

Creative Engineering Design of Automotive Brake in Rainy Days Using TRIZ

Yung-Jun Weng* and Chong-You Chen

Department of Mechanical and Energy Engineering, National Chiayi University, Taiwan

*Corresponding author, E-mail: yjweng@mail.ncyu.edu.tw

(Received 10 July 2020; final version received 26 Feb 2021)

Abstract

This study resolves the brake problems of general automobiles in rainy days by using Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ). In the process of the study, we first explored the use of commercially available motorcycles. Through the observation, it is found that the brake of automobiles generally consists of two braking systems. Also, the three most common compositions are double drum brake, front-disc and rear-drum brake, and double disc brake. The targeted brake in this paper is the new type of disc braking system. Rainy days easily cause automotive brake failure and thus skidding. This paper carried out function analysis of the safety of the automotive braking system, and meanwhile used 39 Engineering Parameters and 40 Invention Principles and 76 Standard Solutions for a series of discussions. Eventually, such design as modifying discs was used to stabilize and enhance the braking capacity to ensure the automotive safety under different circumstances and increase the stability in running.

Keywords: TRIZ, Automobiles, Braking system, Creative engineering design

利用 TRIZ 發明性問題解決理論進行雨天機車煞車之創意性工程設計

作者：翁永進^{1,*}、陳重佑²

¹ 國立嘉義大學機械與能源工程學系副教授

² 國立嘉義大學機械與能源工程學系專題生

*通訊作者 E-mail: yjweng@mail.ncyu.edu.tw

摘要

本研究利用發明性問題解決理論(Theory of Inventive Problem Solving)之工具，來解決一般機車在雨天之煞車問題。探討過程中首先查察市售摩托車之使用方式與操作習慣，經觀察後發現機車在剎車作之設計部分，一般是由二種煞車系統所構成，同時其組成方式有雙鼓煞、前碟後鼓煞及雙碟煞等三種，最常被實際使用。本文主要致力於較新型的碟煞系統為研究重點，並針對雨天容易使機車煞車失靈造成打滑的因素和解決方法進行創新設計，同時輔以探究煞車系統，進行元件分析(Function analysis)以強化其安全性，以及使用 39 工程參數與 40 發明原則、76 種標準解等 TRIZ 部分工具，進行系統性的創新設計探討。探究結果顯示，採用修改碟片特性功能等之創新設計，將有助於作為穩定與提升制動能力，並可以確保在不同環境(雨天)情況下，完善行車的安全性。

關鍵詞：系統性創新、機車、煞車系統、創意性工程設計、發明性問題解決理論(TRIZ)

發明性問題解決理論簡介

當工業進入 20 世紀後，隨著人類文明的進步，人們一再改良與創新出更新穎的科技，以提昇人類生活的品質，使生活更為舒適且便利的新發明、新科技呈現指數的向上成長，但並非每樣創意在被構思時都是有明確用途的。前蘇聯發明家 G. Altshuller (1926-1998)，經由整理幾十萬件的發明專利並歸納研發出對於問題的解決方法及工具，提出以準解最為解答各領域的問題，當將來各領域發生相似的問題時，其解決的方法也應該類似而有跡可循(Altshuller, G., Al'tov, G., & Altov, H, 1996)。只要好好歸納這些問題及解決辦法，做好分類，即可按圖索驥，套公式解決問題，便大功告成了。參考相關創意性工程設計相關論文著作(Altshuller, G., Al'tov, G., & Altov, H, 1996；宋明弘, 2012；許棟樑等人, 2016；翁永進, 2016)，可以發現 TRIZ 是個有效作為問題解決之工具，並用來幫助思考，例如：工業產品與產量改良進化以及產品開發組合用上的創新設計(Lan, W. C., & Sheu, D. D, 2015；Liu, T. L., & Chen, J. W, 2017)，可以經由 TRIZ 提出多種產品創新組合新方案；協同產品設計過程中的衝突方案與技術專利佈署上的相關研究(Liu, T. L, 2012；Liu, T.

L., & Kuo, S. T, 2011)，TRIZ 工具也相當有助益；此外，對於商業產品有時亦得重新給予新設計(Sheu, D. D., & Hou, C. T, 2011；Sheu, D. D., & Hou, C. T, 2015；Sheu, D. D., & Tsai, M. H, 2015)，以及考慮使用者行為的感知應設等功能，TRIZ 亦發揮得相當完善；另外，簡約設計上 TIRZ 亦扮演重要角色，可優化產品並在低成本高價值上發揮其重要功能，例如應用在電動汽車上的馬達冷卻系統等在 TRIZ 操作後，有效減少零件，並達到更優異的冷卻效率(Sheu, D. D., & Ho, C. L, 2016；Sheu, D, 2015；Weng, Y, 2018；)。將 TRIZ 比喻為一台汽車時，發明家就是駕駛者，而汽車所行使的方向、速度就要仰賴每個人不同的專業知識及經驗了。所以最終還是要靠人來完成工作，這套理論只是幫助你更快找到解答的方法，以下本研究之創意性工程設計一詞，主是因為使用 TRIZ 方法進行工程設計與改良使得工程設計創新而稱之。

2. 下雨天機摩托車之煞車安全性問題與現況分析

本研究為針對雨天對於市售摩托車之煞車系統安全性影響設計探討。以普通重型摩托車而言，經觀察發現機車由二種煞車系統構成，組成方式有雙鼓煞、前碟後鼓煞及雙碟煞等，本文鎖定之煞車為較新型的碟煞系統。報導指出雨天容易使機車煞車失靈，造成打滑車禍等憾事發生，而在這之中，人為因素也佔了極大之比例，許多駕駛在騎乘機車時忽略了雨天會使煞車系統制動力明顯降低而判斷失準，以致煞車不及。本研究利用 TRIZ 不同創意方法，進行煞車設計以提供人們更安全的騎乘工具。

關於剎車相關制動力研究中(林金財, 2001; 王鵬竣, 2014)，總結煞車問題，大致推導出造成問題之相關可能原因如下：駕駛者在一般天氣及路況下騎乘時，已習慣原本之煞車強度及煞車距離，於雨天行駛時，在煞車系統都被沾濕的情況下，煞車強度大幅降低，煞車距離被大幅拉長，但騎乘者仍預期原本之煞車距離，造成急扣、急煞等不當操作，導致車輛打滑等意外發生。在此，本文將針對煞車系統在不同環境但同一煞車模式下，以發明問題解決理論工具進行安全性創意工程設計，最後再進行整合分析。

3. 雨天機車煞車安全性問題與現況分析

3.1 元件分析(Function analysis)設計探討

本部分首先針對摩托車在晴天與雨天剎車進行初步子系統(Sub-system)、系統(System)與超系統(Super system)分類其危險問題產生的情況之相關性。本文以圖 1 簡易示意圖作為表現。本研究將圖中元件分類為系統:機車;子系統:輪胎、碟盤、卡鉗;超系統:障礙物、雨水，如圖 2 所示。

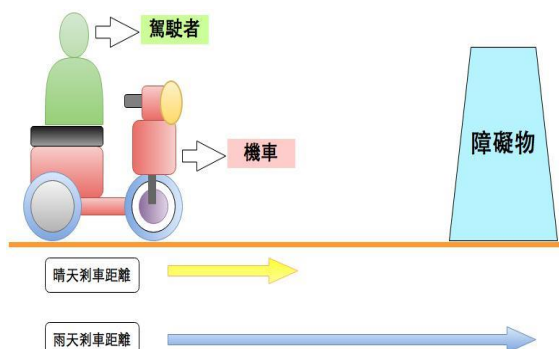


圖 1. 天氣影響煞車距離長度問題之簡易示意圖(註：黃色箭頭與藍色箭頭之長度差距為駕駛者會撞到障礙物的危險範圍)

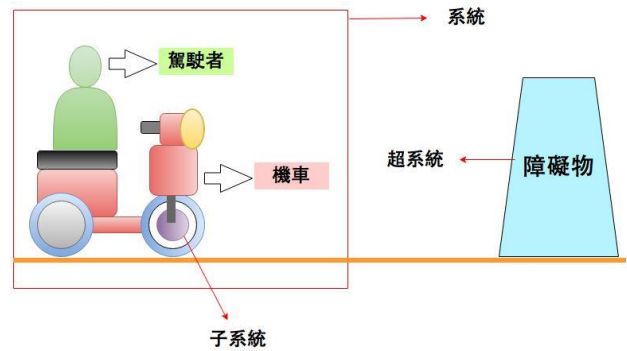


圖 2. 騎士扣煞車時的情況之系統、子系統與超系統分類

本文將系統各元件(子系統)有相關性的部分進行探討，如表 1 所示。其中，將其有相互作用(Internation relation)關係的以正號(+)表示；沒有相互作用關係(No-internation relation)的以負號(-)表示，若會造成害處(Harmful relation)的則以(H)表示。

表 1 系統各元件作用情況分析(元件分析)

FA	輪胎	碟盤	卡鉗	雨水
輪胎		+	-	H
碟盤	+		+	H
卡鉗	-	+		+
雨水	H	H	+	

圖 3. 為探討之碟煞之煞車元件示意圖，其煞車力道 = 夾持力 x 力臂 (碟盤尺吋)，而夾持力來自煞車卡鉗(來令片)與碟盤之間的摩擦力。

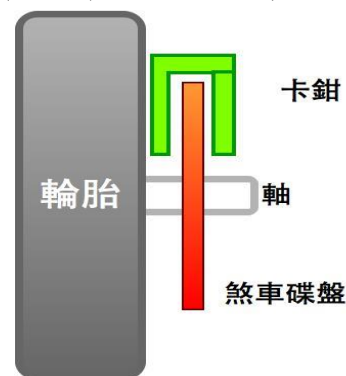


圖 3. 機車煞車元件之分布圖，碟煞在煞車時，卡鉗夾住煞車碟片造成摩擦力

圖 4. 為探討個別元件之不足作用、有效作用及有害作用等之圖示分析。我們可以歸納出幾個煞車問題因素：當駕駛者看到前方出現障礙物時，會依照原有之駕駛習慣以相同之力道扣下煞車，代表卡

鉗夾持碟盤的力道是不變的，本文在不考慮輪胎與地面磨擦力的情況下，當碟盤沾到水時會讓表面之摩擦係數大幅下降，進而影響整個煞車系統的制動力。換言之，車輪在轉動時突然要求煞車，其剎車對車輪的摩擦力就是所謂的制動力，這種力一般是利用摩擦力將運動的機構快速停住。

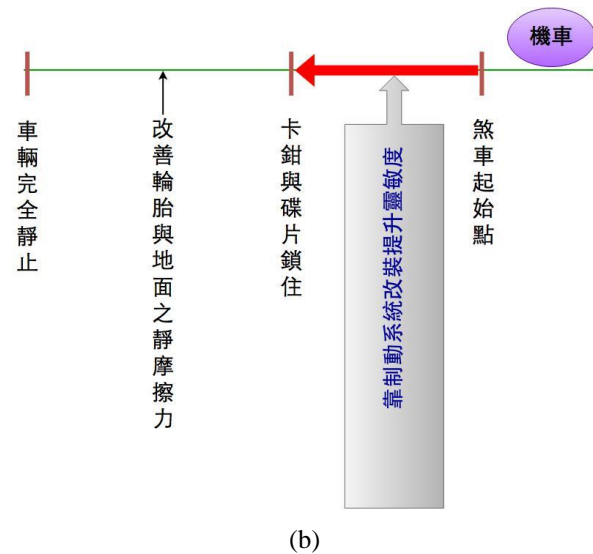
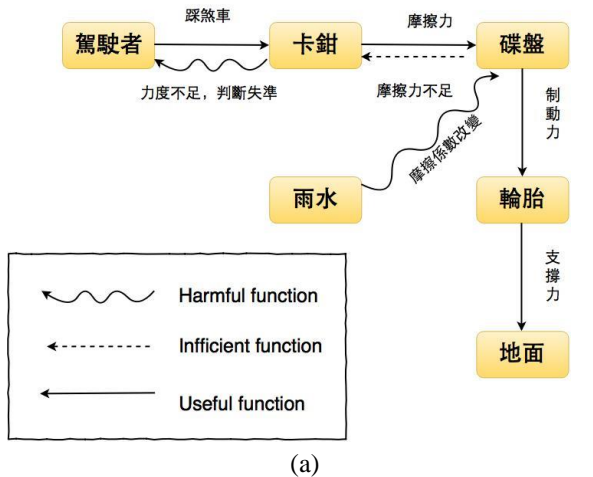


圖 4 剎車(a)圖示分析(b)制動力動作流程圖

另外，當駕駛發現機車煞車靈敏度不如預期時，會因緊張而有重扣煞車等不當操作，造成輪胎打滑等危險情況發生。因此，本文以輪胎不做任何設計改變之情況下，僅以改善制動力為出發點做相關之簡約設計(Trimming)。

3.2 利用 39 工程參數和 40 發明原則對改善制動系統進行探討

本部分主要以使用 39 工程參數與 40 發明原則進行煞車系統在雨天時的制動能力，該方法經常使

用於工程方面，在面對不知如何解決的問題時，先試著用最直觀之解決方法處理，然而最直觀的方式必然會產生新問題發生，當我們將其目標、解決方式、產生之新問題一一列出(表 2)，使用矛盾矩陣(Conteradiction Matrix)並經常依據其所給予其產生原則成為新創意之方向。

表 2. 歸納出目標、方法、新問題

目標	增加雨天煞車效率
方法	使用塑膠外殼包覆，不讓雨水沾濕煞車碟片。
新問題	碟片無法散熱。

經由初步考量後，由於煞車系統經過專業設計，因此改良機車之制動能力以易拆裝原件為優先設計之重點依據，將著重於改善不同天氣行駛機車時，制動能力差距的幅度可以降到最低，而非單純的增加制動能力。以此構想，研究者判斷當去除雨水這項因素時，基本制動能力就不會有任何差距了，所以初始概念是用塑膠外殼包覆住整個煞車碟片和卡鉗(圖 5)，如此就可解決先前問題，但煞車系統在運作時，因摩擦會產生高溫，用塑膠外殼將其包覆住，會使其溫度過高無法散熱造成來令片、碟盤熱衰竭，煞車效率下降，系統壽命減低等新問題。

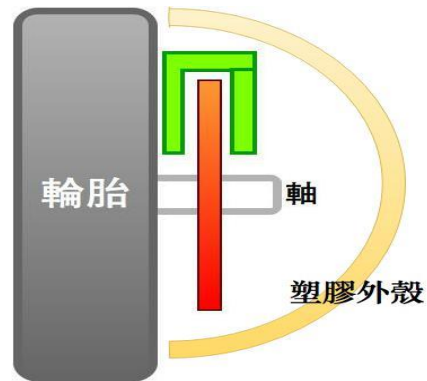


圖 5. 使用塑膠外殼包覆煞車

因此，本研究進行可能的發明原則判斷，設定欲改善參數設定如下：物體外在有害因素(30)、裝置的形狀(12)；惡化參數設定為：裝置溫度(17)、機構工作效率(21)進行矛盾矩陣查羅列並應用，如表 3 所示。

表 3. 矛盾矩陣表

惡化 改善	21.機構工作效率	17.裝置溫度
30.物體外在有害因素	19,22,31,2	22, 33, 35, 2
	19.週期性的動作 - Periodic Action 22.將有害變成有益 - Convert Harm into Benefit; Blessing in Disguise, Turn Lemons into Lemonade 31.多孔性材料 - Porous materials 2.分割-Taking out	22.將有害變成有益 - Convert Harm into Benefit; Blessing in Disguise, Turn Lemons into Lemonade 33.均質性 - Homogeneity 35. 參數改變/屬性轉換-Parameter Changes; Transformation of Properties, Transformation of Physical state of an Object 2.分割- Taking out
12.裝置的形狀	4,6,2	22,14,19,32
	4.不對稱性 - Asymmetry 6.通用性- Universality 2.分割- Taking out	22.將有害變成有益 - Convert Harm into Benefit; Blessing in Disguise, Turn Lemons into Lemonade 14.球形化- Spheroidality-Cushioning 19.週期性的動作- Periodic Action 32.改變顏色- Color Changes

經由矛盾矩陣後，可進行改良之發明原則有最高重複性及可使用性的方法可縮減為兩樣：22.有害變有益、2.分割。經由力學及設計探討下，當碟盤在工作時，其摩擦力產生之工作溫度平均為百度上下而摩托車下坡路段連續煞車持續4~5分鐘，碟盤溫度可飆高破二百多度以上高溫，故保持空氣流通及散熱這一環為煞車系統中舉足輕重的關鍵，而矩陣所提供之原則也給予部分改良靈感。

原則2：分割：從一物體中提煉、移除、分離出不想要(有害)的部分或屬性。雨水所改變摩擦係數是本文所致力要移除的一項負面因素，故得知，設計構想朝向排水性能發展。

原則22：將有害因子變有益：轉變有害的物體或作用以獲得正面的效果。雖然雨水會增加卡鉗夾持碟盤產生阻力之不確定性，但水與空氣所予的散熱降溫卻是對碟盤有好處的。

結合此二發明原則，我們可得出初步理念就是針對碟盤的排水能力進行改善，則可解決散熱和制動力不足的問題。目前做法是先將碟盤上添置數條

到數十條線的溝槽，當卡鉗在夾持時會將水滴押進溝槽中，藉此來排出水來。至於進一步討論，往後將運用新方法找尋解答。

3.3 利用質場分析(S-Field analysis)與 76 標準解(76 Standard Solutions)進行深入設計探討

此部分是利用質場分析模型來對問題進行分類，找出質場(F)、物質 1(S1)、物質 2(S2)並對他們進行分析，以找出二者之間的關係，再利用 76 標準解解決問題。經由發明原則所提供的方向之後，歸納出問題導向碟盤排水效能不彰。質場(F)為機械力—向心力，物件 1(S1)雨水，物件 2(S2)碟盤，而向心力作用在碟盤上不足以將水排開。此質場模型為圖 6.所示。

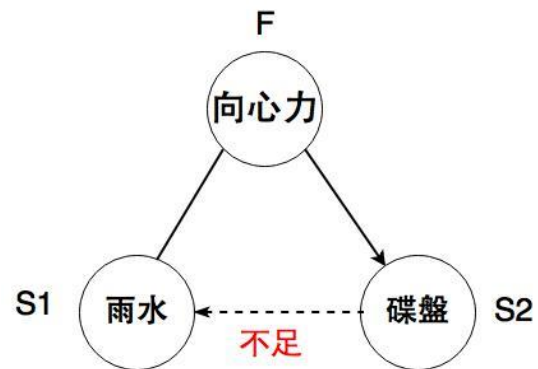


圖 6.問題模型

當水在煞車啟動時被壓入溝槽中，或在車輛行駛中在圓盤打轉，無法馬上排出碟盤外，套用的 76 標準解為第一類的 1.1.8，利用增加一個物體 S3 來針對問題進行解決，對於原先設計出的溝槽進行表面處理，讓溝槽中的摩擦力近於零(意即讓水一到溝槽上的凹縫時會因無法附著於金屬表面而噴飛或沿軌道迅速排出)如圖 7.所示。

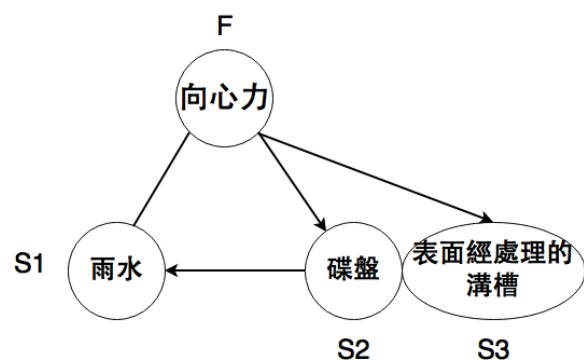


圖 7.解決模型

4. 煞車碟盤創新防沾水裝置

經過整合文章中所使用元件分析(Function analysis)設計探討、39 工程參數和 40 發明原則以及質場分析(S-Field analysis)與 76 標準解(76 Standard Solutions)進行深入設計等三個階段進行討論後，發現利用元件分析可迅速找出問題之發生因素，而矛盾矩陣可將原本基本之解決方案轉為有高可行性之創新發明，最後利用質場分析和 76 標準解修正與校訂最後的產品。藉由軸轉動帶動碟盤給予的向心力以及卡鉗的下壓力，設計出新式碟盤，能適用於市售一般普通重型機車，並不用特別改裝整組煞車系統，只需更換煞車碟片就可以使車子在雨天也可以有與晴天相同且穩定的制動力，本文概念設計之設計圖，如圖 8~圖 10 所示。

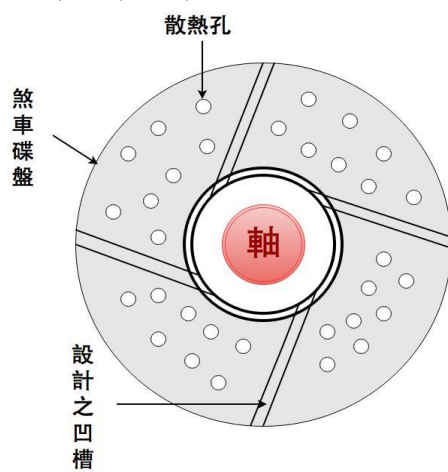


圖 8. 煞車碟盤創新防沾水裝置(俯視圖)

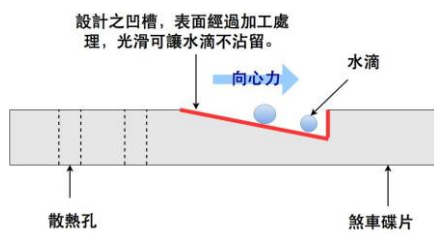


圖 9. 煞車碟盤創新防沾水裝置(側視圖)

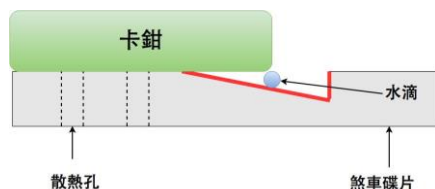


圖 10. 煞車碟盤創新防沾水裝置(除了向心力，也可利用機械力量加速排水)

5. 總結與未來展望

本文是藉由 TRIZ 為解決任務方法進行困難解決計畫任務，而本文所使用的三種常用方法為，元件分析(Function analysis)、39 工程參數和 40 發明原則、質場分析(S-Field analysis)與 76 標準解(76 Standard Solutions)。利用每種方法所提供的結果漸漸拼湊出可行性高且幾乎沒有副作用的解答，運用元件分析可以更明確地找出各零件互相作用之情形，之後使用兩種方法找出改良碟盤排水性的創意發想，此改良可望為更安全之煞車系統作一顆微小基石，也期待此項改良可真實應用於車輛當中，使駕駛在遇上類似突發狀況時能因此多一層保障。而此問題之解決也可證實，TRIZ 實際運用於專業領域的可行性和參考價值可靠度都不容忽視。

文獻探討

- 王鵬竣，2014，〈影響碟式煞車制動力之因素探討〉，「南台科技大學機械工程系研究所碩士論文」，台灣，台南。
- 宋明弘，2012，《TRIZ 萃智:系統性創新理論與應用》。台北：鼎茂圖書。
- 林金財，2001，〈機車煞車碟之熱與應力分析之研究〉，「國立中山大學機械工程學系研究所碩士論文」，台灣，高雄。
- 翁永進，2016，〈利用 TRIZ 發明性問題解決理論進行攤販車之創意性工程設計〉，《2016 第十屆積體光機電科技與智慧財產權實務研討會論文集》，頁 121~125。
- 許棟樑、王傳友、歐陽怡山，2016，《創新：3+4》，新竹市：亞卓國際顧問有限公司。(Sheu, Wang, & Ouyang, 2016)

References

- Altshuller, G., Al'tov, G., & Altov, H. (1996). *And suddenly the inventor appeared: TRIZ, the theory of inventive problem solving*. Technical Innovation Center, Inc.
- Lan, W. C., & Sheu, D. D. (2015). Yield Improvement for a new MCM/SiP IC using TRIZ Processes. *International Journal of Systematic Innovation*, 2(4)
- Liu, T. L., & Chen, J. W. (2017, May). A novel scheme for constructing product development portfolio based on TRIZ. *Applied System Innovation (ICASI)*, 2017 International Conference on (pp. 1289-1292). IEEE.
- Liu, T. L. (2012). An Innovative TRIZ-based Methodology to Explore Design Conflicts for Collaborative Product Design. *Applied Mechanics and*



- Materials* (Vol. 145, pp. 359-363). Trans Tech Publications.
- Liu, T. L., & Kuo, S. T. (2011). A study of applying TRIZ to technological patenting deployment. *International Journal of Systematic Innovation*, 1(3), 2-12.
- Sheu, D. D., & Hou, C. T. (2011). *TRIZ-based problem solving for process-machine improvements: Slit-valve Innovative redesign*, Proceedings of the 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering (pp. 1036-1044).
- Sheu, D. D., & Hou, C. T. (2015). TRIZ-based systematic device trimming: theory and application. *Procedia engineering*, 131, 237-258.
- Sheu, D. D., & Tsai, M. H. (2015). Systematic Organizational Conflicts Identification and Resolution Using Perception Mapping and Function Relationship Analysis. *International Journal of Systematic Innovation*, 3(2).
- Sheu, D. D., & Ho, C. L. (2016). TRIZ Trimming at Supersystem for Innovative Product Integration. *International Journal of Systematic Innovation*, 4(1).
- Sheu, D. (2015). *Mastering TRIZ Innovation Tool: Part I*, Agitek International Consulting, Inc..
- Weng, Y., & Wu, D. Y. (2018). Application of the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) to Creative Engineering Design for the Motor Cooling System of an Electric Vehicle. *International Journal of Systematic Innovation*, 5(1).

作者簡介



翁永進博士自 2013 年以來在台灣嘉義大學當任教職。在此之前，他在國立中央大學、國立臺灣科技大學機械系與開南大學等學術單位分別擔任專兼任教職。翁教授從台灣大學獲得工學博士學位後，持續致力於創新研究與微系統製程開發為主要研究主題。他的研究領域包括微奈米壓印、精微與創新性之塑膠成型技術、微系統元件成形製程開發、TRIZ 研究。



陳重佑目前為國立嘉義大學機械與能源工程學系專題生。對於創新研究方法領域很感興趣，亦曾參加過 2017 系統性創新研討會暨論文競賽並進行口頭論文發表，表現良好。