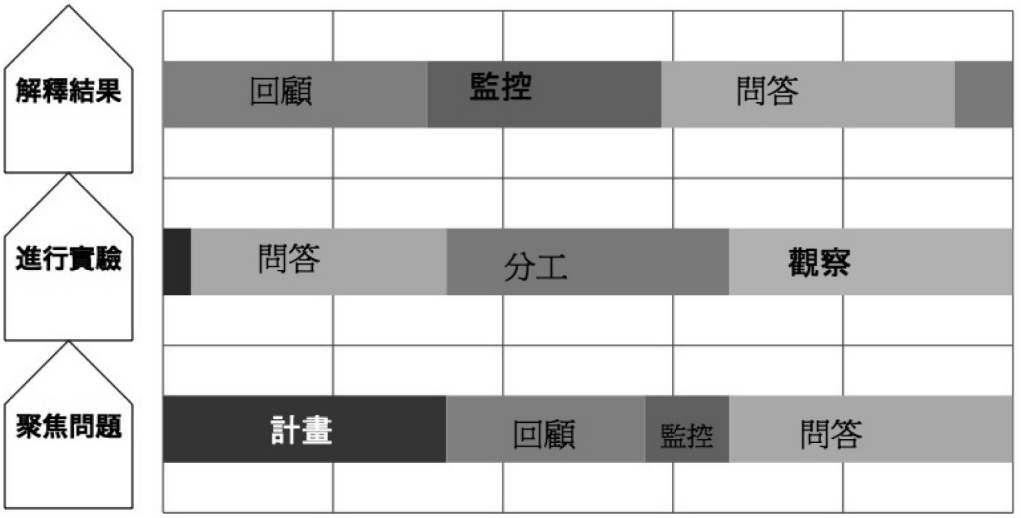

圖4：實物實驗不同階段之學習策略(出現百分比最高前三種類)



圖5：虛擬實驗不同階段之學習策略(出現百分比最高前三種類)

題、進行實驗操作、與解釋實驗結果，其所展現的學習策略。圖中特別標示出各階段出現頻率最高的前三種類的學習策略。比較圖4與圖5，在聚焦研究問題階段，學生在實物與虛擬實驗都常使用高層次學習策略，如計畫，不同的是，在進行虛擬實驗時，較多學生使用「連結」的策略，利用連結其過去的經驗，來瞭解研究情境，此結果與本文前述討論實驗能力的結果互為呼應，意即比起實物實驗為可觀察現象的研究情境，本研究之分子觀虛擬實驗之情境對學生來說是較為不熟悉，有的組別無法由課程所提供的研究情境中理解研究問題，但本研究認為融入分子觀的虛擬實驗屬課程中意欲的困難(desirable difficulties; Linn et al., 2011)，本研究結果顯示，有多數組別仍可自發利用「連結」的學

習策略，瞭解研究目的與學習任務，並且前述的虛擬實驗嵌入式評量顯示，進行虛擬實驗後提升了學生對於熱平衡機制的知識整合，對學生學習溫度與熱概念有中度的正向效果量。這些證據皆支持於八年級溫度與熱課程中融入分子觀虛擬實驗活動。相較之下，學生在實物實驗聚焦研究問題時，則多採用「回顧」，即回顧先前頁面所呈現的研究情境文字敘述，以瞭解研究目的與學習任務。

學生在進行實驗時，不論於實物或是虛擬實驗，最常使用的學習策略皆為問答、分工、與觀察，但在實物實驗「分工」出現的頻率與百分比較高，此與實物實驗中的實體特性(tangibility)有關，在本研究實物實驗時，學生選擇六樣周圍的物件並進行溫度測量，因多樣實體物件的存在，學生得以使用「分工」的學習策略以分配其所獲得的學習資源，輪流進行不同物件的溫度測量。相較之下，在電腦上的虛擬實驗的物件非實體物件，學生可以操作的實體只有電腦，本研究觀察發現在虛擬實驗時，學生輪流使用電腦的情形較少見，在兩人一組共用一臺電腦的情形下，學生多為一人操作虛擬實驗，但共同進行討論。

在學生解釋實驗結果階段，不論於實物或虛擬實驗，多數學生採用回顧與問答的策略。較不同的是，在實物實驗時，較多的學生自發使用「監控」的高層次學習策略，包括討論確認是否完成任務、答案是否正確以及進行進度，本研究在前述實驗能力的分析時，即發現學生於實物實驗的解釋實驗結果階段，出現較多的困難，此一困難可能驅動學生使用高層次學習策略「監控」，以確認其解釋實驗結果的適當性。相較之下，在進行虛擬實驗解釋結果時，學生除回顧之前頁面與提問外，亦會重新操作虛擬實驗並觀察結果，以幫助其進行實驗解釋。而重新操作實驗並觀察以幫助結果解釋的部份為虛擬實驗輔助學習之特有特色，亦為實物實驗的限制之一。

伍、結論與建議

本研究以知識整合觀點，分析所修改之「溫度與熱」課程中實物與虛擬實驗對於促進學生溫度與熱知識整合的成效，嵌入式評量結果發現，本研究中不論實物與虛擬實驗活動，對學生的知識整合程度，均有正向的中度效果量。相較於國內所有的教課書均未於溫度與熱單元融入分子觀的熱傳導機制概念，本研究提出之課程融入分子觀之熱傳導虛擬實驗，研究結果並未發現我國八年級學生無法接受與理解熱傳導分子觀虛擬實驗，不支持某些參與教師的想法(Chang & Linn, 2010)。相反地，在溫度與熱課程中融入分子觀虛擬實驗，為一「意欲的困難」(desirable difficulty; Linn et al., 2011)，在本研究分析學生於虛擬實驗展現的實驗能力與使用的學習策略並與學生於實物實驗的學習進行比較，結果指出，學生對於理解該虛擬實驗的研究情境與問題的確出現較多的困難，但於此階段，學生也出現較多高層次學習策略的使用，如「連結」，且最終就學習成效而言，平均是有正向的中度效果量，與實物實驗的效果量相近。因此，就我國八年級溫度與熱課程是否可融入分子觀的虛擬實驗，本研究結果提出支持的證據。另外，本研究之「溫度與熱」課程，經分析符合多項九年一貫基本能力指標，為網路免費教育資源，提供教師於教課書之外的另一選項。但另一方面，研究結果亦指出，仍有某些學生需要更多的教學引導，以利用該虛擬實驗幫助學習，針對這些學生設計更進一步的學習活動或教學引導，為未來的研究方向之一。

另外，本研究利用分析與比較學生於實物與虛擬實驗中的實驗能力與學習策略，試圖瞭解實物與虛擬實驗活動於學生學習的角色以及其促進學生的認知的過程。在實物實驗方面，研究結果指出學生較容易理解本研究有關溫度與熱實物實驗的情境，包括研究問題與目的，但對於非理想環境下所得實驗結果的解釋、以及對於實驗誤差的背景知識，均有所不足，導致有較多學生無法由實驗結果歸納或推理出科學原則。另外，學生於實物實驗解釋實驗結果的階段，出現較多頻率的「監控」學習策略，包括確認其答案是否正確，也就是說，實物實驗中較困難的學習任務，如由非理想環境解釋實驗結果並產生科學原則，有可能驅使學生使用高層次學習策略；在本研究的虛擬實驗也觀察到類似的趨勢，如學生面對較困難的於虛擬實驗擷取研究問題階段，產生較多的「連結」的高層次學習策略；不過，有關本項趨勢需要未來更多的數據與證據驗證之。即便如此，本研究結果亦支持實物實驗於課程中的不可取代性(Klahr et al., 2007; Winn et al., 2006)，有關實驗誤差以及非理想狀態等係為理解「科學」不可或缺的一環，也應是溫度與熱課程中「意欲的困難」(Linn et al., 2011)。另外，本研究結果更進一步指出，實物實驗除了俱備實體、動手做的特性，若如本研究結合知識整合的觀點之課程設計，也俱備促進學生高層次認知如計畫與監控方面等特性。

在虛擬實驗方面，如同許多分析虛擬實驗特性之研究(孫光天、林勇成，2003；Finkelstein et al., 2005; Lee & Songer, 2003; Zacharia, 2007; Zacharia et al., 2008)，本研究之分子觀虛擬實驗呈現理想化以及事先設定的環境。本研究結果則進一步指出，如此的理想化環境對於學生進行實驗物件的選擇與實驗結果的解釋有所助益，但是，分子觀之虛擬實驗牽涉抽象的科學概念與情境，學生可能會出現較多理解虛擬實驗情境與研究目的的困難，未來研究可探討此方面進一步的教學與引導。此外，學生於不同階段的虛擬實驗出現不同的學習策略，其中包括計畫與連結的高層次學習策略，也包括與實物實驗相同的觀察與提問等學習策略，相較於實物實驗，不同的是，虛擬實驗允許學生於進行實驗解釋階段時，除了回顧先前的實驗結果外，也可再進行實驗操作與觀察，本研究發現多數學生在進行虛擬實驗解釋結果階段，會同步進行實驗的重新操作與觀察，這是在解釋實物實驗結果時，較難以進行的策略。另外，多數的學生可以將實物實驗所展現的實驗能力過渡至虛擬實驗，甚至在實驗物件選擇與結果解釋方面有更佳的表現。

誌謝

本文完成，感謝參與師生以及葉芳錦小姐幫忙校稿，並感謝國科會經費補助，計畫編號NSC98-2511-S-017-001。

參考文獻

1. 林小慧(2008)。CISC教學策略與國中生微粒概念學習成效之相關研究。**教育心理學報**，**39**(4)，533-554。
2. 孫光天、林勇成(2003)。網路虛擬實驗室融入五年級自然領域教學之研究。**南師學報：數理與科學類**，**37**(2)，33-56。
3. 陳文典、劉德生(1994)。國小學童對熱與溫度概念的認知。**科學教育學刊**，**2**(2)，77-113。
4. 張新仁(2006)。學習策略的知識管理。**教育研究與發展期刊**，**2**(2)，19-42。
5. 陳李綢(1995)。有效學習策略的研究與應用。**學生輔導**，**38**，40-47。
6. 劉宏文、張惠博(2001)。高中學生進行

開放式探究活動之個案研究——問題的形成與解決。**科學教育學刊**，**9**(2)，169-196。

7. 謝州恩、吳心楷(2005)。探究情境中國小學童科學解釋能力成長之研究。**師大學報：科學教育類**，**50**(2)，55-84。
8. 謝甫佩、洪振方(2003)。反思的學習策略對電磁概念學習遷移的成效。**師大學報：科學教育類**，**48**(2)，141-164。
9. 謝秀月(1995)。師院非數理系學生熱與溫度概念架構之探討。**臺南師院學報**，**28**，479-507。
10. 謝秀月、郭重吉(1991)。小學、師院學生熱與溫度概念的另有架構。**科學教育**，**2**，227-247。
11. American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
12. Bell, P., & Linn, M. C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, *22*(8), 797-817.
13. Chang, H.-Y., & Linn, M. C. (2010). *Transition to inquiry: Instructional practice of inquiry-based online science curricula in Taiwan*. Paper presented at the Sixth International Conference on Science, Mathematics and Technology Education. Hualien, Taiwan.
14. Chang, H.-Y., Quintana, C., & Krajcik, J. S. (2010). The impact of designing and evaluating molecular animations on how well middle school students understand the particulate nature of matter. *Science Education*, *94*(1), 73-94.
15. Clark, D. B. (2003). Analyzing student knowledge integration: Theories or pieces. In National Association for Research in Science Teaching. (Ed.), *Proceedings for the National Association of Research in Science Teaching Conference* [CD]. Philadelphia, PA: Editor.
16. Clark, D. B., & Sampson, V. D. (2007). Personally-seeded discussions to scaffold online argumentation. *International Journal of Science Education*, *29*(3), 253-277.
17. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
18. Davis, E. A. (2003). Knowledge integration in science teaching: Analysing teachers' knowledge development. *Research in Science Education*, *34*(1), 21-53.
19. Davis, E. A., & Linn, M. C. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: Prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, *22*(8), 819-837.
20. diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, *10*(2-3), 105-225.
21. Erickson, G. L. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, *63*(2), 221-230.
22. Erickson, G. L., & Tiberghien, A. (1985). Heat and temperature. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 52-84). Buckingham, England: Open University Press.
23. Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., et al. (2005). When learning about the

real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physics Review Special Topics–Physics Education Research*, *1*, 010103-1-010103-8.

24. Hegarty, M. (2004). Dynamic visualizations and learning: Getting to the difficult questions. *Learning and Instruction*, *14*, 343-351.
25. Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, *88*(1), 28-54.
26. Jaakkola, T., Nurmi, S., & Veermans, K. (2011). A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, *48*(1), 71-93.
27. Johnson, B., & Christensen, L. (2008). *Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches*. Thousand Oaks, CA: Sage.
28. Katims, D. S., & Harris, S. (1997). Improving the reading comprehension of middle school students in inclusive classrooms. *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, *41*(2), 116-123
29. Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics – An interpretative study. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(1), 85-106.
30. Klahr, D., Triona, L. M., & Williams, C. (2007). Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*(1), 183-203.
31. Lee, H.-S., Liu, O. L., & Linn, M. C. (2011). Validating measurement of knowledge integration in science using multiple-choice and explanation items. *Applied Measurement in Education*, *24*(2), 115-136.
32. Lee, H.-S., & Songer, N. B. (2003) Making authentic science accessible to students. *International Journal of Science Education*, *25*(8), 923-948.
33. Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, *13*(2), 177-189.
34. Linn, M. C. (2006). The knowledge integration perspective on learning and instruction. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 243-264). New York: Cambridge University Press.
35. Linn, M. C., Chang, H.-Y., Chiu, J. L., Zhang, Z., & McElhaney, K. (2011). Can desirable difficulties overcome deceptive clarity in scientific visualizations? In A. S. Benjamin (Ed.), *Successful remembering and successful forgetting: A Festschrift in honor of Robert A. Bjork* (pp. 235-258). New York: Psychology Press.
36. Linn, M. C., Davis, E. A., & Bell, P. (2004). *Internet environments for science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
37. Linn, M. C., & Eylon, B.-S. (2006). Science education: Integrating views of learning and instruction. In P. A. Alexander & P. H. Winne (Eds.), *Handbook of education-*

al psychology (2nd ed., pp. 511-544). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

38. Linn, M. C., Lee, H.-S., Tinker, R., Husic, F., & Chiu, J. L. (2006). Teaching and assessing knowledge integration in science. *Science*, *313*(5790), 1049-1050.
39. Lombard, M., Snyder-Duch, J., & Bracken, C. C. (2002). Content analysis in mass communication: Assessment and reporting of intercoder reliability. *Human Communication Research*, *28*(4), 587-604.
40. National Research Council. (1996). *National science education standards: Observe, interact, change, learn*. Washington, DC: National Academy.
41. National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy.
42. National Research Council. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academy.
43. Paik, S.-H., Cho, B.-K., & Go, Y.-M. (2007). Korean 4- to 11-year-old student conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*(2), 284-302.
44. Parnafes, O. (2010). Tracing knowledge reorganization: A fine grain analytical framework for looking at students' developing explanations. In K. Gomez, L. Lyons, & J. Ra-dinsky (Eds.), *Learning in the Disciplines: Proceedings of the 9th International Conference of the Learning Sciences (ICLS 2010) - Volume 1*, *Full Papers* (pp. 309-316). Chicago, IL: International Society of the Learning Sciences.
45. Quintana, C., Eng, J., Carra, A., Wu, H.-K., & Soloway, E. (1999). Symphony: A case study in extending learner-centered design through process space analysis. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: The CHI is the limit* (pp. 473-480). Pittsburgh, PA: ACM.
46. Slotta, J. D., & Linn, M. C. (2009). *WISE science: Web-based inquiry in the classroom*. New York: Teachers College Press.
47. Stratford, S. J. (1996). *Investigating processes and products of secondary science students using dynamic modeling software*. Unpublished doctoral dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
48. Triona, L. M., & Klahr, D. (2003). Point and click or grab and heft: Comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school students' ability to design experiments. *Cognition and Instruction*, *21*(2), 149-173.
49. Weinstein, C. F., & Mayer, R. F. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3rd ed., pp. 315-327). New York: Macmillan.
50. White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. London: Falmer Press.
51. Winn, W., Stahr, F., Sarason, C., Fruland, R., Oppenheimer, P., & Lee, Y.-L. (2006). Learning oceanography from a computer simulation compared with direct experience at sea. *Journal of Research in Science Teaching*, *43*(1), 25-42.
52. Xie, Q., & Tinker, R. (2006). Molecular

dynamics simulations of chemical reactions for use in education. *Journal of Chemical Education*, *83*(1), 77.

53. 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.
54. Zacharia, Z. C., Olympiou, G., & Papaevripidou, M. (2008). Effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, *45*(9), 1021-1035.

科學教育學刊
2011, 第十九卷第五期, 435-459

Chinese Journal of Science Education
2011, 19(5), 435-459

Combining Hands-on and Virtual Experiments to Promote Eighth-Grade Students' Knowledge Integration, Experimental Ability and Learning Strategies

Kun-Chen Tsai and Hsin-Yi Chang*

Graduate Institute of Science Education, National Kaohsiung Normal University

Abstract

In this study we investigated how hands-on and virtual experiments of heat and temperature could support 8th-grade students' knowledge integration of heat and temperature, development of experimental ability, and employment of learning strategies. The study employed mixed methods. Thirty-two eighth-grade students in Kaohsiung participated in this study. Data collected included pre-post tests, embedded assessments, and process videos during the hands-on and virtual experiments. The results indicate that both types of experiments effectively facilitated students' knowledge integration of the heat and temperature concepts. The majority of students were able to translate their experimental abilities from hands-on to virtual experiments. Moreover, students employed high-level learning strategies during both the hands-on and virtual experiments. Finally, we identified difficult areas in both types of experiments that require further curriculum support, including how to guide students to make sense of the experiment context and develop questions in the virtual experiment environment, and guide students to explain the experimental results and connect to science principles in the hands-on experiment environment.

Key words: Knowledge Integration, Virtual Experiment, Heat and Temperature, Hands-on Experiment

* Corresponding author: Hsin-Yi Chang