

科技與工程 教育學刊

Journal of
Technology and
Engineering
Education

2017年12月 第48卷第2期

ISSN : 1025-7578
DOI : 10.6232/JTEE

汽機車節油素養指標建構之研究

蔡政龍、鍾智超、羅希哲.....1-16

實務專題課程應用探究式教學對電資相關系科大學生探究能力與創造思考能力之影響

張仁家、林癸妙、彭儀雯、周全鋒.....17-43

工具機產業導向3D列印技術應用於機械設計技術課程能力指標與教學大綱建構

陳狄成、尤麒熊、郭聰穎、張易崇.....44-59

設計及應用氫氧混合供應系統清除火星塞表面積碳及改善引擎廢氣排放

陳錦華、陳昆煜、吳佳華、邱維振、賀璞.....60-89

汽機車節油素養指標建構之研究

Construction of Fuel Saving Literacy Indictors of Vehicles

蔡政龍、鍾智超*、羅希哲**

國立高雄師範大學工業科技教育系

*和春技術學院工業工程與管理系

**國立屏東科技大學技術及職業教育研究所

Cheng-Lung Tsai, Chih-Chao Chung*, Shi-Jer Lou**

Department of Industry Technology Education, National Kaohsiung Normal University

*Department of Industrial Engineering and Management, Fortune Institute of Technology

**Graduate Institute of Technological and Vocational Education, National Pingtung University of Science and Technology

摘要

本研究目的是了解汽機車節油素養之指標，並評估其重要程度。本研究方法是藉由相關文獻與專家問卷之模糊德懷術法(Fuzzy Delphi Method)來建構與整合專家的汽機車節油素養評鑑指標，再以層級分析法(Alytical Hierarchy Process)計算各指標間的相對權重，來完成評鑑體系的建構。汽機車節油素養經產、官、學專家結論為：(1)3 個主指標的權重值由高至低，依序為節油認知(0.483)、節油技能(0.379)、節油情意(0.139)；(2)17 個次指標，以「應用」的權重值最高(0.128)；(3)52 個題目依序為「1.2.2 車輛在減輕車重負載（非原車有的配件，如加裝車頂架及車頂置物箱等）的條件下，可降低引擎負荷提高車輛燃油效率，估計可以節油減碳。」與「1.3.4 車輛輪胎保持原廠標準建議計算範圍內的胎壓，可降低磨擦阻力，減少不必要的輪胎磨耗，可以節油減碳」此結果顯示權重值最高(0.058)，兩題目最重要且剛好也落在「節油認知」這最重要的指標中，也符合「節油認知」最重要。可見汽機車節油宜先從「節油認知」優先著手，是建構汽機車節油素養之主要因素，藉此可以提供汽機車使用人與負責主管機關發展汽機車節油素養教育訓練與學習之參考。

關鍵字：節油、模糊德懷術、層級分析法、節油認知、節油技能、節油情意

*通訊作者：鍾智超，E-mail: 9915916@gmail.com

**通訊作者：羅希哲，E-mail: lou@mail.npust.edu.tw

Abstract

The purpose of this study is to construct the fuel saving indicators of vehicle and to assess its importance. This research method is based on the relevant literature and expert questionnaire by Fuzzy Delphi Method to construct and integrate the vehicle fuel saving indicators, and then assess their weight level by Analytical Hierarchy Process. The results include (1) the weight of the three main indicators from high to low, in order for the fuel saving awareness (0.483), fuel saving skills(0.379), fuel saving affection (0.129); (2) There are seventeen sub-indicators, with the "application" of the highest weight(0.128); (3) There are fifty-two questions in order, among "1.2.2 vehicles in reducing the heavy load such as the installation of roof racks and roof containers can reduce the engine load to improve vehicle fuel efficiency. And" 1.3.4 vehicle tires to maintain the original standard tire pressure which can reduce the friction resistance, reduce unnecessary tire wear, can save fuel" show the highest weight(0.058). These two are the most important indicators. Also, results of this study can provide the vehicle companies and the competent authority the fuel saving literacy indicators of vehicles as reference.

Keyword: Fuel saving, Fuzzy delphi method, Analytical hierarchy process, Fuel Saving awareness, Fuel saving skills, Fuel saving affection

壹、前言

世界各地極端氣候問題日趨嚴重，全球暖化與氣候變遷傾向認為是人類活動致使的效應已得到科學驗證(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC, 2007)尤其是燃燒化石燃料排放大量的二氧化碳影響所致。因此，多位專家認為能源教育的推動在於建立有效的溝通機制，以提升公民的環境意識，改變生活態度並實行環境友善的具體行動(Chedid, 2005; Dias, Mattos, & Balestieri, 2004; Zografakis, Menegaki, & Tsagarakis, 2008)。

一、研究背景與動機

目前傳統的汽機車其動力來源主要是藉由燃燒化石燃料（如：柴油、汽油、液化石油氣等）來達到，因此無可避免會產生大量的二氧化碳，在環保意識抬頭及 1997 年在日本京都召開「氣候變化綱要公約」，會中通過了「京都議定書」的溫室氣體減量規定下，各國開始對石油使用有所限制，也訂定相關法規來抑制化石燃料的使用量，以減少二氧化碳等溫室氣體的產生(郭博堯，2001；賴麗蓉，1998)。目前世界各地傳統石油蘊藏量日益枯竭，國際石油情勢動盪(Gillingham, Rapson, & Wagner, 2016)，在油價風險攀升及未找尋到替代能源壓力等情況下，台灣能源發展面臨極嚴峻挑戰。各國也開始致力推動節油減碳、提升能源效率對於汽機車節油減碳已變成全球的共識，汽機車節油管理等各種政策與獎勵措施，作為溫室氣體減量的重要策略。而對“關於巴黎氣候變化協定”承諾分析發現，化石燃料的時代遠未結束，並強調達成更加雄心勃勃的氣候目標與挑戰(Tsai, 2005；International Energy Agency [IEA], 2016)。

節油教育可以提升國人有效使用汽機車節油態度與行為的重要性不言而喻，已有多家客運訂有節油獎金辦法，以節油減碳而能落實「環保駕駛」(賴文泰、許淮之，2015)。將節油減碳相關認知、情意、技能等，在需要時能易於取用，甚至自動呈現在日常生活中，將有助於節油素養之提升。因此本研究認為目前最重要之議題是發展“汽機車節油素養指標”，藉由文獻探討及模糊德懷術法及層級分析法進行分析，傳統德懷術法須經由三回以上的量表調查及修訂，頗為費時，加上調查次數越多，成本越高(吳政達，2005)，若採取模糊德懷術法，以三角模糊數(triangular fuzzy number)整合專家意見，僅需一回的調查，不但可以減少成本，更能表達人類思維之模糊性及不確定性，增加量表的客觀性。如此希望能找到推動汽機車節油減碳之策略，藉此提供發展節油減碳決策之參考，引領汽機車駕駛邁向節油減碳新素養，以達成對國際的減碳承諾，建構永續臺灣。

二、研究問題

本研究以專家模糊德懷術法確定汽機車節油素養主要指標、次要指標及題目之重要性，並以專家層級分析法計算汽機車節油素養主要指標、次要指標及題目之相對權重值，研究問題如下：

- (一) 汽機車節油素養量表之主要指標重要性及其相對權重值為何？
- (二) 汽機車節油素養量表之次要指標重要性及其相對權重值為何？
- (三) 汽機車節油素養量表之題目重要性及其相對權重值與排序為何？

三、研究目的

本研究目的是以模糊德懷術法及層級分析法進行分析指標之理論與相關研究為基礎，進一步結合評鑑指標與權重體系之建構方法，建構一套適用於當前多元社會教育環境的「汽機車節油素養指標系統建構與權重體系」做為有效評鑑指標之基礎，並實際運用於教育情境與訓練中。大學生和取得汽機車駕駛執照的人，都適用汽機車節油素養量表，將從有效使用汽機車節油素養的角度出發，推廣節油知識於中學生與大學生的教育中，以落實節油減碳政策，進而提升國人節油與減碳之素養，來因應石油蘊藏量日益枯竭與氣候快速變遷的全球環境。

貳、研究方法與設計

模糊德懷術法其優點有：可充分表達個人意見、每位專家意見具有相同價值，不受限於個人權位之影響。本研究以三角模糊數整合多位專家之意見，不需反覆多次調查。此一整合方法是利用每位參與者的偏好關係，來建構其個人的模糊偏好關係，以求得整體的偏好關係。該技術的運用是針對某一主題設計量表，請專家小組表達其意見；然後就專家意見加以蒐集、組織，以期獲得團體成員一致的看法（王文科、王智弘，2016）。語意變數「年齡」，語言值（linguistic values）可以是童年、少年、青年、中年、壯年、老年...等，這些值都是模糊概念而不是精確的值；又例如將評估者對問題的看法：{非常重要、重要、普通、不重要、非常不重要} 利用予以變數轉換為模糊評估值，以達到量化的目的(王進德、蕭大全，1994)，如圖 1 所示。

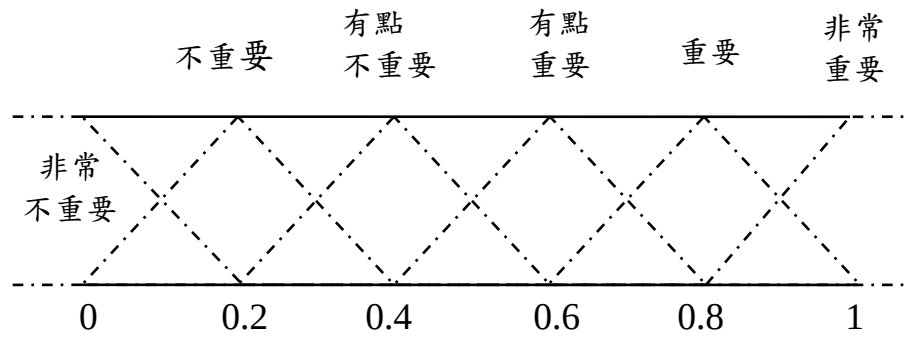


圖 1 語意變數之模糊尺度

層級分析法是可將複雜問題依不同層面加以分層、分類，成為一簡單的層級架構，使問題層級化、數量化。而問題的各組成要素間則透過兩兩比較求得層級要素的權重值，提供決策者資訊，最後透過量化的判斷加以統合評估，做為最後決策時之工具。而各層面集合，依準則與特性加以分類，予以分成多個層級，其典型之層級結構，如圖 2 所示。

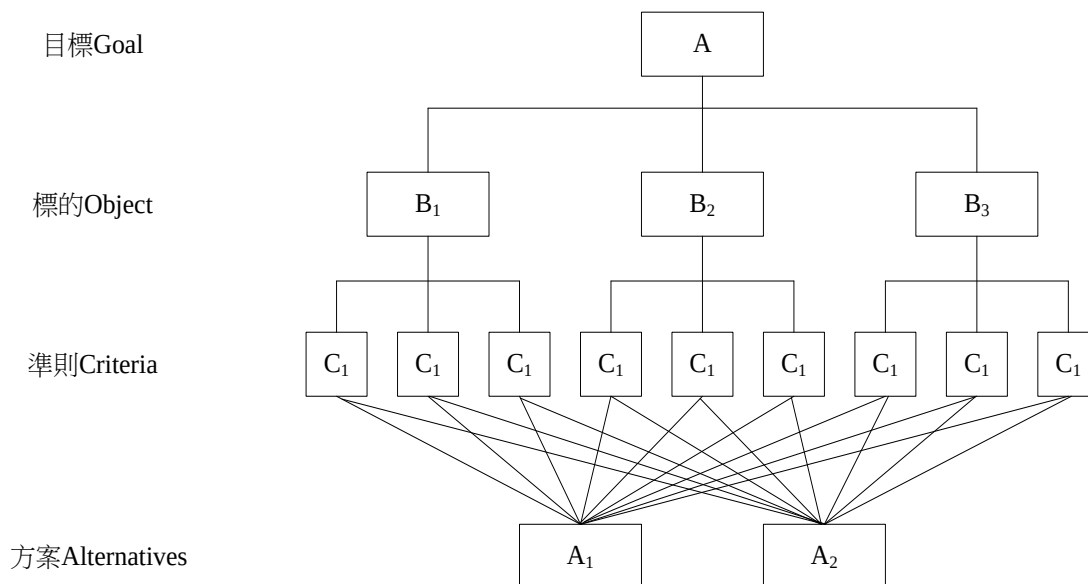


圖 2 層級分析法之層級結構圖

本研究採用模糊德懷術法與層級分析法作為兩階段的專家問卷調查之分析工具，可有效整理統計出各指標明確的權重值，可增加量表之客觀性與精確性。

一、研究對象

本研究遴選邀請產、官、學專家對此量表進行評估。受邀專家皆是汽機車專業領域人士和相關教學之經驗、豐富工作能力與研究等不同專業領域，專家背景分別如表 1 所示。大部分專家都具有汽、機車修護乙級證照以上（其中兩位專家具汽車修護甲級證照），也具備足夠的汽機車教學年資和經驗。使其填寫量表的專家對汽機車節油減碳有更深入的了解，減低對量表信度及效度之干擾。遴選專家以產、官、學專家作為深度訪談之對象，一般而言，參與研究的專家群至少應在 10 位以上。本研究期間兩階段的專家問卷調查耗時近一年，礙於有幾位專家無法全程配合兩階段專家問卷調查會議，故改以其他專業領域相似的專家代替參與專家問卷會議，以力求研究分析結果之嚴謹。因此，將專家名單異動問題，是本研究之研究限制。

表 1
產、官、學專家背景

編號	模糊德懷術法			層級分析法		
	專家職稱	專家服務單位	類別	專家職稱	專家服務單位	類別
1	廠長	高都汽車九如 LEXUS 專修廠	產	廠長	高都汽車九如 LEXUS 專修廠	產
2	廠長	裕昌汽車 INFINITI 專修廠	產	廠長	裕昌汽車 INFINITI 專修廠	產
3	部長	南都 TOYOTA、LEXUS 服務部	產	部長	南都 TOYOTA、LEXUS 服務部	產
4	訓練經理	國際富豪 VOLVO 汽車(股)公司	產	訓練經理	國際富豪 VOLVO 汽車(股)公司	產
5	訓練師	高雄市職訓局汽車修護類科	官	訓練師	高雄市職訓局汽車修護類科	官
6	講師	交通部公路總局南部訓練中心	官	講師	交通部公路總局南部訓練中心	官
7	主任	南台科技大學進修學院	學	副教授	台北科技大學車輛工程所	學
8	系主任	高雄師範大學工業科技教育學系	學	助理教授	南開科技大學機械工程系車輛組	學
9	助理教授	南開科技大學機械工程系車輛組	學	助理教授	南開科技大學機械工程系車輛組	學
10	主任	嘉義高工汽車科	學	系主任	高雄師範大學工業科技教育學系	學
11	主任	旗山農工汽車科	學	組長	南台科技大學汽車組	學
12	主任	高苑工商汽車科	學	主任	南台科技大學進修學院	學
13	主任	中山工商汽車科	學	主任	中山工商汽車科	學
14	主任	高苑工商輔導室(前汽車科主任)	學	主任	高苑工商輔導室(前汽車科主任)	學
15	主任	立志工商進修部	學	主任	旗山農工汽車科	學
16	主任	慈幼工商汽車科	學	主任	慈幼工商汽車科	學
17			學	主任	高英工商	學

二、研究工具

本研究採用模糊德懷術法及層級分析法來評定汽機車節油減碳，以專家問卷方式進行研究，以期合理且客觀地整合產、官、學專家意見。模糊德懷術法是專家預測法，也是群體決策法的一種，具有擷取問卷調查和會議兩者之優點，問卷之目的在評定評估表中之重要性次序等級，評定方式採 0~10 個等級，分數愈高表示愈重要，以模糊德懷術法的雙三角模糊數值，進行灰色地帶檢定，分析專家群體的意見。透過專家所填寫「汽機車節油素養」之問卷，經由分析後，進行門檻值的篩選，以選出適當的評估因子，再以層級分析法將指標之相對權重以 Expert Choice 2000 軟體，先求取每位參與建構「汽機車節油素養」指標專家，對各指標權重值是否符合一致性的指標。並將研究所得相對權重填入指標體系中，完成汽機車節油素養指標與權重體系。應用 Expert Choice 2000 統計軟體程式以「汽機車節油素養」相對權重調查問卷，進行相關統計，獲取指標體系中各級指標之相對權重分配，並排出順序。

三、資料分析

本研究回收量表之資料處理，模糊德懷術法發出 16 份專家問卷，回收 16 份，有效回收達 100%；層級分析法發出 17 份專家問卷，回收 17 份，有效回收達 100%。綜上專家問卷調查結果，來評定汽機車節油素養指標。請專家勾選量表內每一題項的重要指標之確認及權重建構，求出各初始指標的解模糊值及權重值。

本研究參考 Tsai、Chung、Dzan 及 Lou (2016)提出，汽機車節油素養的各指標、次指標之量表總計，共 56 題項。模糊德懷術法一致性檢定，如表 2 所示，包括節油認知、節油情意、節油技能三個構面。解模糊門檻值 0.6 為篩選評估指標，大於 0.6 予以保留；小於 0.6 則刪除該題項。再利用層級分析法步驟，求得各項評估指標之相對權重值，建立整個評估指標之權重體系。

（一）信度分析

信度是指量表結果的一致性。Hwang、Huang 與 Tseng(2004)、Zha(2006)採用 Satty 所提一致性指標，利用 Power choice 軟體計算，為確定問卷內容的合適性，必須再就特徵向量進行一致性檢定，亦即計算各層級一致性比率(consistency ratio, CR)，和整層級一致性比率(consistency ratio hierarchy, CRH)。依 Saaty 的意見，認為一致性比率值 CR 必須小於 0.1 方能接受，否則即表示層級的要素關連有問題，必須重新進行所有因素與關連的分析。

(二) 效度分析

本研究兩階段量表包括模糊德懷術法與層級分析法專家問卷量表，經過專家檢視，完成表面效度。經過相關文獻討論及專家建議，予以修改與檢測，讓量表各題項能衡量出本研究欲探討之研究主題，完成專家效度。

四、研究步驟

本研究流程圖，如圖 3 所示。首先，確定研究主題為汽機車節油素養，接著，進行相關文獻的探討，根據文獻編製成量表，由專家小組檢視，以確保題意的恰當性與可讀性，完成表面效度檢驗。確定模糊德懷術法之產、官、學專家成員後，與專家成員針對量表做意見交換與修正，以確保題項的專業性與正確性，完成專家效度。修正完成後再由本研究團隊最後檢視無誤，即實施模糊德懷術法量表調查，請專家評選每一題項的重要等級；接著計算各指標及題項的解模糊值，及進行一致性的檢定；根據檢定結果，對量表進行修正。

最後，以模糊德懷術法量表的結果，實施層級分析法量表調查，再請產、官、學專家針對兩兩題項之間重要性做比較；計算出各指標及題項的相對權重值，並進行信、效度的驗證，即完成量表。層級分析法是模擬人類思維過程的一種工具，對這種思考過程提供一種數學表達及數學處理的方法（陳勁甫、徐強、許桂溶，2009）。經過專家小組討論後，刪除不適用於汽機車節油素養之選項。並修改題項成一致的語句，使填答者方便閱讀與填答。經過專家檢視，完成表面效度，經過專家檢視，完成專家效度。

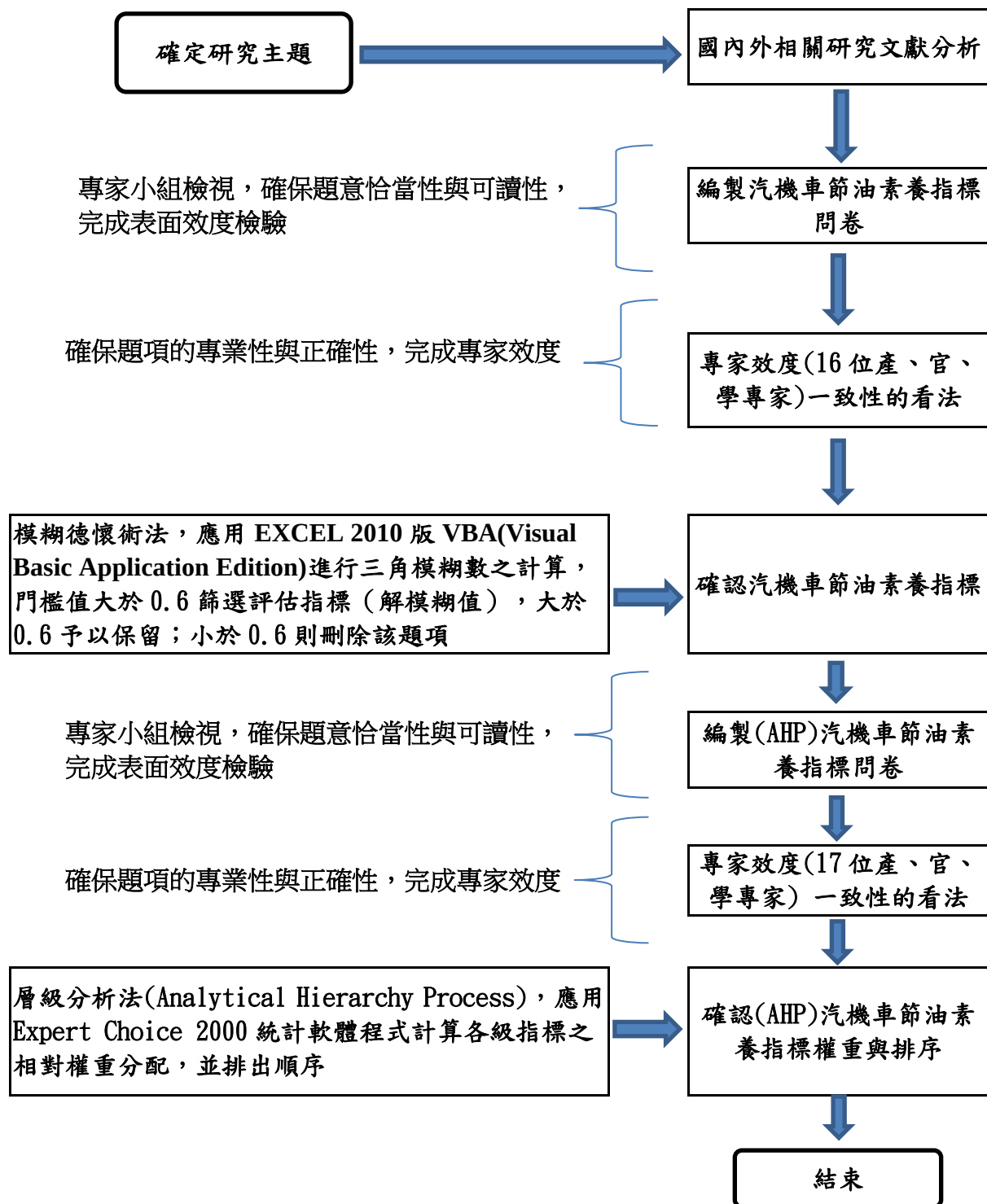


圖 3 研究流程圖

參、研究結果

本研究兩階段量表，第一階段模糊德懷術法請專家填寫量表內每一題項的重要程度，求出各初始指標的解模糊值。第二階段請專家針對兩兩題項之間的重要性做比較，透過專家選取的語意變數求出各指標間的明確權重值。

一、專家模糊德懷術法指標重要性分析

根據問卷調查量表所得的各項資料，針對「節油認知」、「節油情意」、「節油技能」等指標，進行專家問卷之「模糊德懷術法分析」，本問卷請專家學者予以評分，填入內心最直接反映之觀察數值，接著以此觀察數值做為基準，依研究目的決定門檻值(S)，以決定因素之刪除與否，即若因素之幾何平均數大於或等於門檻值時($M \geq S$)，則接受此因素為評估因素，反之($M < S$)，便刪除此因素。本研究參考所有可能影響因子之共識重要程度的幾何平均值為(0.6)，並考慮篩選後之準則確切性以及未來處理問題的可操作性，因此將篩選門檻值(S)定為(0.6)。最後將專家對可能影響因子之共識重要程度值小於(0.6)之因子剔除，其獲得指標篩選結果，如表 2 所示，分別說明如下：

- (一) 節油認知(0.711)指標下 6 項次指標，即為：記憶(0.709)、理解(0.620)、應用(0.699)、分析(0.673)、綜合(0.802)、評鑑(0.763)。
- (二) 節油情意(0.711)指標下 5 項次指標，即為：接受(0.701)、反應(0.755)、評價(0.769)、組織價值 (0.655)、定型 (0.675)。
- (三) 節油技能(0.728)指標下 6 項次指標，即為：覺察(0.731)、反應趨勢(0.751)、仿效反應(0.717)、機巧(0.779)、複合反應(0.699)、創造(0.689)合計 17 項次指標全部符合門檻值。

此外，本研究發現在各題目中題項解模糊值不符合門檻值，其篩選結果為分別為「1.2.1 加汽油時避開大太陽及油料不濺出，加油後油箱蓋鎖緊才可減少油料蒸發及耗損，估計可以節油減碳」值(0.555)、「1.3.3 車輛在標準輪胎胎紋深度 1.6mm 以上深度計算，發現可以節油減碳」值(0.437)、「1.4.3 汽機車選擇添加機油精(機油添加劑) 可減少引擎內部磨損，增強潤滑效果，可以節油減碳」值(0.582)、「2.4.2 車主開車能安全駕駛，保護乘客，可以節油減碳」值(0.450)，皆小於 0.6。四題項都沒有達到門檻值，予以刪除。其它題目的解模糊值均大於 0.6，故保留題項。

二、專家層級分析法指標相對權重值分析

汽機車節油素養指標權重值之分析，本研究採用層級分析法 AHP，在整個評估模式過程中，經由上篩選出汽機車節油素養指標建立層級結構後，下一步驟為使用層級分析法求得各節油指標之權重值的統計過程與初步結果，各指標及題項的權重值及排序，彙整如表 2 所示。

（一）節油素養主要指標的權重值順序

三個主要指標的權重值由高至低，如表 2 所示，依序為節油認知、節油技能、節油情意。其中，以節油認知的權重值最高(0.483)。此結果顯示汽機車節油素養對「節油認知」最重要。

（二）節油素養次指標權重順序

十七個次指標權重由高至低，如表 2 所示，依序為應用、理解、分析、綜合、仿效反應、創造、反應趨向、複合反應、機巧、評鑑、覺察、評價、組織價值、記憶、反應、接受、定型。其中，以「應用」的權重值最高(0.128)。此結果顯示汽機車節油素養對應用最重要。

（三）節油素養題目權重順序

52 個節油素養題目權重由高至低，如表 2 所示，依序為「1.2.2 車輛在減輕車重負載(非原車有的配件，如加裝車頂架及車頂置物箱等)的條件下，可降低引擎負荷提高車輛燃油效率，估計可以節油減碳。」與「1.3.4 車輛輪胎保持原廠標準建議計算範圍內的胎壓，可降低磨擦阻力，減少不必要的輪胎磨耗，可以節油減碳」此結果顯示汽機車節油素養對上兩題目最重要。其上兩題目的權重值最高(0.058)且剛好也落在「節油認知」這最重要的指標中，符合「節油認知」最重要。

表 2
汽機車節油素養的各指標、次指標、題目權重值與排序

評估指標與題項	模糊德懷術法		層級分析法			
	解模糊值	取捨	構面內權重值(L)	構面內排序	整體權重值(G)	整體排序
1. 節油認知	.717	O			.483	[1]
1.1 記憶	.711	O	.058	(6)	.028	(12)
1.1.1 相同燃料車的油耗敘述，小 c.c.數的車會比大 c.c.數的車更節油減碳。	.667	O	.571	1	.016	25
1.1.2 描述汽車在大太陽下開車前四門車窗先打開，讓車內溫度快速下降再開冷氣，可以節油減碳。	.752	O	.429	2	.012	32
1.2 理解	.620	O	.216	(2)	.104	(2)
1.2.1 加汽油時避開大太陽及油料不濺出，加油後油箱蓋鎖緊才可減少油料蒸發及耗損，估計可以節油減碳。	.556	X				
1.2.2 車輛在減輕車重負載(非原車有的配件，如加裝車頂架及車頂置物箱等)的條件下，可降低引擎負荷提高車輛燃油效率，估計可以節油減碳。	.706	O	.557	1	.058	1
1.2.3 車輛高速行駛中，時速約在 60km/hr 以上不開車窗，可降低行駛風阻係數，估計可節油減碳。	.6	O	.443	2	.046	4
1.3 應用	.699	O	.265	(1)	.128	(1)
1.3.1 發現汽機車噴射引擎，不需要怠速暖車即可以出發，以緩步行駛和低轉速達到引擎正常工作溫度，可以節油減碳。	.74	O	.222	3	.028	12
1.3.2 汽車儘量保持等速行駛，發現在市區約以定速 40-50km/hr 行駛、高速約以定速 80-90km/hr 行駛，保持經濟車速駕駛，可以節油減碳。	.801	O	.326	2	.042	6
1.3.3 車輛在標準輪胎胎紋深度 1.6mm 以上深度計算，發現可以節油減碳。	.437	X				
1.3.4 車輛輪胎保持原廠標準建議計算範圍內的胎壓，可降低磨擦阻力，減少不必要的輪胎磨耗，可以節油減碳。	.816	O	.452	1	.058	1
1.4 分析	.673	O	.172	(3)	.083	(3)
1.4.1 汽機車選擇適當汽油，可以節油減碳，燃料添加不當易造成引擎積碳爆震導致耗油。	.801	O	.525	1	.044	5
1.4.2 汽機車選擇添加汽油精(汽油添加劑)可以清潔噴嘴積碳，增強噴油效率，可以節油減碳。	.634	O	.475	2	.04	7
1.4.3 汽機車選擇添加機油精(機油添加劑)可減少引擎內部磨損，增強潤滑效果，可以節油減碳。	.582	X				
1.5 綜合	.802	O	.169	(4)	.082	(4)
1.5.1 車款型式相同的汽車設計，氫燃料電池車比一般汽油燃料車更節油減碳。	.816	O	.397	1	.032	9
1.5.2 車款型式相同的汽車設計，電動車比一般汽油燃料車更節油減碳。	.801	O	.377	2	.031	11
1.5.3 車款型式相同的汽車設計，複合動力車(例如:油電車等等)比一般汽油燃料車更節油減碳。	.787	O	.225	3	.018	20
1.6 評鑑	.763	O	.12	(5)	.058	(9)
1.6.1 車款型式排量相同的汽車對照，缸內直接噴射的引擎(GDI)，比一般噴射的引擎更可以節油減碳。	.816	O	.228	2	.013	30
1.6.2 車款型式排量相同的汽車對照，柴油車比一般汽油車更節油減碳。	.677	O	.131	4	.008	44
1.6.3 車款型式排量相同的汽車對照，轎車會比休旅車更節油減碳。	.725	O	.102	5	.006	46
1.6.4 車款型式排量相同的汽車對照，轎車會比跑車更節油減碳。	.685	O	.101	6	.006	47
1.6.5 車款型式排量相同的汽車對照，噴射引擎會比化油器引擎更節油減碳。	.831	O	.157	3	.009	41
1.6.6 車款型式排量相同的汽車對照，輕量化汽車會比沒有輕量化汽車節油減碳	.847	O	.281	1	.016	26
2. 節油情意	.711	O			.139	[3]
2.1 接受	.701	O	.176	(4)	.024	(14)
2.1.1 車輛使用依規定定期保養和檢修，可以節油減碳。	.801	O	.633	1	.005	49
2.1.2 行車隨時使用交通廣播電台收聽報導路況，瞭解即時交通狀況，才能採取必要措施改行順暢道路，可以節油減碳。	.659	O	.197	2	.005	49
2.1.3 選擇淺色系車輛較深色系車輛冷氣負荷較為減輕，可以節油減碳。(在高溫曝曬的情況下，不同顏色之小客車車身表面溫度差異最高可達 20℃)	.641	O	.17	3	.004	51
2.2 反應	.755	O	.196	(3)	.027	(13)
2.2.1 車輛遵守不加裝多餘的電器設備增加發電機負載，可以幫助節油減碳。	.748	O	.581	1	.016	24
2.2.2 汽車空調系統的恆溫控制，溫度設定適當，可以表現節油減碳。	.761	O	.419	2	.011	37
2.3 評價	.769	O	.245	(1)	.034	(10)
2.3.1 行駛途中遇狀況判別需較長時間停車時，應將引擎熄火避免怠速空轉，可節油減碳。	.787	O	.408	2	.014	29
2.3.2 車輛出門前著手規劃好最佳行程路線，避開尖峰時間和塞車路段，以免浪費時間增加延誤，可以節油減碳。	.75	O	.592	1	.02	17

(續下頁)

表 2
汽機車節油素養的各指標、次指標、題目權重值與排序(續)

評估指標與題項	模糊德懷術法		層級分析法			
	解模糊值	取捨	構面內權重值(L)	構面內排序	整體權重值(G)	整體排序
2.4 組織價值						
2.4.1 車輛駕駛透過安排「節油駕駛」的教育訓練，可以節油減碳。	.801	O	.762	1	.025	14
2.4.2 車主開車能安全駕駛，保護乘客，可以節油減碳。	.45	X				
2.4.3 堅持使用原廠汽機車規格輪胎，不改裝扁平比(高寬比)低的輪胎，有助於節油減碳。	.715	O	.238	2	.008	43
2.5 定型	.675	O	.152	(5)	.021	(15)
2.5.1 車款型式排氣量相同的汽車，傳動系統為前輪驅動表現最為節油減碳。(前輪驅動 > 四輪驅動 > 後輪驅動)	.677	O	.223	3	.005	50
2.5.2 車款型式排氣量相同的汽車，變速箱形式為無段變速的變速箱 CVT 表現最為節油減碳。(無段變速的變速箱 CVT > 手排的變速箱 MT > 自排的變速箱 AT)	.652	O	.356	2	.007	45
2.5.3 新車鑑賞，可參考經濟部能源局定期公布之「車輛油耗指南」油耗測試資料表，選購燃油效率較佳之車輛，最可以節油減碳。	.697	O	.421	1	.009	40
3. 節油技能	.728	O			.379	[2]
3.1 覺察	.731	O	.154	(6)	.058	(9)
3.1.1 汽車減速時輕踩煞車踏板使用方式與前車保持安全距離，可以節油減碳。	.667	O	.431	1	.025	13
3.1.2 不同材質的火星塞，使用鉦合金材質比一般材質的火星塞跳火電壓更高，可以節油減碳。	.736	O	.189	3	.011	33
3.1.3 在高速行駛時使用原廠汽車空氣套件，可以節油減碳。(例如：聯結車車頭導流板、汽車底盤導流板可降低行駛風阻等等)	.761	O	.236	2	.014	28
3.1.4 使用汽車隔熱紙，可降低車內溫度，可以節油減碳。	.761	O	.144	4	.008	42
3.2 反應趨向	.751	O	.166	(4)	.063	(7)
3.2.1 有可變汽門機構功能裝置的汽車，可以節油減碳。	.726	O	.137	5	.009	39
3.2.2 有電動轉向機能裝置的汽車，可以節油減碳。	.738	O	.056	6	.003	52
3.2.3 有休眠功能裝置的汽車，可以節油減碳。	.763	O	.16	4	.01	38
3.2.4 有怠速熄火功能裝置的汽機車，可以節油減碳。	.763	O	.177	3	.011	34
3.2.5 柴油共軌噴射(CDI)裝置引擎比一般汽油引擎，可以節油減碳。	.717	O	.19	2	.012	31
3.2.6 有稀薄燃燒功能裝置的汽車，可以節油減碳。	.801	O	.281	1	.018	19
3.3 仿效反應	.717	O	.181	(1)	.069	(5)
3.3.1 仿效汽車設計輕量化原理，建立車上不放置任何雜物，可以節油減碳。	.738	O	.449	2	.031	10
3.3.2 汽機車行駛可以聯結仿效經濟部能源局製作的車輛省能要訣手冊和影片的節油駕駛方式，可以節油減碳。	.697	O	.551	1	.038	8
3.4 機巧	.779	O	.158	(5)	.06	(8)
3.4.1 汽車加速時輕踩油門，平順起步及加速，避免頻繁變換急加速、急減速和任意變換車道，可以節油減碳。	.816	O	.279	1	.017	21
3.4.2 車輛適當的變換檔位，配合行車速度與負載，勿使引擎超過負荷，保持引擎轉速在低轉速(1500~2000 rpm)、高檔位行駛，可以節油減碳。	.816	O	.259	2	.016	22
3.4.3 注意前方車流狀況，轉彎時柔和、平穩，減速時儘量操作引擎煞車來取代一般煞車，可以節油減碳。	.763	O	.191	3	.011	35
3.4.4 車輛行駛前確認手煞車操作是否釋放，可以節油減碳。	.774	O	.187	4	.011	36
3.4.5 不同種類輪胎胎紋，於一般柏油路面應變換細胎紋比塊狀胎紋輪胎，可節油減碳。	.728	O	.084	5	.005	48
3.5 複合反應	.699	O	.167	(3)	.063	(7)
3.5.1 煞車系統依原廠保修規範、修繕、調整、更換、清潔，可減少煞車來令片磨耗，並降低行車阻力，可以節油減碳。	.717	O	.384	1	.024	15
3.5.2 汽車的四輪定位校準至原廠規格，可以節油減碳。	.651	O	.357	2	.023	16
3.5.3 修繕注意避免排氣管有油垢堵塞，而導致馬力降低，可以節油減碳。	.728	O	.259	3	.016	23
3.6 創造	.689	O	.173	(2)	.065	(6)
3.6.1 將汽機車車燈製造為 LED 省電燈泡，可以節油減碳。	.628	O	.294	2	.019	18
3.6.2 將汽機車外型製造為流線低風阻係數，可以節油減碳。	.75	O	.706	1	.046	3

註：[1]表示指標權重值排序；(1) 表示次指標權重值排序；1 表示題目權重值排序。

肆、結論

本研究以模糊理論為基礎，運用模糊德懷術法，再由產、官、學專家共識得到重要程度，發展出汽機車節油素養量表，可知專家對於推動汽機車節油素養專業評定。歸納相關結論如下，

一、各指標的權重由高至低，結果顯示依序為節油認知、節油技能、節油情意

本研究運用層級分析法建構出汽機車節油素養指標權重值，指標中的「節油認知」最為重要。顯示大多數專家認為，若想要提升汽機車節油素養，在節油認知、技能、情意三方面來說，以節油認知最為重要。

因此，未來在推廣節油素養方面，建議能先以節油認知作為出發點，讓學員建立節油相關知識與概念為優先，再作進階的節油態度培養及節油技能之訓練。

二、17 個次指標權重高低依序為應用、理解、分析、綜合、仿效反應、創造、反應趨向、複合反應、機巧、評鑑、覺察、評價、組織價值、記憶、反應、接受、定型

本研究運用層級分析法建構出汽機車節油素養次指標整體性權重值，其中，次指標中的「應用」最為重要，顯示大多數專家認為，在汽機車節油素養次指標整體性權重方面，想要提升汽機車節油素養，必須著重在節油相關知識的應用，如此才能落實汽機車節油之成效。

鑑此，未來在進行節油素養課程設計時，必須著重在節油素養知識與原理之應用，強化學員節油素養之落實性。

三、節油素養之 52 個汽機車節油素養題目可提供汽機車使用人與相關負責主管機關發展汽機車節油素養教育訓練與學習之參考

本研究經過兩階段之專家問卷調查與分析，建構汽機車節油素養共 52 個題目，並得到各題目之重要性。其中，權重前 2 高為「1.2.2 車輛在減輕車重負載（非原車有的配件，如加裝車頂架及車頂置物箱等）的條件下，可降低引擎負荷提高車輛燃油效率，估計可以節油減碳。」與「1.3.4 車輛輪胎保持原廠標準建議計算範圍內的胎壓，可降低磨擦阻力，減少不必要的輪胎磨耗，可以節油減碳」。

未來，可將本研究之成果提供汽機車使用人與相關負責主管機關發展汽機車節油素養教育訓練與學習之參考。

參考文獻

- 王文科、王智弘 (2016)。教育研究法。台北市：五南。
- 王進德、蕭大全 (1994)。類神經網路與模糊控制理論入門。台北：全華科技圖書。
- 吳政達 (2005)。我國地方政府層級教育課責系統建構之評估：模糊德菲法之應用。教育與心理研究，28(4)，645-665。
- 郭博堯 (2001)。背景分析-京都議定書的爭議與妥協。財團法人國家政策研究基金會。<http://old.npf.org.tw/PUBLICATION/SD/090/SD>。
- 陳勁甫、徐強、許桂溶 (2009)。層級分析法成對比較基礎標度系統之研究。管理與系統，16(2)，201-218。
- 賴文泰、許淮之 (2015)。激勵誘因對公車駕駛人採環保駕駛之影響效果分析。運輸學刊，27(4)，537-563。
- 賴麗蓉 (1998)。京都議定書之分析及未來發展趨勢。能源季刊，28(3)，1-16。
- Chedid, L. G. (2005). Energy, society, and education, with emphasis on educational technology policy for K-12. *Journal of Science Education and Technology*, 14(1), 75-85.
- Dias, R. A., Mattos, C. R., & Balestieri, J. A. P. (2004). Energy education: Breaking up the rational energy use barriers. *Energy Policy*, 32(11), 1339-1347.
- Gillingham, K., Rapson, D., & Wagner, G. (2016). The rebound effect and energy efficiency policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(1), 68-88.
- Hwang, G. J., Huang, T. C. K., & Tseng, J. C. R. (2004). A group-decision approach for valuating educational web sites. *Computers & Education*, 42(1), 65-86.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis*. Intergovernmental panel on climate change.
- International Energy Agency. (2016). *World energy outlook 2016*. IEA Publications.
- Tsai, C. L., Chung, C. C., Dzan, W. Y., & Lou, S. J. (July 13-15, 2016). *The importance and establishment of the indicators for energy saving and carbon reduction for automobile and motorcycles*. International Science and Technology Conference, Vienna-Austria, 1261-1268.
- Tsai, W. T. (2005). Current status and development policies on renewable energy technology research in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(3), 237-253.

- Zha, X. F. (2006). Integration of the STEP-based assembly model and XML schema with the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) for multi-agent based assembly evaluation. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17(5), 527-544.
- Zografakis, N., Menegaki, A. N., & Tsagarakis, K. P. (2008). Effective education for energy efficiency. *Energy Policy*, 36(8), 3226-3232.

實務專題課程應用探究式教學對電資相關系科大學生探究能力與創造 思考能力之影響

An Application of Inquiry Teaching to the Practical Project Course Influences University Students' Inquiry Ability and Creative Thinking Ability in Relative Department of Electrical Engineering and Computer Science

張仁家、林癸妙*、彭儀雯、周全鋒

國立臺北科技大學技術及職業教育研究所

Jen-Chia Chang, Kuei-Miao Lin*, Peng-I Wen, Chuan-Feng Chou

Graduate Institute of Technological & Vocational Education, National Taipei University of Technology

摘要

本研究旨在探討科技大學電資系科在實務專題課程中，應用探究式教學對學生探究能力與創造思考能力的影響。本研究採不等組前後測準實驗設計，以立意取樣選取臺灣中部某私立科技大學電資系科日間部四年級兩個班級的學生為研究樣本，依原有選修課程的班級，隨機指派甲班 44 人為實驗組，丙班 23 人為控制組，實驗組將該班級學生分組並採小組討論、實作、報告、互評等方式進行為期 12 週的探究式教學與學習，控制組則維持傳統講述式教學。經實驗分析後，獲致以下結論：(1)實驗組的探究能力後測較前測有顯著的提升，但不同教學法對學生探究能力的提升未有顯著差異；(2)實驗組在創造思考能力後測顯著高於前測，且探究式教學對學生創造思考能力的提升有顯著影響、成效頗佳；(3)有參與實驗教學的學生，有高度的學習滿意度。最後依據研究結果與發現，提出 3 項建議，供教師與未來研究者參考。

關鍵字：實務專題、探究式教學、探究式學習、創造思考能力

*通訊作者：林癸妙，E-mail: resolution0606@gmail.com

Abstract

The purpose of this study was to apply inquiry-based teaching strategies to the practical project course of electrical engineering and computer science department at technological university, and evaluate its effectiveness after one-semester experimental teaching to the senior students at a private technological university in central Taiwan. The findings of this research were concluded as follows: (1) The experimental group's inquiry ability was significantly improved after 12-week experimental teaching, whilst not significantly different to the control group. (2) The experimental group's creative thinking was significantly improved and different to the control group with favorable teaching effect. (3) The experimental teaching received high level of satisfaction from the participant students.

Keywords: Creative thinking ability, Inquiry-based learning, Inquiry-based teaching, Practical project course

壹、前言

科技校院工程領域科系的教育目標，旨在培養產業實用專業技術人才（蕭錫錡、張仁家、周保男，2016），其教育應著重應用型的學習方式，以引導的教學引領學生深入學習，誘導學生至實際的情境學習，並整合多元化的知識，強化其因應時時變化的真實世界所需的彈性與適應能力，進而鍛鍊學生具備個人帶得走的能力(Heywood, 2014; Litzinger, Lattuca, Hadgraft, & Newstetter, 2011)。然而，儘管科技校院幾乎都強調務實致用精神，但其中除了設計、藝術等學習場域較為多元的系科外，其他系科較少有機會習得創造思考。目前大專院校專題實務課程的教學以提供學生實務經驗為主，多尚未藉此讓學生同時培育創意構想或創造思考的能力（張仁家、林癸妙、彭儀雯、周全鋒，2016）。

本研究之電資相關系科（簡稱電資系科）係指在科技大學內設有電機、電子、通訊、光電等系之統稱，並非特定的單一科系。根據教育部統計資料顯示，在 105 學年度 63 所科技大學中，日間部四年制設有電資相關的校系達 44 校 120 個系（教育部，2017a；2017b）。在科技大學的電資系科都有開設必修的實務專題或專題製作的課程，目的乃希望學生能整合過去所學的理论與實務加以結合，通常開設在大三或大四，故又稱為頂石課程(capstone)。教育部（2008）和 Conard 與 Dunek（2012）皆指出學生本身的探究能力與對專業領域的興趣是引起學習實踐力的根本，接著則依據學生的學習前、中、後評估之結果，進行教學設計與調整，以顯著提升其學習成效。為協助學生增加實務練習的機會，Franz、Hopper 及 Kritsoonis（2007）認為專題製作課程的學習，能夠有效讓學生體驗真實世界的問題解決過程。因此，多數專題經常是以一個議題核心的展開，可說明專題的完成即為問題的解決（國立臺灣大學師資培育中心，2007）。爰此，本研究之具體研究目的有三：

- 一、發展科技校院電資系科實務專題課程應用探究式學習模式之教學模式及進行實驗教學。
- 二、探討實務專題課程應用探究式教學對學生探究能力之影響。
- 三、探討實務專題課程應用探究式教學對學生創造思考能力之影響。

貳、文獻探討

一、科技校院實務專題

(一) 實務專題課程之內涵

技職教育之主要特色為「務實致用」，因此實務課程，如實習課程、實務研究、產學合作、實務專題課程等，均是技職體系中培養學生實務能力的課程種類，其中「實務專題」是多數科技校院的必修課程，為技職教育專業培訓重要的一環，旨在藉由實作產出具體作品的過程，以自主學習及問題解決為導向，讓學生整合各門課程所學的知能。Hsiao (1997) 認為專題製作課程，主要是能讓學生整合所學的理论基礎和技能，透過想像力與創造力，實際應用在產品設計與製作上，充分發揮並促進團隊合作與人際互動。陳瑋玲 (2009) 認為，專題製作課程以學生團隊合作方式並透過觀察事實、資料蒐集及分析、提出改善方案，藉以提升閱讀與資料蒐集、系統化思考、口語與文字報告、團隊合作、基礎研究以及實務能力。再者，專題製作的意義在於使學生提早與業界接觸，以瞭解產業實際運作之流程，節省日後企業人才培訓成本 (葉榮椿、林建仲、任永潔、鐘盼兮，2010)。學生亦可藉由專題製作課程的學習方式，有效讓學生體驗真實世界的問題解決過程 (Franz, Hopper, & Kritsonis, 2007)。此外，科技校院係培養產業界重要人才之場所，其中又以實務專題課程與產業間最具實質關聯 (湯誌龍、黃銘福，2007)，足見專題實務課程對於產業需求之重要性極大，更能增進產學界之間的互惠效能。

(二) 科技校院實務專題課程之實施

回顧我國教育發展的歷程，技職教育多年來對於臺灣的經濟成長及提升國家競爭力扮演著重要的技術人才培育功能與角色，然而盱衡我國產業需求人才之現況，仍因學校培育業界實務不足，而導致產學落差以及業界人才供給不敷產業實際需求 (經濟部，2015)。有鑒於此，教育部針對技專院校課程設計「專題製作」，並於 2002 年起舉辦「全國技專校院學生實務專題製作競賽」，鼓勵學生積極從事專題研究，培養創新思考模式，以提昇學術研究能力與實務技能，並培養學生研究、溝通與整合之能力 (教育部，2015)。

蕭錫錡、趙志揚、許世卿、許錫銘、曾世虹、陳婉如 (1997) 曾探討大專校院的教學及實驗資源，建立一套模擬社會團隊工作環境之實習課程系統，進而培養學生獨立與創意的工

作精神。在大學高年級開設課程，應涵蓋過去所學之理論基礎，強調理論與實務兼具，重視學生實際操作、團隊運作、突破困難、激發創意，並達到發明創新的目標。而實務專題課程之設計發展包含二階段：

1. 創意概念化發展：從概念到主題呈現，過程包含應用與製作，組件的知識與能力，創意發展能力，並將事物的概念、內容、物件原理等具體化。
2. 創意具現化發展：依據創意過程發展物品化，透過專題課程整合設計、發展、製作、測試、調整等工作。

Felder、Woods、Stice 與 Rugarcia (2000) 曾指出有效的工程教育的教學方法雖然不同，其仍值得我們留意地方，即著重培養學生具備合作、挑戰、主動、敏銳度等素養。此論述恰與本研究探究式教學模式所強調的合作、分享、主動學習等特點不謀而合。Litzinger 等人 (2011) 亦認為工程教育應該讓學生環繞在特定的學習經驗中，包括：主動建構深度的概念知識、發展流暢的應用關鍵技術與專業能力、從事解決真實工程問題的專題等。因此，工程教育的課程規劃與教學方法亦應著重提供學生累積貼近實務情境與問題的學習經驗。而專題製作課程，即是培養學生整合所學理論基礎和技能，發揮想像力與創造力，實際應用於工業產品之設計與製作 (蕭錫錡、張仁家、黃金益，2000)。

二、探究式教學與學習

(一) 探究式教學與學習之內涵

探究是個體從主動發掘問題、分析問題、知識建構到發展問題解決方案的過程。自二十世紀 80 年代以來，以建構主義為理念基礎的探究式學習逐漸受到各國教育當局的重視，並成為課程改革的重點之一 (康平，2013)。美國科學教育標準 (National Science Education Standards, National Research Council, 1996，簡稱 NRC) 亦指出，探究活動是科學教育的中心策略，以探究為基礎的教學將是學生學習科學知識的有力手段。

探究式教學 (inquiry base teaching) 與探究式學習 (inquiry base learning) 兩者本意皆為引導學生在科學或專業知能上的自我探究。教師以學生為學習的中心，並從中引導學生發現及認清真實問題的狀況，提出可能的假設，擬定可行的解決方案，透過驗證假設來獲致結論。經由整個探究歷程，讓學生體會探究的經驗，並在過程中學習到技能 (張靜儀，1995；劉宏

文、張惠博，2001）。沈翠蓮（2015）指出探究式教學為透過師生間的互動，讓學生主動發掘問題並學習如何解決，培養其具體觀察並推導可能的答案。必要時，教師的質問或引導需兼重聚斂與擴散方式，前者為鼓勵學生搜尋資料過程中進行分析和組織思考方向，後者為引導學生自所得的資料發展創新的概念，並事實相互印證，從中培養學生的訊息處理與解惑能力。Aceytuno 和 Barroso(2015)研究證實探究式教學相較傳統教學方法下，更適用於專業課程中，有助於改善學生缺課率，並提升學生學習經驗及課程滿意度，進而帶來良好的學習經驗，探究式教學更提高了學生的積極性與學習成效。李明昆與洪振方（2012）研究更證實探究教學策略比傳統式教學更有利於學生投入科學探究活動中，並增進創造性傾向潛能與提升科學過程技能能力。換言之，當學生進行探索、實驗與執行時，就是創造力成長的時間 (Fisher & Williams, 2004)，因此，學生在課堂中實踐探究活動就是培養科學創造力的教學策略。

（二）探究式教學與學習之實施

美國國家科學研究委員會(United States National Research Council, NRC)指出學生透過探究式學習，模擬與科學家相同的活動及思考活動，能有效幫助教師建立學生探究的能力，而探究式教學實行的五個階段為（陳慧蓉，2015；NRC, 2000）：(1)提出科學相關問題；(2)根據問題蒐集資料；(3)以驗證解釋問題；(4)從分析中獲得新的概念理解；(5)進行分享與評論。而Bybee(2004)提出5E學習環模式(包含參與、探索、解釋、精緻化、評鑑五階段)，注重學生能隨時間逐漸發展概念理解，減少傳授知識方式，深化先備知識與學習經驗之間的連結。相關研究發現5E探究式教學能改善學生自學動力、實驗設計、報告撰寫能力、資料蒐集、分析和解釋、探索能力等，相較傳統教學方法更適用於大學課程，進而提高學生的積極性及學習成效(Cheng, Yang, Chang, & Kuo, 2015)。Pedaste等人(2015)則依據文獻發展一種統合式的探究式學習循環模式，此模式中包含5個主要探究階段：導入、概念化、調查、結論、討論階段，以及以此架構為基礎的三種探究學習路徑，以促進有效的探究式學習歷程。此外，鐘建坪（2010）發展「引導式模型化探究教學」，考量學生的動機與參與意願，透過檢驗與回溯歷程，持續評鑑與修正教學，各階段之內容說明如下：

- 1.參與：整個過程需維持學生的高度興趣與正向態度，為引發學生的學習，讓他們主動參與。

- 2.問題：引導學生回顧先備知識，透過學校課程或日常生活內容衍生出問題，以引發學生主動解決問題。
- 3.假說：學生根據問題衍伸可能的假設、教師引導學生思索潛藏的變因。
- 4.研究：依據問題與假設設計實驗、尋找工具、實際操作後觀察數據。
- 5.分析：將收集的數據提出可能的因果關係，並與普遍性規則對話。
- 6.模型：從數據結果形成模型，據此進行新情境的預測與應用。
- 7.評鑑：學生將結果公開化，並回應他人的評論，試以建議修正初始模型。

本研究乃以鐘建坪（2010）「引導式模型化探究教學」模式的七階段架構為基礎發展融入式實務專題課程教案以實施實驗教學。

（三）探究能力

吳坤璋、吳裕益、黃台珠（2005）定義探究能力包含「探究思考能力」與「探究過程能力」。透過探究活動的過程中，透過形成原則、理論等推論活動，即發展了兩種探究能力。彙整過去研究發現，「探究思考能力」包含推論思考、批判思考、創造思考能力，而「探究過程能力」則包含了觀察、分析、轉化能力。

王靜如、周金燕、蔡瑞芬（2006）指出，針對較感興趣的研究領域進行報告製作與成果發表的經驗，可鼓勵學生進行深入的探究，以增進其思考之流暢性、變通性及獨創性，進而提升學生的創造思考能力。此外，華人探究學習學會（2010）強調，探究式學習的目標係培養學生21世紀的關鍵能力，包含問題解決(complex problem solving)、獨立思辨(critical thinking)、團隊合作(collaboration)、溝通協調(communication)、與創新能力(creativity)的5C關鍵能力。

高慧蓮（2005）依據文獻歸納出探究過程五個階段發展科學探究能力的定義與目標：(1)界定問題：察覺問題、新舊經驗聯結，(2)設計規劃：蒐集資料、規劃實驗流程、預測結果，(3)實作驗證：實驗操作、運用圖表輔助紀錄、多元思考解決探究過程所發生問題，(4)分析解釋：比較、解釋及彙整資料、對探究結果做推論，(5)溝通辯證：分享交流、批判質疑。

由於相關探究能力的研究多以科學實驗課程論述，與本研究調查科技大學電資系科學生專題探究能力有些許不同，為瞭解學生參與實務專題課程對其探究能力的影響，故本研究參

照高慧蓮(2005)五階段之科學探究能力定義與目標歸類,融合吳坤璋、吳裕益、黃台珠(2005)定義之探究能力,以及參考黃文振(2015)所編製探究能力量表,進而編修為符合本研究對象之題目以進行學生探究能力之量測。

三、創造力與創造思考能力

(一) 創造力的定義

創造(create)一詞源自於拉丁文「creatus」,代表使之存在(to bring into being)(林幸台, 1998),創造具有無中生有、首創的意涵。創造力(creativity)是一種創造的能力或稱之為創造思考能力(creative thinking abilities)(陳龍安, 1988)。Guilford(1959)的智力結構論(structure of intellect theory)中指出,思維運作包括評價、聚斂思考、擴散思考、記憶、認知等五個次級元素。其中與創造力較有相關性的即為擴散思考(divergent thinking)類中的二十四種能力,它強調聯想力與想像力。國內外多位學者(張玉成, 1983; 郭有通, 1983; 陳龍安, 1984; Parnes, 1967)先後主張以敏覺力、流暢力、變通力、獨創力和精進力為創造力的幾種基本能力。敏覺力(sensitivity)是指具備敏銳的洞察力和觀察力,能找出問題、發現問題的能力(陳龍安, 1994)。流暢力(fluency)指在短促的時間內,構想出大量意念的能力。變通力(flexibility)是變化思考方式、舉一反三,產生不同種類作品的能力。獨創力(originality)指能想出別人所想不出來的觀念,在思考和行為上表現與眾不同的新奇獨到的反應能力。精進力(elaboration)是心思細密周詳的能力,指在原有構想上加入新的元素,以豐富內容或增添趣味性、精益求精。

綜合國內外學者對創造力的見解,可歸納為三大類:其一是主張創造力為個體運用情意、認知、技能、想像所創造出的結果(葉玉珠、吳靜吉、鄭英耀, 1998; Parnes, 1967; Sternberg, 2003);其二認為產生各種形式的作品以呈現新構想與概念即為創造力表現(林幸台、王木榮, 1994; 葉玉珠、吳靜吉、鄭英耀, 1998; Guilford, 1986; Osborn, 1963; Torrance, 1971);其三則認為創造力是解決問題的能力(Dewey, 1933; Gardner, 1997; Parnes, 1967; Torrance, 1969)。綜合上述,創造力不僅是一種思考能力,也是一種歷程以及人格特質(黃慧珊, 2012)。由此可證,創造力並非單一因素可形成,而是包含了認知與情意、想像力等人格特質,透過創造思考的歷程,產生具有獨創性、價值性的想法,進而運用技能與解決問題的能力產出各種形式的創新作品。

(二) 創造思考能力

創造思考是指啟發學生創造的動機、鼓勵學生創造的表現（毛連塹、郭有通、陳龍安、林幸台，2000）。黃金益（1998）定義創造思考為產品設計構想的創造力，而創造思考能力包含創造性、獨創性與流暢性，透過日常生活用品使學生創意發想，創造出各種物品的新樣貌或新用法（蕭錫錡等人，2000）。毛連塹（2000）認為創造力非有無的問題，而是多寡的問題。Torrance(1968、1972)發現創造力與智力的相關係數僅為.30，可推論先天智力對於創造力的影響不大，一般人只要透過後天適當的學習，應均能提升其創造能力，因此學校應鼓勵推展創造思考教學之研究（郭瑜婷，2005；陳啟榮，2008）。

綜合上述學者對創造思考能力的說法，可知創造思考能力教學不僅是在認知、技能方面尋求增進，亦重視情意態度的培養，使學生在環境中體會尊重、接納多元不同的意見（黃金益，1998；陳淑芬，2007）。而由相關文獻得知，許多研究證實創造力是可以訓練而成的（張玉成，1983；陳龍安，1988；陳榮華，1985；李錫津，1987）。洪振方（2003）亦曾指出 Wallas 和 Torrence 對創造力過程的描述與科學探究和問題解決過程之間很可能是同一且相同的，提供學生機會使其透過探究活動去創造並瞭解其想法，那麼思考智能、探究能力、概念性知識以及創造力將是可以培養的。故本研究將探究式教學應用於專題製作課程，以期有效提升科技大學學生的探究能力並開發其創造潛能，進而涵育學生因應社會發展所需的競爭力。

參、研究設計與實施

一、研究設計

本研究設計採不等組的前後測「準實驗研究法」(quasi-experimental research)，以立意取樣選取臺灣中部某私立科技大學電資系科同一系兩個班級的日間部四年級學生作為實驗教學與資料蒐集之對象，隨機指派甲班為實驗組，將學生分組並採小組討論、實作、報告等方式進行探究式教學；丙班為控制組，施以傳統講述式教學。於 105 學年第一學期的實務專題製作課程中，針對實驗組實施實驗教學，在 18 週的課程中共融入 12 週，分別於第 1 及第 18 週實施各量表的前、後測，以收集實驗組與控制組學生的探究能力、創造思考能力之變化情形。

二、研究對象

本研究以臺灣中部某私立科技大學電資系科日間部四年級兩班學生作為實驗教學與研究資料蒐集之對象，班級人數各為實驗組（甲班）44 人及控制組（丙班）23 人，兩組學生的入學程度相當，所修習的實務專題課程均由同一名教師授課，且使用相同的指定教科書，惟兩組各以探究式融入教學與傳統講述式教學的不同教學方式進行授課。

三、研究工具

為瞭解科技校院學生接受探究式學習模式融入實務專題課程後對其探究能力、創造思考能力與學習滿意度之影響，本研究所使用之工具包含探究式學習模式融入專題實務課程教案、探究能力量表、創造思考能力量表及學習滿意度量表。各研究工具之信效度分述如下：

（一）專題實務課程教案

本研究依據探究式教學七階段模式而發展出 6 個「探究式學習模式(inquiry learning model, ILM model)融入專題實務課程教案」。教案內容經 3 位課程與教學學者及 1 位電資領域學科學者審查，審查結果的 Kendall's W 和諧係數值為 .911，顯著性為 .001，代表四位專家評分結果相當一致，且有顯著相關存在。教案評估結果（表 1）顯示本研究之教案在各評估指標的中高程度 t 考驗均達顯著性，代表教案獲得審查者中高程度之認同且具有良好的內容效度。

表 1

「探究式教學融入科技校院電資系科實務專題課程單元教材」評估結果

評估指標	平均數	標準差	t(以 3.5 為檢定值)
一、教材準確性			
1.內容正確性	4.25	.79	4.63***
2.內容與時俱進	4.42	.58	7.70***
3.內容清晰完整	4.13	.85	3.60**
二、教材適切性			
4.所使用的語言與目標族群相符	4.42	.50	8.92***
5.內容與目標族群的適切性	4.04	.86	3.09**
6.內容結合相關學科領域	4.00	.66	3.72**
三、教材流暢度			
7.教材呈現給學習者的風貌	4.17	.82	4.00**
8.教材的組織有助於學習	4.08	.83	3.44**
9.教材有趣程度	3.92	.78	2.63*
四、教材實用性與延伸性			
10.教材滿足學習者需求	4.13	.90	3.40**
11.教材情境多元程度	4.08	.72	3.98**
12.延伸教材查找容易程度	4.46	.51	9.22***

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

(二) 探究能力量表

本研究的探究能力量表乃依據高慧蓮（2005）的科學探究能力具體行為目標，並改編黃文振（2015）的探究能力量表（25 題），該量表的整體 Cronbach's α 為 .956，分量表（各 5 題）之 α 值分別為界定問題 .828、設計規劃 .854、實作驗證 .831、分析解釋 .895、溝通辯證 .880。本研究經專家效度後乃採用 19 題項之量表，前述的 5 面向各為 4、4、3、4、4 題。

(三) 創造思考能力量表

本研究將創造思考能力定義為以產品創意為中心導向的評量方式來評估個人創造力，採用蕭錫錡、張仁家與黃金益（2000）編製的「創意構想設計能力量表」作為評量工具。該量表藉由日常生活中 12 項物品，讓學生在有限且熟悉的材料中刺激創意思考，設計出具創造性的用品。以作品之創造力、流暢性、創意思考點評量其創意程度。原始量表之評分者信度為整體創造性 .97、流暢性 .987，流暢性與整體創造性之相關係數達顯著水準，並透過焦點團體訪談法建立專家效度。其評量內容簡述如下：

- 1.創造性：係指各構想設計整體的創造性，包含獨創性與適切性。
- 2.流暢性：係指在短時間內構想出大量意念的能力，亦即設計構想的數量。
- 3.創意思考點：指產品設計中所產生的創意思考點，包含材料、機構、外觀及功能四大面向。

(四) 學習滿意度量表

本研究學習滿意度量表乃改編楊翊方（2016）之「技術型高中學生專題製作課程學習滿意度調查問卷」，該量表參考黃金益（1998）之問卷（29題），經四位專家審查後建構專家效度，並修改為26題之量表，分為認知（1-7題）、情意（8-12題）、技能（13-24題）、創造力（25-26題）四個向度，分量表之 α 值分別為.879、.808、.886、.405，整體量表之 α 值為.942。因楊翊方（2016）量表的創造力向度之 α 值偏低且與學習滿意度較無直接關聯，本研究乃採用認知、情意、技能三項度共24題項進行學習滿意度之測量。

肆、結果與討論

一、探究能力的表現

本研究先以實驗組及控制組之探究能力量表前測成績進行獨立樣本t檢定，分析兩組學生起始行為是否有顯著差異，其次進行組內迴歸係數同質性考驗，將不同教學方法作為固定因子，若為同質則無違反同質性假定，表示接受虛無假設，拒絕對立假設，且兩組迴歸線的斜率相同，共變項為兩組的探究能力前測成績，依變項為探究能力後測，在排除共變項之影響後，進行獨立樣本單因子共變數分析(one-way ANCOVA)，分析在實施不同教學方法後，兩組的探究能力是否有顯著差異，以檢驗探究式教學與傳統講述式教學之教學成效。

(一) 實驗組與控制組探究能力表現的差異

實驗組與控制組探究能力前測成績經過獨立樣本t檢定，變異數同質性的Levene檢定無顯著差異($F=1.26$, $p=.27>.05$)，表示兩組學生前測分數離散情形無顯著差異。由表2得知，假設變異數相等的t值為-0.26且p值未達顯著水準，表示兩組學生的起始探究能力無明顯差異，即其為相似的群體。

表 2

實驗組、控制組的探究能力前測獨立樣本 t 檢定摘要

組別	個數	平均數	標準差	t 值	p 值
實驗組	42	3.82	0.57	-0.26	.80
控制組	20	3.86	0.41		

接著於實驗教學後進行組內迴歸斜率同質性分析（教學方法*探究能力前測），若為同質則無違反同質性假定，表示接受虛無假設，先排除探究能力之共變項影響，再進行獨立樣本單因子共變數分析，比較兩組在探究能力後測是否有顯著差異。分析結果顯示，自變項（教學方法）與共變項（探究能力前測）的交互作用項考驗的 F 值為.065，顯著性考驗的 p 值為 .799，未達 .05 的顯著水準，統計考驗接受虛無假設，拒絕對立假設，表示兩組迴歸線的斜率相同，亦即共變項（探究能力前測）與依變項（探究能力後測）不會因為自變項各項處理水準的不同而有所差異，符合共變數分析組內迴歸係數同質性的假設，故可繼續進行共變數分析。

由表 3 可知，共變數考驗結果的 F 值為 3.858，p 值為 .054，未達到顯著水準，代表排除探究能力前測的影響後，不同教學方法對探究能力後測所造成的實驗處理未有顯著效果存在。亦即本實驗教學在排除探究能力前測的影響後，對於實驗處理的效果即可依兩組的後測差異進行比較。

表 3

實驗組及控制組排除探究能力前測之共變數分析摘要表

來源	型 III 平方和	df	MS	F 值	p 值	Eta 平方
校正後模式	2.645a	2	1.323	7.442**	.001	.201
截距	7.908	1	7.908	44.496***	.000	.430
探究能力前測	2.036	1	2.036	11.454**	.001	.163
教學方法	.686	1	.686	3.858	.054	.061
誤差	10.485	59	.178			

** $p < .01$, *** $p < .001$

（二）實驗組探究能力前後測的差異

本研究實驗組 42 位有效樣本探究能力前後測之成對樣本 t 檢定之結果如表 4 所示。分析得知，該學生探究能力後測平均數較前測增加 0.34，t 值為-3.94，且達 .001 之顯著水準，代表該組學生在接受一學期的探究式教學之後探究能力顯著提升。

表 4

實驗組學生探究能力量表前後測成對樣本 t 檢定摘要

項目	平均數	標準差	平均差異	t 值	p 值
前測	3.82	0.57	-0.34	-3.94***	.00
後測	4.16	0.47			

*** $p < .001$

(三) 控制組探究能力前後測的差異

本研究控制組 20 位有效樣本探究能力前後測之成對樣本 t 檢定之結果如表 5 所示。分析結果顯示，該組學生的探究能力後測平均數較前測增加 0.09，t 值為-0.82，未達 .05 之顯著水準，代表控制組學生在接受傳統講述式教學之後探究能力未有顯著的提升。

表 5

控制組學生探究能力量表前後測成對樣本 t 檢定摘要

項目	平均數	標準差	平均差異	t 值	p 值
前測	3.86	0.41	-0.09	-0.82	.42
後測	3.95	0.42			

(四) 實施不同教學法影響組間探究能力表現之差異

除前揭共變數分析之外，本研究採獨立樣本 t 檢定來考驗兩組學生在實施不同教學法後，在探究能力上的差異，由表 6 可知，實驗組與控制組在接受不同教學法後，其界定問題、設計規劃、實作驗證、分析解釋、溝通辯證階段及整體探究能力後測的 t 檢定值為 .98、.88、1.71、1.89、1.93、1.71，且 p 值均未達顯著水準，表示實驗組的整體及各階段探究能力的後測分數未顯著高於控制組。

表 6

控制組與實驗組在探究能力後測各向度比較之 t 檢定結果

構面	組別	個數	平均數	標準差	t 值	p 值
界定問題	實驗組	42	4.13	0.50	.98	.33
	控制組	20	4.00	0.38		
設計規劃	實驗組	42	4.01	0.59	.88	.38
	控制組	20	3.88	0.52		
實作驗證	實驗組	42	4.16	0.47	1.71	.09
	控制組	20	3.95	0.42		
分析解釋	實驗組	42	4.29	0.55	1.89	.06
	控制組	20	4.01	0.53		
溝通辯證	實驗組	42	4.23	0.61	1.93	.06
	控制組	20	3.94	0.46		
整體探究力	實驗組	42	4.16	0.47	1.71	.09
	控制組	20	3.95	0.42		

二、創造思考能力的表現

研究者先以實驗組及控制組之創造思考能力量表前測成績進行獨立樣本 t 檢定，分析兩組學生起始行為是否有顯著差異，其次進行組內迴歸係數同質性考驗，將不同教學方法作為固定因子，共變項為實驗組與控制組之創造思考能力前測成績，依變項為創造思考能力後測，在排除共變項之影響後，進行獨立樣本單因子共變數分析，分析在實施不同教學方法後兩組創造思考能力之差異。

(一) 實驗組與控制組在創造思考能力表現的差異

實驗組與控制組創造思考能力前測成績經過獨立樣本 t 檢定，變異數同質性的 Levene 檢定有顯著差異($F=6.40$, $p=.01$)，表示兩組學生前測分數離散情形有顯著差異，故應查看假設變異數不相等的 t 值與 p 值，由表 7 得知，兩組學生的起始創造思考能力無明顯差異。

表 7

實驗組、控制組的創造思考能力前測獨立樣本 t 檢定摘要

組別	個數	平均數	標準差	t 值	p 值
實驗組	42	9.33	6.47	1.31	.20
控制組	20	7.75	3.07		

接著進行組內迴歸斜率同質性分析，由分析結果可知自變項（教學方法）與共變項（創造思考能力前測）的交互作用項考驗的 F 值為.34，顯著性考驗的 p 值為 .56，未達 .05 的顯著水準，表示實驗組及控制組迴歸線的斜率相同，符合共變數分析組內迴歸係數同質性的假設，可繼續進行獨立樣本單因子共變數分析。

由表 8 可知，共變數考驗的 F 值為 17.05，p 值小於 .01，達顯著水準，代表排除創造思考能力前測對後測的影響力後，不同教學方法對依變項（創造思考後測）所造成的實驗處理效果顯著，效果量的 η^2 為.224，亦即對依變項的解釋變異為 22.4%。

表 8

實驗組及控制組排除創造思考能力前測之共變數分析摘要表

來源	型 III 平方和	df	MS	F 值	p 值	Eta 平方
校正後模式	1071.13	2	535.57	12.83	<.01	.30
截距	1366.96	1	1366.96	32.75	<.01	.36
創造思考能力前測	232.73	1	232.73	5.58	.02	.09
教學方法	711.68	1	711.68	17.05***	<.01	.22
誤差	2462.46	59	41.74			

*** $p < .001$

（二）實驗組創造思考能力前後測的差異

實驗組 42 位學生創造思考能力前後測之成對樣本 t 檢定之結果如表 9 所示。分析結果顯示，該組學生的創造思考能力後測平均數較前測增加 6.42，t 值為-4.80，且 p 值 .00 達 .001 之顯著水準，代表實驗組學生在接受一學期的探究式教學之後創造思考能力有顯著提升。

表 9

實驗組學生創造思考量表前後測成對樣本 t 檢定摘要

項目	平均數	標準差	平均差異	t 值	p 值
前測	9.33	6.47	-6.42	-4.80***	.00
後測	15.75	7.77			

*** $p < .001$

(三) 控制組創造思考能力前後測的差異

由控制組 20 位學生創造思考能力前後測之成對樣本 t 檢定結果 (表 10) 可知, 該組學生的創造思考能力後測平均數較前測增加 0.13, t 值為 -0.19, p 值未達 .05 的顯著水準, 代表控制組學生在接受傳統講述式教學之後創造思考能力未顯著提升。

表 10

控制組學生創造思考量表前後測成對樣本 t 檢定摘要

項目	平均數	標準差	平均差異	t 值	p 值
前測	7.75	3.07	-0.13	-0.19	.85
後測	7.88	3.42			

(四) 實施不同教學法影響組間創造思考能力表現之差異

由表 11 獨立樣本 t 檢定的結果可知, 實驗組與控制組在接受不同教學法後, 其整體創造思考能力、流暢力、創造力總分後測的 t 檢定值為 7.13、7.13、5.53, 且 p 值均為 .000, 達到 .001 的顯著水準, 表示實驗組的創造思考能力後測分數顯著高於控制組。此外, 不同教學法可解釋學生整體創造思考能力、流暢力、創造力總分的變異量(η^2)分別為 19.9%、34.8%、23.7%; 而整體創造思考能力、流暢力、創造力總分的統計考驗力則為 .967、1.0、.989, 代表上述推論時之裁決正確率達 96.7%、100%、98.9%。

表 11

控制組與實驗組在創造思考能力後測各向度比較之 t 檢定結果

構面	組別	個數	平均數	標準差	t 值	Eta 平方	統計考驗力
整體創造力	實驗組	42	2.62	0.99	7.13***	.199	.967
	控制組	20	1.30	0.47			
流暢力	實驗組	42	2.62	0.99	7.13***	.348	1.000
	控制組	20	1.30	0.47			
創造力總分	實驗組	42	15.75	7.77	5.53***	.237	.989
	控制組	20	7.88	3.42			

*** $p < .001$

三、探究式學習模式融入實務專題課程之學習滿意度分析

本研究的學習滿意度量表分為認知、情意、技能向度共 24 題項進行學生學習滿意度之測量。以李克特(Likert)五點量表計分，以分數顯示學生學習滿意度之情形，5 分表示非常滿意、4 分表示滿意、3 分表示普通、2 分表示不滿意、1 分表示非常不滿意，並界定連續變項之平均數 $1 \leq \bar{x} < 1.5$ 為「低度程度」， $1.5 \leq \bar{x} < 2.5$ 為「中低程度」， $2.5 \leq \bar{x} < 3.5$ 為「中度程度」， $3.5 \leq \bar{x} < 4.5$ 為「中高程度」， $4.5 \leq \bar{x} < 5$ 為「高度程度」。研究者以數值 4.5 作為檢定值進行統計檢定，可知實驗組學生在各分向度及整體學習滿意度均達顯著水準，顯示實驗教學獲致中高程度的學習滿意度（表 12）。

表 12

探究式學習模式融入實務專題課程之學習滿意度分析摘要

評估指標	題項數	平均數	標準差	t(以 4.5 為檢定值)
認知學習滿意度	7	4.34	0.49	-2.10*
技能學習滿意度	5	4.20	0.51	-3.75***
情意學習滿意度	12	4.16	0.49	-4.49***
整體學習滿意度	24	4.24	0.46	-3.77***

* $p < .05$, *** $p < .001$

伍、結論與建議

一、結論

(一) 探究式教學能有效提升學生之探究能力，但未達顯著效果

本研究發現，透過 12 週實驗教學，實驗組學生的探究能力有明顯提升，而控制組則僅微幅提升，且探究式教學與傳統講述式教學對學生探究能力之影響並無顯著差異。推測其原因可能在於選擇實驗教學之教師時，研究者以教師對於探究式教學之意涵與實踐較熟悉者作為挑選之標準，且參與實驗之學生多半都已曾經選修過該教師之課程，對該教師之教學風格有一定程度之瞭解，因此在起始探究能力之平均數，實驗組(3.82)、控制組(3.86)僅有 0.02 之差異且已達中高程度，造成實驗結果不易突顯。本研究進一步發現，實驗組在探究能力中之「溝通辯證」階段（表 6）相較於控制組進步最大，表示教師透過分組、報告、互評的分享交流方式進行探究式教學，對於學生該階段探究能力提昇仍有相當程度助益。

(二) 探究式教學能顯著提升學生之創造思考能力

本研究發現，透過 12 週實驗教學，採用探究式教學之實驗組學生創造思考能力確實有顯著提升。由於教師在發展該課程之教案時，特別將目前電資產業創新案例融入於課程當中，且該教案在教材評估指標中之「教材準確性」（正確性、與時俱進、清晰完整）上獲得專家最高評價，再加上多元的探究教學策略，因此在提升實驗組學生創造思考能力成效上有發揮作用。

此外，在這門實務專題課程中，授課教師要求所有修課學生在學期末需參加網路行銷分析師 (Internet Marketing Analyst, IMA) 檢定〔教育部技專校院校務基本資料庫證照證照代碼為 6632，包含學科筆試測驗及團體實作簡報（術科檢定），兩者皆達 70 分以上者，頒發檢定合格證書〕。由兩組考證的結果發現，實驗組（甲班）的證照通過率達 100%，而控制組（丙班）的學科通過率雖達 87.0%，但術科通過率僅 65%，可能顯示丙班因接受講述式教學，較缺乏實作練習的機會，學生無辦法完成企畫書或企畫書深度不夠，以致於術科通過率較低。再者，值得一提的是，實驗組學生的作品—Beacon 微定位～導客又導購，榮獲「2016 第一屆新創盃全國大專校院創意創新創業企劃競賽特優」（圖 1），顯見本實驗教學的成果同時也受到外界之肯定。

設計動機:在搭火車的過程中,常常會有不小心坐錯站或不知怎做到那裡,外地來的乘客或年長或經驗較少的人,根本不知如何搭乘、轉乘,再加上交通樞紐中心,場地廣大,人群車水馬龍,因此藉由 Beacon 微定位的優點解決此問題。

假如一位陳小姐,要搭乘火車,從台中到彰化,12點52分的區間車,App 操作情境如下:



圖 1 實驗組優良作品「Beacon 微定位～導客又導購」操作情境

(三) 探究式教學能有效提升學生的學習滿意度

本研究發現,實驗組學生對實務專題課程融入式探究式教學,在認知、情意、技能構面及整體學習滿意度均達高程度標準,此結果與楊翊方(2016)以探究式教學應用於技術型高中電機科專題製作課程之研究結果相互呼應,因此可推論出在電資相關系科中實施探究式教學,無論高中或大學階段,皆有良好的學習滿意度。

二、建議

(一) 對教育實務工作者之建議

1. 探究式教學規劃與發展應與時俱進

本研究乃依據探究式教學七階段模式並融合最新電資產業創新實例發展出六份「探究式學習模式融入專題實務課程教案」，且教案內容經 4 位專家審查獲得一致好評及認同。但因探究式教學有別於傳統講述式為單向教學，其強調透過真實情境的現象來引導學生發想及討論問題，因此本研究建議教師未來在實施探究式教學以及發展探究式教學教案內容時，應適時依據當今學科的發展與社會環境的變遷調整教學策略，以維持教學教材的內容效度，獲致更好之教學成效。

2. 對探究式教學之成效宜採多元評量

透過本研究之實驗教學雖並未發現實施探究式教學能提升學生探究能力的後測分數，但由於探究能力屬於整合性能力，若欲檢核其教學成效應透過更多元之評量方式進行，方能更準確及完善。因此本研究建議，除了本量表的檢核，亦可兼顧過程性與總結性評量，對實驗對象的學習態度與行為歷程、課程成績、其後參加專題競賽成果、技能檢定等面向評估對其探究式教學之成效。

(二) 研究限制與對未來研究之建議

為不影響合作進行實驗教學的教師原本之課程安排及該系學生之選課權益，故本研究依該學期原有之修課學生組成，隨機指派甲班為實驗組、丙班為控制組進行本實徵研究。王文科與王智弘（2014）指出，由於學校情境難以因實驗需要更動課表或重新編班，因此以不等組的前後測設計是教育研究領域中，相當流行且有用的研究方式。雖本研究控制組之樣本數稍嫌不足，研究者已在相同的授課教師、教材、前後測實施三方面盡所能維持實驗控制之內在效度，並將量化分析結果與後續兩組學生的考證結果相互印證。而基於本研究之發現，提出對未來相關研究之建議如下：

1. 探討各探究教學階段之實施方式對學生探究能力的影響程度

本研究聚焦於探究式教學融入專題課程對學生探究能力之影響，而在文獻中發現，學者認為在專題導向學習中的傳統講述式教學與學生自主探究學習之間的平衡能有效確保探究的成果(Kokotsaki, Menzies, & Wiggins, 2016)，故建議未來研究可深入分析各探究教學階段所實施次數與時數之比例對於學生探究能力影響程度有何差異，作為改善探究式教學規劃與研發之重要參考，應能有效地提升探究式教學實施之成效。

2. 探討改善探究式教學與學習效益之關鍵因素

本研究乃透過六個「探究式學習模式融入專題實務課程教案」為架構進行實驗教學，並輔以非開放性量表為工具進行研究。建議未來可透過實驗教學紀錄、教學反思等質化工具，詳細記錄教學實施過程之情況與學生反饋，做為教學成效評估之工具，從中探討改善探究式教學與學習效益之關鍵因素。

3. 針對影響學生探究能力的可能因素進行更深廣的研究

能夠影響探究式學習成效之因素包含修課人數、考試壓力、教學的軟硬體設施、管理階層的支持、教師的信念與專業能力等(Liao et al., 2016)。再者，工程領域的專業能力養成相當注重理論與生活實務之結合，因此培養學生擁有良好的探究能力，應不僅侷限於學校課程中的訓練，同時可能來自於學生自身的生活經驗或其他課後活動等多元方式所形塑，因此本研究建議未可將學生的生活經驗與課外活動納入研究，探討其對於探究教學成效與探究能力及創造思考能力改變之影響。

誌謝

本研究感謝行政院科技部專題研究計畫部分經費之補助，為該計畫（編號：MOST 103-2511-S-027 -004 -MY3）之研究成果之一，謹致謝忱。本文之部分內容曾於 2017 年 5 月於國立臺中科技大學舉辦之第 6 屆工程與科技教育學術研討會中發表，感謝與會者對於本研究提供寶貴意見與看法。

參考文獻

- 毛連塏（2000）。**創造力研究**。臺北市：心理。
- 毛連塏、郭有通、陳龍安、林幸台（2000）。**創造力研究**。臺北市：心理。
- 王文科與王智弘（2014）。**教育研究法**（十六版）。臺北市：五南。
- 王靜如、周金燕、蔡瑞芬（2006）。國小教師科學教學基準系列報導（二） 科學本質與科學探究。**屏東教大科學教育**，23，3-17。
- 吳坤璋、吳裕益、黃台珠（2005）。科學探究能力測驗的編製與信、效度考驗。**測驗學刊**，2，119-148。
- 李明昆、洪振方（2012）。提升科學創造力的探究教學策略之實驗研究。**科學教育研究與發展季刊**，65，49-74。
- 李錫津（1987）。**創造思考教學對高職學生創造力發展之影響**。國立臺灣師範大學，臺北市。
- 沈翠蓮（2015）。**教學原理與設計**。臺北：五南。
- 林幸台（1998）。傑出科學家之創造力特性及開發創造力模式之研究—子計畫三：歷史角度之探討（國科會專題研究計畫成果報告編號：NSC 87—2511—5—003—063）。臺北市：中華民國行政院國家科學委員會。
- 林幸台、王木榮（1994）。**威廉斯創造力測驗指導手冊**。臺北市：心理。
- 洪振方（2003）。探究式教學的歷史回顧與創造性探究模式之初探。**高雄師大學報**，15，641-662。
- 高慧蓮（2005）。九年一貫課程「自然與生活科技」領域科學探究能力之培養研究-科學探究能力之評量Ⅱ。國科會專題研究計畫（編號：NSC 94-2511-S-153-009）。
- 國立臺灣大學師資培育中心（2007）。第四屆教育理論與實務對話：「問題導向專題式教學」研討會實施計畫。取自 www.education.ntu.edu.tw/news/970425/970425plan.pdf
- 康平（2013）。以探究為核心注重探究過程。**科學諮詢**，2013(01)，112-113。
- 張仁家、林癸妙、彭儀雯、周全鋒（2017）。探究式學習模式融入實務專題課程對科技大學電資系科學生探究能力與創造思考能力影響之研究。2017 第六屆工程教育學術研討會，頁 225-240。臺中：臺中科技大學，2017 年 5 月 19 日。

- 張玉成（1983）。**創造性發問技巧之研究**（未出版之博士論文）。國立臺灣師範大學，臺北市。
- 張靜儀（1995）。自然科探究教學法。**屏師科學教育**，1，36-45。
- 教育部（2008）。國民中小學九年一貫課程綱要自然與生活科技學習領域。取自 http://teach.eje.edu.tw/data/files/class_rules/nature.pdf
- 教育部（2015）。**實務增能策略**。取自 <https://www.iaci.nkfust.edu.tw/Industry/CP.aspx?s=235&n=233>
- 教育部（2017a）。大專校院校數統計。取自 http://stats.moe.gov.tw/files/important/OVERVIEW_U03.pdf
- 教育部（2017b）。技專校院課程資源網。http://course-tvc.yuntech.edu.tw/web_nt/search_department.aspx
- 郭有通（1983）。**創造心理學**。臺北市：正中。
- 郭瑜婷（2005）。初探創造性思考教學。**體育學系系刊**，5，53-60。
- 陳啟榮（2008）。創造思考之內涵及其教學啟示。**教育資料與研究雙月刊**，84，167-184。
- 陳淑芬（2007）。創意思考能力的歷史教學理論。**歷史教育**，11，1-44。
- 陳瑋玲（2009）。**實務專題製作－觀念、方法與應用**。新北市：全華。
- 陳榮華（1985）。國小資優班與普通班學生創造性思考訓練成效之比較研究。**北市師專學報**，16，1-64。
- 陳慧蓉（2015）。掌握知識的致勝關鍵——以探究學習培養思辨能力。**國民教育**，55(1)，53-60。
- 陳龍安（1984）。創造思考教學對國小資優班與業通學生創造思考能力之影響。國立臺灣師範大學，臺北市。
- 陳龍安（1988）。**創造思考教學的理論與實際**。臺北市：心理。
- 陳龍安（1994）。**啟發孩子的創造力**。臺北市：心理。
- 湯誌龍、黃銘福（2007）。大專校院之專題製作課程與產業需求的關係：以機械領域為例。**教育實踐與研究**，20(2)，157-186。
- 華人探究學習學會（2010）。**無標題**。取自 <http://csil.linc.hinet.net/>

- 黃文振 (2015)。創造性探究教學影響學生探究力、創造力及學習成效之研究—以台北市立松山工農園藝科為例 (未出版之博士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。
- 黃金益 (1998)。合作學習對大學生專題製作創造力影響之研究。國立彰化師範大學，彰化市。
- 黃慧珊 (2012)。創造思考教學對國中學生創造力與樂觀特質之成效研究。國立臺灣師範大學，臺北市。
- 楊翊方 (2016)。技術型高中電機科專題製作課程應用探究式教學對學生創造思考能力與探究能力之影響。國立臺北科技大學，臺北市。
- 經濟部 (2015)。2015~2017 年重點產業人才需求調查報告。取自 http://hrd.college.itri.org.tw/ITSD/download_paget.aspx
- 葉玉珠、吳靜吉、鄭英耀 (1998)。科技資訊產業人員創意思考及其相關因素之研究。發表技術創造力研討會之論文，35-46，慧燈中學，宜蘭。
- 葉榮椿、林建仲、任永潔、鐘盼兮 (2010)。應用專題導向學習法於企管系大三實務專題學生之行動研究：以美和技術學院為例。工業科技教育學刊，3，113-121。
- 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。
- 蕭錫錡、張仁家、周保男 (2016)。臺灣與美國工程及技術教育課程之比較研究。教育研究與發展期刊，12(2)，1-30。
- 蕭錫錡、張仁家、黃金益 (2000)。合作學習對大學生專題製作創造力影響之研究。科學教育學刊，8(4)，395-410。
- 蕭錫錡、趙志揚、許世卿、許錫銘、曾世虹、陳婉如 (1997)。從專題製作課程論大學工程學生創意思考能力之培養。工業技術教育，21，15-28。
- 鐘建坪 (2010)。引導式建模探究教學架構初探。科學教育月刊，328，2-18。
- Aceytuno, M., & Barroso, M. (2015). The development of inquiry-based learning (IBL) methodology in undergraduate higher education. *Proceedings of the Multidisciplinary Academic Conference*, 1-8.

- Bybee, R. W. (2004). Scientific inquiry and science teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education* (pp.1-14). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer.
- Cheng, P. H., Yang, Y. T. C., Chang, S. H. G., & Kuo, F. R. R.. (2015). 5E mobile inquiry Learning approach for enhancing learning motivation and scientific inquiry ability of university students. *IEEE Transactions on Education*, 99, 1-7.
- Conard, C., & Dunek, L. (2012). *Cultivating inquiry-driven learners: A college education for the 21st century*. Baltimore: John Hopkins UP.
- Dewey, J. (1933). *How we think*. Lexington. MA: D.C. Heath.
- Felder, R. M., Woods, D. R., Stice, J. E. & Rugarcia, A. (2000). The future of engineering education: Teaching methods that work. *Chemical Engineering Education*, 34(1), 26–39.
- Fisher, R., & Williams, M. (2004). *Unlocking creativity - A teacher's guide to creativity across the curriculum*. London: David Fulton Publishing.
- Franz, D. P., Hopper, P. F., & Kritsonis, W. A. (2007). National impact: Creating teacher leadersthrough the use of problem-based learning. *National Forum of Applied Educational Research Journal*, 20(3), 1-9.
- Gardner, H. (1997). *Extraordinary minds: Portraits of exceptional individuals and an examination of our extraordinariness*. New York, NY: Basic Books.
- Guilford, J. P. (1959). *Personality*. New York: McGraw-Hill.
- Guilford, J. P. (1986). *Creative talents: Their nature, uses and development*. New York: Bearly. New York, NY: Charles Scribner's Son's.
- Heywood, J. (2014). Conclusion: Engineering at the Crossroads: Implications for Educational Policy Makers. In Johri, A. & Olds, B. M. (Eds.), *Cambridge handbook of engineering education research* (pp. 731-748). New York, NY: Cambridge University Press.
- Hsiao, H. C. (1997). *The improvement of creativity and productivity of technical workers through partnership between university and industry*. Taipei, Taiwan: The International Conference on Creativity Development in Technical Education and Training.

- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267-277.
- Liao, C.-W., Liao, Y.-C., Chiang, Y.-T., Wu, H.-F., & Liao, Y.-H. (2016). *International Journal of Information and Education Technology*, 6(11), 836-842.
- Litzinger, T., Lattuca, L., Hadgraft, R., & Newstetter, W. (2011). Engineering education and the development of expertise. *Journal of Engineering Education*, 100(1), 123-150.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E.. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61.
- National Research Council. (1996) National science education standards. Washington, D.C.: National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. USA: National Academic Press.
- Osborn, A. F.(1963). *Applied imagination: Principles and procedures of creative thinking*. New York, NY: Scribner.
- Parnes, S. J. (1987). Visioneering-state of the art. *The Journal of Creative Behavior*, 21(3), 283-299.
- Sternberg, R. J. (2003). *Wisdom, intelligence, and creativity synthesized*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Torrance, E. P. (1969). *Creativity. What research says to the teachers*. Washington, DC: National Education Association and B. Princeton NJ: Personnel Press.
- Torrance, E. P. (1971). *Technical-norms manual for the Creative Motivation Scale*. Athens, GA: Georgia Studies of Creative Behavior, University of Georgia.

工具機產業導向3D列印技術應用於機械設計技術課程能力指標與教學大綱建構

Capability Indicators and Syllabus Construction of Machine Tools Industry Based 3D Printing Technology Applied in Mechanical Design Technology Course

陳狄成*、尤麒熊、郭聰穎、張易崇

國立彰化師範大學工業教育與技術學系

Dyi-Cheng Chen*, Ci-Syong You, Tsung-Ying Kuo, Yi-Chong Zhang

Department of Industrial Education and Technology, National Changhua University of Education,
Changhua 500, Taiwan

摘要

3D 列印為工業 4.0 重要關鍵技術，臺灣具備發展智慧製造的優勢，因此於國際生產製造鏈上占有一席之地；新興製造業與機械設計之應用，透過工具機、金屬加工，及以 3D 列印為主的技術，可興起產業實務人才之培育、催生新創事業之設計開發人才，進而於工業 4.0 上有所貢獻。因此，機械設計與 3D 列印技術具有研究的必要性與可行性。本研究的重點為，結合電腦輔助技術進行設計並以 3D 列印技術製造工具機之機件，透過「提高精度」與「縮短開發時間」達到降低生產製造成本之效果，改變目前業界的生產模式、提升產能，進而增進國際競爭力。在課程方面採用美國創業教母所撰寫之「創新者的六項修練」為教學策略與方法，依其發展出主指標與次指標，進而建構涵蓋工具機產業導向、3D 列印技術與機械設計的能力指標，並通過問卷徵求 10 位專家的意見，採用層級分析法（AHP）評估上述之能力指標，最後結合 AHP 綜合評估及能力指標編撰出教學大綱。

關鍵字：工具機產業導向、3D 列印技術、機械設計、層級分析法

*通訊作者：陳狄成，E-mail: dcchen@cc.ncue.edu.tw

Abstract

3D printing is a key technology to industry 4.0, and Taiwan play a role in international production chain because of the advantage of developing smart production. Applying in emerging manufacturing and mechanical design with machine tools, metalworking, and 3D printing, then rice cultivating talents with practice and creativity, and then contribute to industry 4.0. Therefore, mechanical design and 3D printing technology are essential and feasible to be researched. The key point of this research is to design with Computer Assisted Technology, then produce the parts of the machine tool with 3D printing technology. To lower production costs, “improving accuracy” and “reducing development time” are necessary, and then change the current mode of production, and raise production capacity, and improve international competent ability in the future. In teaching methods used “six essential disciplines” which written by America founders master as teaching strategies, then develop main and secondary targets according to the disciplines. Further, develop capability indicators which comprise machine tools industry oriented, 3D printing technology and mechanical design, and ask for ten experts with questionnaires, then assess capability indicators in above with analytic hierarchy process (AHP). Finally, combine AHP and capability indicators to compile the syllabus.

Keyword: Machine tools industry-oriented, 3D printing technology, Mechanical design, Analytic hierarchy process (AHP)

壹、前言

台灣從 1980 年代開始，製造產業就進入自動化發展，近年來更朝 E 化邁進，目前台灣包括工具機、金屬加工甚至以 3D 列印為主的新興製造業，都已建立深厚的智慧自動化根基。前行政院長毛治國致詞指出，「人才要產學連結、不要學用落差」；他表示，這將從學校教育、職場從業人員等兩方面檢視（林孟汝，2015）。整體而言，目前台灣工具機產業隨著成形材料多樣化、產品複雜度提高、追求精細薄小零組件等之要求，在機械設計的製作、品質與設計上，仍與先進國家（如日本、德國）有明顯之落差。台灣廠商必須持續且積極投入設計與技術研發之工作，才能有效提升工具機產業的附加價值，並提升整體產業之競爭力（黃營芳、鄭鴻君，2007）。

3D 列印日前被《經濟學人》雜誌比喻為「將掀起第三次工業革命」的技術，學者張德齡（2013）指出除了一般應用外，3D 列印技術可製作傳統的模具製造方法難以製作的複雜產品/機構，以及不易組裝的功能性活動件。目前已被廣泛的應用在模具業、汽（機）車、航太、醫學工程等諸多領域。3D 列印雖然可以快速依據個人需求打造出獨特的產品，但這項技術一直以來卻無法應用在家電及汽車製造上。因金屬模具的精密度非常重要，所以需要非常熟練的製造技術及最少 1 個月的的工作天才能打造出來。過去為了製造新的模具，耗時又高成本。而 Panasonic 嘗試以 3D 列印打造金屬模具，此作法不僅將製造模具的工期縮短至 2 週，同時也節省許多成本，大大增加了生產效率（顏理謙，2013）。

綜觀上述研究發現，3D 列印可創造出新興製造業與機械設計的全新應用，利用電腦輔助技術設計並使用 3D 列印製造工具機之機件以「提高精度」與「縮短開發時間」等符合政府「工業 4.0」政策要求之技術，來降低生產製造成本，改變台灣業界目前的生產模式，並增進國際競爭力。本研究的主要重點為建構產業所需之技術能力指標，將工業 4.0 中最主要的工具機產業為導向，藉由 3D 列印的生產方式，提高產品的多樣性、增加產品的附加價值，同時培育工具機設計產業創新人才並縮短產學落差。

貳、文獻探討

一、工具機產業

全球工具機產業發展已歷經數十年的歷史，日本、德國、中國大陸等三大國囊括全球五成以上的市場，特別是精密度高的工具機機種幾乎都由日本及德國兩個國家所生產，而我國在全球工具機市場的佔有率約 5~6% 和韓國在全球的市場地位約略相當，主要競爭對手為義

大利、中國大陸。我國工具機產業多以台中地區為主要的聚落並具有完整的中衛體系。從上游的滾珠導螺桿到工具機的組裝多能自給自足，尤其滾珠導螺桿已成為全球第三大出口國，而綜合加工機等機種產值也高達新台幣 600 億元以上，為全球主要供應國之一。未來在既有綜合加工機市場朝多軸化策略因應，而在產品開發則以多軸複合化（如五軸加工機）、智慧型與微型工具機為主要目標。整體而言，部分法人也認為，近年來國內工具機產業持續受惠於自動化趨勢，普遍吹起「工業 4.0」風潮，這是製造業的未來前景；若能有效虛實整合，配合完善的標準化、複雜的系統管理、通信基礎設施建設、網路安全等四項要素，未來工具機發展可望出現新商機。前工研院副院長張所銘指出，因應全球製造業面臨的挑戰，需調整標準化、大規模、成本導向的傳統製造思維，全球先進製造的潮流已從大規模生產，逐漸轉到大規模客製服務；過去台灣推動自動化的成效很好，生產體質良好，長期朝向工業 4.0 的趨勢挺進，將是台灣工具機產業的契機（黃淑惠，2015）。

二、3D 列印機械設計技術之意義

由於 3D 列印技術可製作造型複雜的產品，也可以直接做出活動配合件，免除繁瑣的組裝工作。讓電腦中的 3D 設計圖成為立體的實際成品，可製作造型複雜的產品，也可以直接做出活動配合件，免除繁瑣的組裝工作。因此直接設計機械零組件更可以減少機械加工時間跟大量生產製造。機械產業技術蓬勃發展，更需要 3D Printing 技術與其分析軟體，在短時間內達到技術提升與管控，與機械設計產業相輔相成，成為得力幫手（Tucker et al., 2014）。技術是一種知識、一種能力、或是一個實體，外顯的技術文件、藍圖、專利，內隱的經驗與能力，都算是技術的內涵（楊君琦，2000）。關於「技術」一詞其意義十分廣泛，由於各學科領域各有其專業系統知識，各領域由不同的角度來探討技術的定義，可說眾說紛紜。廣義的技術定義係指一系統性的知識，包含硬體及軟體兩個層面。硬體方面是指生產技術，包括產品、製造方法、工廠藍圖、機器、設備及工作說明書等；軟體方面主要是指管理技術，如一套有系統的管理制度、規劃、組織及完成生產作業所需之企業體系。其軟體或硬體所應用之知識，皆可稱之（Snijders & van der Duin, 2017）。狹義的技術定義內容主要是指生產方法、製程設計、操作等直接應用於生產所需之知識。即指知識在工業實際工作中的系統應用，而發展成的各種工藝、操作方法與技能等（曹焰、郭春陵，1999）。

依據上述文獻，歸納出技術為面對所在環境、人、事與物而衍生的相關知識與解決實務問題的技能。在生產製造過程中，專業人員培養及訓練實務技術，實際參與整個生產製造過程，藉此生產過程培養專業人員問題解決、創意等知識與能力，使生產製造趨於完善與進步。

三、機械設計技術之意涵

機械設計是機械工程師必修的進階應用課程，內容主要是分析各機械元件在靜止或運動並承受負載狀態下，機械元件內部的應力分布與應變（strain）。以及估計機械元件的幾何形狀、尺寸大小與其使用壽命，並做優化處理以增加機械效率。機械設計所需的基礎課程包括：靜力學、動力學、流體力學、材料力學以及機構學。機器設計乃是機械工業之根本，而機器設計能力的養成，更是我國機械工業升級不可或缺的要件（Huang et al., 2008）。

機械設計的基本要求是：在完成規定功能的前提下，性能好、效率高、成本低；在規定使用期間內安全可靠、操作方便、維護簡單和造型美觀等。一般應滿足以下幾方面要求。

（一）使用要求

使用要求是對機械產品的首要要求，是指機械產品必須滿足用戶對所需要的功能的要求，這是機械設計最根本的出發點。

（二）可靠性和安全性要求

機械產品在規定的使用條件下，在規定的時間內，應具有完成規定功能的能力。安全可靠是機械產品的必備條件。

（三）經濟性和社會性要求

經濟性要求是指所設計的機械產品在設計、製造方面周期短、成本低；在使用方面效率高、能耗少、生產率高、維護與管理的費用少等。此外，機械產品應操作方便、安全，具有宜人的外形和色彩，符合國家環境保護和勞動法規的要求。

（四）其他特殊要求

有些機械產品由於工作環境和要求不同，對設計提出了某些特殊要求。例如對航空飛行器有質量小、飛行阻力小和運載能力大的要求；流動使用的機械（如塔式起重機、鑽探機等）要便於安裝、拆卸和運輸；對機床有長期保持精度的要求；對食品、印刷、紡織、造紙機械等應有保持清潔，不得污染產品的要求等。

四、創新者的六項修練

創新是一種可在後天習得的能力，即使原本沒有創業思維、菁英背景、特定資源或特定訓練仍能成功創業。儘管創新者來自不同產業，他們仍掌握共通的創業方法與技巧。她所整理出的行為規範，將有助滿懷熱忱的未來創新者發揮本領，憑小點子打造大企業（魏金森，2015），創新者的六項修練包含：敏銳的創新者、偏執的創新者、果斷的創新者、誠實的創新者、合作的創新者與慷慨的創新者。在本研究中專研「果斷的創新者」，以下詳述之：

OODA 循環 (OODA Loop) 的發明人為美國陸軍上校約翰博伊德 (John Boyd, 1927-1997)，學生可應用 OODA「觀察-定位-決策-行動」循環發展創新者修練的流程，以更快的速度發展策略與創新模式，而獲得競爭優勢。第一個步驟為「觀察 (observe)」：透過對外部大環境趨勢、產業、競爭者的觀察，蒐集外部情報並進行情報分析。第二個步驟為「定位 (orient)」：根據所觀察、蒐集的外部情報，進行情勢分析與研判，進而提出可行的構想作為假設。第三個步驟為「決策 (decide)」：根據定位階段所做的研判與假設，制定設計方針與目標。第四個步驟為「行動 (act)」：將決策落實於行動計畫，並按執行計畫進行執行與監控等活動。由於環境隨時在變化，所以在執行階段，必須將監控、觀測的結果回饋於「觀察」階段，重新進行 OODA 企劃循環。

五、AHP 層級分析法

AHP 為 1971 年美國學者 Thomas L. Saaty 所發展出一套實用的決策方法，AHP 的理論簡單和操作容易，同時能擷取多數專家學者與決策者之意見，在實務上甚具實用性。其主要應用領域在於不確定性情況下及具有多數評估準則的決策問題上 (Saaty, 1980)。AHP 是將複雜的問題系統化，透過建立具有相互影響關係的階層結構，可使複雜的問題、風險不確定的情況或分歧的判斷中尋求一致性，藉由量化的判斷來綜合評估，以提供決策的充分資訊與降低決策的風險。

AHP 結合定量與定性，將人的主觀判斷以數量形式表達和處理的方法，其最大的功用在使用錯綜複雜的問題分解成各個組成要素，再將這些要素依關係分組形成簡明的層級結構系統；並藉由名目尺度作各層級要素之成對比較矩陣後，經運算求得矩陣之特徵向量，代表層級中某層次各要素之優先程度，再求出特徵值，以該特徵值評定每個配對比較矩陣之一致性強弱程度，作為取捨或評估決策之訊息，確定決策方案相對重要性之優勢順位，此即為決策分析之參考數據。

階層是系統特別的型態，基於個體可以加以組成並形成不同集合體的假設下，將影響系統的要素組合成許多層級（群體），每一層級只影響另一層級，同時僅受另一層級的影響，而層級為系統的骨架，用以研究階層中各要素的交互影響，以及對整個系統的衝擊。

六、能力指標

（一）能力指標定義

能力指標一詞是我國首創的名詞，以教育指標的觀點來看，類似美國各州各學科領域內容標準 (content standard) 與表現標準 (performance standard)，日本的學習指導要領 (課程標準)，澳洲的關鍵能力 (Key Competency, KC) 等的概念。

張佳琳（2000）認為能力指標有質與量兩層定義，就量的觀點而言：能力指標是「用以描述或反映勝任某一工作所須知識、才能及狀態的統計數量」；就質的觀點而言：能力指標則為「對勝任某一工作所須知識、才能及態度的概念或描述」。

（二）能力指標之特質

從能力指標的意義可以發現，能力指標主要是陳述學生在經歷一個學習階段的學習後所應具備的學習結果，因此它具有某些特質，有六項特質：(1)規範性：課程綱要各學習領域的分段能力指標，對學校課程和其教科圖書具有規範性。(2)共通性：能力指標是為全體國民教育階段的學生所訂定，是全國一體適用、共同的課程目標，具有共通性。(3)階段性：課程綱要中的各國學習領域所劃分的學習階段不一，但均區分為三至四個階段，而根據該學習階段學生的學習能力及領域的知識結構，分別提出各個學習階段的能力指標，因而具有階段性。(4)學習結果導向：能力指標是課程目標的一種，因此是以學生的學習結果加以呈現，具有表現性的特質。(5)可分析性：能力指標是比較概括性的課程目標，因此能力指標應該要根據學生的學習需要、社區特性、家長期望等，加以分析。(6)可擴充性：課程綱要的使用者除了可以針對能力指標進行詮釋及分析之外，如果發現有所不足、不周延的地方，或是為了配合學生學習上的需要、及科技發展與社會變遷的需求，可加以適切的補充及擴充。

李坤崇（2006）認為各學習領域的課程綱要之分段能力指標，乃由十大基本能力配合各學習領域的理念和目標衍生，因此能力指標的特質有五項：(1)低標：能力指標乃課程目標要求的最低要求，亦即城市、鄉村、山上、海邊、離島區域的學生可達成基本能力。(2)活化：能力指標的本質是活的，學校可予以增加、補充、或分化，然學校應依據學校願景與特色秉於專業自主來活化。(3)階段化：能力指標依學生在各學習領域身心發展的狀況，劃分為三或四個學習階段，具有區別身心發展階段，進行縱貫聯繫與階段區隔的功能。(4)連繫化：能力指標雖然分成三或四個階段，但各階段能力指標具有「循序漸進、連續不斷、統整合一」的特質。(5)適性化：學校可依學校情境、家長要求、社區特質與學生需要來研擬適性化的學習目標，落實能力指標可能出現目標相同，但各校作法與要求互異的現象。

（三）能力指標之功能

茲將學者專家對能力指標功能的觀點整理如表 1：

表 1

能力指標之功能

學 者	年 代	能 力 指 標 功 能
黃嘉雄	2002	1.向社會大眾和社區明示教育的基本方向。
		2.作為各校和師生努力的標的。
		3.作為檢測教育問題，提供警訊的參考指標。
		4.作為評估教育績效的參照規準。
		5.作為課程設計與發展的基本藍圖。
		6.作為各學習領域的課程目標。
		7.用以選擇教材、教法、組織學習活動，並決定適當的評量方法。
		8.用以評斷學生起點行為，以為補救教學之參考指標。
		9.作為評定學習結果的指標。
李坤崇	2002	1.出版社或學校編輯教材的依據。
		2.教師確立學習目標與運用學習方法的前提。
		3.教師實施學習評量的準則。
		4.教育部發展評鑑指標的根據。
		5.教育部發展基本學力測驗的基準。
		6.學校實施基本能力測驗的準繩。

綜上所述，可以歸納出能力指標的功能具有：1.發展教材的依據；2.溝通的媒介；3.評量的準則；4.評鑑的規準；5.學力測驗的基準。

工具機產業若能完善的標準化、複雜的系統管理、通信基礎設施建設和網路安全整合，將可出現新商機，而台灣若持續朝工業 4.0 發展，定會是工具機產業展的重要契機。培養 3D 列印技術，需要具有相關知識與解決問題的技能，若具備問題解決和創意等能力，便能使生產製造更加進步。機械設計是眾多基礎的進階應用，也是機械工業的根本，在機械工業升級是舉足輕重的腳色。創新者的六項修練是一本整理不同產業創業方法與技巧的書籍，有助於創新者發揮本領。能力指標是是陳述學生經歷一段學習後，應具備的學習結果。

參、研究方法

本研究旨在建構工具機產業導向 3D 列印技術應用於技職校院機械設計技術課程能力指標與教學大綱。為達此研究目的，本研究將使用文獻探討之研究方法，主要在於蒐集、整理、分析相關期刊、論文等理論及先前研討會或座談會等文獻資料，並整理分析探討研究文獻及書籍，以了解各國在產業導向理論發展與實施現況。建構以創新者的六項修練內果斷創新者中的 OODA，依序為觀察（Observe）、定位（Orient）、決策（Decide）和行動（Act），作為四個主指標，再依主指標內的特性與參考文獻，建構數個次指標，如：觀察主指標之特

性為判斷差異，其次指標為機械工程設計與設計主題相互依存關係。將整理後的文獻資料，分類到次指標，編撰出本研究所需之能力指標，之後訪談 10 位專家學者，據受訪者的工作經驗或研究對工具機產業導向 3D 列印技術應用於技職校院機械設計技術課程能力指標與課程內涵提供意見，透過 AHP 問卷調查量化的判斷工具機產業導向 3D 列印技術應用於技職校院機械設計技術課程能力指標綜合評估，並以此能力指標撰寫教學大綱。

肆、結果與討論

為達到減少產學落差及建構產業所需之技術能力指標的目的，尋找並整理分析包含工具機產業導向、3D 列印技術與機械設計研究文獻與書籍，將教學策略創新者的六項修練中的 OODA「觀察-定位-決策-行動」作為能力指標的四個主指標，「觀察」是指培養學生在機械設計課程中判斷差異、蒐集資訊和留意細節的能力，「定位」是指培養學生在機械設計課程中分析資訊和區分的能力「決策」是指培養學生在機械設計課程中當機立斷的能力，「行動」是指培養學生在機械設計課程中應用與反饋的能力，建構出能力指標，如表 2 所示。

表 2

工具機產業導向 3D 列印技術應用於機械設計技術課程能力指標

主指標		次指標
觀察	判斷差異	機械工程設計 設計主題相互依存關係
	蒐集資訊	機械程序的各階段與其交互作用 設計工具與資源
	留意細節	創意性設計
定位	分析資訊	組合件之公差配置
	區分	零件之組合公差分析 尺寸之定義與標準
	當機立斷	材料選擇 設計因數與安全因數 材料的強度與剛度 選用損壞準則
行動	應用	軸的依據應力 軸承的變動負荷 平面應力的莫爾圓
	反饋	離合器與剎車的靜態分析 螺旋扭轉彈簧的機械性質分析 齒輪的作用力分析

本研究選取了工具機產業領域專家 5 名和機械設計課程教師 5 名，並採用 AHP 層級分析法問卷進行深度訪談。表 3 為 10 位專家填寫 AHP 問卷後，所統計出來的權重值與複權重值，主指標的權重值分別為：「觀察」(42.42%)、「定位」(21.47%)、「決策」21.73%)和「行動」(14.38%)，專家們皆覺得在機械設計的課程中，「觀察」的能力培養最為重要，「定位」與「決策」之權重值相當，大約占整體的五分之一，「行動」的權重值較低。在「觀察」主指標下最重要的次指標為「機械工程設計」(30.06%)，在「定位」主指標下最重要的次指標為「組合件之公差配置」(46.33%)，在「決策」主指標下最重要的次指標為「材料選擇」(38.61%)，在「行動」主指標下最重要的次指標為「軸的依據應力」(25.22%)。次指標的複權重值前五名，由高到低依序為：「機械工程設計」12.57%、「組合件之公差配置」(9.94%)、「材料選擇」(8.39%)、「設計主題相互依存關係」(8.09%)和「設計工具與資源」(7.8%)。

表 3

工具機產業導向 3D 列印技術應用於機械設計技術課程能力指標

主指標	次指標	權重值	複權重值	權重 排序	複權重 排序
1.觀察 (42.42%)	1-1 機械工程設計	30.06%	12.57%	1	1
	1-2 設計主題相互依存關係	19.06%	8.09%	2	4
	1-3 機械程序的各階段與其交互作用	16.67%	7.07%	4	6
	1-4 設計工具與資源	18.38%	7.8%	3	5
	1-5 創意性設計	15.83%	6.72%	5	8
2.定位 (21.47%)	2-1 組合件之公差配置	46.33%	9.94%	1	2
	2-2 零件之組合公差分析	32.25%	6.92%	2	7
	2-3 尺寸之定義與標準	21.42%	4.6%	3	10
3.決策 (21.73%)	3-1 材料選擇	38.61%	8.39%	1	3
	3-2 設計因數與安全因數	29.32%	4.6%	2	9
	3-3 材料的強度與剛度	19.50%	4.24%	3	11
	3-4 選用損壞準則	12.57%	2.73%	4	14
4.行動 (14.38%)	4-1 軸的依據應力	25.22%	3.63%	1	12
	4-2 軸承的變動負荷	23.21%	3.34%	2	13
	4-3 平面應力的莫爾圓	12.92%	1.86%	4	17
	4-4 離合器與刹車的靜態分析	15.95%	2.29%	3	15
	4-5 螺旋扭轉彈簧的機械性質分析	13.00%	1.87%	5	16
	4-6 齒輪的作用力分析	9.69%	1.39%	6	18

經由 AHP 層級分析法可得知以下結果：

- (一) 從 AHP 可得知專家皆認為「觀察」的能力對於機械設計的課程是非常重要，以下的次指標在複權重值排序中也皆在整體排序的二分之一以上，教師在安排機械設計的課程中應以此能力為重點，進而將機械設計課程導向工具機產業與 3D 列印技術的方向。
- (二) 從 AHP 可得知專家皆認為「定位」的能力對於機械設計的課程是重要的，其中的次指標「組零件之公差配置」在複權重值排序第二，除此之外其餘的次指標也在整體排序二分之一左右，在課程的安排中次於「觀察」的次指標。
- (三) 從 AHP 可得知專家皆認為「決策」的能力對於機械設計的課程是重要的，但除了其中次指標「材料選擇」在複權重值排序第三，其他次指標的複權重值排序皆在整體排序的二分之一以下，可知道專家雖然認為「決策」的能力重要，但其下面的次指標對於工具機產業導向 3D 列印技術應用於機械設計較不重要，在課程的安排上需要注意。
- (四) 從 AHP 可得知專家皆認為「行動」的能力對於機械設計的課程是較不重要，整體的複權重值排序幾乎在整體的三分之一以下，在機械課程的設計中，可與「觀察」、「定位」和「決策」的次指標交互配合，平衡課程的性質。

AHP 層級分析法完成後，藉由其綜合評估，便可了解各主指標間和次指標間的相互影響關係，再利用能力指標和綜合評估的結果來撰寫其教學大綱，如附錄一所示。

課程設定最終測驗為一實作，並藉由表 3 得知，主指標最重要為「觀察」，則將列出次指標，並於其他章節學習後適當的將其納入，使之貫穿所有課程，奠定第一章節的學習穩定度。在「定位」與「決策」中，雖權重無明顯差異但於次指標之複權重排序裡顯有差距，則將「定位」排於次重要主指標進行學習，並在具體目標中需要設計的一環安插，如週次八。期中考後的「行動」較屬於分析計算，但也需要將部分「觀察」及「定位」之次指標加入單元目標讓學生了解其重要性。

伍、結論

為了加速培養新創事業設計開發人才、減少產學落差，本研究將機械設計課程結合 3D 列印，以工具機產業為導向、創新者的六項修練為教學策略，建構出涵蓋工具機產業導向、3D 列印技術與機械設計的能力指標；能力指標的主指標為創新者的六項修練之 OODA 循環，以更快的速度發展策略與創新模式，並徵求工具機產業領域專家 5 名和機械設計課程教師 5 名之同意，採用 AHP 層級分析法透過問卷進行深度訪談，統計後得出權重值與複權重值。主指標的權重值順序為：「觀察」、「定位」、「決策」，最後為「行動」；「觀察」主指標下最重要的次指標為「機械工程設計」；「定位」主指標下最重要的次指標為「組零件之公差配置」；「決策」主指標下最重要的次指標為「材料選擇」；「行動」主指標下最重要的次指標為「軸的依據應力」。

透過 AHP 綜合評估和能力指標撰寫出教學大綱，在舊有的機械設計課程中篩選符合工具機產業導向與 3D 列印之內容，在期中以紙筆測驗評量同學之學習成效與專業知識，在期末以實作測驗的方式，讓同學應用本學期所學知識，並 3D 列印成品，讓同學更加清楚 3D 列印的加工方式與技術，希望藉此新創事業設計開發人才，改變目前臺灣業界的生產模式，進而增加國家競爭力。

誌謝

本論文為科技部編號MOST 105-2511-S-018-002之計畫，由於科技部經費的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

- 李坤崇 (2002)。綜合活動學習領域能力指標概念分析。《教育研究》，98，111-122。
- 林孟汝 (2015)。生產力4.0 台灣要走自己擅長的路【番新聞】。取自
<http://n.yam.com/cna/fn/20150605/20150605075085.html>。
- 林力敏 (譯) (2015)。創新者的六項修練：麥肯錫顧問解讀200家營收上億新創公司的成功密碼 (原作者：Amy Wilkinson)。台北市：先覺出版社。
- 張佳琳 (2000)。從能力指標之建構與評量檢視九年一貫課程基本能力之內涵。《國民教育》，40 (4)，54-61。
- 張德齡 (2013)。3D Printing，台灣的機會在哪裡？。遠見雜誌，320。取自
<https://www.gvm.com.tw/article.html?id=17723>。
- 曹焰、郭春陵 (1999)。實用英語辭典。台北市：水牛圖書。
- 黃淑惠 (2015)。工具機「錢」景轉進 4.0。聯合晚報。取自
<http://www.s8088.com/forum.php?mod=viewthread&tid=869025>。
- 黃營芳、鄭鴻君 (2007)。工程類科畢業學生就業狀況與產業需求分析。《工程科技與教育學刊》，3 (2)，227-243。
- 楊君琦 (2000)。技術移轉互動模式失靈及重塑之研究--以研究機構與中小企業技術合作為例 (博士論文)。取自 <http://hdl.handle.net/11296/yrj9hn>。
- 顏理謙 (2013)。3D 列印打造家電模具，Panasonic 生產成本將降三成。數位時代。取自：<http://www.bnext.com.tw/article/view/id/28328>。
- Huang S. G., Zhang Q. W., & Yu C. Y. (2008). Application of parametric design to mechanical engineering. *International Journal of Plant Engineering and Management*, 13(4), 242-247.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Snijders, D., & van der Duin, P. (2017). The future is ours: How Dutch people think about technology and the future. *Journal of Futures Studies*, 21(4), 19-35.
- Tucker, K., Tucker, D., Eastham, J., Gibson, E., Varma, S., & Daim, T. (2014). Network based technology roadmapping for future markets: Case of 3D printing. *Technology and Investment*, 5(3), 137-156.

附錄一 工具機產業導向 3D 列印技術應用於技職學院機械設計技術課程教學大綱

教學主題		機械設計	
學習領域		3D 列印技術、機械設計	教學對象 大學部三年級
教學時數		1 學期（共 18 週，54 堂）	教學評量 實作評量、個別評量、小組評量
教學資源		3D 列印機、電腦教室、繪圖軟體	
教學方式		合作學習教學法	
教學理念		現在所倡導的『MAKER』創客，紛紛受到許多人的響應，但是也有許多人沒有辦法『親手』動手做，在高職端機械科裡較所學的只有傳統車銑床或 CNC，對於創客來說設備卻是一個難題。利用 3D 列印不只可以節省許多成本，操作也是相對簡單的，是國外許多『家庭 MAKER』的選擇之一。 設計創造一直是台灣缺乏人才的主要關鍵，不僅需要創新思維，更是要許多的知識。希望透過此課程能夠發展學生相關創新知識的技能，利用 OODA 模式帶領學生成功發現現在市場的需求。	
能力指標 總覽		一、觀察 1-1 判斷差異 1-1-1 機械工程設計 1-1-2 設計主題相互依存關係 1-2 蒐集資訊 1-2-1 機械程序的各階段與其交互作用 1-2-2 設計工具與資源 1-3 留意細節 1-3-1 創意性設計 二、定位 2-1 分析資訊 2-1-1 組合件之公差配置 2-2 區分 2-2-1 零件之組合公差分析 2-2-2 尺寸之定義與標準 三、決策 3-1 當機立斷 3-1-1 材料選擇 3-1-2 設計因數與安全因數 3-1-3 材料的強度與剛度 3-1-4 選用損壞準則 四、行動 4-1 應用 4-1-1 軸的依據應力 4-1-2 軸承的變動負荷 4-1-3 平面應力的莫爾圓 4-2 反饋 4-2-1 離合器與刹車的靜態分析 4-2-2 螺旋扭轉彈簧的機械性質分析 4-2-3 齒輪的作用力分析	
週次	能力 指標	單元目標	具體目標
一	1-1-1	1. 熟知機械工程設計的觀念	1-1 能夠舉例說明機械工程設計的方法
	1-1-2	2. 了解設計論題相倚性之重要性	1-2 能列出機械工程設計之步驟
	1-2-1	3. 能理解機械程序的各階段與其交互	2-1 能夠舉出一機械之各作動關係
			3-1 能說明一部機台傳動過程的方法

	1-2-2	作用 4. 熟知設計機械所需要的工具與資源	4-1 能說出設計一虎鉗所需要的先備知識與設計、製造工具
二	2-1-1	1. 了解組零件之公差配置的各細節處	1-1 能敘述出公差配置的留意細節 1-2 能舉出錯誤的公差配置之後果 1-3 能排除錯誤的公差配置之各位置關係
	2-2-1	2. 判斷零件之組合公差分析要點	2-1 能以一實例解釋出此組合公差的優缺點
	2-2-2	3. 了解尺寸與標準之定義	3-1 解釋尺寸與標準之定義 3-2 能敘述出標準的重要性
三	1-3-1	1. 認清創意性設計的基礎觀念	1-1 能利用軸與軸承自行繪製出一實用性機械
	1-2-1	2. 機械程序的各階段與其交互作用	2-1 能分析出此機械的交互作用等可預期的作動
	2-1-1	3. 組零件之公差配置	3-1 能分析出此機械各組零件之公差配合與配置
四	1-2-2	1. 熟知設計機械所需要的工具與資源	1-1 設計一機械並說明其所需的工具與資源
	2-2-1	2. 判斷零件之組合公差分析要點	2-1 能夠評估需要的工具與資源對組零件公差的重要點
五	3-1-1	1. 了解材料選擇的目的與場合	1-1 能解釋常用於模具裡的材質特性及目的 1-2 能列出五種不同常見材質的機械性質
	3-1-2	2. 理解設計因子與安全因子的用途	2-1 能列出設計因子與安全因子的考量與工程上的應用 2-2 能判斷出結構之安全因子是否達到目標需求
六	3-1-3	1. 了解材料的強度與剛度之用途	1-1 能敘述工程上較常應用的材料與其強度與剛度之應用 1-2 能判斷一機械所需的材料強度
	3-1-4	2. 理解選用損壞準則的原理	2-1 能說明選用損壞準則的方法
七	1-2-2	1. 熟知設計機械所需要的工具與資源	1-1 能說明製作日內瓦機械所需要的知識
	3-1-1	2. 了解材料選擇的目的與場合	2-1 能判斷運用日內瓦機械之場合 2-2 分析關於日內瓦機械之組合件的所需材料機械性質
	3-1-2	3. 理解設計因子與安全因子的用途	3-1 分析關於日內瓦機械之組合件的各零組件所需的安全因子與設計因子
八	1-3-1	1. 認清創意性設計的基礎觀念	1-1 能設計一實用性機械
	2-1-1	2. 組零件之公差配置	2-1 根據自行設計之機械列出重要尺寸之公差
	3-1-3	3. 材料的強度與剛度	3-1 能分析此機械所有組零件之強度與剛度的所需機械性質
	3-1-4	4. 選用損壞準則	3-1 能分析此機械所有組零件之選用損壞原則
九	期中考週 1. 紙筆測驗 2. 考試範圍：第一週~第八週		

十	4-1-1 4-1-2	1. 理解軸的依據應力 2. 了解軸承的變動負荷	1-1 能口頭敘述軸與軸承間所受的外力 1-2 能了解軸對於軸承的參數變化關係與用途
十一	4-1-3 4-1-1 4-1-2	1. 平面應力的莫爾圓 2. 理解軸的依據應力 3. 了解軸承的變動負荷	1-1 利用莫爾圓分析出剪應力與正向力 1-2 證明莫爾圓與公式的推導 2-1 能利用莫爾圓的公式求出軸的各力值大小 3-1 利用莫爾圓求出軸與軸承間承受應力的大小
十二	4-1-1 1-1-2 1-2-1	1. 理解軸的依據應力 2. 設計主題相互依存關係 3. 機械程序的各階段與其交互作用	1-1 能重述軸的依據應力之定義 1-2 能應用軸的依據應力之用途 1-3 能分析依據應力的各個參數變動之關係 2-1 能應用軸對於機械的作動 3-1 敘述關於軸在機構中設計時所需要考量應力
十三	4-2-1 1-2-1	1. 了解離合器與剎車的靜態分析用途 2. 能理解機械程序的各階段與其交互作用	1-1 能舉例出離合器與剎車的用途 1-2 能分析出離合器與剎車的靜態參數關係式 2-1 舉例離合器與剎車在機構中設計的用途
十四	4-2-2 4-2-3	1. 了解螺旋扭轉彈簧的機械性質分析 2. 了解齒輪的作用力分析	1-1 分析此機構之螺旋扭轉彈簧的各機械性質 1-2 修正此機構的螺旋扭轉彈簧所需的機械性質 2-1 分析此機構之齒輪系的各作用力
十五	4-1-1 1-1-2 1-2-1	1. 理解軸的依據應力 2. 設計主題相互依存關係 3. 機械程序的各階段與其交互作用	1-1 能重述軸的依據應力之定義 1-2 能應用軸的依據應力之用途 1-3 能分析依據應力的各個參數變動之關係 2-1 能應用軸對於機械的作動 3-1 敘述關於軸在機構中設計所需要考量的應力
十六	2-2-1 4-1-1 4-1-2	1. 判斷零件之組合公差分析要點 2. 理解軸的依據應力 3. 了解軸承的變動負荷	1-1 能分析此機械之組合件所有公差要點 2-1 分析機械之軸對於各重要公差所影響的範圍 3-1 分析此機械之軸與軸承對於各重要公差所影響範圍
十七	2-2-2 4-1-3	1. 了解尺寸與標準之定義 2. 了解平面應力的莫爾圓	1-1 將此機械重新定義新的尺寸公差標準 2-1 利用莫爾圓重新訂定尺寸公差
十八	期末考週 1. 測驗方式：實作測驗 2. 測驗內容：以組別為單位自訂題目，改良現有機械，最後繳交實作報告書及 3D 列印成品		

設計及應用氫氧混合供應系統清除火星塞表面積碳及改善引擎廢氣排放

Design and application of the supply system of hydrogen/oxygen mixture to clean up the carbon on the surface of spark plugs and to improve engine exhaust

陳錦華¹、陳昆煜*、吳佳華³、邱維振⁴、賀璞⁵

¹ 大田精密工業股份有限公司

*國家中山科學研究院化學研究所品保工程組

³ 和春技術學院企業管理系

⁴ 國家中山科學研究院化學研究所匿蹤組

⁵ 義守大學醫學工程系

Chin-Hua Chen¹, Kun-Yu Chen*, Jia-Hua Wu³, Wei-Chen Chiu⁴, Pu He⁵

¹ O-TA Precision Industry Co., LTD.

* Chemical Systems Research Division, National Chung-Shan Institute of Science and Technology

³ Department of Business Administration Assistant Professor, Fortune University

⁴ Chemical Systems Research Division, National Chung-Shan Institute of Science and Technology

⁵ Department of Biomedical Engineering, I-Shou University

摘要

氫氧混合供應系統連結車輛進氣歧管，導入引擎燃燒室，當汽油與氫氧混合氣體燃燒時，由於氫氧混合氣體會再提高燃燒室溫度，進而燃燒積碳，並隨著排放而達到清除積碳效果。

使用廢氣分析儀監測車輛 CO、HC 及 CO₂ 排放量，在固定電流下的氫氧混合供應系統，會穩定的產生氫氧混合氣體，供給燃燒室，再藉由 CO、HC 及 CO₂ 的排放明顯降低，證實本系統效能。

關鍵字：積碳、CO、HC、CO₂

*通訊作者：陳昆煜，E-mail: a0931754@yahoo.com.tw

Abstract

To tackle these problems, we use this system to connect to the intake manifold of an engine so that the mixed hydrogen and oxygen gases can go into the chamber of the engine. When they meet the burning gasoline, they will increase the burning temperature of the gasoline. This will burn and clean the residual carbon by sending it out through the process of exhaustion.

To prove the effectiveness of this system, we also use an Exhaust Gas Analyzer to analyze automobiles , the carbon monoxide(CO), Hydrocarbons(HnCm), Nitrogen oxides(NOX) and carbon dioxide(CO₂) emissions. Specifically, when connected to this system, the combustion chamber works smoothly and the carbon monoxide(CO), Hydrocarbons(HnCm), Nitrogen oxides(NOX) and carbon dioxide(CO₂) emissions decrease significantly.

Keywords: residual carbon ,carbon monoxide(CO), Hydrocarbons(HnCm), Nitrogen oxides(NOX), carbon dioxide(CO₂)

壹、前言

一、研究背景

“氫”是本文最重要的開頭，大家都知道“氫”的來源有99 %都來自水，提煉“氫”這種具有危險性及乾淨的能源在現在工業上分為以下幾種：

1. 水電解製氫：電解槽內部包含數片正負兩極電解片及充滿以氫氧化鈉為原料的電解液組合而成，導入直流電源電解輸出氫與氧，電解片正極輸出氧、負極輸出氫。
2. 熱化學製氫：主要把水加熱到最高溫度（2500~3000℃），部份水蒸氣可以分解成氫及氧，缺點：設備投資成本過高。
3. 天然氣製氫：燃料以天然氣體為主，天然氣主要成分包含甲烷等HC發生催化反應，產出氣體包含苯及氫氣，不會產生溫室氣體“CO₂”。
4. 太陽能製氫：作動原理與“水電解製氫”一樣，主要電力來源有所不同，一般“水電解製氫”電力來源是由交流電經過變壓器轉換直流電給予電解槽電解產生氫氧混合氣體，“太陽能製氫”電力來源為太陽光照射太陽能板由熱轉成電輸入給電解槽產生氫氧混合氣體，由於太陽能光伏電池一電的轉換效率較低，價格非常昂貴，致使在經濟上太陽能電解水製氫至今仍難以與傳統電解水製氫競爭，更不要說和常規能源製氫相競爭。

本文所提出設計的系統原理是最傳統水電解製氫為主軸，目前市售電解裝置以“市售商品”所設計的製氫裝置最普遍，“氫氧混合供應系統”與“市售商品”設計的製氫裝置不同之處在於“市售商品”製氫裝置電力來源是以固定式電源裝置輸出電解槽所需要之電源，往往裝置越大產生氫氧混合氣體的效能卻無法提升，“市售商品”設計的氫氧裝置最大缺點不在於電力系統，主要原因是電解槽電解產出氫氧混合氣體輸出至引擎燃燒室這段管路之間無氣體冷卻器及水氣過濾器，引擎燃燒室吸入過量高溫水蒸氣造成引擎內部零件嚴重損壞。

“市售商品”的製氫裝置內部功能及現今加裝車輛引擎周圍機械零件之特性與應用在下一章參考文獻中有詳細解說。

綜合以上技術，設計“氫氧混合供應系統”目的是提供乾淨氫氧混合氣體與化石燃料混合提高燃燒效率，降低車輛排放有毒氣體濃度提高台灣地區的空气品質。

二、研究動機及目的

“引擎燃燒室”燃燒化石燃料所排出的有毒廢氣會造成人體致癌率提高（例如：肺癌）及溫室氣體排放，“引擎燃燒室”為何會排放有毒廢氣之原因是當導入空氣到進歧總管與噴油嘴噴入化石燃料混合吸入“引擎燃燒室”燃燒，此流程反覆循環造成燃燒室內部形成嚴重積碳，積碳會導致火星塞點火不良、點火正時提前、汽缸壁嚴重磨損、爆震等等不良影響。造成積碳原因為化石燃料成分中包含臘及膠質不可燃燒物質，長期累積於“引擎燃燒室”周圍零件增加排放有毒廢氣之濃度量。

本實驗設計一台訴求環保的供應系統“氫氧混合供應系統”，經由水電解提煉氫和氧導入進歧總管與化石燃料混合導入“引擎燃燒室”混合提高燃燒效率有效清潔積碳及降低有毒廢氣之排放。

“引擎燃燒室”排放有毒廢氣主要成分為CO、HC及CO₂。針對有毒廢氣濃度及化學式等因素如下：

三、CO之發生過程

CO係汽油在燃燒時，空氣量供給不足時發生不完全燃燒之產物，化學反應式如下：



若空氣充足產生完全燃燒時，則汽油中的O₂結合成無害的CO₂，化學反應式如下：



引擎排出的CO與CO₂，濃度與燃料空氣之混合比之濃稀有密切關係，尤其 CO之發生量（濃度）混合比之關係更為密切，CO之發生量在濃混合比時增加快速。CO₂之發生量在理論理想混合比附近時最多，混合氣較稀，因未燃燒之氣體增加，CO₂的發生量反而有減少之趨勢（余永盛，2008）。

由於汽油燃燒不完全，造成CO的空氣污染問題，而CO的污染，汽油車則極大部份。CO和血紅素結合成Cohb（CO中毒）的能力是O₂和血紅素結合成Orb的300倍，故空氣中CO濃度過高時，則會與血紅素結合，而影響血紅素輸送O₂的功能，且Cohb（CO中毒）在血紅素中達5-20%，即會對人體健康產生影響，60%以上則可能死亡。CO對人體健康的影響程度，與暴露時間有密切的關係（周圍空氣中CO的ppm）、T（時間），即得CO中毒指數，故可知若周遭

空氣中CO濃度達25 ppm時,停留10小時,即可能有神經系統方面中毒症狀產生(余永盛,2008)。
而CO常發現在各種自然與非自然的環境中,如表1~表3所示,有一些常見的CO年度範圍。

表1
常見的CO年度範圍

一氧化碳(CO)濃度 (ppm)	環境狀況
0.1	自然大氣的背景值。
0.5~5	屋內平均背景值。
5~15	房子內接近氣體儲存處的背景值。
100~200	墨西哥市中心背景值。
5000	木頭在家煙囪燃燒所測量之值。
7000	無觸媒轉換器-未稀釋且已發動一段時間的汽車排氣口之值。

參考資料：余永盛，2008，Raju, 1992。

表2
物料火災危險標誌 (NFPA) 不同濃度CO危害效應

一氧化碳(CO)濃度 (ppm)	危害效應
50 以下	對健康有不良影響。
50	1.5~4 小時,工作效率降低。
100	6~8 小時內,頭痛頭昏、噁心嘔吐、呼吸不適、無力、判斷力喪失。
200	2~3 小時產生輕微頭痛。
400	2.5~3.5 小時頭痛加劇。
800	45 分鐘頭暈、反胃、抽筋。
1200	心跳加速、且不規律跳動。
1600	20 分鐘會頭痛、暈眩、2 小時死亡。
2000	會喪失意識及死亡。
3200	5~10 分鐘會頭痛、暈眩、嘔吐、30 分鐘會死亡。
5000	可能於數十分鐘內致死。

(續下頁)

表2

物料火災危險標誌（NFPA）不同濃度CO危害效應(續)

6400	1~2 分鐘內會頭痛、暈眩、10~15 分鐘內會死亡。
12800	1~3 分鐘內可能會死亡
中毒嚴重但未致命者	可能會頭痛、喪失記憶和精神出問題..等，若嚴重則不可能完全康復。
慢性或長期暴露	1. 心臟影響、增加心血管問題。 2. 畸型或胚胎學：會造成死胎。 3. 致突變性，提高小鼠血球染色體損壞。 4. 累積毒素，需 1~2 小時完全排出。

參考資料：余永盛，2008。

表3

血液中碳氫血紅蛋白濃度產生症狀對照表

COhb 濃度 (%)	徵狀
0~10	多半因激烈肌肉運動過後，毫無症狀或呼吸間隔縮短，或有失眠、聽覺異常現象。
10~20	多半由於長期運動，有輕微頭痛頭脹、噁心、氣喘現象、易疲倦之症狀。
20~30	悸動性頭痛、暴躁易怒、情緒不穩定、判斷力減弱、記憶不健全、極易疲勞、虛弱。
30~40	嚴重頭痛、虛弱、噁心、噁吐、眩暈、視覺矇矓、模糊不清、呼吸困難、精神紊亂。
40~50	產生幻覺、身體發生嚴重共濟不能（調節不能）的現象、呼吸加快、虛脫無力。
50~60	昏迷、驚厥、痙攣抽搐、心動快速並帶有弱脈、全身及面色蒼白。
60~70	昏迷程度加深、患者糞便及尿液失禁。
70~80	深度昏迷、極弱或缺乏反射神經、脈搏極弱或停止。
80	呼吸中樞麻痺、呼吸停止、心跳停止、病人迅速死亡。
80 以上	由於碳氫血紅蛋白呈紅色，所以患者無青紫，皮膚及唇色呈櫻桃紅色。

參考資料：余永盛，2008。

四、HC之發生過程

HC為碳氫化合物之總稱，為汽油之主要成份。燃料中所含之C，作完全燃燒後變成CO₂排出，H₂與O₂結合後變成H₂O排出，其化學反應式如下：



排氣管所排出之HC，係汽油不完全燃燒後，以燃燒剩餘物的狀態所排出，其發生之原因有下列數種：

1. 在燃燒室中混合氣之燃燒係從火星塞點火之火焰逐漸擴大，而傳到整個燃燒室，若燃燒室之汽缸壁之溫度太低時，則這附近的混合氣無法達到燃燒程度，火焰的溫度逐漸降低，而未達到燃燒室之汽缸壁前，火焰就消失，這一層混合氣一般稱為「消焰層」(quench zone)。此層距離汽缸壁0.05~0.5 mm，這層消焰層的未燃燒混合氣由活塞排出汽缸外，即含有多量之碳化氫。
2. 在減速時，節氣門很快關閉到怠速位置，進氣歧管之真空急速增高，使用化油器之車輛在瞬間發生很濃之混合氣，因混合氣量少，壓縮後之壓力及溫度低、燃燒緩慢，因此有大量的未燃燒混合氣排出，而含有多量之碳化氫。
3. 因進氣門與排氣門有重疊開放之時間，在引擎轉速低時有部份新鮮混合氣會從排氣門逸出，經排氣管排出，而含有多量之碳化氫。
4. 使用比理論混合比稀薄的混合氣（混合比在17：1以上時）亦會不完全燃燒，產生未燃成份。同時混合氣過稀，燃燒室內火焰傳播不良，容易造成不著火而排出大量未燃成份，而增加碳化氫之排放量。
5. HC的污染問題，主要來源是汽油車，由油箱及化油器揮發而來的佔20 %，由曲軸箱吹漏氣而來的佔25 %，由廢氣排放的佔55 %，HC濃度低時會對呼吸系統產生刺激，較高濃度時則會對中樞神經系統產生影響。此外，還會和NO_x等發生光化學反應，產生O₃、HCHO等，使人眼睛刺痛、喉嚨痛、味覺能力降低。

五、CO₂之發生過程

CO₂是空氣中常見的化合物，其分子由一個C和兩個O₂組成，化學反應式如下。



CO₂通常是由燃燒有機化合物、細胞的呼吸作用、微生物的發酵作用等所產生，植物在有陽光的情況下吸取CO₂，在其葉綠體內進行光合作用，產生C·H₂O)_n和O₂，O₂可供其他生物進行呼吸作用，這種循環稱為“碳循環”。

CO₂是溫室氣體之一，可以把來自太陽的熱能鎖起來，不讓其流失，如果大氣中的CO₂含量過多，熱量更難流失，地球的平均氣溫也會隨之上升，這種情況稱為“溫室效應”。

貳、文獻回顧

一、愛貝克除碳裝置

如圖2所示，台灣智慧財產局公告第M353996號「除碳裝置」，該除碳裝置具有氫氧氣產生器、水氣產生器，及連通該氫氧氣產生器與水氣產生器的結合管路，藉由將所產生的氫氧氣與水氣經結合管路導入車輛之引擎內，使該引擎之管壁內的積碳加速軟化，而不需要花費較久的時間來等待軟化現象發生，有助於提升除碳作業效率。

然而，由於該氫氧氣產生器在產生氫氧氣的過程中會產生高溫，使電解液蒸發產生水氣，讓水氣與氫氧氣一起傳輸至該引擎中，長期使用下可能會造成部分電子零件的短路現象，若是水氣過多，還有可能直接造成該引擎縮缸，而縮短其使用壽命。

相關測試報告如表5所示。

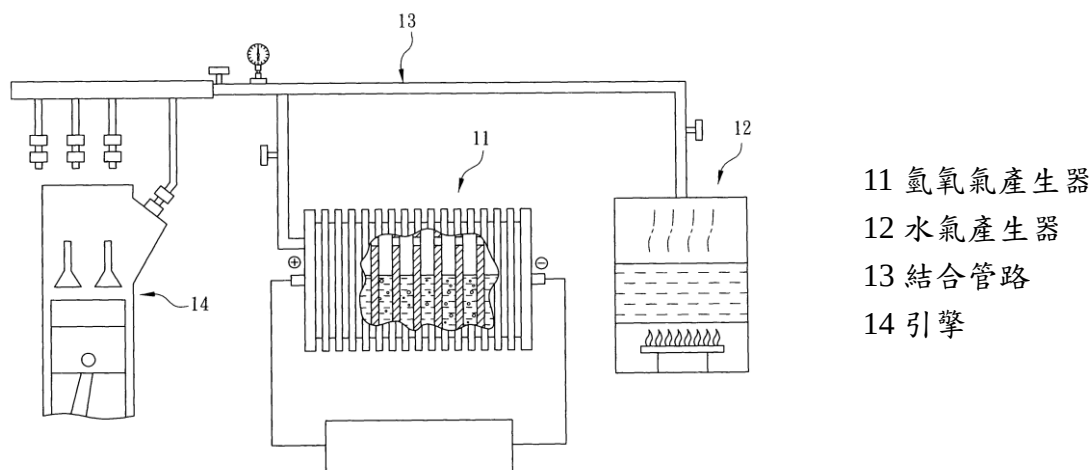


圖2 愛貝克除碳裝置之實施圖

表5

愛貝克除碳裝置之有毒廢氣檢驗報告

廠牌：BENZ-C180	排氣量：1.8L	年份：1994	公里數：95272
檢驗項目	檢驗前	檢驗後	氣體降低比率（%）
CO（%）	0.66	0.17	74
HC（ppm）	414	99	76
CO ₂ （%）	14.1	14.5	-2.8
廠牌：TOYOTA-WISH	排氣量：2.0	年份：2004	公里數：177411
檢驗項目	檢驗前	檢驗後	氣體降低比率（%）
CO（%）	0.38	0.11	71
HC（ppm）	440	235	46
CO ₂ （%）	14.6	14.5	0.6
廠牌：TOYOTA-CAMRY	排氣量：2.0	年份：2002	公里數：319743
檢驗項目	檢驗前	檢驗後	氣體降低比率（%）
CO（%）	0.27	0.07	74
HC（ppm）	419	171	59
CO ₂ （%）	14.2	14.6	-2.8
廠牌：NISSAN-CEFIRO	排氣量：3.0L	年份：1999	公里數：93697
檢驗項目	檢驗前	檢驗後	氣體降低比率（%）
CO（%）	0.84	0.04	95
HC（ppm）	205	17	91
CO ₂ （%）	12.8	12.6	1.5
廠牌：NISSAN-SENTRA	排氣量：1.6L	年份：1995	公里數：208430
檢驗項目	檢驗前	檢驗後	氣體降低比率（%）
CO（%）	0.33	0.01	96
HC（ppm）	201	84	58
CO ₂ （%）	14.2	14.4	-1.4

氣體降低比率（%）＝原始數據－最後數據÷原始數據×100

二、吸入式除碳裝置

發動引擎，應用進氣歧管的負壓端真空吸力吸入藥劑，沿著真空氣流行進路徑，進行進氣歧管管壁油污之清洗。實際上，化學藥劑霧化後導入進氣歧管，只有其中一小段部份接觸到管壁，清洗時間結束後，拆解進氣歧管或觀察進/排氣門，效果相當有限，只能維持一段時間，如圖3所示。



圖3 吸入式除碳裝置

三、噴射式除碳裝置

化油器引擎：引擎達到工作溫度、靜止狀態將化學藥劑噴入約一半劑量於化油器，浸泡約5分鐘並使用高壓氣體噴除殘留於化油器裡的化學藥劑，然後啟動引擎，引擎轉速拉高於1500~2000RPM將另一半化學藥劑噴入運轉中的化油器及進氣歧管內部做清洗動作，讓引擎運轉約10分鐘，即完成清洗動作。

噴射系統引擎：引擎轉速1500~2000RPM，經由負壓端真空管導入進氣歧管、節氣門、引擎燃燒室等等進行清除動作。引擎運轉數分鐘後檢查怠速及CO、HC、NO_x之濃度值，如圖4所示。



圖4 噴射式除碳裝置

四、泡沫式除碳裝置（全功能式除碳裝置）

專業保修工廠的引擎技師會拆下全部的火星塞，進行泡沫化學藥劑一次導入引擎燃燒室內部進行清除積碳（時間約10~15分鐘），用高壓氣體噴出已變成有毒廢水的化學藥劑，裝上火星塞，發動引擎再使用化油器清潔劑噴入節氣門清潔節氣門及進氣歧管中之表面積碳，如圖5所示。



圖5 泡沫式除碳裝置（全功能式除碳裝置）

參、實驗材料及設備

一、實驗材料成份及特性

氫氧化鈉（NaOH，俗稱燒鹼、火鹼、苛性鈉，因另一名稱caustic soda而在香港稱為哥士的）常溫下是一種白色晶體，具有強腐蝕性，如表6所示。易溶於水，其水溶液呈強鹼性，能使酚酞變紅，使石蕊溶液變藍。2004年全球產量約為6000萬公噸，而需求量是5100萬公噸。

純氫氧化鈉是白色固體可用顆粒並具有吸濕性，因此它應存放在一個密封的容器中。氫氧化鈉溶於乙醇和甲醇。熔融氫氧化鈉需要很高的溫度。氫氧化鈉溶液會在布料和紙張留下黃色污漬。

氫氧化鈉是一種極常用的鹼，是化學實驗室的必備藥品之一。它的溶液可以用作洗滌液，外型如圖6所示。

表6

氫氧化鈉之特性表

性質	
化學式	NaOH
摩爾質量	39.9971 g·mol ⁻¹
精確質量	39.992509329 g mol ⁻¹
外觀	白色固體
密度	2.1 g/cm ³
熔點	318 °C (591 K)
沸點	1388 °C (1663 K)
溶解度（水）	1110 g dm ⁻³ (20 °C)
溶解度（甲醇）	238 g dm ⁻³
溶解度（乙醇）	<<139 g dm ⁻³
蒸氣壓	<2.4 kPa (20 °C)
pK _b	-2.43
折光度 <i>n_D</i>	1.412



圖6 氫氧化鈉

二、廢氣分析儀

本研究使用廢氣分析儀，如圖7所示。測量引擎排放有毒廢氣濃度，測量內容包括：CO、HC、CO₂，規格及測量範圍如表7所示。

表7

廢氣分析儀之規格表

型號	ZKE-23311
可測量成份	CO、HC、CO ₂
測量原理	CO、CO ₂ 、HC→非分散性紅外線方式
測量範圍	CO→0.00~10.00 體積百分比
	HC→0~10000 ppm 或 14000 ppm
	CO ₂ →0.00~25.00 體積百分比
重複性	CO→±0.06 體積百分比或±4%，顯示數值較大者
	HC→±12 ppm 或 4%，顯示數值較大者
	CO ₂ →0.5 體積百分比或 4%，顯示數值較大者
反應時間	90%反應時間不超過 10 秒 (CO、HC、CO ₂)
取樣流量	3.5~5.5 SLPM



圖7 廢氣分析儀

三、MMA168 變頻電焊機

本研究使用MMA168 變頻電焊機，如圖8所示。控制輸入氫氧電解槽的電解電流，主要影響氣體流量的多寡，其規格及電流調整範圍如表8所示。

MMA168 變頻電焊機之規格表

輸入電壓(V)	單相 220V
輸出電流調節範圍(A)	20--155A
額定輸出電壓(V)	25.4V
空載電壓(V)	56V
防電擊裝置(V)	有
負載持續率(%)	85%
效率(%)	85%
重量(kg)	3.6 kg
空載耗損(W)	40W
外形尺寸(mm)	270*112*185mm



圖8 MMA168 變頻電焊機

四、電源供應器

本研究使用電源供應器，如圖9所示，測量輸入電流及電壓的高低決定加裝電解片之多寡，規格如表9所示。

表9

電源供應器之規格表

輸入電壓	AC110V-220V
輸出頻率	47-63 Hz 單相
輸出電壓	9V-15V
輸出電流	25A MAX
過電壓設定值	16.5V
過電流設定值	27.5A
轉換效率	75%
散熱方式	風扇強制散熱
尺寸	高 118×寬 226×長 193mm
重量	2.4 kg



圖9 電源供應器

五、紅外線溫度儀

本研究使用紅外線溫度儀，如圖10所示。測量氫氧電解槽、氣體冷卻器及系統線路溫度是否過高，規格如下。

- ✚ 可選擇 $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$ 單位。
- ✚ $0.1^{\circ}\text{C} / 0.2^{\circ}\text{F}$ 解析度。
- ✚ $-35^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ ($-31^{\circ}\text{F} \sim 932^{\circ}\text{F}$)。
- ✚ 背光顯示 / 雷射指示測量位置。

- ✚ 最大值、最小值功能。
- ✚ 資料記錄儲存及讀取功能。
- ✚ 雙溫度計及雙顯示(1327K)。
- ✚ 超過高低警戒點蜂鳴器響聲警示 (1327/1327K)。
- ✚ 發射率可調整 (1327/1327K)。



圖10 紅外線溫度儀

六、氣體流量錶

利用氣體流量錶，如圖11所示。測量氫氧電解槽輸出氫氧混合氣體流量之多寡，規格如10所示。

表10

氣體流量錶之規格表

品名	氣體流量錶
流量	140 m ³ /h
適用氣體	氫氣、氧氣、氮氣、空氣、氫氣



圖11 氣體流量錶

七、內視鏡

利用內視鏡，如圖12所示，檢視引擎燃燒室內部積碳之情況，規格如11所示。

表11

內視鏡之規格表

軸 徑	5.5 mm
軸 長	100 cm (另可選購 2m/3m/5m/10m 軸長機型)
感應晶片	1/18 吋 CMOS
畫 素 數	30 萬
視 野	60 度
照 明	可調光高亮度白光 LED 四顆
焦距範圍	2~7 cm
本 體 長	18 cm
螢 幕	2.5 吋 TFT 液晶螢幕
影像輸出	AV-RCA 一組
電 源	內建充電式鋰電池
攜 行 箱	塑膠防震攜行箱



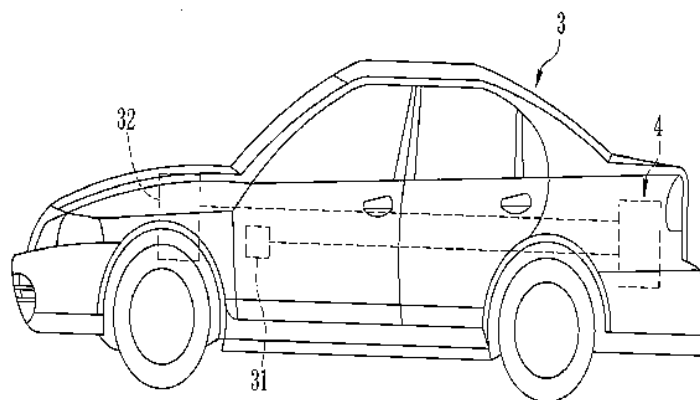
圖12 內視鏡

肆、實驗方法

關於本系統之前述及其他技術內容、特點與功效，配合以下參考圖式之三個較佳實施例的詳細說明中，將可清楚的呈現。本新型在被詳細描述之前，要注意的是，以下說明的內容

中，類似的元件是以相同的編號來表示。

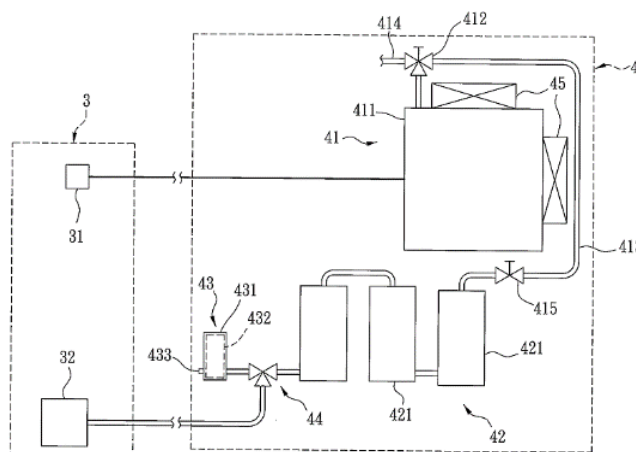
參閱圖13所示，氫氧混合供應系統之第一較佳實施例，用以設置於工具上，該工具包括電源供應器及引擎，於本實施例中，是以汽車為例說明，實際使用時也可以是設置於機車、船舶，或是除草機等具有引擎之工具上，不以此為限。



3 工具 31 電源供應器 32 引擎 4 氫氧混合供應系統

圖13 氫氧混合供應系統之第一較佳實施圖

參閱圖14所示，氫氧混合供應系統包含電連接於該電源供應器的氫氧產生單元、連通於該氫氧產生單元的水氣過濾器/氣體冷卻器、與外界連通的真空壓力調節器、連通於該水氣過濾器/氣體冷卻器及真空壓力調節器並能將氫氧氣送入該引擎的出氣單元，及多數電連接於該電源供應器並設置於該氫氧產生單元周圍的風扇，於圖14中是以兩個風扇為例，但不以此為限。



3 工具 31 電源供應器 32 引擎 4 氫氧混合供應系統
41 氫氧產生單元 411 氫氧電解槽 412 三通閥
413 輸氣管 414 排氣管 415 控制閥
42 水氣過濾器/氣體冷卻器 421 過濾件
43 真空壓力調節器 431 殼體 432 濾棉 433 開口
44 出氣單元 45 風扇

圖14 氫氧混合供應系統之第二較佳實施圖

該氫氧產生單元包括盛裝有電解液且能產生氫氧氣的氫氧電解槽、連通於該氫氧電解槽的三通閥、連通於該三通閥與水氣過濾器/氣體冷卻器之間的輸氣管，及連通於該三通閥與外界的排氣管，該三通閥能控制氫氧氣是流向該輸氣管或排氣管，所述風扇是設置於該電解槽周圍。

該水氣過濾器/氣體冷卻器包括多個串接在一起且盛裝有活性碳的過濾件，而該真空壓力調整器包括中空狀殼體，及設置於該殼體內的濾棉，該殼體上開設有連通於外界的開口。

該氫氧電解槽通電會產生高溫的氫氧氣，同時高溫也會使得電解液蒸發產生水氣，並透過該引擎運轉時產生的負壓，使氫氧氣及水氣經由該三通閥及輸氣管進入該水氣過濾器/氣體冷卻器，藉由所述過濾件內的活性碳將水氣吸附後，氫氧氣再經由該出氣單元進入該引擎內。

由於該出氣單元是連通該水氣過濾器/氣體冷卻器及真空壓力調節器，因此當該引擎運轉產生負壓時，同時會使得外界空氣經由該真空壓力調節器之殼體上的開口進入，並經過該殼

體內的濾棉過濾，讓過濾後的空氣與氫氧氣混合再進入該引擎中，藉此讓空氣扮演調節壓力的角色，避免該引擎產生的負壓過大時，造成該氫氧電解槽內的電解液被吸入該引擎中，或者是造成該氫氧電解槽被引擎所產生的強大負壓吸力吸引而壓縮變形。

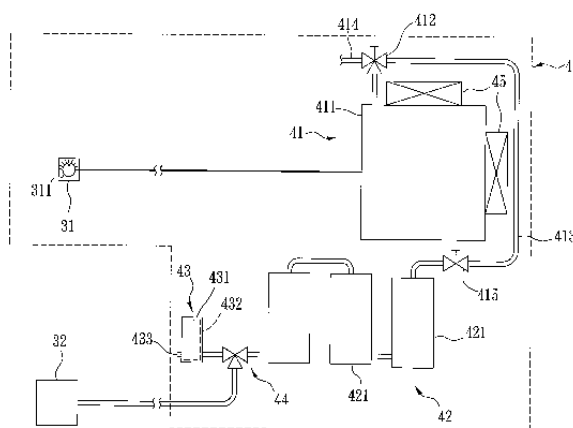
另外要說明的是，該氫氧電解槽在進行清碳動作前會先進行暖機的動作，當該氫氧電解槽在暖機時，可以藉由控制該三通閥，使該氫氧電解槽一開始產生之氫氧氣由該排氣管排出，待該氫氧電解槽較穩定地產生氫氧氣後，再控制該三通閥使氫氧氣能由該輸氣管進入該引擎而正式進行清碳動作。

為了確保在該氫氧電解槽在暖機時氫氧氣不會進入該引擎，該氫氧氣產生單元還可以包括設置於該輸氣管上的控制閥，當該氫氧電解槽於暖機狀態時，該控制閥同樣處於關閉的狀態，讓氫氧氣無法進入該水氣過濾器/氣體冷卻器，藉由該控制閥與三通閥形成兩道關卡，防止氫氧氣進入該引擎。當然該三通閥與控制閥也可以只擇一設置，同樣能達到前述防止氫氧氣進入該引擎的功效，前述兩道關卡的設置是能提供更佳的防止效果。由於該三通閥的結構為所屬技術領域中具有通常知識者所能理解，不另外繪示其內部結構，也不予以贅述。

當該氫氧電解槽電解產生之高溫的氫氧氣進入該引擎後，因為溫度降低而有部分凝結成水氣，能濕潤該引擎內的積碳，同時也能以氫氧氣本身的氣壓來刮除濕潤軟化後的積碳，以完成清除積碳的作業，而因為清碳的過程中該引擎仍處於發動運轉的狀態，所以含有積碳的廢氣及液體便會直接從排氣管排除。另外，由於該氫氧電解槽在運作的過程中會產生高溫，所述風扇設置於該電解槽的周圍，能幫助該氫氧電解槽散熱。

藉由上述設計，本新型氫氧混合供應系統透過該水氣過濾器/氣體冷卻器來將氫氧氣內夾帶的水氣吸附濾除，避免過多水氣進入該引擎內造成引擎縮缸或減短壽命，同時透過該真空壓力調節器平衡進入該引擎內的氣體壓力，避免過大的負壓損壞該電解槽。再者，不使用任何的化學藥劑，不會有腐蝕該引擎內壁的問題，也不會對環境造成污染。

參閱圖15所示，氫氧混合供應系統之第三較佳實施例，大致類似前述該第二較佳實施例，不同之處在於：於本實施例中，該氫氧混合供應系統是包含有該電源供應器，藉此使該電源供應器、氫氧氣產生單元、水氣過濾器/氣體冷卻器、真空壓力調節器、出氣單元，及風扇形成模組化的設計，能讓使用者便於攜帶、使用。



- 31 電源供應器 311 調整電流旋鈕 32 引擎
4 氫氧混合供應系統 41 氫氧產生單元 411 氫氧電解槽
412 三通閥 413 輸氣管 414 排氣管 415 控制閥
42 水氣過濾器/氣體冷卻器 421 過濾件
43 真空壓力調節器 431 殼體 432 濾棉 433 開口
44 出氣單元 45 風扇

圖15 氫氧混合供應系統之第三較佳實施圖

要特別說明的是，於本實施例中，該電源供應器具有用以供使用者調整輸出電流大小的調整件，當輸出的電流越大，電解的速度越快，該電解槽產生氫氧氣的量也越多，而能提高清除該引擎內積碳的速率，至於其他操作方式與該第一較佳實施例相同，不再予以贅述。

綜上所述，氫氧混合供應系統，藉由該水氣過濾器/氣體冷卻器的設置，可以大幅減少進入引擎內的水氣量，在進行引擎清碳作用時，不會因水氣進入而影響該引擎的使用壽命，並透過該真空壓力調節器平衡進入該引擎內的氣體壓力，避免過大的負壓損壞該電解槽，故確實能達成本新型之目的。

伍、實驗結果與討論

一、氫氧混合氣體輸出流量結果分析

對於氫氧混合氣體產生的流量多寡與引擎排放有毒廢氣及火星塞表面積碳有何影響？

如圖16所示，隨著電流的強度增加，氫氧混合氣體流量有明顯上升，氫氧混合氣體所增

加的流量平均為5~8 M³/h之間。測量的電源最上限為50安培 (A)，超出電流上限會造成氫氧電解槽及線路溫度過高損壞。

電流保持20~30安培 (A) 之間電解產出的氫氧混合氣體最為穩定及電解液水位平均消耗2小時才會到達最低水位。由此證明，穩定輸出氫氧混合氣體流量導入引擎燃燒室與化石燃料混合燃燒有可效改善排放有毒廢氣濃度及清除火星塞表面積碳。黃子儼等人研究指出，電解電流產出的氫氧混合氣體流量是導入燃料電池作為燃料的主要關鍵流程。

正、負極電解片溫度與氫氧混合氣體流量是相關聯的，如圖17所示。

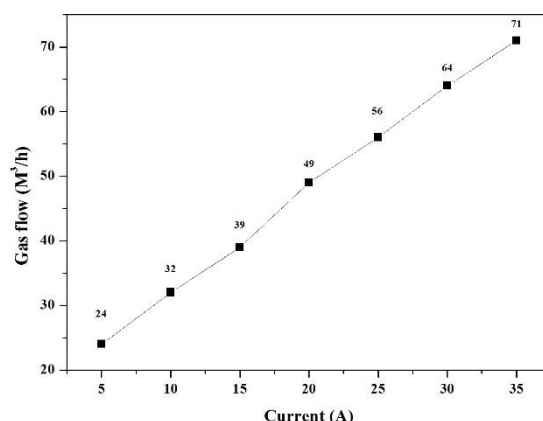


圖16 電流與氣體流量之關係曲線圖

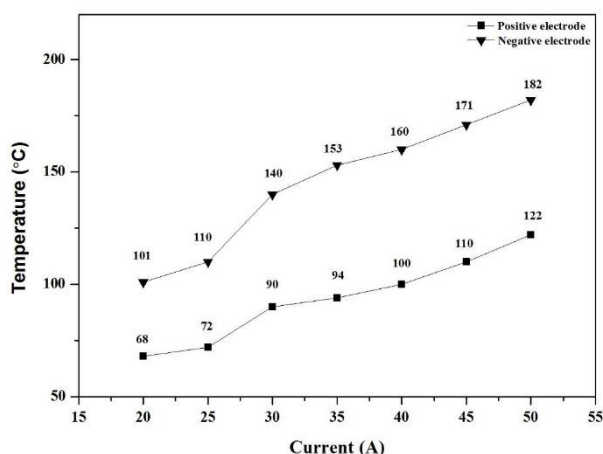


圖17 電流與正、負極電解片溫度之關係曲線圖

二、火星塞表面與燃燒室積碳清除結果分析

火星塞表面積碳未導入氫氧混合氣體之情況，由圖中可得知火星塞因長期燃燒化石燃料造成表面有明顯無法燃燒的焦碳附著在火星塞表面，氫氧混合氣體導入引擎燃燒室與化石燃料混合燃燒後，火星塞表面附著焦炭有明顯改善，如圖18、19所示。

氫氧混合氣體未測量前引擎燃燒室周圍有明顯積碳，經過40分鐘導入氫氧混合氣體混合化石燃料燃燒後，引擎燃燒室表面積碳明顯的清除乾淨。據過去相關研究指出，使用特殊火星塞增加點火效能，改善燃燒室周圍積碳的形成，如圖20所示（陳信菖，2012；Ohzeki & Yamaguchi, 1983；Raju, 1992）。



火星塞周圍未使用前表面都不滿積碳，使用後表面積碳已清除。

圖18 火星塞表面積碳之實體圖

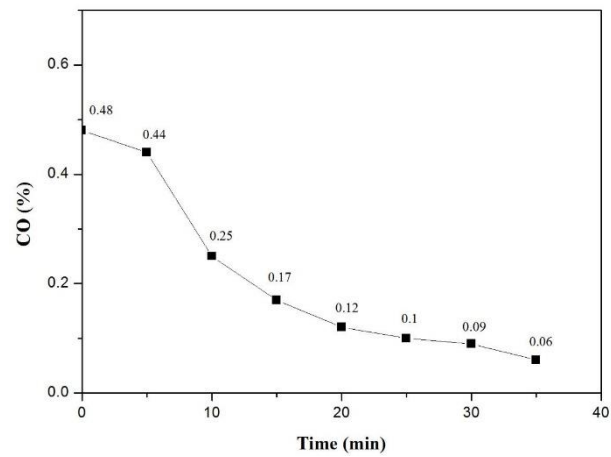


引擎室活塞表面在未使用前表面佈滿厚重積碳，氫氧氣體使用後活塞表面積碳明顯去除。

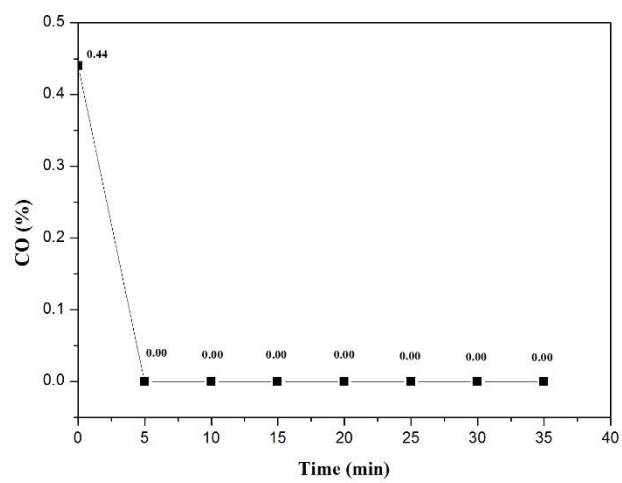
圖19 引擎燃燒室表面積碳之實體圖

三、CO之分析

如圖20所示，未導入氫氧混合氣體的CO原始數值明顯偏高，導入氫氧混合氣體35分鐘測量數值0.06%，由此證明，長時間導入氫氧混合氣體可有效降低CO之濃度。相較之下，長期使用氫氧混合氣體CO降低到0%。



TOYOTA-CORONA

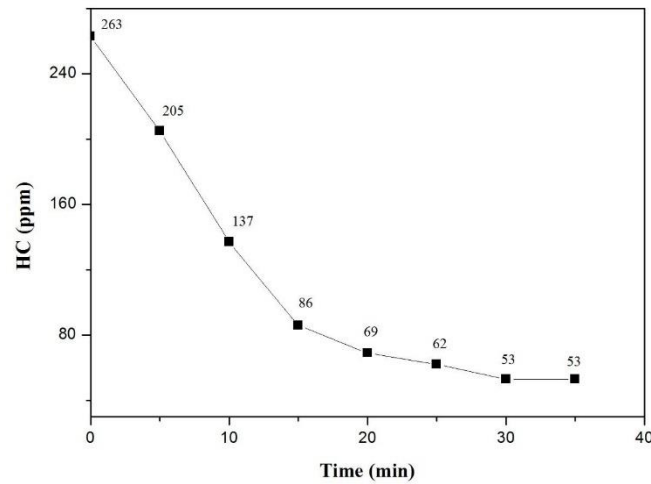


FORD-ESCAPE

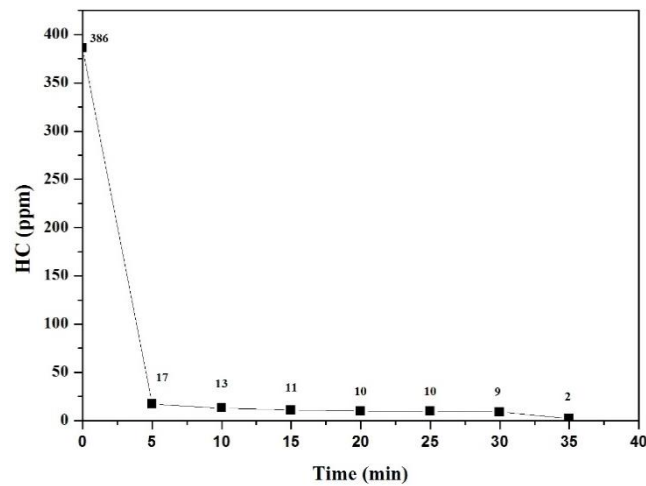
圖20 CO濃度與時間之關係圖

四、HC之分析

如圖21所示，未使用未導入氫氧混合氣體的HC原始數值263 ppm，經過30分鐘HC濃度明顯降低，測量結束濃度為53 ppm，HC濃度降低210 ppm。相較之下，長期使用氫氧混合氣體HC降低到2 ppm。



TOYOTA-CORONA



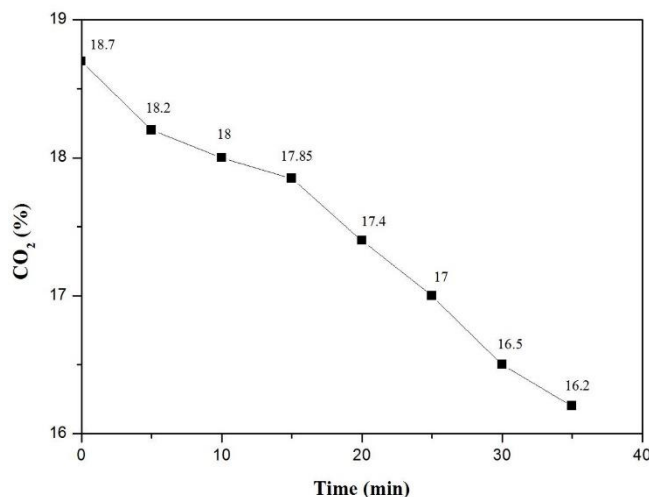
FORD-ESCAPE

圖21 HC濃度與時間之關係圖

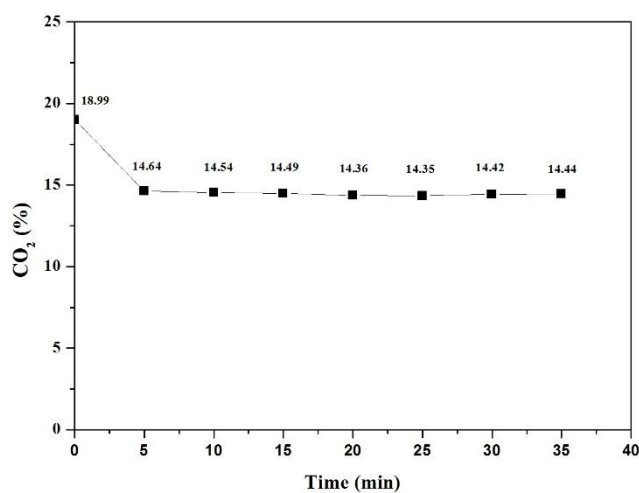
五、CO₂之分析

如圖22所示，CO₂測量前數值18.70 %，導入氫氧混合氣體經過35分鐘測量結果降低16.2 %。相較之下，長期使用氫氧混合氣體CO₂降低到14.44 %。

TOYOTA-CORONA的CO₂會偏高的原因在於它是超過十年以上的老車，之前從未使用過氫氧氣體，所以在使用前跟使用後才有這麼明顯的差異。



TOYOTA-CORONA



FORD-ESCAPE

圖22 CO₂濃度與時間之關係圖

六、引擎排放有毒廢氣濃度總結分析

對於汽車長期行駛造成排放有毒廢氣濃度增加之原因？

主因係引擎燃燒室長期使用化石燃料造成燃燒室內部嚴重積碳，空氣在進氣總管與化石燃料混合導入燃燒室在未燃燒前被燃燒室週為積碳吸附，引起混合氣燃燒不完全使排放廢氣濃度增加，導入氫氧混合氣體與化石燃料混合提高燃燒效率，降低排放廢氣濃度。短時間利用大量氫氧氣體導入引擎燃燒室，氫分子能結合引擎燃燒室內部積碳之碳分子經完全燃燒裂解過程，描述如下：

第一組實驗（如表12所示），“車載型氫氧混合供應系統（長期使用）”加裝於FORD-ESCAPE後車箱作為輔助燃料使用，參考濃度測量表可得知，氫氧混合氣體導入燃燒室與化石燃料混合燃燒排放CO、HC、NO_x等有毒廢氣濃度比率高達98%以上之改善率，排放CO₂濃度也有明顯降低（連續使用三個月之測量值）。由此證明，“車載型氫氧混合供應系統”長期使用可有效降低汽車排放有毒廢氣之濃度及直接改善都市環境被有毒廢氣污染之情況。與“固定型氫氧混合供應系統”使用差異如下：

1. “車載型氫氧混合供應系統”主要用途：輔助燃料、清除積碳、改善有毒廢氣之排放，屬於永久型系統。
2. “固定型氫氧混合供應系統”主要用途：短時間內清除引擎燃燒室內部積碳及改善降低有毒廢氣之濃度，屬於快速型系統。

表12

FORD-ESCAPE引擎廢氣排放之濃度測量表

廠牌：FORD-ESCAPE	排氣量：2.3L	年份：2004	里程數：90172	
檢驗時間（min）/項目	CO（%）	HC（ppm）	NO _x （ppm）	CO ₂ （%）
0	0.44	386	212	18.99
5	0.00	17	48	14.64
10	0.00	13	37	14.54
15	0.00	11	31	14.49
20	0.00	10	25	14.36
25	0.00	10	18	14.35
30	0.00	9	9	14.42
35	0.00	2	3	14.44
氣體降低比率（%）	100	99	98	24

氣體降低比率（%）= 原始數據－最後數據÷原始數據×100

第二組實驗（如表13所示），“固定型氫氧混合供應系統（行駛3000～4000公里清洗一次）”對TOYOTA-CORONA實施35分鐘氫氧混合氣體導入測量，氫氧混合氣體未導入前CO、HC、

CO₂明顯偏高，NO_x排放濃度維持在150~160 ppm上下，氫氣混合氣體導入引擎燃燒室混合燃燒經過35分鐘測量結果，氣體降低比率（%）：CO降低87 %、HC降低79 ppm、NO_x降低88 ppm、CO₂降低13 %，由此證明，“固定型氫氣混合供應系統”對短時間降低排放有毒廢氣是有一定成效。依據相關研究指出，生質柴油混合氫氣導入引擎燃燒室增加燃點。生質柴油是由動植物及廢油裡提煉出來，本身油質黏度過高造成壓縮點火不良，使排放有毒廢氣濃度增高。經導入氫氣提高生質柴油的燃燒效率，有效改善柴油引擎排放有毒廢氣的狀況(蕭興前，2003；賴瑞明，2003；Akasaka, Suzuki, & Sakurai, 1997；Alan & Wellington, 2012)。

表13

TOYOTA-CORONA引擎廢氣排放之濃度測量表

廠牌：TOYOTA-CORONA	排氣量：1.6	年份：1992	里程數：58580	
檢驗時間（min）/項目	CO（%）	HC（ppm）	NO _x （ppm）	CO ₂ （%）
0	0.48	263	154	18.70
5	0.44	205	145	18.20
10	0.25	137	120	18.00
15	0.17	86	90	17.85
20	0.12	69	63	17.40
25	0.10	62	32	17.00
30	0.09	53	20	16.50
35	0.06	53	18	16.20
氣體降低比率（%）	87	79	88	13

氣體降低比率（%）＝原始數據－最後數據÷原始數據×100

陸、結論及建議

一、結論

氫氧混合氣體流量測量結果顯示，電流與氣體流量是有相關聯，輸入電解電流越高產生的混合氣體流量跟著增加。實驗過程氫氧電解槽溫度高達 100°C 及輸入電流線路溫度在 $100\sim 180^{\circ}\text{C}$ 之間，為確保實驗過程的安全性，輸入電流最高上限為50安培（A）。

氫氧混合氣體流量應用層面分為兩種，第一種，汽車引擎方面應用電解電流保持在20～35安培（A）之間產生的混合氣體流量足夠導入燃燒室的使用量。

氫氧混合氣體導入引擎燃燒室與化石燃料混合清除積碳的方式屬於“溫和式”，不僅對環境友善對引擎燃燒室金屬表面及人體不會造成永久性的傷害。氫氧混合氣體清除積碳有一個小缺點，對新形成的積碳可以快速清除，遇到累積一段時間的積碳需要清除數次方有效果。

根據世界衛生組織旗下的國際癌症研究署（IARC）在2012年6月12日宣布，汽、柴油引擎燃燒化石燃料排放的有毒廢氣及懸浮粒子是直接造成人類得到肺癌及膀胱癌的最主要原因之一。

氫氧混合氣體導入與化石燃料混合燃燒提高燃燒效率改善排放有毒廢氣濃度。

二、建議

“氫氧混合供應系統”現階段著重於車輛排放有毒廢氣及火星塞表面積碳重量，未來朝氫氧氣導入引擎燃燒室，測試其馬力及扭力提高之數值，與未使用“氫氧混合供應系統”的車輛引擎原始馬力及扭力數值，兩者間做比較；找出最佳氫氧氣輸入之需求量，為未來車輛引擎尋找不需使用渦輪增壓器及氮氣，亦能提高馬力及扭力之乾淨能源。

參考文獻

- 余永盛 (2008)。溫度與二氧化碳對一氧化碳煙毒效應之影響研究 (未出版之碩士論文)。國立高雄第一科技大學，高雄市。
- 陳信菖 (2012)。點火正時、火星塞及進氣位置對轉子引擎燃燒性能之數值分析 (未出版之碩士論文)。逢甲大學，台中市。
- 蕭興前 (2003)。直噴式柴油引擎燃料噴射壓力對生質柴油混和燃料影響之研究-生質柴油+煤油+高級柴油 (未出版之碩士論文)。國立台北科技大學，台北市。
- 賴瑞明 (2003)。直噴式柴油引擎燃料噴射壓力對生質柴油混和燃料影響之研究-生質柴油+煤油 (未出版之碩士論文)。國立台北科技大學，台北市。
- Akasaka Y., Suzuki, T., & Sakurai, Y. (1997). *Exhaust emissions of a DI Diesel engine fueled with blends of blends of biodiesel and low sulfur Diesel fuel*. SAE Paper 972998.
- Asmus, A. F., & Wellington, B. F. (2012). *Diesel engine and fuel systems*. Melbourne: Longman Australia.
- Ohzeki, H., & Yamaguchi, T. (1983). Present and future of rotary engine technology. *International Journal of Vehicle Design*, 4(6), 571-586.
- Raju, M. S. (1992). *Heat transfer and performance characteristics of a Dual-Ignition Wankel Engine*. SAE paper No.920303.