

## 第二章 文獻探討

### 2.1 建構學習與發現式學習理論

#### 一、建構學習理論

建構主義認為所謂的學習是指學習者以其既有的知識，主動與當前所呈現的知識作自省思考，建構新概念的過程(Lee, 1997)。亦即，學習者自行選擇、轉換所接觸的資訊，然後進行假設、決策等心智活動，並且能自動尋求新資訊、觀念和經驗，將已經存在且最適合的知識相連結起來(林合彥, 2004)。由於建構論的影響，知識是經由學生自我觀察外在事物後探索、體會、與省思等思考活動而建立的。建構論強調以學習者為中心，(Learner-Centered)的學習環境，學習者亦將工具當作學習伙伴。

#### 二、發現式學習理論

電腦模擬學習即是一種發現式學習的應用(de Jong 和 van Joolingen, 1998)。過去幾十年來，發現學習的研究已經由概念發現學習(concept discovery learning, CDL)逐步發展成更加精緻可靠的科學發現學習(scientific discovery learning, SDL)(van Joolingen 和 de Jong, 1997)。Ronen 和 Eliahu (2000)提出，當學習者的主要任務是在推論模擬模型的特徵時，許多研究會將模擬用在科學發現式學習上。Zhang et al (2004)指出，基於問題解決活動的建構式學習，包含設計且完成有系統的實驗，典型的方式就是科學發現學習(SDL)。

在發現學習中，學習者會碰到的廣泛難度，可分為四類：1.產生假設及改寫假設時的困難。2.缺乏設計的實驗。3.在資料解釋上的困難。4.與發現學習之規則有關的問題 (de Jong 和 van Joolingen, 1998) 。

Zhang et al (2004)將學習者在科學發現式學習上的學習困難，分析之後提出三重架構作為學習支援的設計。此三重學習支援類型之架構包括：1.解釋說明的支援：以知識的取及知識活化、適當的假設產生，及產生有意義且具整合性的理解，藉以幫助學習者。2.實驗性的支援：以鷹架模式提供學習者有系統且有效用的實驗活動。3.反省式的支援：增加學習者在探索過程中的自我覺察，且激發學習者反覆思考抽象概念及整合概念。在這以模擬為基礎的 SDL 支援設計的三重架構中，曾在模擬環境中做過一個 ES 與 IS 的研究。研究結果顯示，IS 在後測的直覺理解、靈活運用，與知識整合方面，有卓越的成效。然而在 ES 的後測表現上，皆無顯著成效。

## 2.2 電腦模擬學習與教學

### 2.2.1 電腦模擬的定義

電腦模擬有許多不同的定義，一般而言，模擬是指模仿真實現象發生的過程或，或者將原先複雜的自然現象簡化。而電腦模擬是利用電腦，模擬某實物或其現象，利用電腦快速的運算能力及多媒體週邊設備設計，將各種模擬現象或物件呈現在螢幕上，讓學習者進行學習、實驗，並能分析或計算出各種實驗可能會有結果，讓學習者即時得到變化情況或結果。電腦模擬教學為電腦輔助教學的方式之一，將電腦模擬應用在教學軟體中，達到輔助教學之目的。

Alessi 和 Trollip (2001)指出，模擬不能只是重複一種現象，還必須憑藉著省略、改變、增加細節或特色來簡化此現象，這是關鍵性的重點。因為用簡化的模型模擬，學習者可能就會解決問題，進而瞭解此現象的演化過程與特徵，以及如何控制這些特徵，或是知道怎樣的動作能進入不同的狀態。簡化的模型能夠幫助學習者建立他們自己對於此現象或程序的心理模型(mental model)，並且提供他們能夠探索、練習、測試，以及能安全又有效率地改善模型的機會。模擬在教學上可分為兩類：

**一、教導現象或物件本身(To teach about something)：**此類又細分為兩項

1.實體的模擬(Physical)：呈現自然界的物體或現象，簡化真實世界中需要的步驟，例如模擬科學實驗現象，學生可操縱畫面上之儀器並觀察產生的結果；可

模擬飛機的飛行，學生可在畫面上操縱飛航儀器並可看到機窗外景物的變動等。

2.反覆的模擬(Iterative)：又稱為過程的模擬(process simulations)。與反覆式模擬主要的不同在於「與學習者互動的方式」，學習者可以操作控制多個參數，操作完後觀察結果的變化，並可反覆練習。在反覆式模擬中，由學習者事先給定若干參數值，輸入程式後，電腦自動根據程式演算，在畫面上顯示模擬的結果或現象，供學生觀看或傾聽，學生無需插手干預反覆式模擬的進行。例如經濟學家在作歲收預測時，他事先設定若干經濟指標，如失業率、國民生產力、稅率等等，將這些數值輸入程式，經程式的執行後，歲收的估計便會顯示在畫面上。反覆式模擬的學習重點，是在讓學習者瞭解事先設定參數的值改變時，其結果如何跟著變化的情形。反復模擬的另一重要例子，是可將太快或太慢的真實過程，在畫面上以合適的速度顯示出來。

## **二、教導如何做某件事(To teach how to do something)：**此類又細分為兩項

1.程序的模擬(Procedural)：以連續的活動教導學習者達到某個目標，在程序模擬中，程序是指規則或達成某一事件的續列動作，例如儀器故障的診斷、車輛的啟動、太空梭的著陸、人體疾病的診斷等，都有一定的程序，程序模擬教學進行時，對每一學習者的動作，系統均會如同實際狀況般予以對應性的反應。

3.狀況的模擬(Situational)：在不同情況下，控制人或組織的行為及態度，通常會加上角色扮演的功能。狀況模擬是在模擬一個人處於各種不同狀況下的態度與行為，模擬就某一狀況作不同處置所產生的不同效應，或者模擬在某一狀況中

扮演不同角色的人的各種行為。例如在一個師範生的實習教學模擬中，電腦系統之學習者可扮演一新進教師的角色，他嘗試做一稱職的教師，以求續任，系統亦模擬數位理念不同的校長，讓實習教師歷練在不同校長領導下的處事方法，雖然其處事沒有唯一正確的方法，但有一些不同策略可增進其繼續留任的機會。

Alessi 和 Trollip(2001)認為實體的模擬有 3 種呈現方式：

1.在螢幕上呈現自然界的物體或現象，讓學習者有機會學習。許多自然界模擬的例子是應用在物理學及生物學上(如地心引力、光學、化學鍵、光合作用、氣候變化)，在工程學上(如內燃機、電線中的電子傳輸、電腦邏輯電路)，及在某些社會學上(經濟、都市計劃和心理學)。2.期間過長的現象會因真實時間的因素，而來不及觀察，當然更不可能讓學習者去操作。3.複雜的情境中，在模擬中工作比起在真實實驗室中工作，是較安全且較便宜的。此外，學習步驟被簡化，學習者就不用應付某些不可捉摸的自然或視覺操作，例如連結電線及讀取電壓計。

## 2.2.2 電腦模擬教學

Alessi 和 Trollips (2001)認為電腦模擬教學與傳統教導式(tutorials)和反覆練習式(drills)電腦輔助教學相比，具有下列三項優點：

一、學習動機：電腦模擬在學生學習情況下比教導式與練習式電腦輔助教學更具主動性，這種主動式的參與比起被動式的學習更能引發學習者的學習動機。

二、學習轉移：電腦模擬有良好的學習轉移功能，能使學習者將模擬所學到的知能，轉移到實際的情境。教科書或傳統電腦輔助教學只能提供一般知識或資料。

因此學生使用電腦模擬將可預期有較好的學習效果。

三、有效率：經由電腦模擬，學生在知識與技能的學習轉移上更具效率。

另外林合彥（2004）也舉出模擬教學的優點：1.將複雜的情境分割成數個步驟，讓學習者依照難度，以漸進的方式釐清抽象及複雜的概念。2.可取代某些性質較危險或花費昂貴的實驗。3.提高學習者學習動機。4.縮小抽象的學習概念和現實情境間的差距。5.發展批判思考、分析及解決問題能力。6.提供自我評量的管道

許多研究者已經比較過模擬學習(simulation-based learning)與傳統式學習模式的成效，發現電腦模擬缺乏有力證據以證明其成效大過於傳統教學模式 (de Jong 和 van Joolingen, 1998)。然而最近的研究中，已有許多工程學相關領域之研究，指出電腦模擬教學提升學習者學習成效，探討如下：

Doulai (2001)探討電腦模擬用於電能系統教學的概念，教學原則與潛在效益，實驗進行於大學與研究所合開之電能系統課程，一半學生使用電腦取向的教學方式，使用的模擬工具為 web-bases instruction(WBI)，是一將電腦模擬教學方式與網路合併的學習環境，並考慮學生的電腦素養以及老師的電腦融入教學模式，並強調一般性的課程設計及支援教材。此研究欲達到兩樣學習成果：在真實電能系統上的直覺理解及概念理解。直覺理解指的是學生當下的立即感覺與對於當時現象的辨別，界定及產生關聯。這樣的理解能力通常與經驗有關；而概念理解則是指直覺理解的進一步發展。此研究主要焦點放在學生對於學習與教學方式

上的評鑑，以質性研究方式分析學生對於教學方法改變之感覺。結果發現，學生使用電腦模擬軟體時，以探索方式學習能夠增進學習意願並因此促進學習效果與學生滿意度，並增加進步情況與提高課堂完成率。

Jan, T. S. 和 Jan, C. G. (2000)在以台灣為案例系統動力學模擬研究中指出，面對複雜的結構時，動態模擬比起心智架構，是更加具可靠性的。此方法強調做中學(learning by doing)及在嘗試錯誤中學習(trial-and-error)。在這反覆學習的的程序之下，在初始階段的學習者得到正向的回饋。

Wiesner 和 Lan (2004)認為，以電腦模擬輔助教學的趨勢之下，對於工程實驗教學帶來新的變動，可將傳統的實體實驗發展成電腦模擬實驗的教學方式。然而，鮮少有研究真正去探討學生在模擬化學工程實驗上的學習成效。此研究評量電腦模擬實驗對於學生學習進階單元操作上的成效，從三個層面比較實驗組與控制組的學生：1.在課堂過後的理解測驗。2.對生對於電腦模擬的態度問卷。3.學生的口頭報告。結果發現，發現學生在學習特定單元操作以及一般工程技巧上並無產生不利影響。學認為某些電腦模擬實驗值得稱許，但對整體的電腦模擬操作單元並不滿意。因此，雖然實體實驗在工程學上是不可或缺的，但確實可考慮，在不拖累學生學習的前提之下，逐漸增加電腦模擬實驗的比例。

### 2.2.3 視覺化模擬的效果

Naps et al. (2003)認為在最近的電腦科學教育者的研究中，廣泛地認為視覺化科技對學習有正面影響。但也質疑，視覺化的科技，無論設計的多麼良好，除非

能讓學習者致力於活潑的學習活動，否則都是沒有教育意義的。此外，比起其他感覺的及知覺的程序，視覺化呈現及活躍的經驗更佳能夠將學習逐漸灌輸進長期記憶中。從觀察中可推斷，當學習者進行視覺化呈現的程序時，最好還能加上操作符號標誌。

一些發現指出視覺化科技廣泛採用時會遇到的兩項障礙：1.從學習者的觀點而言，視覺化科技可能沒有教育上的益處。2.從指導者的觀點，視覺化科技可能會帶來太多支出費用而無法真正發揮其價值(Naps et al.,2003)。

最近幾年來明顯增加許多以電腦視覺化與模擬幫助學習的研究，這些研究幾乎涵蓋了所有科學的領域範疇(Luo , Stravers 和 Duffin., 2005; Jensen 2002; Khoo 和 Koh, 1998)。然而到目前為止，電腦視覺化及動畫在幫助學習成效的研究結果，有好有壞。有些視覺化的研究結果指出，視覺化無法增進學習效果(Reamon, 1997; Regan 和 Sheppard, 1996)。但也有些研究指出電腦視覺化對於學習有正面影響(Catalano 和 Tonso, 1996; Colaso et al., 2002; Luo et al., 2005; Jensen 2002; Meyer, 1997; Naps et al., 2003; Wallace 和 Mutooni, 1997)。在這些學習者增加學習成效的研究案例中，從這些多媒體學習工具中可歸納出五點共同的要素：1.以特定的學習目標引導軟體的發展。2.以學習者的回饋作為改善更新軟體版本的依據。3.使用開放式的問題。4.軟體必須要是能與學習者互動且具高品質的。4.以手動操作補充軟體工具的不足。

如同以上研究歸納出之第四點，再加上近幾年的視覺化成效研究結果，發現

其共通的建議，即是，視覺化若能加上與學習者互動，增加學習者操作機會，能夠增加其學習成效(Anglin et al., 2004; Tversky, 2002; Naps et al., 2003; Jensen 2002; Calaso et al., 2002; Korhonen 和 Molm, 2000)。

Wood 和 Bowe(2002)在連續幾年的研究中欲推行視覺化幫助工程力學的學習模組，以網頁及投影片的視覺化呈現在工程力學課堂幫助學習者對概念的理解。然而在 1999 年的研究結果，認為老師對視覺化的主觀意識與態度會顯著影響學習者接受視覺化的態度。學習者不喜愛用視覺化的原因有三點：1.學生不認為視覺化的學習活動能對之後的考試帶來益處。2.視覺化的教材內容太過艱澀複雜。3.老師對於視覺化教學模組持負面看法。於是在 2002 年的研究中，去除老師對視覺化的負面主觀意識這個變因，再次研究視覺化對於工程學的學習成效，這次研究結果，令人欣喜的是，證實了與傳統教學方式相比，視覺化的教學模組的確能夠增進學生的對工程力學的理解程度，並且能維持更長期的記憶。

Luo et al. (2005)提出一具互動式的視覺化輔助學習軟體(The Web-based Interactive Landform Simulation Model, WILSIM)，以此互動式模擬軟體用在公眾義務教育的自然地理課程上，藉以讓學習者瞭解因長時間才看得出其變化之自然地形。實驗進行方式係讓學習者先經過自然地理之先備知識前測，接著讓學習者使用 WILSIM 來模擬三種腳本的地形演變情況，學習者在此階段可以藉由操作不同參數(變數)，學習者可以在互動的動畫中觀察並探索地形是如何長期演化，每個腳本操作結束後皆必須回答幾個問題。進行完軟體的操作後，學習者必須接受

後測以及回答問卷。研究結果發現後測的平均分數輕微高於前測平均分數，但未達顯著。然而在問卷的分析結果發現，學習者強烈地認為 WILSIM 能夠幫助他們在自然地理上的學習。從學習者給予的回饋中顯示，他們特別喜愛此軟體能夠視覺化且以動畫呈現地形演化，以及在探索不同腳本時此軟體的互動性，還有此軟體容易使用的這三種特性。進一步分析此研究結果後測未顯著高於前測成績之原因為題目之設計不當所致，並建議未來研究的測驗問題要直接與實驗過程的模擬情節相關。

對於視覺化的設計，Naps et al. (2003)提出以下兩點建議：1. 支援動態回饋 (Support dynamic feedback)：在視覺化系統中，必須從活動中提供學習者動態的回饋。2. 補充說明 (Complement visualizations with explanations)：雙碼理論建議，若視覺化能伴隨著解釋說明，能被理解的更透徹。這樣的整合有許多種不同方式，例如在對應的圖解視窗中寫上伴隨的解釋，或是提供視覺化呈現相對應的音軌。

Colaso et al. (2002)認為視覺化模擬能在資料結構教學上有效果的關鍵特徵有幾項：1.學習者能夠控制視覺化動畫的速度。2.讓學習者能夠輸入以測試假設的能力。3.呈現邏輯上即自然界的資料結構觀點。4.讓動畫能夠重播關鍵的步驟。5.演算法虛擬碼的呈現。視覺化模擬軟體有提高學習者學習動機與幫助學習者將觀念儲存在長期記憶中的優點(Naps et al., 2003； Colaso et al.,2002)。

### 2.2.3 電子學模擬教學

電子學模擬教學成效的實徵研究十分缺乏，且無發現有視覺化模擬的應用實例，以下是其探討：

Doering (1997)以 Electronic Workbench®軟體(以下簡稱 EWB)配合筆記型電腦，創造出可攜的虛擬實驗室，用於大二學生之基礎電路課程之中，EWB 直覺性的拖曳與放開之使用者介面，讓學生能夠迅速在電路模擬上，就像是經歷實體實驗般得到成效，且學生能夠在作業進行的過程中從軟體得到回饋。從調查的自我評量結果中發現，EWB 最有效果的地方在於能夠幫助學生更加理解電路設備的運作模式，且在課堂上使用此軟體，當模擬電路即刻呈現時，能幫助學生更加瞭解概念。學生希望能夠將此模擬軟體用以檢驗作業結果的正確性，並能夠依照自己假設的情況做試驗。學生也高度認為此軟體能夠在學習過程中提供幫助。此外，學生對於往後學習電路相關課程時，是否繼續使用此軟體，也呈現高度正向意願的結果。

Ronen 和 Eliahu (2000) 將模擬視為有潛力的輔助工具，可能可以幫助學生跨越電子學在理論與實際上的鴻溝。為了這目的，模擬被用來當成一個中間媒介，連結真實現象與它的概略呈現。此研究以 9 年級學生作為實驗對象，DC-Kid 軟體為模擬輔助工具，探討在模擬軟體對於學習者在學習簡單電子電路的成效，研究結果發現，當已經熟悉模擬程式的學生，感覺到模擬程式可能幫助他們解決問題時，不需要額外介入或推薦，他們會領悟模擬程式的潛力並選擇使用它。有

使用模擬解決任務的學生與未使用模擬解決任務的學生在成就上有顯著差異。使用模擬促進學生的信心並增進學持續解決任務的動機。針對學生的工作詳細分析後發現，模擬的角色為有助益的回饋，幫助學生瞭解他們的迷思概念並加以改正，而增加操作(manipulate)模擬模型的額外體驗，能增強學生建立電路圖並以實際電路呈現的能力。建議未來研究中，可以嘗試著找出最有效的方式，將模擬整合入課堂教學之中，並與所有其他可用的方式連結，包含實際的實驗。

Campbell et al. (2002)研究在探討模擬電子電路實驗的軟體支援初學電子工程學的學生的學習功效。實驗(1)形成 ELS(Electronic Laboratory Simulator)的評估，以四間大學共 120 位受試者為對象，所有受試者接受相同的實驗處理：一班課程及實體實驗室，以及模擬實驗。受試者在使用模擬實驗之前及之後均接受書面的前測與後測試卷。結果發現，所有的模擬實驗成績總和來看，理論及實驗知識是有顯著進步的，但若將實驗分開來看，成績則呈現不一致的結果。實驗(2)針對 40 位初學電子電路實驗的大二學生，實驗組同時進行實體實驗及模擬實驗，控制組只進行實體實驗。依變項為學生的：1.完成一個新標準的實體實驗所需的操作時間。2.實驗及理論測驗的成績。3.對於實驗的評論。結果發現：實驗組的成績顯著高於控制組，在完成新實體實驗所需的操作時間則兩組一致，實驗組隊於使用模擬實驗的評價也大都是正向的。本研究顯示電子學實驗模擬學習至少能達到實體操作實驗的學習效果。

Barak (2004)此篇研究的目的是在於調查應用電腦模擬及網路於教學與學習電

子學的影響，研究對象為以色列高中學生，資料收集學生及老師的訪談，以及學生的考試成績。電腦化似乎只輕微影響由老師控制的活動，例如課堂報告及課堂討論。研究中以老師慣用的課程內容當作主要的學習理論概念架構。電腦模擬的應用使得部分活動得以學生中心的方式來進行，例如標準的實驗室實驗活動，且能夠讓資訊收集，分析與呈現的方式更加多元化，可能產生的問題是如何避免讓電腦模擬的使用淪為學生玩樂的工具。使用電腦及通訊科技能夠增加學生學習動機，促進更進一步的學習，並鼓勵學生之間的合作與知識交換。結果發現，最具意義的影響在於學生的專案作品，因為提升了學生資料收集能力與增加設計作品之彈性，即時結合軟硬體完成作品，並促進學生之間的合作學習。