

教育部教學實踐研究計畫成果報告

計畫編號/Project Number：PEE1090715

學門分類/Division：工程

執行期間/Funding Period：109/08/01 ~ 110/07/31

知易行難：結合樹莓派(Raspberry Pi)於結構健康診斷 系統開發實作

配合課程名稱：結構健康診斷技術及應用、訊號處理與頻譜分析

計畫主持人：林子剛 教授

執行機構及系所：國立陽明交通大學土木工程學系(所)

繳交報告日期(Report Submission Date)：110/09/17

中文摘要

本計畫實施之課程為「結構健康診斷技術及應用」與「訊號處理與頻譜分析」，延續與新科技結合互動，以樹莓派(Raspberry Pi)微型控制器為核心作為互動模組之設計，使初學者較容易理解及學習，強化程式語言能力結合結構健康診斷系統實作，提升學習效率，並了解學生的吸收程度，藉以增進知識不足的部分。此外，本次計畫著重於降低學生個體差異，促進國際文化交流，增進學生間的外語能力，透過多元教育促使各國學生都能有效學習。鼓勵學生透過理論及實務的結合，打破學校與職場的隔閡，讓學生能夠妥善運用知識，思考並解決實務問題，創造學校教育價值之目標。

關鍵字：結構健康診斷、樹莓派、跨領域學習、程式語言

Abstract

The courses implemented in this project are "Structural Health Diagnosis Technology and Application" and "Signal Processing and Spectrum Analysis", continue to interact with new technologies, and use Raspberry Pi microcontroller as the core as an interactive module design; make it easier for beginners to understand, learn and strengthen the programming language ability combined with the implementation of the structural health diagnosis system, improve learning efficiency, and understand the degree of absorption of students, so as to improve the part of the lack of knowledge. In addition, this project focuses on reducing individual differences among students, promoting international cultural exchanges, enhancing foreign language skills among students, and encouraging students from all over the world to learn effectively through diversified education. Encourage students to break the gap between the school and the workplace through the combination of theory and practice, so that students can properly use knowledge, think about, and solve practical problems, and create the goal of school education value.

Keywords: Structural Health Monitoring (SHM), Raspberry Pi, Cross-domain learning, Programming language

一、研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

本次計畫著重於降低學生個體差異，促進國際文化交流，增進學生間的外語能力，透過多元教育促使各國學生都能有效學習。鼓勵學生透過理論及實務的結合，打破學校與職場的隔閡，讓學生能夠妥善運用知識，思考並解決實務問題，創造學校教育價值之目標。

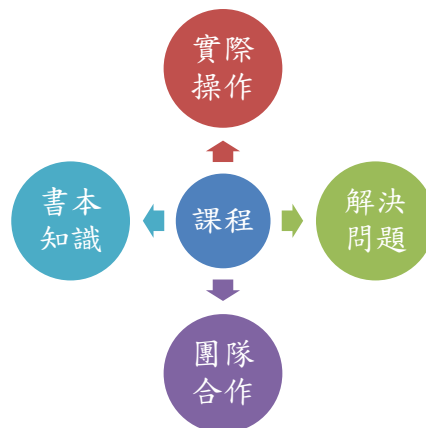
(一) 研究動機

1. 以本校的教學理念為出發點

以思考、分析整合知識的能力、自我學習的能力透視新環境，自我定位之能力專業科目之訓練為基礎，並在新世紀大學發展特性「跨領域」、「網際網路」、「國際化」、「複合年齡層」、「經濟與科技之快速進步」、「多元教育」這六個大方向下培育產業專才為教育目標，更注重建立學生良好人文素養與良好的人格特質。

2. 科技輔助的實作課程

打破傳統的授課方式，讓學生更有機會將課程中的知識實際應用在模型上，同時訓練學生的分析能力以及問題處理能力。教學過程中教師亦應善用科技引導學生，提升溝通協調能力(Communication)、團隊合作能力(Collaboration)、問題解決能力(Problem solving)、獨立思辨能力(Critical thinking)、創造力(Creativity)，以達科技結合專業的學習成效。



圖一、整體教學實踐教學策略架構圖

(二) 研究目的

1. 根據學校的教學理念以及未來展望，配合新科技實現上課互動、實作，希望以這些方法改善同學的上課模式，提升學習效率。
2. 以結構健康診斷技術及應用結合 Raspberry Pi 互動環境開發模組為核心，搭配做中學以及經驗學習法，驗證是否提升學生學習力(學習動機、學習態度、學

習效率、學習滿意度、學習成效)。

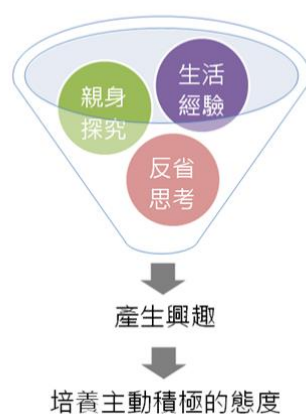
3. 以實際操作的成果去了解學生的吸收程度，藉以增進知識不足的部分。
4. 將課程模組推廣到其他教育單位。

二、文獻探討(Literature Review)

(一) 杜威(John Dewey)做中學理論：連續性以及實踐中學習

1. 連續性(Continuity)：提出教材與教法實際上為一體，所以教學活動是一個師生共同動作的歷程。就經驗的觀點出發，杜威認為教材與教法之間的關係是因為經驗讓我們感覺所嘗試的事情與所成熟的結果之間的關聯，也就是指經驗是一個向前發展的歷程。
2. 做中學(Learning by Doing)：帶動教學方法的革新，以往教師講、學生寫的僵化教學法不再是唯一的教學方式；經由課程設計的方式，可以引起學生的興趣，主動的投入工作，並於實地操作中獲得個體認知結構的改造與重組，設計教學法、活動教學法因而成為重要的教學方法。做中學的內涵概括包含了三個部分如圖二，分別為：
 - (1) 生活經驗：杜威認為教育應該要與生活經驗相結合，能在家庭、學校與社會情境上發揮功效的教育才有功能與價值。
 - (2) 親身探究：做中學強調親自動手探究，學習的過程才能被轉化成個體的「經驗」，並進一步加深印象來提升學習成效。
 - (3) 反省思考：在教學活動中，嘗試錯誤與反思原因是讓個體進步的動力，也就是「錯中學」，訓練學生主動發現問題是提升學生學習動機的關鍵。

杜威- 做中學 (Learning by Doing)



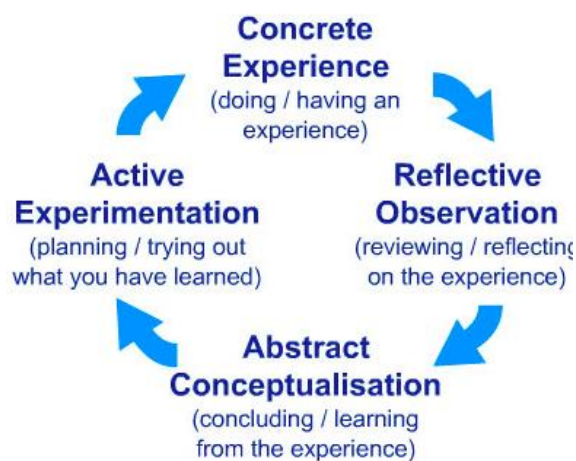
圖二、做中學理論示意圖

(二) 經驗學習法之特點

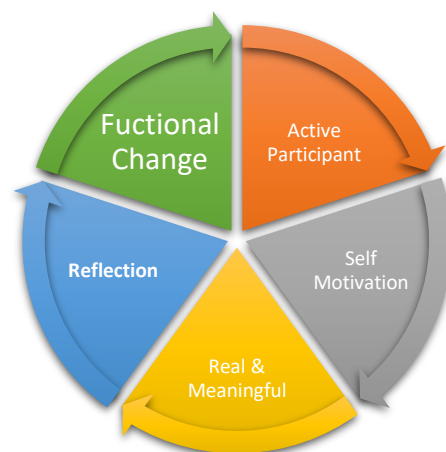
承接著杜威的理念，高大衛(David A. Kolb) 建構了著名經驗學習法的理論(Experimental Learning Theory)如圖三，主要有四大元素：具體經驗(Concrete experience)、觀察及反省(Observation & reflection)、總結經驗(Forming abstract concepts)及實踐應用(Testing in new situations)。

1. 具體經驗：親身參與、看到、聽到、關注事情、觸動到的事情，會產生很多不同的經驗。學習也是如此，教師提供建構了經驗的環境和方向，由學生自身的背景、能力、與他人的互動和狀態，產生各種經驗的組合。
2. 反省觀察：反省觀察是將所經歷的事情及人物的互動的資料作綜合和整理。主要從經驗引起的感官、思想、情緒、行為及意圖方面所呈現的資料及信息。
3. 演譯總結：運用理性邏輯獲取資料及信息，根據對本身的啟發、對其的意義、彙總為是次的經驗，並將個人本身的發現、學習、觀念等，進行思考和分析，以增強經驗的總結。
4. 實踐應用：當學生將所學運用在解決自己的狀況和案例上時，課程內容不只是課程當下，而更是賦予參與者在問題點上運用的能力。
5. 經驗學習法之流程：經驗學習法有別於傳統教育之設計流程(如圖四)。

- (1) 學習者是參加者(Active Participant)
- (2) 有個人動機、肯投入、負責的 (Self-Motivation)
- (3) 學習活動是真實而有意義的 (Real & Meaningful)
- (4) 反省是學習過程內的重要元素 (Reflection)
- (5) 所學到的可以轉化到真實生活裡 (Functional Change)



圖三、經驗學習法理論示意圖



圖四、經驗學習法流程圖

三、研究問題(Research Question)

本教育研究計畫將應用於計畫主持人任教的結構健康診斷技術及應用。本課程主要講授如何透過裝設完善且敏銳的長期監測系統，全天候針對結構物進行微振動量測；或定期實施結構物定期檢測利用佈設於結構重要構件之感測器系統所量測到之振動訊號透過不同的結構動力參數分析如：多尺度熵分析、SSI結構模態分析等，針對結構物受損部位進行識別及破壞程度量化，達到結構健康診斷之成效。所以感測器之實際安裝、安裝位置之選定、不同的參數分析方法、訊號前處理、結構物振動訊號分析、分析結果視覺化等都是結構健康診斷課程中相當重要的環節。因此，除了透過計畫主持人長期累積的教學經驗於課程中帶領同學理解專業的領域知識之外，並於課程第九週後安排縮尺結構物健康診斷實驗分析與分組報告，實驗設計的首要之務乃是將 Raspberry Pi 軟硬體結合多種傳感器帶入課程中，透過分組讓學生共同動手完成各組之 Raspberry Pi 感測器，包含：Raspberry Pi 程式設計、硬體安裝的專業知識、數據擷取以及分析等步驟，最終將整體實驗流程設計、數據分析結果製作成一份專業的結構健康診斷報告，並於期末時進行上台分享。透過經驗學習法的流程為前提，本計畫提出以下幾種問題假設：

1. 實際動手參與操作與學生學習成效呈現正相關關係：透過學生動手製作 Raspberry Pi 感測器，於上網蒐集軟、硬體相關知識的同時也使其學習成效提升，拓展更多的專業領域知識。
2. 實際動手參與操作對學生提升此科目興趣呈現高度正相關關係：透過親自製作屬於自己組別的 Raspberry Pi 感測器，並因應其性能、使用性設計相關的實驗流程、縮尺模型的種類，讓學生對該領域產生更濃厚的興趣。
3. 實際動手參與操作對學生理解專業領域知識呈現高度正相關關係：透過親自製作屬於自己組別的 Raspberry Pi 感測器，讓學生可以挖掘更深入進階的物聯網相關知識，提供學生深入研究、理解不同領域專業知識的機會。
4. 合作學習與學生學習成效呈現正相關關係：透過分組的方式讓學生兩兩一組進行整個實驗流程的規劃，除了解決人數過多容易產生工作分配不均的情況，更可以讓兩人學習如何分配工作讓效率最大化，進而提升學生的學習成效。
5. 合作學習對於提升學生上課專注力有正面影響：透過分組的方式提供學生學習夥伴，在學習的過程中互相督促、砥礪，提升學生於上課時之專注程度，並互相分享學習心得，為彼此帶來正面良善的影響。
6. 合作學習對於提升學生實作能力有正面影響：透過分組的方式讓同學彼此都有實作的機會，也能於實作中互相參考，分享彼此心得，透過學習夥伴的幫助增進同學的實作能力。

7. 合作學習對於增加學生主動參與課程有正面影響：透過合作學習的方式，讓學生在課程進行時更有參與感，提升學生參與課程的積極程度，讓學生更能主動參與課程活動。



圖五、學生親自針對結構物進行調整

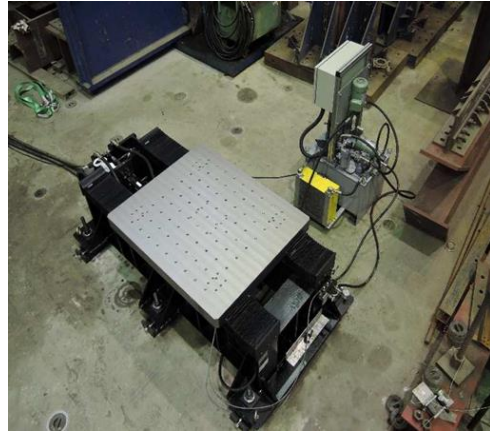
四、研究設計與方法(Research Methodology)

(一) 實驗場域描述

本計畫課程相較以往，研究設計架構著重於經驗學習法及做中學，所以學生除了學習理論課程，實際動手操作硬體器材從中學習才是本計畫之目的。結構健康診斷 Raspberry Pi 課程教材互動模組及多種外接式感測器結合縮尺結構實例分析，將建置場地於國立陽明交通大學土木結構大樓。於國立陽明交通大學土木結構大樓中建置之三個振動台安裝於結構大樓之大型實驗場，如圖六至圖八，而在過去振動台初始設定時為了方便辨別兩座振動台的名稱，以振動台 A 簡稱大台振動台，以振動台 B 簡稱小台振動台；同時考慮到振動台 A 的最大衝程相對於振動台 B 來的大，對於油壓滑軌之平滑性的要求也更加嚴格，所以於設計時在振動台 A 底部多安裝一塊鋼板以維持台面平整性，避免在試驗中於最大衝程下產生變形而影響振動台之功能。振動台 A 之振動台其示意圖如圖六，其檯面尺寸大小為長 2500 mm 寬 1200 mm，鋼質檯面重 800 kg，可額外承受結構試體之最大質量為 1000 kg，以此維持振動檯面與試體之質量比恆高於二分之一的設計。為確保且振動台與試體之間的互制效應，最大可承受結構試體之最大彎矩為 1000 kg-m；振動台 B 之示意圖如圖七，其檯面尺寸為長 1200 mm 寬 1000 mm，鋼質檯面重 300 kg，可承受結構試體之最大質量為 500 kg 以此維持振動檯面與試體之質量比恆高於二分之一的設計。相同的，為確保且振動台與試體之間的互制效應，最大可承受結構試體所造成之最大彎矩為 300 kg-m。此外於兩台振動台之試驗桌檯面上均配有直徑 14 mm 之錨定孔做為試體與檯面連接安裝之用。



圖六、滑軌式油壓振動台 A 外觀



圖七、滑軌式油壓振動台 B 外觀

陽明交通大學引入新的電子式六軸振動台(Six-Dof Shaking Table)如圖八，有別於舊式油壓推動的振動台其利用電子缸來驅動而非油壓千斤頂，此電子式六軸振動台有一些優點使其更適合作為一振動平台供結構試體進行震波測試。六軸振動平台，又稱史都華平台(Stewart Platform)為並聯式架構之動作平台，除了提供六個自由度的工作空間外，其具有更高的力重比(Force-to-Weight Ratio)、剛性(Stiffness)和位置控制精度，故被廣泛應用於高負載、高位置精度需求的場合，例如:車輛模擬平台、主動防震式平台、手術機械人、精密定位與精密指向等。根據三台振動台之不同規格、自由度、應用層面，可以提供同學在進行結構健康診斷實例分析時良好的輔助，例如要進行單軸向地震波作用於縮尺結構物的試驗時，即可以使用滑軌式油壓振動台 A 跟 B；若要加入垂直向地震波的影響分析，則可以使用六軸振動台作為輸入震波的工具。透過學生分組進行不同的試驗規劃，選擇不同的分析方式、目標結構物，最後根據需求選擇振動台進行試驗的使用，除了為結構健康診斷課程帶來更多的豐富度外，也讓學生在實驗的進行中有更大的彈性。



圖八、六軸式振動台外觀



圖九、學生利用油壓振動台 B 進行試驗

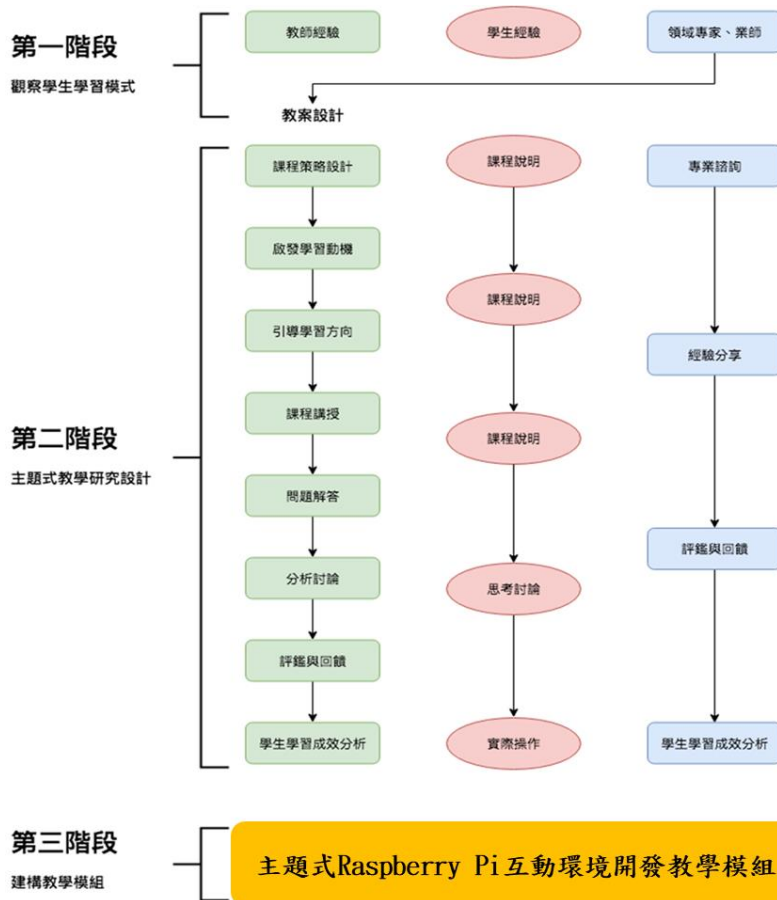
(二) 研究對象

本計畫研究對象多為土木所結構組學生，而全台大專院校土木系基本課綱皆包含工程材料學、材料力學、工程數學及結構學，因此學生在選修此課程時已具備對此結構健康診斷課程的基礎知識，但對課程中安排的 Raspberry Pi 軟硬體設計、實際操作安裝感測器、數據擷取偵測結構破壞行為等幾乎沒有接觸經驗，因此希望以本研究為標的，憑藉教學實踐研究計劃的落實，使學生能夠透過課程增進結構健康診斷方面專業知識，增進理論與實務等相關能力。

(三) 研究架構



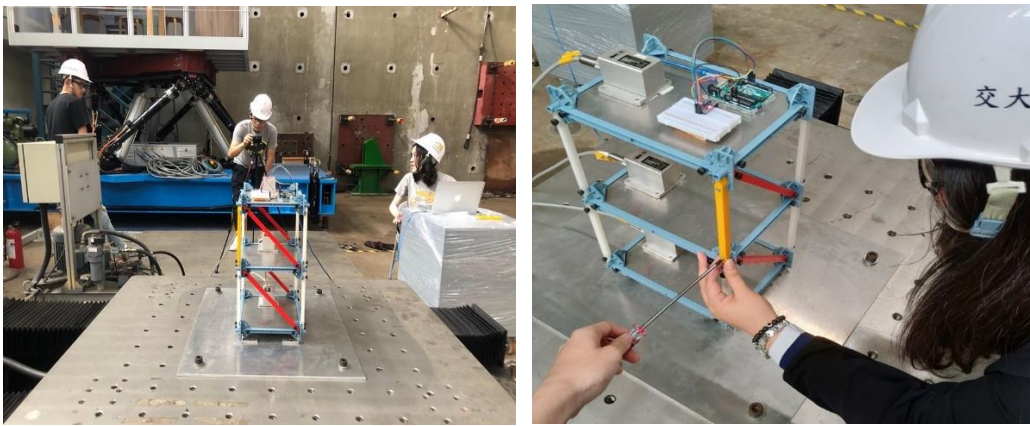
圖十、理論架構圖



圖十一、三階段課程研究流程圖

五、教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

過去傳統課程從書本中傳遞結構相關知識，對於此種教學方式，在沒有好奇心驅使下，很難使學生對於材料結構方面有實務上的課程印象，而本課程設計講求學生做中學，因此親自設計實驗流程與模型，並學習使用開發版套件與感測器進行數據收集為本研究重要的一環，相較於過往課程，更加著重於 Raspberry Pi 硬體設備使用及軟體之教學，使用經濟安全且易上手之設備供學生實驗與分析，在學生獲取本課程相關理論後，於第 9 週後進入本課程實驗主軸，由各組學生以合作學習方式，進行討論與分享，同時將結構工程新興主題融入期末專題實驗，各組於期末上台報告試驗結果。



圖十二、學生實際參與實驗流程

(一) 課程目標

激發學生自主學習能力。修正後之課程實施，提高學生學習力(學習動機、學習態度、學習效率、學習滿意度、學習成效)，更多元有效率的從做中學，靈活運用 Raspberry Pi 互動環境開發模組等現代新興科技。完成結構健康診斷技術及應用主題式教材模組，並將教材模組推廣到跨院校級的各專業團隊，並開放課程參觀討論，讓更多學生受益。

(二) 教學策略

在教學實踐中存在著眾多的教學方法和教學策略，本可成主要以「發現性策略」為主軸。發現性策略的主要傾向是促使學生自己發現問題，引導學生思考的方法，並從中掌握知識。不同的學生有不同的學習特點和風格，教師應採用多元化因材施教，藉由講述(傳遞權威性知識)，啟發學生自主性學習，以利學生未來發展。

(三) 教學活動

修正後之教學活動，預計分為四個階段，分別針對四個主題進行。

- 引發學習動機：教師及領域專家帶領，提升學生的學習興趣與動機，啟發學生對課程相關議題之了解。
- 經驗學習法結合舊有經驗由做中學：師生對話，教師與學生分享教學實作經驗，藉由結合學生舊有學習經驗，使學生產生共鳴，讓學生從課程的「旁觀者」轉變為「參與者」，教師的角色則變更為引導及協助者。
- 教學活動進行：學生發展自主性想法，進行主題專案模型設計及架構實驗流程與藍圖，並進行感測器安裝、資料擷取、回歸分析等傳統教師示範課程。
- 教學成果分享：學生完成專案後，透過任課教師、跨校師資與業師協同，協助學生釐清與解決問題，使學生設計實作之主題更完整化，並在完成後與學生進行公開作品檢討與分享。

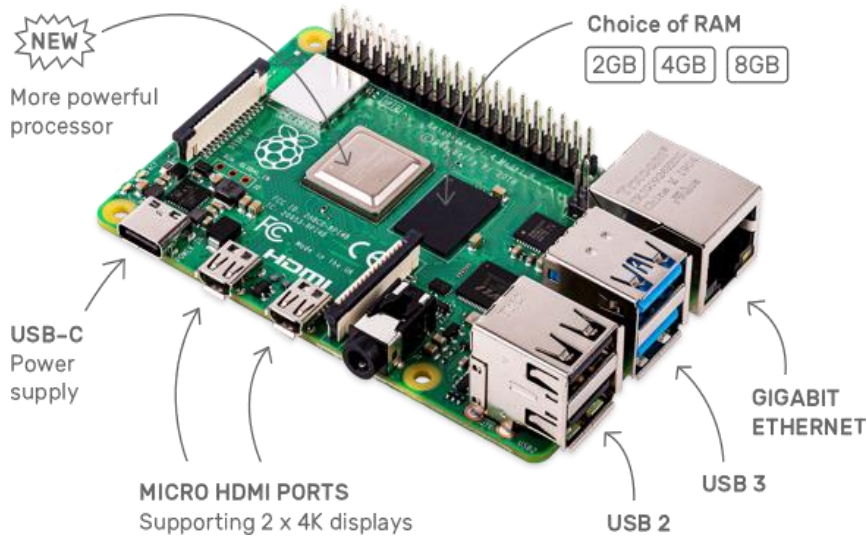
（四）教學評量

以結構工程新興主題為結構實健康診斷課程專案的議題，注重學生實際動手設計模型及架構實驗流程與藍圖完成實驗過程，教學以實作評量為方式進行，鼓勵學生主動表達學習到的知識以及納入學生個體差異，展現學生在課程上的努力及進步。整體教學評量以教師點評、同儕互評為基準，發表正式的評量紀錄。

（五）實驗內容與介紹

1. 樹莓派 (Raspberry Pi) 簡介

是基於 Linux 的單晶片電腦，由英國樹莓派基金會開發，目的是以低價硬體及自由軟體促進學校的基本電腦科學教育。樹莓派每一代均使用博通 (Broadcom) 出產的 ARM 架構處理器，如今生產的機型記憶體在 2GB 和 8GB 之間，主要使用 SD 卡或者 TF 卡作為儲存媒體，配備 USB 介面、HDMI 的視訊輸出 (支援聲音輸出) 和 RCA 端子輸出，內建 Ethernet/WLAN/Bluetooth 網路鏈結的方式 (依據型號決定)，並且可使用多種操作系統。產品線型號分為 A 型、B 型、Zero 型。本計畫所使用的型號為 Raspberry Pi 4 Model B 搭載 1.5GHz 的博通 BCM2711 (四核 Cortex-A72) 處理器、4GB LPDDR4-3200 SDRAM、藍牙 5.0 等。



圖十三、Raspberry Pi 4 Model B

2. GPIO (General Purpose I/O Ports)簡介

GPIO (General Purpose I/O Ports) 意思是通用輸入/輸出埠，即通過對不同的針腳輸出高電位或者低電位，並藉由程式語言自由控制，提供使用者對不同的外接裝置 HAT(Hardware Attached on Top)進行通訊、控制、資料儲存等。本計畫所使用的 Raspberry Pi 4 Model B 共有 40 根 GPIO 針腳 (如圖十四)，這些就是樹莓派與外部傳感器的控制接口，透過編寫 Python 程序達到控制所需針腳的輸出、輸入功能就能與本次計畫所使用的三軸加速度計、曲率檢測器相連，即可達到控制傳感器以及蒐集數據的功能。

Raspberry Pi Pinout			
3v3 Power	1	2	5v Power
GPIO 2 (I2C1 SDA)	3	4	5v Power
GPIO 3 (I2C1 SCL)	5	6	Ground
GPIO 4 (GPCLK0)	7	8	GPIO 14 (UART TX)
Ground	9	10	GPIO 15 (UART RX)
GPIO 17	11	12	GPIO 18 (PCM CLK)
GPIO 27	13	14	Ground
GPIO 22	15	16	GPIO 23
3v3 Power	17	18	GPIO 24
GPIO 10 (SPI0 MOSI)	19	20	Ground
GPIO 9 (SPI0 MISO)	21	22	GPIO 25
GPIO 11 (SPI0 SCLK)	23	24	GPIO 8 (SPI0 CE0)
Ground	25	26	GPIO 7 (SPI0 CE1)
GPIO 0 (EEPROM SDA)	27	28	GPIO 1 (EEPROM SCL)
GPIO 5	29	30	Ground
GPIO 6	31	32	GPIO 12 (PWM0)
GPIO 13 (PWM1)	33	34	Ground
GPIO 19 (PCM FS)	35	36	GPIO 16
GPIO 26	37	38	GPIO 20 (PCM DIN)
Ground	39	40	GPIO 21 (PCM DOUT)

圖十四、Raspberry Pi GPIO 示意圖

3. 傳感器簡介(三軸加速度計與曲率檢測器)

本計畫以樹莓派搭配三軸加速度計與曲率檢測器，製作出一簡易且方便的可攜式傳感器，透過連接 WIFI 或者無線網卡，打破過往傳感器必須接線、狀態擷取系統等複雜程序的印象，以輕便、無線、低耗電以及不錯的測量精度，於未來結構健康診斷、頻譜分析、RC 試驗等課程中可以用做教學展示也可透過實作帶領學生初步了解傳感器之原理以及使用。

(1) 曲率檢測器之簡介與裝設

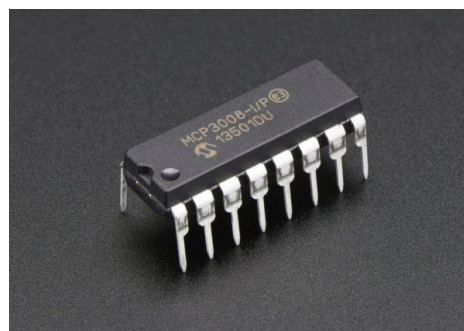
本計畫所使用的曲率檢測器為美國 SparkFun 原裝進口的單向彎曲感測器長 2.2 英寸(如圖十五所示)，於使用範圍內，透過彎曲傳感器，改變曲率檢測器的電阻值，並透過撰寫 Python 程序讀取其彎曲值(曲率)。其中必須注意，因為樹莓派不像 Arduino 與 Microbit 有接收類比訊號輸入的功能，因此為了讀取曲率檢測器的訊號，必須額外裝設 MCP3008 控制晶片(如圖十六所示)進行類比訊號與數位訊號的轉換，如此一來樹莓派才能順利讀取曲率檢測器轉換過的數位訊號。同時為了使曲率感測器可以裝設於任意目標結構物上，需要透過錫焊將杜邦線與曲率感測器相連，使其延長增加曲率感測器的使用性。

(2) ADXL345 三軸加速度計之簡介與裝設

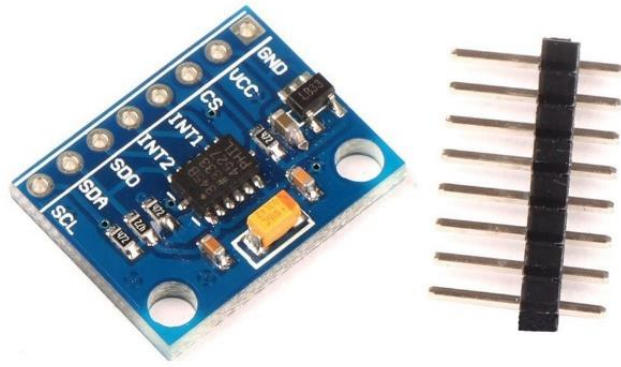
ADXL345 是一款體積小而輕薄的低功耗三軸加速度計(如圖十七所示)，解析度高達(13 位元)測量範圍可達 $\pm 16g$ 。並且可以通過 SPI(3 線或 4 線)或 I2C 等通訊協定腳位進行連接。ADXL345 非常適合應用於移動式的設備上，它可以在傾斜檢測應用中測量靜態重力加速度，還可以測量運動或沖擊導致的動態加速度。其高解析率(3.9mg/LSB)，能夠測量不到 1.0° 的傾斜角度變化。同時提供活動和非活動檢測功能透過比較任意軸上的加速度與用戶設置的閾值來檢測有無運動發生。



圖十五、2.2 吋曲率感測器

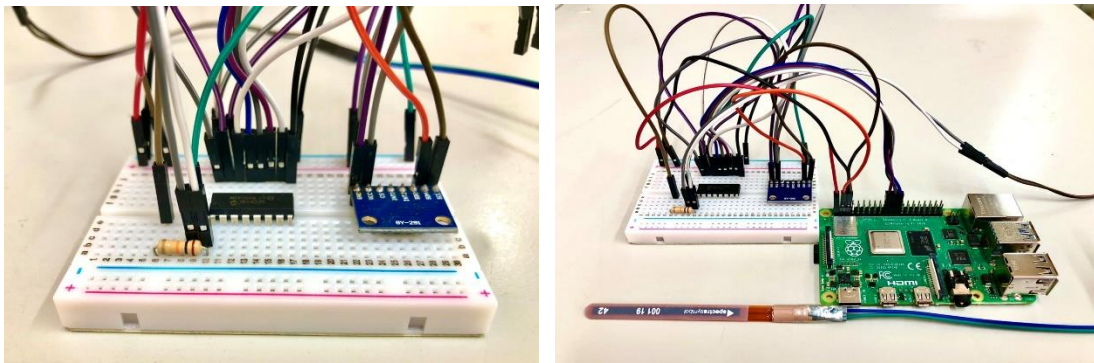
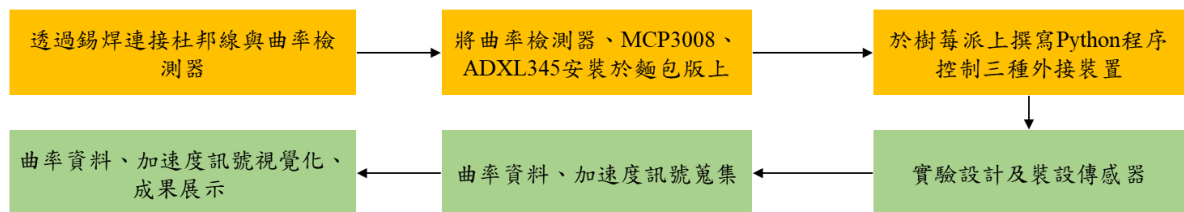


圖十六、MCP3008 (A/D Converters)



圖十七、ADXL345 三軸加速度計

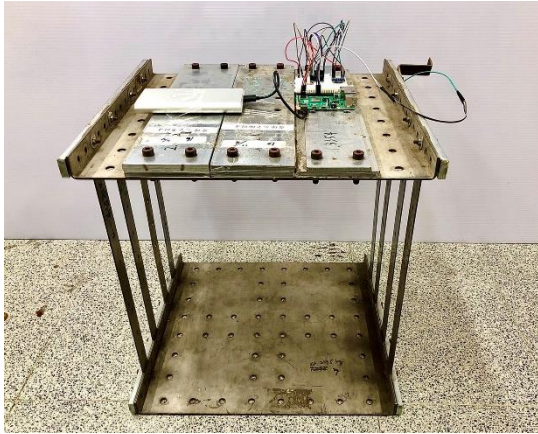
4. 傳感器設計與開發流程



圖十八、樹莓派加速度與曲率傳感器外觀

(1) 實驗設計

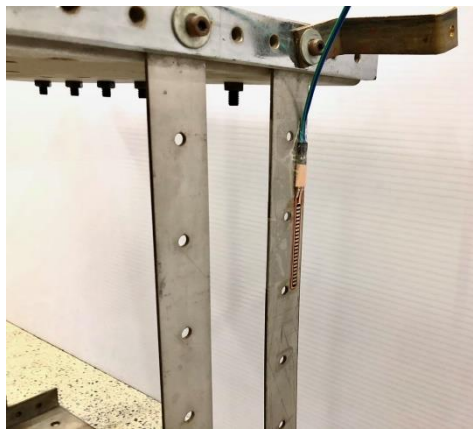
本計畫透過一鋼結構來進行樹莓派無線傳感器效能之實際測試，其中實驗之目標結構物由上下兩鋼板及質量塊搭配四根柔性柱所組成(如圖十九所示)。由於鋼結構柔性柱之撓曲反應明顯，故可以透過本計畫開發之樹莓派無線傳感器，藉由結構自由震動實驗(free vibration)觀測其加速度歷時與柔性柱曲率變化歷時之相關性。首先將樹莓派本體、麵包版以及行動電源固定於結構物頂部(如圖二十所示)，確保晃動時不會造成傳感器之飄移，接著將曲率感測器固定於柔性柱上(如圖二十一所示)並開始自由震動實驗，接著透過 windows 遠端桌面功能，透過 WIFI 連線進入樹莓派系統，進行實驗數據之擷取與蒐集。實驗結束後，將紀錄的加速度、曲率變化歷時文字檔，藉由另外撰寫的 Python 程序進行資料視覺化與數值分析即可驗證本計畫之樹莓派無線傳感器之性能與成果。



圖十九、目標結構物外觀



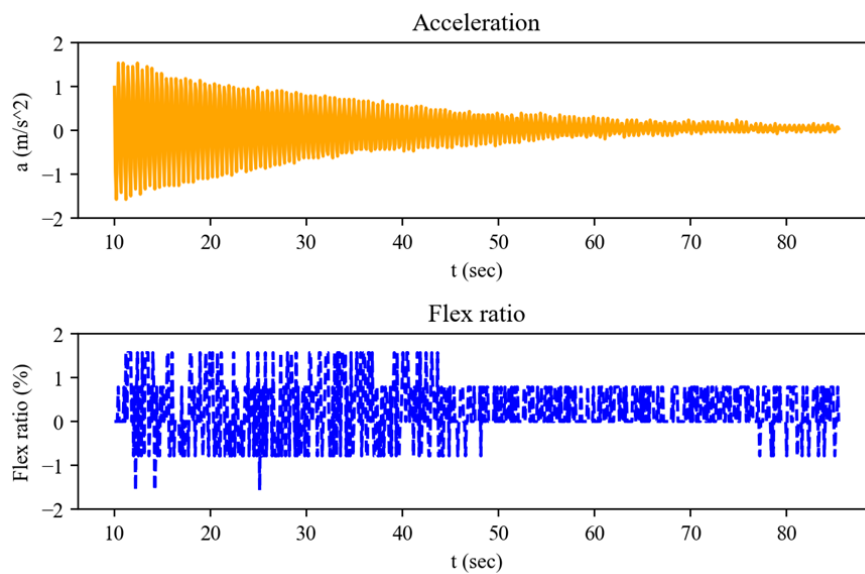
圖二十、感測器安裝



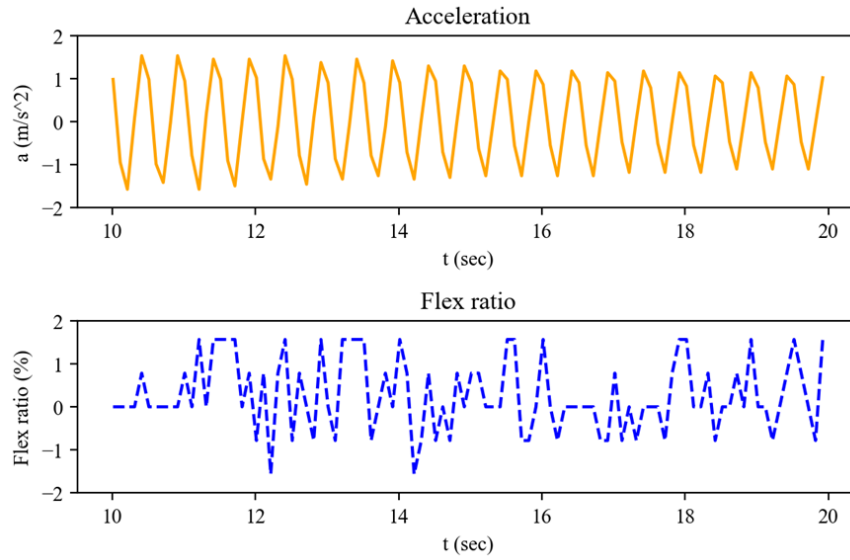
圖二十一、曲率感測器裝設於柔性柱上

(2) 實驗結果展示與總結

I. 將曲率檢測器安裝於柔性柱中點之結果

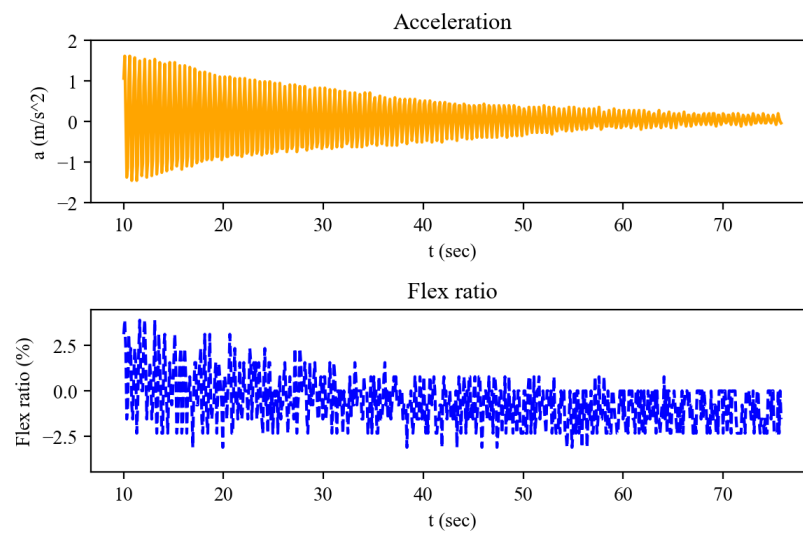


圖二十二、柔性柱中點加速度、曲率變化率全歷時圖

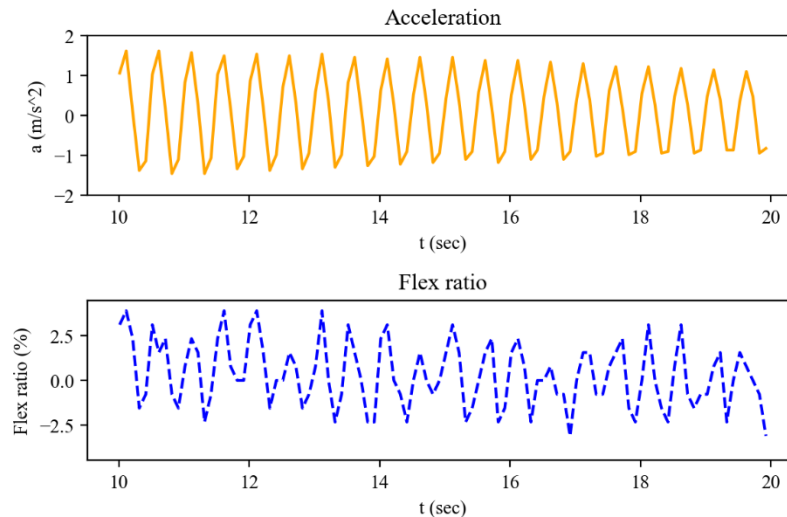


圖二十三、柔性柱中點加速度、曲率變化率 10~20s 歷時圖

II. 將曲率檢測器安裝於柔性柱底部之結果



圖二十四、柔性柱底部加速度、曲率變化率全歷時圖



圖二十五、柔性柱底部加速度、曲率變化率 10~20s 歷時圖

III. 實驗結果探討與總結

透過上方歷時結果可以看出加速度歷時在兩種實驗中皆有逐漸收斂的傾向，正好符合自由震動下結構加速度歷時的預期結果，可見加速度計表現良好。曲率感測器裝設於柔性柱中點的結果顯示，柔性柱的曲率變化率不到 2%，由此推斷柔性柱中點可能為反曲點，造成撓曲的效果不甚明顯；而曲率感測器裝設於柔性柱底部的結果顯示，柔性柱的曲率變化率來到接近 4.5% 左右，相對於裝設在中點的結果有明顯的提升，可見柔性柱上下兩端產生的撓曲效果較中點(反曲點)明顯許多，符合前段的推測。另外擷取歷時圖 10~20 秒的部分來看，可以發現當加速度峰值產生時，同時也會伴隨著曲率變化率的峰值產生。

(六) 教師教學反思

本教學研究計畫，以引導式實作課程增進學生好奇心，使同學對於過往理論知識有新的認識，並導入經濟安全的互動式軟硬體實驗，此種教學方式將持續進行，並探討未來將新式教學向外推廣之可行性。

(七) 學生學習回饋

學生對於求知更加積極，學習成效提升，經由實際動手操作，增進實務思考能力與思辯能力，達成做中學與合作學習願景。

(八) 研究成果

達成近年來蓬勃發展之結構健康診斷課程核心目標，有效運用交通大學結構大樓的實驗資源，並結合電子晶片與軟體，對於實行跨領域教學是一大進展。本計畫之研究成果如下：

- 模組化結構實驗力學教材 1 套
- 結構動態反應量測物聯網 1 組
- 以教學實務相關研究為主題之技術報告 1 份
- 教學實務分享演講 2 場次

六、參考文獻(References)

[1] Jon Ord (2012). John Dewey and Experiential Learning: Developing the theory of youth work. Youth & Policy, No.108

[2] B. Colin & J.P. Wilson (2002). The Power of Experiential Learning: A handbook for Trainers and educators. Derby University, UK.

[3] Pol-Bernard Gossiaux S, Carl-Philippe Rauch & Safouana Tabiou(2005), 'Learning by doing': a teaching method for active learning in scientific graduate education. European Journal of Engineering Education.30(1).

[4] David A. Kolb (2014). Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. NJ, United States.

[5] John Dewey (2007). The School and Society. Whitefish MT, United States.

[6] Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. The Journal of the Learning Sciences, 11(1), 105-121.

[7] Hawkins, J., & Collins, A. (1992). Design-experiments for infusing technology into learning. Educational Technology, 32(9), 63-67.

[8] Johnson, D. W. (1984). Cooperative small-group learning. ERIC(ED 251 937).

[9] Kelly, A. E. (2003). Research as design. Educational Researcher, 32(1), 3-4.

[10] Kolodner, J. L. (2001). A note from the editor. The Journal of the Learning Sciences, 10(1&2), 1-4.

[11] Lefrancois, G. R. (1997). Psychology for teaching. Wadsworth.

- [12] Lobato, J. (2003). How design experiments can inform a rethinking of transfer and vice versa. *Educational Researcher*, 32(1), 17-20.
- [13] McCandliss, B. D., Kalchman, M., & Bryant, P. (2003). Design experiments and laboratory approaches to learning: Steps toward collaborative exchange. *Educational Researcher*, 32(1), 14-16.
- [14] Shavelson, R. J., Phillips, D. C., Towne, L., & Feuer, M. J. (2003). On the science of education design studies. *Educational Researcher*, 32(1), 25-28.
- [15] Bossert, S. T. (1988). Cooperative activities in the classroom. *Review of Research in Education*, 15, 225-250.
- [16] Brown, A. L. (1992). Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141-178.
- [17] Chang, S. W., Lin, T. K., Kuo, S. Y., & Huang, T. H. (2017). Integration of High-Resolution Laser Displacement Sensors and 3D Printing for Structural Health Monitoring. *Sensors*, 18(1), 19.
- [18] Cobb, P. (2001). Supporting the improvement of learning and teaching in social and institutional context. In S. M. Carver & D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty-five years of progress* (pp. 455-478). NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [19] Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13.
- [20] Collins, A. (1992). Toward a design science of education. In E. Scanlon & T. O. 'Shea (Eds.), *New directions in educational technology* (pp. 15-22). New York: Springer-Verlag.
- [21] Collins, A. (1999). The changing infrastructure of education research. In L. S. Schulman (Ed.), *Issues in education: problems and possibilities*. (pp. 289-298). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- [22] Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42.
- [23] 楊坤原、張賴妙理. (2005). 問題本位學習的理論基礎與教學歷程. *中原學報*, 33(2), 215-235.
- [25] 陳淑絹(民 84)：「指導-合作學習」教學策略增進國小學童閱讀理解能力之實徵研究。國立台灣師範大學教育心理與輔導研究所博士論文。