

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期末報告

應用逆向工程策略協助高中生於機械構造的學習：STEM 取向的知識整合與運用

計畫類別：個別型

計畫編號：NSC 100-2511-S-003-007-

執行期間：100年08月01日至101年10月31日

執行單位：國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系（所）

計畫主持人：游光昭

共同主持人：林坤誼、朱益賢

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 10 月 31 日

中文摘要：本研究運用逆向工程的理念來設計高中生之 STEM 取向的工程設計活動，此學習活動是以市面上常見之科技產品為示例，引導學生先瞭解其功能、而後分析其科學原理、構造設計、材料、組裝、製作與生產等技術。之後，則發展 STEM 機構模組並進行教學，此是以高中的生活科技活動為基礎，融入工程設計與 STEM 課程之概念發展而成。其課程設計之理念是以科技與工程為主軸，輔以數學與科學相關概念性及程序性知識的應用。本研究初步得到一些教學上的啟示：(1) 工程設計活動應加強機構設計概念與 STEM 相關知識的連結；(2) 學生的概念性與程序性知識會影響其製作過程中分析與評鑑的表現，而其機構設計成敗之關鍵亦取決於分析與評鑑之能力；(3) 逆向工程策略可幫助學生瞭解基本的機構知識，但需強化學生的工程設計能力。

中文關鍵詞：機構、工程設計、STEM、逆向工程

英文摘要：

英文關鍵詞：

# 應用逆向工程策略協助高中生於機械構造的學習：STEM 取向的知識整合與運用

## 壹、計畫背景

近年來，STEM (Science, Technology, Engineering & Mathematics) 之課程取向已成為科際整合的新趨勢，其理念乃是統整科學探究、科技技術、工程設計與數學分析等學科知識，以為工程設計教學之應用。在 STEM 的課程中，科技藉由科學來了解自然世界的結構與功能，科學則以科技的發展與測試來證明科學的定律、理論與原則；在此同時，數學提供科學與科技之間溝通的語言，最後再由工程整合科學的發現與科技的技術來設計所需要的產品 (Pinelli & Haynie, 2010)。

從工程學習的角度來看，「逆向工程」是一個可幫助學生快速且有效學習工程的方式。傳統產品設計流程通常是由概念到設計圖樣，再製造出產品，這種流程稱之為「正向工程」。逆向工程原意上是依據現有之產品，例如：實物、零件、軟體 (包括圖樣、程序、技術文件等) 或影像等作為研究對象，應用現代設計方法學、生產工程學、材料學等有關的專業知識，來進行系統分析和研究、探索其關鍵技術，進而開發出相同或更為先進的產品或技術 (金濤、童水光, 2005)。本研究取逆向工程之精神，在研究的操作上是將產品依拆解—分析—組裝的順序，協助學生瞭解工程設計的程序及 STEM 知識的應用。本研究以為，透過適當的課程規劃並結合逆向工程的教學，學生可以學習並瞭解產品所蘊含的科學原理、材料特性、工程製圖方式及設計製作的流程，而這些知識的學習，正符合 STEM 課程的核心概念與內涵。本研究運用逆向工程的理念來設計高中生之 STEM 取向科際整合學習活動，此學習活動是以市面上常見之科技產品為示例，引導學生先瞭解其功能、而後分析其科學原理、構造設計、材料、組裝、製作與生產等技術。如此，以嘗試幫助學生整合 STEM 各領域之知識與技能、培養資料分析與整合能力、及提升其創新與問題解決的能力。

## 貳、研究目的

根據前述計畫的背景，本研究之研究架構圖如圖 1 所示：

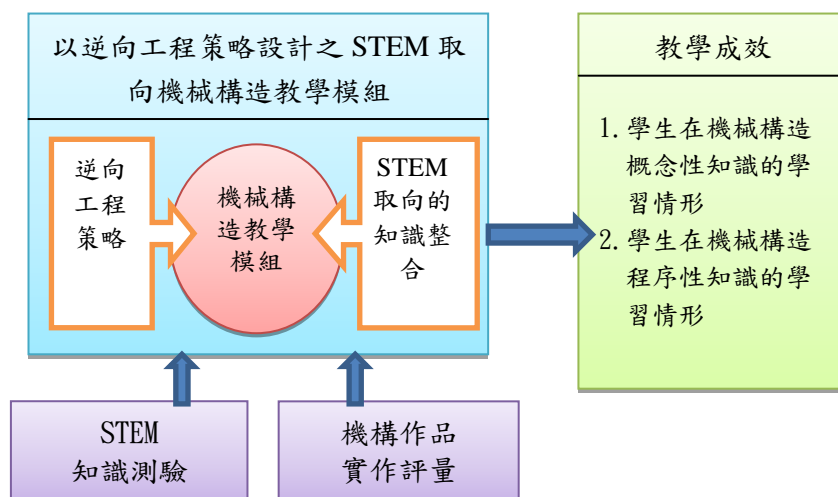


圖 1 研究架構圖

具體而言，本研究之研究目的如下：

1. 分析逆向工程之實施程序及機械構造相關知識內涵的探討。
2. 運用逆向工程策略設計 STEM 取向之機械構造教學模組。
3. 分析學生在模組學習過程中之概念性與程序性知識的運用情形。

### 參、實施程序與機構模組規劃

本研究分成兩個階段來進行。第一階段主要是運用逆向工程策略的教學，目的在透過逆向工程策略之引導，使高中學生對於機械構造之概念性與程序性知識能有基本的瞭解。此階段共設計二個教學活動，每個教學活動各實施三週（每週 2 節），單元主題由淺入深分別為：「鱷魚玩具分析活動」及「昆蟲玩具分析活動」。活動設計是選取生活中常見且蘊含簡單機構概念的科技產品進行分析，由運用簡單機構概念的產品開始，逐漸增加產品機構的複雜度，每個活動單元皆需運用逆向工程之策略，並簡略說明產品所蘊含之 STEM 相關知識。

第二階段則發展 STEM 機構模組並進行教學，此是以高中的生活科技活動為基礎，融入工程設計與 STEM 課程之概念發展而成。其課程設計之理念是以科技與工程為主軸，輔以數學與科學相關概念性及程序性知識的應用。因此，本教學模組所規劃之重點，在藉由 STEM 知識協助學生工程設計技能之建構，並以此協助高中教師瞭解如何規劃高中生活科技之工程取向的教學活動。教學模組的架構是依據高中生活科技課程綱要，並以機械構造為主題。其發展的流程是先確認學生須理解的機構概念範圍，再以此為基礎來發展相關的科學、數學及科技知識，以建構本機構模組的知識架構（如圖 2）。

模組進行的方式是以機構相關之 STEM 教學為先，而後再實施機構玩偶的設計與製作。在教學過程中，為有效呈現機構相關的 STEM 知識，教學中融入 3D 模擬，並教導學生利用電腦整合設計方式繪製機構玩偶的設計圖，之後再進行分析、模擬測試，最後透過繪圖軟體的輔助來完成玩偶的設計與製作。在這樣的教學模組中，學生能夠將 STEM 知識應用到設計、分析、製造、評鑑、以及再設計的歷程。在本研究中，機構玩偶作品並非研究者唯一關心的成果，學生對於 STEM 知識的應用、玩偶機構的設計歷程、設計歷程中所遭遇的困難、甚至是團體的分工合作與問題解決歷程等，都是所要探討的重要面向。

本機構模組包含教案、以課堂學習及數位學習為基礎的學習活動、評量工具、和實作活動。課程開始前先提供學生機構玩偶之範例，同時說明需達成的活動要求及評分方式。整體教學活動可分為四大階段：(1)教學階段教師將依據圖 1 的 STEM 課程架構，講解機構相關知識，講解過程中並運用電腦動畫模擬等方式來輔助學習；(2)設計階段則是使用電腦輔助軟體來設計玩具；(3)分析階段則是透過電腦輔助進行機械結構的分析，並建立玩偶機構的三維模型；最後(4)製造階段則使用樂高、木材及珍珠板來製作機構玩偶。



圖 2 STEM 概念知識架構圖

## 肆、研究方法

### 一、研究對象

本研究於 2011 至 2012 學年度中實施，參與本次教學實驗的學生共有高一的三個班級 103 位學生。參與本教學實驗的學校為台北市某市立高中，全校約有 2400 人，教學過程中三個班級皆由同一位教師負責教學，該教師擁有 10 年以上的教學經驗，為資深的生活科技教師，擁有科技教育碩士學位。雖然此位教師是首次進行 STEM 工程教學模組的教學，但已有多年實施機構設計相關教學活動的經驗，對於機構相關知識具有相當充分的瞭解。

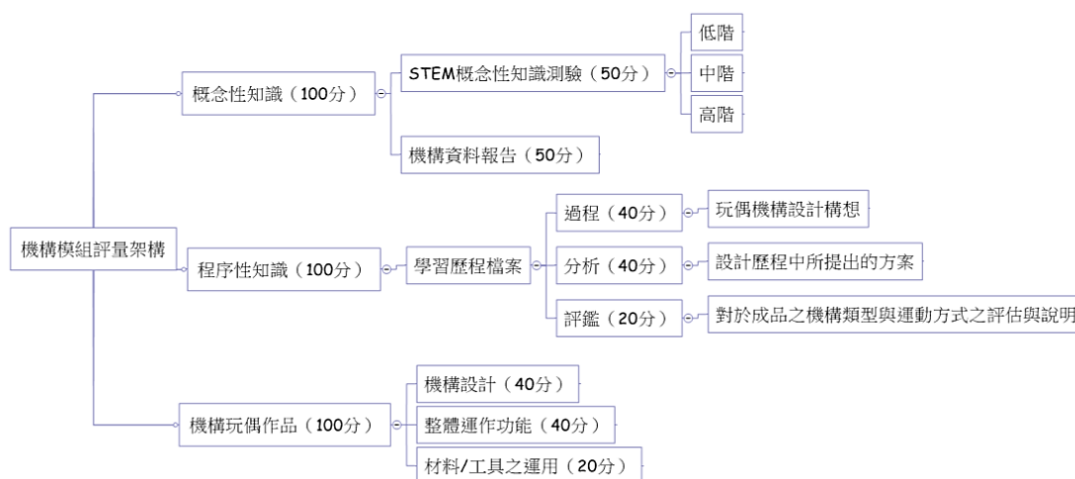
### 二、研究步驟

在實施本機構模組之前，為使學生擁有足夠的實作與操作技能與先備知識，學生在前一學期便已學習過許多工程概念、材料加工、與實作技能等課程，包含：樂高軌道車設計、材料加工、電腦繪圖等。正如同 Lewis (2005) 所指出，學生所學習的科學與數學應是被用來協助其達成最佳的工程設計目的成果，因此，參與本次教學實驗的學生同樣也被要求運用 STEM 相關知識，並透過：設計、分析、製造與評鑑等工程設計的步驟，來完成其機構玩偶的設計與製作。

### 三、資料蒐集與評量

本研究之評量範圍包含：STEM 概念性知識測驗、機構資料報告、學習歷程檔案、

以及機構玩偶作品，評量之目的在於瞭解學生經過機構模組的活動後，在概念性及程序性知識的表現，並瞭解學生所遭遇到的困難。整體評量架構如圖 3 所示。



在概念性知識方面，其評量項目包括 STEM 概念性知識測驗，及學生針對機構相關資料所做的報告。其中，STEM 概念性知識測驗是依據課堂上所教授的 STEM 概念知識為範圍。本測驗包含多選題以及開放性問題，測驗題依據其難度分成低、中、高三種等級，並給予不同比例的配分，多選題的部分所包含的是低階與中階的試題，而開放性問題則為高階的試題。除此之外，亦要求學生針對機構之種類及其常見之運動方式蒐集相關資料作成報告，研究者並依其資料之正確性與完整性給予評分。

在程序性知識方面，本研究主要參考 Asunda 和 Hill (2007) 所提出之評量架構，將程序性知識分為「過程」、「分析」、及「評鑑」等三大面向進行評分。其中，「過程」的評分重點在於瞭解學生是否能提出有創意且可行的構想，同時評量學生是否能瞭解玩偶動作的機構；而在「分析」面向上，是對設計歷程中所提出的方案進行評分，目的在於瞭解學生是否能運用 STEM 知識分析並解決所遭遇的問題；在「評鑑」面向上，則是評量學生是否對作品所運用的機構類型與運動方式有完整的說明，及評量學習歷程檔案的完整性，以瞭解學生在學習過程中的自我省思與評鑑的表現。在機構玩偶作品之評量方面，主要針對作品之「機構設計」、「運作功能」、以及「材料／工具之運用」等面向進行評分。

## 伍、資料分析與討論

### 一、學生概念性知識、程序性知識以及作品之表現

從學生在概念性知識、程序性知識以及作品之學習表現上可發現，學生在 STEM 概念性知識（滿分為 100 分）的平均得分數為 52.05 分，標準差為 19.81；在程序性知識（滿分為 100 分）的平均分數為 54.33 分，標準差為 24.84；而在作品（滿分為 100 分）的平均得分數為 72.82 分，標準差為 15.60。各評分項目之描述統計結果如表 1 所示，其得分之分配情況如圖 4 至圖 6 所示。

表 1 學生的學習表現 (N=103)

	平均數	標準差	偏態	峰度
<b>概念性知識總分</b>	<b>52.05</b>	<b>19.81</b>	<b>0.31</b>	<b>-1.01</b>
STEM 概念性知識測驗	30.54	6.33	-0.31	0.54
機構資料報告	21.50	18.89	0.28	-1.46
<b>程序性知識總分</b>	<b>54.33</b>	<b>24.84</b>	<b>0.35</b>	<b>-1.08</b>
過程	26.33	11.35	-0.53	-0.51
分析	18.56	13.36	0.66	-1.34
評鑑	9.44	6.08	0.73	-0.98
<b>機構玩偶作品</b>	<b>72.82</b>	<b>15.60</b>	<b>0.05</b>	<b>-0.91</b>
機構設計	27.57	7.41	0.42	-0.73
整體運作功能	30.91	6.82	0.07	-1.23
材料/工具之運用	14.33	3.98	-0.23	-0.46

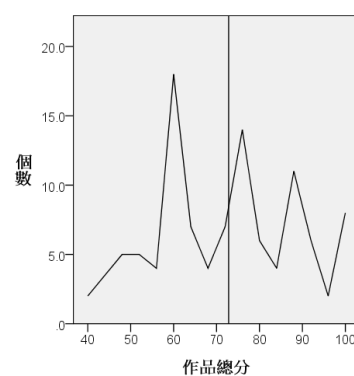
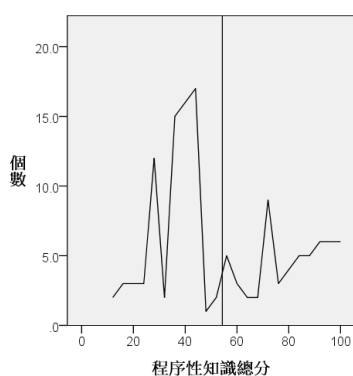
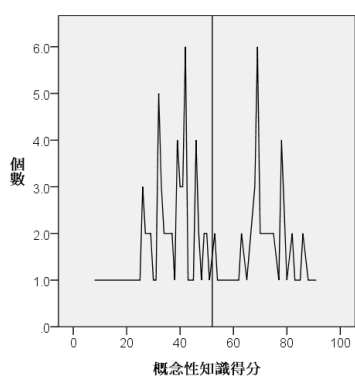


圖 4 概念性知識得分分配圖 圖 5 程序性知識得分分配圖 圖 6 作品總分次數分配圖

由表 1 之偏態與峰度值來看，三者成績在統計的偏態程度上皆不明顯，在峰度方面則是呈現低闊峰的情況，顯示三項成績的極端分數皆不多。再從分配圖來看，由圖 4 之分佈趨勢可以發現，學生在概念性知識的表現略有 M 型化的情形出現，其得分大多集中在 40 分或 70 分上下，平均分數則落在 50 分附近，由此可看出高中生對於 STEM 中機構相關之概念性知識瞭解程度存在相當大的個別差異。在程序性知識表現方面（如圖 5 所示），其分佈趨勢是呈現向右偏態（正偏態）的曲線，多數得分皆集中在 40 分上下，但其偏態情況並不明顯，其平均得分仍落在 50 分附近。在作品的表現上（如圖 6 所示），其分佈趨勢亦是略呈向右偏態（正偏態）的曲線，得分人數最多的高峰落在 60 分左右，但同樣因偏態情況不明顯，平均得分則是在 70 分附近。由上述基本之描述統計可以看出，學生在作品的製作方面，大多能達到一定的水準，但在 STEM 的概念性知識及程序性知識之得分上並不高。為深入探究其原因，以下將接續探討概念性知識、程序性知識以及作品三者之間的關係。

## 二．概念性知識、程序性知識以及作品間之關係

為瞭解學生的概念性知識、程序性知識與作品間的關係，本研究將概念性知識、程序性知識以及作品之得分進行相關性之分析（如表 2 所示）。由表 2 可看出，學生概念性與程序性知識之表現，與最後作品之表現皆有顯著的正向相關，換言之，學生的概念

性及程序性知識的具備程度，與其在實作活動的表現上是有顯著的相關。其中，程序性與概念性知識兩者之間的相關係數相當高，且程序性知識與作品總分之間亦有高度的相關，但概念性知識與作品總分的相關性則較低。

表 2 概念性知識、程序性知識及作品相關分析表

		概念性知識總分	程序性知識總分	機構玩偶作品總分
概念性知識 總分	Pearson 相關	1		
	顯著性 (雙尾)			
程序性知識 總分	Pearson 相關	.521**	1	
	顯著性 (雙尾)	.000		
機構玩偶 作品總分	Pearson 相關	.282**	.526**	1
	顯著性 (雙尾)	.004	.000	

\*\* $p < 0.01$  (雙尾)

為進一步探討學生的 STEM 知識對其學習成效之影響，以下依學生的程序性知識總分，將學生分為高、中、低三組，而後再探討三組學生在概念性知識及機構玩偶作品上的學習表現。各組人數及得分概況如表 3 所示，而為能更明顯看出三組學生在概念性知識與機構玩偶作品成績之差異，亦將其平均分數繪製成散佈圖，其結果如圖 7 所示。

由表 3 及圖 7 之分析可發現，程序性知識高中低三組的學生在概念性知識的表現上並沒有顯著的差異；但在機構資料報告上，高分組的學生卻顯著高於中低分組的同學，而這個差異也導致高分組與中低分組在概念性知識總分之顯著性差異。在評量學生概念性知識的過程中，本研究也發現，三組學生在低階與中階的概念性知識測驗成績並沒有很大的差異，但在高階的概念性知識應用上（如開放性問題、自行蒐集整理機構資料等），三組學生之表現差異便較明顯。高分組的學生在進行機構資料蒐集時，較能聚焦在機構玩偶作品所需要的機構相關知識，而非漫無目的的資料蒐集。中分組的學生對於機構的種類與運動方式等概念雖具有基本的認識，但大多是較為粗略的理解，對於機件、機架、接頭等形成機構運動之關鍵要素，缺乏邏輯性與整體性的認識，導致常有錯誤的概念連結，使其無法順利將 STEM 知識應用於機構玩偶的設計與製作中。因此，在進行 STEM 教學時，若能強化學生機構運動之關鍵要素（如：機架、接頭、自由度）的認識，以及瞭解這些要素與 STEM 概念知識之連結關係，應能有助於提升學生之概念性知識。

表 3 概念性知識與機構玩偶作品成績比較分析

成績	得分群組	個數	平均數	標準差	自由度	F 檢定	Scheffe 法事後比較
概念性知 識總分	程序高分組(H)	29	68.86	18.06	(2,100)	20.354	H:M, 22.20*
	程序中分組(M)	45	46.67	16.17	(2,100)		H:L, 25.28*
	程序低分組(L)	29	43.59	16.70	(2,100)		M:L, 3.08
	總人數	103	52.05	19.81	(2,100)		
STEM 概念 性知識測	程序高分組(H)	29	31.62	5.14	(2,100)	.644	H:M, 1.29
	程序中分組(M)	45	30.33	7.33	(2,100)		H:L, 1.83



成績	得分群組	個數	平均數	標準差	自由度	F 檢定	Scheffe 法事後比較
驗	程序低分組(L)	29	29.79	5.76	(2,100)		M:L, .54
	總人數	103	30.54	6.33	(2,100)		
機構資料 報告	程序高分組(H)	29	37.24	16.18	(2,100)	19.233	H:M, 20.91*
	程序中分組(M)	45	16.33	15.97	(2,100)		H:L, 23.45*
	程序低分組(L)	29	13.79	16.62	(2,100)		M:L, 2.54
	總人數	103	21.50	18.89	(2,100)		
機構玩偶 作品總分	程序高分組(H)	29	86.48	11.43	(2,100)	26.208	H:M, 16.08*
	程序中分組(M)	45	70.40	10.87	(2,100)		H:L, 23.59*
	程序低分組(L)	29	62.90	16.28	(2,100)		M:L, 7.50
	總人數	103	72.82	15.60	(2,100)		
機構設計	程序高分組(H)	29	33.10	5.94	(2,100)	16.196	H:M, 6.62*
	程序中分組(M)	45	26.49	6.78	(2,100)		H:L, 9.38*
	程序低分組(L)	29	23.72	6.58	(2,100)		M:L, 2.77
	總人數	103	27.57	7.41	(2,100)		
整體運作 功能	程序高分組(H)	29	36.41	5.49	(2,100)	18.087	H:M, 7.08*
	程序中分組(M)	45	29.33	5.12	(2,100)		H:L, 8.55*
	程序低分組(L)	29	27.86	7.29	(2,100)		M:L, 1.47
	總人數	103	30.91	6.82	(2,100)		
材料/工具 之運用	程序高分組(H)	29	16.97	2.96	(2,100)	20.408	H:M, 2.39*
	程序中分組(M)	45	14.58	3.09	(2,100)		H:L, 5.66*
	程序低分組(L)	29	11.31	4.15	(2,100)		M:L, 3.27*
	總人數	103	14.33	3.98	(2,100)		

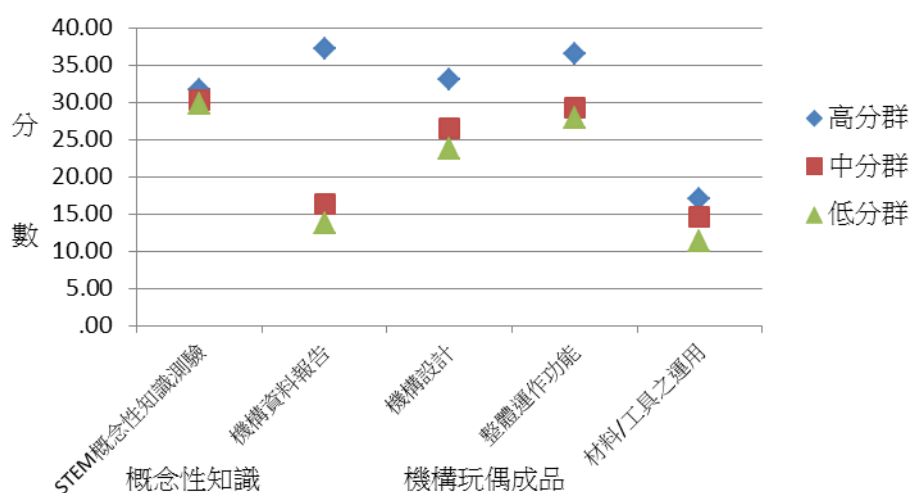


圖 7 概念性知識與機構玩偶作品得分散佈圖

在機構玩偶作品之得分方面，高分組的學生在機構設計、整體運作功能、以及材料/工具之運用上，都顯著優於中低分組的學生。中低分組之間僅在材料/工具之運用上有差異，在機構設計及整體運作功能兩項則沒有顯著差異，也因此，中低分組之間在機構

作品的總得分上並未達顯著差異。另從學生的學習歷程檔案中也看到，程序性知識得分越高的組別，越能夠應用 STEM 知識，並具體找出機構無法運作的問題所在，亦能找出可行的解決方向（如：知道轉速度過快時應調整齒輪比、各零件相對位置的微調、搖臂上下移動距離的調整等）。相對的，中低分組的學生在找尋解決方案上，仍多以嘗試錯誤的方式進行，且多提出模糊的改進方式。整體而言，學生在製作過程中運用 STEM 知識進行分析與評鑑的能力，是為影響其最後作品是否成功之關鍵。有鑑於此，教師應多運用 STEM 知識進行設計分析，教師也可運用適當的軟硬體（如樂高零件）來設計機構的教學模型，而後再引導學生以此模型進行逆向工程的分析，並在過程中強調 STEM 概念知識的應用，如此或能有助於提升中低分組學生的分析與評鑑能力。

### 三、學習困難與問題的分析

經由分析學生的概念性知識測驗及學習歷程檔案後發現，學生雖能規劃出可行的機構設計構想，但其細部的設計並不完善，多數學生雖可指出構想的機構種類，但多無法繪製出精確或詳細的機構組裝設計圖（如繪製出含尺寸的設計圖、或預先思考到該使用哪些樂高）。而此問題發生的原因，應是學生在 STEM 概念性及程序性知識的應用經驗較為不足。此外，在分析與評鑑的階段中，也發現多數學生仍偏好嘗試錯誤的方式，而非依照工程問題解決的模式。因此，教師除應多提供實體模型及數位模擬之範例與練習機會，也應重視學生問題解決能力之建構，方能有效提升學生之程序性知識。

在分析學生的機構玩偶作品後發現，三組學生所選用的機構種類並沒有很大的差別，最常運用的機構包含：槓桿、凸輪機構、齒輪機構以及曲柄搖桿機構等，而較難完成的機構則是：四連桿的連動、曲柄滑件機構、含有滑軌的機構以及間歇機構等。在深入分析這些較難完成的機構後發現，這些皆是需要運用數學及物理等知識來協助其設計。一般而言，程序性知識得分越高的組別，越能自行構想並設計出較為特別且較為複雜的機構（如多個凸輪與齒輪的配合運用、連桿與曲柄滑件的組合運用），中低分組的學生則大多僅能運用簡單的機構組合（如凸輪搖桿的組合運用），或僅能運用單一的機構（如凸輪機構的運用）。

從觀察學生製作的過程則發現，學生較容易遭遇的問題包含：馬達與玩偶機構之間的速度轉換、玩偶運動方向與角度控制、機架固定方式、動力源與機構間的相對位置、機構與玩偶間的相對位置、機構間彼此干涉的微調等。在這些問題上，高分組的學生在傳動與機架的設計方面能有較佳的處理方式，而中低分組的學生則容易因機架設計不夠完整或無法將動力傳動到所設計的機構，導致作品無法順利運作。事實上，上述這些問題多牽涉到數學及力學的運算，若學生無法將數學與科學知識運用在解決這些問題，則僅能以嘗試錯誤的方式慢慢找出可運作的設計。因此，教師在進行 STEM 教學時，應著重在強調科學與數學概念和工程應用上的連結，並提供更多的範例協助學生瞭解 STEM 與機構設計間的關係，方能使其概念知識與設計製作有更多的連結。本研究將高、中、低三組學生在概念性知識及機構玩偶作品表現上的差異，整理如表 4 所示。

表 4 程序性知識高、中、低組學生在概念性知識及機構玩偶作品表現特質的比較

	高分組	中分組	低分組
STEM 概念性知識的表現	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 能指出可用來完成其構想的機構種類，並可規劃或繪製出精確、詳細的機構組裝設計圖。</li> <li>➢ 能聚焦在所需使用到的機構蒐集相關資料。</li> <li>➢ 在遭遇問題時，能運用 STEM 概念性來解決問題。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 能指出可用來完成構想的機構種類，但規劃或繪製出的機構組裝設計圖精確度及完整度較差。</li> <li>➢ 所蒐集的機構資料較為粗略，對於機構運動的關鍵要素缺乏整體性認識</li> <li>➢ 在遭遇問題時，能找出問題所在，但多以嘗試錯誤方式解決。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 能指出可用來完成構想的機構種類，但無法規劃或繪製出機構組裝設計圖。</li> <li>➢ 常漫無目的的蒐集機構相關資料。</li> <li>➢ 在遭遇問題時，無法確認問題所在，多以盲目嘗試錯誤方式試圖找出可行的方案。</li> </ul>
機構玩偶作品表現	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 能自行構想並設計出較為特別且複雜的機構。</li> <li>➢ 傳動與機架的設計方面能有較佳的處理。</li> <li>➢ 機構與玩偶連結運作順暢。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 能運用簡單的機構組合或重覆運用同一類型的機構。</li> <li>➢ 機架設計不夠完整。</li> <li>➢ 有部分機構與玩偶連結未完成或運作不順。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 大多僅能運用單一機構。</li> <li>➢ 機架設計不夠穩固或設計有誤。</li> <li>➢ 無法完成機構與玩偶的連結。</li> </ul>

## 陸. 一些啟示

### 一、工程設計活動應加強機構設計概念與 STEM 相關知識的連結

經由本研究教學模組之教學後，學生對於機構之種類及運動方式皆有基本的瞭解。但經觀察學生所遭遇的問題後發現，在進行機構相關之 STEM 教學時，除使學生瞭解機構種類與機構運動的類型外，更重要的是需建立學生對於整體機構設計之基本概念（如：機件功能、機架設計、自由度等），而這些概念也正是在機構設計過程中需運用到科學與數學分析的關鍵要素。因此，教師除藉由逆向工程的教學活動使學生瞭解機構在生活上的功能與應用方式外，亦應嘗試運用適當的軟硬體（如樂高零件），來開發實體的 STEM 教學模組。本研究以為，結合逆向工程的概念以及數位模擬的應用，可強化機構概念與科學原理及數學分析之連結，能有效提升學生在機構學習上的成效。

### 二、學生的概念性與程序性知識會影響其製作過程中分析與評鑑的表現，而其機構設計成敗之關鍵亦取決於分析與評鑑之能力。

整體來說，機構設計成敗之關鍵，多取決於學生機構的概念性知識及其分析與評鑑的能力。亦即，能運用所具備的 STEM 機構概念知識，找出問題之所在，並提出具體的解決方案。因此，教師應加強分析與評估階段之教學，並給予學生充足的機會練習，方能有助學生解決在設計過程中所遭遇的問題。

### 三、逆向工程策略可幫助學生瞭解基本的機構知識，但需強化學生的工程設計能力。

逆向工程策略可幫助學生在機構的認識與瞭解，並提升學生之學習興趣。但學生仍不善運用 STEM 知識以及工程問題解決的模式來機構之設計、分析與評鑑，而偏好使用嘗試錯誤的方式，導致作品品質不佳。因此，教師應加強引導學生瞭解工程設計及問題解決的模式與步驟，並要將 STEM 知識運用於工程設計與問題解決的過程中。

## 參考文獻（略）

無研發成果推廣資料

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：游光昭		計畫編號：100-2511-S-003-007-					
計畫名稱：應用逆向工程策略協助高中生於機械構造的學習：STEM 取向的知識整合與運用							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p style="text-align: center;">其他成果</p> <p>(無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	無
---	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

# 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究對工程教育具有教學策略上的應用價值。