

工業設計學生在立體電腦輔助設計學習模式評估之研究

工業設計學生在立體電腦輔助設計學習模式評估之研究

吳正仲

國立台北教育大學

造形設計系助理教授

E-mail: wwwjc2000@tea.ntue.edu.tw

摘要

立體電腦輔助設計（以下簡稱 3D CAD）廣泛應用在目前的工業產品生產，也是工業設計相關科系學生必備的技能之一，該領域教育訓練之學習評估方法，僅有少數相關研究，而對於偏人文藝術背景之工業設計科系學生之學習模式研究尚缺乏。因此，本研究在於探討 3D CAD 合適的學習評估方法，以及瞭解設計科系學生之學習模式，研究主要發現有：

1. 提出之定義尺寸數的敘述性知識學習曲線建立方法，可量測出程序性知識在學習過程中之影響，同時適用於簡單與複雜 3D 模型之學習分析，也可以應用於進階學習之評估。
2. 結合建立定義尺寸數的學習評估，應用瑞特（Wright）的學習曲線理論描述學生 3D CAD 之學習模式，可用以評估學生學習之發展過程，進而安排適當的教學時數，使教學更具經濟性與效率。
3. 目前主流的參數化、以關聯式特徵為基礎的實體建模軟體之建模原理是相同的，因此本量測與評估方法也適用於其他的軟體。
4. 工業設計科系學生學習 3D CAD 相對工程背景學生學習速度較慢。可考慮補充數學基礎、工程技術概念等相關知識，以改進學習成效。

關鍵字：立體電腦輔助設計、敘述性知識、程序性知識、學習曲線

壹、緒論

自從參數科技公司（以下簡稱 PTC）於 1988 推出市場第一套參數化、以關聯式特徵(features)為基礎的實體建模軟體 Pro/Engineer 以來，近二十年的發展，參數化且以關聯式特徵為基礎的實體建模方式，已是 3D CAD 軟體之發展主流（如 Pro/Engineer、Solidworks、Inventor 等），此屬性之軟體包含數學基礎、電腦技術、工程技術、空間幾何與模型設計方法等應用知識，且廣泛應用於機械、電子、建築等工程領域。林輝亮（1999）分析荷蘭愛因和文（Akademie Industrial Vormgeving Eindhoven, AIVE）工業造形學院的電腦輔助工業設計課程，及德國 Hartmut Esslinger 在 1990 年所提出的數位型包浩斯（Digital Bauhaus）工業設計課程架構中，均將 3D CAD 列為主要的學習課程。張文智（2003）認為今天的設計教育應該不斷的加強電腦輔助設計軟體之學習，務必讓學生在校即能熟悉廣為業界使用之軟體，同時指出美國知名學府 Art Center College of Design 在這方面有傲人的成就，使得他們的學生廣為業界所歡迎。

由於產業分工，並透過數位資訊整合，提高了生產力與競爭力，因此，3D CAD 已是設計必須之工具，而在國內、外大學中，工業設計相關科系學生之養成教育中，也是必備技能之一。拜電腦科技所賜，3D CAD 之應用普遍化，且版本功能更新快速，同時也伴隨著龐大的教育訓練活動；因此，國內、外在業界及大學中，也對 3D CAD 之教育訓練，有極高的興趣（Desrochers, 2002; Sapidis, & Kim, 2004; Rossignac, 2004），同時也是必須面臨的課題，然國內相關研究不多，國外之探討則均針對機械、電子等工程領域之訓練對象（Kodali & Bhattacharya, 1989; McDermott & Maruchek, 1995; Sugita, 1999; Hamade, Artail, & Jaber, 2007），缺乏對非工程背景相關科系學生學習之探討。研究者在 3D CAD 教學有十餘年之經驗，其中近十年在教授設計相關科系學生，該類學生偏重藝術美學、造形原理、設計方法之訓練，但缺乏在數理的訓練，其思維上與工程背景之學生有顯著的差異，在學習機械工程、數學屬性之 3D CAD 上，尚無相關之探討。因此，本研究以本系學生為對象，探討工業設計相關科系學生在 3D CAD 之學習模式與成效，研究結果除了可以提供給設計教育界在相關教學課程改進之參考外，並可提升該類學生 3D CAD 之技能。

貳、文獻探討

一、3D CAD 特性

CAD 的起源是於 1962 年由 Ivan.E 在 MIT 撰寫之博士論文首先提出的。其所撰寫之論文題目為「隨筆集 - 一個機械繪圖傳播系統」(Sketchpad – A Machines Graphical Communication System)。此篇論文的提出，原本僅是單純的學術論文，卻無意間產生極大的影響，促使 CAD 成為人類社會中極重要的新領域。Elsas & Vergeest (1998) 提出在設計早期階段導入電腦輔助的優點包括：1. 可以增加構想設計的品質。2. 允許設計替選案的快速產生。3. 提供了設計替選案之間較良好的溝通與評估依據。4. 由於早期的設計決定，會對最終設計的花費有很大的影響，因此，可以減少失誤的花費。許宏瑋 (2004) 指出以往大部分電腦輔助設計的研究偏重設計過程中的後期階段，但是近幾年對於設計前期階段的研究逐漸增加，越來越多關於電腦輔助構想發展的研究被提出，而隨著科技與電腦軟體的發展，電腦輔助設計已經慢慢成為創造性設計工作可靠和有效率的工具，也是工業設計師必備之技能。

在 3D CAD 系統中，目前可分為曲面模型 (Alias, Rhinoceros 等) 與實體模型 (Solidworks, Inventor 等) 兩大類，而整合這兩類 CAD 系統，已是 3D CAD 的發展重點 (吳梵，1997)。曲面模型對於複雜的曲面造形，有很強的構建能力；而實體模型則對於 3D 的實體，能作精確的尺寸設計。曲面模型目前大都以 NUBRS (Non-Uniform Rational B-Spline) 曲面建構，所謂 NUBRS 是一種以數學方程式來定義造形的理論，它對於造形設計工作而言，能提供任意控制自由曲線，自由改變造形曲面，而曲線始終保持平順流暢，加上及時控制並顯示，設計思路不會中斷。1989 年 Evans & Sutherland 公司發表第一套採用 NUBRS 理論的軟體—CDRS 系統，然而 1995 PTC 自 Evans & Sutherland 購入 CDRS，並整合在 Pro/Engineer 內為 STYLE 模組，成為一套同時具有參數式具關聯特徵實體模型與 NUBRS 曲面模型之完整設計開發軟體，且設計到製造採用單一資料庫，縮短產品的開發時程 (吳正仲，2007)，並具有全方為的功能，使 Pro/Engineer 在產業界具普及性，讓該軟體在產品設計之數位資料移轉獨具優勢 (劉懿元，2003；倪冠群，2005)。

二、3D CAD 教育訓練

Bhavnani, John, & Flemming, (1999) 指出即使受過正式的訓練，且具有多

年經驗的使用者，在使用複雜的 CAD 系統時，仍持續存在著無效率的技法，在該研究實驗證實結合構圖策略的指令教學，與企圖構圖前先思考清楚佈圖，可以顯著提升繪圖的效率，並排除無效率的技法。

Ye, Peng, Chen, & Cai, (2004)以文獻探討與問卷調查的方式進行研究，將 CAD 的從業人員分成四類（CAD user, CAD application developer, CAD software developer, & CAD manager），對世界知名 CAD 公司進行問卷分析，結果指出，應該讓所有 CAD 的從業人員，在大學期間接受基礎的電腦科學、數學、設計方法及 CAD 系統評估之教育內容，而後三類的從業者尚須接受其他的進階訓練。McDermott & Maruchek, (1995) 對電子/通訊工業 CAD 訓練的研究調查，顯示正式訓練（classroom-based）較能提供 CAD 技術的管理熟悉度，而非正式訓練則較能改進工作調整所需，但 CAD 技術的熟悉性較少。

Lang, Eberts, Gabel, & Barash (1991) 指出 CAD 操作者的工作知識包含陳述與程序知識(declarative and procedural knowledge)，但大部分的訓練偏重在陳述知識之訓練，而忽略程序知識。該文針對 CAD 的生手、系統專家（對實驗軟體熟悉的使用者）與設計專家，進行實驗分析，測驗結果顯示，系統專家若未應用程序知識，則其表現並未比設計專家好，反之，則會有較佳的表現；設計專家和生手在陳述知識的表現均不佳，這是由於兩者都不熟悉測試軟體。由此可知程序知識是可以應用在不同介面之 CAD 軟體。Garcia, Santos, Quiros, & Penin (2007) 指出西班牙在 1990s 更新全國所有大學課程大綱時，CAD 被訂定為許多技術領域之核心課程，此後，教師使用各種不同的方法和軟體教授 CAD，課程中實際的練習比重是逐漸增加的趨勢，在對學生學習的評估上，也認為給更多的每日作業，比傳統的期末測驗重要。然而在實際練習的實施，也面臨了三項問題：1.如何抑止拷貝的問題？ 2.電腦和軟體數不足時？ 3.學習評估的準則，應該是 CAD 的知識，還是繪圖技術的知識？再者，許多的授課教師認為，應該發展具有所有基礎指令，而可用以學習 CAD 專用的軟體，取代普遍教授商業軟體之教學型態。大部分的大學只是教授商用 CAD 軟體，在考慮學生未來職場的需求雖然是重要的，但公司可能經常性更換軟體，或更新版本，使得軟體知識被淘汰，因此，該研究認為大學不必教授特定軟體，而是教 CAD 軟體的使用準則，但目前大學中教授商用 CAD 軟體仍是普遍存在的現象。

對初學者而言，傳統教室的基礎訓練仍是必要的，而且較能提供 CAD 技術的管理熟悉度；3D CAD 的教育訓練，其工作知識包含陳述與程序知識

(declarative and procedural knowledge)，基礎的數學、工程技術等為所有 CAD 從業者應具備的基礎訓練，即是程序知識應加強的部分，而不同軟體之介面操作知識則有顯著的不同，這是陳述知識所主控的部分，也是業界與學界觀點不同之處，學界認為學習 CAD 軟體的使用準則以程序性知識為教學目標，而業者則認為學習應包含介面操作知識的商用軟體是必要的，就目前教育專用學習 CAD 的軟體，尚無廣泛被接受的成功例子，目前國內、外大學中教授商用 CAD 軟體仍是普遍存在的訓練方式，因為他們的學生會為業界所歡迎。

三、3D CAD 學習之評估

學習曲線可以應用在許多領域，在教育訓練上，可以評估不同的教材教法學生的學習速率，當學生的學習進入穩定的成熟階段時，也是達成教學目標，結束教學活動的時機，提供教育訓練成本考量的明確目標點(Hamade, Artail, & Jaber, 2005)。多年來，用以擷取人類在重複性工作任務的行為表現，有多種的學習曲線被提出，但到目前為止，Wright, (1936)所提出的學習曲線，由於使用簡潔且對以經驗為根據的資料有很好之描述性，並廣為相關之研究者所接受 (Yelle, 1979; Lieberman, 1987; Mohamad Y. & Maurice Bonney, 1997; Hamade, Artail, & Jaber, 2007)，其學習曲線的方程式如下：

$$y(n) = y(1) * n^{-b}$$

$y(n)$ = 第 n 次疊代 (學習) 的生產時間

$y(1)$ = 第 1 次疊代的生產時間

n = 疊代數

$$b = \frac{\log \phi}{\log 2} \quad (\text{學習指標})$$

ϕ = 學習率 ($0 \leq \phi \leq 1$)

當學習率 ϕ 有較大的斜率，表示有較快的學習速度。

Dar-El, Ayas, & Gilad(1995)提出雙相學習曲線模型 (dual-phase model)，用以描述大部分工業上的工作任務，這些工作包含認知技能(cognitive skill)與動作技能(motor skill)兩種的學習行為，該學習曲線模型提出在學習過程的初期，認知技能是主要的支配因素，之後，隨著學習過程的持續進行，認知技能的學習逐漸遞減，動作技能成了主要的支配因素，經由實驗證實符合該雙相學習曲線模型，如圖一所示；該研究也指出，對較簡單的工作任務，認知技

能具有較小的影響。就 3D CAD 的學習過程，其工作任務是較繁複的內容，也是包含認知技能與動作技能兩種的學習行為，可以雙相學習曲線模型來描述。雙相學習曲線的方程式如下：

$$y(n) = \{y_c(1) + y_m(1)\} * n^{-b} = y_c(1) * n^{-b_c} + y_m(1) * n^{-b_m}$$

$y(n)$ = 第 n 次疊代（學習）的生產時間

$y_c(1)$ = 認知技能第 1 次疊代的生產時間

$y_m(1)$ = 動作技能第 1 次疊代的生產時間

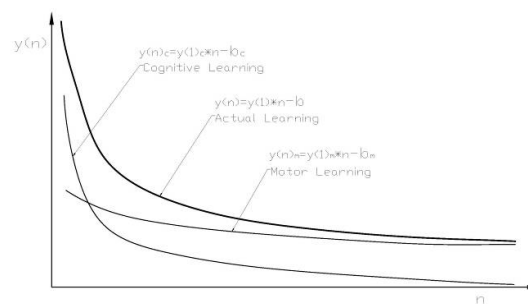
n = 疊代數

$$b_c = \frac{\log \phi_c}{\log 2} \quad (\text{認知技能學習指標})$$

$$b_m = \frac{\log \phi_m}{\log 2} \quad (\text{動作技能學習指標})$$

ϕ_c = 認知技能學習率 ($0 \leq \phi_c \leq 1$)

ϕ_m = 動作技能學習率 ($0 \leq \phi_m \leq 1$)



圖一：雙相學習曲線模型

參、研究方法

本研究教學實施每週授課三小時，為期一學期，對象為本系大二學生合計有 20 位，具有一學期基礎的 2D CAD（AutoCAD）訓練。以下是本研究教學教材與教法之說明：

一、教材

本研究採用林清安（2007）專為大專院校所設計的 Pro/Engineer 教學教

科書 *Pro/Engineer Wildfire 基礎入門與範例* 作為教學與學生課後之參考教材，在上課過程中適當運用課本內容，引導學生學習並掌握進度，同時補充所整理發展的相關教學資料，並提供研究者製作的教學錄影檔讓學生課後研習。

二、教法

在 3D CAD 教學教法上，可以概分為 Bottom-Up 和 Top-Down 兩類，Bottom-Up 教學法的特色是先廣泛地介紹各種指令的功能與應用，最後再導入各種產品模型的建構，使用所學習過的指令來完成建模；Top-Down 教學法則是以產品模型範例導入教學，透過建模過程中學習各種指令的使用。隨著軟體功能的不斷提升，指令種類和數量也不斷被擴充，因此，Bottom-Up 的教學法便顯得冗長和單調，較難引發學習動機，Top-Down 教學法可以規劃漸進式的模型範例，可提升學習者的動機，同時增加學習的成就感，所以，本研究採用 Top-Down 教學法，在目前 3D CAD 教法上也是較為多數。

三、評量

目前國內、外在 3D CAD 的學習評量上相當缺乏，本研究採用 Hamade, Artail, & Jaber, (2007) 所提出針對初學者評估的 4 個初階實體模型，如圖二所示，其特色是不同模型之間的難易度設計接近相同，但彼此之間保持充分的相異，以避免學習者重複建構相同的模型。以此原則，研究者再據以發展 3 個進階實體模型，如圖三所示，用以評估簡易與複雜模型構建過程中，學習者學習模式之特性。在 4、8、12、16 週分別進行評量，除第 4 週僅進行初階模型評估外，其他則包含初階及進階模型評估，每次進行評量前，學生有 1 分鐘可以進行模型構建之檢視與發問，之後，分別記錄每位受測者完成建模之時間。





模型 1 剖識圖



模型 2 剖識圖



模型 3 剖識圖

圖三 進階測驗實體模型

知識可以典型地區分陳述知識與程序知識兩類，而程序知識是受測者智慧、受教育訓練、直覺理解等不可見的內心思考所援引的知識，如何在工業工作任務中擷取程序知識，正是研究者有興趣的主題，Watkins, Dimopoulos, Neville, & Li (1993) 發展可以獲取程序知識的專家系統軟體工具，應用在工程系統的診斷與辨識。在 3D CAD 操作學習中，通常以追蹤紀錄整個建模過程中特定功能表中命令的點選執行數目來量測知識的獲取。Lang, Eberts, Gabel, & Barash (1991) 以 GOMS (Goals, Operators, Methods, Selection rules) 來表示 CAD 軟體訓練內容中建模過程之資訊，是相當可行的方法，可以用以記錄 CAD 使用者和軟體之間的互動情形（包括無形不可見的內心思考與外在可見的指令操作），該研究引用 KLM (the Keystroke Level Model) 來評估分析整個建模過程中點選/擊鍵次數、擊鍵間之暫停時間，這個方法應用較困難且不夠精確，無法評估取消與重做操作之影響。Hamade, Artail, & Jaber, (2007) 則提出間接量測的方法，以量測整個建模過程的時間（包含取消與重做操作之影響）與建構的特徵數目，該研究提出當學生使用較複雜、困難的指令建立特徵時，其完成建模的特徵數最少，且建模時間最短，這是建模過程中陳述知識的部分，可用以區別陳述知識與程序知識，並完成學習曲線之建立。然而，參數式特徵關聯的 3D CAD 軟體的教育訓練中，建模的策略是採用合理的特徵數反而有較快的建模速度（林清安，2004；康鳳梅，2005；郭宏賓，2006），而非最少的特徵數目，因此，以規範幾何限制條件與尺寸數目進行探討應該是較合理的方向。

肆、研究結果與分析

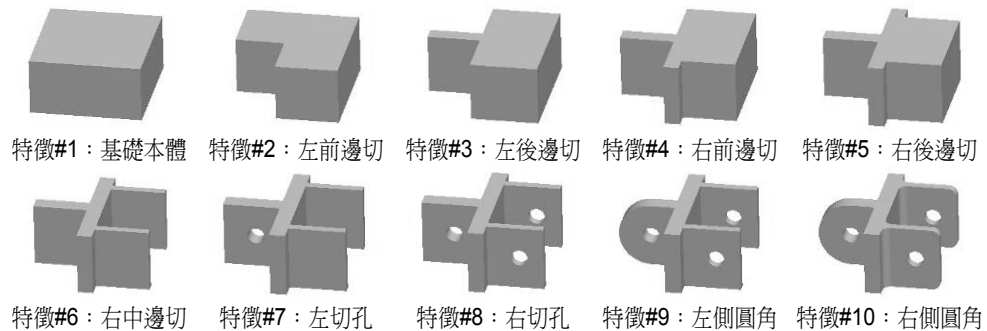
一、學習評估

在關聯式特徵為基礎的實體建模方式中，實體的構建方法有引伸（protrusion）、旋轉（revolve）、掃描（sweep）與混合（blend）等，設計者根據自己的程序建構策略，應用各種的實體構建方法，最後完成產品模型的建模。由於設計者的專業素養不同，因此，所採用的建構策略和方法也有出入，

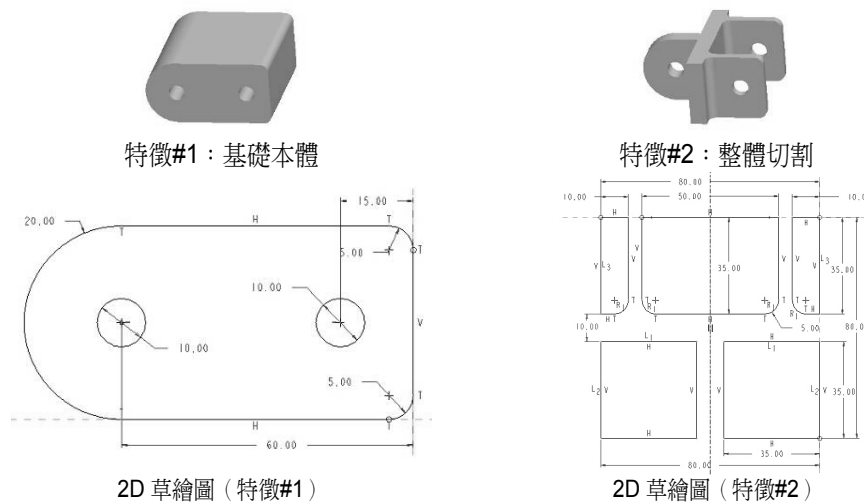
雖然不同的建構程序或方法均可以完成最終的模型，但效率上卻可能有很大的差異。以初階測驗模型 3 為例，圖四與圖五均是模型可能的建構程序，圖四採用了 10 個特徵的模型建構程序，顯然較像初學者所採用的低效率方法；針對該簡單的模型，圖五採用 2 個特徵（最少特徵數目）的建構程序，2D 草繪圖也不複雜，卻具有高建構效率，這歸因於專家程序知識的應用。其中 2D 草繪圖 1、2 分別使用 7、12 個尺寸定義（完全由設計者指定），限制條件包含水平、垂直、相切、相等、對齊及水平對齊等，分別使用 12、37 個（大部分由 CAD 系統自動指定）。

以進階測驗模型 1 為例，如圖六的建構過程，使用 3 個最少的特徵數目，其特徵#1 的 2D 草繪圖如圖七所示，分別使用 33 個尺寸定義（完全由設計者指定）及 41 個限制條件，如此複雜的幾何形狀定義，事實上卻降低了模型的建構效率，歸納其原因有：1.幾何形狀過於複雜，超越人類一般的記憶與思考負荷，違反化繁為簡的思維模式。2. 2D 草繪的所有尺寸定義與限制條件都是互相影響的，在定義的過程中，很容易造成幾何形狀的失控。3.正確模型是以正確的幾何形狀（所有尺寸定義與限制條件均正確）為前提，任何一筆不正確的定義，都會造成模型的不正確，甚至特徵的發展失敗。此外，複雜幾何造形的除錯增加困難度，且更耗時，造成更差的效率。圖八是進階測驗模型 1 另一種建構過程，將圖七中之特徵#1 分為圖八之特徵#2~6 來建構，其優點可以簡化幾何形狀，易於控制與思考，同時適當分割造形，可以降低定義幾何形狀的互相影響，且易於除錯。其中特徵#3、#5、#6 採工程特徵圓角及倒角來完成，共指定 7 個尺寸；如圖九所示，特徵#2 之 2D 草繪使用 9 個尺寸定義及 9 個限制條件，特徵#4 則使用 9 個尺寸及 10 個限制條件。後者之建構程序雖採用 5 個特徵來完成，但確有更好的建構效率，同時尺寸定義與限制條件數目也降低。由於工程特徵具有簡單化的特性，圓角特徵#3、#5 合計有 6 種尺寸，若採用 6 個圓角特徵來建立，也有益於後續可能的設計變更及特徵的管理，且建構時間並無顯著差異。設計變更在產品的開發過程是無法避免的，而且隨著市場多樣化的需求，與產品壽命的縮短，設計變更頻率是更高的，因此，設計者發展模型時，必須具有設計變更的考慮與知識。如圖十所示無設計變更考量 2D 草繪對設計變更造成不良之影響，甚至在模型更新時會造成失效；圖十一是有設計變更考量 2D 草繪，結果可以支援設計變更，更可減少失效的問題，其中特徵#1 之 2D 草繪，以 2 個尺寸相等之限制條件，取代直徑 10 與半徑 5 之尺寸，而特徵#2 之 2D 草繪，則分別以 3 個對齊、1 個對稱、3 個相等之限制條件，取代 80、80、80、25、35、10、5 之尺寸。在考慮設計變更的

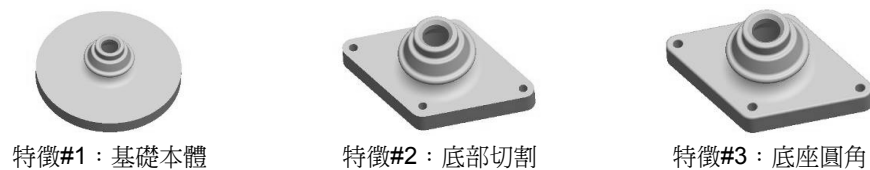
前提下，限制條件是經常採用的，且限制條件與尺寸定義數目是存在反比關係，在圖十二進階測驗實體模型 1 中 2D 草繪對設計變更之影響，也存在相同的情形。由上述可知，專家程序知識導入建模中使效率提高，且具有更少的尺寸定義數目。



圖四 初階測驗實體模型 3 建構過程一

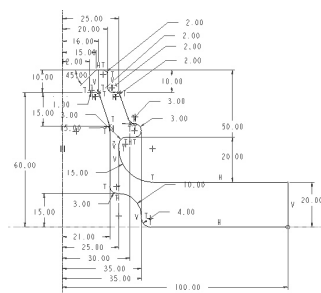


圖五 初階測驗實體模型 3 建構過程二

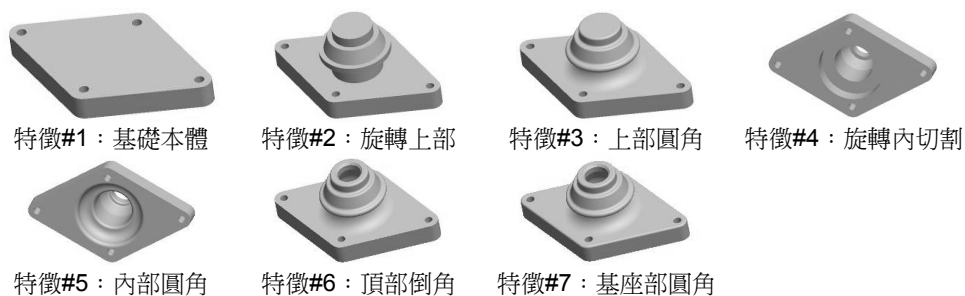


圖六 進階測驗實體模型 1 建構過程一

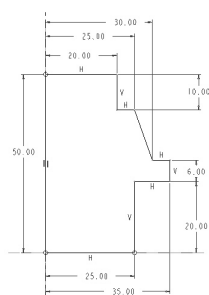
工業設計學生在立體電腦輔助設計學習模式評估之研究



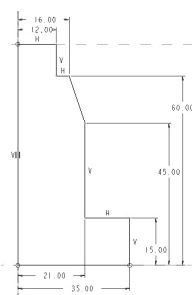
圖七 2D 草繪圖：進階測驗實體模型 1 特徵#1



圖八 進階測驗實體模型 1 建構過程二

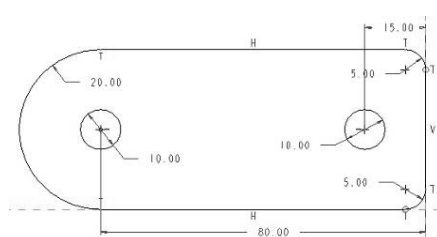


2D 草繪圖：特徵#2（旋轉上部）

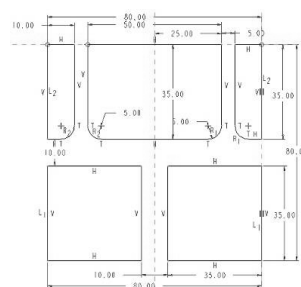


2D 草繪圖：特徵#4（旋轉內部切割）

圖九 進階測驗實體模型 1 特徵#2 與#4 之 2D 草繪圖



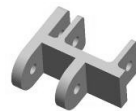
特徴#1：2D 草繪



特徵#2：2D 草繪

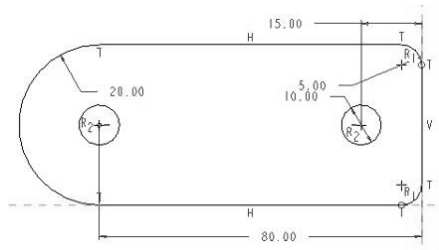


設計變更結果一(左孔距 60 變更 80)

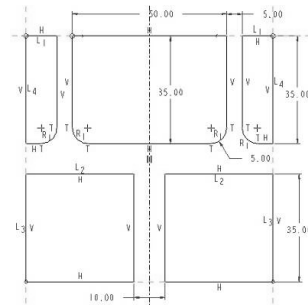


設計變更結果二(引伸 80 變更 90)

圖十 無設計變更考量 2D 草繪對設計變更之影響



特徵#1：2D 草繪

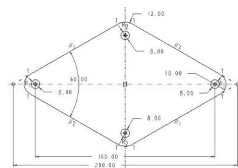


特徵#2：2D 草繪

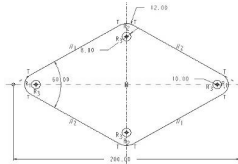


設計變更結果三

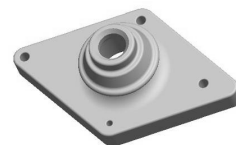
圖十一 有設計變更考量 2D 草繪對設計變更之影響



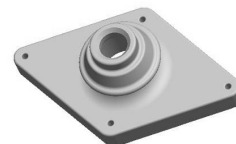
無設計變更考量



有設計變更考量



設計變更結果一



設計變更結果二

圖十二 進階測驗實體模型 1 中 2D 草繪對設計變更之影響

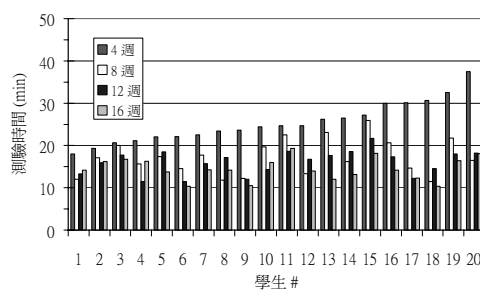
一、實驗結果與分析

初階模型 1 (4 週) ~ 4 (16 週) 測驗結果如圖十三所示。學生#1 的完成時間最快#20 最慢。隨著訓練時間增加，建模速度普遍保持進步的情形。如圖十四所示，將上述的資料以各個模型為單位表示成四個直方圖。在第 4 週進行

初階模型 1 評量，所顯示的直方圖（最上方）中，測驗時間最小和最大的分別是 18 和 37 分鐘；在第 4、8、12、16 週中平均時間分別是 25.4、17.6、16.3、14.5 分鐘，標準差分別是 4.838、4.07、3.13、2.819。由此可知，隨訓練時間增加整體持續進步，而早期的進步幅度是最大的；由標準差可知，學生建模時間在第 4 週的分散情形最大，整體表現則有持續集中的趨勢。在 Hamade, & Artail (2007)對機械工程背景學生 3D CAD 學習表現的研究中，初階模型 1~4 測驗結果分別是 27.3、14.7、9.6、8.4 分鐘，顯然工業設計背景學生在該領域的學習還有成長的空間，可能是相關的數學幾何和工程技術概念訓練較缺乏。

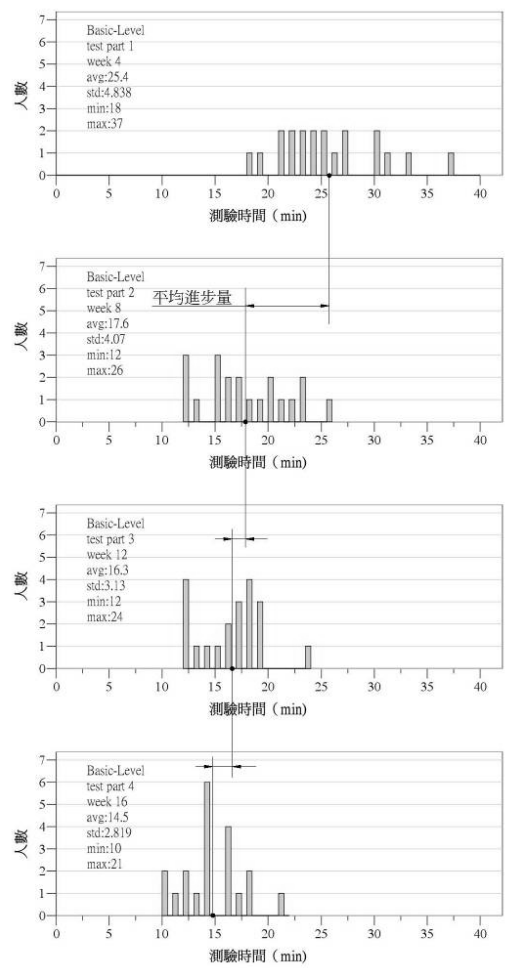
圖十五顯示初階模型 1~4 的平均測驗時間，將資料進行回歸分析，其顯示的曲線如學習曲線方程式 (1) 所示，符合 Wright, (1936) 所提出的學習曲線，其中 $y(1) = 42.42$ 、 $b = 0.3965$ ，回歸曲線配適性良好 $R^2 = 0.9543$ 。該曲線可以預測教育訓練對學習者在學習性能表現上之理論極限。由曲線可以瞭解早期訓練階段曲線非常陡峭，進度幅度很大，隨著訓練時間增加，進度幅度趨緩，在進入平緩區時，是達成該階段的學習目標，停止教育訓練的時機，也符合訓練之經濟原則。進階模型 1~3 測驗結果如圖十六所示。為保持和初階模型測驗結果的對應關係，該圖以圖十三的順序進行排序，進階模型 1、2 測驗中，學生#1 的完成時間最快，進階模型 3 以學生#9 完成時間最快，而學生#18、#20 在三個模型測驗中有最多的進步，同時大部分學生建模速度保持進步的情形。

圖十七是進階測驗模型 1~3（由上而下）學生測驗結果直方圖，隨著訓練的進行，平均完成時間也持續進步，第 8、12、16 週的結果分別是 46.2、36.5、28.9 分鐘，標準差則是 10.536、8.733、5.34。學生成績表現的分散情形，隨著訓練進行而有持續集中趨勢，和圖十四中初階模型 1~4 測驗結果相似。在 16 週時，初階及進階模型測驗結果之標準差分別是 2.819、5.34，進階模型測驗結果呈現較廣的分佈，表示進階模型具有較高的鑑別度。圖十八是進階測驗模型 1~3 整體之學習曲線，曲線的回歸方程式為 $y(x) = 186.16x^{-0.6654}$ 、 $R^2 = 0.9908$ ，該回歸曲線也有很好的配適性。

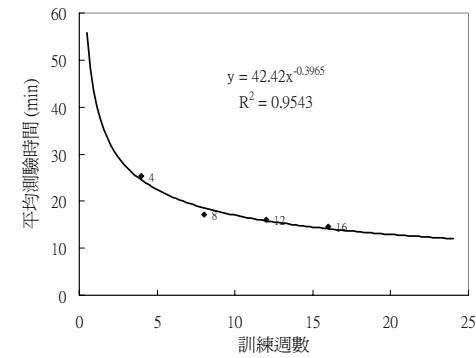


圖十三 初階測驗模型 1~4 測驗結果

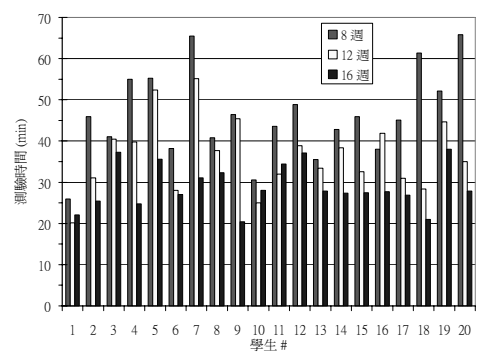
工業設計學生在立體電腦輔助設計學習模式評估之研究



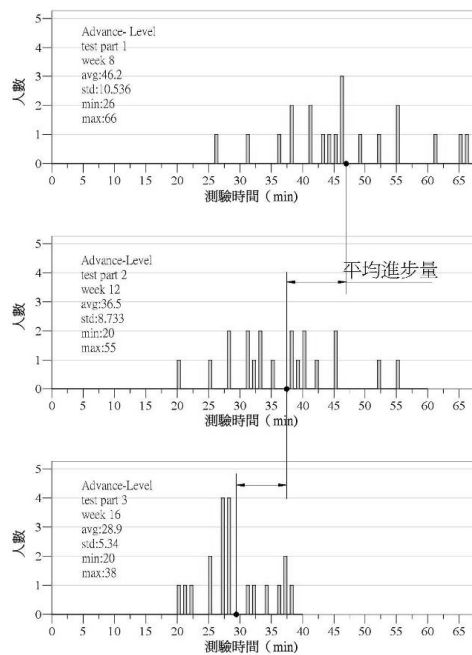
圖十四 初階測驗模型1~4 (由上而下) 測驗結果直方圖。實心圓點為各模型之平均測驗時間。



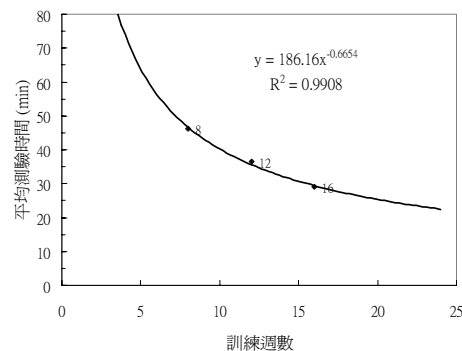
圖十五 初階測驗模型1~4 學習趨勢之回歸曲線



圖十六 進階測驗模型1~3 測驗結果



圖十七 進階測驗模型 1~3 (由上而下) 測驗結果直方圖。實心圓點為各模型之平均測驗時間。



圖十八 進階測驗模型 1~3 學習趨勢之回歸曲線

在整體學習表現上包括程序性與敘述性知識，程序知識是受測者不可見的內心思考所援引的知識，學習者如何在工作任務中擷取程序知識，是許多研究者有興趣的主題，由於直接量測的困難性與精確性問題，Hamade, Artail, & Jaber, (2007)則提出最少特徵數之間接量測方法，該研究指出學習者建模的時間最短，具有特徵數最少的特性，這是建模過程中陳述知識的部分，可用以區別陳述知識與程序知識。在圖十九初階、進階測驗模型使用平均特徵數中顯

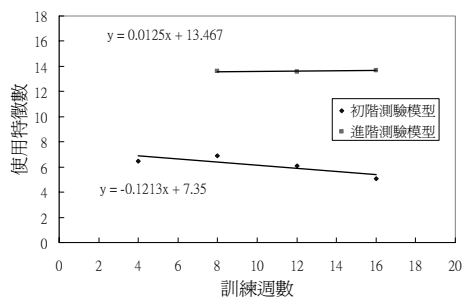
示，初階模型測驗中使用平均特徵數隨訓練進行而下降，但進階模型則無。在簡易的 3D 模型（如初階模型）建構上，以最少特徵數目來評估學習者在敘述性知識之學習性能表現也許可行，但隨著模型複雜度增加，最少特徵數卻不是設計者所採取的建模策略，採用合理的特徵數來簡化 2D 草繪的複雜度，更有利模型的發展，也是普遍採用的策略，除簡化 2D 草繪符合人因考量，以適合人類記憶與思考的特性外，更有利可能的除錯工作，讓模型建構更有效率。圖二十為初階、進階模型測驗使用平均定義尺寸數，兩者均隨訓練進行而保持下降的趨勢，由於初階模型較為簡易，完成模型建構所需使用的尺寸數較少，所以下降的幅度也較小，這是合理的現象，而較複雜的進階測驗模型則可觀察到顯著的下降。如前所述，簡化 2D 草繪的建模策略，及考量具設計變更的模型發展策略，均會使定義尺寸數減少，因此，同時適用於簡易與複雜模型學習評估，採定義尺寸數之程序性知識間接量測策略，是區別敘述性與程序性知識，並建立評估學習模式合適的方法。圖二十一及二十二分別是初、進階模型平均測驗時間與平均尺寸數關係圖，在圖中可觀察到隨著模型建構中使用的平均尺寸數減少，完成模型的時間對應下降。上述的進步情形可以歸納和以下的學習強化有關：

(一) 敘述性知識的部分：(Hamade, Artail, & Jaber, 2007)

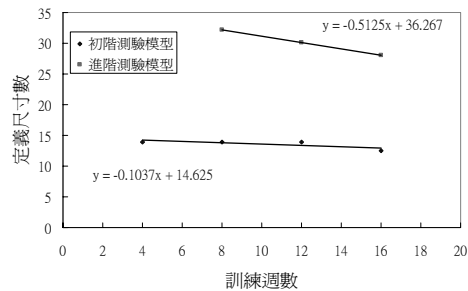
1. 隨著訓練的進行，累積繪圖工具的使用經驗，這也是動作技能的部分。
2. 更熟悉圖像化的使用介面，和該軟體視窗功能表中各指令的所在位置。

(二) 程序性知識的部分：

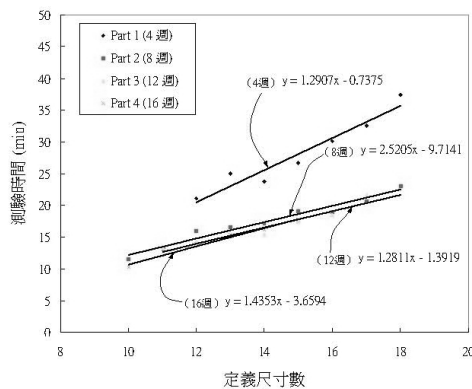
1. 正確及合理的設計程序策略，簡化 2D 草繪。
2. 導入設計變更概念，更精簡 2D 草繪的建構。



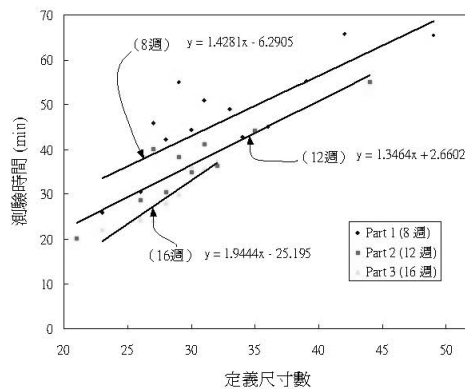
圖十九 初、進階測驗使用平均特徵數



圖二十 初、進階測驗使用平均尺寸數



圖二十一 初階測驗模型平均測驗時間
與平均定義尺寸數關係圖

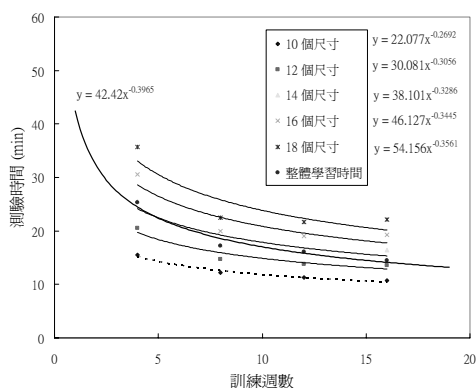


圖二十二 進階測驗模型平均測驗時間
與平均定義尺寸數關係圖

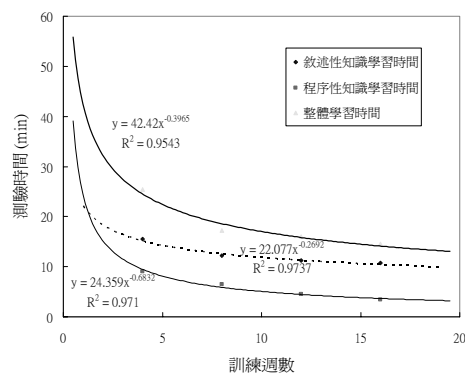
利用敘述知識學習曲線，從整體的學習曲線中分離出程序知識學習曲線，我們將圖二十一轉繪製成固定尺寸數的五條回歸曲線，並加上整體的學習曲線，如圖二十三所示，由下而上分別對應 10、12、14、16、18 之定義尺寸，其斜率分別為 0.2692、0.3056、0.3286、0.3445、0.3561， $y(1)$ 分別為 22.077、30.081、38.101、46.127、54.156 均呈遞增之趨勢，即使用較多的尺寸數則具有較大的斜率與 $y(1)$ 。

由圖二十一及圖二十二可知模型建構的平均時間與平均定義尺寸數成正比關係，而模型測驗中使用最少的尺寸數目為 10 個，也就是最快的建構速度，這是歸因於敘述性知識的表現，而這個班級最佳化的敘述性知識學習曲線可表示為圖二十三中最底部的曲線（斜率為 0.2692）。前述情形我們以方程式（2）之雙相學習曲線模型來描述時，方程式可以表示成 $y(x) = y_p(1) * x^{-b_p} + y_d(1) * x^{-b_d}$ (Dar-El, Ayas, & Gilad, 1995; Hamade, Artail, & Jaber, 2007)。 $y_p(1) * x^{-b_p}$ 及 $y_d(1) * x^{-b_d}$ 分別表示程序知識學習與敘述知識學習曲線，因此， $y_d(1) * x^{-b_d} = 42.42x^{-0.3965} - 22.077x^{-0.2692} = 24.359x^{-0.6832}$ ，如圖二十四所示。經由建立定義尺寸數的敘述性知識學習曲線，再透過上述的推論方式，便可量測出程序性知識在學習過程中之影響。

工業設計學生在立體電腦輔助設計學習模式評估之研究



圖二十三 採用 10、12、14、16、18 定義尺寸數建模對應的敘述性知識學習曲線



圖二十四 初階測驗建模中程序性知識、敘述性知識及整體學習曲線之關係

伍、結論與建議

3D CAD 廣泛應用在目前的工業產品生產，也成為相關從業人員必備的技能之一，德國 Hartmut Esslinger 在 1990 年所提出的數位型包浩斯工業設計課程架構中，將 3D CAD 列為主要的學習課程，而瞭解工業設計相關科系學生在該領域的學習模式，並建立合適的評估方法，是提升訓練效率必要的課題，本研究相關的結論與建議如下：

- 一、本研究提出之定義尺寸數的敘述性知識學習曲線建立方法，可量測出程序性知識在學習過程中之影響，同時適用於簡單與複雜 3D 模型之學習分析，因此，也可以應用於進階學習之評估。
- 二、結合上述的量測方法，應用 Wright 的學習曲線理論描述學生 3D CAD 之學習模式，可用以評估學生學習之發展過程，進而安排適當的教學時數，使教學更具經濟性與效率。
- 三、目前主流的參數化、以關聯式特徵為基礎實體建模軟體之建模原理是相同的，因此本量測與評估方法也適用於其他的軟體（如 Solidworks、Inventor 等）。
- 四、工業設計科系學生學習 3D CAD 相對工程背景學生學習速度較慢；可能由於數學基礎、工程技術概念相關知識的不足，希望能分析前述所需的相關知識，並建立完整的補充教材，並用以改進學習的成效是未來的研究方向。

參考文獻

- 吳梵(1997)。工業設計教育中電腦 3D 輔助設計知識與技能之內涵研究。大業工學院工業設計研究所碩士論文，未出版。彰化縣。
- 吳正仲(2007)。四足步行玩具設計與發展之研究。『2007 創新+科技+生活+經濟+?』研討會論文集，185-193。台北。
- 林清安(2004)。Pro/ENGINEER Wildfire 零件設計進階篇（上、下）。台北：知城數位科技股份有限公司。
- 林清安(2007)。Pro/Engineer Wildfire 基礎入門與範例。台北：旗標出版股份有限公司。
- 林輝亮(1999)。工業設計課程學程化規劃之研究。國立台北科技大學技術及職業教育研究所碩士論文，未出版。台北市。
- 倪冠群(2005)。產品設計之數位資料移轉程序-以工業設計與機構設計二部門之間數位資料移轉為例。實踐大學工業產品設計研究所碩士論文，未出版。台北市。
- 張文智(2003)。工業設計教育之展望。回饋文教基金會會訊，68，27-29。台北：教育部社會教育司。
- 許宏瑋(2004)。電腦輔助設計對產品造形建構之影響。大同大學工業設計學研究所碩士論文，未出版。台北市。
- 郭宏賓(2006)。深入淺出零件設計 SolidWorks2006。台北：全華科技圖書股份有限公司。
- 康鳳梅、許榮添、詹世良(2005)。循序學習 SolidWorks 2005。台北：全華科技圖書股份有限公司。
- 劉懿元(2003)。企業 ID 實務。回饋文教基金會會訊，8，45-47。台北：教育部社會教育司。
- Bhavnani, S. K., John, B. E., & Flemming, U. (1999). The strategic use of CAD: an empirically inspired, theory-based course. In conference on Human Factor in Computing System, *Proceedings of the CHI99 Conference: CHI is the Limit-Human Factors in Computing Systems*. Pittsburgh, PA, USA. 183-190. New York, USA: ACM.

- Dar-El, E. M., Ayas, K., & Gilad, I. (1995). A dual-phase model for the individual learning process in industrial tasks. *IEEE Transactions*, 27(3), PP.265–271.
- Desrochers, A. (2002). An Algorithm based approach for the apprenticeship of computer aided design (CAD) software. In *ASEE Annual Conference Proceedings, 2002 ASEE Annual Conference and Exposition: Vive L'ingenieur*, 10735-10745.
- Elsas, P. A., & Vergeest, J. S. M. (1998). New functionality for computer-aided conceptual design: the displacement feature. *Design Studies*, 19, 81-102.
- Hamade, R. F., Artail, H. A., Jaber, M. Y. (2005). Learning Theory as Applied to Mechanical CAD Training of Novices. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 19 (3), 305-322.
- Hamade, R. F., Artail, H. A. & Jaber, M. Y. (2007). Evaluating the learning process of mechanical CAD students. *Computers & Education*, 49 (3), 640-661.
- Hamade, R. F., & Artail, H. A. (2008). A study of the influence of technical attributes of beginner CAD users on their performance. *Computer-Aided Design*, 40(2) 262-272.
- Jaber, M. Y., & Bonney, M. (1997). A comparative study of learning curves with forgetting. *Appl. Math. Modeling*, 21, 523-531.
- Kodali, N. R., & Bhattacharya, I. (1989). CAD training in engineering education. *Proceedings – Frontiers in Education Conference*, 15 (17), 364–368.
- Lang, G. T., Eberts, R. E., Gabel, M. G. & Barash, M. M. (1991). Extracting and using procedural knowledge in a CAD task. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 38 (3), 257–268.
- Lieberman, M. B. (1987). The learning curve, diffusion, and competitive strategy. *Strategic Management Journal*, 8 (5), 441-452.
- McDermott, C. M., & Maruchek, A. (1995). Training in CAD: an exploratory study of methods and benefits. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 42 (4), 410–418.
- Sapidis, N. S. & Kim, M. S. (2004). Editorial to special issue: CAD education. *Computer-Aided Design*, 36 (14), 1429-1430.

- Rossugnac, J. (2004). Education-driven research in CAD. *Computer-Aided Design*, 36 (14), 1461-1469.
- Ramón Rubio García, Javier Suárez Quirós, Ramón Gallego Santos, & Pedro I. Álvarez Peñín (2007). Teaching CAD at the university: Specifically written or commercial software? *Computers & Education*, 49 (3), 763-780.
- Sugita, T. (1999). Introducing CAD instruction at high school level - A Japanese experience. In ASEE Annual Conference Proceedings, 1999 ASEE Annual Conference and Exposition: *Engineering Education to serve the World*, 3171-3177.
- Watkins, A. W., Dimopoulos, J., Neville, S., & Li, K. F. (1993). Flow tool: A Procedural-Knowledge Acquisition Tool. *Proceedings of the IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computer and Signal Processing*, 31-34.
- Wright, T. (1936). Factors affecting the cost of airplanes. *Journal of Aeronautical Sciences*, 3 (4), 122-128.
- Ye, X., Peng, W., Chen, Z. & Cai, Y. Y. (2004). Today's students, tomorrow's engineers: an industrial perspective on CAD education. *Computer-Aided Design*, 36 (14), 1451-1460.
- Yelle, L. E. (1979). The learning curve: historical review and comprehensive survey. *Decision Sciences*, 10 (2), 302-328.