Session III-1
(15:40~17:00，B215)

從條紋狀閃玉－龍紋玉探討臺灣閃玉的新成因
Exploring the new genesis of Taiwan nephrite from the zibra-texture nephrite

金俊宇 [1] 余炳盛 [2*]

Chun-Yu Chin[1] Bing-Sheng Yu [2*]

1 國立臺北科技大學材料與資源工程學系 研究生

Graduate Student, Institute of Resources Engineering,

National Taipei University of Technology

2 國立臺北科技大學材料與資源工程學系 副教授

Associate Professor, Department of Materials and Mineral Resources Engineering& Institute of Materials Science and Engineering, National Taipei University of Technology

* Corresponding author:*cyc813506@gmail.com; bing@ntut.edu.tw

摘要

依據譚立平教授 1978 年的研究，臺灣閃玉可分為三類：普通閃玉、貓眼閃玉、蠟光閃玉，三者的結晶粒度、光澤、晶癖各有異同。普通閃玉呈玻璃光澤，結晶粒度約 40-150μm。貓眼閃玉亦呈玻璃光澤，結晶寬度與普通閃玉相似，但長度可達 20,000μm 以上，此長纖維呈同一方向排列。蠟光閃玉呈蠟狀光澤，結晶顆粒極細微，通常小於 15μm，因此光線不易透射。上述三種閃玉產於蛇紋岩與石墨質絹雲母片岩的接觸帶，先後經過區域變質作用及熱液換質作用後形成，其產狀多為透鏡體。

但是在花東地區俗稱的「龍紋玉」(或稱羊脂玉)之中卻可以發現不同產狀之閃玉：在透鏡體的閃玉之中，可以發現斑馬紋般的條紋狀岩脈閃玉，岩脈的顏色相較圍岩的閃玉較淺，且光澤也不相同，在岩脈的兩側還可發現平行於岩脈的纖維狀結晶。在 2006 年張郇生報導了龍紋玉的特殊產狀以及進行了岩相觀察。其研究中發現了岩脈的閃玉及圍岩閃玉結晶長軸具有明顯的方向差異。

閃玉裂隙中的閃玉，以及圍岩與岩脈閃玉結晶不同的生長方向，這代表著龍紋玉的成因並非因熱液換質而形成。而是閃玉受到張裂作用形成裂隙，熱液充填裂隙沉澱後形成新一期的閃玉。因此本研究透過觀察龍紋玉的微構造及檢測其化學元素，試以礦物學及地球化學角度解釋龍紋玉的成因。

關鍵詞：條紋狀閃玉、龍紋玉、對生結晶作用、臺灣閃玉新成因

壹、 前言

臺灣閃玉產於蛇紋岩與石墨質絹雲母片岩的接觸帶，先後經過區域變質作用及熱液換質作用後形成[1]，其產狀多為透鏡體。依據 1978 年譚立平教授對於臺灣閃玉的分類，臺灣閃玉可分為三類：普通閃玉、貓眼閃玉、蠟光閃玉，三者具有不同的

結晶粒度、光澤、晶癖。上述三種不同的臺灣閃玉往往單獨存在，或者彼此共生，但是在花東地區俗稱的「龍紋玉」(或稱羊脂玉)之中卻發現同時具有三種不同閃玉(圖 1)：在透鏡體的閃玉之中，可以發現如斑馬紋般的條紋狀岩脈閃玉，岩脈的顏色相較圍岩的閃玉較淺，且光澤也不相同，在岩脈的兩側還可發現平行於岩脈的纖維狀結晶。

龍紋玉在臺灣閃玉的市場已行之有年，然而並沒有太多關於龍紋玉的研究。龍紋玉的研究首次出現在 2006 年張郇生所著的「臺灣閃玉之最新分析」之中，報導了龍紋玉的特殊產狀以及進行了岩相觀察，其研究中發現了岩脈的閃玉及圍岩閃玉結晶長軸具有明顯的方向差異，但此研究並未針對其形成機制及各部分閃玉之間化學元素的變化進行研究。

閃玉裂隙中的閃玉，以及圍岩與岩脈閃玉結晶不同的生長方向，這是否代表著龍紋玉的成因有別於過往研究結果，並非因熱液換質而形成。而是閃玉受到張裂作用形成裂隙，而熱液充填裂隙沉澱後形成新一期的閃玉晶體。因此本研究透過觀察龍紋玉的微構造及檢測其化學元素，試以礦物學及地球化學角度解釋龍紋玉的成因。

圖 1　龍紋玉中如斑馬紋般的條帶構造岩脈，可見明顯的顏色以及光澤差異

貳、　研究方法

3.1 龍紋玉樣本

樣本取自臺灣花蓮壽豐山益礦場。由外觀大致可分為四個區塊：分別為最左側以深綠色縱線為界線的淺灰色部分，除淺灰色礦物以外，尚有較小顆粒的白色礦物集中於此部分。樣本左側、深綠色縱線右側的淺綠色部分具有水平方向平行裂紋。中間充斥著深淺交錯出現的縱向脈狀構造的部分，脈狀構造約 1-2cm 寬，深淺顏色相交處可見纖維狀結晶，以及右側以兩道白色岩脈為分界的部分。本研究主要對象為樣本中間的縱向脈狀構造，經切割後如圖 3-圖 4 所示。

圖 2　龍紋玉樣本全貌(長：200cm，寬：80cm)

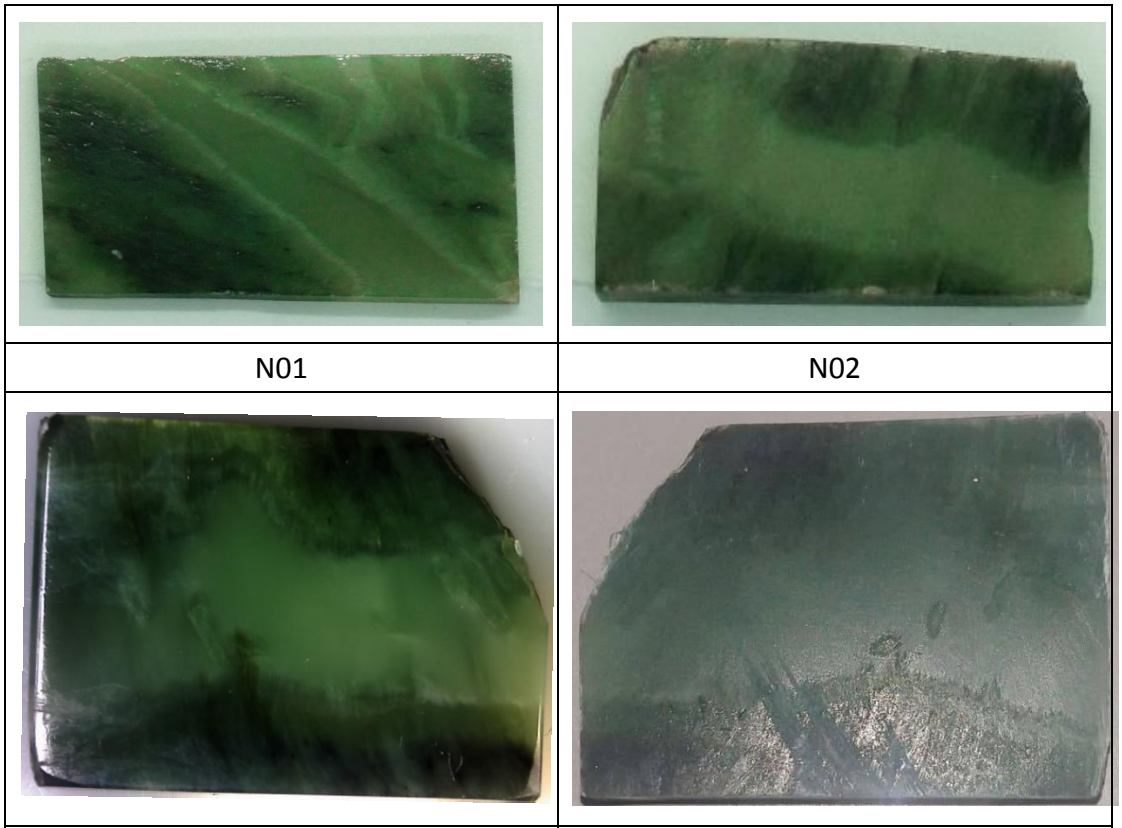


圖 3　實驗樣本 N01 至 N04 (長：3cm，寬：2cm)

研究流程

本研究流程如圖 4 所示，龍紋玉樣本切割後先已肉眼及光學顯微鏡進行宏觀觀察，接著將切割樣本分別進行光薄片岩相觀察(Thin section analysis)、拉曼光譜檢測(Raman Spectroscopy)、X 光繞射分析(XRD)、雷射光剝蝕-電感耦合等離子體質譜分析(LA-ICP-MS)、掃描式電子顯微鏡及電子背向散射繞射分析(SEM、EBSD)。

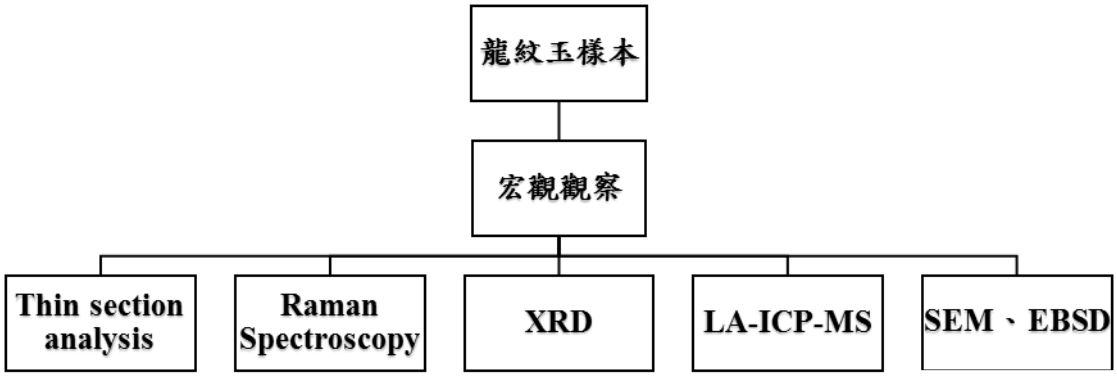


圖 4　研究流程圖

參、　結果與討論

3.1　宏觀觀察

實驗樣本整體呈透鏡狀，其中心部位具有垂直方向得脈狀構造，脈狀構造與兩側圍岩具有明顯的顏色深淺差異(圖 5)，且顏色深淺明顯差異的兩者之間可以觀察到具有貓眼現象的纖維狀結晶。

依照閃玉分類[2]三種不同的顏色與結晶構造可以分為顏色較深且含有深色礦物的普通閃玉、纖維狀具有貓眼現象的貓眼閃玉，以及顏色較淺、具有蠟狀光澤的蠟光閃玉(圖 6)。脈狀構造在龍紋玉中寬度大致相等，外觀上呈現亮帶與暗帶交錯重複出現(圖 5)，這樣的構造與世界各地可發現的斑馬構造碳酸鹽類岩石相似[3]。

條紋狀構造彼此之間不僅寬度大致相等，也幾近平行，淺色部分兩側邊緣形狀幾近相同，可以拼湊為完整一塊(圖 6、7)。

圖 5　龍紋玉樣本脈狀構造全貌，可見顏色深淺不同的條帶彼此交錯

圖 6　岩脈中具有不同光澤、結晶的閃玉，其邊緣兩兩對稱

這樣的構造明確的指出了淺色部分及深色部分的形成先後順序，即淺色部分的蠟光閃玉形成時間必定晚於深色部分的普通閃玉。普通閃玉形成後，受到應力產生了裂隙，而新的閃玉形成於裂隙之中，形成脈狀構造。且裂隙中的閃玉形成方式也不同於常見的閃玉，深色部分的普通閃玉整體呈現透鏡體，可見為蛇紋岩接觸變質後，受到熱液交代作用置換形成閃玉。但是脈狀構造中的閃玉結晶卻屬熱液礦床中的充填作用，熱液並未與圍岩的閃玉發生交代作用，而是充填、沉澱後結晶。由充填作用形成的閃玉在過去文獻中未曾被提及，世界上由蛇紋岩變質後形成的閃玉，也都屬於熱液交代作用，或許這是僅見於臺灣得獨特閃玉形成方式。

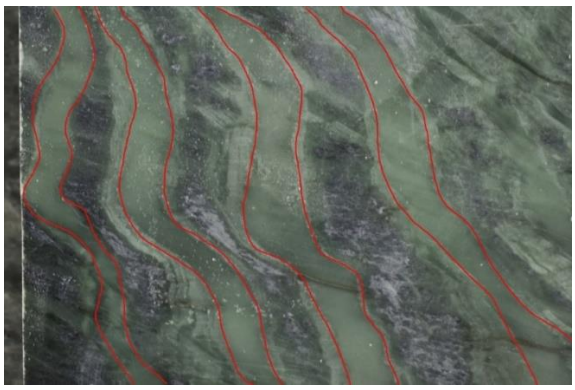


圖 7　淺色部分與左右兩側深色部分的邊界大致相符，且淺色部分的寬度約略相等

淺色部分中的貓眼閃玉以及蠟光閃玉的結晶方式也截然不同，貓眼閃玉具有貓眼現象的纖維狀結晶，而蠟光閃玉則是具有蠟狀光澤的緻密結晶，這表示熱液充填作用發生時的應力環境發生了改變[5]，貓眼閃玉具有明確的方向性結晶代表了結晶生成時岩體受到了剪力作用，晶體生成時排列成固定方向；而蠟光閃玉生成時環境應力中缺少了剪力作用，因此結晶並未擁有明確的方向性。詳細的晶體結晶方向，將於後續章節討論。

3.2　岩相觀察

分別觀察三種不同閃玉於正交偏光下的光性，普通閃玉與過去文獻相同，具有一階黑白至黃色的干涉色，且結晶大小約為 40±20um(圖 8a、b)；而貓眼閃玉具有較高的干涉色，明顯的纖維狀構造，結晶大小明顯超過 150um(圖 8c、d、e)，依據過去研究貓眼

閃玉的纖維方向平行 c 軸方向，且於(100)、(010)面消光角接近 0°，可判斷龍紋玉中的貓眼閃玉部分與過去研究各項特徵接吻和；蠟光閃玉的干涉色與普通閃玉相近(圖 8f)，但結晶大小較小於普通閃玉。

貓眼閃玉的干涉色與過去研究相似[2]，但是蠟光閃玉與過去研究差異性大。本研究中的蠟光閃玉呈現無明顯方向性的結晶，依照過去研究結果推測[4]，蠟光閃玉結晶生長時，處於偏應力環境中。

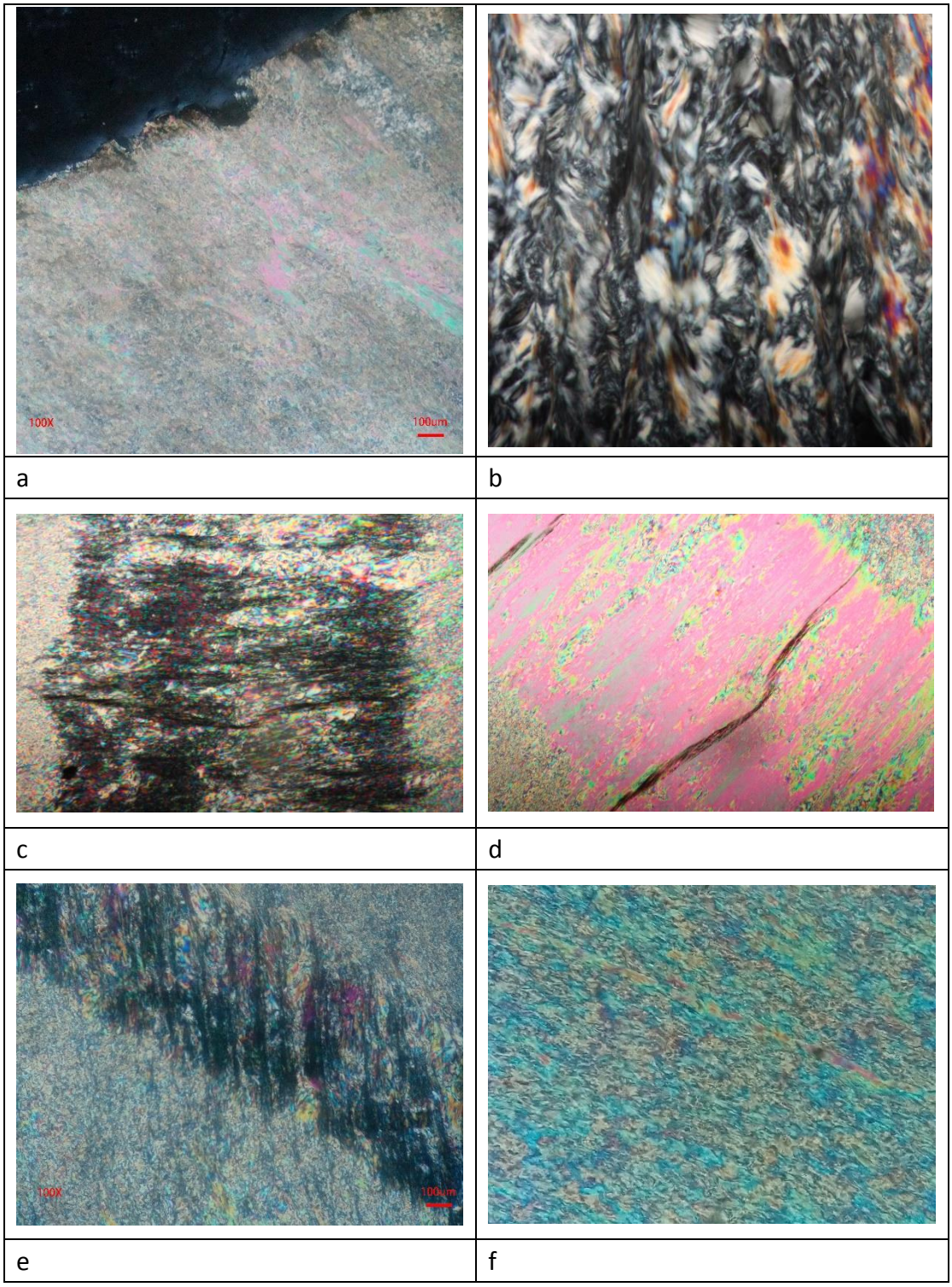


圖 8 龍紋玉正交偏光照片。a：普通閃玉 100x；b：普通閃玉 20x；c：貓眼閃玉 50x；d：貓眼閃玉 50x；e：貓眼閃玉 100x； f 蠟光閃玉 500x

由貓眼閃玉為中心，兩側的普通閃玉及蠟光閃玉可見不同的干涉色(圖 8d)，以此可以確認兩部分閃玉具有不同的生長方向，且相較於蠟光閃玉完全由細小至密的結晶組成，普通閃玉除了較大的晶粒以外，還可以發現許多較大的纖維狀結晶。

貓眼閃玉與其他兩者閃玉不同，具有較高的干涉色(圖 8d)，推測其可能性有兩者，其一為貓眼閃玉之中含有其他礦物相，導致貓眼閃玉具有不同的光性表現；另一為貓眼閃玉的結晶生長方向與其他兩者相異，因此產生了不同的干涉色，因貓眼閃玉纖維方向平行 c 軸方向，因此若普通閃玉及蠟光閃玉結晶方向與貓眼閃玉相異，極有可能在這兩區域有 c 軸垂直光薄片切面的閃玉結晶。這項推論將於 X 光粉末繞射分析實驗以及背向電子散射繞射實驗中近一步證明。

3.3 拉曼光譜

為了確認龍紋玉中圍岩以及岩脈的礦物組成除閃玉以外是否有其他礦物，本研究檢測 N01 樣本共 7 處位置，分別為普通閃玉一處，貓眼閃玉以及蠟光閃玉各三處。

光譜檢測結果顯示，三種閃玉的拉曼主要峰值為 161、178、193、224、251、352、369、392、417、437、531、675、742、932、1031、1062cm^{-1}(圖 9)。與過去研究資料(表 1)相吻合[5]；但是相較其他兩者，普通閃玉多了 202、550cm^{-1} 的峰值(圖 9)，推測為普通閃玉中深色礦物(如鉻鐵礦)之峰值[6]。

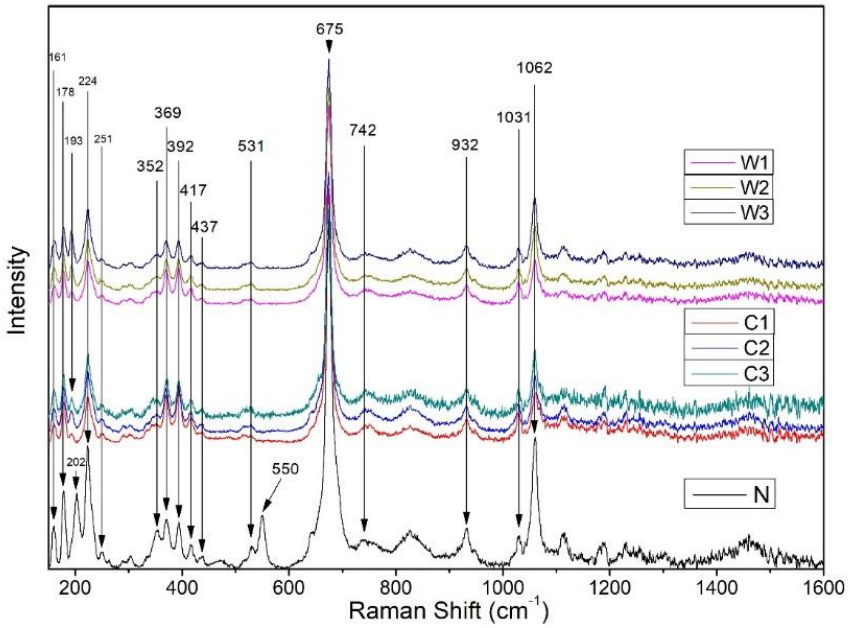


圖 9　樣本 N01 中不同閃玉的拉曼光譜比較，N 為普通閃玉，C 為貓眼閃玉，W 為蠟光閃玉。

表 1　透閃石及陽起石在波速 80-1300cm^{-1} 以及 3600-3700cm^{-1} 的拉曼光譜峰值[5]

Raman		
Band position (cm^{-1})		Assignment
Tremolite	Actinolite	
84, 123, 144, 161, 179, 193, 215, 224, 233, 251, 265, 291	226, 247, 294	lattice mode
334, 345, 352	?overlapping	? T(M-OH), where M = Ca, Mg and Fe^{2+}
371	369	T(Fe^{2+}-OH)
396, 437	369, 392	T(M- OH), where M = Ca, Mg and Fe^{2+}
417	415	T(Mg^{2+}-OH)
487, 516, 531, 587	482, 522, 577	deformation modes of Si_4O_{11}
675	670	ν_s (Si-O_b-Si)
742, 752	744	? ν_s (Si-O_b-Si)
932, 948	929, 949	ν_s (O-Si-O)
1031, 1062	1027, 1059	ν_{as} (Si-O_b-Si)
1087	-	ν_s - CO_3 group[a]
3675		($3Mg^{2+}$)-OH
3661		($2Mg^{2+}Fe^{2+}$)-OH

3.4　XRD

由岩相觀察中可以發現，貓眼閃玉的光性明顯異於普通閃玉及蠟光閃玉，有兩種可能導致這樣的現象，一為貓眼閃玉之中含有其他高干涉色的礦物相；另一為貓眼閃玉的結晶方向異於其他兩者，因此版研究使用龍紋玉中貓眼閃玉纖維大於 1cm 者，進行 X 光粉末繞射分析。並針對高干涉色礦物的繞射峰角度進行仔細的 X 光繞射分析。

結果顯示，岩脈中的貓眼閃玉僅有閃玉礦物相(圖 10、11)，沒有含其他礦物相，因此貓眼閃玉異於普通閃玉及蠟光閃玉的干涉色原因為結晶方向差異造成。

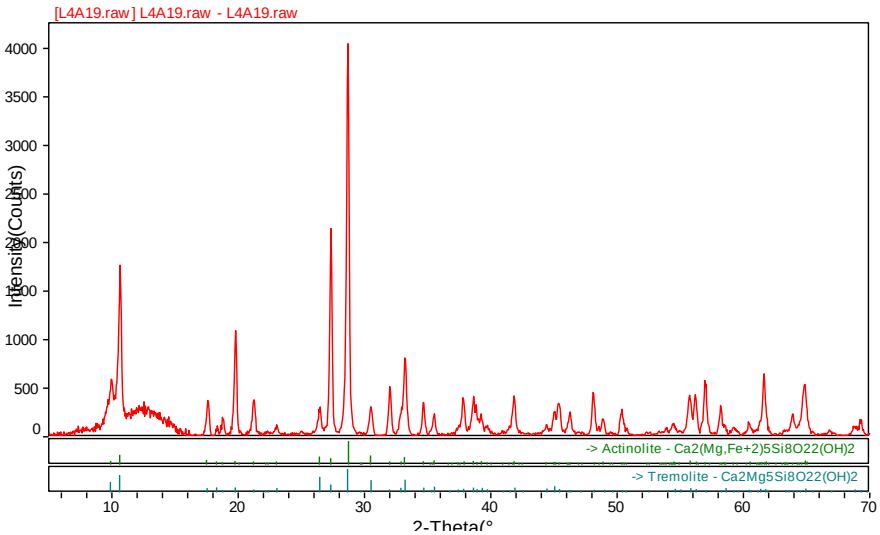


圖 10　貓眼閃玉 X 光繞射分析結果，2θ=5-70°。
峰值比對結果顯示主要礦物相為透閃石-陽起石

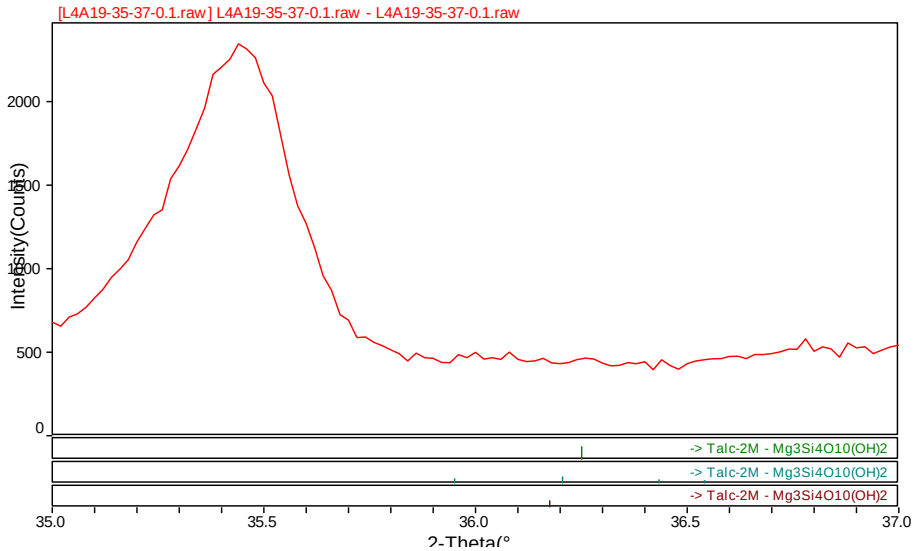


圖 11　貓眼閃玉 X 光繞射分析結果，2θ=35-37°

針對滑石的繞射峰進行分析比對，結果顯示貓眼閃玉中並不含有滑石相。

3.5　SEM

本研究為清楚觀察龍紋玉之晶粒大小，因此進行 SEM 拍攝前，先將樣本拋磨至光亮後浸泡於鹽酸之中，讓晶界可已清楚呈現。經浸泡鹽酸 72 小時候，樣本普通閃玉部分表面已可觀察出些許晶界(圖 12a-d)。晶粒尺寸約 20-60um，最小者接近 2um(圖 12a-f)。普通閃玉的長寬比大致約 2-3：1，除此之外尚有長寬比極大的微小晶體存在於普通閃玉之中。普通閃玉之中無明顯固定的結晶方向。而蠟光閃玉部分經腐蝕後晶界較普通閃玉不清楚，但足以觀察結晶顆粒的大小(圖 13a-f)。蠟光閃玉的結晶顆粒約 5-20um，且晶粒的長寬比遠大於普通閃玉，與貓眼閃玉極為相似，且蠟光閃玉之中可以發現明顯的結晶方向差異(圖 13e、f)。

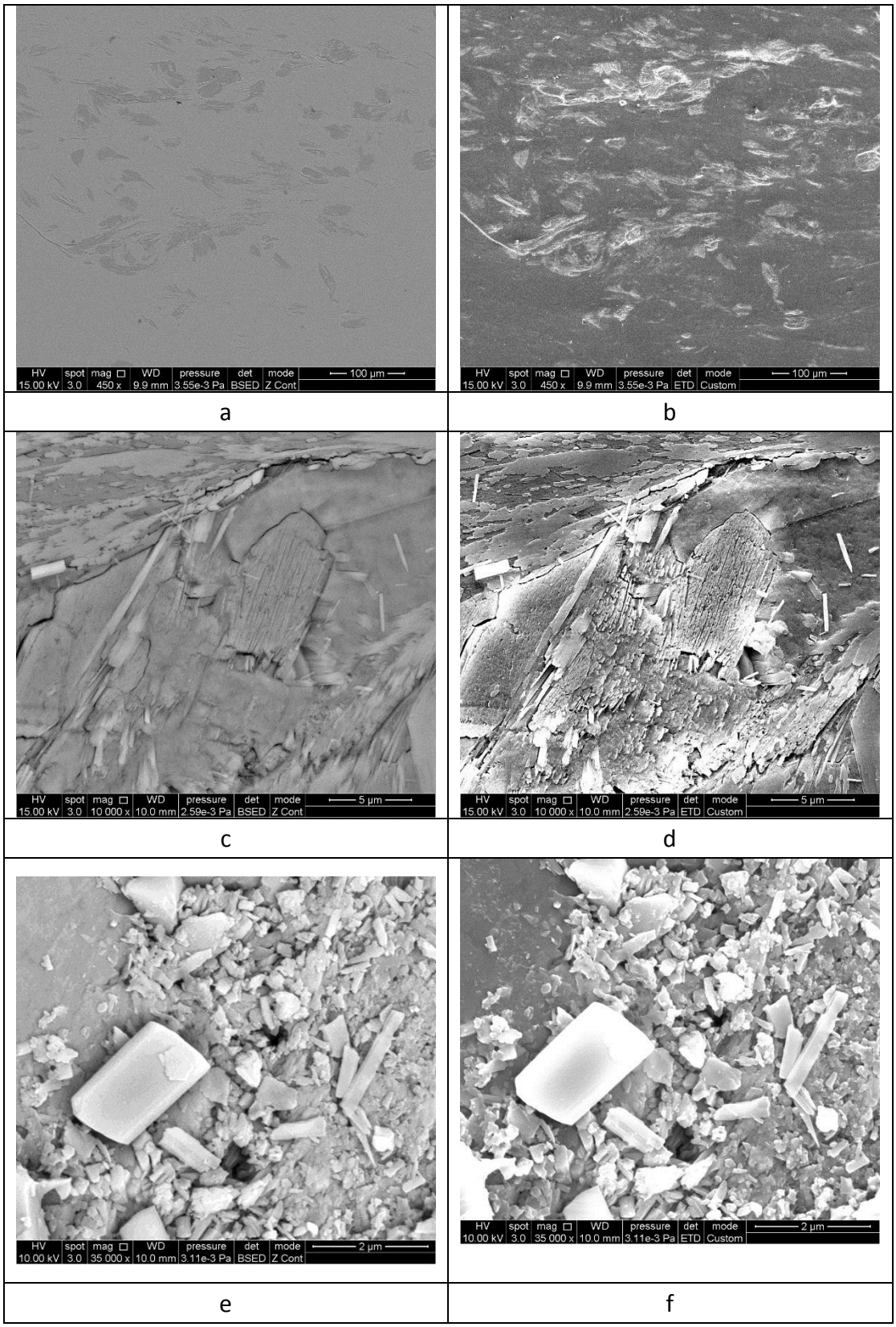


圖 12　普通閃玉 SEM 圖。

a：BSE，450x；b：SE，450x；c：BSE，10000x；d：SE，10000x；

e：SE，35000x；f：BSE，35000x

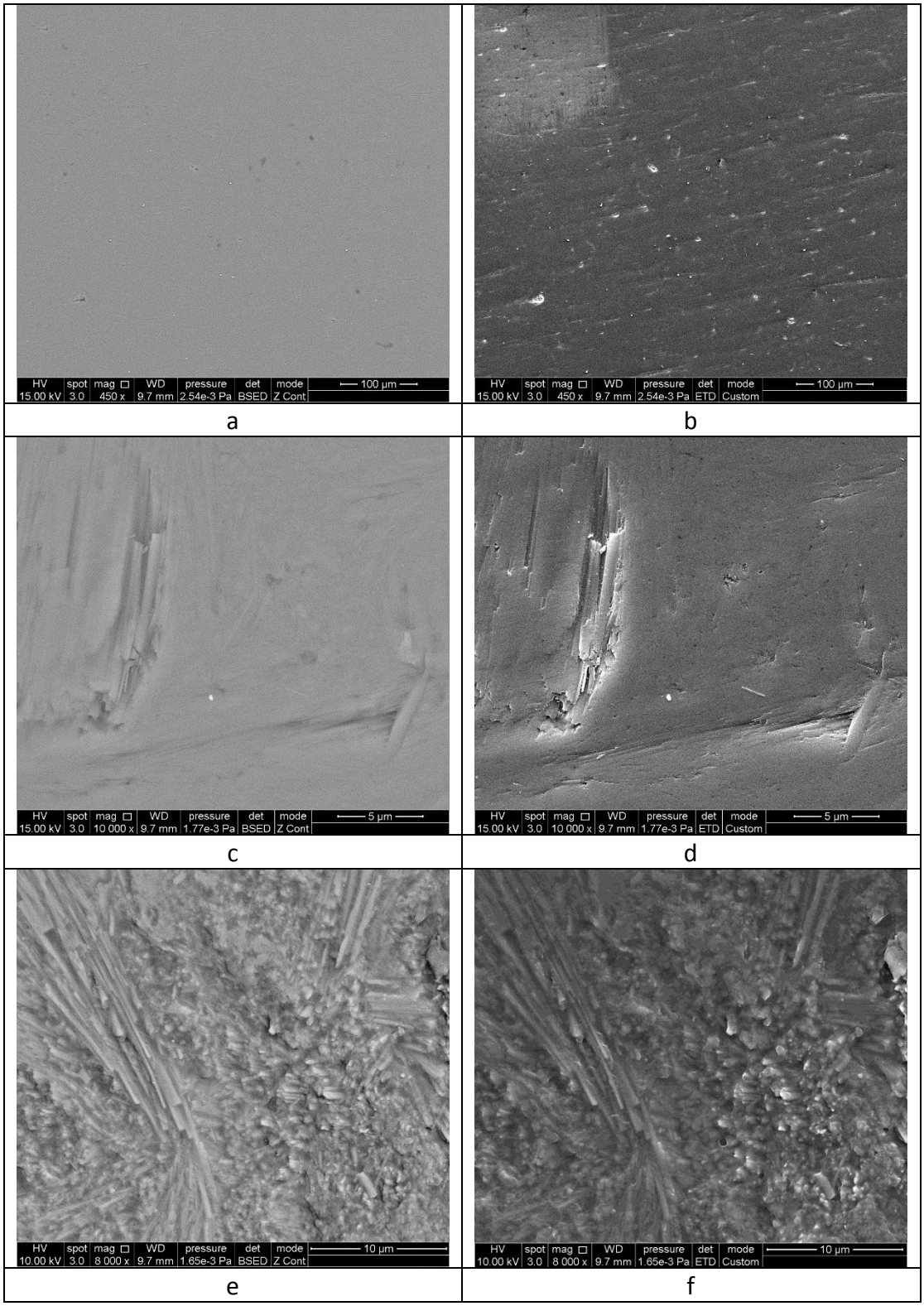


圖 13　蠟光閃玉 SEM 圖

a：BSE，450x；b：SE，450x；c：BSE，10000x；d：SE，10000x

e：BSE，8000x；f：SE，8000x

3.6　LA-ICP-MS

本研究使用 LA-ICP-MS 針對龍紋玉中三種不同的閃玉進行化學組成分析，由中心

蠟光閃玉部分向兩側分布對稱的貓眼閃玉以及普通閃玉個各選取兩點(圖 14)。

根據龍紋玉的外觀推測，外側的普通閃玉形成後，因應力產生裂隙，而後熱液充填於裂隙之中形成貓眼閃玉及蠟光閃玉，因此外側的普通閃玉應該具有較高的 Mg，而中心的蠟光閃玉及貓眼閃玉應具有較高的 Si 及 Ca。

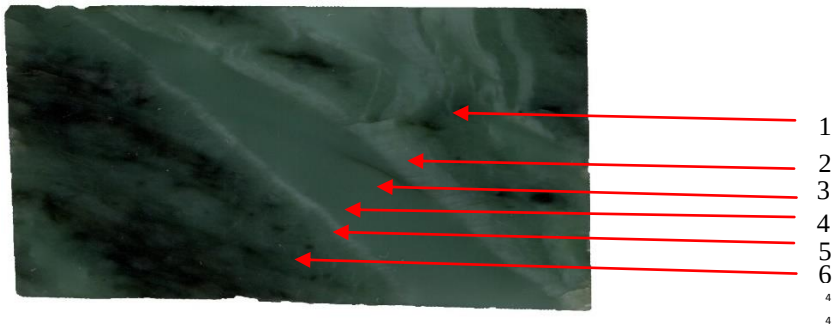
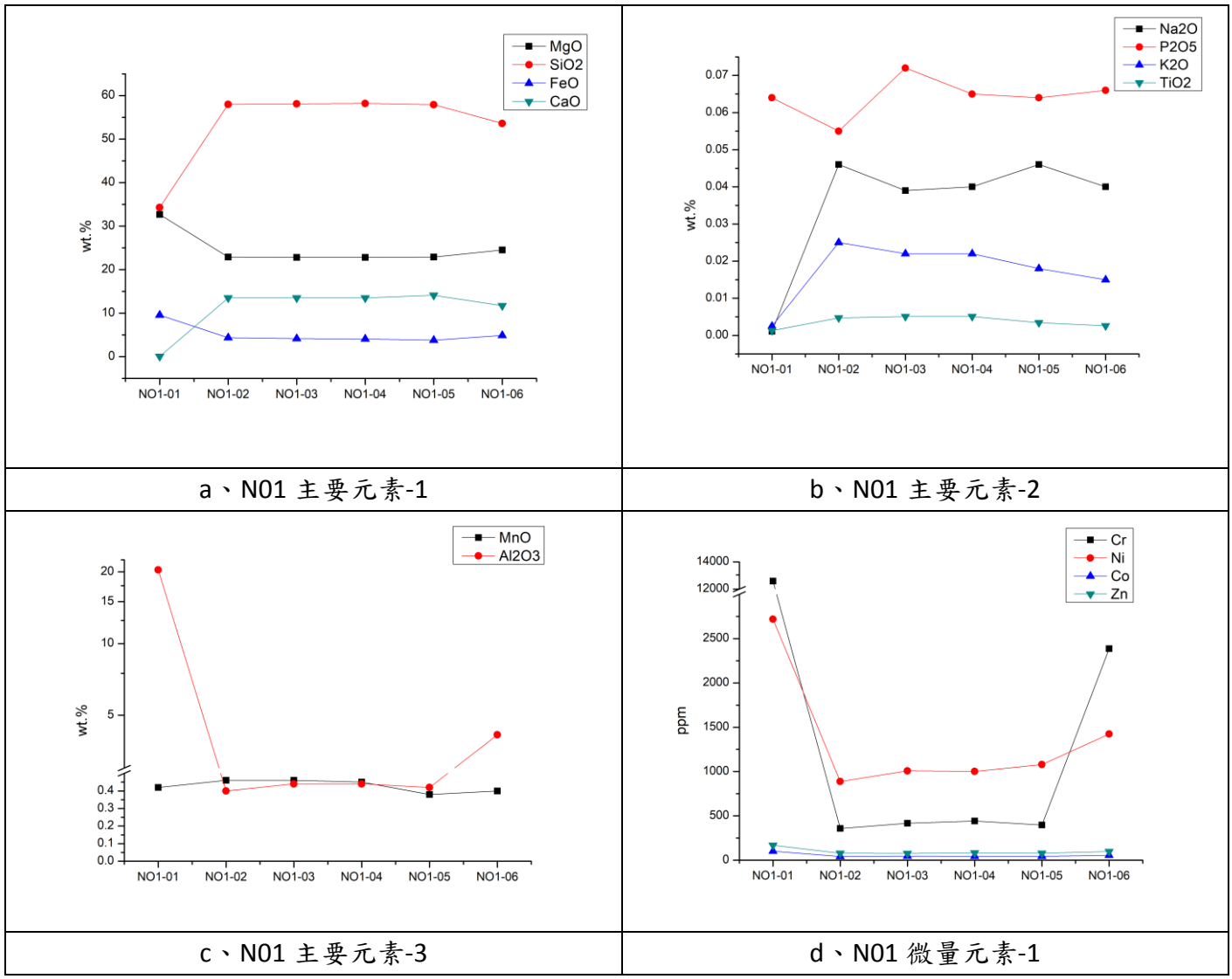


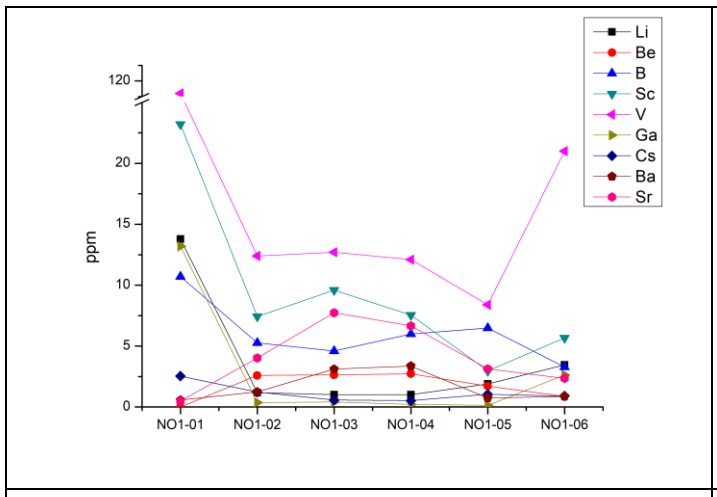
圖 14　N01 龍紋玉樣本檢測位置



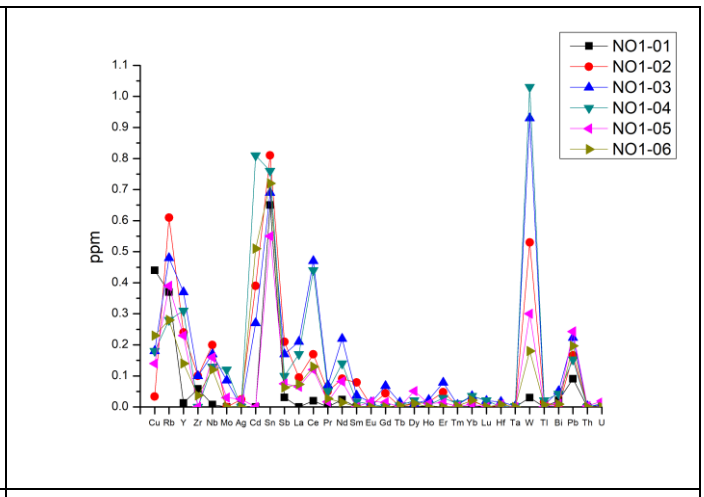
a、N01 主要元素-1　　b、N01 主要元素-2

c、N01 主要元素-3　　d、N01 微量元素-1

圖 15　N01 化學組成



e、N01 微量元素-2



f、N01 微量元素-3

續圖 15　N01 化學組成

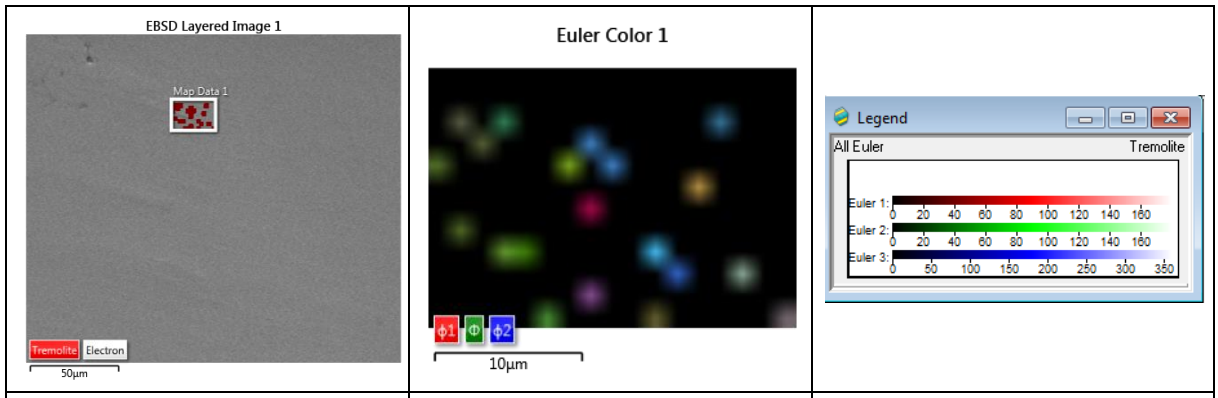
由 N01 主要元素的含量(圖 15a-c)可以發現，Si、Ca 與推論一致，裂隙充填的部分具有較高的含量，同時 Mg 的含量普通閃玉較高。此外普通閃玉的 Al 含量也較充填部分高，其中 N01-1 的 Al 含量異常高，推測為研磨時殘留的氧化鋁粉末，或是儀器開機後熱機不完全導致。

微量元素部分僅 W 、Cr 及具 Ni 有較明顯的區域差異(圖 15d、f)，N01 蠟光閃玉部分具有相當高的 W；而 Cr、Ni 主要集中於普通閃玉，裂隙充填的部分含量明顯小於普通閃玉。過去研究表明，臺灣閃玉的 Cr、Ni 來自被置換的蛇紋岩，在龍紋玉裂隙充填部分 Cr、Ni 含量較少，代表著龍紋玉岩脈部分的組成成分來源相較於一般普通閃玉，蛇紋岩提供的百分比較低，甚至裂隙中少量的 Cr、Ni 來源可能為裂隙兩側的普通閃玉與熱液再次產生交代作用造成。

3.7　EBSD

N01 蠟光閃玉部分，檢測時間約 80 分鐘，step size 約 1.5um，檢測範圍約 25*15um(圖 16a)。其中 Euler Color 表結晶方向，顏色差異即結晶方向差異。

檢測結果顯示於 25*15um 範圍內可檢測到的結晶方向有 18 個(圖 16b、c)，平均每 20um^2 就有一不同方向的結晶，與 SEM 拍攝結果相近。以相同色系為相近的結晶方向推論，此檢測結果的 25*15um 內具有 7 組較明顯區別的結晶方向。

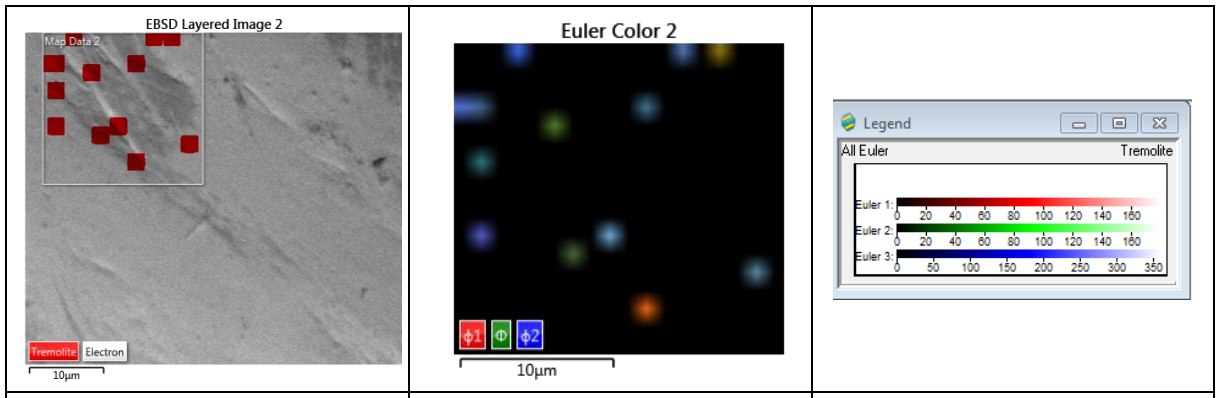


a	b	c

圖 16　N01 蠟光閃玉 EBSD 分析結果，a：白框內為 EBSD 檢測範圍，b：Euler Color Mapping，c：Euler Color Legend

N01 普通閃玉部分，檢測時間 80 分鐘，step size 約 1.5un，檢測範圍約 20*20um(圖 17a)。檢測結果顯示於 20*20um 範圍內可檢測到的結晶方向為 13 個(圖 16b、c)，平均 30um^2 出現不同方向的結晶。

以相同色系為相近的結晶方向推論，此檢測結果的 20*20um 內具有 4 組較明顯區別的結晶方向。由此可推論相同面積內，蠟光閃玉具有較不規則的結晶方向，而細長的晶體加上散亂的結晶方向，造成光線的散射，令蠟光閃玉產生與貓眼閃玉相異的光澤。



a	b	c

圖 17　N01 普通閃玉 EBSD 分析結果，a：白框內為 EBSD 檢測範圍，b：Euler Color Mapping，c：Euler Color Legend

貓眼閃玉部分在 EBSD 下無法呈現可進行檢測的菊池線，推測其極大的長寬比結構造成 X 光繞射的結果不佳。EBSD 檢測結果顯示，普通閃玉及蠟光閃玉皆不具有明顯的統一結晶生長方向，閃玉的晶體彼此交織生長，與 SEM 觀察結果相同。

肆、 結論

1. 由宏觀觀察結果可發現龍紋玉的岩脈兩側具有對稱的明顯邊界，且相鄰的普通閃玉及貓眼閃玉在岩相觀察中可確認其相異的結晶方向，此證明龍紋玉的脈狀構造並非以熱液換質作用形成，而是普通閃玉形成後，因應力產生裂隙，接著熱液充填沉澱，以對生結晶模式生長。
2. 由拉曼光譜及 XRD 分析結果可確認龍紋玉之中僅由臺灣閃玉組成。
3. LA-ICP-MS 分析結果顯示，龍紋玉之中相較於普通閃玉部分，蛇紋岩在貓眼閃玉及蠟光閃玉的換質端成分的占有比例較少。龍紋玉脈狀構造的成分比起蛇紋岩相關換質而成的臺灣閃玉，更接近於白雲岩變質而成的閃玉。
4. SEM 及 EBSD 分析結果顯示，龍紋玉之中的普通閃玉及蠟光閃玉的結晶顆粒大小並不似過去研究結果顯示般差異極大。兩者最大的差異在於結晶顆粒的長寬比，普通閃玉之結晶顆粒呈短柱狀；蠟光閃玉呈細長纖維狀，與貓眼閃玉之差異在於貓眼閃玉具有統一的結晶生長方向，而蠟光閃玉則否。
5. 綜合上述結果可總結龍紋玉的形成過程為：(1)蛇紋岩經換質作用後形成透鏡狀的普通閃玉，(2)因應力作用，普通閃玉產生裂隙，(3)熱液充填於裂隙之中，並沉澱以對生結晶作用產生閃玉結晶，(4)裂隙中的結晶生長過程中，受到剪力作用，因此形成具有明顯方向性的貓眼閃玉結晶，(5)貓眼閃玉結晶生長一段時間後，應力環境改變，由無偏應力環境轉變為偏應力環境，結晶轉變為非固定方向，形成蠟光閃玉。

致謝

感謝天星礦場提供龍紋玉樣本，本研究才能順利進行，僅此致謝。

參考文獻

1. 木土為善 (1972)。台灣省花蓮縣豐田礦區地質調查報告。經濟部聯合礦業研究所，共 12 頁。
2. 譚立平(1978)：「臺灣花蓮地區之軟玉」，行政院國家科學委員會專刊；第 1 號，第 1-28 頁。
3. Wallace, M. W., Hood, A., vS., (2018):Zebra textures in carbonate rocks: Fractures produced by the force of crystallization during mineral replacement. Sedimentary Geology 368.
4. WILSON, C. J. L., (1994): Crystal growth during a single-stage opening event and its implications for syntectonic veins, Journal of Structural Geology, Vol. 16, No. 9, pp. 1283-1296.
5. Apopei1,A. I., Buzgar1, N., Buzatu, A., (2011): Raman and infrared spectroscopy of kaersutite and certain common amphiboles, Analele Stiintifice ale Universitatii “Al. I. Cuza” din Iasi Seria Geologie, Vol. 57, No. 2, 35-58.
6. Wang, A., (2004) Raman spectroscopy of Fe-Ti-Cr-oxides, case study: Martian meteorite EETA79001, American Mineralogist, Volume 89, 665-680.

提高史瓦濟蘭煤炭的回收率以及生產率
Improving the Coal Recovery Rate and Productivity at Maloma Colliery (Eswatini)

盧深樂[1] 余炳盛[2*]

Manzezulu Sabelo Mdluli[1] Bing-Sheng Yu[2*]

1 國立臺北科技大學資源工程研究所 研究生

Master student, Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

2 國立臺北科技大學資源工程研究所 副教授

Associate Professor, Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology*

Corresponding author: bing@ntut.edu.tw, manzezulumdluli181@gmail.com,

ABSTRACT

The goal of underground coal mining is to extract as much coal as possible. Due to the rise of awareness towards sustainable development and increased price competitiveness of other alternative energy sources, enhancing productivity has become a critical aspect in the coal mining industry. Several elements influence the productivity in underground mining operations, such as equipment efficiency, personnel deployment, and working conditions. Improvement in productivity results in superior and expedited extraction of coal deposits. The most effective way of improving coal recovery rates in room and pillar method of coal extraction is through retreat mining. However, retreat mining presents several challenges, most of them are aligned with pillar designs. Various probable solutions to improving productivity of an underground mine, and the assessment of the applicability of Bieniawski's step-by-step approach to pillar design for retreat mining are scrutinized in this paper.

Key words: coal, productivity improvement, room and pillar, pillar design, retreat mining

INTRODUCTION

Unlike neighboring South Africa, a global player in the mining industry, eSwatini, formerly known as Swaziland, has a handful beneficial minerals that include silica, gold, diamond and kaolin, and only has one profitable mining practice, coal mining. In recent times, the economy has been declining tremendously as a number of mining companies have shut down their operations due to the lack of proper railway lines in the mining regions [1]. The government of eSwatini hopes to improve the country's coal exporting potential. Currently, coal is only exported to South Africa through trucks from the sole coal mine, Maloma Colliery. Coals in eSwatini occured in the rocks comprising of Karoo Supergroup, and distributed throughout the inland area of the southern part of Africa. The country has vast coal deposits, nearly 150 million tons of anthracite coal deposits, but the mining operation is fairly small, having an annual production capacity of less than a million tons of coal. With the proposed construction of a railway line connecting eSwatini and South Africa, the country aims to improve productivity to at least 15 million tons annually. Figure 1 displays the Karoo Supergroup coal belt.

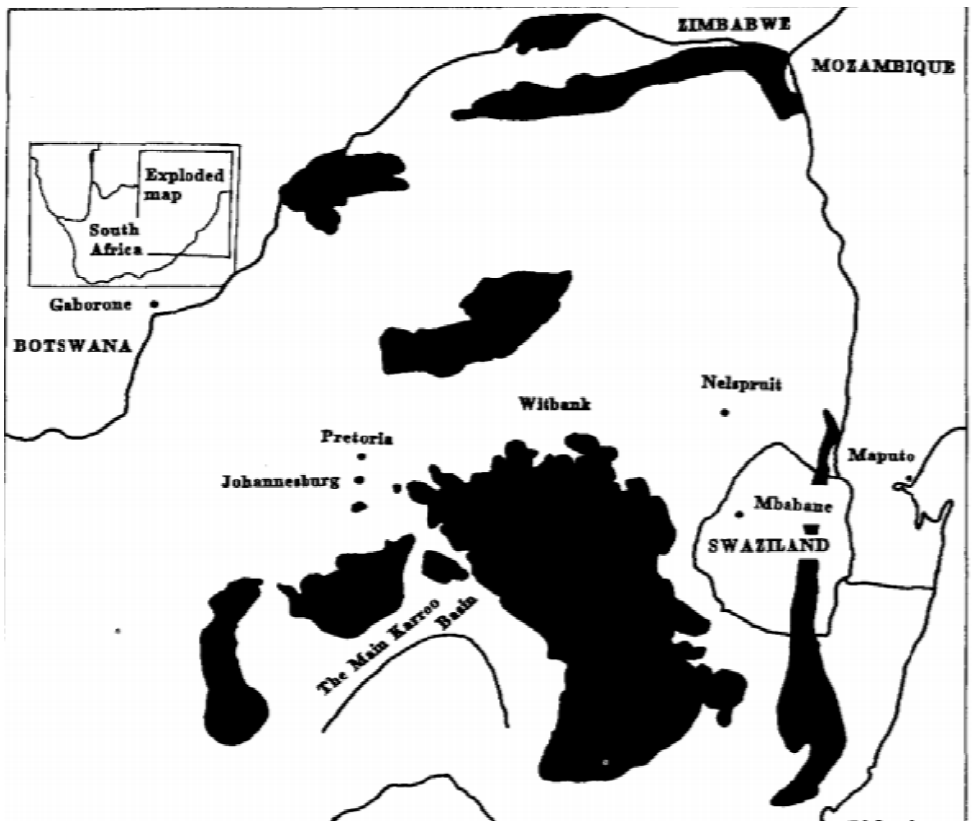


Fig.1: The coalfields of South Africa and eSwatini

According to [2], the coal production decreased by 31% in 2014 compared with that of 2013. Table 1 shows mineable coal reserves, projected life and employment levels in each of eSwatini's potential coal mines.

Table 1: eSwatini's Coal Reserves

Area	**Mineable (million tons)**	**Est. annual production**	**Life of mine (years)**	**Est. employment levels**
Mhlume	18.4	665,000	27	665
Area 1	9.1	-	-	-
Area 2 Mpaka	41.2	500,000	82	600
Area 3	20.6	500,000	41	450
Lubhuku	18.9	510,000	37	500
Maloma	35.3	600,000	58	600
Total	**143.6**	**2,775,000**	**-**	

(Source: Geological Survey and Mines Department of eSwatini – 2006)

The remaining coal mining company, Maloma Colliery, conducts conventional mining which comprises of room and pillar mining, trackless mining with diesel load haul dumpers (LHDs), and, hand and hand air drilling for coal and jackhammers for stone development. Mining operations have two (2) production sections and two (2) development sections against a backdrop of complex and disturbed geological area with high methane emission rates and major and minor faults or dykes. Mining occurs at a depth of one-hundred and fifty (150) meters maximum. Fig.2 shows the layout of the mining area and the complicated geological intrusions encountered at Maloma Colliery. The faulting range between 1.0m to 30m up and downthrow. Intense prospect drilling programming is undertaken from 100m grid to as close as 30m apart due to the normal gradient that stands at 6-8 degrees and varies to a maximum of 14-16 degrees [3].

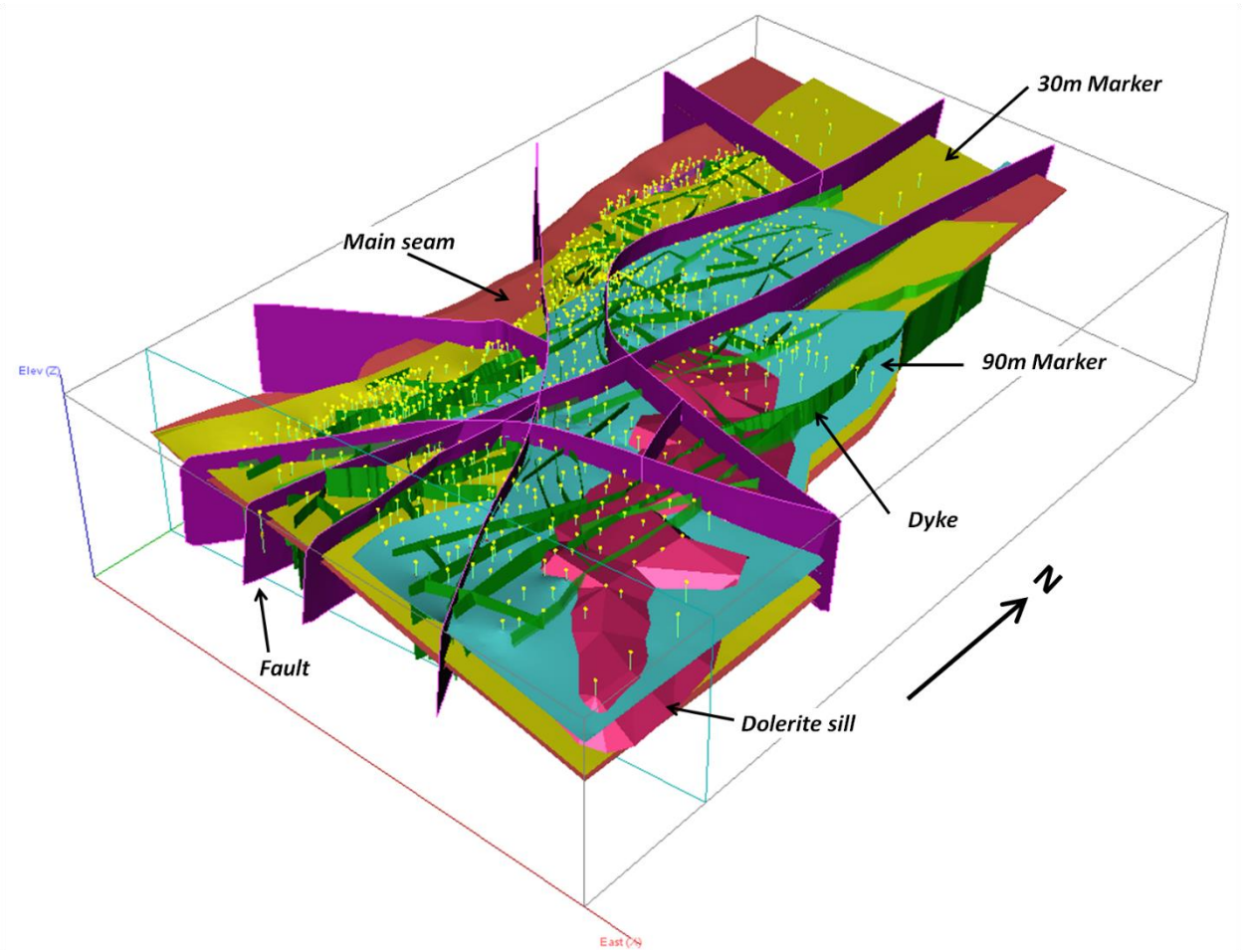


Fig. 2: Mining Area Layout at Maloma Colliery

(Source: www.maloma.org/operations/geology.html)

Arguments made by [4] stress that technology is a pivotal and long-run factor that influences the productivity of mines, implying that underground mining has to take full advantage of technological advancements and use innovative techniques in quest for better recovery of coal. Optimization and co-ordination of input resources to lessen wastes and produce products that meet market expectations has become a must in order to improve productivity [5]. Increasing the level of mechanization through the use of high tech machinery and safeguarding its optimal utilization, improving health and safety standards, having better work ethics and discipline, can lead to vast improvement of the productivity of a mine.

In underground room and pillar mining, the pillars left behind to support the roof and prevent its failure, can be recovered partly or fully in an operation referred to as retreat mining. Mine safety and efficient recovery of reserves depends on designing sufficiently sized pillars that will prevent pillar squeezes, excessive pillar spalling, severe floor heave, roof falls, and pillar bumps [6]. The removal of these pillars ensures the increase in the overall recovery rate. However, this operation requires a different approach of designing the pillars. Unlike most widely used methods for coal pillar design to regulate pillar dimensions using pillar load estimation only by the tributary area theory. A better approach that accounts for abutment loads was proposed by [7]. This method is beneficial as it decreases the risk of pillar failure. In this paper, we apply it to Maloma Colliery with the aim of determining optimum pillar dimensions as we attempt to increase the recovery rate and production through retreat mining. Some of the challenges affecting productivity at Maloma Colliery are also analyzed and dealt with. Some of commonly proposed approaches to pillar design are shown in Table 2 [8].

Table 2: Proposed empirical strength formula for coal pillars

	Zern Edward Nathan (1928)	Greenwald (1941)	Salamon and Munro (1967)	Obert and Duvall (1967)
Empirical Relation	$C_p = C_1\sqrt{\left(\frac{w_p}{h_p}\right)}$	$C_p = 0.67k\frac{\sqrt{w_p}}{h_p^{0.83}}$	$Cp = k_{SM}h_p^{\alpha}w_p^{\beta}$	$C_p = C_{10}\left[0.778+0.222\left(\frac{w_p}{h_p}\right)\right]$
Remarks	Cp is pillar strength, C_1 is the coal strength, w_p is the pillar width and h_p is the pillar width.	Cp is the pillar strength, k is the strength of coal sample, w_p is the pillar width and h_p is the pillar height	Cp is the pillar strength, k_{SM}=7.176 kPa, h_p is pillar height, w_p is pillar width, α=-0.66, β=0.46	Cp is the compressive strength , C_{10} is the compressive strength of specimens having ratio of $\frac{d}{h}=1$, d is the diameter of the specimen, h is the height of the specimen
Limitations		Strength is calculated by unit cube of coal sample	K has to be evaluated by testing of specimen size 30 cm.	$\frac{d}{h}=1$

(Source: www.pubs.scie.pub.com)

METHODOLOGY

Recovery rate

LaModel and the Analysis of Retreat Mining Pillar Stability (ARMPS) are widely used and successful for designing safe retreat mining [9]. Bieniawski's [7] proposed method in this paper acknowledges pillars in the active mining zone (AMZ) as they are mostly exposed to the maximum load and therefore their dimensions achieved through this proposed method are better suited. This method is established on five fundamental principles:

i. Calculation of maximum load exerted on the pillars in the AMZ

ii. Determining the overall load-bearing capacity of the pillars

iii. Selecting a suitable safety factor

iv. Calculating pillar widths

v. Determining optimum pillar widths by correction of the pillar widths in (iv).

This method offers a 12-step guideline to obtaining optimum pillar dimension for retreat mining that will ensure safety and improvement in the recovery rate. According to a report [10] compiled for the U.S. Department of Energy, typical underground coal recovery rates

through room and pillar without retreat mining range between 50–60%. Fig.2 shows the summary of the 12-steps.

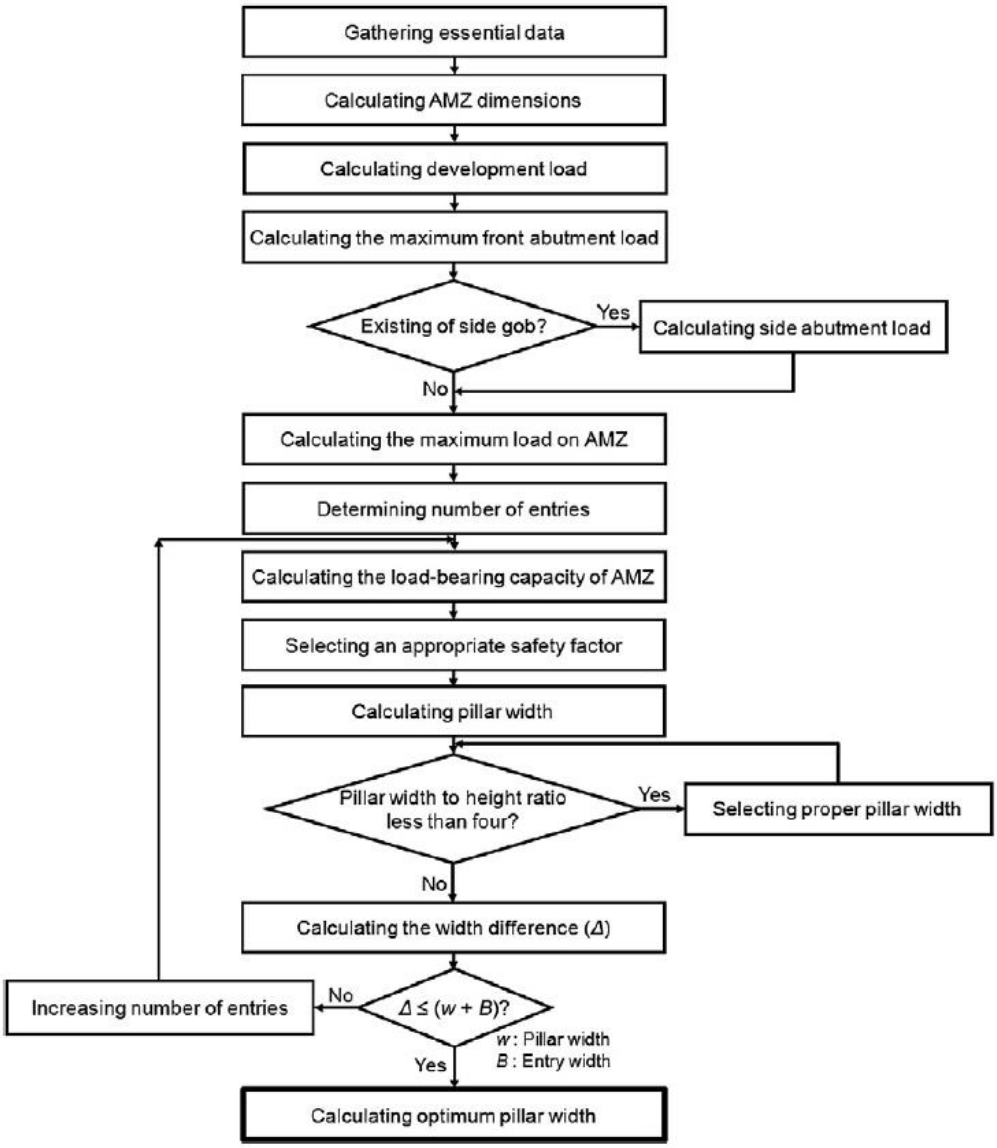


Fig.3: Flowchart for proposed coal pillars design method

(Source: E. Ghasemi, K. Shahriar/Safety Science 50, 2012)

The **first step** involves the gathering of data as displayed in Table 3. Calculations are then derived from the data obtained (from Maloma Colliery). Equations corresponding to the next steps in figure 3 are represented below table 3.

Table 3: Essential mining data

Parameters	**Section 415**	**Section 433**
depth to floor H (m)	87	109.9
Entry width B (m)	6	6.20
Mining height h (m)	3.5	2.90
Pillar width w (m)	10	11.8
Safety factor	1.61	1.74
Extraction ratio (%)	60.94	57.02
Barrier pillar W_B (m)	50	50
w/h ratio	2.90	5.40
Panel width P (m)	48	49.5

Step 2: Calculating AMZ dimensions

$$L_{AMZ} = P - B \quad (1)$$

$$W_{AMZ} = 5\sqrt{H} \quad (2)$$

Step 3: Calculating development load

$$D_L = \gamma H(P - B) \times (5\sqrt{H}\ ,\ \gamma \text{ - mean unit weight of overburden } (25KN/m^3) \quad (3)$$

Step 4: Calculating the maximum front abutment load based on the abutment angle concept and its distribution in panels.

$$F_L = 0.9\gamma[(-L^3_{AMZ}/24)(\tan\beta) + HL^3_{AMZ}/4] \text{ :Sub-critical panel} \quad (4)$$

$$F_L = 0.9\gamma[(H^2_{LAMZ}/2)(\tan\beta) - (H^3/3)(\tan\beta)^2] \text{ : super-critical panel} \quad (5)$$

Panels are either classified as sub-critical or super-critical based on width to depth ratio (P/H).

Sub-critical panels: ($P/H < 2\tan\beta$)

Super-critical panels: ($P/H \geq 2\tan\beta$)

Step 5: Calculating the side abutment load. This step was adapted from (ARMPS help, 2008) that accounts for side abutment loads between the AMZ and barrier pillars.

$$S_L = [HW_{SG}/2 - W^2_{SG}/8(\tan\beta)]^{\gamma} \times W_{AMZ} \times R \quad , W_{SG} - \text{side gob width} \tag{6}$$

$$S_L = H^2/2(\tan\beta)^{\gamma} \times W_{AMZ} \times R \quad , R = [(9.3\sqrt{H} - (W_B + (B/2)))/9.3\sqrt{H}] \tag{7}$$

Step 6: Determining the maximum load on AMZ

$$D_L + F_L + S_L \tag{8}$$

Step 7: choosing the number of entries is governed by the productivity of the mine. According to [11], mines with a high production rate can have up to seven entries. The minimum is requirement is 4; 1 intake, 2 outtakes, and 1 to accommodate the conveyor belt.

Step 8: Calculating the load bearing capacity of AMZ

$$T_{LC} = (N_P \times S_P \times w^2) \times 10^3, \tag{9}$$

$$N_P = [W_{AMZ}/(w+B)] \times (N_E - 1), \; N_E - \text{number of entries (minimum 4, maximum 7)} \tag{10}$$

Step 9: the selection of the safety factor relies on the depth of the mine and Coal Mine Roof Rating (CMRR). Maloma Colliery's rating ranges from 40-60, hence this paper relies on the pre-determined safety factors in the two production sections.

Step 10: determines the pillar width by using the safety factor, then solving the previous step

$$T_{LC} = SF \times M_L \tag{11}$$

Step 11: correction of pillar width to avoid pillar failure. A pillar width to height ratio greater than four alleviates that risk. If the ratio is less than four, 0.5m is added to the pillar width each time until an appropriate value is obtained.

Step 12: The final calculations are based on the number of pillars and the panel width. If the width difference is less than (w + B), then the optimum pillar width is given by;

$w_p = w + \Delta/(N_E - 1)$ (12) , w_p – optimum pillar width (12)

$\Delta = L_{AMZ} - [(w + B) \times (N_E - 1)]$ (13)

Otherwise, depending of the value of Δ, the number of entries is added and steps 8 to 12 are repeated.

Productivity

Most underground coal mine face three major production shortcomings; poor pull per blast, haul distance of load haul dumpers (LHDs), and roof bolting times. However, Maloma Colliery only struggles with the movement of LHDs and roof bolting. The standard pull per blast in coal mining is 1.5m, but the pull per blast here is 1.8m. All these parameters are critical in underground coal mining operations. Table 4 represents mining parameters at Maloma Colliery.

Table 4: Underground working parameters

Parameters
Pull per blast: 1.8m
Tonnage per blast:36
Number of blasts per shift: 13
Number of LHDs per section: 1
Haulage distance: 66m
LHD cycle: 4min
Number of KBCs (roof bolters) per section: 1
Bolting time per working face: 30min

RESULTS AND DISCUSSIONS

The results from the proposed method based on the essential data displayed in table 3 are summarized in Table 5.

Table 5: Proposed method values

Parameter	Section 415	Section 433
L_{AMZ}	42m	43.3m
W_{AMZ}	46.6m	52.4m
D_L	$4.26x10^6$ KN	$6.24x10^6$ KN
F_L	$4.77x10^5$ KN	$8.00x10^5$ KN
S_L	$4.59x10^4$ KN	$7.20x10^6$ KN
M_L	$4.77x10^6$ KN	$7.2x10^6$ KN
N_E	7	7
w_P	9.1m	10.3m

Comparing the results from table 5 to results obtained through the Analysis of Retreat Mining Pillar Stability (ARMPS) software which was specifically designed to simulate retreat mining conditions, they are similar. Pillar dimensions that are obtainable without compromising stability for section 415 are (9.1m x 9.1m) minimum and (10.0m x 10.0m) maximum. Section 433's dimensions are (10.3m x 10.3m) minimum and a maximum of (11.8m x 111.8m). To minimize the potential of severe hazards, the stability factor for both sections is 1.8 as governed by safety regulations.

Meanwhile, table 6 shows the significant changes that could be implemented at Maloma to improve productivity just by reducing the haul distance. For better efficiency, LHDs should not exceed 18m haulage distance between the working face and the discharge loaders.

Table 6: Time taken for different haulage distances (sec)

Parameter	Current haul distance(66m)	Haul distance of 50m	Haul distance of 33m
Bucket loading	45	45	45
Movement to loader	150	113	75
Bucket discharge	30	30	30
Movement to working face	90	68	45
One cycle of operation	315	256	195

Assuming a 12 cycle operation (1 hour);

Time (sec)	66m	50m	33m
Total coal loaded	3780	3072	2340
Saved		708 (12min)	1140 (19min)
Additional cycles		3	6

The data in table 6 shows that in one hour, productivity can increase from 12 cycles of operation to 18 cycles, indicating a 50% improvement if the haulage distance were to be reduced by half. The new reduced distance would be within the acceptable 18m haulage distance per shift. The reduction of roof bolting would also yield similar results. However, if coal production growth rate is slower than the improvement in tons per labor shift, that leads to a decrease in the demand for manpower [12]. Mine productivity should be measured by incorporating all resource factors that are applied in the production process.

Improved Recovery

Generally, the question of improving recovery from coal exploitation can be addressed via three approaches that are considerably different, depending on whether one is tackling the problem from a geological, an economic or technical perspective [13].

I. Improving volumetric extraction: This approach is largely dependent on the thickness of the coal seam. It is a technical approach that quizzes how the seam can be best worked so to leave as little as possible behind. The available mining routines and mine design methods play a pivotal role in this approach. Four (4) basic reviews are conducted; working method that yields the highest recovery, proper safety factors, production planning, and embracing mining systems that are satisfactory for the ground conditions.

II. Improving economic extraction: It is indisputable that the economic viability of any mine is an important aspect the entire mining operation. Hence, costs can never be allowed to be to such a point that the mine yields a substantial loss. Therefore, economic extraction surpasses volumetric alterations that are dependent on technical considerations. This approach relates to the costs of mining and market demand.

III. Improving geologic extraction: Geological extraction factors are dependent on technical and economic factor, but ultimately geologic extraction improvement is the one that matters the most. Through this approach, the assumption is that technical and economic factors have been maximized, and that the coal deposit is categorized as workable reserves. Feasible mining and marketing methods have to be established.

With reference to Maloma Colliery, the goal is to improve the volumetric and geologic extraction through evaluation of the suitability of the proposed pillar design method for retreat mining. According to the results, partial recovery of the current pillars by trimming the pillars is possible. However, the increase in recovery is not that significant.

CONCLUSION

The decline in coal mine productivity in Eswatini is a combination of various elements that include lack of research and development, insufficient skilled labor, slow capital growth, and aging machinery and equipment. The quality of labor is vital, especially when it comes to pillar design and the safety of underground personnel. The proposed method in this paper,

offers a slight improvement in the coal recovery rate. There is a 1.4% and 2.1% improvement in sections 415 and 433 respectively. Increased production could potentially improve the country's exports and revive the ailing economy.

References

[1] Thomas, G., P. (2012). Swaziland: Mining, Mineral and Fuel Resources.

[2] Barry, J., J. (2014). The Mineral Industry of Swaziland.

[3] www.maloma.org/operations/mining. Accessed 8 May 2019

[4] TOPP, V., Soames. L., Parham, D., Bloch, H. (2008). Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation.

[5] Womack, J., P., Jones, D., T. (1996). Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. Simon & Schuster, New York.

[6] Ghasemi, E., Shahriar, K. (2011). A new coal pillar design method in order to enhance retreat mining in room and pillar mines.

[7] Bieniawski, Z., T. (1981). Improved design of coal pillars for US mining conditions

[8] www.pubs.scie.pub.com. Accessed 15 May 2019.

[9] Tulu, I., B., Heasley, K., A., Mark, C. (2010). A comparison of the overburden loading in ARMPS and LaModel.

[10] BCS, Incorporated. (2002). ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROFILE OF THE U.S. MINING INDUSTRY.

[11] Hartman, H., L. (19870. Introductory Mining Engineering. John Wiley & Sons. New York.

[12] Szwilski, A., B. (1987). SIGNIFICANCE AND MEASUREMENT OF COAL MINE PRODUCTIVITY.

[13] King, P. (1980). Improved extraction of coal.

花蓮縣鄉鎮市一般廢棄物資源回收率差異性之基礎研究
Preliminary Study of Resource Recovery Efficiency for Generat waste in Hualien County

胡紹華 [1] 丁沛騰 [2]

Shao-Hua Hu [1] Pei-Teng Ting [2]

1 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 教授

Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resource Management, Institute of Dahan Technology

2 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 碩士生

Master Degree Student, Department of Civil Engineering & Environmental Resource Management, Institute of Dahan Technology

摘 要

本研究分別針對全縣 13 鄉鎮市(10 個採樣點)進行樣品採集，進行資源回收物排出及物理組成分析工作。主要目的在於透過縝密之採樣規劃與分析結果，建立垃圾之基本特性資料，藉以掌握垃圾性質之變動趨勢，做為未來廢棄物清理之規劃、處理設施之功能評估、處理操作管理改進、管理政策擬訂、長期質量與特性變化評估，以及分類、回收與減量策劃等依據。

根據本次研究結果顯示，此次採樣單位容積重數值為介於 216(Kg / M^3)、230(Kg / M^3)，平均值為 223(Kg / M^3)。各鄉鎮市濕基可燃物百分比數值介於 84.1%~94.8%(平均 89.9%)，以瑞穗鄉 94.8%為最大值、花蓮市 84.1%為最小值。濕基不可燃物百分比數值介於 5.2%~15.9(平均 10.1%)，以花蓮市 15.9%為最大值、瑞穗鄉 5.2%為最小值。乾基可燃物百分比數值介於 82.7%~94.7%(平均 88.7%)，以瑞穗鄉 94.7%為最大值、花蓮市 82.7%為最小值。乾基不可燃物數值百分比介於 5.3%~17.3%(平均 11.3%)，以花蓮市 17.3%為最大值、瑞穗鄉 5.3%為最小值。在可回收物比例部分，紙類(包含紙容器、鋁箔包、紙張)之含量介於 7.9%~19.4%(平均 13.8%)、塑膠類(塑膠容器)之含量介於 4%~19.7%(平均 10.4%)、金屬類之含量介於 0%~3.6%(平均 2.5%)、玻璃類之含量介於 0%~6.5%(平均 2.9%)、乾電池類之含量介於 0%~0.7%(平均 0.2%)，顯示部分鄉鎮在資源物分類上尚有進步空間，從分析數據可以建立破袋稽查依據，藉以提升花蓮縣之資源回收率，並降低垃圾清運量。

關鍵詞:一般廢棄物、物理組成、資源回收

壹、前 言

一般廢棄物乃是人類日常生活活動之產物，其產出量及內容物隨著生活型態、消費習慣及人口組成而有所不同。近年來，政府機關為解決垃圾後續處理問題，均積極致力於推動多元化廢棄物處理政策，以期望能使垃圾問題能確實達到圓滿合理的解決。更以整體之資源永續再利用的觀點著手，強化在廢棄物源頭減量措施，減少廢棄物的產生，同時將可再利用之資源，分類回收並加以重複循環再利用及提倡綠色產品與綠色消費，進一步建構「垃圾全分類、零廢棄」之資源循環型社會。

花蓮地區的人民日常生活產生的一般生活垃圾量，約是每人每日0.97公斤(全年約11.6萬公噸)。乾基垃圾中可燃份約佔80 ~ 90 %，其中含水量佔45 ~ 49 %。垃圾的物理組成包含，紙類佔26 ~ 37 %、塑膠類佔17 ~ 21 %、金屬類佔4 ~ 8 %、玻璃佔4 ~ 8 %、廚餘佔10 ~ 35 %。估計可回收物質佔約30 ~ 50 %，故應充份地回收資源化，並達減量的功能。在分類回收的同時，不適焚化的(如 PVC 塑膠類)、有毒害的物質(如水銀電池、日光燈管、下水道污泥)，也一併分類回收，集中後另予妥善處理。

為了解花蓮縣13鄉鎮市垃圾分類現況，本研究針對各鄉鎮市公所收運之垃圾進行，資源回收物排出組成及含量分析工作，採樣對象為各行政區具代表性之隨機1個車次清運車輛載運之垃圾，進行垃圾物理組成及資源回收比例分析工作(計13個點次)，分析項目需包含可燃物(紙類、塑膠類等)、不可燃物(玻璃、陶瓷等)。由於垃圾性質的複雜性及垃圾資源物質回收工作的推動，故建立花蓮縣長期垃圾性質之基本資料是有其必要性的，除了建立廢棄物基線資料外，尚可作為廢棄物清理之規劃、處理設施之功能評估、處理操作管理之改進、管理政策之擬訂、長期質量與特性變化之評估，以及分類、回收與減量策劃和污染防治設計之依據。

貳、實驗方法

2.1. 、採樣工作規劃

本研究針對花蓮縣13鄉鎮市垃圾採樣與物理組成分析，係依據環保署公告「一般廢棄物(垃圾)採樣方法」(NIEA R124.00C)，分別於花蓮市、吉安鄉、秀林鄉、新城鄉、壽豐鄉、萬榮鄉、中區掩埋場(鳳林鎮、豐濱鄉)、瑞穗鄉、玉里鎮、羅山轉運站(富里鄉、卓溪鄉)等9處衛生掩埋場及1處轉運站進行垃圾採樣分析(計13個點次)。於採樣工作前針對各行政區挑選具代表路線，係指非專收學校、市場或特定機構垃圾，且清運路線為主要都會型態（如商業區、住宅區、住商混合區等）之垃圾清運車輛。並以隨機選定之方式，隨機抽取一條具代表性之車輛進行採樣，並於各採樣現場依環保署「一般廢棄物(垃圾)單位容積重測定方法－外觀密度測定法積重」(NIEA R125.01C)實驗進行分析工作。並於當日將採樣後之生垃圾帶回實驗室，依據環保署公告「一般廢棄物（垃圾）檢測方法總則」(NIEA R125.02C)進行乾溼基物理組成分析。

2.2. 、垃圾採樣方法

垃圾採樣方法樣品採集視採樣地區機具設備狀況，將具代表性之抽樣車輛於選擇後，均先詢問該車輛清運路線，排除不具代表性路線車輛後，每車次傾卸約三分之一垃圾量(約 1 公噸)，重複進行四分法步驟，捨棄一半直至所剩垃圾量約 200 至 300 公斤之樣品量為止，作為初步樣品之母體，之後將所有垃圾袋進行破袋，經四分法縮分取得最終樣品約 0.3 立方公尺容積之垃圾量，並進行單位容積重之三重複分析。樣品在現場測定單位容積重後，符合標準偏差範圍之樣品以塑膠袋或容器密封後， 於24小時內送回實驗室內進行物理組成分析。

2.3. 、垃圾物理組成分析方法

2.3.1. 單位容積重

本研究之單位容積重係參照環保署「一般廢棄物(垃圾)單位容積重測定方法－外觀密度測定法積重」(NIEA R125.01C)進行分析工作，可做為日後清運及儲存等相關規劃之依據。計算公式如方程式(1)

$$\text{單位容積重}(\mathrm{KG}/M^3) = (W_1 - W_0) \div V \cdots\cdots\cdots(1)$$

W_1:試驗與容器總重(KG)

W_0:容器重(KG)

V: 容器體積$(0.1M^3)$

2.3.2. 物理組成分析

樣品之物理組成包括濕基及乾基物理組成，為避免樣品干擾產生，濕基物理組成分類應於採樣現場進行，以減少因水分流失或吸收造成的誤差。然基於考分量採樣地點之配合性及現場分類之困難性，本研究之濕基物理組成類，係將樣品在現場測定單位容積重後，將樣品以塑膠袋或容器密封後，於 24小時內送回實驗室內，並立即進行物理組成分析。各類物理組成之分類依環保署固體廢棄物基本實驗手冊規定，垃圾物理組成共分成 11 類：1.紙類；2.纖維布類；3.木竹、稻草、落葉類；4.廚餘類；5.塑膠類；6.皮革、橡膠類；7.其它可燃物類；8.金屬類；9.玻璃類；10.陶瓷類；11.石頭及 5mm 以上之土砂類將上述樣品置於 105±5℃之烘箱中乾燥 2 小時候取出放至室溫，分別以適當天平稱其重量即為乾基重量。

叁、結果與討論

3.1 單位容積重

本研究所得各鄉鎮市垃圾之單位容積重。各鄉鎮市單位容積重數值介於138kg/m^3~226 kg/m^3 (平均176.3 kg/m^3)，其中以鳳林鎮226 kg/m^{3}為最大值、新城鄉138 kg/m^{3}為最小值。此一研究結果顯示較環保署公告之民國104年花蓮地區單位容積重平均值(193.7 kg/m^3)低，主要原因為本次採樣之樣品中塑膠、紙製餐具等質量輕且體積大的垃圾居多，為單位容積重有極大差異的原因。

3.2 物理組成分析

本研究採樣地點為花蓮縣13鄉鎮市，圖1為本次採樣各鄉鎮市乾基可燃物數值介於82.7%~94.7%(平均88.7%)，以瑞穗鄉94.7%為最大值、花蓮市82.7%為最小值。此一研究結果顯示較低於環保署公告之民國104年花蓮地區可燃物數值(93%) ，推測其原因為不可燃物中金屬類、玻璃類，兩者佔不可燃物總體平均之5.4%，因此若能將金屬類及玻璃類垃圾有效資源回收，垃圾量定能大幅的減少。可燃物中又以紙類(14.3%-30.2%)、塑膠(17.3%-34.8%)、廚餘(12.7%-31.5%)三種組成所占比例最高。

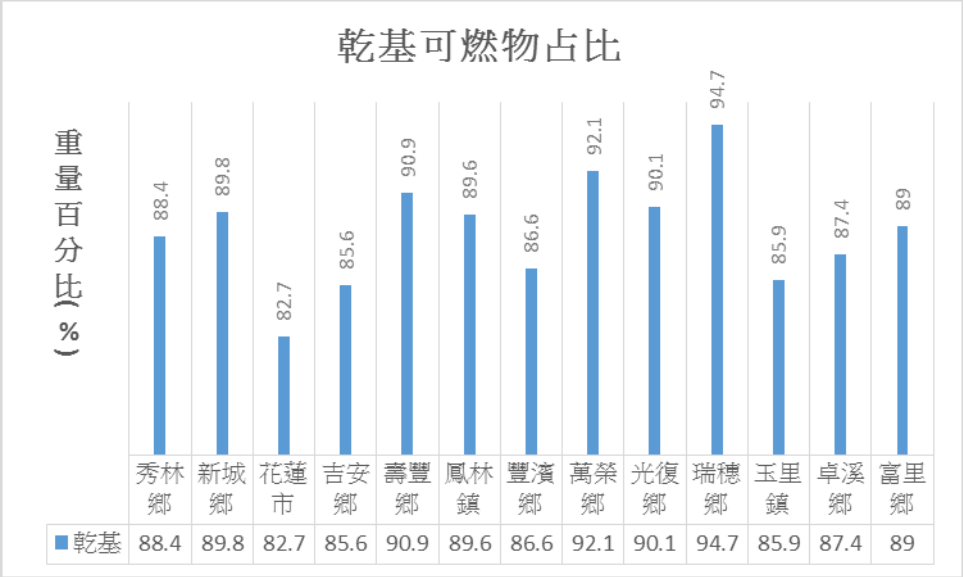


圖1.各鄉鎮乾基可燃物比率

如圖2各採樣地點之紙類佔有率介於2.7%~9.9%(平均5.4%)、鋁箔包佔有率介於0%~1.4%(平均0.6%)、紙容器佔有率介於3.9%~16%(平均7.1%)、紙尿布佔有率介於4.9%~16.9% (平均8.7%)，由以上數據可發現，若將紙尿布及其他紙類衛生製品歸另做分類，會使紙類於物理組成之比率大幅降低。而經本研究發現可回之紙容器所佔比例不少，顯見民眾對於紙容器回收觀念尚未落實。

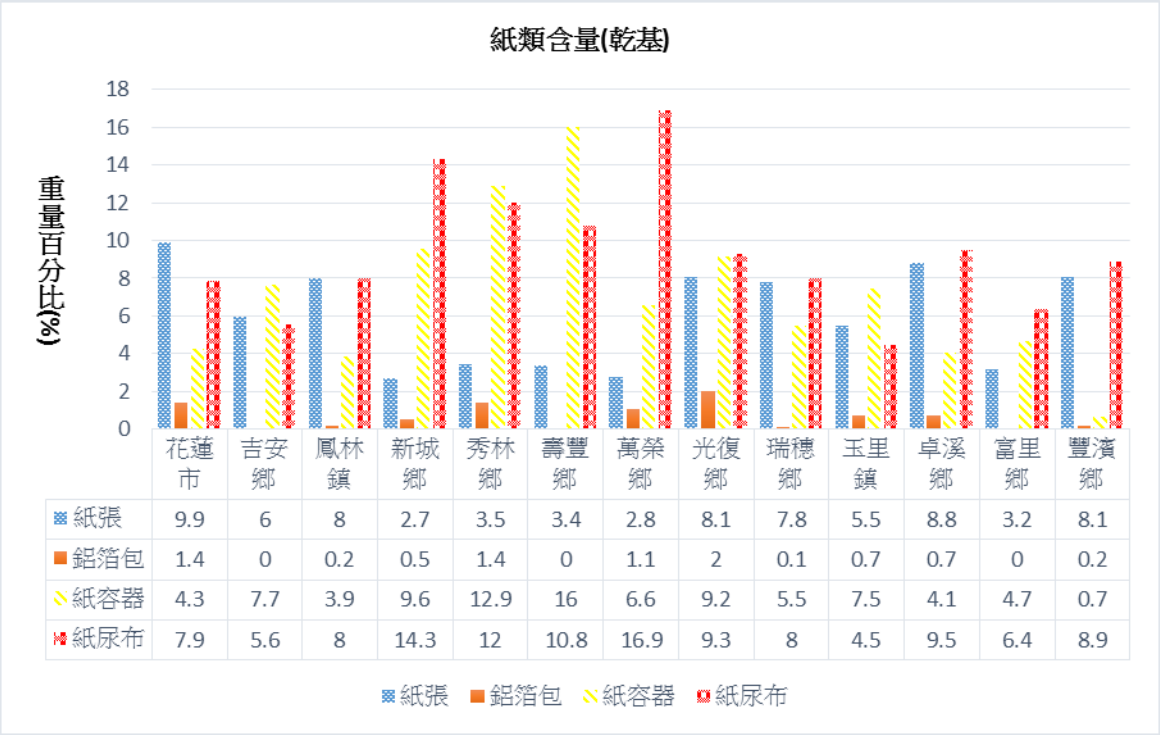


圖2.各鄉鎮紙類組成比率

垃圾中常見塑膠包括七大類分別為 PVC、PE、PP、PET、PS(保麗龍)、PS(未發泡)等材質之塑膠容器，進行物理分類，而非前述種類之塑膠則歸類為塑膠袋、其他塑膠類。圖3為各採樣地點所採集之塑膠類組成比例，各採樣地點之塑膠容器之含量介於3.8%~19.7%(平均9.9%)其中瑞穗鄉高達19.7%遠高於平均值之原因為採樣當日發現大量尿袋(PVC 材質)、塑膠袋含量介於2.6%~7.9%(平均4.6%)、其他塑膠含量介於2.9%~18.4%(平均10.2%)，由以上數據可發現，可回收塑膠容器所佔比例不少，若能確實回收必能使物理組成比例大幅降低，另前述尿袋若屬醫療院所排出，應加強稽查所屬醫療機構之廢棄物流向，避免與一般廢棄物混合。

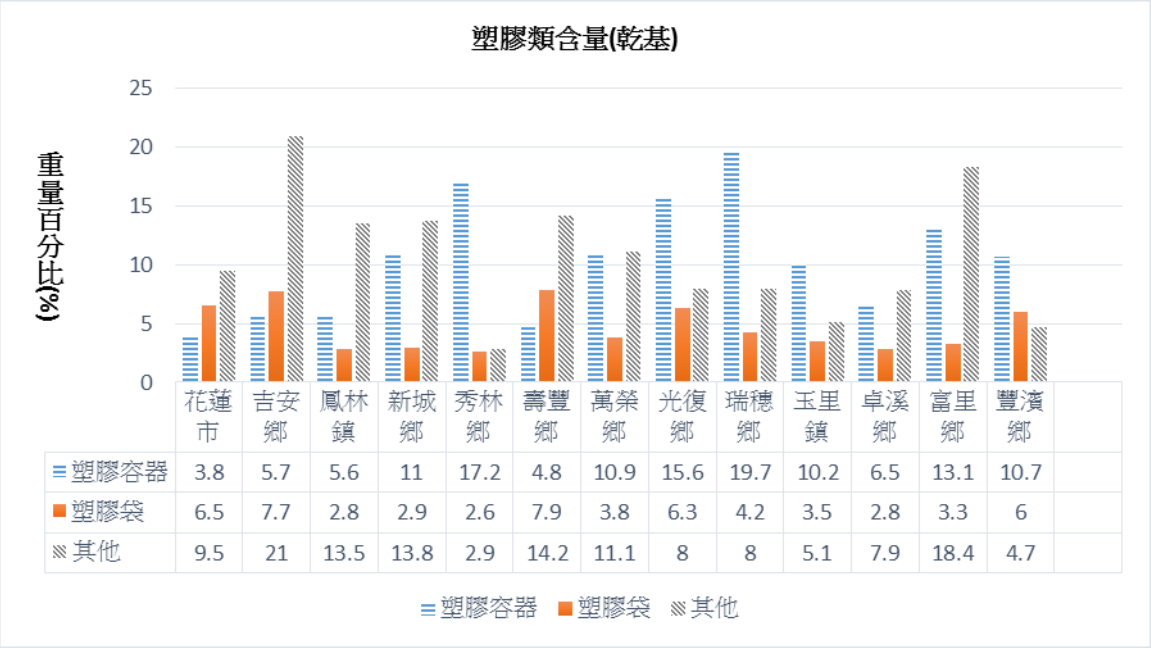


圖3.各鄉鎮塑膠組成比率

圖4為各採樣地點所採集之廚餘類組成比率，各採樣地點之養豬廚餘之含量介於4.2%~12.6%(平均6.8%)、堆肥廚餘之含量介於6%~15.3%(平均11.3%)，由以上數據可發現，廚餘平均比例佔總物理組成的19.1%，其佔比頗為驚人。尤其本次採樣發現堆肥廚餘多為文旦皮(季節性水果)，若能有效去化廚餘定能使垃圾容積大幅減少，以降低本縣垃圾發生量，從而提升資源回收率。

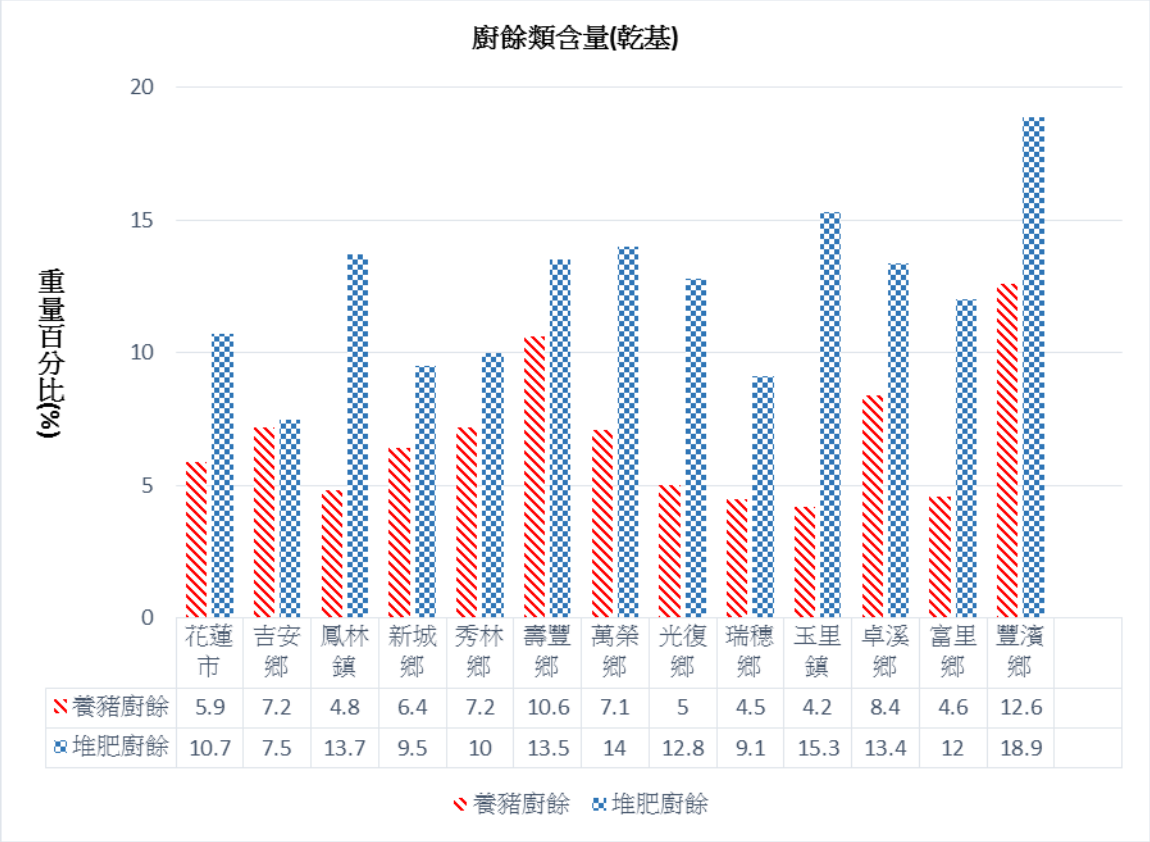
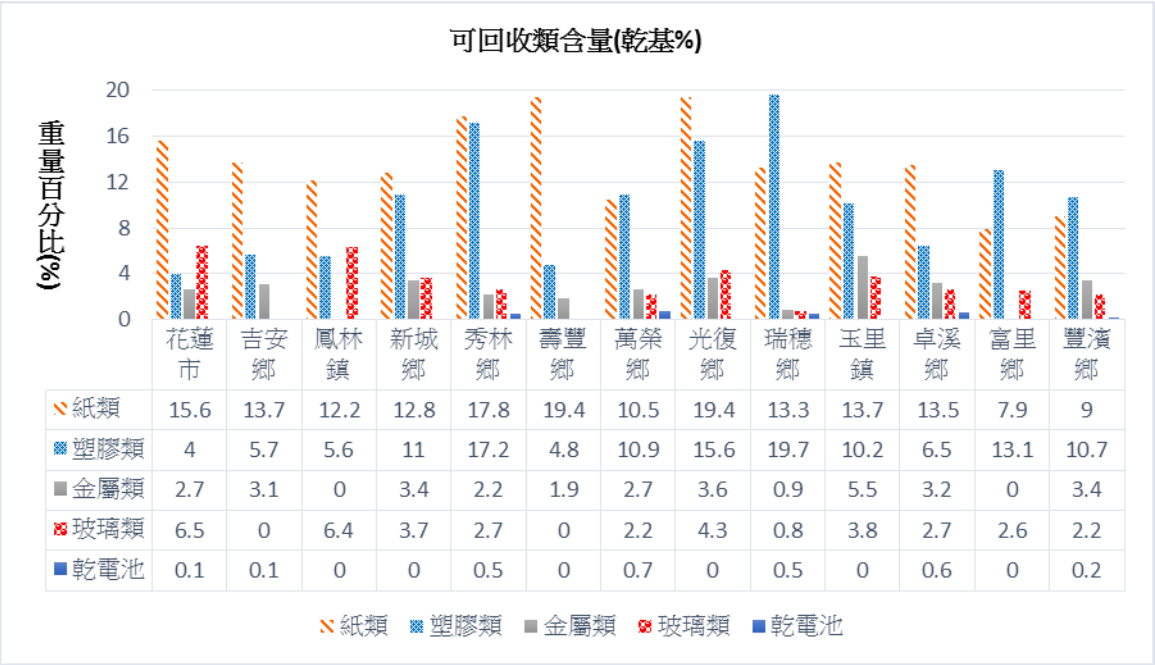


圖4.各鄉鎮廚餘組成比率

分析花蓮縣13鄉鎮市之垃圾組成含回收物之比列如圖5，資源垃圾如紙類(包含紙容器、鋁箔包、紙張)之含量介於7.9%~19.4%(平均13.8%)、塑膠類(塑膠容器)之含量介於4%~19.7%(平均10.4%)、金屬類之含量介於0%~3.6%(平均2.5%)、玻璃類之含量介於0%~6.5%(平均2.9%)、乾電池類之含量介於0%~0.7%(平均0.2%)，由以上數據平均加總發現，可回收物佔總物理組成29.7%，若再加上廚餘類平均值18.1%將高達47.8%，如能確實作好資源回收及廚餘回收，就能節省各鄉鎮市運輸之成本及提高掩埋場之使用年限。



	花蓮市	吉安鄉	鳳林鎮	新城鄉	秀林鄉	壽豐鄉	萬榮鄉	光復鄉	瑞穗鄉	玉里鎮	卓溪鄉	富里鄉	豐濱鄉
紙類	15.6	13.7	12.2	12.8	17.8	19.4	10.5	19.4	13.3	13.7	13.5	7.9	9
塑膠類	4	5.7	5.6	11	17.2	4.8	10.9	15.6	19.7	10.2	6.5	13.1	10.7
金屬類	2.7	3.1	0	3.4	2.2	1.9	2.7	3.6	0.9	5.5	3.2	0	3.4
玻璃類	6.5	0	6.4	3.7	2.7	0	2.2	4.3	0.8	3.8	2.7	2.6	2.2
乾電池	0.1	0.1	0	0	0.5	0	0.7	0	0.5	0	0.6	0	0.2

圖5.各鄉鎮可回收物組成比例

肆、結論與建議

(1) 應以季為單位建立長期資料庫，以掌握垃圾物理性質趨勢，可做為廢棄物清理之規劃、處理設施之功能評估、處理操作管理之改進、管理政策之擬訂、長期質量與特性變化之評估，以及分類、回收與減量策劃和污染防治設計之依據。

(2) 應落實執行破袋稽查及加強觀念宣導，使民眾瞭解資源回收有其必要性，以達到環境永續之理念。

(3) 本計畫尚未將人口數、年齡、家庭戶數及分佈族群納入比對條件，未來若能加入比對，分析結果將能更為完善。取得相關數據後，以利建立本縣垃圾性質之基本資料。

(4) 廚餘廢棄物約佔一般家庭垃圾量15%-20%，此部份垃圾若能回收再利用，不但可以減輕垃圾處理壓力，更能減少垃圾掩埋場臭味與滲出水污染問題，以及垃圾焚化廠廢氣排放的問題，更能符合資源再利用與永續發展的環保潮流。

參考文獻

[1] 行政院環境保護署:「104-106年度一般廢棄物最終處置前組成採樣及分析工作委託專案計畫」

[2] 國研院政策中心政策研究指標資料庫科研資料組：「廢棄物與資源回收」。

[3] 黃馨儀(2006)：「不同區域與不同的資源回收政策下居民的資源回收行為意圖之研究-以台北市與高雄市為例」，國立高雄師範大學環境教育研究所碩士論文。

[4] 唐晨欣(2004)：「地區差異對垃圾量與垃圾政策之影響探討」，政治大學地政研究所碩士論文。

從礦山的開發到地景與生態資源觀光的機會—以理新礦區為例
The Opportunity of Mining Development to Landscapes and Ecological Resource Tourism – A Case from New Ideal Mineral Industry Corporation Site

魏本嶆 [1*] 蔡松育 [2] 林師模 [3] 胡紹華 [3] 蔡印來 [3]

Beng-Tsang Wei[1] Song-Yu Tsai[2]

Shih-Mo Lin[3] Shao-Hua Hu[3] Ying-Lai Tsai[3]

1 中原大學商學研究所博士候選人

Doctoral Candidate, PhD Program in Business

, Chung Yuan Christian University

2 大漢技術學院土木工程與環境資源管理所碩士研究生

Master student, Department of Civil Engineering & Environmental Resource

Management, Institute of Dahan Technology

3 中原大學國際經營與貿易學系 教授

Professor, Department of International Business, Chung Yuan Christian University

3 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 教授

Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resource

Management, Institute of Dahan Technology

3 大漢技術學院珠寶技術系 副教授

Associate Professor, Department of Jewelry Technology, Institute of Dahan Technology

* Corresponding author: n080337@hotmail.com

摘 要

從早期以迄於今日，台灣東部豐田礦區對於閃玉的開採，對台灣經濟的發展貢獻良多。然而 1974 年後，能源危機導致經濟不景氣，加上當時開採方式多使用炸藥開採，致使玉石內部產生裂隙，加工不易，成材率不高，品質參差不齊，同業間削價競爭，部份商家又將有裂隙之成品浸油處裡、銷售，使得整體信譽受損，種種因素導致玉石產業的沒落。直至 1981 年，其他國家閃玉礦因多採用露天開採，不同於台灣使用炸藥，成材率相對較高，且價格便宜，逐漸佔據市場；礦場考量開採成本、銷售通路、改為開採蛇紋岩，轉交為固定通路的中國鋼鐵股份有限公司做為助熔劑使用。

現行社會法規日漸趨嚴，以及環保意識抬頭，過去的開採模式已不適用於現今環境，基於理新礦業股份有限公司現所擁有該等礦物資源之礦區，且其聯外道路狀況在台灣所有的礦區條件下堪稱良好的條件，沿路的地景景觀具有特殊性與生態多樣性，再考量其文化價值及歷史意義，由史前玉石文化，日治時期開採石綿，中國石礦股份有限公司、理想礦業股份有限公司、理新礦業股份有限公司開採玉石由興而衰，既而開採蛇紋石，一脈相承。如何於礦區開發的同時，能兼顧對於地景景觀及生態資源予以規劃及重視，除對現代人追逐多元化的生態文化休閒旅遊提供觀光價值，並可帶來認知豐碩且知性的礦山地質地形之旅，如何因應資源開發與生態資源保育，所提供經濟開採與觀光價值之雙軌進行下，做有效率的規劃及運作，為本文主要探討的目標。

關鍵詞：蛇紋岩、閃玉、礦區活化、礦區觀光、地景景觀、生態多樣性

壹、前 言

從古迄今，臺灣玉（閃玉,Nephrite）一直在臺灣發展史上佔有重要的歷史與經濟地位。臺灣玉主要產區為花蓮縣之豐田及萬榮地區的荖腦山區，而臺灣玉更可以追溯至今5,500年前，由大坌坑文化、卑南文化、全臺灣，甚至在澎湖也有其加工成品之蹤跡。臺灣玉於1961年開始生產，直至1965年才由中國石礦公司正式生產，其盛產期應在1975年，經設計、切割、研磨、或輔以金工加工，製作成各種裝飾品及工藝品，更有精緻與價值極高的玉石創作作品，為東部帶來繁榮的經濟活動與就業機會。而臺灣玉根據Harlow等人於2007及2014年研究，其成礦與隱沒帶和蛇紋岩系中之蛇紋岩體相關，Yui等人於2014年也具體描述臺灣玉和圍岩之接觸關係，印證蛇紋岩構成了臺灣玉主要的圍岩岩體，於1980年臺灣玉產量之劇降、工業原料如蛇紋石需求之殷切，蛇紋岩之生產，成為礦業公司主要的生產對象。

蛇紋岩之開採，由於礦體大，且市場需求量大，無法以臺灣玉所採用之坑內開採方式作為其主要採掘模式，乃以露天開採為主。時至今日，由於時空環境之變遷，包括用地之取得、環境保護議題、位處保安林及水質水量保護區內等種種因素，未來大規模之開採條件可能將朝趨於嚴苛，現有之況區如何因應及尋求永續發展，是所有礦業權者必須，且需迫切面對的議題。

緣於理新公司係所有臺灣的礦區交通條件堪稱良好的，且沿路的地景景觀具有特殊性與生態多樣性，乃參考國外礦山作法，考量如何於礦區開發的同時，能兼顧對於地景景觀及生態資源之多元利用予以規劃及重視，啟動了本文的探討的目的。

貳、文獻探討

對於聯合國世界遺產教科文組織（United Nations Education Scientific and Cultural Organization, 簡稱UNESCO）的運作，已於1971年將人類、環境及人類與環境的相互作用等三要素作為一個研究題目，展開人與生物圈計畫(Man and Biosphere Programme, 簡稱MAB)，因此，與生態環境資源之開發與利用，也納入該計畫中去實踐，結合各個國家保護生態系及其生物之多樣性以圖天然資源之永續利用。典型案例是波蘭南方的一個Bochnia鹽礦，已自1995年納編為充滿健康與觀光旅遊的極佳去處（Janusz WIEWIÓ RKA et al., 2009）[1]，該篇從地質與探勘及保存及保護的觀點，將一個深達200 ~ 400公尺深、200公尺厚度的鹽礦礦區之採掘遺跡，透過UNESCO認定後作為礦區遺跡（mining heritage），並且在其歷史空間上賦與其他觀光、文化意涵，創造每年超過140, 000旅客的觀光及在地消費收益。

另一個較極端的案例，是位於西班牙東南方的卡塔赫納(Cartagena) 之La Unión金屬礦區（Héctor M. Conesa et al., 2008）[2]，該礦區曾是過去歐洲重要的採礦活動區位，也為該地區帶來相當重要的經濟活絡來源，然隨著時過境遷，環境議題產生，西班牙政府曾於1955年因礦方傾倒廢棄土石，而下令該礦區停止採礦作業，而形成廢棄工業區，然該廢棄土石仍繼續受大自然環境之侵蝕，並注入附近瀉湖區，因此該礦區雖具有歷史與文化遺跡之觀光旅遊價值，然亦須考量環境之持續汙染面所帶來的風險。

另一個案例，也是歐洲最大的露天採礦褐煤礦區之一(Neele Larondelle, Dagmar

Haase , 2012) [3]，為位於萊比錫(Leipzig)以南的德國東部的礦區。該研究係使用生態系統

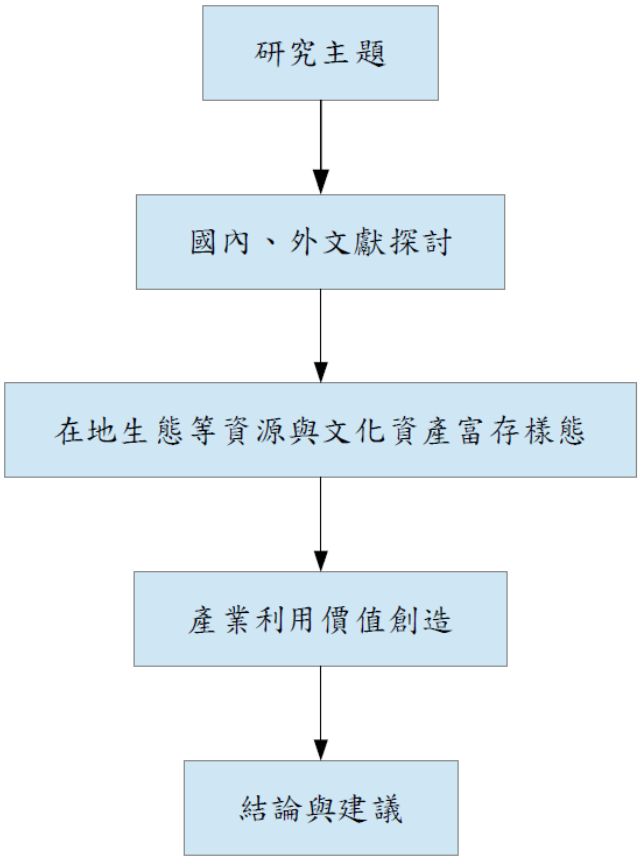
服務方法(ecosystem services approach)評估採礦活動在100年期間的影響，涵蓋採礦前和採礦後的各種狀況。該文客觀的以供水量、氣候規則、生物多樣性、休閒娛樂、當地特有作物生產等做為評估因子，藉以觀察露天採礦行為對周遭生態環境的整體影響，該研究提供了本文對於開採前與後對生態環境資源之影響的考量元素。

一篇依據《文化資產保存法》中之遺址、文化景觀、自然地景(包括大氣、水資源、土地資源(地質及土壤、岩石圈)及生物圈景觀)等元素與資源，期以嚴謹步驟、實地調查，以符合國際地質聯盟(IUGS)建立地球地質保育位址資料庫建立之基礎工作，來探討建立花蓮縣特殊地景與保育之可能性(李思根、鄧國雄、黃麗津, 2007) [4]，也提供了本文探討方向的基礎。

參、研究方法

本文之研究方法，將參考國內外相關文獻或案例、結合理新礦業股份有限公司（簡稱理新礦區）在地生態與礦物賦存特色，導入文化資產保存的特有景點，創造在地產業（如觀光、休閒旅遊、知性生態教育、文化資產保存之活化與利用）資源等多面之利用價值，突顯本文之重點研究主軸與方向。

本文之研究流程請參考下圖：



圖一　本文之研究流程

肆、理新礦區所蘊藏之資源

本文所探討之理新礦區之溯源，與1932年日人於荖腦山發現之石綿礦及後續之開發為戰略物質有關，並經礦區礦權之更迭與移轉，於1956年由「中國石礦股份有限公司」接手，再於1968年依據礦業法規定，分割為「理建礦業股份有限公司」與「理想礦業股份有限公司」，而「理想礦業股份有限公司」再於1978更名為「理新礦業股份有限公司」。

理新礦區位於花蓮豐田區，在附近的礦場中，無論從蛇紋石、閃玉的礦量(可採量)預估，均是甚高的：分別為蛇紋石礦81,972萬公噸、閃玉礦362,700公噸(臺灣省礦物局，經部部礦業司，1994) [5]，由於本研究之理新礦區早期以蛇紋石礦之露天開採(Open-Pit mining)為主，然隨著環保意識之抬頭，以及環境影響評估之困難，理新礦區之露天開採活動也受到影響，而從閃玉資源分布角度來探究，坑內開採之可行性更高，因此，理新礦區已朝向坑內開採做採礦布置規劃，與協調租地的取得。

從另一角度觀察，政府為對豐田閃玉資源賦存之調查(臺灣省礦務局，1983) [6]，曾進行以上所述：於豐田地區之探巷工程，總共進巷長度為835公尺、並進行鑽探工程(4個鑽井共計鑽探345公尺)，在構造複雜、從環帶構造、構造趨向、褶曲、斷層及節理下做地質調查，發覺軟玉分布於環狀中心，四周有滑石圍繞為其特徵，而區域內總共7層軟玉的賦存，增加了未來開採的複雜度與掘進及捨石堆置的成本。

從以上所述的地質與地層及成礦環境與結構，知悉該地區探勘環境之複雜，若干早期的開採坑口位置也難以尋覓。然由於過往也曾經以坑內開採的經驗，原則上繼續坑內開採規劃與實作並不困難，倒是從已開採過的若干易於抵達的坑內進巷觀察，現有採掘跡確屬紊亂，是否能將進巷所留下之記錄，搭配近年來學術單位投入研究(如國立臺灣海洋大學地球科學研究所陳惠芬教授及其研究團隊，多次前往礦區從事研究時，所發現閃玉接觸帶的圍岩所常見之角礫岩組織及蛇紋岩體中常見明顯擦痕構造(陳惠芬等，2017) [7])與實際礦山測量、以及臺灣省礦務局於1983年鑽井，所留下的岩芯存放於台中自然科學博物館，若能做一通盤性之比對，或許可以進一步掌握該具潛能的礦區閃玉礦脈之實際走向與開採規劃。基於上述論點，理新礦區重新進行坑內開採位置之實測、坑內開採計畫之規劃及布建，已掌握坑內主要開採進巷及施工方式，在可預見之未來，如何有計畫性地開採所賦存之軟玉礦，實已不成問題。

伍、地景與生態環境及資源

地景(地形與景觀之合稱)的特殊性，與當地的地質關聯性極高。而花蓮的地質構造，大多為變質之大南澳片岩、安山岩質集塊岩與灰黑色泥岩礫石層為主。而行政院農業委員會對於特殊自然地景及地質地形現象之登錄，與本研究區位較相關者為：

1. 地層：露頭出露良好，可供教學實習之地點。

2. 礦物：保存狀況良好，可供教學實習之地點，以及具區域性特殊重要性之經濟礦物及其開採遺跡。

3. 岩石：保存狀況良好，可供教學實習之地點，以及可做為區域地質演化之證據，具有高度學術研究價值者。

4. 文化地景：現代重要之文化地景者。

本研究區位位於花蓮縣白鮑溪橋南端，可沿白鮑溪南岸山麓之產業道路約 8 公里，可抵達礦區事務所，交通便利與路況相較於臺灣其他礦區實屬優良。該區於2006年1月間曾進行陸域生態調查並完成報告書：紀錄發現植物 123科 303屬 441種、哺乳類共 5目 10科 12種 15隻、鳥類 10目 27科 56種 351隻次、兩棲類 3科 種 55隻次、蝴蝶 5科 10亞科 47種 103隻次(黑潮生態股份有限公司，2011) [8]，從生態觀點，屬於豐富的區位；而沿途山陵線景觀遠眺花東縱谷的壯碩美麗、多重山勢橫跨的地形景觀、蟲鳴鳥叫聲、下雨過後的小型瀑布、偶遇山羌、莫氏樹蛙等，均形成豐碩的生態環境與賦存資源之美。

若從《文化資產保存法》第3條第1項第1款所規範的10大類有形文化資產中，與本研究區位有關之第9目「自然地景、自然紀念物」這2類屬於自然資產（Natural Heritage，或自然遺產、自然襲產），其定義為：「指具保育自然價值之自然區域、特殊地形、地質現象、珍貴稀有植物及礦物」，其中自然地景可再區分為「自然保留區」及「地質公園」2種，自然紀念物再區分為「珍貴稀有植物」、「珍貴稀有礦物」、「特殊地形及地質現象」3種，這些即為我國自然資產的代表。本區位是否屬於《文化資產保存法》所界定之範疇，並非本文主要探討方向，但若干生態環境條件，已具備些微符合的條件。

陸、賦存之文化資產保存之價值與活化利用

如前所述，自然地景(地形與景觀之合稱)，包括了：大氣、水資源、土地資源(地質及土壤、岩石圈)及生物圈景觀等資源，本研究區位雖具備以上條件，仍然不足以作為特殊地景所具備或要求之條件。在這樣的環境下，理新礦區礦業權人前些年即思索：礦區所在地之事務所為早期木結構建造者，已有多年建築歷史，可否依據《文化資產保存法》之規定申請為歷史建築(指歷史事件所定著或具有歷史性、地 方性、特殊性之文化、藝術價值，應予保存之建造物及附屬設施)。經多次透過與學者專家之溝通協調與前往現場勘查，遂於2018年10月間獲花蓮縣政府以107年10月9日府文資第107201202A號函通過，依據《文化資產保存法》第十八條之規定，將該具歷史價值之木造建築劃定為該法適用之歷史建築，為理新礦區跨出花蓮縣礦業史上能與文化資產結合的一大步，也彰顯了該事務所的歷史價值。

基於文化資產之有效利用，必須建立起足以活化與後續之維護與營運管理措施，乃分別進行：

1. 文化資產之活化：

   (1) 推動主體建築修繕之保存、維護、活化、紀錄文化資產保存現狀。

(2) 強化與學術機構之互動與交流，如地質與地形、閃玉與蛇紋石等礦床之調查研究、學術之知識與生態景觀與資源教育。

(3) 推動事務所作為花蓮縣生態屬性之遊憩與休閒知性觀光旅遊據點之一，藉以活絡花蓮地區之經濟活動。

(4) 作為國際學術研究與論文產出之重要歷史回顧與介紹基地，增加臺灣閃玉之國際學術研究能見度與知名度。

2. 對於後續之維護與營運管理措施之積極做法則包括：

(1) 持續建立資料庫，包括：相關資訊內容之數位化與影像化，含過去採礦歷史與足跡之呈現

(2) 未來坑內小規模進行閃玉與蛇紋石採礦作業串接，以推動礦業成為具學術價值之知性教育主軸。

(3) 每年視實際需要，編列預算進行事務所之補強及維修與典藏資料之更新作業。

(4) 爭取政府有關對於文化資產保存與活化利用之補助計畫與經費。

(5) 重要活動將以記錄建檔做保存及維護與展覽。

上述方向及目標，將為理新礦區提供一個嶄新的服務與營運機會。

柒、結果與討論：各類資源所創造的觀光與休閒遊憩機會

由於大規模之露天採礦已非未來環境之趨勢，因此理新礦區將規劃朝向坑內小規模之開採為營運模式。乃規劃善用礦區周遭自然生態與環境景觀優勢、具文化保存價值之木質事務所歷史建築、仍進行中的坑內開採、與從採礦遺跡中強化及建構成為礦業遺跡(mining industrial heritage)、提供國內外學術研究機構作為研究臺灣閃玉的基地之一，推動事務所與沿途生態景觀以作為花蓮縣生態屬性之遊憩與休閒知性觀光旅遊據點之一，藉以跨越採礦破壞環境景觀的偏見，並能達到活絡花蓮地區之特色經濟活動帶來相關的產業效益，此種多元資源之礦山開發與採礦遺跡之知性休憩與旅遊之活化與利用，是值得探究的方向。

捌、結 論

1. 經由地質、採礦、社會、考古學家等相關跨領域之學者專家與政府部門之投入，共同來關心類似理新礦區納為未來除繼續開採的經濟價值，更應思索如何導入可能之生態與環境之知性旅遊的可能性，創造東部產業價值。

2. 如何善用少數仍持續開發的礦區，推廣各礦區自有特色，從單純之採礦行為跨越到符合現代人生活型態所追逐之休閒遊憩、健康與知性旅遊的觀光產業，讓普羅大眾知悉：原來，採礦行為的背後，有其可以深入以知性、親自感受及了解礦業與生活的息息相關性，此為未來可以探討的方向。

3. 目前(含修正中)的礦業法並未將礦區觀光納入實施條款，由於礦產資源的開發與加工利用，是人類自古以來的重要經濟活動，在環境與開發行為可以共融的作為下，建議礦業主管機關應予以重視及納入修法的考量。

參考文獻

[1] Janusz WIEWIÓRKA, Krzysztof DUDEK, Józef CHARKOT, Małgorzata GONERA (2009). Natural and historic heritage of the Bochnia salt mine (South Poland). *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologi*a, 2009, 54 (1), 43 – 47.

[2] Héctor M. Conesa, Rainer Schulin, Bernd Nowack(2008). Mining landscape: A cultural tourist opportunity or an environmental problem? The study case of the Cartagena–La Unión Mining District (SE Spain). *Ecological Economics*, 64 (2008) 690 – 700.

[3] Neele Larondelle, Dagmar Haase (2012). Valuing post-mining landscapes using an ecosystem services approach—An example from Germany. *Ecological Indicators*, 18 (2012) 567–574.

[4] 張朝勝，許玲玉，李光中(2016)。賦存於文化與自然之間的臺灣閃玉礦業，臺灣鑛業，第68卷第4期，63-82。

[5] 李思根，鄧國雄，黃麗津(2007)。花蓮縣特殊地景與保育之研究，第一屆花蓮學研究學論文發表會，2007年5月。

[5] 臺灣省礦務局、經濟部礦業司(1994)。豐田礦業專業區規劃開發計畫成果總報告。

[6] 臺灣省礦務局 (1983) 。軟玉礦床探勘開發計畫研究報告(上、下冊) 。

[7] 陳惠芬、林佳穎、李毓和、方建能、羅光欄、林錦村(2017)。臺灣玉之前世今生，2017花蓮國際珠寶玉石學術研討會。

[8] 黑潮生態股份有限公司(2011)。花蓮縣秀林鄉理新礦業採取計畫環境影響評估生態調查報告書。

魚菜共生系統導入工廠再生水運用之研究
A Study of Factory Reclaimed Water Used with Aquaponics System

王偉驎 [1] 管彥婷 [2*] 張語芮 [3] 鄭曖昇 [4]

Wei-Ling Wang[1] Yang-Ting Kuan[2] Yu-Jui Chang[3] Ai-sheng Cheng[4]

1 國立勤益科技大學工業工程與管理系 助理教授

Assistant Professor,National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

2 國立勤益科技大學工業工程與管理系 學生

Student,National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

3 國立勤益科技大學工業工程與管理系 學生

Student,National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

4 國立勤益科技大學工業工程與管理系 學生

Student,National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

*Corresponding author:yanting8168@gmail.com

摘 要

臺灣是一個海島國家，但是可以利用的水資源可以說是相當的稀少，臺灣的雨水年降雨量約 2500 毫米，是世界平均雨水年降雨量的 2.5 倍，雖然雨量豐沛，但可以使用的水量卻僅為降雨量的 2 成，因為受到地理環境的限制和影響，有 3 成水量會因太陽曝曬而蒸發散失，有 5 成水量會因地勢陡峭、河流過短而直接流入海中，然而除了每個人的日常所需用水之外，像是農業耕種、製造生產、漁業養殖…等等也都需要用到大量的水。

在日與遽增的水資源需求壓力及有限的資源下，本研究利用綠色產業來創造水資源的循環，將自身產業製造出的再生水有效運用並回饋到產業上形成互助互惠的連結，而魚菜共生系統是一套可以結合環保與產業的系統，是一種循環經濟，本研究考量便當工廠生成的大量再生水與魚菜共生系統、便當工廠產業做最佳結合，使臺灣的整體水資源利用與發展更能產生永續性的利用。

關鍵字:循環經濟、魚菜共生系統、便當工廠、再生水

壹、前言

人需要食物，食物仰賴灌溉水；人口增加、當然對食物的需求也會增加，農業使用地球上大部分的水資源的原因也是一種供需的概念，大規模養動物等於必須栽種更多的植物，當然就需要更多的水來滿足需求，所以雖然農業用水佔大使用量也正是因為我們有所需求！

地球上有 97.5%是海水，其中佔 2.5%地表水和地下水能為人所用，但有極大部分都是我們無法取得的水，我們能飲用和使用的水僅僅只佔有 0.3%。而其中農業用水佔了所有可使用水的 70%，工業用水佔了所有可使用水的 22%，家庭用水只佔 8%，以數據顯示農業用水占最大宗，反而民生用水只佔區區 8%，很多人會想，只佔了 8%那是不是不用省水了！人人常說一句俗話：給人家魚吃，還不如教他釣魚的方法，意思大概是說：與其幫助別人，不如教會他生存的方法與技巧；因為接受幫助是短暫的，人要學會自給自足才是長久的，如果以水資源的角度來說：與其使用僅僅只佔有 0.3%的水資源，不如學會如何將 0.3%的水資源變成 0.6%的翻倍水資源甚至更高來運用。

1.1 研究背景

台灣 2016 年的降雨量扣除由河川排入海中的損耗，民生用水佔用水量的 31.83 億立方公尺，工業用水佔用水量的 16.29 億立方公尺，農業用水佔用水量的 117.34 億立方公尺[1] ，雖然工業用水佔的部分較少，但若是利用工廠設施讓水資源有效重複利用，也可以讓工廠的效益倍增。

便當工廠在製作便當的過程有大量的再生水(洗菜水、洗手水…等)，這些再生水無金屬汙染，重複利用性極高，若再生水能導入魚菜共生系統，產生資源再生循環就能增加效益、節省成本，將研究魚菜共生系統之方法，並評估投入系統的產值是否符合購買設備之成本，為便當工廠研究出循環利用無負擔的最佳設計。

1.2 研究動機

文明的起源、成長和發展與河流息息相關。一切古老文明，均發源於河流。河流溉農作物，人們開始聚集起來有了部落的生活。現今全球人口大爆炸的時代，糧食分布不均，非洲國家糧食短缺造成飢荒，人類對水的需求更是有增無減。

位處亞熱帶地區的台灣，屬海島型氣候，平均年雨量達 2500 公釐，約為世界各國平均值（973 公釐）的 2.6 倍；但以台灣 1995 年 9 月的人口數 2130 萬人計算，每人每年的可分配水量約 4247 立方公尺，卻只有世界平均值（約 3 萬 4 千立方公尺）的八分之一弱[2]，因此台灣其實是水資源相對貧乏的地區。

台灣這座四面環海的小島，我們看到的是，沿海地區因超抽地下水而有地層下陷的危機、許多劣質工廠將廢水直接排進河川、未經完善規劃的河川整治工程破壞原有生態數不盡的河川汙染問題加上過多科學工業園區搶奪農業用水…。

水資源的缺乏使得水資源變成一個極為重要的議題。每個地區各自面臨著不同的水資源狀況，而如何分配、利用水資源則必須因地制宜。我們必須加以利用天然環境的特質來充分利用水資源，建造一個屬於水資源的 PDCA 循環再促成國家與產業整體的配合，尋求水資源在各個不同領域進而產生最佳模式。(如圖 1)

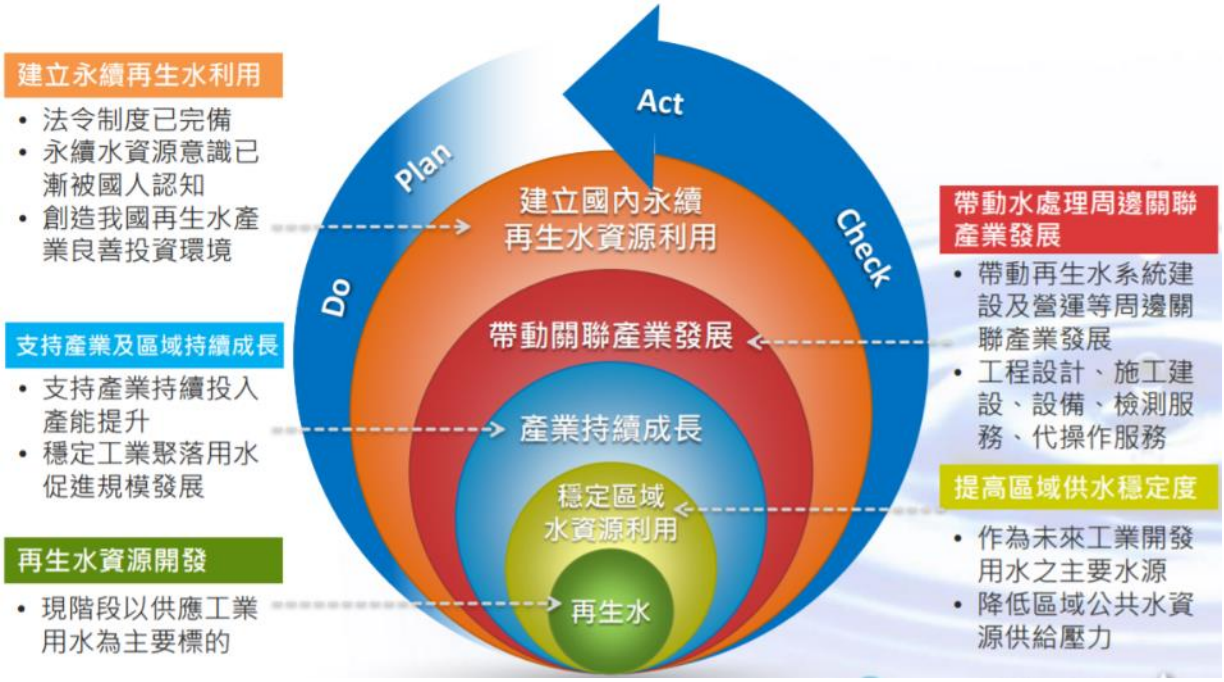


圖 1 水資源 PDCA 圖 [3]

貳、實驗方法

2.1 魚菜共生的生產分析

魚菜共生第一次出現的時間有一些爭議，有一說是阿茲特克人於西元 1150 年利用人工浮島的方法發展開來的，阿茲特克社會多以玉米農業為中心。然而墨西哥谷地環境潮濕，湖泊沼澤密布，阿茲特克人為適應谷地的多湖環境，會在沿湖的淺水地區利用湖底泥土建造奇南帕園地並耕作於此，這是阿茲特克農業的另一個特徵。

奇南帕（chinampa）是西班牙語詞彙，來源於納瓦特爾語的奇奈米特爾（chināmitl）。奇南帕園地的土壤大多來自湖底，受湖水滋養而較為肥沃，能夠耕種各種作物，浮島間被窄運河隔開，農民可劃舟在島間移動。這種將植物種在湖邊淺水區，固定在水上或使用木筏及其他料做成的島嶼，將植物種在水上發展出的浮園耕作法就像是現在的魚菜共生系統。[4]***(如圖 2)***

圖 2 阿茲特克印地安人發展的浮園耕作法圖［5］

魚菜共生，又稱養耕共生、複合式耕養，指的是結合了水生動物中的糞便和水中的雜質分解過濾，主取氨（尿素）成份供應給飼養箱上的蔬菜，同時蔬菜的根系把飼養箱內的水淨化供給水生動物使用，結合水產養殖（Aquaculture）與水耕栽培（Hydroponics）的互利共生生態系統。在一個魚菜共生系統中，生態種植循環是來自一個水產養殖系統的水被輸送到水栽系統，其中副產物是由硝化細菌分解成硝酸鹽和亞硝酸鹽，它們由植物利用作為營養物然後再循環回到水產養殖系統，此為魚菜共生生態種植循環。(如圖 3)

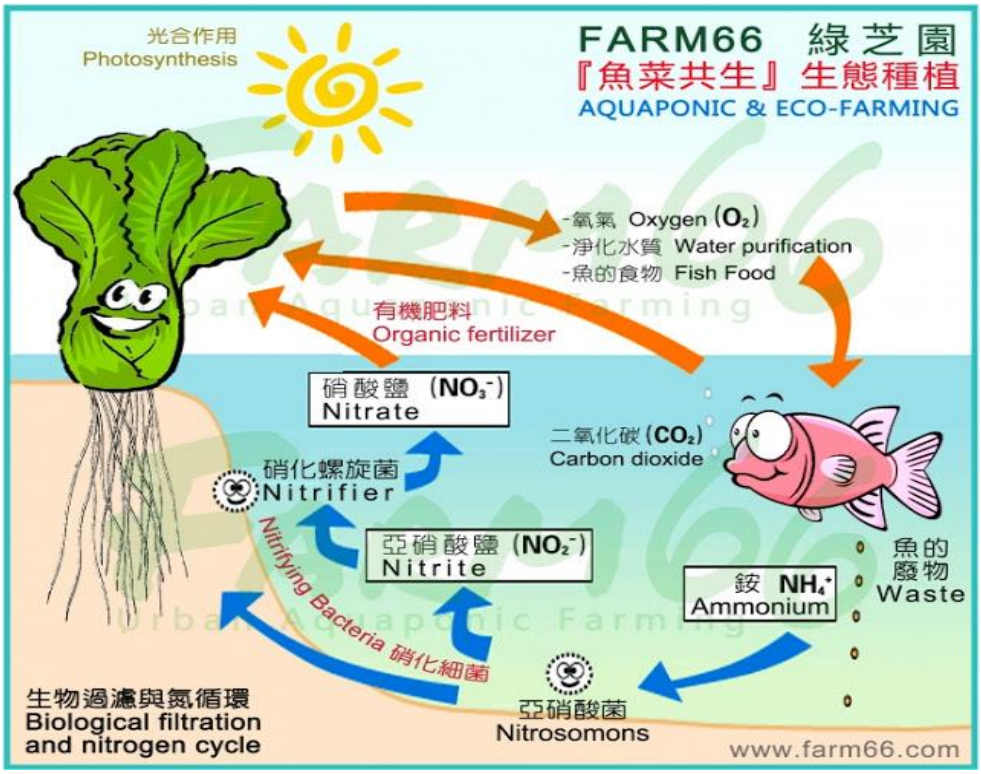


圖 3 魚菜共生生態種植圖 [6]

魚菜共生系統常見的型式包括：發泡煉石介質床 (MEDIA FILLED BEDS)、養液式 (NUTRITION FILM TECHNIQUE)、深水栽植 (DEEP WATER CULTURE)。

本研究採用深水栽植系統(DWC)，又稱為浮筏式 (Floating Raft)。讓植物漂浮在水面的泡棉浮板上，根部則浸於水中吸收養分。此種深水栽植系統常常被做為發展商業系統中的栽植系統之首選，栽植系統的植床以一般水耕栽培的方式將作物定植於泡棉浮板上，作物吸收水中的營養份而生長，水的循環利用大幅提高用水的效率。(如圖 4)

圖 4 深水栽植圖 [7]

魚菜共生系統對於葉菜種類，則針對不同葉菜及其生長期的日照需求（照光期、照光強度）、種植生長密度（生物量）、水及氣溫、植物對水的需求等；對於魚種種類及其食性（肉食性、草食性、雜食性）、魚種飼料組成期營養成分（磷、氮含量）、魚種餵養（餵食量、餵食頻率）、環境條件（水的溫度、污染狀況、陽光照射）、及魚種放養密度（生物量、消化性）皆都需要注意及重視。

關於適合魚菜共生系統與便當餐盒供應的葉菜類，為低需肥量葉菜類：萵苣、小白菜、蕹菜及豆科植物。中需肥量葉菜種類：甘藍、花椰菜、青花菜。適合魚菜共生系統與便當餐盒供應的養殖魚種種類有：吳郭魚、七星鱸、銀鱸。

魚菜共生系統是否可以成功，關鍵在於魚種所產生的排泄物所產生的養分是否能足以去供應葉菜類成長的養分，然而葉菜類是否有足夠的環境去吸收或排除深水栽培系統植床中過剩的養分及植床中被汙染的水質。單純的來分析魚菜共生系統就是養殖的魚種與葉菜類各自的代謝及養分是否能達成完美平衡。

2.2 便當工廠產生之再生水分析

再生水是指工廠的廢水或放流水，經過濾處理之後變成可再重複利用的水；依處理方式與系統不同，分為二個大類-系統再生水及非系統再生水。(如圖 5)

（一） 系統再生水：指的是自下水道系統之廢水或放流水，經處理後可再利用的水。

2018 年 9 月，首座萬噸級的再生水廠—高雄鳳山溪再生水完工，每日供水 2.5 萬噸。預計 2019 年，將再增加供水 2 萬噸，包括台中市的福田、水湳與豐原、台南市的永康與安平以及高雄市的臨海等 6 處再生水廠建置案，也將陸續推動。上述 7 處再生水廠總經費 186.63 億元，完工後，預計民國 112 年可供應每日 30.1 萬噸的再生水。[8]（如圖 6）

（二） 非系統再生水：指的是未排入下水道系統之廢水或放流水，經工廠直接處理後再利用的水。

再生水運用對於工廠來說常常會有管線、水質…等等問題，推動相對來說並不容易。再生水該如何活化使用？如何做到是方便且對工廠來說是有效益的？

簡單的來說如果運用工廠內既有的設備再加上低耗能水再生處理設備，結合工廠內本生產出的再生能源使用，可使工廠方面意願相對增加。

圖 5 系統再生水、非系統再生水來源與策略圖 [9]

本研究以 A 工廠產生之再生水作為運用分析，A 工廠再生水來源為洗米水、洗肉類水、洗菜水，然而洗米水、洗肉類之水容易增生細菌及產生惡臭，所以只採用洗菜水作為再生水之研究水，以 A 工廠每日基本使用的蔬菜用量約 3000 公斤計算，每日產生之洗菜水約為 15000 公升扣除掉土砂汙水部分 3000 公升實際可回收之再生水約為 12000 公升，實際可用之再生水約 6000 公升供應地板清洗用、約 3000 公升供應廁所沖水用而剩餘的約 3000 公升可做為魚菜共生研究用水。

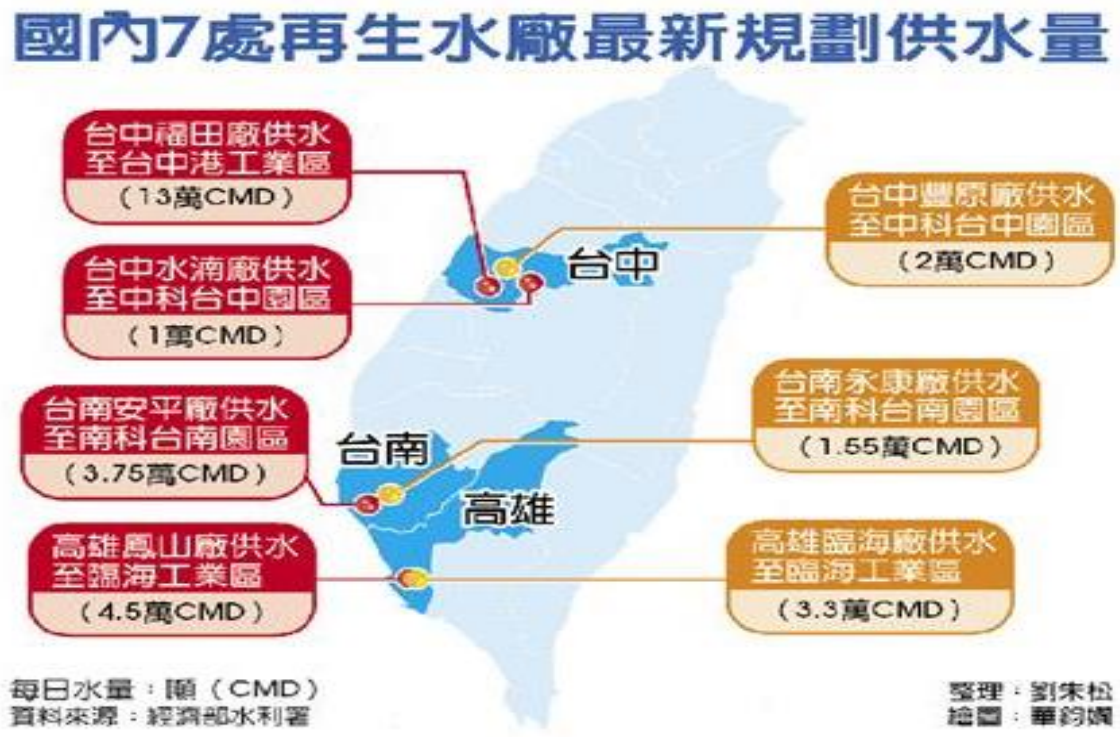


圖 6 國內再生水廠配置圖 [8]

2.3 個案說明

此實驗以某便當工廠中央廚房為例(以下簡稱為 A 工廠)，A 工廠主要從事便當餐盒供應，以食品安全衛生管理(HACCP)之中央廚房統一製作便當餐盒服務，便當配送方面有自有物流車專業即時配送到廠，提供優質便當餐盒供應服務。A 工廠為食品安全 HACCP 制度[10]與食品 GMP 認證[11]的優質中央廚房(約 100 坪)及冷凍冷藏庫(約 40 坪)以及其他停車及辦公場所，A 工廠廠區一共約有 200 坪左右的食品登記工廠。

A 工廠基本主要業務為園區內各個工廠員工的午餐便當製作與配送，每日販售出的便當數量約 10000~12000 個便當，每日所需的使用食材大約為蔬菜 3000 公斤、魚類 2000 公斤、肉類 6000 公斤，以嚴格要求衛生、品質管控、追求完美的餐盒供應是主要工廠員工的責任。

2.4 分析便當工廠導入魚菜共生系統之實際效益

A 工廠在頂樓設置五組深水栽植系統，首要建構溫室需要注意室內的日照及通風，簡單的支撐架與防蟲網，保持室內通風、提高相對濕度，營造有利環境。便當工廠裡的洗菜桶在側邊 8 公分高度加裝漏水管與止水開關(如圖 7)，經過簡易濾水設備後於頂樓再生水水塔(如圖 8)備用，再由再生水水塔導入魚菜共生系統(如圖 9)，魚菜共生系統中每個深水栽植系統約 8000 公分、寬約 120 公分、深約 45 公分的植床。

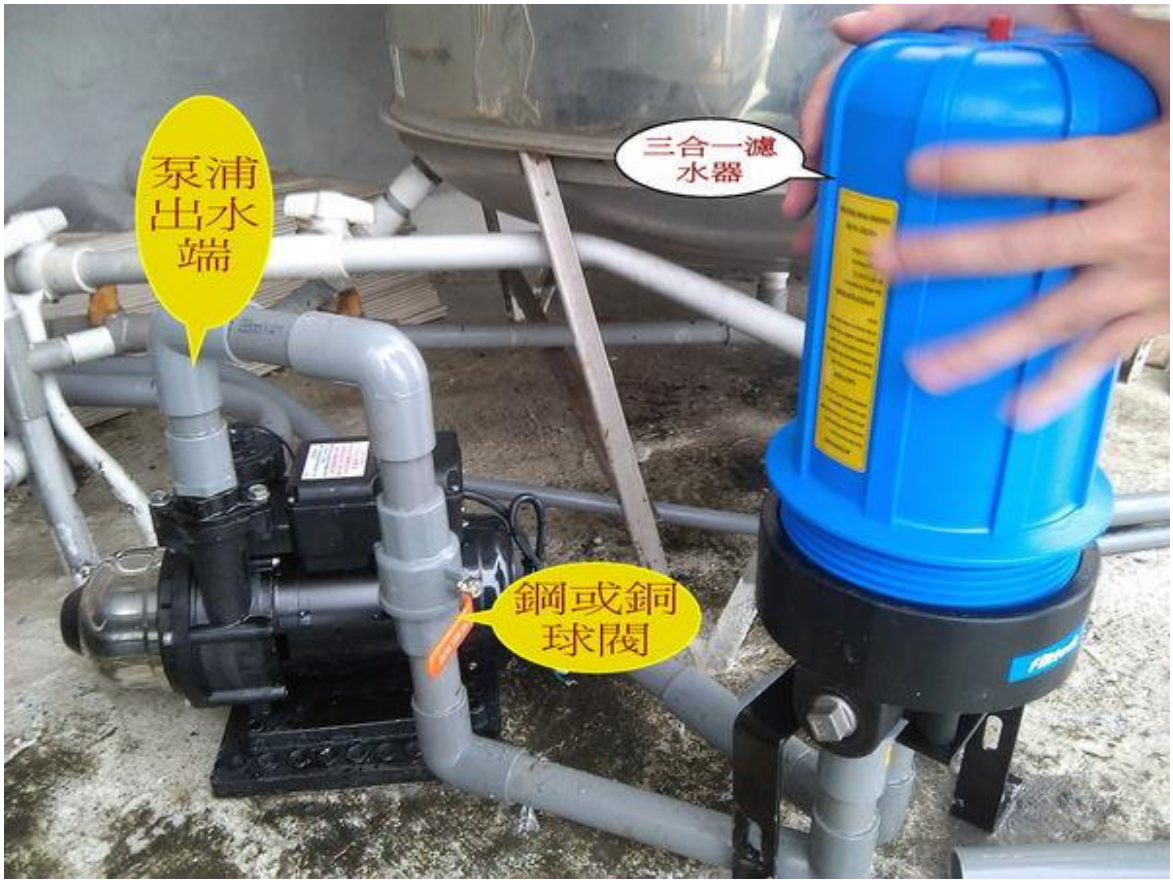


圖 7 漏水管止水開關與簡易濾水設備圖 [12]

圖 8 水塔圖 [13]

(摘自 鴻茂工業股份有限公司)

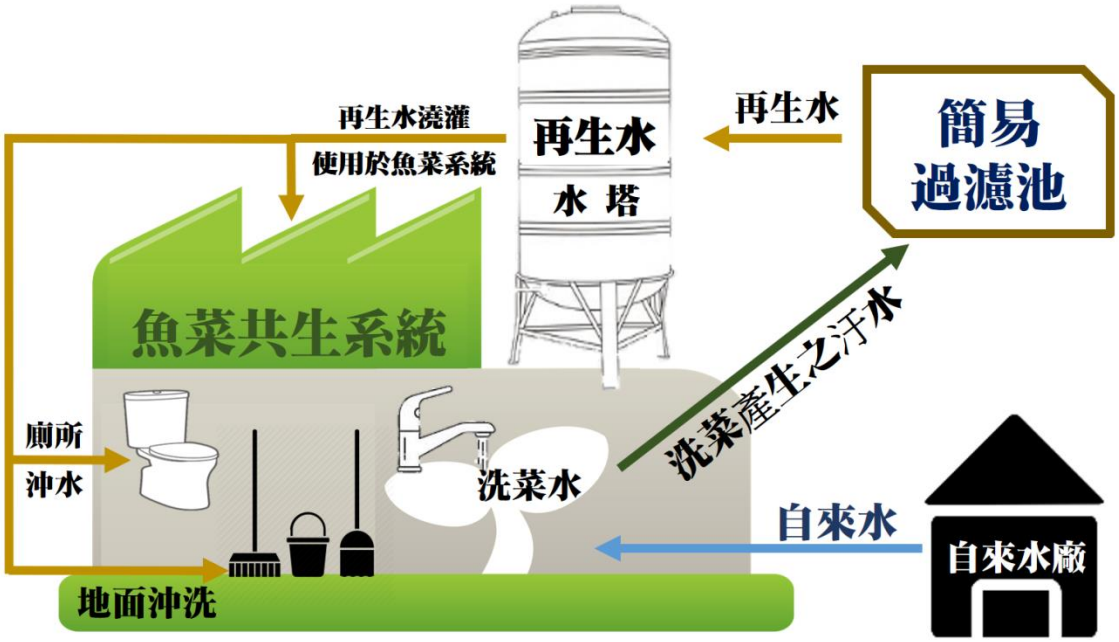


圖 9 便當工廠再生水導入魚菜共生系統循環圖 [14]

魚池植床和泡棉浮板的種植板形成一個水循環系統，養殖魚類排泄物的水經分解去菌後，變成葉菜類的肥料，葉菜類在充分吸收水中有機養分後，水經循環又排回魚池植床內使用，循環水裡富含的營養主要是氨氮、亞鹽、PH 值等含量超標造成的。而在水面栽種葉菜類可以吸收氨氮、亞鹽等一系列水裡的富營養化成分，有助於葉菜類的生長。同時，葉菜類藤蔓長滿後還可以遮陰防止魚池植床的水份蒸發，保持魚池植床的溫度，為魚類創造一個良好的養殖環境。

每天只有極少量的水損耗，不僅綠色環保，而且循環利用。每個深水栽植系統每月可以飼養約 1000 條魚類，每月可收穫約 3000 公斤葉菜類，循環往復，菜不加農藥、魚不添藥劑，減少了魚類養殖和葉菜類種植過程中產生的污染，充分達成零污染的目標，又可為便當工廠帶來附加產值，以 A 工廠在頂樓設置五組深水栽植系統下去做計算每月魚類收益約 5000 條、葉菜類約 15000 公斤，以台灣農業市場行情資料庫基本盤計價計算假設養殖吳郭魚以均價(如表 1)每公斤 55 元計算每月收益約 27 萬元，假設種植小白菜以均價(如表 2)每公斤 10 元計算每月收益約 15 萬元，每月收益共計約可達到 42 萬元，使得便當工廠額外創造更大利益。

表 1 漁市場行情-吳郭魚

交易日期	市場	作物	交易量(公斤)	平均價(元/公斤)
2019/5/7	台中	吳郭魚	5832	55.3
2019/5/5	台中	吳郭魚	7595	55.4
2019/5/4	台中	吳郭魚	7659	56.9
2019/5/3	台中	吳郭魚	5008	55.9
2019/5/1	台中	吳郭魚	5752	54.5
2019/4/30	台中	吳郭魚	6353	55.5
2019/4/28	台中	吳郭魚	7773	56.9
2019/4/27	台中	吳郭魚	6351	57.1
2019/4/26	台中	吳郭魚	6610	53.4
2019/4/25	台中	吳郭魚	5653	55.3

(摘自 台灣農業市場行情資料庫-漁市場行情)

表 2 農產品行情-小白菜

交易日期	市場	作物	交易量(公斤)	平均價(元/公斤)
2019/5/7	台中市	小白菜-土白菜	214	21.4
2019/5/7	台中市	小白菜-蚵仔白	993	21.6
2019/5/5	台中市	小白菜-土白菜	391	6.7
2019/5/5	台中市	小白菜-蚵仔白	2873	11.9
2019/5/4	台中市	小白菜-土白菜	120	7.3
2019/5/4	台中市	小白菜-蚵仔白	4530	10.5
2019/5/3	台中市	小白菜-土白菜	320	6.6
2019/5/3	台中市	小白菜-蚵仔白	1775	10.8
2019/5/2	台中市	小白菜-土白菜	395	7.7
2019/5/2	台中市	小白菜-蚵仔白	4622	10.5

(摘自 台灣農業市場行情資料庫-農產品行情)

參、結果與討論

在這許多環境的污染與工業廢水的排放之下，這些污染都危害到我們食用的蔬果，這影響到食品工廠生產時的食物安全問題。我們利用魚菜共生導入食品工廠這個方式來自己種植有機蔬菜，可以在室內以無土栽培進行魚菜共生的建立，其魚菜共生規模大小可靈活調整，較無需換水，利用魚的排泄物所產生的變化，為植物提供生長的養分，而植物淨化吸收過後的水，又可作為養殖水返回魚缸；室內栽培亦較不受天候影響。基於這樣一個概念，藉由作物將水淨化後再回收當做新的養殖用水，因而提高了便當工廠回收水的利用效率，不僅水資源可節省 90%以上，還可以降低食品工廠在製作過程中產生的廢水，降低環境污染。利用顯著的降低有機廢棄物的排放，又供應足夠的蔬菜量，來創造食品工廠的經濟效益。

魚菜共生的生態循環系統裡，系統中植物一旦得到傳染性疾病，治療的可行性則反而較傳統種植的少，這是因為怕治了植物卻害了魚；化學藥物的治療幾乎是不受考慮

的，也因此魚菜共生系統所生產的蔬菜比水耕栽培的蔬菜更被認為無毒。所以任何可能的病蟲害問題，都必須以嚴格防疫來處理。把這套系統導入在便當工廠，這對於食品安全之考量，則是最好的保障。

近年來人們對食安的重視，魚菜共生更使人注目，相信以此方式導入便當工廠，更能使消費者買的安心吃的放心，魚幫菜、菜幫魚，循環再利用的魚菜共生系統中，魚排出的廢棄物是蔬菜的養分，使用回收再利用的想法導入便當工廠，除了降低工廠成本之外，也創造出新的收益，用在便當工廠大量可再利用的回收水，可以結合蔬食餐廳，綠色蔬菜可以食用，也可以變成觀光農場，另闢出新的效益。

在空汙難以解決的現況，更需要植物的栽種，植物吸入二氧化碳後排出氧氣，是一種節能減碳的環保循環，自然界中的生物幫助人們製造的污染做淨化，在環境、生產者、消費者三方面達到互利互贏的局面。

肆、結論

目前臺灣未來在水資源的供給與運用並沒有充分達到一定的規模與效益，其歸咎的原因不外乎：一、產業的現行發展規劃尚未考量到臺灣的環境限制，產業依舊為高消耗資源的工業產業。二、水資源無法加以有效管理運用及資源保存。

我們應以臺灣的水資源永續發展運用為目標，政府也應該建立出正確的環境資源利用與觀念，規劃出多元化的方式來開發及利用水資源，並提高水資源的重複利用之效率，使得水資源的運用可以永續及落實。

因此我們想藉由魚菜共生系統在資源利用下幫助生產者永續經營，因此我們研究便當工廠透過洗菜的回收水導入魚菜共生系統中循環再利用，將魚菜共生系統產出的鮮魚和青菜，提供給便當工廠使用，這樣一來不但大幅減少對水資源的需求，以達到降低水資源成本和環保效益又可以將生產的青菜變成便當菜色減少成本支出，打造出雙贏局面。臺灣地狹人稠，自然資源面臨巨大的挑戰；生產者需要利用有限的空間來達到最大經濟效益，因此本研究目的個案探討臺灣魚菜共生系統導入便當食品工廠之可行性研究。

伍、參考文獻

[1]經濟部水利署公務統計報表，經濟部水利署 2019 年 03 月 28 日，摘取日期 2019 年 05 月 05 日，摘自: https://www.wra.gov.tw/media/27075/t2.pdf

[2]環境資訊中心，台灣的十大地理議題：台灣水資源概況 2008 年 10 月 14 日 https://e-info.org.tw/node/38094

[3]我國再生水發展立法及推動現況，經濟部水利署，摘取日期 2019 年 05 月 08 日，摘自:https://www.tgpf.org.tw/upload/news/news_829/1.%E7%B6%A0%E8%89%B2%E7%AB%B6%E7%88%AD%E5%8A%9B%E5%86%8D%E7%94%9F%E6%B0%B4%E8%B3%87%E6%BA%90%E7%99%BC%E5%B1%95.pdf

[4]魚菜共生，維基百科 2019 年 4 月 18 日，摘取日期 2019 年 05 月 08 日，摘自: https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%AD%9A%E8%8F%9C%E5%85%B1%E7%94%9F

[5]阿茲特克印地安人發展的浮園耕作法，Go! Green 2014 年 10 月 27 日，摘取日期 2019

年 05 月 08 日，摘自: http://www.gogreen.tw/?p=1153
[6]魚菜共生生態種植，FARM66 綠芝園，摘取日期 2019 年 05 月 08 日，摘自:http://bigcitiespeople.blogspot.com/2015/12/blog-post_45.html
[7]深水栽植圖，OKO 生態綠 2017 年 03 月 30 日，摘取日期 2019 年 05 月 08 日，摘自: https://okogreen.com.tw/blog/4524
[8]工商時報(2018)：全台 7 座再生水廠逐步成形，中時電子報 2018 年 10 月 08 日，摘取日期 2019 年 05 月 05 日，摘自: https://m.ctee.com.tw/focus/cedt/197927
[9]系統再生水、非系統再生水來源與策略，經濟部水利署水再生利用促動與技術服務計畫水再生利用技術教育訓練 2016 年 07 月 18 日，摘取日期 2019 年 05 月 08 日，摘自: http://www.sinotech.org.tw/eerc-ctr/news/rwtech2016.files/02/01.pdf
[10]食品安全 HACCP 制度，社團法人中華食品安全管制系統發展協會 2019 年 5 月 10 日，摘取日期 2019 年 05 月 10 日，摘自:http://www.chinese-haccp.org.tw/content/index.asp?Parser=1,3,12
[11]食品 GMP 認證台灣優良食品發展協會,維基百科 2018 年 10 月 10 日,摘取日期 2019 年 05 月 10 日，摘自:https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B0%E7%81%A3%E5%84%AA%E8%89%AF%E9%A3%9F%E5%93%81%E7%99%BC%E5%B1%95%E5%8D%94%E6%9C%83
[12]漏水管止水開關與簡易濾水設備，網路 2015 年 05 月 01 日，摘取日期 2019 年 05 月 10 日，摘自: http://hw4480.pixnet.net/blog/post/349941565-%E4%B8%8A%E9%A8%B0%E6%B0%B4%E9%9B%BB%E5%9F%BA%E7%A4%8E%E7%AF%87%E2%80%94%E5%8A%A0%E5%A3%93%E9%A6%AC%E9%81%94%E8%BD%89%E4%B8%8D%E5%81%9C%E6%98%AF%E5%8A%A0%E5%A3%93%E6%B3%B5%E6%B5%A6
[13]水塔，網路，摘取日期 2019 年 05 月 10 日，摘自: http://www.homemark.com.tw/ec99/ushop20079/GoodsDescr.asp?category_id=67&parent_id=59&prod_id=67-001
[14]便當工廠再生水導入魚菜共生系統循環，摘自:本研究整理

Session III-2
(15:40~17:00，B204)

傳統航空攝影測量和無人飛行載具影像,產製出不同時期數據之數值地形模型和正射像片，應用於邊坡不穩定調查

Slope instability investigation using multi temporal data in the form of digital terrain models (DTMs) and orthophotos from conventional photogrammetry and UAV photogrammetry

畢申爍[1*] 丁原智[2] 王泰典[3]

Msibi Senzo Ginious[1] Ding Yung-Ching[2] Wang Tai-Tien[3]

1國立臺北科技大學資源工程研究所研究生

Master student, Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

2 國立臺北科技大學資源工程研究所教授

Professor, Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

3 國立臺灣大學土木工程學系教授

Professor, Department of Civil Engineering, National Taiwan University

* Corresponding author: ttwang@ntu.edu.tw, ycding@ntut.edu.tw, giniousse@gmail.com,

Abstract

This paper presents the preliminary results of our study on slope instability investigation using multi temporal data in the form of digital terrain models (DTMs) and orthophotos from conventional photogrammetry and UAV photogrammetry. The focus study area is in Taitung County, Haiduan Township along the Southern Cross-Island Highway number 20 with the main focus section being the slopes on both sides of the river from Wulu Bridge to Lidao Village. In this study we used aerial images between the years 1981 and 2016 obtained from the Aerial Survey Office, Forest Bureau. From these images we, produced ortho photos and digital terrain models. We also employed UAV photogrammetry to produce a high resolution (5.17 cm) orthophoto and a DTM to help in investigating the evolution of the slope instability and characterization. For the purpose of this presentation I will only discuss how the traffic route has been altered through the years as a result of the slope instability along our corridor of interest. In this paper the visual analysis of the orthophotos, profiles cut along the principal sliding direction of the unstable slopes and DTM differencing are discussed as means of investigating the slope instability evolution. Our data analysis, revealed the importance of taking note of resolution during the course of DTM differencing, because the resolution of the output is decided by the relatively low resolution data. Our preliminary results also revealed the importance of higher resolution DTMs as we were able to track the smallest surface changes between 2016 and 2018 using them. The results emphasize the importance of the use of UAV photogrammetry in slope instability investigation. The experience gained in this study can be very useful in future studies of slope instability investigations.

Key words: Digital Terrain Model (DTM), Orthophoto, Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Introduction

Landslides are natural disasters and are capable of having catastrophic impacts on human beings. They can be in forms of mass wasting that include a wide range of ground movements, such as rock falls, deep-seated slope failures, mudflows and debris flows. Slope failures are controlled by both internal and external parameters. Among the internal parameters the geometry of the slip surface and its spatial and temporal evolution have a huge impact, while external parameters include rain, erosion, and earthquakes.

In order to monitor hazards from active slope failures and to understand the processes involved, both spatial and temporal measurements such as displacement extents and changes in the surface topography are required. For these, remote sensing has been an integral method of landslide investigations for many decades, with several different techniques being used, [1]. Throughout the years remote sensing has been one of the vital source of 3-D terrain information, which can be used to generate DTM data from aerial images through digital photogrammetry. Most of the time it is employed in studies of landslide geomorphology. In most cases, complete DTM data prior to the landslide event is not necessarily available however, in a situation like this, historical aerial images can be used to generate DTMs through digital aerial photogrammetry, [2].

Since the Aerial Survey Office, Forest Bureau (ASO), has conducted aerial photography for Taiwan forests on a regular basis, then these can be obtained from them to produce orthophotos and DTMs before the slope failure event for analysis. However before doing so each photo had to be checked for defects, such as cloud content and the existence of fog to ensure the image quality for subsequent processing because photos which are blurry, or have fog, excessive shadows, or clouds are not usable. Although these images are useful, their disadvantage is that they come at a pre-set resolution which is not high enough to allow for the characterization of minor movements or surface variations in the slope and their repeatability is not quite favourable for short time interval monitoring.

For better resolution and repeatability we then employed UAV photogrammetry which has been popularly used in recent years for the purpose of producing high resolution orthophotos and digital terrain models in landslide studies. The reason UAVs are gaining such popularity when it comes to slope instability investigations is because of their ability to manoeuvre difficult terrain, fly at lower altitude which in turn yields higher resolution, and their relatively low cost of the mission [3]. So these use Structure-from Motion (SfM) software to construct a 3D model of the site using the images acquired by the UAV, from which an orthophoto and a DTM can be extracted.

The Comparative analysis of the obtained DTMs and orthophotos, both from conventional photogrammetry and UAV photogrammetry involved profiles comparison, visual analysis of

the orthophotos and DTM differencing. All these permitted the detection of the evolution of the landslides throughout the years and we hope with this technique we can also be able to detect portions of the slope which are prone to failure and to evaluate the area and volume of the involved masses. This study is aimed at investigating the slope instability using multi temporal data in the form of digital terrain models (DTMs) and orthophotos from conventional photogrammetry and UAV photogrammetry.

Study area and Data Acquisition

Study Area

Our study area is located in Taitung County, Haiduan Township and along the Southern Cross-Island Highway number 20, from Wulu Bridge to Lidao Village. Originally, the highway was built alongside the slope and later after a couple of collapses of the slope in multiple locations between Wulu Bridge to Lidao Village some of the road sections we destroyed and there was no more space to rebuild it. Therefore, Lidao tunnel and Bishan tunnel were built to move the road section from the side of the slope into the slope. Our study area is approximately 4 square kilometres.

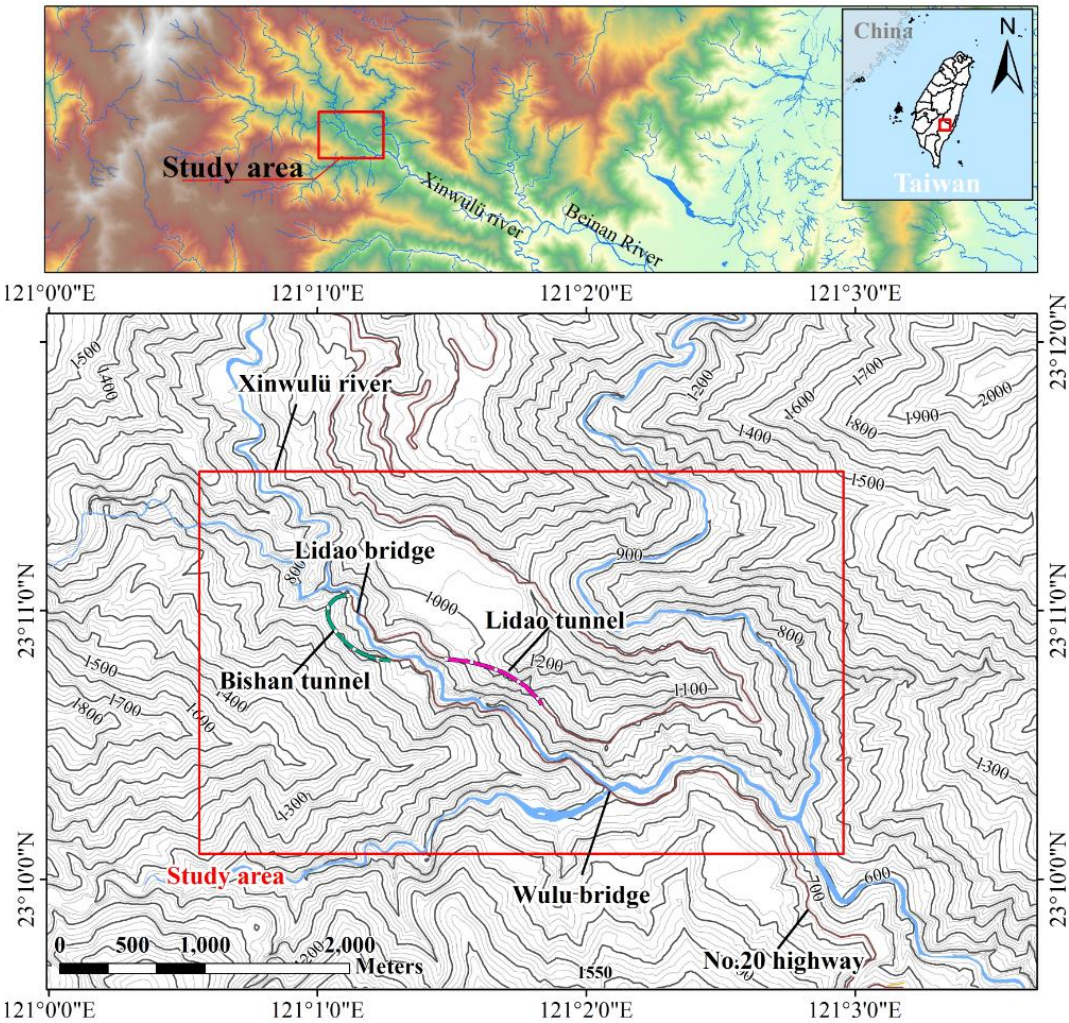


Figure 1. Map showing the geospatial location of our study area.

Aerial photogrammetry

Conventional aerial photogrammetry

For the purpose of our research, which is to investigate the evolution of the landslides in our study area, we made use of prehistoric aerial images obtained from the Aerial Survey Office and Forest Bureau. These images were acquired using various aerial photography cameras from seven different periods, with 1981 from RC10, 1997 and 2003 fromTop1, then 2008, 2010 and 2016 are from Digital Mapping Camera (DMC) and the one from 2018 is from UAV photography. These aerial images were then used to generate three dimensional stereo models and subsequently digitizing is performed for natural features such as rivers, lakes, vegetation etc. and man-made features such as roads, buildings, bridges etc., [4]. The 3D stereo models orthophotos and digital terrain models before and after the landslides occurred were generated for further analysis to aid in the investigation of the slope instability in our study area. The periods used for this study are 1981, 1997, 2003, 2008, 2010, and 2016 which all came with varying ground sample distance from 30 cm to 80 cm and the ones from DMC had a standard GSD of 25 cm.

UAV photogrammetry

Image acquisition was manual since parts of our site had network problems, which limited the use of autopilot and automatic image acquisition. Flight planning was also done on site to

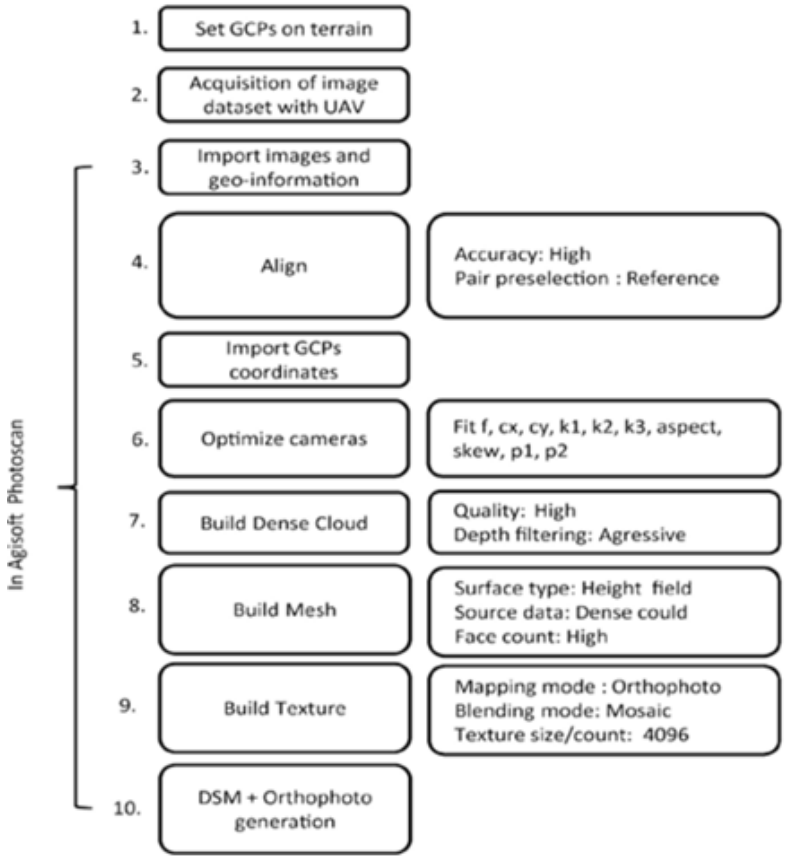


Figure 2. Workflow used for the UAV DTM and orthophoto generation.

identify perfect take off locations since the terrain of our site is a bit challenging. A total of 2400 images were taken and out of those 1921 were used to reconstruct the 3D model of our study area. The images were taken at an altitude of approximately 188m with 80% overlap on the forward direction and 60% overlap on the lateral. For georeferencing our model ground points were measured using the Hi-Target GNSS RTK Receiver which uses a smartphone as a PDA and the system we used was DGPS. On another period of our study we also used the Leica GPS1200 GNSS System in which we used the RTK mode for measuring the precise location of our GCPs. We had a total of 48 GCPs spread around our study area. After acquiring the images, they were then processed using Agisoft PhotoScan and the workflow is illustrated in figure 2 which was adapted from [5].

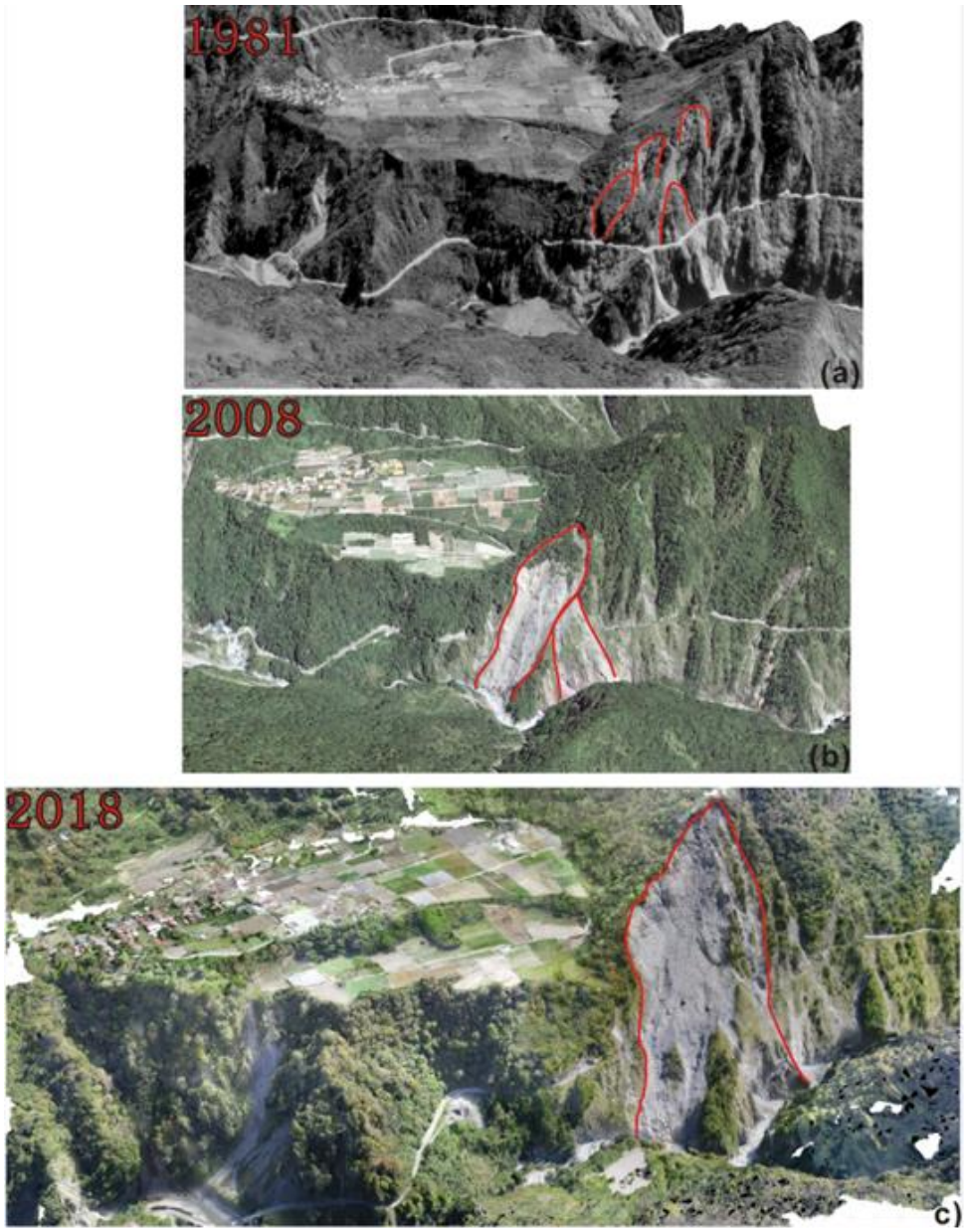


Figure 3. Three dimensional (3D) stereo model generated from conventional photogrammetry a) 1981, b) 2008 and c) from UAV photogrammetry.

Results and discussion

Three dimensional stereomodel and Orthophoto

After acquiring the aerial images they were processed using commercial software packages to generate 3D stereo models. From these, we generated orthophotos and DTMs, the results for the 3D stereo models can be seen in figure 3. From the visual analysis of these 3D models, in figure 3. a) multiple surface detarchments can be seen which are evident to the slope intsability. In figure 3 b) the colapsed slope can be seen with another head scarp developing with a detached land mass which is also evident to the continued evolution of the slope instabitity.

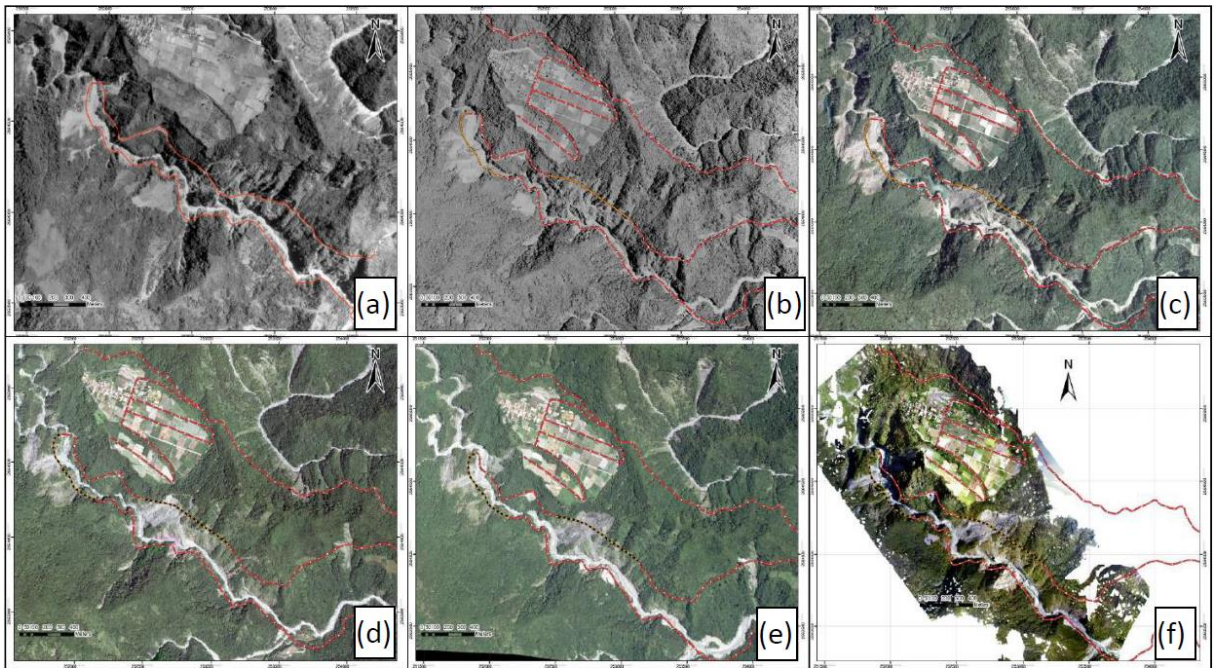


Figure 4. Multi-temporal ortho-photos generated using various aerial photogrammetry cameras from six periods of our study area a) 1981, b) 1997, c) 2003, d) 2008, e) 2016 and f) 2018.

Figure 3c. shows the continued propagation of the landslide throughout the years to 2018 as we can see the extent of the landslide in the UAV generated 3D stereo model. From the 3D stereo model orthophotos and digital terrain models were then generated and the results are shown in Figure 4.For the UAV mission we had an average flying altitude of 188 m which yielded a ground sample distance of 5.17 cm and the total area covered by our mission was 4.24 square kilometres. We had a total of 10^6 projections with a projection error of 0.5 pixels. For georeferencing our model we used a total of 27 ground control points and the overall GCP root mean square error (RSME) was 40cm, table 1.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
27	16.5959	22.9057	28.6369	28.2859	40.2513

Table 1 Control points RMSE.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

The comparison was performed using both the orthophotos resulting from the photogrammetric process and DTMs derived from the point clouds. The DTMs were compared to detect any morphological change between the seven periods over the years, permitting to characterize the landslide and, in addition, to precisely point out geomorphological features of landslide-prone areas on the slope, [6].

Lidao Bridge and Bishan Tunnel

From the visual analysis of these ortho-photos we can tell that as a result of the unstable slope on both sides of the river, the course of the traffic route has been altered several times from Wulu bridge to Lidao tunnel. If we take a look near Lidao bridge, on the lower side of the valley in figure 5a, we can see the original course of the road without the tunnel but a minor collapse can be seen on the slope just after the bridge.This caused the alteration of the traffic route from the side of the slope to inside the slope in a form of a tunnel (Bishan Tunnel) which can be seen in figure 5b.

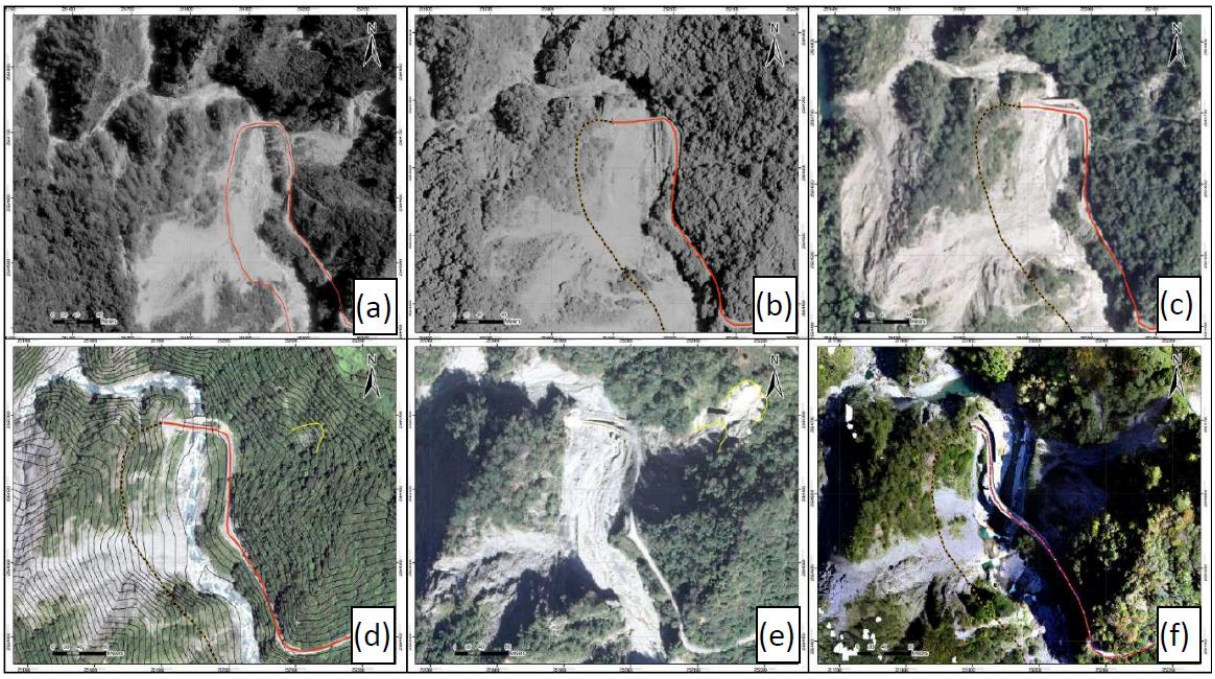


Figure 5. Showing the alteration of the traffic route over the years around Lidao Bridge and Bishan tunnel. These are orthophotos from, a) 1981, b) 1997, c) 2003, d) 2008, e) 2010, f) 2018.

Then between 1997 and 2003 there was another huge collapse on the slope with Bishan Tunnel and the debris flew on two directions one just a bit upstream from Lidao bridge daming the river, and one on the other side of the bridge. At this time they had already constructed another bridge which was a bit higher than the older one which can be seen in figure 5c. Figure 5d, shows a minor surface rapture on the slope adjacent to Lidao Bridge just below Lidao Village, which is evident to the slope instability and as we track that further to 2010 in figure 5e a total collapse of that slope can be observed and the bridge was totally

washed away during the collapse of this slope which can also be seen in figure 5e. The magnitude of that slide can be seen in figure 6 which is the comparison of the surface change between 2008 and 2010 in a form of a profile cut along the main sliding direction. From this profiles we can only see the depletion zones only without acummulation zones because of the river so all the debris material was washed downstream by the river. After this slope failure

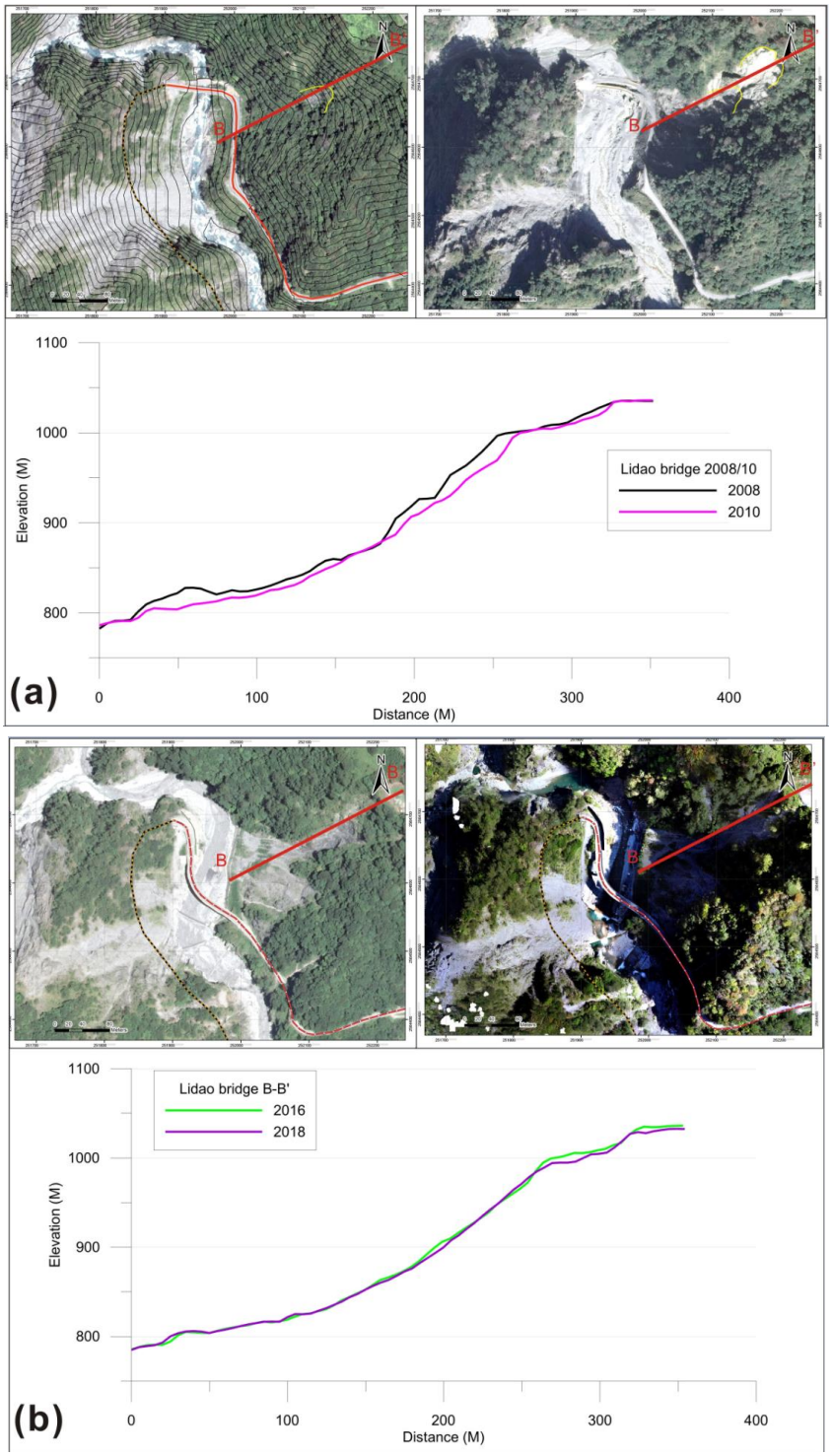


Figure 6. Profile B-B' cut along the sliding direction of the collapsed slope near Lidao Bridge showing surface variation between years a) 2008 and 2010, b) 2016 and 2018.

they then built another bridge and changed its course away from the slope to prevent another collapse of the bridge in case of another failure of the adjacent slope. This can be see in figure 5f which is a UAV generated orthophoto and the images were taken in 2018.

Lidao Tunnel slope evolution

The traffic route was also altered on another section which is the main landslide area after Lidao bridge as a result of the slope instability. Figure 4a shows the traffic route on the side of the slope and just above the road multiple surface detachments can be seen, which are evident to slope movement. In figure 4b a partial collapse of the slope can be seen which destroyed about 350m of the road section. This led to the alteration of the the traffic route from the side of the slope to go through the slope (Lidao tunnel). Between 1997 and 2003 there was another massive callapse of the slope in which the debris dammed the river just below the slope as shown in figure 4c with the blue color of the water. The river continued to undercut the slope gradually until all the debris was washed away between the years 2003 and 2008 and leaving

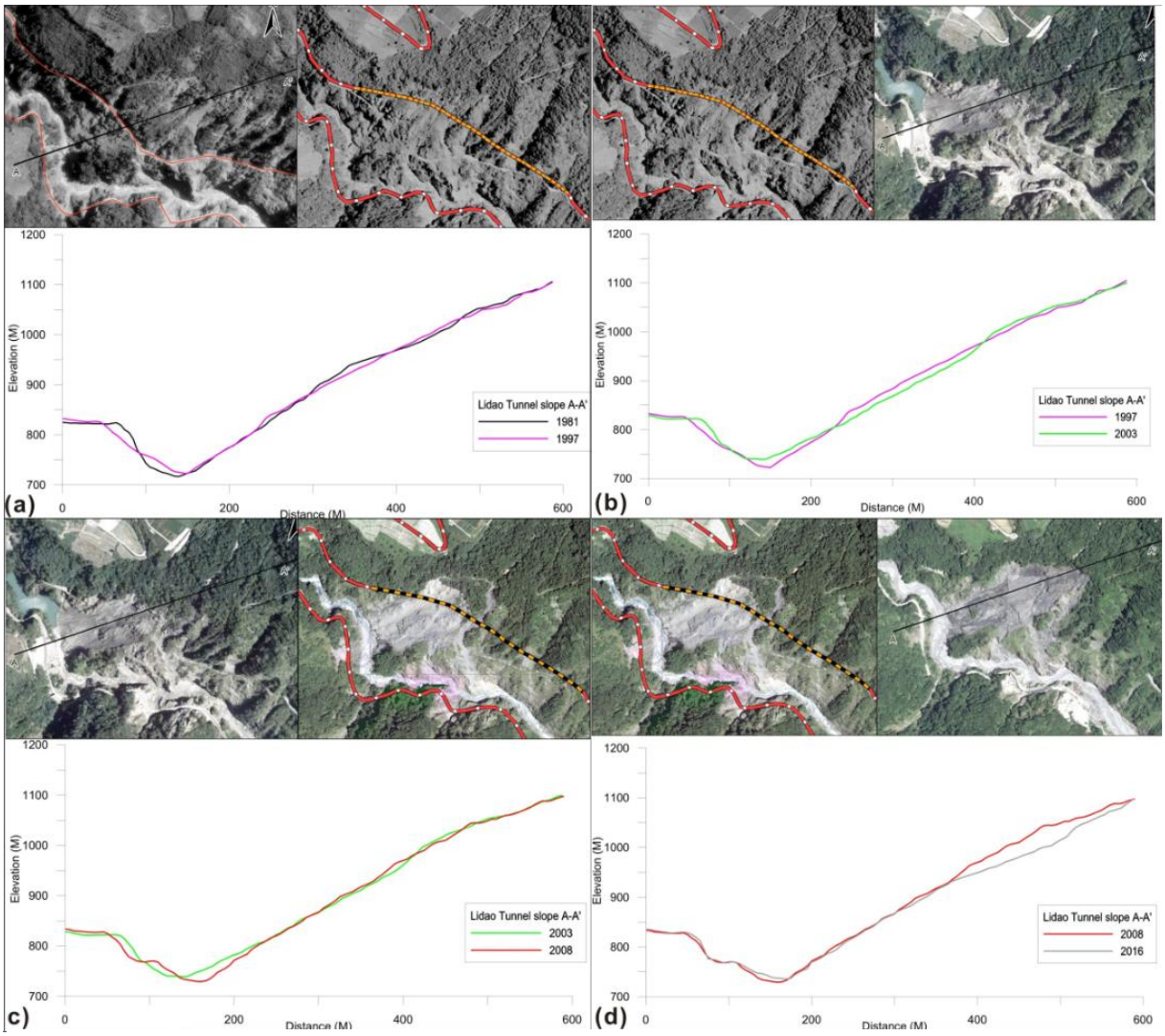


Figure 7. Profile A-A' cut along the main sliding direction of the slope failure where Lidao Tunnel is, showing the surface change of the slope. a) Shows the comparison of the surface variation between year 1981 and 1997, b) 1997 and 2003, c) 2003 and 2008, d) 2008 and 2016.

the loose material on the crown of the landslide without any support and prone to reactivation. When looking at the surface change from 1981 to 2018 we can tell that the lower part of the slope failed first. This can be seen in figure 7a and 7b which shows the surface change between 1981 and1997, 1997 and 2003 showing the depletion zone in the lower half of the slope. In figure 7c which is the surface change between year 2003 and 2008not much change can be observed on the sliding direction of the slope but the depletion of the accumulted material on the river can be observed.

Figure 7d shows the surface change between 2008 and 2016, we can see the depletion zone in the upper half of the slope however in the lower half there isn't that much activity. This is evident that the upper half of the slope was left vulnerable without support after the lower half material had been depleted. So between the years 2008 and 2018 the landslide has been reactivated a number of times as we can see from the profiles cut along the main sliding direction of the slope. We can also note that this slope is steeper, around 40°, so we do not have the conventional depletion zones and accumulation zones, everything slides down the toe of the landslide where there is a river and is finally washed downstream. In figure 8. we can still see a minor surface change between 2016 and 2018. This was made possible by the UAV generated DTM which had a higher resolution.

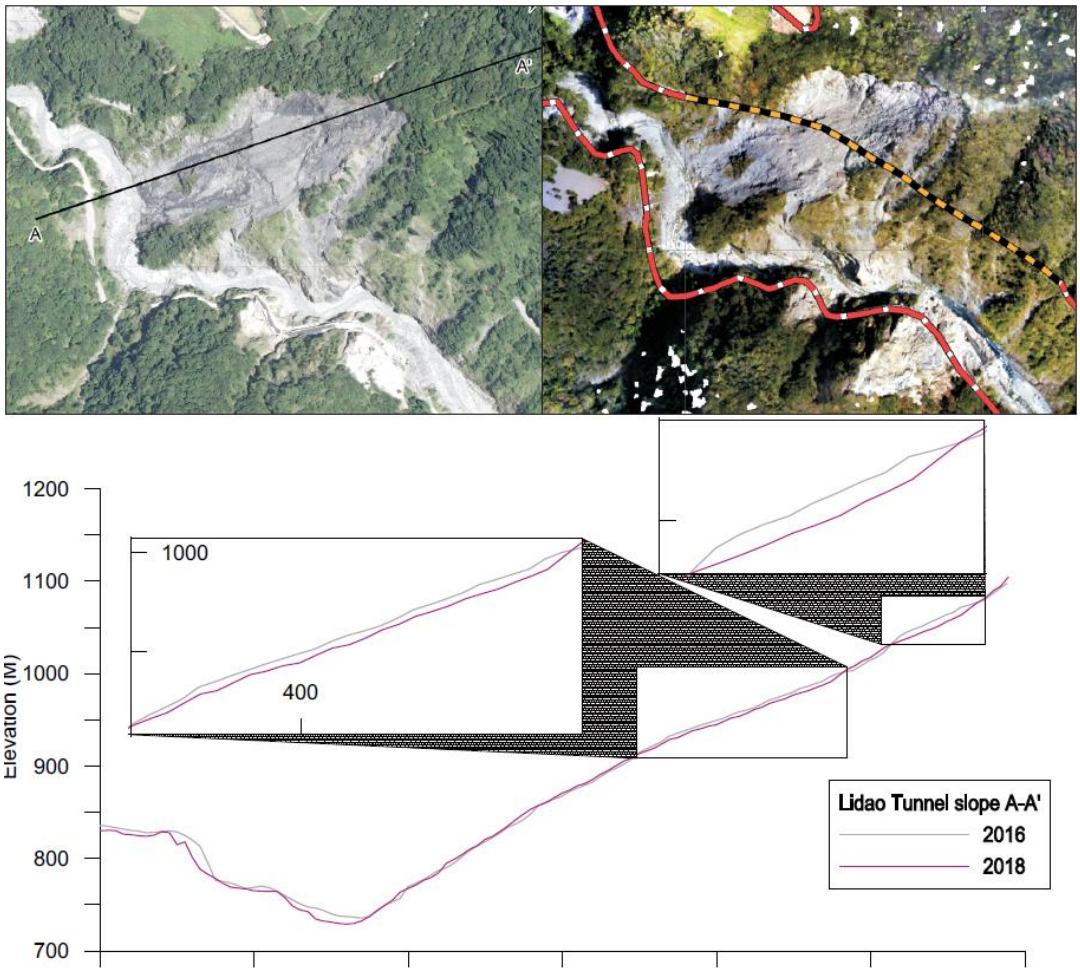


Figure 8. Profile A-A' depicting the surface change between 2016 and 2018.

DTM differencing

DTM differencing is a procedure which shows vertical topographic changes on one geographic point, during a defined time interval [7]. In this study we focused on the topographic variations between 2008 and 2016, then 2016 and 2018 in our study area. From the results of this process a positive value corresponds to an accumulation of materials, a negative one, to depletion and a null one to transfer or to stability. Figure 9 shows the topographic variation between 2008 and 2016 where the two DTMs were subtracted and we can see that these results also confirms the results obtained by comparing the profiles A-A' and B-B' in the period 2008-2016. We can clearly see the depletion zones (the brown colour), from the two areas where both profiles are located. Also if we look at the river bed we can see that it gained some material and this is because all the depleted material from adjacent sloped

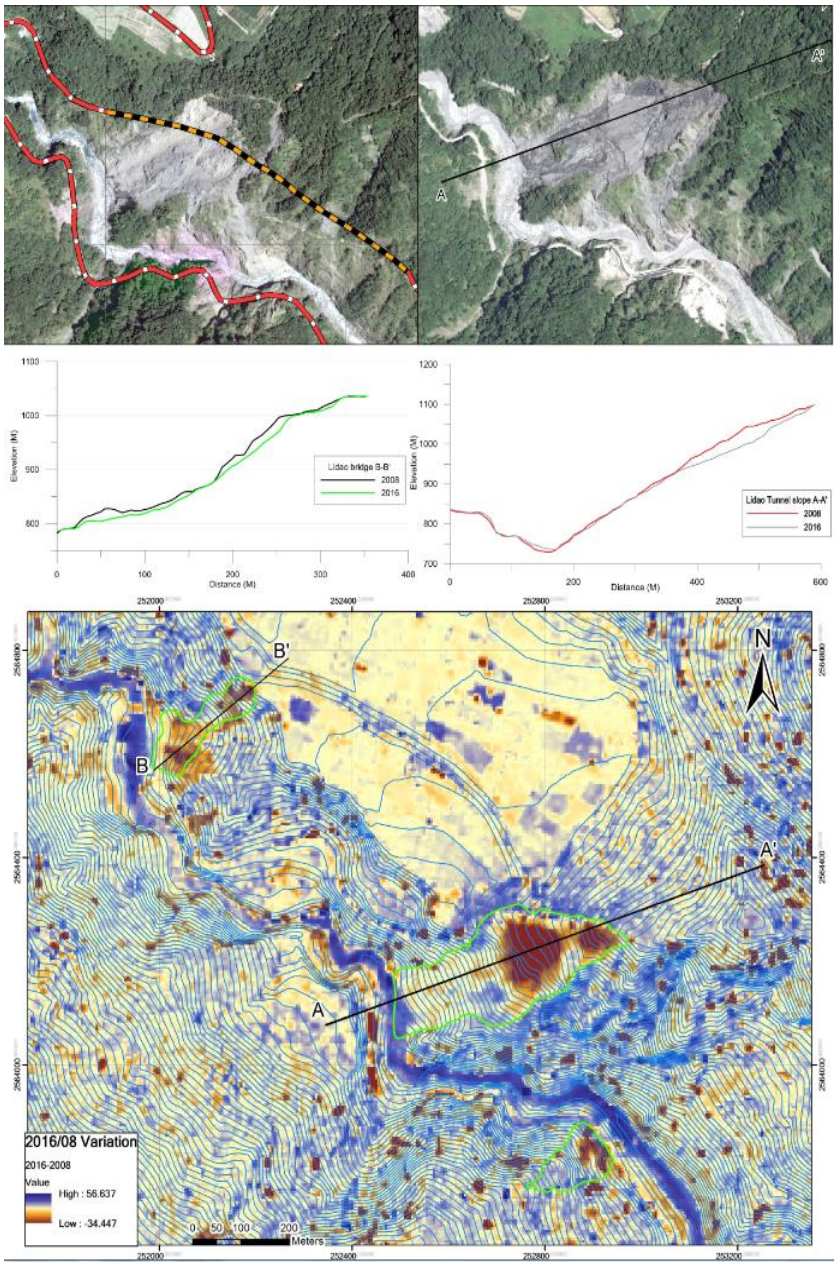


Figure 9. Results of DTM differencing depicting the topographic variation between 2008 and 2016 and the location of profiles A-A' and B-B'.

along the river slides in to the river where some is washed downstream and some remains in the river, thus the riverbed has gained material.

In figure 10, the difference between 2016 and 2018 the UAV generated DTM we can confirm the sliding surface, with the brown colour denoting a depletion zone from our legend, of the slope opposite the slope with Lidoa Tunnel. We can also tell that during this period nothing much has happened on the slope with section BB' since we have the null value colour denoting 0 surface change in that area. But when looking at the slope with section AA' the results of the DTM differencing do not agree with the surface change profile results of this area figure 8. This is because of the difference in resolution, the UAV generated DTM has a higher resolution than the DMC generated DTM. When comparing two DTMs of different resolutions the resolution of the output is decided by the relatively low resolution data, [8]. So the surface change was minor to be visible in the resolution of the DMC generated DTM.

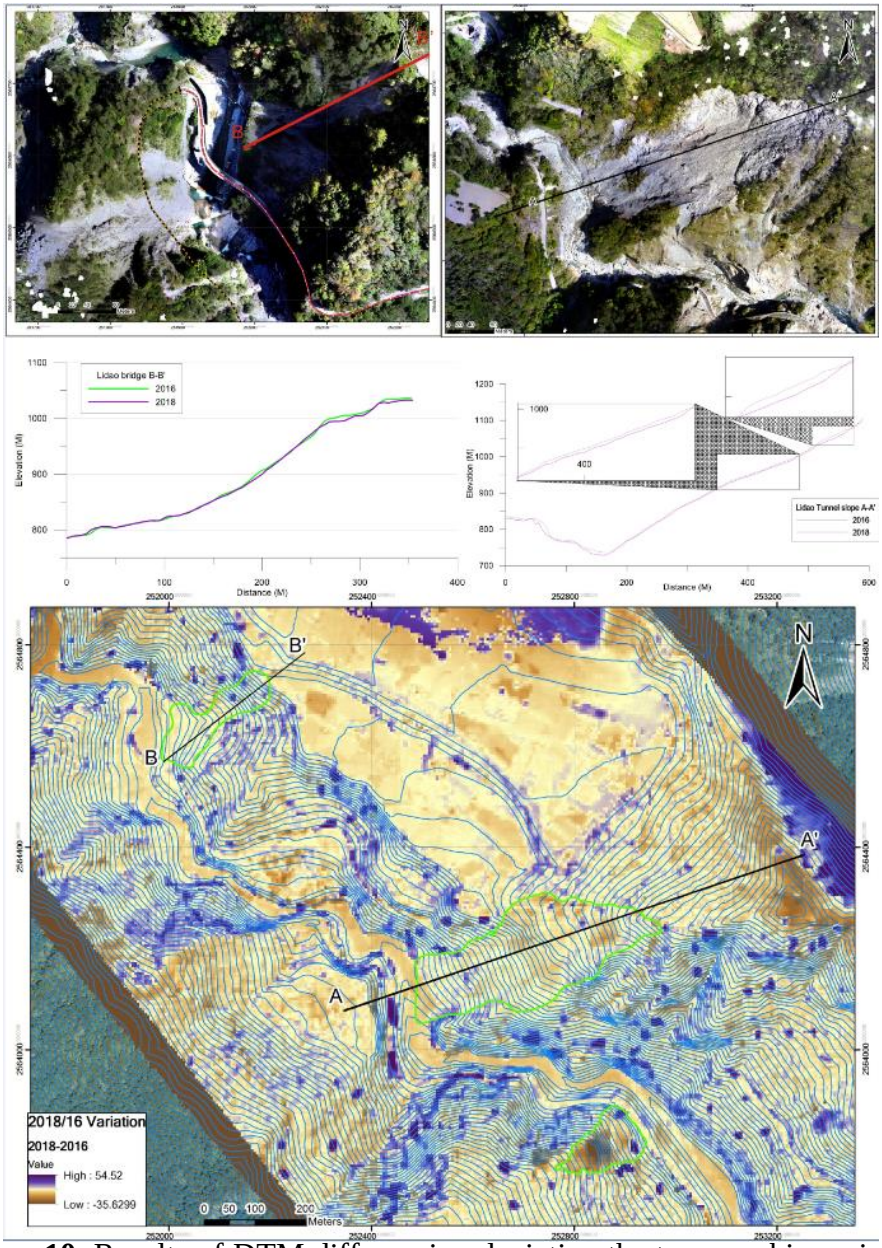


Figure 10. Results of DTM differencing depicting the topographic variation between 2018 and 2016.

Conclusions

This study revealed that multi temporal orthophotos and DTMs from different photogrammetric sources can be effectively applied in characterizing and tracking the evolution landslides. Multi-temporal DTMs were used to conduct topographic variation analysis of our study area, whose results contributed to the landslide mechanism analysis. The resolution of our DTMs and orthophotos also had a significant influence on the results of visual and topographic variation analysis. We also incorporated the use of UAV photogrammetry to produce a high resolution (5.17 cm) orthophoto and a DTM to help in investigating the evolution of the slope instability and characterization which facilitated the detection of minor surface movements on the slope which would have been otherwise impossible with a lower resolution DTM. The DTM differencing technique also supported the results from the topographic variation using profiles cut along the main sliding direction of the landslides by showing the depletion and accumulation zones. For future work the accuracy of the generated 3D stereo models will be investigated to validate their products' use in landslide mechanism analysis.

References

[1] Niethammer, U., James, M. R., Rothmund, S., Travelletti, J., & Joswig, M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. Engineering Geology, 128, 2-11.

[2] Hsieh, Y. C., Chan, Y. C., & Hu, J. C. (2016). Digital elevation model differencing and error estimation from multiple sources: A case study from the Meiyuan Shan landslide in Taiwan. Remote Sensing, 8(3), 199.

[3] Rossi, G., Tanteri, L., Salvatici, T., & Casagli, N. (2017, June). The use of multi-copter drones for landslide investigations. In 3rd North American Symposium on Landslides, Roanoke, VA (pp. 978-984).

[4] Shahim, M., Ahmad, A., Adimin, M. K., & Talib, M. S. A. Mono And Stereo Digitizing Of Large Scale Mapping Based On Aerial Photograph Of Digital Mapping Camera.

[5] Gindraux, S., Boesch, R., & Farinotti, D. (2017). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on glaciers. Remote Sensing, 9(2), 186.

[6] Rossi, G., Tanteri, L., Tofani, V., Vannocci, P., Moretti, S., & Casagli, N. (2018). Multitemporal UAV surveys for landslide mapping and characterization. Landslides, 1-8.

[7] Casson, B., Delacourt, C., & Allemand, P. (2005). Contribution of multi-temporal remote sensing images to characterize landslide slip surface–Application to the La Clapière landslide (France). Natural Hazards and Earth System Sciences, 5(3), 425-437..

[8] Fan, X., Zhan, W., Dong, X., van Westen, C., Xu, Q., Dai, L., ... & Havenith, H. B. (2018). Analyzing successive landslide dam formation by different triggering mechanisms: The case of the Tangjiawan landslide, Sichuan, China. Engineering geology, 243, 128-144.

初探空氣品質與選舉之關聯-以台中地區為例
Exploring the Relationship between Air Quality and Elections - Taichung Area as An Example

邱天佑

Tien-You Chiu*

大漢技術學院企業管理系 助理教授

Assistant Professor, Department of Business Administration, Institute of Dahan Technology

* Corresponding author: cute@ms01.dahan.edu.tw

摘 要

臺灣空氣品質除了受國內汙染散發影響之外，季節性或不定時受到鄰近國家汙染物傳播影響。2018年臺灣縣市長選舉，空氣品質問題屢屢成為選戰議題，是否仍延燒成為2020年總統大選關鍵議題？本研究目的是探討台中地區空汙是否已經嚴重到足以影響選舉結果。研究資料取自行政院環保署「空氣品質監測網」之台中地區五個監測站，西屯、忠明、豐原、沙鹿、大里，2014年~2018年懸浮微粒(PM_{10})之平均逐月監測數據。研究結果顯示，台中地區懸浮微粒之月平均值，以大里地區最高。濃度較高的月份，分布於每年10月至隔年4月之際，濃度則是介於空氣品質指標(AQI)的良好綠與普通黃之間。顯示台中地區目前空氣品質仍屬安全，無須過度驚慌。因此，空汙與選舉輸贏尚無關聯。但基於追求健康的空氣品質，政府應該早日訂定改善計畫，還民眾乾淨與安全的空氣品質，避免成為選戰的假議題。

關鍵詞：空氣品質指標(AQI)、PM_{10}、選舉

壹、前 言

2018年臺灣九合一選舉，西部許多縣市長候選人以反空汙為政見，迫使執政民進黨應對失能，間接造成部分縣市翻轉敗陣，導致選後環保署長李應元請辭下台。臺灣空氣品質狀況除了受國內汙染散發影響，尚會因季節性或不定時受到鄰近國家汙染物傳播影響(行政院環境保護署，2018)。為了掌握空氣品質狀況及長期變化、發展汙染防制策略及評估策略的有效性、學術研究及對國民健康之影響評估等目的，行政院環境保護署於1990年規劃建立臺灣地區空氣品質監測網(Taiwan Air Quality Monitoring, TAQM)，並於1993年正式監測運轉，全面執行全自動化監測，即時監控各地空氣品質狀況，提供即時監測資料，並配合氣象資料，可達到事先預警功能，提供民眾更佳保障(邱天佑，2018)。

2018年臺灣縣市長選舉，空氣品質問題屢屢成為選戰議題(吳淑萍、江俊彥，2018)，去年台中市長選舉，國民黨提名的盧秀燕強打空汙議題奏效，順利勝選。執政之民進黨這次選舉失敗雖有多種原因，但反空汙與公投通過以核養綠，均顯示民眾主觀感受空氣品質仍不好。顯而易見市政府的能源政策錯誤，因為再生能源發展跟不上，堅持廢核勢必加重石化燃料的發電占比，提高天然氣發電的行政程序複雜，終致燃煤成為發電主力。因此，空氣品質問題未獲改善，是否延燒成為2020年總統大選關鍵議題？是一個值得探討和深思的問題。

本文使用的資料係摘自行政院環保署(2019)「空氣品質監測網」，下載台中地區五個監測站，西屯、忠明、豐原、沙鹿、大里，每月之PM_{10}空氣品質監測平均值加以分析。本文的目的在藉由每月之PM_{10}監測平均值，探討台中地區空氣品質問題，屢屢透過新聞報導成為選戰議題，究竟事實如何? 請繼續看下去。

貳、文獻探討

楊之遠(2018)指出空氣汙染成因、來源、種類之研究，國內從事空氣品質模式研究者眾，其中雲林科技大學研究團隊將台灣各地區之空汙來源占比量化分析，以中部地區（包括中、彰、投）為例，其懸浮微粒年平均濃度受台灣本身排放源影響達65%，境外傳輸影響約35%。台灣本地排放源中，以逸散源影響比例最高約25%、其次為交通源約21%、工業源約17%。顯示中部地區的懸浮微粒主要來源以逸散源、交通源為主，工業源其次，因此要改善中部地區的懸浮微粒，更重要的是要管制逸散源及交通源。同時，中部地區的環保單位在面臨汙染情況時，可將原來定性的管制方案，落實為科學的量化管制措施，會更有效的改善空氣品質。民國94年8月起各測站增加細懸浮微粒自動監測儀器，以瞭解我國細懸浮微粒汙染特徵。以下將簡述我國空氣品質指標與監測。

1. 空氣品質指標(AQI)

行政院環境保護署(2018)指出「為接軌國際，將現行空氣汙染指標(Pollutant Standards Index，PSI)及細懸浮微粒($PM_{2.5}$)雙指標調整為適用於我國的單一指標，空氣品質指標(Air Quality Index, AQI)。空氣品質指標為依據監測資料將當日空氣中臭氧(O_3)、細懸浮微粒($PM_{2.5}$)、懸浮微粒(PM_{10})、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO_2)及二氧化氮(NO_2)濃度等數值，以其對人體健康的影響程度，分別換算出不同汙染物之副指標值，再以當日各副指標之最大值為該測站當日之空氣品質指標值」。空氣品質指標(AQI)與健康影響表示如圖1所示。

根據行政院環境保護署(2018)年報指出，「統計空氣品質指標(AQI)2017年度空氣品質監測站AQI平均值為68(標準差34)，良好等級(AQI≦50)占39.34%；普通等級(51≦AQI≦100)占42.91%；對敏感族群不健康等級(101≦AQI≦150)占15.02%；對所有族群不健康等級(151≦AQI≦200)占2.69%；非常不健康以上等級(201≦AQI≦500)占0.04%，而空氣品質指標超過100以上情況，近4年比率為逐年下降」。同時，民國106年度空品區空氣品質指標年平均值統計，以高屏空品區AQI平均值83為最高、花東空品區38最低。

空氣品質指標(AQI)							
AQI指標	O_3 (ppm) 8小時平均值	O_3 (ppm) 小時平均值(1)	$PM_{2.5}$ (μg/m³) 24小時平均值	PM_{10} (μg/m³) 24小時平均值	CO (ppm) 8小時平均值	SO_2 (ppb) 小時平均值	NO_2 (ppb) 小時平均值
良好 0～50	0.000 - 0.054	-	0.0 - 15.4	0 - 54	0 - 4.4	0 - 35	0 - 53
普通 51～100	0.055 - 0.070	-	15.5 - 35.4	55 - 125	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100
對敏感族群不健康 101～150	0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 - 54.4	126 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360
對所有族群不健康 151～200	0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	54.5 - 150.4	255 - 354	12.5 - 15.4	186 - 304(3)	361 - 649
非常不健康 201～300	0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	150.5 - 250.4	355 - 424	15.5 - 30.4	305 - 604(3)	650 - 1249
危害 301～400	(2)	0.405 - 0.504	250.5 - 350.4	425 - 504	30.5 - 40.4	605 - 804(3)	1250 - 1649
危害 401～500	(2)	0.505 - 0.604	350.5 - 500.4	505 - 604	40.5 - 50.4	805 - 1004(3)	1650 - 2049

圖1. 空氣品質指標(AQI)與健康影響(行政院環境保護署，2018)

空氣中常見汙染物有七項：總懸浮微粒、PM_{10}、二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳、臭氧、鉛，考量PM_{10}對人體有潛在危害，如圖1所示，若PM_{10}日平均值標準值高於126μg/m^3，則屬過量。

2. 空氣品質監測

空氣品質監測資料統計，來自各測站監測結果，分別有測站類型(5種，一般、背景、工業、國家公園及交通測站)、空氣品質區(7個)及各行政區等三種統計方式，總計全國(含外島)共31個測站。其中，與台中有關的空品區共有五個。根據行政院環境保護署(2018)年報指出，民國106年空氣品質指標(AQI)年均值統計結果，以高雄市最高(年均值為85)，雲林縣及南投縣次之(年均值為84)，臺東縣最低(年均值為33)，花蓮縣次低(年均值為42)(行政院環境保護署，2018)。

3. 空氣品質與選舉

以空氣品質、空汙和選舉等關鍵字，查詢「台灣博碩士論文知識加值系統」網站，皆未獲得任何文獻研究，顯示空氣品質與選舉是近年來才受到重視的議題。林惠君(2017)認為「為何空汙議題成為選戰主軸？因為中部民眾，尤其是台中市民已隱忍多時，多數希望人對$PM_{2.5}$造成健康的影響，有很深的疑慮」。該文由民眾憂心空汙影響健康為主要因素，並引用醫院病患案例，指出空汙與導致肺腺癌的關聯性有增加趨勢。因此，從民眾在地方選舉前將空汙苗頭指向台中火力發電廠。空汙議題甚至延燒影響選舉結果。

參、使用資料與分析結果

1. 使用資料

本文使用的監測原始數據是摘自行政院環保署空氣品質監測網站(2019)(http://taqm.epa.gov.tw/)，下載台中地區五個監測站，西屯、忠明、豐原、沙鹿、大里，2014年~2018年懸浮微粒(PM_{10})之逐月監測數據。

2. 分析結果

首先，本研究分析2018年台中地區五個監測站懸浮微粒(PM_{10})之逐月平均值，如圖2，顯示大里區域之懸浮微粒(PM_{10})之逐月平均值是最高的，雖然每年2月~4月空氣品質最差，而且較其他四個監測站高一些，但仍在安全範圍內，即125μg/m^3之下。

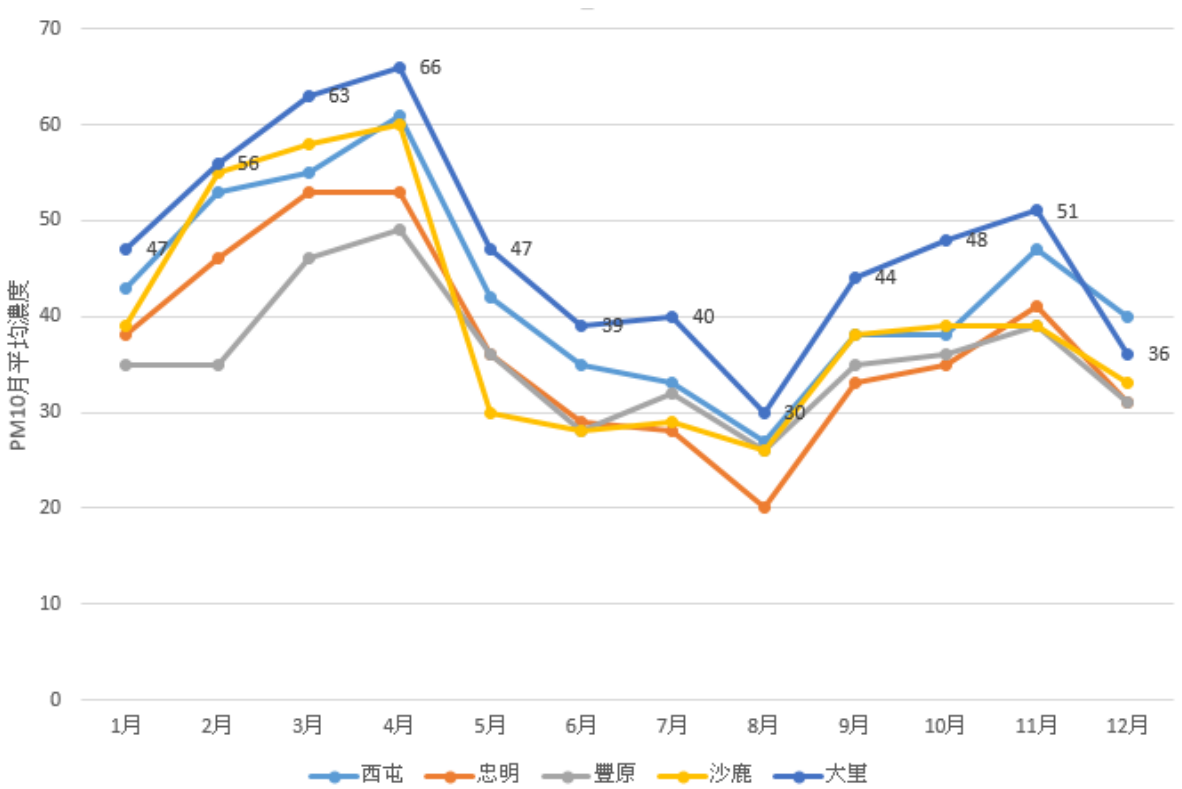


圖2. 2018年台中地區五個監測站懸浮微粒(PM_{10})之逐月平均值

其次，本研究進而分析台中大里區2014年~2018年懸浮微粒(PM_{10})之逐月平均值，如圖3，顯示2014年大里區域之懸浮微粒(PM_{10})之逐月平均值是最近五年中最高的，也還在安全範圍內，即125μg/m^3之下。同時，也顯而易見，近幾年的空氣品質並未逐年惡化。一年中甚至有約三分之二月份的平均值是安全的。

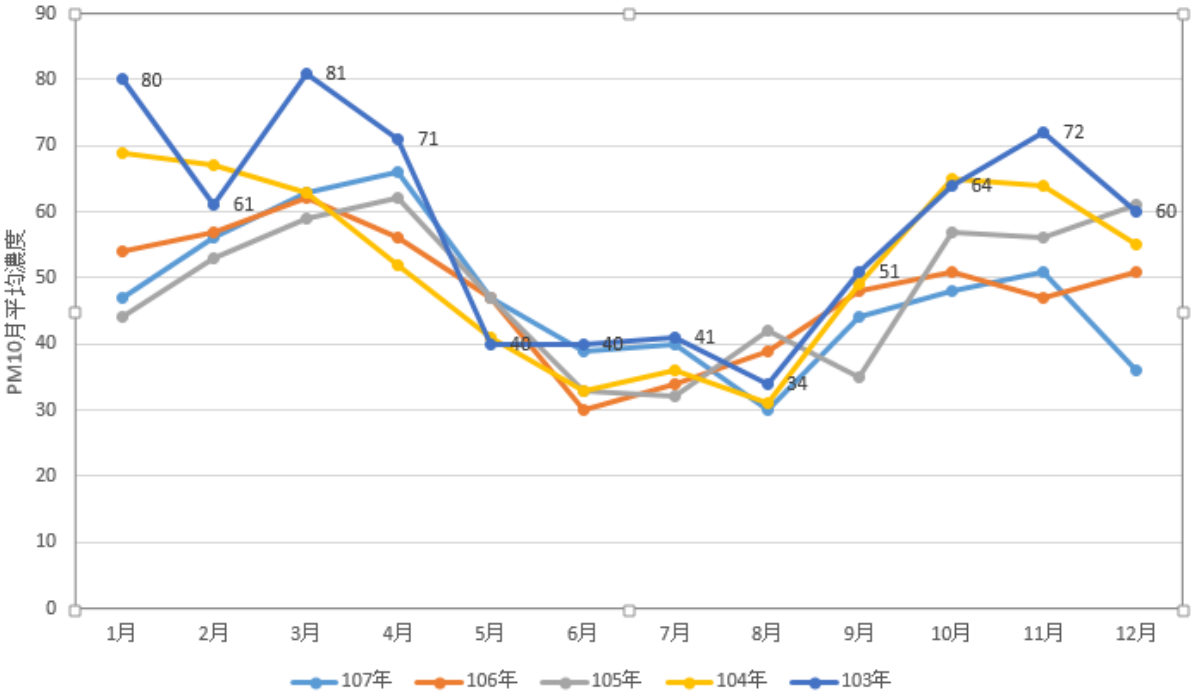


圖3. 台中大里區2014年~2018年懸浮微粒(PM_{10})之月平均值

肆、討論與建議

根據圖2與圖3顯示，在台中地區PM_{10}月平均濃度較高的月份，約10月至隔年4月之間。此分析結果與這些月份的氣溫較低，汙染物擴散不易有關，低層空氣中的汙染變多，空氣品質也開始變差了。

然而，根據圖1之空氣品質指標(AQI)，台中地區PM_{10}月平均濃度是介於安全與普通的數值之間。因此，對一班正常人的健康影響尚無憂慮。雖然有些日子，仍會對敏感族群民眾的健康有影響，但並非常態性空氣品質不佳，而且並未見到逐年持續惡化的趨勢發生。

綜合前述圖2與圖3分析結果，顯示台中地區懸浮微粒(PM_{10})之月平均值，以大里地區最高，但仍介於空氣品質指標(AQI)的安全與普通範圍之間。此結果對許多報導台中空汙嚴重的新聞而言，足以提供反向的結果。雖然，台中地區目前空氣品質仍無須過度驚慌，但基於追求健康的空氣品質，政府應該早日訂定改善計畫，還民眾乾淨與安全的空氣品質，避免成為選戰的假議題。

最後，本研究結果與陳瑞麟(2019)認為林佳龍敗選台中市長連任的主要原因並非空氣汙染的議題，更引用行政院環境保護署100年至107年11月的$PM_{2.5}$監測數據年平均值，如圖4，顯示逐年下降，換言之，林佳龍治理空汙有改善績效的。然而，根據「觀察的背負理論」(theory-ladenness of observation)，台中空汙經由媒體報導後，引導民眾的注意力和知覺，才開始注意到台灣冬天天空經常灰濛濛一片，進而關注空汙問題，甚至被放大檢驗，本文的結果正是此理論的一個最佳例證。

圖4. 台中地區2010年~2018年11月細懸浮微粒($PM_{2.5}$)之年平均值

參考文獻

[1] 行政院環境保護署(2018)：中華民國空氣品質監測報告 106 年年報，摘取日期 2018 年 3 月 28 日，摘自行政院環境保護署空氣品質監測網 https://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/YearlyDataDownload.aspx。

[2] 邱天佑(2018)：2017 年花蓮地區 $PM_{2.5}$ 與戶外休閒時段之關聯，2018 資源與環境學術研討會，294-298。

[3] 吳淑萍、江俊彥(2018)：空汙決戰台中 盧批林住豪宅過濾空氣，TVBS News 2018 年 11 月 1 日，摘取日期 2019 年 3 月 30 日，摘自 https://news.tvbs.com.tw/politics/1020913。

[4] 行政院環境保護署(2019)：歷年監測資料下載，摘取日期 2018 年 3 月 28 日，摘自行政院環境保護署空氣品質監測網(http://taqm.epa.gov.tw/)。

[5] 楊之遠(2018)：防空汙 不只是關發電廠，聯合報 2018 年 12 月 6 日，摘取日期 2019 年 4 月 3 日，摘自 https://udn.com/news/story/11321/3523061。

[6] 林惠君(2017)：為何空汙成為地方選舉熱門議題？遠見，摘取日期 2019 年 4 月 11 日，摘自 https://www.gvm.com.tw/article.html?id=41027。

[7] 陳瑞麟(2019)：空汙議題、媒體效應與選舉政治，科學發展，555 期，86-89。

沼液作為農地肥份對土壤之影響評估–以花蓮縣為例
Evaluation of the Influence of Biogas slurry Manure as a Farmland Fertilizer on Soil: A Case Study of Hualien

許文昌 [1*] 黃盈惠 [2]

Wen-Chang Hsu[1] Ying-Hui Huang[2]

1 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 助理教授

Assistant Professor,, Department of Civil Engineering & Environmental Resource Management, Institute of Dahan Technology

2 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系碩士班研究生

2. Graduated student, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management, Institute of Dahan Technology

* Corresponding author: kenhsu@ms01.dahan.edu.tw

摘 要

畜牧業因排放廢水氨氮濃度偏高導致水體污染，環保署於 2016 年起推動畜牧糞尿沼渣沼液再利用，以循環經濟永續經營為目的，沼液可回收再利用於農地，除增加土壤肥分外對環境亦可減輕負擔，實為三贏局面。為探究花蓮縣農地進行沼液澆灌後，對土壤產生的影響，本研究蒐集縣內飼養豬隻畜牧場產出之沼液檢測資料，從源頭豬隻餵養飼料的種類、澆灌農地的土壤質地及土壤檢驗報告進行分析。

為比較重金屬於不同質地土壤累積之情形，以重金屬濃度較高之飼養方式產生的沼液，分別進行澆灌，經檢測 15 處澆灌農地，導電度測值介於 16~314μm/cm之間，其中以編號D-1 農地測得 314μm/cm為高，以土壤鹽害等級表判別，其鹽分等級小於 2000μm/cm，農地屬不受鹽害影響。重金屬銅濃度介於 18.2~76.1mg/kg之間，最高值為 D-1 農地測得 76.1mg/kg，其餘農地與背景值無明顯差異，且未超出食用作物農地之監測標準值(120mg/kg)。重金屬鋅濃度介於 44.2~213mg/kg之間，最高值為D-1 農地測得 213mg/kg，其中E-1 及M-1 農地未達背景值 1/2 與H-1 超出背景值約 3.4 倍，推測與土壤不均質性有關，因本研究統計資料僅為 2018 年監測數值，需持續監測或是進行較細密之調查，才能判斷差異性，其餘農地與背景值無明顯差異，且皆未超出食用作物農地之監測標準值(260mg/kg)。

關鍵字：沼液、重金屬、土壤

壹、前 言

根據環保署資料可知畜牧業產出之糞尿為高有機及含氮物質，目前畜牧業大都採用固液分離、厭氧(兼氣)發酵及好氧處理之三段式廢水處理系統，但因好氧處理程序需要

長時間曝氣，打入氧氣讓好氧菌產生活力，需耗費相當的電力與費用，業者為節省成本或操作不當等其他因素，就將未處理完成之廢水排入河川，再者三段式系統對氨氮並無法有效處理，廢水排入河川後消耗水中溶氧，造成河川水體污染問題不斷循環。另外，對畜牧業者來說，繁複的廢水處理申請程序，更降低配合的意願，導致河川水體依然持續遭受排放廢水的污染。

水污染防治法於2015年修法提高未符合放流水標準及繞流排放之罰鍰，再加上畜牧業自2017年起開始繳納水污染防治費，基於種種成本的考量，促成畜牧糞尿資源化的契機。有別於傳統的思維，可將畜牧糞尿收集後，經靜置槽體或紅泥膠皮袋隔絕空氣，進行厭氧發酵後，將產生之沼液、沼渣再利用至農地，除能減少化肥的使用外，還能維持農地肥力，進而達到農業生產永續經營之目標，對畜牧業者、農民及環境來說就是三贏的局面。[1]

為探究花蓮縣農地進行沼液澆灌後，對土壤產生的影響，本研究蒐集縣內飼養豬隻畜牧場產出之沼液檢測資料，從源頭豬隻餵養飼料的種類、澆灌農地的土壤質地及土壤檢驗報告進行分析。

貳、研究方法

2.1 研究範圍

本研究統計2016至2018年間共計檢測34家養豬畜牧場，針對餵養類型的不同，分析豬隻產出之沼液導電度、重金屬銅鋅濃度之差異，接著比較不同餵養類型所產出之沼液澆灌農地後對土壤的影響，最後挑選因餵養方式導致重金屬濃度較高者，澆灌於15處不同質地農地產生的影響。

2.2 土壤採樣分析方法

本研究土壤檢測項目為導電度、重金屬銅鋅與土壤質地，其分析方法如下：

1. 導電度採用飽和抽出液法[2]：測定方法是將土壤樣品以土水比1：5之比例加入去離子水，置於往覆式震盪機以140rpm震盪1小時，以Whatman 5號濾紙過濾後，濾液以電導度計量測其電導度值。

2. 重金屬銅、鋅皆採用NIEA S321.64B[3]：檢測方法是將土壤樣品以鹽酸和硝酸混合，在室溫下靜置萃取16小時，再加熱至沸騰並迴流2小時，所得消化液稀釋至適當體積後，以火焰式原子吸收光譜儀（FLAA）、石墨爐式原子吸收光譜儀（GFAA）、感應耦合電漿原子發射光譜儀（ICP-AES）、感應耦合電漿質譜儀（ICP-MS）或冷蒸氣原子吸收光譜儀（CVAA）進行分析。

3. 土壤質地採用比重計法[4]：量測方法為在1,000毫升的量筒內放置比重計，因為較粗顆粒會先下沈至比重計下方而使比重計所在位置之渾水密度減小，造成比重計所受浮力減小，為增大浮力達到重力與浮力的平衡，比重計會下降以增加浸沒體積，如此由不同時間比重計之讀數配合流體力學之史托克斯定律(Stokes' law)即可求得砂之粒徑級配。

表2-1為土壤導電度分級表，在土壤品質規範中，導電度雖無相關標準規範，但可由鹽分等級、鹽害等級及土壤導電度來作為土壤鹽化判定的依據。表2-2 為土壤監測及管制標準，由重金屬銅鋅測值來判定食用作物農地之監測標準值及管制標準值。

表2-1　土壤導電度分級表[5]

鹽分等級	鹽害等級	土壤導電度(μS/cm)
無鹽分	不受影響	<2000
微鹽分		2000~4000
輕鹽分	微受影響	4000~8000
中鹽分	頗受影響	8000~16000
高鹽分	深受影響	>16000

表2-2　土壤監測及管制標準[6]

項目	監測標準	管制標準
銅	220mg/kg(食用作物農地之監測標準值120 mg/kg)	400mg/kg(食用作物農地之管制標準值200mg/kg)
鋅	1,000mg/kg(食用作物農地之監測標準值260 mg/kg)	2,000 mg/kg (食用作物農地之管制標準值600 mg/kg)

叁、結果與討論

3.1不同餵養方式產生沼液之分析

本研究將畜牧場餵養類型分為四種，分別為飼料加酒糟、飼料加廚餘、飼料加酒糟加廚餘及純飼料餵養，其中以飼料加酒糟餵養有3場、飼料加廚餘有7場、飼料加酒糟加廚餘有1場，多數是以純飼料餵養計有23場，因飼料加酒糟加廚餘樣本過少，故不納入分析比較。

圖3-1為不同餵養方式所產沼液中導電度之比較圖，導電度介於1018~6480μmho/cm之間，測值由高至低排列為飼料加廚餘、飼料加酒糟、純飼料，三種餵養方式變異不大，飼料加廚餘餵養方式導電度較高，推測為國人飲食特性造成，因鹽份偏高導致餵食廚餘豬隻產出之沼液導電度偏高。

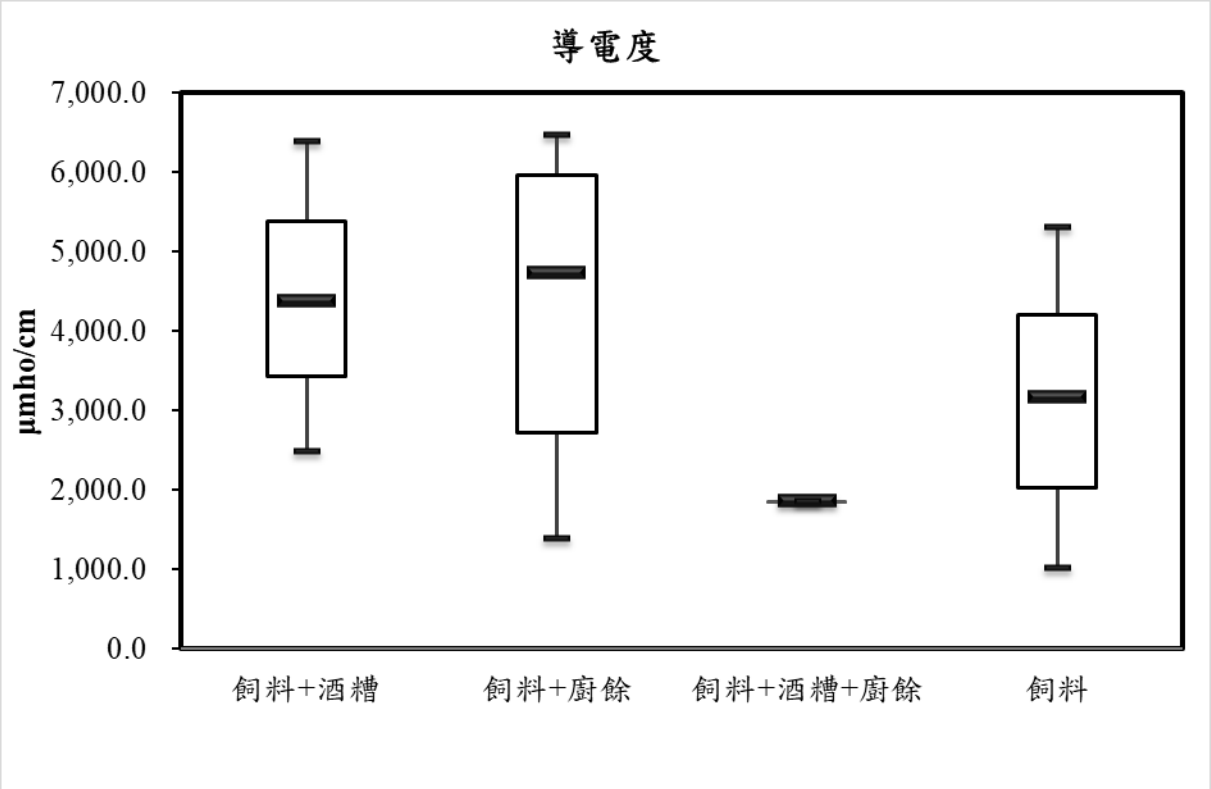


圖3-1 不同餵養方式所產沼液中導電度之比較圖

圖3-2為不同餵養方式所產沼液中銅濃度之比較圖，重金屬銅濃度介於0.002~0.16mg/L之間，測值由高至低排列為純飼料、飼料加廚餘、飼料加酒糟；檢測結果顯示以純飼料餵養者測得0.16mg/L為最高，此餵養方式變異較明顯，推測原因與飼料廠牌(配方不同)有關，且養豬業者為降低成本會添加銅作為生長促進劑，其更有腸道抗菌之功效所致[7]。

圖3-3為不同餵養方式所產沼液中鋅濃度之比較圖，鋅濃度介於0.012~1.843mg/L之間，測值由高至低為純飼料、飼料加酒糟、飼料加廚餘，檢測結果顯示以純飼料餵養者測得1.843mg/L為最高，推測因飼料中已含額外添加的鋅，且鋅可用來控制剛斷奶小豬的離乳腹瀉情形之緣故[8]；另若以平均值進行比較，飼料加酒糟為0.69mg/L、飼料加廚餘為0.28mg/L，純飼料為0.53mg/L，飼料加酒糟佔相對百分比46%為最高，推測原因為酒糟屬高蛋白質之原料，必需配合其他飼料，如豆粉、糠麩、油餅、玉米類等精飼料，並補充適量的骨粉、蛋殼粉、微量元素等飼料，同時還要搭配足量的青飼料，以彌補酒糟中所缺乏的營養物質所影響。

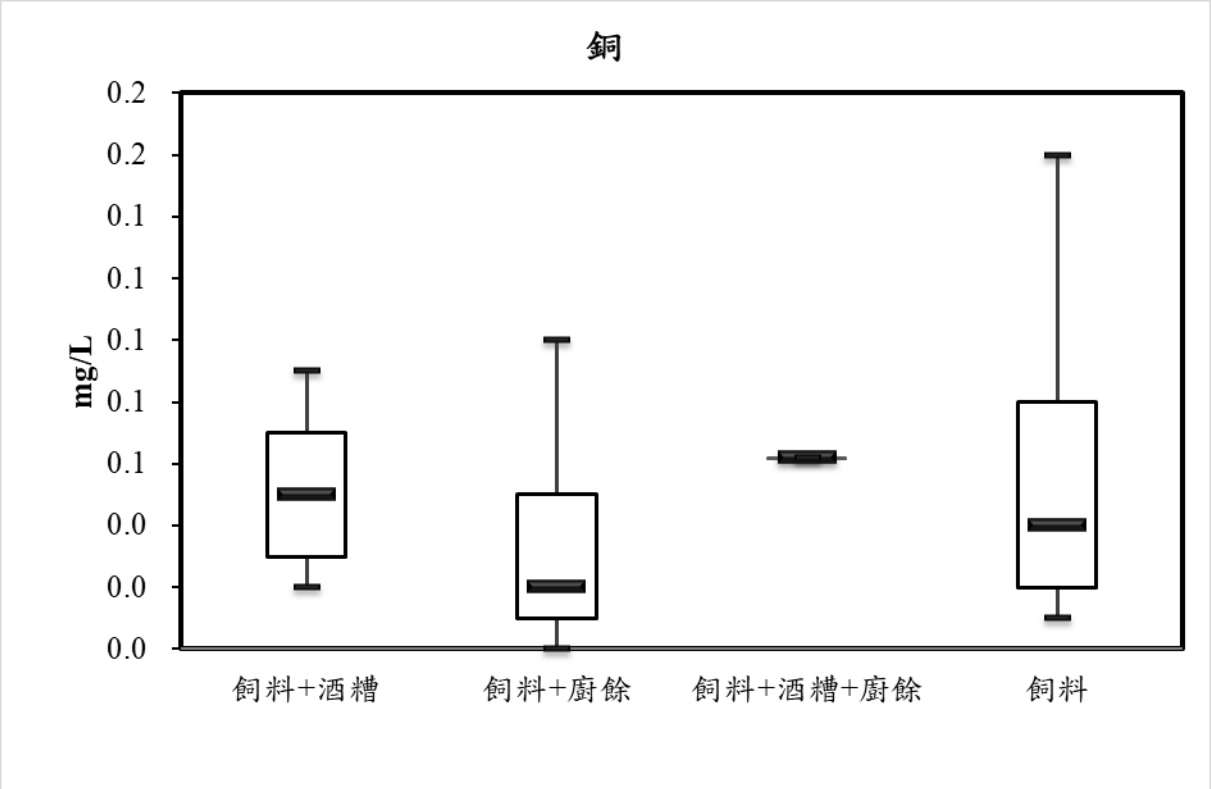


圖3-2 不同餵養方式所產沼液中銅濃度之比較圖

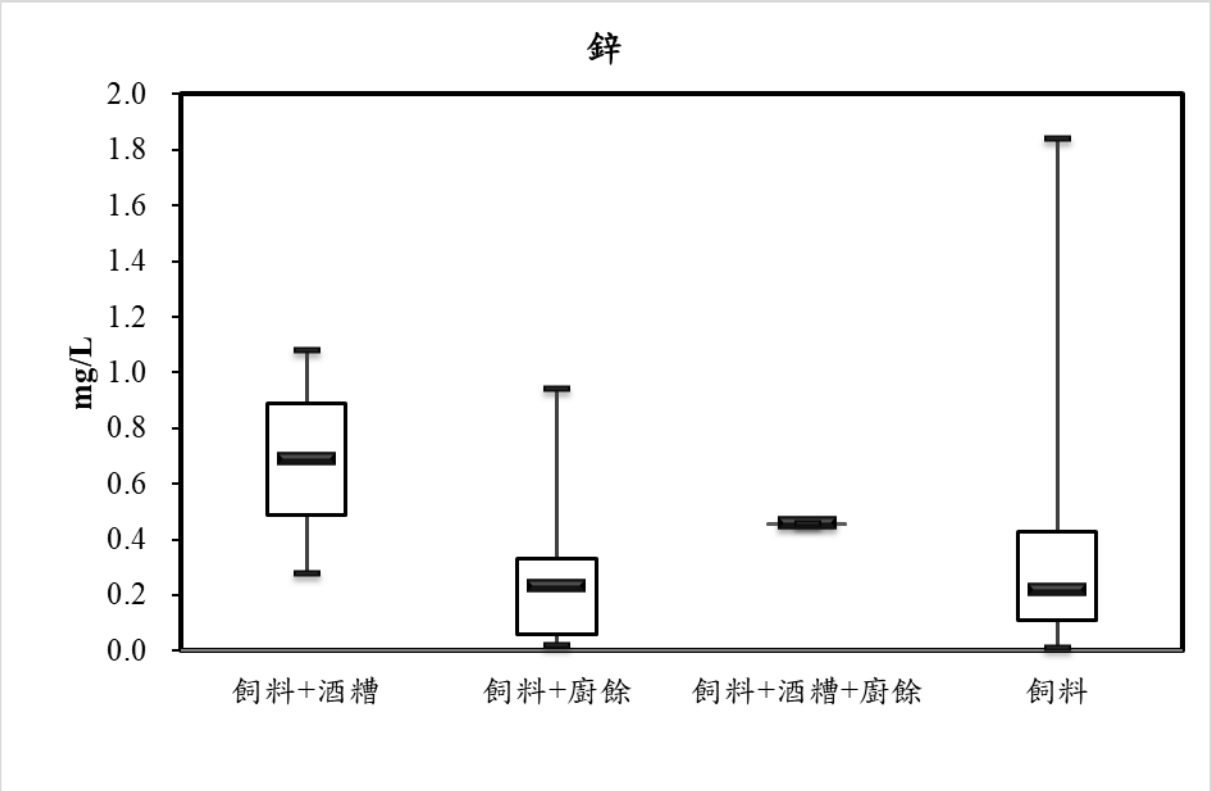


圖3-3 不同餵養方式所產沼液中鋅濃度之比較圖

表3-1 飼料添加物鋅含量[9] [10]

項目	每100克含量(mg)
豆粉	4.5
麩	2.3
玉米	0.6
青飼料(甜象草)	7.1

本研究統計2016至2018年間共計檢測34家養豬畜牧場，經厭氧發酵的沼液，導電度介於1018~6480μmho/cm之間，重金屬銅的測值介於0.002~0.16mg/L之間，另有5家小於偵測極限值，鋅的測值則介於0.012~1.843mg/L之間。花蓮縣沼液重金屬銅鋅分析結果皆符合範圍值(銅濃度0.011~2.2mg/L、鋅濃度0.036~19.2mg/L)，但平均值略為偏低，係因餵食廚餘及酒糟之畜牧場約佔32.35%，飼料僅當作添加劑之緣故。另由沼液沼渣範圍值可知，沼渣(銅濃度5.6mg/L、鋅濃度49.5mg/L)及混合液(銅濃度0.042~94.2mg/L、鋅濃度0.111~262mg/L)重金屬含量皆高出沼液許多，若採用沼液進行澆灌，可降低農地重金屬污染的風險。[11] [12] [13]

3.2沼液澆灌規範及方式

畜牧業產生之糞尿經厭氧發酵後產生之沼液，施灌於農地，作為農地肥分，應符合非草食性動物之厭氧發酵天數至少10天以上；草食性動物至少達5天以上，才能施灌於農地[14]。國內澆灌方式有注入法、噴灑式、溝灌及漫灌等四種，花蓮縣澆灌方式採用溝灌及漫灌兩種，溝灌是將厭氧發酵後的沼液與灌溉水1:2之比例進行灌溉，漫灌則是以厭氧處理後之沼液與灌溉水為 1:1之比例進行灌溉。

3.3不同餵養類型進行澆灌對土壤的影響

因花蓮縣有四種不同餵養類型，為比較不同餵養方式所產出之沼液對土壤的影響，分為四組進行對照：

1. A畜牧場：餵養飼料加酒糟，澆灌農地為A-1，土壤質地屬砂土。
2. B牧場：餵養飼料加廚餘，澆灌農地分別為B-1、B-2及B-3三塊，土壤質地皆屬砂質壤土。
3. C畜牧場：餵養飼料加酒糟加廚餘，澆灌農地為C-1，土壤質地屬砂質壤土。
4. D畜牧場：餵養純飼料，澆灌農地為D-1及D-2，兩塊土壤質地皆屬砂質壤土。

圖3-4至3-6為不同餵養方式土壤導電度之比較、不同餵養方式土壤重金屬銅濃度之比較及不同餵養方式土壤重金屬鋅濃度之比較，由圖中得知檢測結果為編號D-1農地，以純飼料餵養者測得導電度314μm/cm、銅濃度76.1 mg/kg及鋅濃度213 mg/kg為最高。

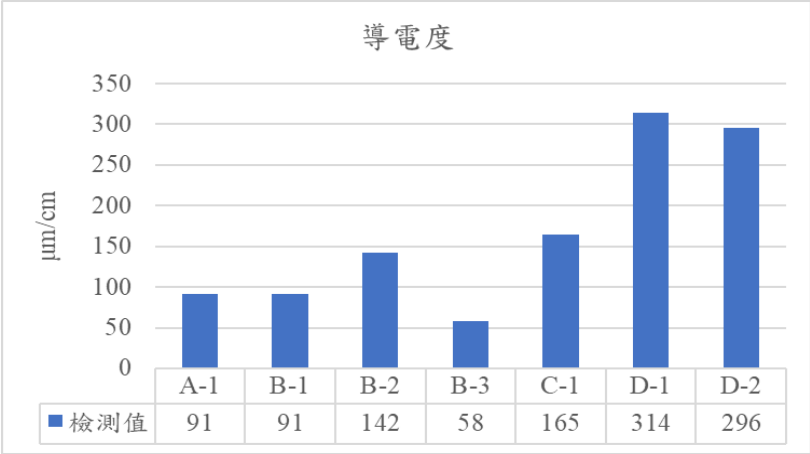


圖3-4 不同餵養方式土壤導電度之比較

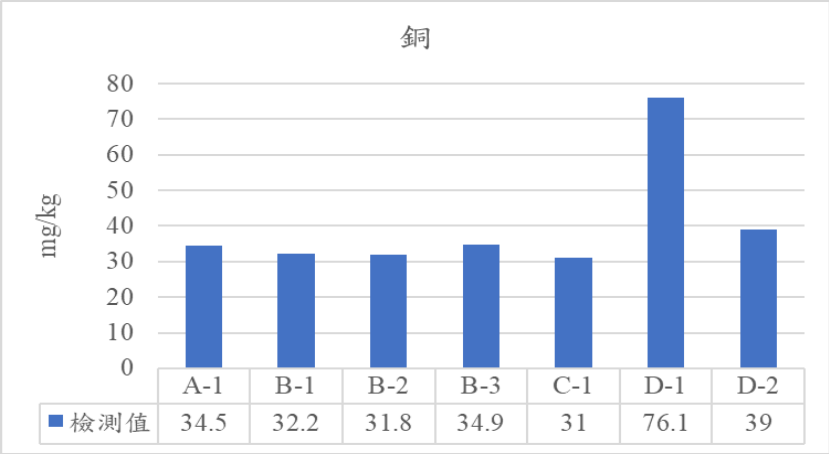


圖3-5 不同餵養方式土壤重金屬銅濃度之比較

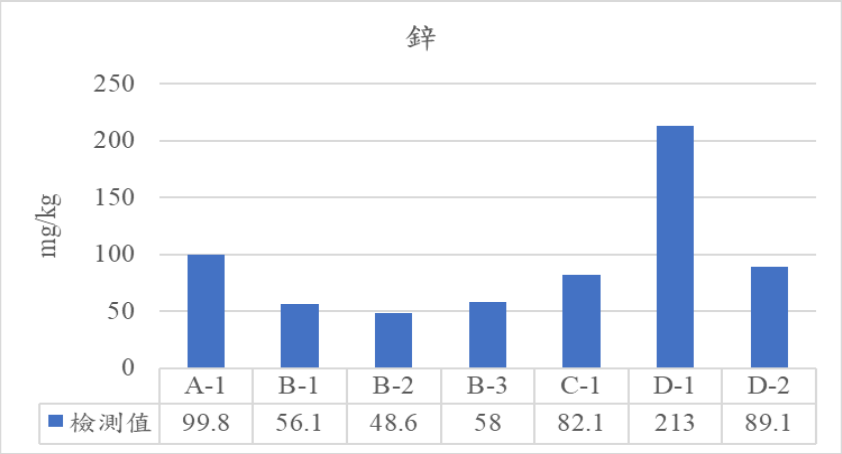


圖3-6 不同餵養方式土壤重金屬鋅濃度之比較

3.4土壤質地不同澆灌後對土壤的影響

本階段研究係以純飼料餵養豬隻產生之沼液，分別澆灌於壤質砂土、砂質壤土及壤土進行比較導電度的差別及重金屬累積情形，如下所示：

1. 壤質砂土：

圖3-7至3-9為澆灌於壤質砂土導電度之比較、澆灌於壤質砂土銅濃度之比較及澆灌於壤質砂土鋅濃度之比較，由圖中得知農地編號為I-1、J-1、J-2、J-3及K-1等5塊，導電度介於23~196μm/cm之間，最高者為K-1測得196μm/cm；銅濃度介於18.2~35.5mg/kg間，最高為K-1測得35.5mg/kg；鋅濃度介於46.7~111mg/kg間，最高為K-1測得111mg/kg。

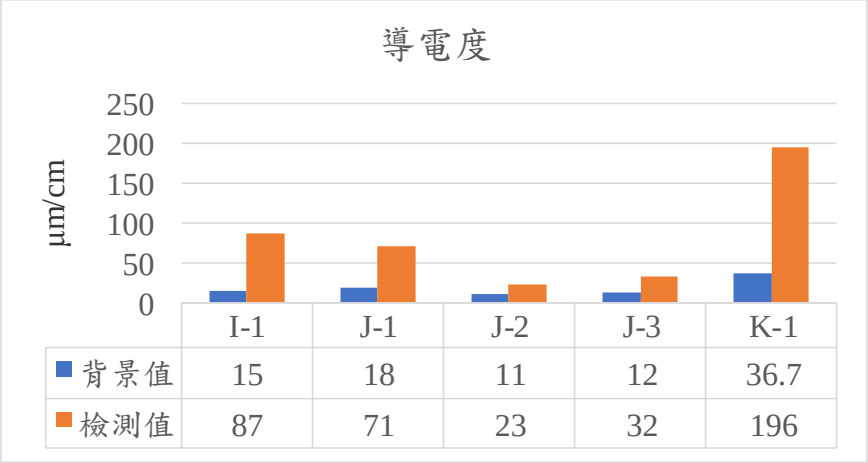


圖3-7 澆灌於壤質砂土導電度之比較

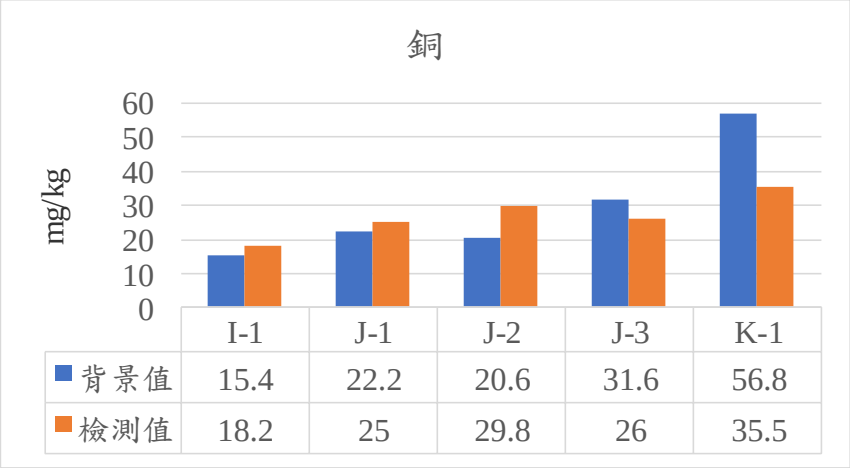


圖3-8 澆灌於壤質砂土銅濃度之比較

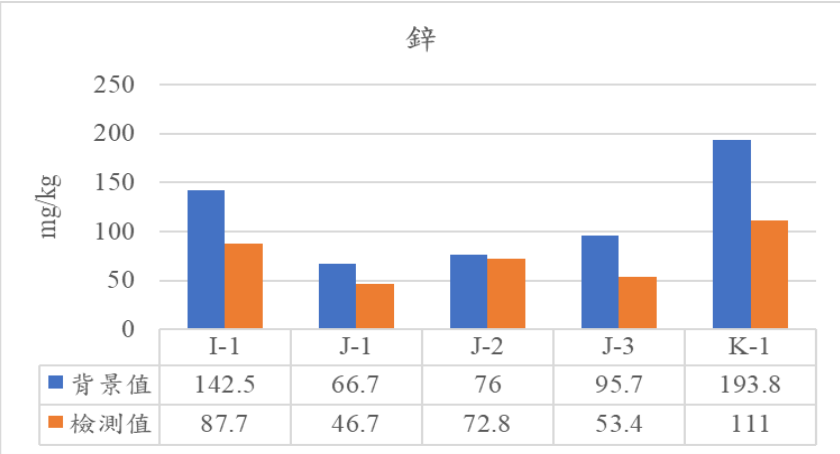


圖3-9 澆灌於壤質砂土鋅濃度之比較

2. 砂質壤土：

圖3-10至3-12為澆灌於砂質壤土導電度之比較、澆灌於砂質壤土導電度之比較及澆灌於砂質壤土鋅濃度之比較，由圖中得知農地編號為D-1、D-2、E-1、E-2、F-1、G-1、G-2及H-1等8塊，導電度介於16~314μm/cm之間，最高者為D-1測得314μm/cm；銅濃度介於22.7~76.1mg/kg間，最高為D-1測得76.1mg/kg；鋅濃度介於44.2~213mg/kg間，最高為D-1測得213mg/kg。

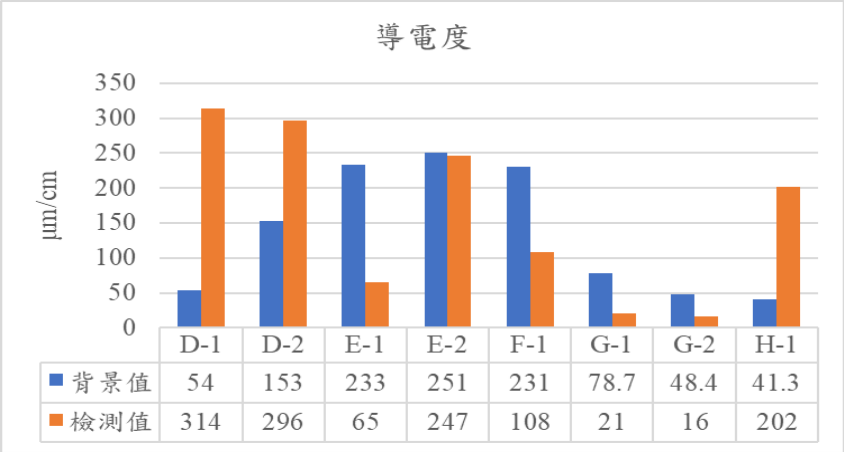


圖3-10 澆灌於砂質壤土導電度之比較

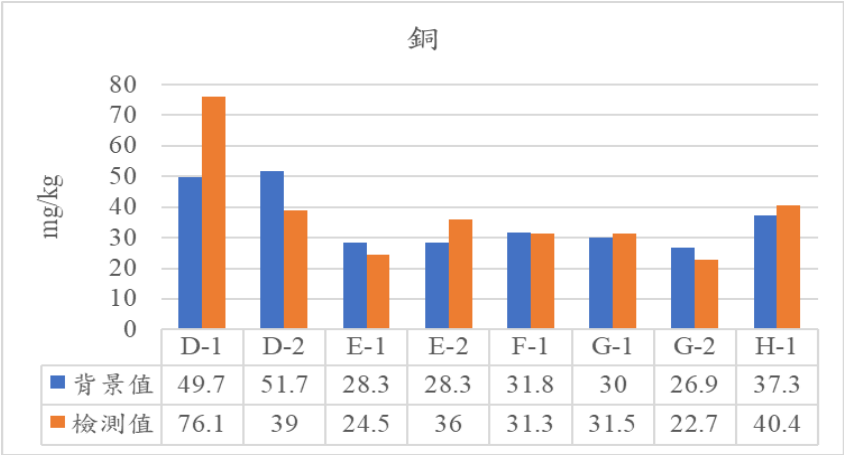


圖3-11 澆灌於砂質壤土銅濃度之比較

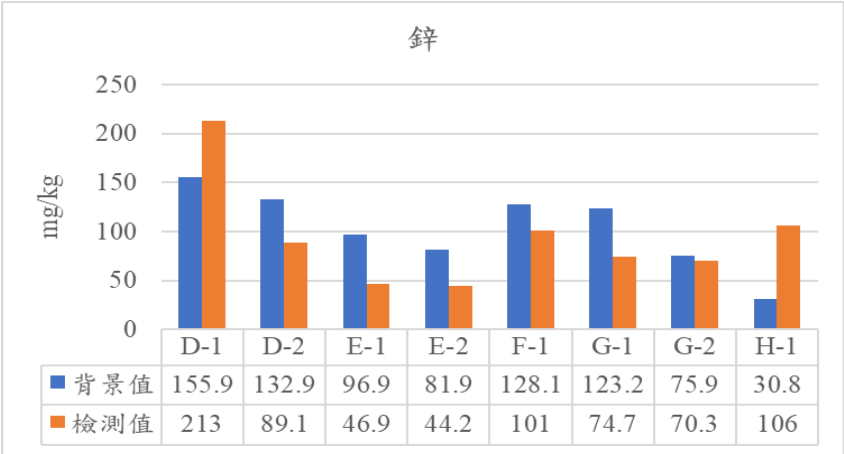


圖3-12 澆灌於砂質壤土鋅濃度之比較

3. 壤土：

圖3-13至3-15為澆灌於壤土鋅濃度之比較、澆灌於壤土鋅濃度之比較及澆灌於壤土鋅濃度之比較，由圖中得知農地編號為L-1及M-1兩塊農地，導電度介於117~150μm/cm之間，最高者為M-1測得150μm/cm；銅濃度介於30.8~38mg/kg間，最高為M-1測得38mg/kg；鋅濃度介於59.7~86.4mg/kg間，最高為L-1測得86.4mg/kg。

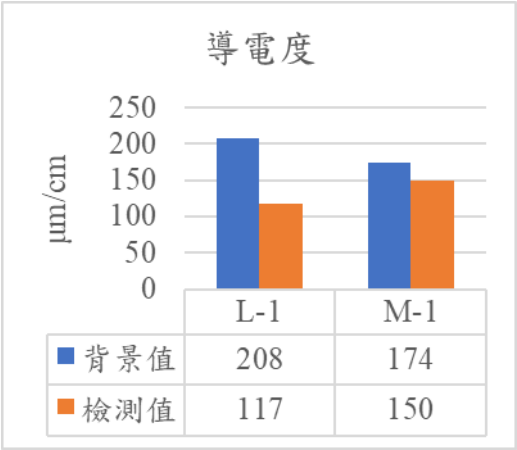


圖3-13 澆灌於壤土鋅濃度之比較

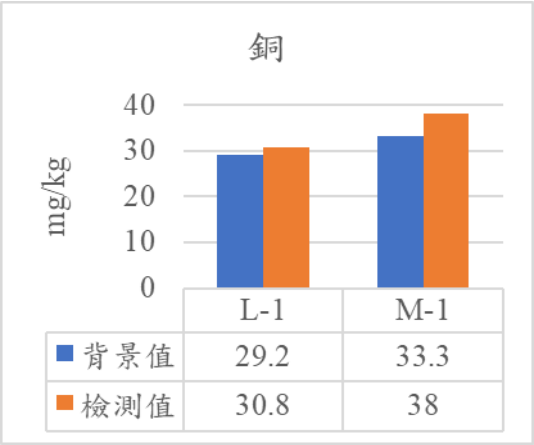


圖3-14 澆灌於壤土鋅濃度之比較

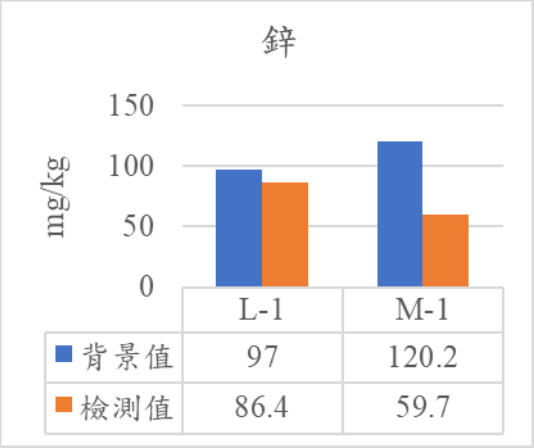


圖3-15 澆灌於壤土鋅濃度之比較

表3-2為土壤地質表，可得知土壤特性砂質成分越高，對於重金屬吸附能力也越低，主要是因為砂質孔隙較大，對於澆灌之沼液保水力較差，較易滲入至地下水層，故重金屬於土壤累積量較低，其保水力由低至高順序為砂土、壤質砂土、砂質壤土、壤土。

表3-2 土壤質地表[15]

土壤質地	砂粒(%)	坋粒(%)	粘粒(%)
砂土	>85	<15	<10
壤質砂土	70~90	<30	<15
砂質壤土	43~85	<50	<20
壤土	23~52	28~50	7~27

經檢測15處澆灌農地，導電度測值介於16~314μm/cm之間，其中以編號D-1農地測得314μm/cm為高，以土壤鹽害等級表判別，其鹽分等級小於2000μm/cm，農地屬不受鹽

害影響。重金屬銅濃度介於18.2~76.1mg/kg之間，最高值為D-1農地測得76.1mg/kg，其餘農地與背景值無明顯差異，且未超出食用作物農地之監測標準值(120mg/kg)。重金屬鋅濃度介於44.2~213mg/kg之間，最高值為D-1農地測得213mg/kg，其中E-1及M-1農地未達背景值1/2與H-1超出背景值約3.4倍，推測與土壤不均質性有關，因本研究統計資料僅為2018年監測數值，需持續監測或是進行較細密之調查，才能判斷差異性，其餘農地與背景值無明顯差異，且皆未超出食用作物農地之監測標準值(260mg/kg)。

肆、結 論

本研究針對花蓮縣養豬畜牧場產出之沼液，從餵養飼料的種類、澆灌農地的土壤質地及背景值與檢測值作比對分析，所得結論說明如下：

1. 餵養飼料加酒糟之豬隻其產出沼液平均值為0.69mg/L佔相對百分比46％為最高，推測原因為酒糟屬高蛋白質之原料，必需配合其他飼料，如豆粉、糠麩、油餅、玉米類等精飼料，並補充適量的骨粉、蛋殼粉、微量元素等飼料，同時還要搭配足量的青飼料，以彌補酒糟中所缺乏的營養物質所影響。

2. 飼料中皆有額外添加重金屬銅鋅，但豬隻吸收力有限，約有90％被排泄於糞尿中，若能將飼料從源頭加以管制，未來進行沼液施灌時，方可降低重金屬濃度過高之衍生問題。

3. 目前得知沼渣及混合液重金屬銅鋅含量皆高出沼液許多，若採用沼液進行澆灌，可降低農地重金屬污染的風險。

4. 農地屬砂土及壤質砂土者，因砂質孔隙較大，對於澆灌之沼渣沼液保水力較差，較易滲入地下水層，導致銅鋅於土壤累積量較低。

5. 農地的電導度施灌後有上升之趨勢，但未超出2000μS/cm，屬於不受鹽害影響等級。

6. 花蓮縣自2016年起配合畜牧糞尿資源化政策，依目前監測結果顯示，尚無法看出施灌前後重金屬濃度之明顯差異。

誌謝

本研究首要感謝指導教授許文昌 博士以及土環系宥琳學姊的細心教導，感謝花蓮縣環境保護局長官及同仁的支持與鼓勵，特別感謝景哲、智敏與麗櫻蒐集資料及分析數據的協助與幫忙，最後要感謝智弘同學的扶持，謹致由衷謝忱。

參考文獻

[1]行政院環境保護署(2016)：畜牧糞尿資源化，摘取日期2019年5月7日，摘自行政院環境保護署水質保護網 https://water.epa.gov.tw/Page1_3.aspx

[2]土壤電導度測定方法：2013年7月25日農試化字第1022130858號函發布。

[3]土壤中重金屬檢測方法－王水消化法：2015年1月13日環署檢字第1040003259號公告。

[4]國家教育研究院(2012)：比重計法，摘取日期2019年5月7日，摘自雙語詞彙、學術名詞暨辭書資訊網 http://terms.naer.edu.tw/detail/1327939/

[5]葉晞祐與韋煙灶，2008，雲林縣口湖地區土壤鹽化現象研究。

[6]行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會(2019)，土壤及地下水污染物，

摘取日期2019年5月7日，摘自土壤及地下水污染整治網
https://sgw.epa.gov.tw/public/misc/service/pollutant?method=Soil

[7]Rosen, G.D., and P.A. Roberts. 1996. Comprehensive survey of the response of growing pigs to supplementary copper in feed. Field Investigations and Nutrition Service Ltd,London.

[8]Holm, A. E. coli associated diarrhoea in weaner pigs: zinc oxide added to the feed as a preventative measure. Proceedings of the International Pig Veterinary Society. 11th Congress. Lausanne, Switzerland; 1–5 July 1990.

[9]衛生福利部食品藥物管理署(2017)，食品藥物消費者專區整合查詢服務，食品營養成分資料庫(新版)
https://consumer.fda.gov.tw/Food/tfndDetail.aspx?nodeID=178&f=0&id=91

[10]每日頭條(2017)，養豬餵飼料，別太小看這些青飼料！摘取日期2019年5月7日，摘自每日頭條網 https://kknews.cc/zh-tw/agriculture/92ya685.html

[11]屏東縣政府環境保護局，2016，屏東縣東港溪及武洛溪畜牧糞尿農地肥份使用推動計劃。

[12]洪俊雄，2014，中小型養豬場厭氣處理系統改善及沼肥再利用可行性評估計畫。

[13]雲林縣政府環境保護局，2016，雲林縣畜牧業沼渣、沼液農地肥分使用先期調查及示範計畫。

[14]水污染防治措施及檢測申報管理辦法(2019)，摘取日期2019年5月7日，摘自全國法規資料庫 https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?PCode=O0040054

[15]臺灣東部地區土壤及地下水保護論壇(2018)，土壤質地比較，摘取日期2019年5月7日，摘自花蓮縣沼渣沼液澆灌農地土壤環境影響評析簡報 P.12。

花蓮縣電動機車推廣 S.W.O.T 分析
SWOT Analysis of Hualien Electric Motor Promotion

許文昌[1*] 莊智弘[2]

Wen-Chang Hsu[1*] Chih - Hung Chuang [2]

1 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系助理教授

1. Assistant Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management, Institute of Dahan Technology

2 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系碩士班研究生

2. Graduated student, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management, Institute of Dahan Technology

* Corresponding author: kenhsu@ms01.dahan.edu.tw

摘要

花蓮縣約有32.8萬人，縣內機動車輛高達32.55萬輛，每人平均擁有近1輛機動車輛，故交通工具廢氣排放成為影響花蓮縣空氣品質的主要來源之一，而電動機車以馬達驅動車輛，不排放廢氣所以減少空氣污染，行駛時噪音也遠低於一般燃油機車，花蓮縣政府為降低交通工具廢氣排放積極推廣使用電動機車。

本研究以S.W.O.T分析花蓮縣電動機車推廣成效，藉以找出合適花蓮縣電動機車短期及中長期推廣策略；經研究分析發現，優勢(Strength)：花蓮縣申請花東基金加碼補助並持續辦理換購電動機車可增加民眾換購意願；劣勢(Weakness)：電動機車定價略高於燃油機車，可從環境教育加強宣導減少$PM_{2.5}$排放以鼓勵民眾換購低污染車輛；機會(Opportunity)：宏佳騰、山葉及P.G.O三家機車業者將與Gogoro(睿能創意)合作，共同使用電池交換設備以增加使用便利性；威脅(Threat)：政府原預計2035年禁售燃油機車政策，因機車業者反彈將暫緩實施，但長久來看正確的政策訂定若因民粹而進行調整，恐影響企業投資意願及產業發展。

本研究結果發現，透過短中長期推廣方案可增加推廣花蓮縣電動機車效益，短期推廣：可善用現有資源，如搭配使用環保局碳匯卷等同現金補助民眾租用電動機車。中期推廣：目前設籍花蓮縣的Gogoro車主超過1,000輛，可請業者於各鄉鎮分別設置交換站，除可供當地民眾使用外，亦可完成台九線串連，改善行駛里程數受限之缺失。長期推廣：應以統一電動機車電池規格，提升使用便利性，達成減少交通工具廢氣排放之目標。

關鍵詞:花蓮縣、電動機車、S.W.O.T分析、推廣策略

壹、前 言

行政院 2014 年核定經濟部之《智慧電動車輛發展策略與行動方案》[1]，揭示政府朝電動汽車、電動巴士與電動機車三方面推動綠色運具。另以扶植國內電動機

車產業鏈發展、提升車輛性能，建立低污染交通工具營運模式等列為主要目標。

依據環保署統計資料[2]，全國細懸浮微粒（$PM_{2.5}$）總排放量一年約 7 萬 3,855 公噸，其中交通工具排放量共 1 萬 6,756 公噸，占全國 $PM_{2.5}$ 排放量的 23%。二行程機車 $PM_{2.5}$ 排放量占 2%；其中二行程機車排放的碳氫化合物(HC)排放量約標準值 18 倍，一氧化碳排放量約是四行程機車的 2 倍。

花蓮縣約有 32.8 萬人，因地形狹長大眾交通工具普及率偏低，民眾往來多以自行駕駛機動車輛為主，使得機動車輛數居高不下，故交通工具廢氣排放成為影響花蓮縣空氣品質的主要來源之一，若能將部份機動車輛轉化成低污染交通工具，對改善空氣品質將會有實質的幫助。

貳、研究方法

2.1 S.W.O.T分析法

本研究使用 S.W.O.T 分析法，主要是企業用來找出公司內部優勢及劣勢，再以外部環境所面臨的機會與威脅進行分析，常被用於企業管理的策略規劃方式。其分析所包含的意義如下：

優勢(Strength)與劣勢(Weakness)：應指企業本身內部的優點與弱點，包括技術、人力、制度、儀器等；機會(Opportunity)：指有利於企業發展達成目標的外在因素；威脅(Threat)：指阻礙企業發展的外在環境因素，包括政策、經濟、消費行為、天災等，可選擇其中兩個面向，綜合擬定應對策略。

本研究以花蓮縣電動機車推廣為例，運用 S.W.O.T 分析結果，擬定短、中、長期推廣方針，以充分掌握機會(O)、運用自身優勢(S)，將威脅(T)降至最低、最後再反轉劣勢(W)，以提昇花蓮縣電動機車推廣效益。

2.2 污染削減量推估

表 2.2-1 及 2.2-2 為 2018 年花蓮縣機車汰換量與年平均行駛里程表、2018 年花蓮縣電動機車推廣污染削減量推估表，依據環保署全國性排放清冊(Taiwan Emission Data System)TEDS9.0 版推估[3]，得知 2018 年花蓮縣二行程機車及四行程機車車輛汰換數、每車年平均行駛里程數，該年度花蓮縣補助換購電動機車共 1,050 輛，其中二行程機車換購電動機車共 170 輛，其餘車輛以新購方式申請購車補助共 880 輛，故以削減 170 輛二行程機車及減少四行程機車 880 輛進行推估，車輛汰換數(二行程或四行程)×各種排放係數×年平均行駛里程=空氣污染物削減量(g/km*輛)，推估各種污染年削減量。

表 2.2-1 2018 年花蓮縣機車汰換量與年平均行駛里程表

機車類別	車輛汰換數	每車年平均行駛里程數
二行程機車	170	2,621
四行程機車	880	3,743

表 2.2-2 2018 年花蓮縣電動機車推廣污染削減量推估

	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_X	NO_X	CO	NMHC
二行程機車	0.2565	0.1883	0.1528	0.0003	0.09	2.04	2.0313
污染削減量	114.29	83.9	68.08	0.134	40.1	908.96	905.09
四行程機車	0.0800	0.0471	0.0346	0.0003	0.25	1.73	0.7981
污染削減量	263.51	155.14	113.97	0.99	823.46	5698.34	2628.81

單位:kg/km*輛

叁、結果與討論

3-1花蓮縣推動電動機車S.W.O.T分析結果

表 3.1-1 為花蓮縣推動電動機車 S.W.O.T 分析綜整表，由表中得知花蓮縣積極推廣民眾使用低碳運具，讓推廣策略能善用有利的資源創造優勢，製造更多促進效益提升的機會，將劣勢及威脅所帶來的影響降至最低，有助於提升花蓮縣電動機車推廣成效。

表 3.1-1 花蓮縣推動電動機車 S.W.O.T 分析綜整表

優勢(Strengths)	劣勢(Weaknesses)
1.電動機車無排放廢氣及低噪音等優點。 2.推廣低污染交通工具為政府重要工作項目，花蓮縣換購電動機車最高補助 37,800 元(2018 年)。 3.Gogoro 品牌效應已在花蓮縣逐漸發酵中。 4.購車補助金額高，電動機車業者進駐意願高。 5.台灣電動機車產業鏈完整，產品品質穩定。 6.民眾接受度逐漸升高。	1.電動機車定價高於燃油機車。 2.充/換電設施不足情況，推動較為不易。 3.充電式電動機車電力補充需約 2~4 小時，太過於耗時。 4.充電式電池昂貴，每顆約 2.4 萬，使用年限約 3 年。 5.若本縣電動機車無購車補助，換購電動機車民眾將大幅減少。 6.充電式電動機車續航力受限。 7.目前電池交換站僅可供自家廠牌使用，無法有像整合電池規格。
機會(Opportunities)	**威脅(Threats)**
1.Gogoro 電池續航力 90~100 公里，較無行駛里程受限之缺點。 2.中油與 Gogoro 合作，今年度規劃於縣內加油站再增設 10 座以上電池交換站。 3.睿能創意公司與宏佳騰、山葉及 P.GO 等機車廠商合作，2019 年將發表新款電動機車使用 Gogoro 電池交換站。 4.民眾環保意識提升。 5.油價逐漸攀漲，有助於民眾換購電動機車。 6.推廣使用低污染交通工具為政府重要政策。 7.小型輕型速度較慢，適合年長者短距離騎乘。	1.政府政策搖擺，原預計 2035 年禁售燃油機車，2040 年禁行燃油機車等政策暫緩實施。 2..電動機車維修據點不足，民眾擔憂維修不易 3.電池交換站設置成本高。 4.燃油機車續航力較佳。 5.充電式電動機車續航力受限。 6.電動機車維修據點不足，維修不易。 7.Gogoro 換電月租高於燃油機車月加油費。

3-2各縣市電動機車購車補助

各縣市不含離島及外島，2018 年補助汰換二行程機車換購電動機車補助金額(含

工業局、環保署及地方環保局) [4]，圖 3.2-1 各縣市換(新)購電動機車補助經費比較圖，結果顯示，2018 年臺東縣與花蓮縣二行程機車報廢換購電動機車，重型共補助 3 萬 7,800 元，輕型共補助 3 萬 5,200 元全台最高，小型輕型台東縣共補助 3 萬 2,400 元為最高，花蓮縣共補助 3 萬 1,200 元次之；單純新購補助部份，台東縣重型補助共補助 3 萬 4,600 元最高，花蓮縣 3 萬 3,550 元次之，台東縣輕型共補助 3 萬 2,000 元最高，花蓮縣以 3 萬 1,950 排名第二，小型輕型仍以台東縣共補助 2 萬 9,200 元為最高，花蓮共補助 2 萬 9,150 排名第二，台東縣補助名額 400 名，花蓮補助名額 1,050 名。

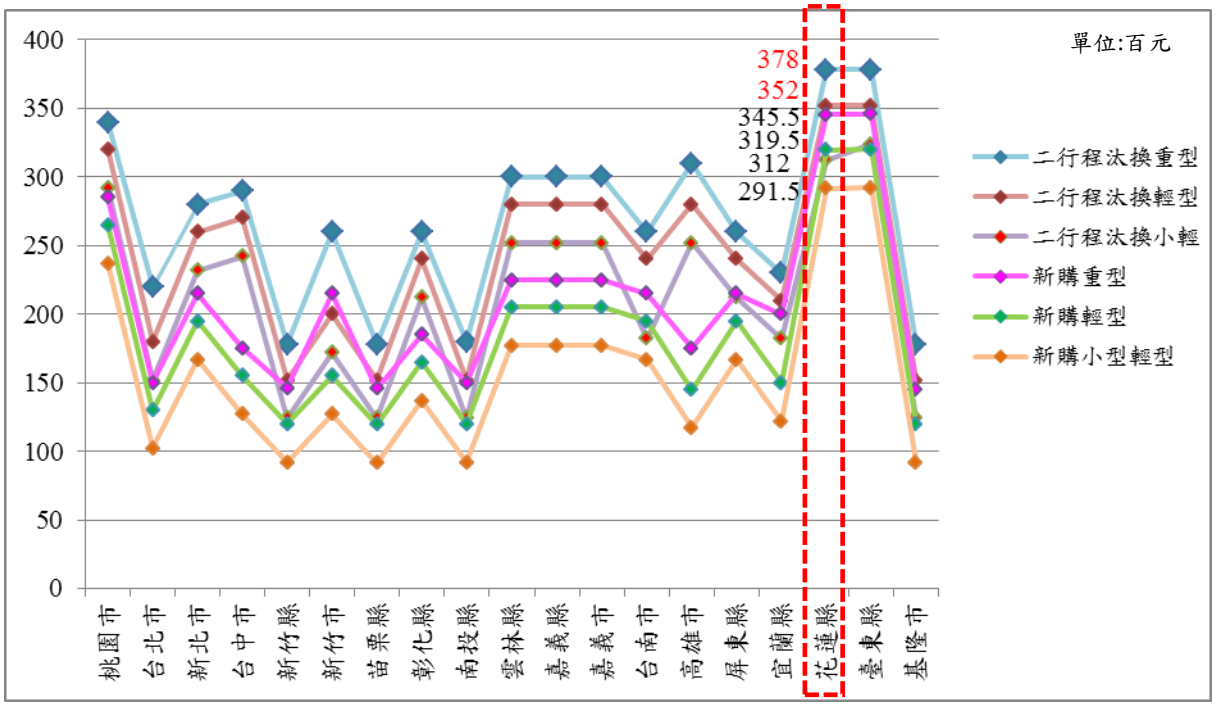


圖3.2-1 各縣市換(新)購電動機車補助經費比較圖

3-3 2018年花蓮縣電動機車補助申請情形

圖 3.3-1 為 2018 年花蓮縣逐月電動機車補助申請件數統計圖，由圖中得知 10 月申請件數共 473 件，占全年度 45%，其中睿能申請件 370 件約占當月 78%，11 月申請件 171 件，其中 Gogoro 申請件 153 件約占 89%，12 月申請件 44 件，其中 Gogoro 申請件 32 件約占 73%，說明雖然花蓮縣高額補助縣民換購電動機車，但 2018 年 1 至 9 月花蓮縣電動機車申請補助量仍然偏低，但 10 月後由於 Gogoro(睿能創意)重型電動機車進駐花蓮後，引發品牌效應，有相當明顯差異[5]。

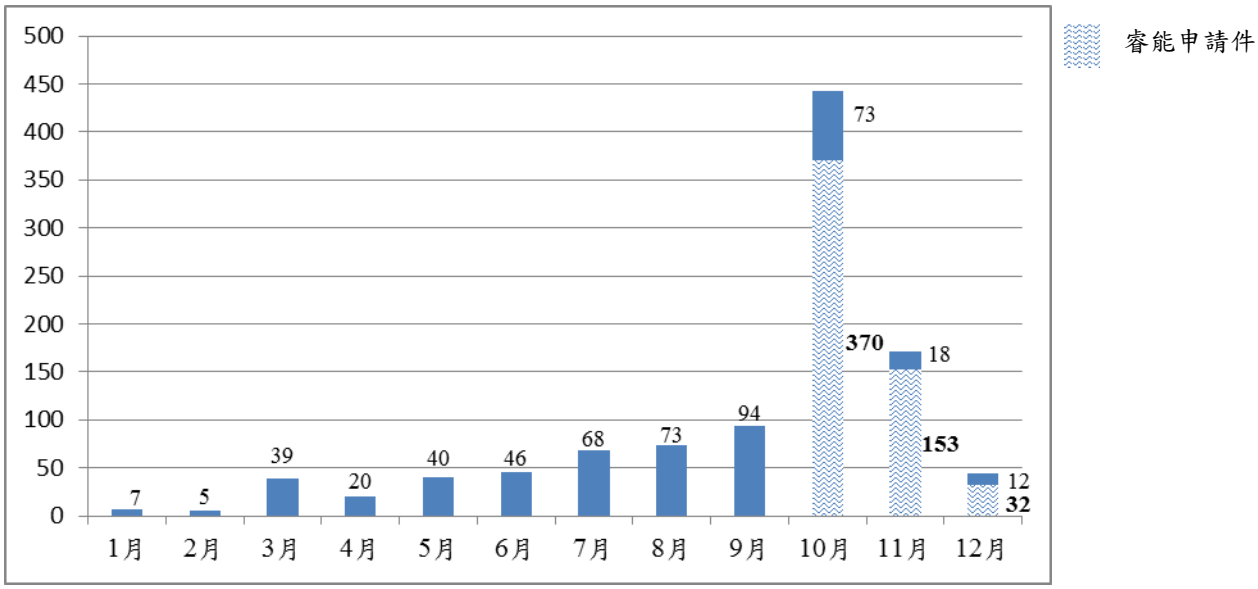


圖3.3-1　2018年花蓮縣逐月電動機車補助申請件數統計圖

3-3 燃油機車與電動機車經濟效益比較

表 3.3-1 為燃油機車與電動機車年保養費用比較表，由表中得知 TEDS9.0 推估花蓮縣民眾每年騎乘四行程機車約 3,743 公里，平均每年費用試算電動機車較燃油機車保養費便宜，若以經濟效益來看，電動機車擁有免牌照稅、保養費較低等優勢，但電池售價偏高(售價 24,000 元)，且約 3 年需更換一次。

表 3.3-1 燃油機車與電動機車年保養費用比較表

零件項目	單次價格	原廠建議	平均每年費用試算 3,743/保養里程數x單次價格	
	(含拆裝費)	保養里程數(km)	燃油機車	電動機車
機油	250	1,000	936	
齒輪油	100	2,000	187	187
空氣濾心	300	3,000	374	
汽油濾心	100	20,000	19	
火星塞	100	6,000	62	
啟動電池	900	12,000	281	
煞車來令片	250	6,000	156	156
輪胎(x2)	1,000	10,000	374	374
皮帶	1,000	12,000	312	312
保養費總計			2,701	1,029

圖 3.3-1 100cc 燃油機車與輕型電動機車經濟效益(年)比較圖-已補助，由圖中得知國內一般 100cc 燃油機車售價約 6 萬元，油箱容量約 5.5 公升，加滿一次油約可行駛 150 公里，油價每公升 30 元計算，每公升約可行駛 27.27 公里，與動力較接近

100cc 燃油機車的輕型電動機車比較，以 2018 年花蓮縣電動機車補助方案計算，電池買斷式售價約 7.5 萬元，其充飽電約可行駛 40 公里，電費以 3.5 元/度計算，推估每次充電費用 7.0 元/次計算，預估每年電費約 655 元。另以車電分離方式購車，車價約 5.1 萬元，扣除 2.4 萬電池費用，電池以租用方式每月 399 元。

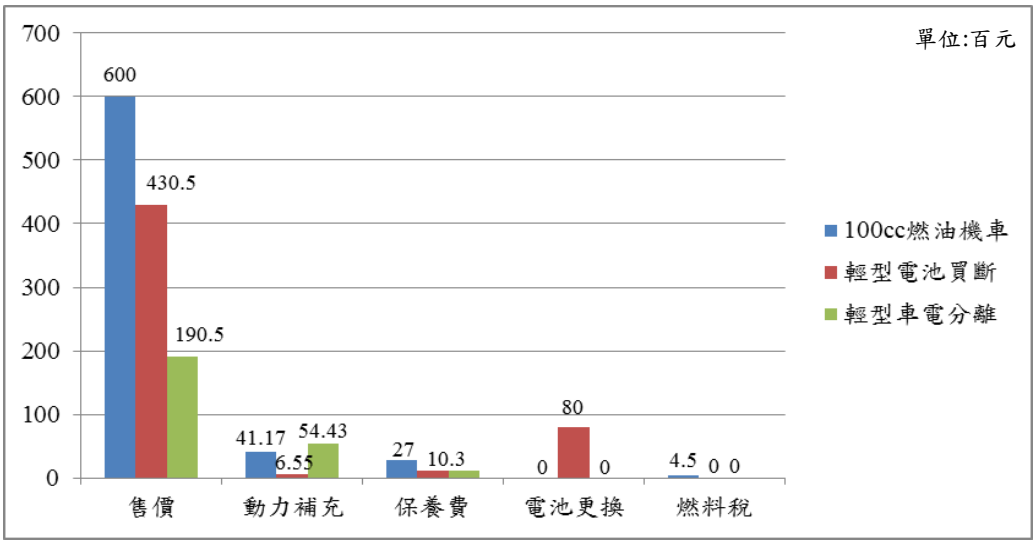


圖 3.3-1 100cc 燃油機車與輕型電動機車經濟效益(年)比較圖-已補助

結果顯示，車輛使用 5 年成本，100cc 燃油機車 9 萬 6,335 元、電動機車(電池買斷)9 萬 1,475 元、電動機車(車、電分離)5 萬 1,415 元，燃油機車與買斷式電動機車比較高出 4,860 元，若與車、電分離購車方式比較，將高出 4 萬 4,920 元，表示雖充電式電動機車使用費，雖較燃油機車低，但充電便利性不足，以車、電分離銷售方式，仍無法吸引民眾換購。

圖 3.3-2 為 125cc 燃油機車與重型電動機車經濟效益(年)比較圖-已補助，由圖中得知國內一般 125cc 燃油機車售價約 7 萬元，油箱容量約 6 公升，加滿一次油約可行駛 163.64 公里，油價每公升 30 元計算，每公升約可行駛 27.27 公里，與動力較接近 125cc 燃油機車的 Gogoro 重型電動機車型號 S2 比較，以 2018 年花蓮縣電動機車補助方案計算，該車售價 9 萬 5,800 元，電池以交換站抽換方式進行補給，其月租費以每月 499 元，可騎乘 300 公里，每年費用 5,988 元。

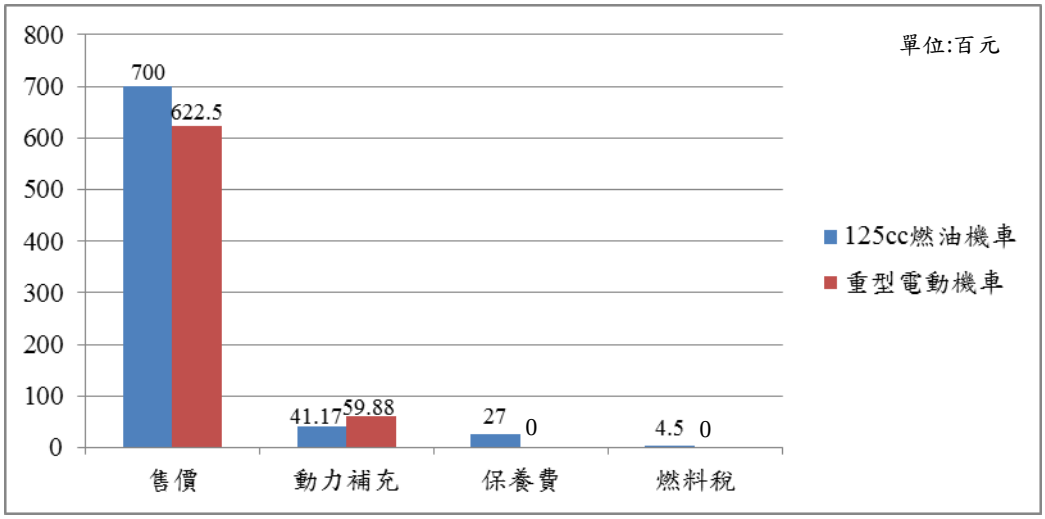


圖 3.3-2 125cc 燃油機車與重型電動機車經濟效益(年)比較圖-已補助

結果顯示，車輛使用 5 年成本，125cc 燃油機車 10 萬 6,335 元、重型電動機車則為 9 萬 2,190 元，說明雖重型電動機車使用費較 125cc 燃油機車少 1 萬 4,145 元，若無高額購車補助，重型電動機車使用費將高於 125cc 燃油機車，民眾換購意願可能降低。

3-4花蓮縣電動機車推廣現況

本研究發現花蓮縣境內銷售電動機車之廠牌，僅 Gogoro、山葉及光陽機車 3 廠牌所銷售之車輛為工業局認證之車款，部份車款雖通過認證但尚未量產，故各經銷商無法進行銷售。

此外花縣內設有電動車充電站約 150 站，電池交換站 17 座（gogoro13 座，光陽 4 座），而國內電動機車業者為解決電動機車充電時間過長，進而開發電池自動交換站，使用電池交換站約需 6-180 秒即可完成電力補給，與使用充電站(充滿約需 4 小時)時間差異甚大，但目前電動機車業者，因考量獲利或設置成本(每座約需 60-250 萬)，限制廠牌電動機車使用之電池型號，無法更換他牌車種或電池，也成為目前推廣電動機車之主要困難點。

3-5 花蓮縣電動機車短、中、長期推廣策略

3.5-1 短期推廣策略

1. 持續補助縣民換購電動機車，待產業成熟逐年遞減購車補助，鼓勵民眾及早換購。
2. 持續輔導或補助業者精進電動機車、電池性能，例如車輛採用國產電池增額補助。
3. 花蓮目前設有 13 座 Gogoro 電池交換站，2019 年預計再增設 10 座以上，相關公務單位應予輔導設置，串聯縣內主要道路如台九線、台十一線，設置完成後可大幅提升電力補給便利性。
4. 可透過環境教育方式宣傳降低交通工具廢氣排放對人體之影響，雖電動機車定價高於燃油機車，可比喻人們為追求健康攝取維他命，換購電動機車也可減少罹患呼吸疾病為例。
5. 可搭配現有政策如環保局碳匯卷等同現金方式補助民眾或遊客減少與燃油機車出租價差，提高租與電動機車之意願。
6. 可於人口稠密處劃設電動機車專用停車格，提升騎乘便利性及民眾換購意願。

3.5-2 中期推廣策略

1. 待縣內電池交換站設置普及後，公務機關可先行換購電動機車，作為民眾表率。
2. 交換站電池規格交由市場決定，待廠商自行整合，逐步統一電池規格。
3. 可考慮逐步加嚴燃油機車排放標準或提高排煙不合格罰鍰，增加民眾換購電動機車可能性。
4. 交換電池月租平均高於燃油機車月加油費及充電式電池售價偏高，此部分建議可採獎勵方式，鼓勵民眾騎乘電動機車，如單月當車輛里程數超過訂定里程數，可補助該車主換購電池費用或電池月租費，提升民眾騎乘意願。

3.5-3 長期推廣策略

1. 應考慮透過立法規範，將電動機車使用之電池規格統一，保障電池品質，不讓電池因為廠牌關係，由廠商隨意定價，造成更換或保養收費落差過大，或品質參差不齊。
2. 可請縣內 4 大廠或固定污染排放量較大之業者，評估編列產業回饋金專款增額補助廠區附近民眾換購電動機車，可提升企業形象及達成敦親睦鄰之優點。

肆、結論

本研究針對2018年花蓮縣電動機車推廣成效進行S.W.O.T分析，藉以擬定出適合花蓮縣電動機車短期及中長期推廣策略及可行方案，以增加推廣花蓮縣電動機車效益，所得結論說明如下:

1. 花蓮縣因有高額補助可吸引民眾換購電動機車，若無相關補助民眾換購電動機車意願恐大幅降低。

2. 2018 年 10 月前在 Gogoro 未進駐花蓮前,民眾換購電動機車意願明顯偏低,當 Gogoro 進駐後，其車輛性能及電池交換模式吸引品牌效應，顯示若補助金額高，車輛性能及電池充電便利性不足，仍無法吸引民眾換購電動機車。

3. 光陽機車電池額外租用及規劃營運模式無法獲得多數民眾青睞，顯示該廠牌推廣電池交換模式有待改善。

4. 電動機車經濟效益分析，Gogoro 電池月租方式仍高於燃油機車單月加油費用。

5. 目前 Gogoro 在花蓮境內設有 13 座電池交換站，秀林鄉 2 座、新城鄉 1 座、花蓮市 3 座、吉安鄉 3 座、壽豐鄉 1 座、豐濱鄉 1 座、瑞穗鄉 1 座及玉里鎮 1 座，台九線上鳳林鎮及光復鄉尚未設置，若上述 2 鄉鎮完成設置交換站，除可供鄰近民眾使用外，亦可使縣內台九線完成串聯方便車友電力補充。

誌謝

本研究首要感謝指導教授許文昌 博士以及宥琳學姊的教導與協助,另外也要感謝花蓮環保局所有長官、同仁叮嚀與鼓勵並提供電動機車相關資訊供參，最後特別感謝盈惠同學的督促，謹致由衷謝忱。

參考文獻

[1] 財團法人車輛研究測試中心(2014)：《智慧電動車輛發展策略與行動方案》汽機車及巴士三管齊下，摘取日期2019年5月1日，摘自財團法人車輛研究測試中心-客戶服務-知識庫 https://www.artc.org.tw/chinese/03_service/03_02detail.aspx?pid=2635&nPage=1&syear=&skind1=&skind2=&skeyword=

[2] 環境資訊中心(2015)：空污元凶二行程機車仍有200萬輛在跑，摘取日期2019年5月1日，摘自環境新聞https://e-info.org.tw/node/111358

[3] 行政院環境保護署(2013)：空氣污染排放量查詢系統-〔TEDS9.0版〕排放量查詢，摘取日期2019年5月1日，摘自臺灣空氣污染排放量[TEDS9]線源—排放量推估手冊 https://teds.epa.gov.tw/TEDS9.0/技術手冊/ TEDS9.0線源技術手冊.pdf。

[4] 經濟部工業局(2018)：2018年各縣市補助資訊，摘取日期2019年5月1日，107年各縣市補助資訊，https://www.lev.org.tw/files/107%E5%B9%B4%E5%90%84%E7%B8%A3%E5%B8%82%E8%A3%9C%E5%8A%A9%E8%B3%87%E8%A8%8A.pdf。

[5] 花蓮縣環境保護局(2018)：2018年花蓮縣電動機車推廣設置計畫期末成果報告，摘取日期2019年5月4日，工作進度表。

應用 TRIZ 於車輛緊急滅火裝置之研究
A Research of Automobile Emergency Fire Extinguishing Device with TRIZ

王偉驎 [1] 林家懷 [2*] 洪伯彰 [3] 張斯量 [4]

Wei-Ling Wang[1] Jia-Huai Lin[2] Bo-Jhang Hong[3] Ssu-Lian Chang[4]

1. 勤益科技大學工業工程與管理系 助理教授

Assistant professor, National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

2. 勤益科技大學工業工程與管理系 學生

Student, National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

3. 勤益科技大學工業工程與管理系 學生

Student, National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

4. 勤益科技大學工業工程與管理系 學生

Student, National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

*Corresponding author:jerry0966559591@gmail.com

摘要

由於目前交通便利，多數人都仰賴汽機車來為代步工具，相對的必須面對與日俱增的交通事故，除了世界各國政府採用有效防止交通事故的法律外（如嚴懲酒後駕車、反光標誌及標線的設計、提升考照的程度等），各大車廠也積極研究改善車輛的安全系統（如優化車輛的潰縮區、車輛自動煞停、安全氣囊的開發等），以設法減輕交通事故所帶來的傷亡。本研究重要在探討及改善現有車輛的滅火防護設備，主要改善在車輛起火當下因濃煙造成駕駛心身恐懼，而錯過逃生的黃金時間，造成人員的傷亡，以及車輛的毀損，為了改善上述情況，本研究以自動感應式電子電路來啟動滅火程序，以防止火燒車的發生。應用 TRIZ 及通用設計等方法進行產品創新設計，並利用技術矛盾矩陣中，透過改善參數及避免惡化參數得到對應的可能發明原則。經由此系統化創新方法提出車輛緊急滅火裝置構想，利用電子電路、溫度感知器及滅火裝置的結合，當感知器識別到火源，電子電路在第一時間以電壓訊號觸發啟動滅火裝置，來達到火勢的控制甚至將其撲滅，以防範火燒車所帶來的損傷。

關鍵詞:車輛、滅火器、TRIZ

壹、前言

一、 研究背景

車子是現在人們在通勤上經常會使用上的交通工具，車子也是現在主要的路面上所使用的交通工具，包括了巴士、賽車以及最常看到的自小客車，這些不同種類的車子帶

給我們生活上很大的便利性，但同時車子的安全設備也是我們必須去注意的。

然而汽車真的是個容易著火的東西，無可厚非，它本身就有內燃機一直在點火，甚至它還帶有一個油箱、這是最佳的助燃物之一；而就算是電動車，它也有電池、高壓電等機構，有可能因為短路而導致火災。

二、　研究動機

近幾年來，看到許多有關於火燒車的新聞，像是 2019 年 2 月 20 日在國道三號南下後龍路段行駛中因不明原因起火燃燒，約十分鐘陷入火海，所信無人傷亡[1]、2019 年 1 月 2 日於新北市駕駛在車上休息車輛無熄火，車輛突然起火，使駕駛全身多處燒傷[2]、2018 年 1 月 22 日於北市第一果菜批發市場發生汽車自然事件，造成三車毀損[3]。大多都是駕駛者在發生火災時，未能再第一時間拿滅火器撲滅火源，或者本身車輛上未放置滅火器，使得災情擴大造成更加嚴重的悲劇，這些令人毛骨悚然的新聞事件，促使了我們研發『車輛緊急消防安全裝置』這項專題，在行駛中的過程中，引擎室內的機件故障，造成機油、汽柴油洩漏碰到熱源如:排氣管或小擦撞造成火花，就容易起火燃燒造成火燒車，當發現疑似起火、冒煙時一定無法及時撲滅火源，使用我們設計的滅火線路，驅使滅火裝置啟動，讓駕駛者能迅速的將火勢降低甚至撲滅，讓這種悲劇不再上演，使得我們的行車更加安全。

三、　研究目的

（一）降低車子燒毀之情形:火燒車發生時，有可能因火勢太大而燒毀，若即時能將火勢降為最低甚至撲滅，使汽車的燒毀率降低，降低車輛維修費用。

（二）有效率抑制火燒車發生之情形: 在發現疑似冒煙、火源之情形時，能迅速的啟動滅火器，使其達到滅火，不讓災情擴大。

（三）有效率使用滅火器: 通常人們都把滅火器都放在後車廂，如發生火燒車時，根本無法及時滅火，而我們這個專題在發生火燒車之情形時，能即時迅速的啟動滅火器，使滅火裝置作動，達到滅火的功能。

（四）增加救援時間:火燒車發生時，能即時起動滅火器，使火勢降低增加救援或逃生時間，讓駕駛者能迅速安全逃脫，不讓駕駛者遭受生命的威脅，使得能確保生命安全。

貳、實驗方法

本研究透過文獻探討所得到的相關理論來建構整個研究的倫理架構，主要以「TRIZ 創新方法」作為研究的中心架構，而當我們進行產品創新開發時，需先找出現今車輛因無滅火裝置所產生的危險，然後將其轉化成產品之技術需求，並找出正確的工程參數，進而使用矛盾矩陣表來解決創新問題，最後運用蒐集到的資訊，導入 TRIZ 新法則於車輛緊急消防裝置加以分析整理，研發出對降低火燒車有具體幫助的產品。

一、　TRIZ 的應用流程

本研究運用 TRIZ 理論的矛盾矩陣表來作為研發設計之依據參數；從縱向有三十九個設計參數(表 1)，每個參數所代表著不同問題的類別，而這些參數即為 TRIZ 所歸納出來之工程設計參數(欲改善的參數)。橫向有相同的三十九個參數(避免惡化參數)，透過行列對應查詢，可得到建議的發明原則編號，依據編號對應，從四十個發明原則中找出

表中所建議的發明原則。(表 2)

表 1、三十九個設計參數[4]

1	移動件重量	14	強度	27	可靠度
2	固定件重量	15	移動件耐久度	28	量測精確度
3	移動件長度	16	固定件耐久度	29	製造精確度
4	固定件長度	17	溫度	30	物體上有害因素
5	移動件面積	18	亮度	31	有害側效應
6	固定件面積	19	移動件消耗能量	32	製造性
7	移動件體積	20	固定件消耗能量	33	使用方便性
8	固定件體積	21	動力	34	可修理性
9	速度	22	能源浪費	35	適合性
10	力量	23	物質浪費	36	裝置複雜性
11	張力,壓力	24	資訊喪失	37	控制複雜性
12	形狀	25	時間浪費	38	自動化程度
13	物體穩定性	26	物料數量	39	生產性

表 2、四十項發明原則[4]

1	分割	21	躍過
2	分離	22	變有害為有益
3	局部性質	23	反饋
4	不對稱	24	中介物
5	聯合	25	自我服務
6	多功能	26	複製
7	套裝	27	便宜的替代品
8	質量補償	28	機械系統的替代
9	預知反作用	29	氣動與液壓結構
10	預先作用	30	柔性殼體或薄膜
11	預補償	31	多孔材質
12	等勢性	32	改變顏色
13	相反	33	同質性
14	曲面化	34	拋棄與修復
15	動態	35	參數變化
16	未達到或超過的作用	36	狀態變化
17	維數變化	37	熱膨脹
18	機械震動	38	強氧化
19	週期性作用	39	惰性介質
20	連續有效作用	40	複合材質

(一) TRIZ 應用遭作程序如下:

►擬定關鍵問題

►設定預控制並改善之參數

►選擇避免惡化參數

►矩陣得出適當的發明原則

►評估發明原則可行性，並加以實現

(二) 矛盾矩陣運用

►第一項問題點:自動啟動

目前市面上的車輛均無使用消防裝置，雖然在賽車運動中，FIA 會強制規定所有比賽車輛都需加裝「滅火器」於車上，以保障車手的安全，但車上均需要駕駛自行以手動方式才能啟動滅火裝置，當駕駛車速過快發生事故時，駕駛有極大機率造成昏迷，此時就算裝有 FIA 規定之系統仍然是無法啟動滅火裝置，而造成危險；將改善自動化程度，構造簡單可普及化；而要自動化此系統，還須考慮到避免製造困難化，因此得出三項發明原理。(表 3)

表 3

避免惡化參數 欲改善參數	參數:32 製造性
參數:38 自動化程度	發明原理:1、13、26

發明原理 1-分割:將一個滅火器連接管路「分割」至引擎室四個角落，再以四個電子閥門控制，來平均的控制火勢。

發明原理 13-相反:利用電子電路的設計，將原手動式的啟動方式，改為「相反」的自動化啟動。

發明原理 26-複製:利用簡易的「複製品」數位溫度顯示器，以及配合車輛原有的水溫錶，讓駕駛隨時掌握車輛溫度狀況。

►第二項問題點:溫度監控

目前現代車輛上，大多都以水溫表來讓駕駛得知引擎目前狀況，而當引擎是有火源的當下，駕駛並不會第一時間的察覺，都當濃煙串出駕駛才發現起火現象，通常此時再做撲滅都已經維持已晚；溫度監控的訊息會對人員及車輛的安全造成引響，因此要如何做能加以改善，並降低傷亡及損失，又須考慮裝置不要過於複雜，固得出三項發明原理。(表 4)

表 4

避免惡化參數 欲改善參數	參數:36 裝置複雜性
參數:17 溫度	發明原理:2、16、17

發明原理 2-分離:利用與引擎水溫感知器「分離」的獨立溫度感知器，來偵測火源，以避免誤判。

發明原理 16-未達到或超過的作用:利用一個緊急手動開關，以防止系統故障時的緊急措施。

發明原理 17-維數變化:多利用一個故障(火源)指示燈，此時當駕駛沒注意數位溫度顯示器時，也能快速得知火災的發生。

▶第三項問題點:時間

目前市面上的車輛都無安裝消防裝置，大多數駕駛都是在車輛上放置滅火器，但往往在火災發生的當下，人們都會因為恐慌而忘記滅火器的存在，造成意外的發生；因此需要有可靠的溫度訊息，又須考慮減少時間的浪費，在第一時間啟動滅火程序及通知駕駛，而得出三項發明原理。(表 5)

表 5

避免惡化參數 欲改善參數	參數:25 時間的浪費
參數:27 可靠度	發明原理:4、10、30

發明原理 4-不對稱: 利用多個溫度感知器於引擎室內，採「不對稱」方式擺設，以增加溫度訊息可靠性。

發明原理 10-預先作用:因有故障指示燈及溫度顯示器之配合，所以駕駛可「預先」得知火災的發生，以加長逃生時間。

發明原理 30-柔性殼體或薄膜:本創新不採用。

二、　車輛緊急滅火裝置之部件選用及控制方式

(一) 滅火器的選用

強化液滅火器：強化液滅火器原理是噴射出非危害性化學成分的鹼金屬鹽類的水溶液，在滅火之餘更可以有效防止再燃燒。強化液滅火器適用於 A、B、C 型火災，無論火源來自一般材質、油類、或是電器，都有良好的滅火效果。強化液滅火器填充物為液態，61%成分是水，使用後清潔成本低，對環境不造成污染，也不易造成人員危害。且強化液滅火器的使用年限長達 5～10 年，視廠商而定，相較一般滅火器 2～3 年就要更換高出許多，省事又環保。近年被大量採用，所以我們**「選用強化液滅火器來製作本研究」**。[5]

(二) 管路的選用

本研究選用:塑膠的管路內還有一層鋁管，用意在確保管路不會因高溫溶化而破裂，導致滅火藥劑無法準確抵達引擎室內或造成管路壓力的損失，而無法有效的進行滅火。(如圖 1)

圖 1、橡膠鋁管解剖照

(黑色部分為橡膠材質、白色部分為鋁合金材質、藍色部分為滅火藥劑之通道)

(三) 噴嘴的選用

當要達到良好的滅火效果，滅火器噴出的強化液需要有良好的霧化效果，所以我們選用 3/4”平噴式水霧噴頭，型號 SD120，此噴頭也會因噴射壓力的不同，而有不同的噴射角度。(如圖 2、3)

圖 2、3/4”平噴式水霧噴頭 SD120 型[5]

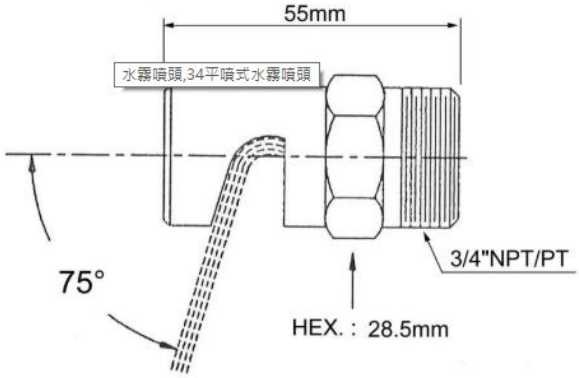


圖 3、噴頭模擬噴射圖[5]

(四) 閥門的選用

閥門的選用，因要快速的打開，所以我們選用 12V 電壓控制的閥門，控制方式為通電打開、斷電關閉，即為長閉式的閥門，因滅火器的成分為水溶液，所以我們選用市面上常看到的電磁水閥即可，而此水閥的材質則為不易生鏽的銅。(如圖 4)

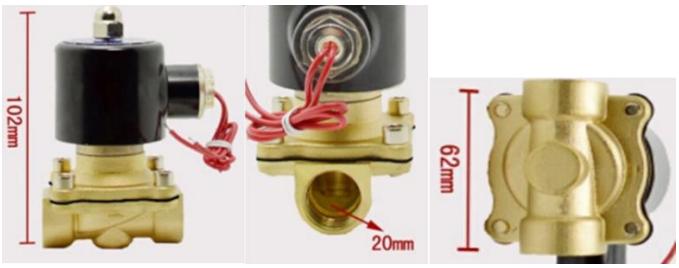


圖 4、水閥比例圖

(五) 控制器的選用

控制器的選用，我們選用的溫度控制器為 XH-W1411 數位溫度器三顯多功能溫度控制，三顯為啟動溫度、停止溫度及偵測溫度，不僅可以自己設定啟動與停止的溫度，又可以讓駕駛知道目前的偵測溫度，而此控制器的偵測溫度為-55℃ 至 120℃，控制溫度為-19℃ 至 99℃，控制方式為當偵測溫度達到設定的啟動溫度時，控制器內部線路會自動導通，而當偵測溫度低於停止溫度時則為斷路。經過我們測試當車輛於太陽下曝曬，引擎室最高溫度為 65℃，而當車輛行駛時，引擎水溫在正常情況下達到最高溫度時，引擎室最高溫度約為 75℃，經比對後啟動溫度設定為 95℃，停止溫度則為 35℃。(圖 5)

圖 5、XH-W1411 面板說明

(六) 警示燈的選用

警示燈的選用，燈的顏色要具有警示能力又必須為顯眼的顏色，所以我們以紅色的燈光作為第一選擇，再來我們則選擇較為省電又不易損壞的 LED 燈泡。

(七) 手動開關的選用

緊急手動開關的設計就是避免當控制器系統故障時，駕駛也能馬上自行啟動裝置，然而要讓駕駛在恐慌的狀態下可以即時啟動滅火程序，開關就需要設計能快速又簡單的手動方式，但我們也須注意不能讓火災未發生時，駕駛或成員誤啟動了開關，所以我們選用了有蓋子的手動開關設計。(如圖 6)

圖 6、手動開關

三、　設計架構

(一) 線路設計

線路主要以 XH-W1411 溫度控制器為主控，我們以簡單、容易製造為線路的設計原則，不過於複雜，又可以達到自動啟動功能的設計。(如圖 7)

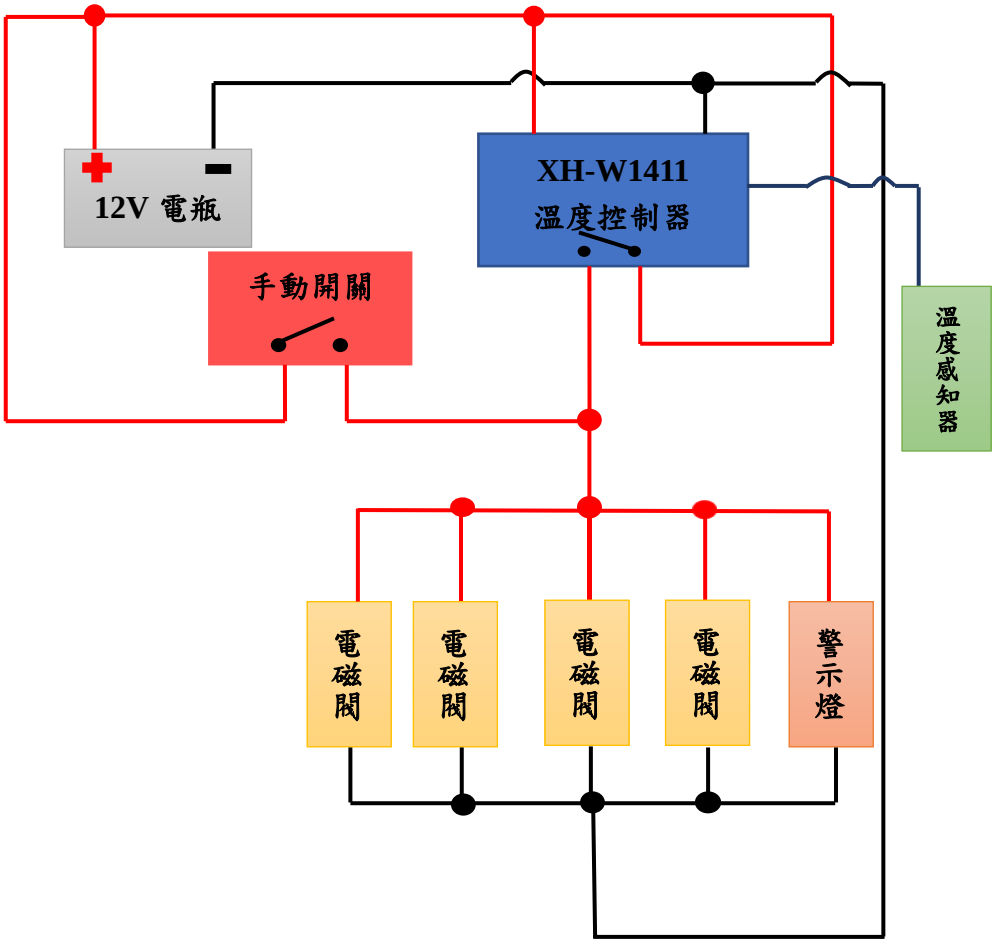


圖 7、線路設計圖

(二) 滅火裝置之部件的配置

1、 閥門及噴嘴的配置

當滅火裝置啟動時，要使滅火藥劑能即時到達引擎室內，我們必須把閥門放置在系統的最末端，這樣在未啟動時，管路內就有預壓力，此設計不僅可以即時滅火，又能避免壓力的損失；而因閥門設計在引擎室內，所以噴嘴我們設計在閥門之後，直接連接。(如圖 8)

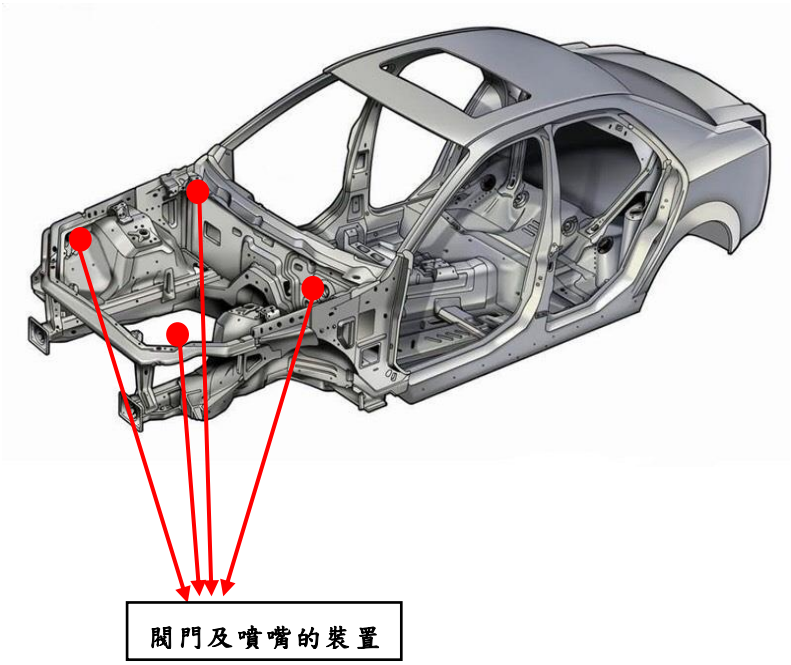


圖 8、閥門及噴嘴位置圖

2、 滅火器鋼瓶的配置

為了使鋼瓶不佔據車輛上的使用空間，我們選擇把鋼瓶放置在後車廂內，因後車廂空間是足夠的，鋼瓶也不會佔去很多空間，再加上車廂內，不管是在行駛時或是太陽曝曬下，溫度都不會太高，可以避免滅火藥劑的變質，所以我們將鋼瓶設計於後車廂內。(如圖 9)

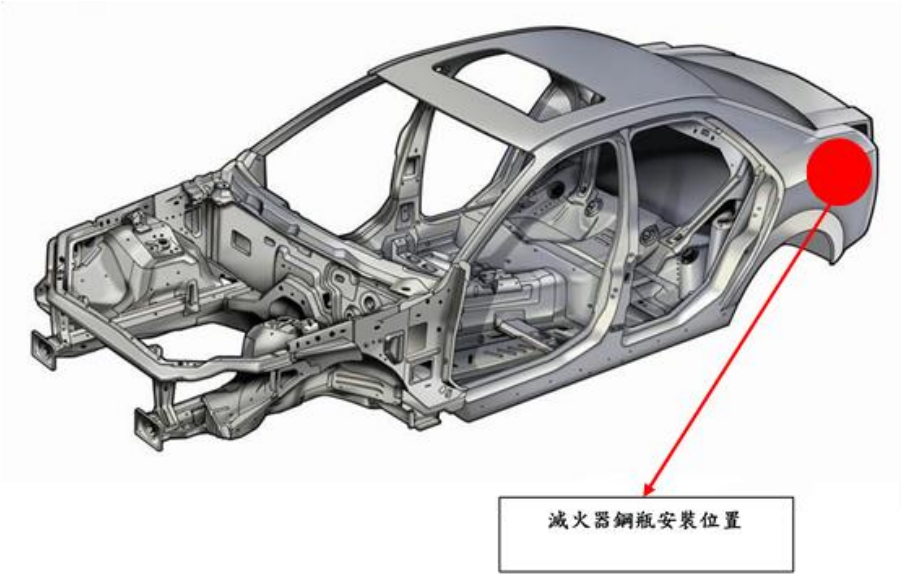


圖 9、滅火器鋼瓶位置圖

3、 管路的配置

管路的設置，因為車輛中央的部件較多，甚至後驅車中央還有傳動軸，使得車輛中央的可用空間較小，因此我們將管路設置在車輛側群的位置，雖然側撞可能導致管路變形，但因我們管路採用橡膠鋁管，有一定的變形量不容易斷裂；雖然側撞有可能發生火燒車的情況，原因大多是因為燃油管路的破裂加上高溫而造成火災的，所以我們會依車輛燃油管路的設置，將滅火管路設置在相反側。(如圖 10)

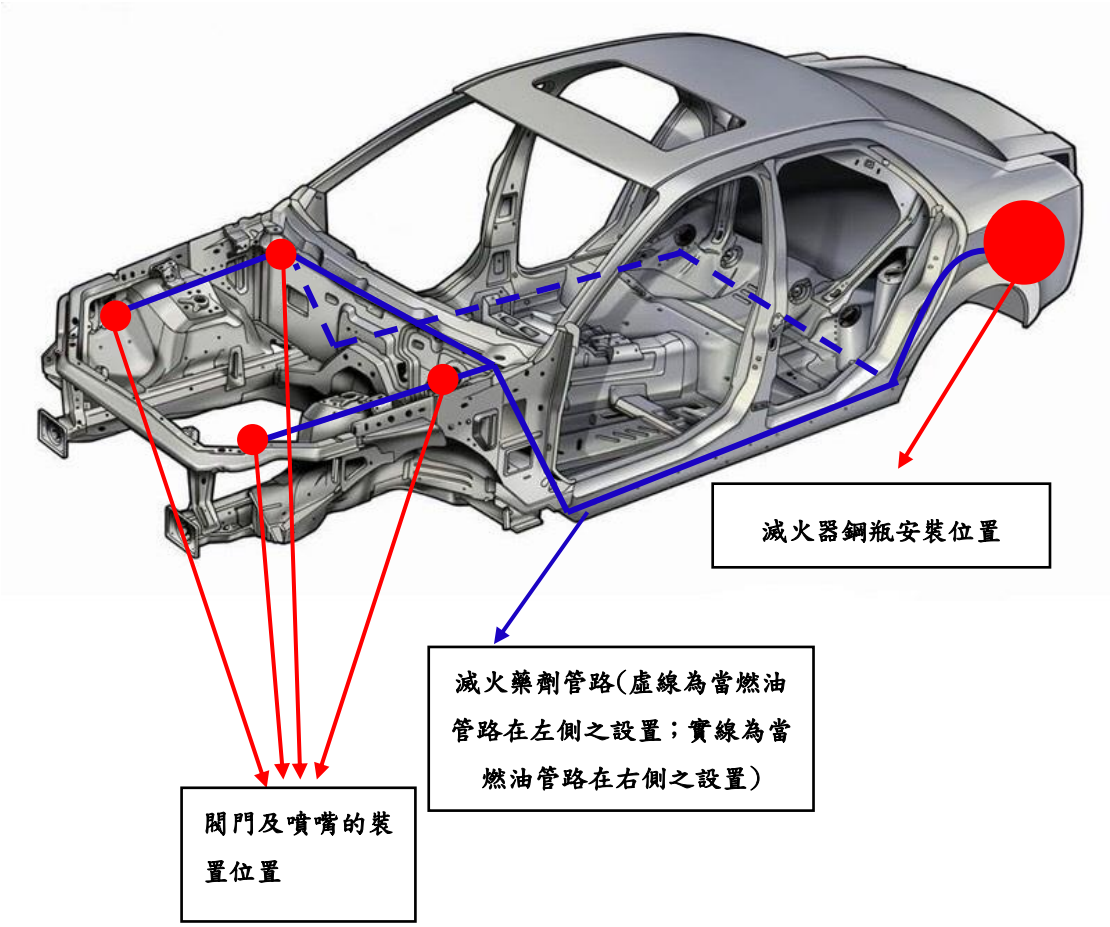


圖 10、管路配置圖

4、 溫度感知器的配置

要使溫度感知器測得最平均的溫度，但又須考量車輛在行駛圖中突然起火，火源因前方通風口導致火勢向後傾，所以我們將其設置在引擎室中央偏後之位置，將感知器固定在引擎蓋上，不與引擎直接接觸，避免溫度的干擾。(如圖 11)

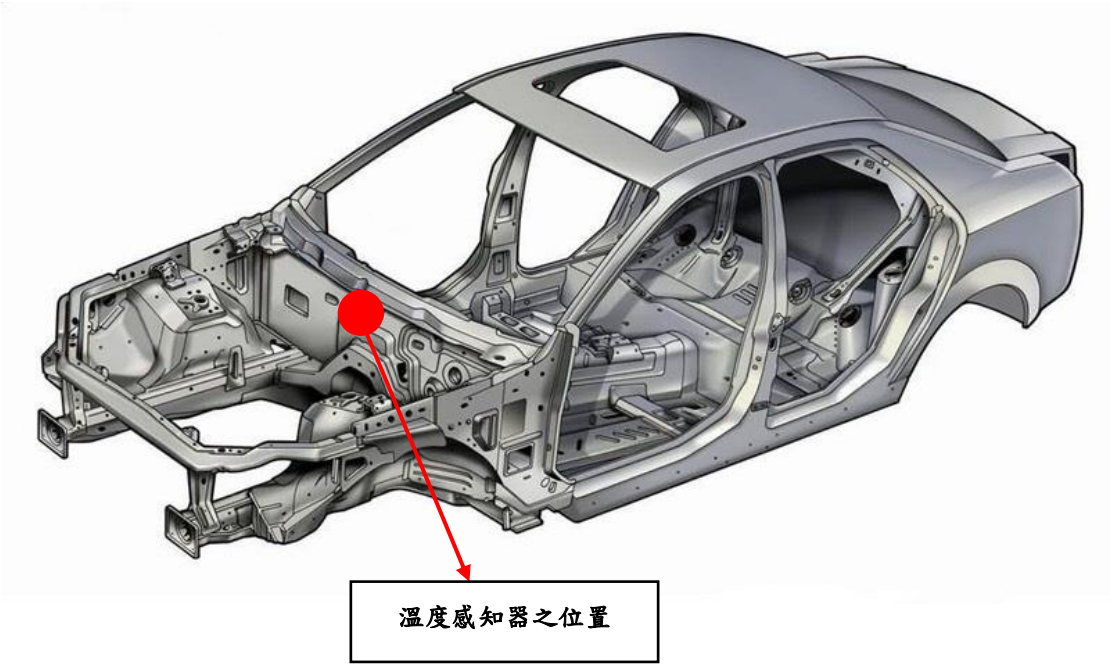


圖 11、溫度感知器配置圖

5、 XH-W1411 溫度控制器的配置

因 XH-W1411 含有溫度顯示器，所以我們選擇放置對駕駛者較為方便觀看的地方，但也必須注意不要阻礙到儀表及中央面板的操作，以及要避免放置位置不可阻礙到駕駛者的視線，所以我們選擇放置於儀表左上方，如此也不會阻礙到裝有抬頭顯示器之車輛的顯示。(如圖 12)

圖 12、XH-W1411 配置圖

6、 警示燈的配置

警示燈的設計就是要通知駕駛車輛已有火源的產生，讓駕駛能即時的逃出車輛，因此警示燈必須設置於顯眼的位置，以第一時間讓駕駛察覺，我們將其設置於儀表右上方。(如圖 13)

圖 13、警示燈配置圖

7、 手動開關的配置

手動開關的設計為緊急時刻，當自動控制系統發生故障時，還有第二個可以啟動滅火程序的設計，此裝置需設置於方便駕駛者使用的位置，所以我們將其設置於中央扶手附近，手煞車旁。(如圖 14)

圖 14、手動開關配置圖

四、 車輛緊急滅火裝置之系統作動方式

(一) 自動滅火程序

當感知器接收到火源訊號時，其溫度訊號會透過 XH-W1411 溫度控制器內部的開關導通，以電壓訊號激活打開四個閥門，啟動滅火程序，同時警示燈也會被電壓訊號激活亮起，使駕駛第一時間警覺立即逃生，故此系統可有效的增加逃生時間甚至將火源撲滅。

(二) 緊急手動滅火程序

此程序為當 XH-W1411 溫度控制器發生故障時，駕駛仍然可以透過操作手動開關來

激活四個閥門，啟動滅火程序，設計此裝置的目的在於當電腦系統故障時，駕駛依然可以第一時間的啟動火程序，以加長逃生時間。

參、結果與討論

不管車輛在行駛或停放時，因不明原因起火，又或者當車輛發生碰撞後，車輛可能會因碰撞造成汽油洩漏，當汽油碰到周遭溫度過高的物品時，使得火源的產生，上述問題都將對駕駛、成員及車輛帶來極大的危險性。本研究導入 TRIZ 方法及通用設計方法來設計，不僅能大幅降低車輛起火後所帶來的損失，更能保障駕駛及乘員的生命安全。

一、 設計車輛起火時溫度偵測裝置之創新設計

當車輛有火源的產生時，駕駛難免因恐慌而沒有在第一時間逃生及滅火，導致車輛火災的發生，將造成人員以及車輛財產的損失及危險發生。本研究之創新設計於車輛引擎蓋內(引擎室側)加裝溫度感知器，而此偵測器感側的溫度為依我們實際模擬測量的溫度以及配合閃火點的溫度作為溫度設定的標準，當感測度高於設定溫度時，溫度控制器內部自行導通，將電壓訊號傳送至自動滅火器的電磁閥門已啟動滅火程序，立即向引擎室火源處噴灑滅火藥劑，有效的家常逃生時間，甚至將其撲滅，防止火災事故的發生。

二、 設計車輛起火時自動啟動滅火裝置之設計

大部分駕駛都把車用滅火器放置在空間較大的後車廂，當車輛火災發生時，駕駛往往因極度恐慌，而忘記滅火器的存在，使得沒有在第一時間撲滅火源，造成火勢的擴大；又或者當車輛發生碰撞事故時，駕駛可能因昏迷或遭變形車體卡住無法自主滅火，導致火災的發生，因而造成生命之威脅，本設計這時若有自動滅火裝置就可立即啟動滅火程序。本研究之創新設計將引擎室溫度感測器之訊號傳送至溫度控制器加以整合，當溫度偵測器偵測到溫度過高時，溫度控制器電壓訊號傳送至電磁閥門，立即啟動滅火器噴灑，即可迅速且有效的控制火勢，並確保駕駛與成員之安全。

三、 設計車輛起火時手動啟動滅火裝置之設計

在極小的機率下，當車輛起火時，當下溫度控制器之系統同時有故障的存在時，這時滅火程序無法正常自行啟動，導致車輛火災的發生，造成人員的傷亡以及車輛的財產損失。本研究之創新將自動啟動功能與緊急手動啟動功能的結合，當自動啟動功能出現故障時，駕駛仍然可以透過本研究之設計的緊急手動開關，將電壓訊號傳送至閥門啟動滅火程序，即可立即撲控制火勢，確保人員的安全，本創新之設計大幅的降低系統的故障率，並且大幅的提升了本產品對人員安全的可靠度。

肆、結論

一、在設計階段使用的方法為 TRIZ 技術矛盾矩陣對應四十項發明原則及通用設計，利用電腦繪圖軟體繪製雛形繪出，建議可以後續進行產品雛型製造並進行後續使用者實際評估調查，或是藉由相關滅火器材專家學者評估本研究車輛緊急滅火裝置的實用性及可行性。

二、車輛緊急滅火裝置之滅火器雖然可以提升人員之安全性以及降低車輛之損失，但因

滅火器會因有效期限或噴射過後，造成壓力不足將失去滅火功能。故車輛定期保養檢查時，必須納入檢查範圍內，以確保該車輛滅火裝置的功能。

三、在研究方法方面，未來可將車輛緊急滅火裝置實際使用情形已系統的可靠度、裝置的耐久度及功效，針對滅火系統使用者實施調查，顯示使用者對該產品的滿意度以及建議，加以改善以達到更具安全性及便利性的目標，以達到市場的普及化。

誌謝

經歷了這兩個學期的努力製作之下，心中可說是既感動又感謝，感動的是花費了這麼多的心血、突破了重重的難關，終於在大家分工合作積極努力之下，已把這份屬於大家辛苦做出的作品，完美的呈現出來了。雖然是完成一份專題作業，但在製作過程中，讓我們學習到如何運用 TRIZ 方法於產品創新上，從中去探討相關的發明原則，來作為本項專題的發明方法，更從中學習到如何運用小組分工合作的力量去完成目標，體認分工合作的重要性。

除此之外，我們更感謝指導教授王偉驎教授，指導有關 TRIZ 創新發明設計中發明原則的應用及後續相關可能的發展方向，更不厭其煩的耐心指導我們解決任何問題，經過教授的指導使我們創意發想，讓我們設計了一個汽車駕駛人能更具安全的車輛緊急滅火裝置。

在製作專題的這段時間，仰賴整組同學的相互配合，儘管過程中有爭執，但在彼此相互體諒及合作之下，終於能如期的完成。最後，感謝許多在過程中幫助我們的的同學及教授，在此由衷的感謝。

參考文獻

[1]社會新聞(2019):老車跑國 3 突竄火 10 分鐘燒成廢鐵，自由時報 2019 年 02 月 20 日，摘取日期 2019 年 04 月 20 日，摘自 https://m.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/2704534

[2]社會新聞(2019):睡到一半火燒車 駕駛負傷衝進飯店求救，TVBS 2019 年 01 月 02 日，摘取日期 2019 年 4 月 20 日，摘自 https://news.tvbs.com.tw/local/1058301

[3]社會新聞(2018):北市汽車自燃　造成 3 車毀損幸無人傷，中央通訊社 2018 年 01 月 22 日，摘取日期 2019 年 4 月 20 日，摘自 https://www.cna.com.tw/news/asoc/201801220214.aspx

[4]鄭勝榮，「以 TRIZ 輔助汽車內裝產品設計之研究」，大葉大學設計系，碩士論文，2005 年

[5]正德防火-滅火器

Session III-3
(15:40~17:00，B219)

花蓮地區酸性降雨趨勢分析
Trend Analysis of Acid Rain in Hualien area

許文昌 [1*] 李恆 [2]

Wen-Chang Hsu[1*] Heng Li [2]

1 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 助理教授

1. Assistant Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management, Institute of Dahan Technology

2 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系碩士班 研究生

2. Graduated student, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management, Institute of Dahan Technology

* Corresponding author: kenhsu@ms01.dahan.edu.tw

摘 要

本研究分析花蓮地區 2005 至 2018 年降雨數據資料，利用世界氣象組織降雨規模區分大規模降雨(每小時超過 8mm)、中規模降雨(每小時 2.6mm 至 8mm)與小規模降雨(每小時 2.5mm 以下)，分析在不同規模降雨與酸雨發生率的相關性，探討花蓮地區酸性降雨趨勢。

結果顯示 2005 至 2018 年總降雨小時為 490 至 807 小時，平均 620 小時，年降雨機率為 5.6%至 9.2%，平均 7.1%，其中年降雨機率最低為 2011 年，年降雨機率最高為 2012 年，從各規模降雨比例圖顯示，小規模比例佔 60%至 78%，最低為 2009 年，最高為 2014 年及 2017 年，中規模比例佔 16%至 24%，最低為 2014 年，最高為 2009 年及 2011 年，大規模比例佔 3%至 16%，最低為 2017 年，最高為 2009 年。

2005 至 2018 年降酸雨機率為 47%至 71%，最低為 2011 年，最高為 2013 年，其中小規模酸雨發生機率 48%至 67%，平均發生機率 59%，最高為 2013 年及 2014 年，最低為 2018 年；中規模酸雨發生機率 38%至 77%，平均發生機率 50%，最高為 2013 年，最低為 2014 年；大規模酸雨發生機率 26%至 92%，平均發生機率 49%，最高為 2013 年，最低為 2014 年。

本研究結果發現花蓮地區 2005 至 2018 年的年降雨機率與年降酸雨機率為正比關係，而主要佔總降雨小時為小規模降雨，平均佔 70%，2014 至 2018 年小規模酸雨發生機率呈現下降趨勢(67%減少至 48%)，2014 至 2018 年中規模酸雨發生機率呈現上升趨勢(38%上升至 56%)，2014 至 2018 年大規模酸雨發生機率則呈現上升趨勢(27%上升至 71%)。

關鍵詞: pH 值、累積降雨量、區域性酸沉降

壹、 前 言

近年來全球暖化、氣候變遷、極端氣候及空氣污染等環境議題受到關注，在各國經濟成長同時環境破壞也日漸嚴重，隨著氣候變遷及長程傳輸等因素改變區域天氣型態，造成污染範圍增大，現今中國大陸經濟發展快速而排放污染物也隨之增加，2007 年中國排放二氧化硫 36.6 兆噸為全球第一，與 2017 年 8.4 兆噸相比雖減少 75%[1]，但空氣污染物隨著長程傳輸夾帶著酸雨問題影響台灣環境品質，只要空氣品質越差，酸雨發生率也會增加。

酸雨為酸性沉降中的溼沉降部分，有雨、雪、霧、冰雹等降雨型態，而造成酸雨形成的主要物種為 Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}、NH_4^+、K^+、Na^+、Ca^{2+}及 Mg^{2+}等，其中又以 SO_4^{2-} 及 NO_3^-為主要物質，酸雨對人體造成的危害有呼吸系統受損、引起哮喘、乾咳、頭痛、眼睛、鼻子、喉嚨的過敏等問題，對於建築物酸雨會造成侵蝕部分，影響建築物的安全性，破壞古蹟等文化資產，1967 年酸雨造成俄亥俄河上的橋倒塌，對於自然界危害更是嚴重，造成土壤養分流失、阻礙植物光合作用、影響植物生長速度等問題，如果酸雨融入有毒金屬成分，經過蔬果吸收，再由動物、人食用，累積在器官中，會造成神經受損等問題，如果重金屬和核酸結合，會使基因突變，影響細胞遺傳，產生畸胎或癌症等問題[2]。

本研究藉由花蓮空氣品質監測站收集 2005 至 2018 年的降雨數據資料，依世界氣象組織[3]降雨規模區分大規模降雨、中規模降雨及小規模降雨，分析降雨數據，了解花蓮地區 2005 至 2018 年年降雨次數變化、酸雨發生機率變化趨勢，及在不同規模下，降雨次數變化及酸雨發生率，找出花蓮地區酸雨機率主要由哪種降雨規模所主導。

貳、 研究方法

2.1 研究區域與數據來源

本研究以花蓮地區為主要研究區域，當地產生的污染較西部地區少，容易受到境外移入的影響，造成空氣中的污染物增加，促使空氣品質降低，若再加上雨除效應，容易誘發酸雨。本文使用花蓮空氣品質監測站數據，其測站位於花蓮市中正國小頂樓，屬於環保署普通測站的一般測站類型，酸雨計型號為 Ogasawara us-760S，pH 值誤差：± 0.1pH，如:# 表示儀器檢核為無效值，* 表示程式檢核為無效值，x 表示人工檢核為無效值，A 係指因儀器疑似故障警報所產生的無效值，NR 表示無降雨，空白 表示缺值。風向資料 888 代表無風，999 則代表儀器故障。主要利用花蓮空氣品質監測站數據，收集 2005 至 2018 年花蓮地區降雨數據資料，將無效數據剃除避免影響數據的準確性，再行換算出不同規模下降雨次數變化及酸雨發生率。

2.2 酸雨計算方式及規模區分方式

本研究使用環保署研究報告[4]，酸雨定義雨水pH值達 5.0 以下進行區分，再利用世界氣象組織降雨規模區分大規模降雨(每小時超過 8mm)、中規模降雨(每小時 2.6mm至 8mm)與小規模降雨(每小時 2.5mm以下)三種型態。

本研究再依照數據區分：年降雨小時數與年降雨機率、各規模降雨比例、降雨次數與酸雨發生概率、小規模降雨次數與酸雨發生率、中規模降雨次數與酸雨發生率及大規模降雨次數與酸雨發生率，了解花蓮地區酸雨趨勢及各規模酸雨發生機率。

叁、結果與討論

圖 1 為 2005 至 2018 年花蓮地區年降雨小時與降雨機率圖，圖中結果顯示 2005 至 2018 年年降雨小時為 490 至 807 小時，年平均降雨 620 小時，年降雨機率為 5.6%至 9.2%，年平均降雨機率 7.1%，其中降雨機率最低為 2011 年，年降雨機率最高為 2012 年。

2005 至 2006 年由 6.9%增加至 7.7%，2007 至 2009 年由 7.2%減少 5.8%，2010 至 2011 年由 6.9%減少至 5.6%，2012 至 2014 年由 9.2%減少至 6.1%，2015 至 2016 年由 6.4%增加至 8.6%，2017 至 2018 年由 6.7%減少至 6.1%，其中 2005 至 2011 年降雨機率為 6.7±0.7%，平均降雨次數 591±63 次，2012 至 2018 年降雨機率為 7.4±1.3%，平均降雨次數 649±111 次，說明 2012 至 2018 年比 2005 至 2011 年比降雨次數變化大，推測與全球暖化、氣候變遷有關，造成降雨次數差異。

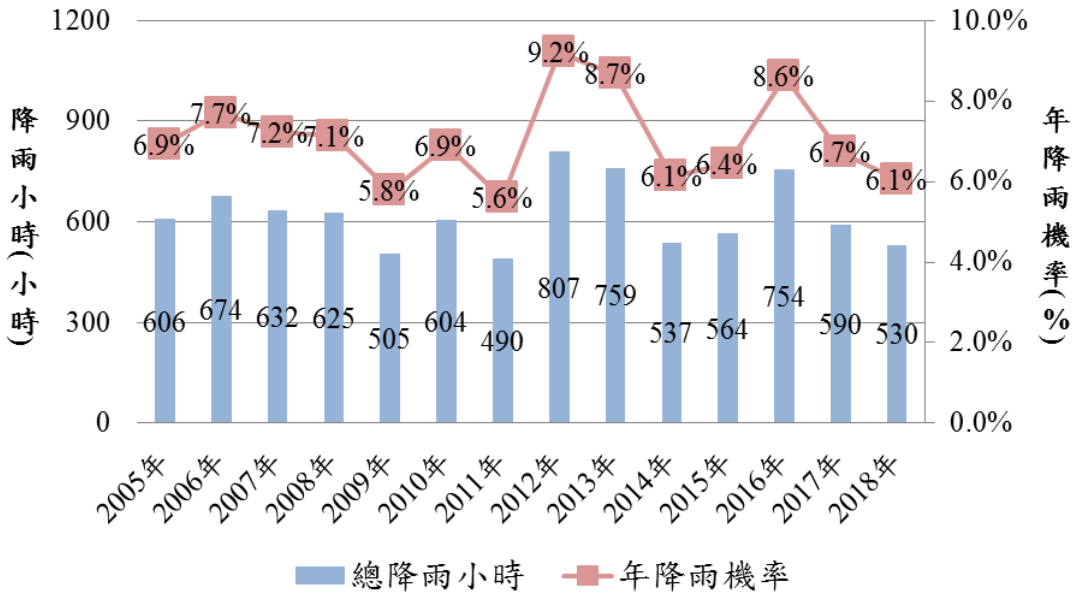


圖 1　2005 至 2018 年花蓮地區年降雨小時與降雨機率圖

圖 2 為 2005 至 2018 年花蓮歷年降雨次數及酸雨發生機率圖，圖中結果顯示花蓮地區酸雨發生率為 47%～71%之間變動，平均 56%，2013 年發生酸雨機率為最高 (539/759 場)，而 2011 年發生酸雨機率為最低(230/490 場)。

其中 2005 至 2006 年由 48%增加到 61%，2007 至 2009 年由 59%減少至 49%，2010 至 2011 年由 61%減少到 47%，2012 至 2013 年由 59%增加 71%，2014 至 2015 年由 60%減少至 54%，2016 至 2018 年由 58%減少至 52%，整體酸雨發生機率呈現微浮跳動。2005 至 2011 年酸雨發生機率為 47%至 61%，平均 54±6%，2012 至 2018 年酸雨發生機率 52%至 71%，平均 58±6%，顯示 2012 至 2018 年比 2005 至 2011 年酸雨發生機率有增加趨勢，其中 2013 年酸雨發生機率高達 71%，推測與中國霾害有關，中國霧霾受到東季風長程傳輸的影響，造成台灣空氣品質變差，加上雨除效應增加酸雨發生機率[5]，但

由 2013 至 2018 年酸雨發生機率已逐漸下降呈現，說明空氣品質逐漸有變好。

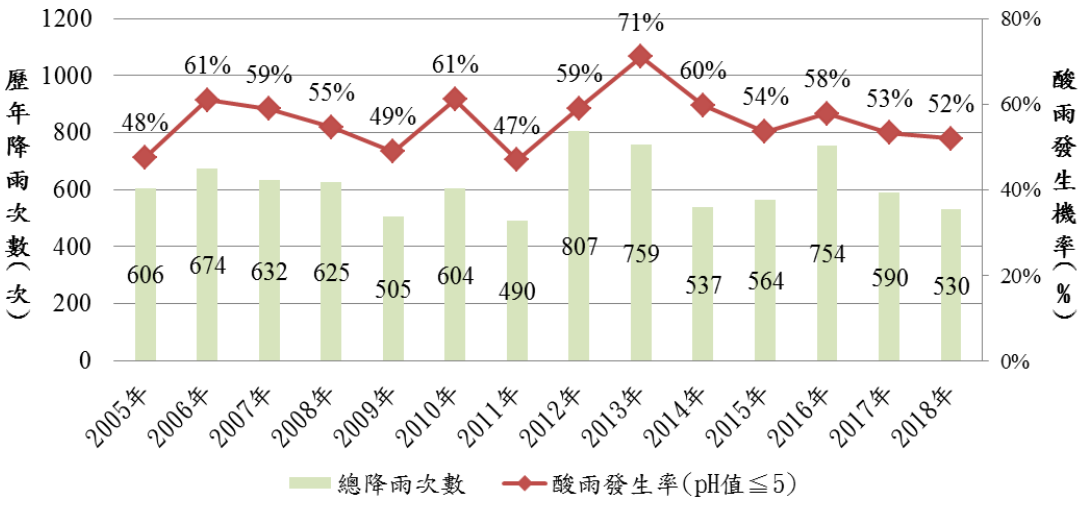


圖 2　2005 至 2018 年花蓮歷年降雨次數及酸雨發生概率圖

圖 3 為 2005 至 2018 年各規模年降雨比例圖，圖中顯示小規模比例佔 60%至 78%，平均佔 70%，其中最低為 2009 年(301/505 場)，最高為 2014 年(420/537 場)及 2017 年(460/590 場)；中規模比例佔 16%至 24%，平均 20%，其中最低為 2014 年(87/537 場)，最高為 2009 年(123/505 場)及 2011 年(120/490 場)；大規模比例佔 3%至 16%，平均佔 10%，最低為 2017 年(15/590 場)，最高為 2009 年(81/505 場)，結果顯示花蓮地區降雨規模主要以小規模為主，其中降雨次數不會影響各規模比例。

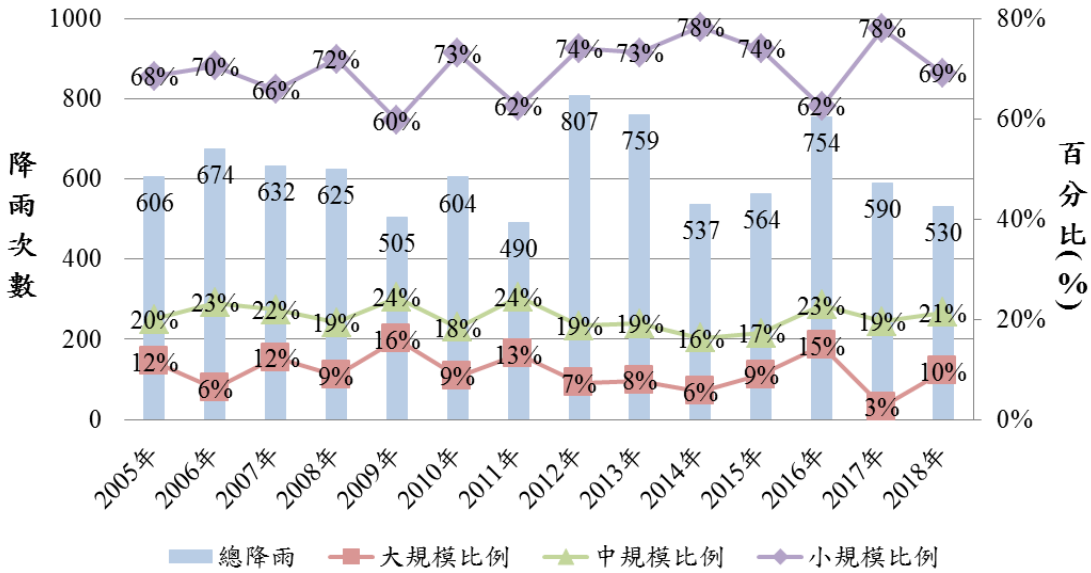


圖 3　2005 至 2018 年各規模年降雨比例圖

圖 4 為 2005 至 2018 年小規模降雨次數與酸雨發生率相關圖，圖中結果顯示花蓮地區小規模降雨次數為 301 至 597 次，平均 435 次，其中 2012 年降雨次數最多，2009 年降雨次數最少，酸雨發生率為 48%～67%之間變動，平均 59%，酸雨發生機率最高為 2013 年(373/555 場)及 2014 年(280/420 場)，酸雨發生機率最低為 2018(176/366 場)。

其中 2005 至 2006 年由 53%(221/415 次)增加 62%(294/475 次)，2007 至 2009 年由 61%(252/416 次)減少 51%(154/301 次)，2010 至 2011 年由 65%(288/441 次)減少 50%(154/306 次)，2012 至 2013 年由 65%(397/597 次)增加 67%(373/555 次)，2014 至 2018 年由 67%(280/420 次)減少 48%(176/366 次)，整體酸雨發生機率在 59%微幅跳動。2005 至 2011 年小規模降雨次數在 301 至 475 次，平均 400±65 次，酸雨發生機率為 50%至 65%，平均 58±5%；2012 至 2018 年小規模降雨次數在 366 至 597 次，平均 469±75 次，酸雨發生機率 48%至 67%，平均 59±7%，說明 2012 至 2018 年比 2005 至 2011 年降雨次數有增加，2012 至 2018 年發生酸雨機率有減少趨勢，形成酸雨的因素與空氣中的微粒有關，雨除效應使小規模降雨容易將空氣中的 $PM_{2.5}$ 溶於水，而 2005 至 2017 年花蓮空品站所測得空氣品質良好，AQI 多為良好及普通等級[6]，其中環保署於 2012 年修正空氣品質標準，將 $PM_{2.5}$ 納入管制，推測花蓮地區 2005 致 2017 年因空氣品質改善，促使小規模酸雨發生機率下降。

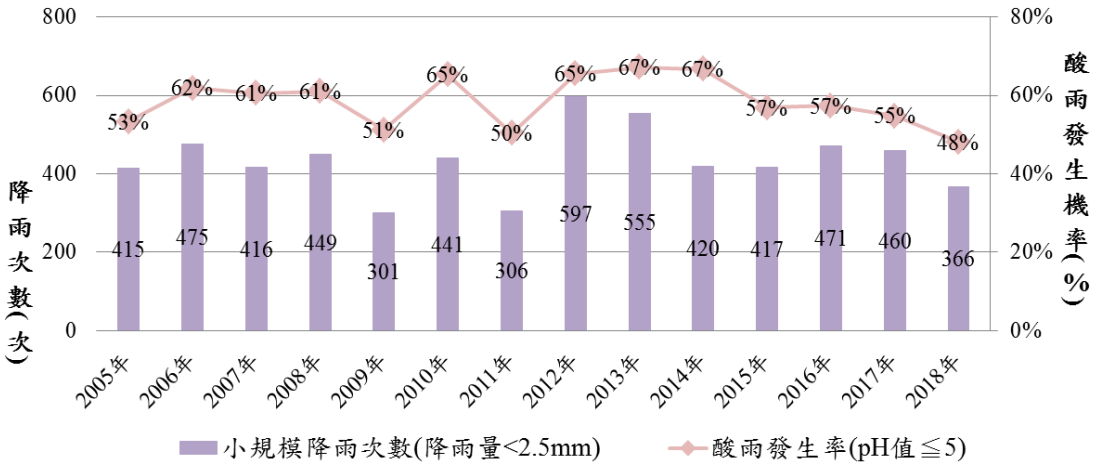


圖 4　2005 至 2018 年花蓮小規模降雨次數與酸雨發生率相關圖

圖 5 為 2005 至 2018 年中規模降雨次數與酸雨發生率相關圖，圖中結果顯示花蓮地區中規模降雨次數為 87 至 172 次，平均 127 次，其中以 2016 年降雨次數最多，2014 年降雨次數最少，酸雨發生率為 38%～77%之間變動，平均 50%；酸雨發生機率最高為 2013(112/145 場)，而酸雨發生機率最低為 2014(33/87 場)。

其中 2005 至 2007 年由 40%(49/121 次)增加 56%(77/138 次)，2008 至 2010 年由 43%(52/121 次)增加 52%(58/111 次)，2011 至 2012 年由 48%(57/120 次)減少 44%(66/151 次)，2013 至 2014 年由 77%(66/145 次)減少 38%(33/87 次)，2015 至 2016 年由 47%(46/97

次)增加 58%(100/172 次)，2017 至 2018 年由 45%(52/115 次)增加 56%(63/113 次)，整體酸雨發生機率在 50%微幅跳動。

2005 至 2011 年中規模降雨次數在 111 至 157 次，平均 127±14 次，酸雨發生機率為 40%至 56%，平均 49±6%，2012 至 2018 年中規模降雨次數在 87 至 172 次，平均 126±29 次，酸雨發生機率 38%至 77%，平均 52±12%，說明 2012 至 2018 年比 2005 至 2011 年降雨次數變化大，酸雨發生機率有微幅上升趨勢。

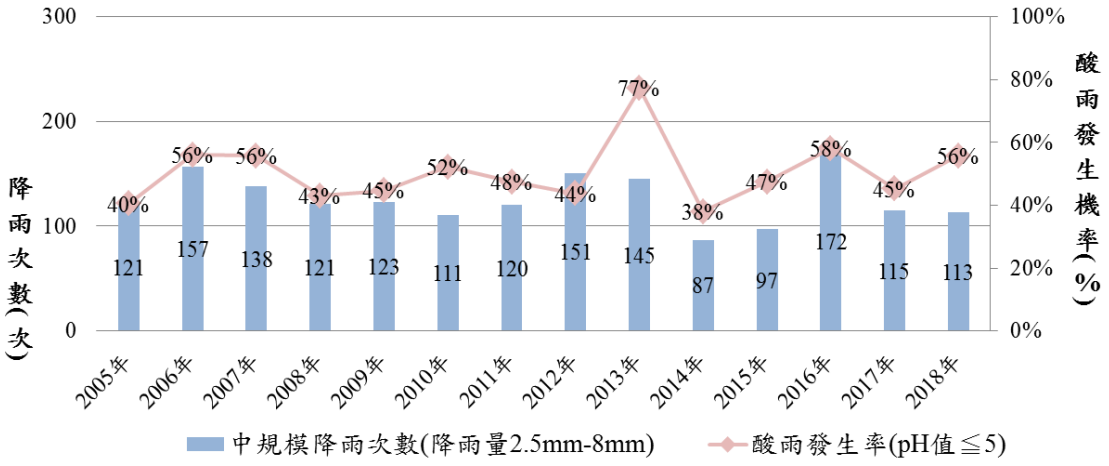


圖 5　2005 至 2018 年花蓮中規模降雨次數與酸雨發生率相關圖

圖 6 為 2005 至 2018 年大規模降雨次數與酸雨發生率相關圖，圖中結果顯示花蓮地區大規模降雨次數為 15 至 111 次，平均 58 次，其中以 2016 年降雨次數最多，2017 年降雨次數最少，酸雨發生率為 26%～92%之間變動，平均 49%；酸雨發生機率最高為 2013 年(54/59 場)，而酸雨發生機率最低為 2015 年(19/50 場)。

其中 2005 至 2006 年由 26%(18/70 次)增加 69%(29/42 次)，2007 至 2008 年由 55%(43/78 次)減少 27%(15/55 次)，2009 至 2011 年由 47%(38/81 次)減少 30%(19/64 次)，2012 至 2013 年由 32%(19/59 次)增加 92%(54/59 次)，2014 至 2018 年由 27%(8/30 次)增加 71%(36/51 次)，整體酸雨發生機率幅度大。

2005 至 2011 年大規模降雨次數在 42 至 81 次，平均 63±13 次，酸雨發生機率為 26%至 69%，平均 43±15%；2012 至 2018 年降雨次數在 15 至 111 次，平均 54±28 次，酸雨發生機率 27%至 92%，平均 55±22%， 顯示 2012 至 2018 年比 2005 至 2011 年降雨次數變化大，而 2014 至 2018 年大規模酸雨發生率則有逐漸增加的趨勢。

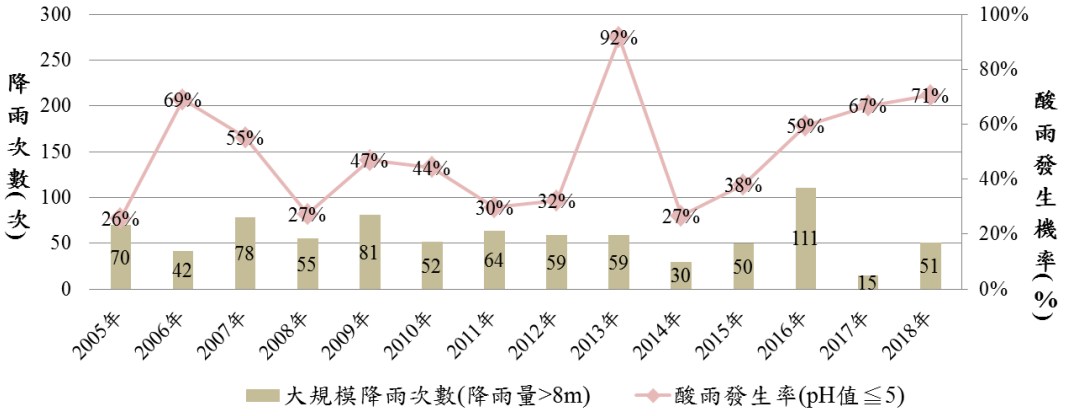


圖 6　2005 年至 2018 年花蓮大規模降雨次數與酸雨發生率相關圖

肆、結 論

本研究分析花蓮地區 2005 至 2018 年降雨數據資料，利用世界氣象組織降雨規模區分大規模降雨(每小時超過 8mm)、中規模降雨(每小時 2.6mm 至 8mm)與小規模降雨(每小時 2.5mm 以下)，分析在不同規模降雨與酸雨發生率的相關性，探討花蓮地區酸性降雨趨勢，所得結論如下：

1. 2005 至 2018 年花蓮地區年降雨小時為 490 至 807 小時，年平均 620 小時，降雨機率為 5.6%至 9.2%，年平均為 7.1%，其中 2005 至 2011 年平均降雨次數 591±63 次，平均 6.7±0.7%，2012 至 2018 年平均降雨次數 649±111 次，平均 7.4±1.3%，說明 2012 至 2018 年比 2005 至 2011 年降雨次數增加，年降雨次數變化大，推測與氣候變遷影響有關。
2. 2005 至 2018 年花蓮地區酸雨發生機率為 47%～71%之間跳動，平均 56%，其中 2005 至 2011 年酸雨發生機率為 47%至 61%，平均為 54±6%，2012 至 2018 年酸雨發生機率為 52%至 71%，平均為 58±6%，說明 2012 至 2018 年比 2005 至 2011 年發生酸雨機率微幅增加，2012 至 2018 年酸雨發生機率整體有緩慢減少趨勢，從 71%減少至 52%。而 2013 年整體高出平均值，整體增加至 71%為平均 1.3 倍，小規模 67%為平均 1.1 倍，中規模 77%為平均 1.5 倍，大規模 92%為平均 1.9 倍，推測受到中國大陸霧霾及東北季風長程傳輸影響，造成當年各規模酸雨發生機率都明顯增加。
3. 2005 至 2018 年花蓮地區小規模年降雨為 301 至 597 次，平均 435±78 次，小規模維持在 70±6%；中規模年降雨為 87 至 172 次，平均 127±23 次，維持在 20±3%；大規模年降雨為 15 至 111 次，平均 58±22 次，維持在 10±4%，說明各規模比例呈微幅跳動，降雨規模主要以小規模為主，降雨次數的多寡不會影響各規模占比例。
4. 2005 至 2018 年花蓮地區小規模降雨次數平均為 435 次，2005 至 2011 年降雨次數平均 400±65 次，2012 至 2018 年降雨次數平均 469±75 次，2012 至 2018 年總降雨次數雖然增加，但有減少趨勢，由 597 次減少至 366 次；2005 至 2018 年酸雨發生率平均 59%，2005 至 2011 年酸雨發生率平均 58±5%，2012 至 2018 年酸雨發生率 59±7%，酸雨發生率微幅跳動，2012 至 2018 年酸雨發生率有下降趨勢從 67%下降至 48%，推測與 2012 年環保署修正空氣品質標準，將 $PM_{2.5}$ 納入管制，使得空氣品質改善有關。
5. 2005 至 2018 年花蓮地區中規模降雨次數平均 127 次，2005 至 2011 年降雨次數平均 127±14 次，2012 至 2018 年降雨次數平均 126±29 次，說明 2012 至 2018 年比 2005

至 2011 年降雨次數變化大，影響整體降雨次數；2005 至 2018 年酸雨發生率平均 50%，2005 至 2011 年酸雨發生率平均 49±6%，2012 至 2018 年酸雨發生率 52±12%，說明 2012 至 2018 年比 2005 至 2011 年酸雨發生率增加。

6. 2005 至 2018 年花蓮地區大規模降雨次數平均 58 次，2005 至 2011 年降雨次數平均 63±13 次， 2012 至 2018 年降雨次數平均 54±28 次，說明 2012 至 2018 年比 2005 至 2011 年降雨次數變化大，影響整體降雨次數；2005 至 2018 年酸雨發生率平均 49%，2005 至 2011 年酸雨發生率平均 43±15%，2012 至 2018 年酸雨發生率 55±22%，酸雨發生率增加，而 2014 至 2018 年大規模酸雨發生機率由 27%增加至 71%有逐漸上升趨勢。

誌謝

感謝許文昌教授對我的教導，讓我重新學習酸雨的相關知識，提醒我計算酸雨時該注意的部分，提供不同方向的議題讓我思考，訓練對事物思考的能力，也感謝實驗室侯宥琳學姊，在我寫文章的同時，提供我寶貴的意見，幫我注意文章中的贅詞，並讓我能專心在文章上，十分感謝他們。

參考文獻

[1] 美國國家環保局.- https://www.epa.gov/

[2] 台灣酸雨資訊網-https://acidrain.epa.gov.tw/harm/02.htm

[3] 世界氣象組織-https://public.wmo.int/zh-hans

[4] 行政院環保署-空氣品質監測網-歷年監測資料下載 https://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/YearlyDataDownload.aspx

[5] 環境資訊中心 TEIA-https://e-info.org.tw/

[6] 侯宥琳(2018)：「2005-2017 年花蓮空品站 AQI 趨勢變化」，大漢技術學院，研討會論文。

即時性微粒監測儀對逸散性粒狀污染物排放特性之案例研究
Case Studies of TSI Particle Monitor for Fugitive Particulate Emissions Characteristics

許文昌 [1*] 曾俊晏 [2]

Wen-Chang Hsu[1*] Jyun-Yan Zeng[2]

1 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系助理教授

1. Assistant Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management, Institute of Dahan Technology

2 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系碩士班研究生

2. Graduated student, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management, Institute of Dahan Technology

* Corresponding author: kenhsu@ms01.dahan.edu.tw

摘 要

本研究採用TSI公司生產DUST-TARKⅡ8530氣溶膠監測儀(簡稱TSI-8530) ，針對營建工地開挖、車行揚塵、移動污染源及空氣盒子之案例探討即時性微粒逸散性粒狀污染物排放特性，研究結果如下：

營建工地怪手開挖在未防制前$PM_{2.5}$平均質量濃度為21μg/m^3，惟在短時間6分鐘內出現3筆高尖峰濃度分別為49μg/m^3、51μg/m^3、32μg/m^3、46μg/m^3，其倍數為平均質量濃度的1.5倍~2.4倍；經防制後平均質量濃度已降至17μg/m^3，雖仍有尖峰濃度產生但明顯已趨近於平均濃度及區間濃度，且防制效率達73.3%效果良好，說明開挖過程中瞬間的尖峰濃度為污染的主因。探討某礦區車行揚塵$PM_{2.5}$質量濃度變化情形，一台車在1分鐘的時間測得質量濃度為13μg/m^3~86μg/m^{3}之間，平均值31μg/m^3，尖峰質量濃度為平均質量濃度的2.3倍~2.7倍，並在1分鐘內持續約有16秒的瞬間尖峰濃度，且由2~6秒的瞬間濃度飆高至2.2倍~4.5倍，說明車輛行經後短時間帶來的污染非常劇烈。移動污染源柴油車使用舊濾煙器於怠速運轉下，在短時間內測得$PM_{2.5}$質量濃度區間高達225μg/m^3~347μg/m^{3}之間，在使用新濾煙器後質量濃度明顯大幅下降至10μg/m^3~27μg/m^{3}之間，而新、舊濾煙器質量濃度相差了12.8倍~22.5倍，削減率達84.4%效果相當良好，說明新、舊濾煙器在過濾廢氣排放效能是有明顯差異的。使用TSI儀器與東大門夜市旁設置於禮品店之空氣盒子進行比較，空氣盒子測得$PM_{2.5}$質量濃度為12μg/m^3~22μg/m^{3}區間，平均質量濃度為16μg/m^3，TSI儀器質量濃度為9μg/m^3~14μg/m^{3}區間，平均質量濃度為12μg/m^3，二者落差稍大且有明顯之起伏，說明空氣盒子實測值有偏高約1.3倍~1.5倍情形。

本研究結果發現，逸散性污染源發生的時間都非常的短暫，且期間所產生的尖峰質量濃度往往是平均質量濃度之數倍，極有可能是污染源之所在，若採用傳統平均質量濃度作為污染源的依據則較無法察覺短時間內污染源的存在；而TSI-8530即時監測儀器可提供分秒逐筆紀錄的優勢，可以明確呈現污染源的時間點及污染程度，故運用即時監測儀作為污染管制的輔助工具，則可偵測到短時間或瞬間污染源之所在，並可提前做好適當防制措施作為改善依據及預防的效果，也能減少民眾的陳情。

關鍵詞: $PM_{2.5}$、即時性微粒監測儀、逸散性粒狀污染物、尖峰濃度

壹、 前 言

環境空氣中粒狀污染物來源分為原生性污染物及衍生性污染物，其中原生性粒狀污染物來源又可分為管道排放及逸散性排放，根據台灣地區空氣污染物排放資料庫(TEDS 9.0，以2013年為基準年)資料顯示，花蓮縣原生性污染物排放量($PM_{2.5}$)為6,139公噸/年，其中屬逸散性污染源又以營建/道路揚塵佔68%、工業製程佔22%為花蓮縣主要污染源[1]。

逸散性污染源為沒有設置排放管道，直接將粒狀污染物排放於大氣中之物理或化學操作單元，包括排放粒狀污染物之工廠製程作業、車輛行駛引起之揚塵、營建工程施工產生之粉塵、裸露地、露天燃燒及農業操作等，是容易散發於空氣中的污染源，可能持續較長時間，也可能發生於瞬間。因此，要能準確地掌握即時空氣污染的狀況且達到即時監控及改善目的,故本研究運用即時性監測儀器以花蓮縣佔比最高之營建/道路揚塵案例來探討逸散性粒狀污染物排放特性。

貳、研究方法

2.1儀器介紹及數據來源

本研究採用TSI公司生產的自動監測儀器DUST-TARKⅡ8530氣溶膠監測儀(簡稱TSI-8530)，可測量PM_1、$PM_{2.5}$、PM_4(呼吸性粉塵)、PM_{10}，可測得微粒尺寸範圍0.1~10μm，質量濃度0.001~400mg/m3，儲存間隔1秒~1小時/筆，其偵測原理是以光散射法，當光照射在空氣中懸浮顆粒物上時，會產生散射光，散射光的強度與其質量濃度成正比。通過測量散射光強度，應用質量濃度轉換係數，得出顆粒物濃度值[2]。惟不論是何種儀器必定有其優缺點，而自動監測儀器之優點:可以即時監測環境、易於攜帶、評估作業前的危害、長時間的連續監測、操作簡單易學、污染物濃度的初步瞭解，缺點:則是對未知化合物不具鑑定能力、易受混合物干擾、感測元件容易老化、不正確的校正容易造成誤導、較易受環境溫濕度影響[3]。

本研究針對營建工地怪手開挖、車行揚塵、移動污染源及空氣盒子之案例，探討即時性微粒逸散性粒狀污染物排放特性，其各案例數據來源說明如下:

(1).營建工地主要以定點式量測怪手開挖時所產生的$PM_{2.5}$逸散性微粒污染狀況，以短時間6分鐘為測量測基準，探討短時間內污染源產生的時間點及污染程度，並以灑水作為進行逸散性微粒污染之防制效果。

(2).車行揚塵採用定點式量測一台車輛行經時瞬間擾動塵土所產生$PM_{2.5}$逸散性污染狀況，以1分鐘為測量測基準，探討車輛行經時所產生尖峰濃度及持續時間，了解一台車輛所帶來的污染過程。

(3).移動污染源則採用定點式量測柴油車怠速時所產生的$PM_{2.5}$逸散性微粒污染狀況，以10分鐘為測量測基準，探討清潔隊之垃圾車於怠速時每分鐘600轉速運轉下，使用新、舊濾煙器後廢氣排放之削減效果。

(4).本研究另外針對同為即時監測儀器之空氣盒子與TSI-8530進行比對實驗，以1小時為量測基準，將儀器放置於東大門夜市旁進行實測比較，探討兩種即時監測儀器的準確性及差異性。

2.2DUST-TARKⅡ8530氣溶膠監測儀 (TSI)校正計算方式

根據相關文獻研究指出，微型感測器安裝於戶外，其感測器測值出現異常值之比例不可忽視，也需注意昆蟲或小動物、雨天干擾及感測器靈敏度變差等問題，使感測器之準確度下降，但校正後數值可輔佐加強地區之分辨率 [4]。

故本研究採用行政院環境保護署公告細懸浮微粒($PM_{2.5}$)自動監測數據發布校正原則[5]，$PM_{2.5}$監測分為「手動監測」及「自動監測」二種方法。由於監測方法不同，兩者數據有系統性的差異，需經過比對及統計分析後，適度轉換校正才能掌握一致性的數據。依空氣品質標準規定，$PM_{2.5}$之監測數據係以「手動監測」標準方法所量測之數據為準。由於細懸浮微粒手動監測之作業過程嚴謹，較不受濕度氣象因素影響，其數據較具代表性，但因需人工放樣、取樣，每3天才能採樣1次，樣本又需經調理、量測及品保與品管等程序，約需20天才能完成。為提供即時空氣品質狀況，作為民眾預警及採取防護措施參考，而為使自動監測及手動監測數據趨於一致，參考美國環保署作法，以非標準方法（Non-Federal ReferenceMethod, FRM）監測儀器可藉由統計方法與標準方法建立線性關係，得出各自動監測站與手動監測站數據的線性迴歸式(關係式)，用以校正自動監測數據並即時公布，提供預警功用。故本研究將使用之即時監測儀器數據以環保署之校正原則進行修正。

叁、結果與討論

3.1即時性儀器與手動法的校正結果

自動監測數值與手動法測值由於採樣方法的不同，在計算前須進行修正。因此，本研究將利用大漢站以手動法所測得的24小時$PM_{2.5}$濃度值，依照環保署細懸浮微粒($PM_{2.5}$)自動監測數據發布校正原則，計算2018年花蓮自動監測數據與RP2000手動採樣數據的迴歸式(關係式) ，來作為本研究校正之依據。

圖1至2 為2018年9月至10月花蓮$PM_{2.5}$-TSI-8530自動監測值與$PM_{2.5}$-RP2000手動採樣測值迴歸分析圖及2018年9月至10月花蓮PM_{10}-TSI-8530自動監測值與PM_{10}-RP2000手動採樣測值迴歸分析圖，表1 則為2018年花蓮自動監測數據與RP2000手動採樣數據的迴歸式(關係式)統計表。由表中結果顯示，可看出2018年間花蓮$PM_{2.5}$-TSI-8530自動監測數據與$PM_{2.5}$-RP2000手動法採樣測值間，有良好的相關性(R^2>0.8)，藉以修正$PM_{2.5}$自動數據符合法規規範。

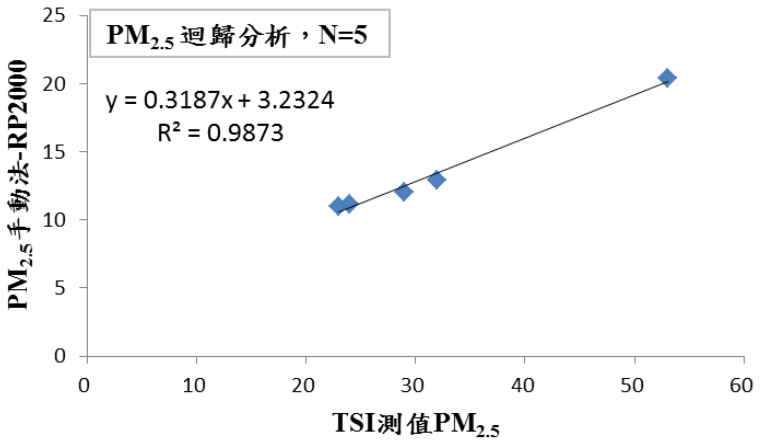


圖 1　2018 年 9 月至 10 月花蓮 $PM_{2.5}$-TSI-8530 自動監測值與 $PM_{2.5}$-RP2000 手動採樣測

值迴歸分析圖(以校正 2018 年 $PM_{2.5}$ 自動監測數值)

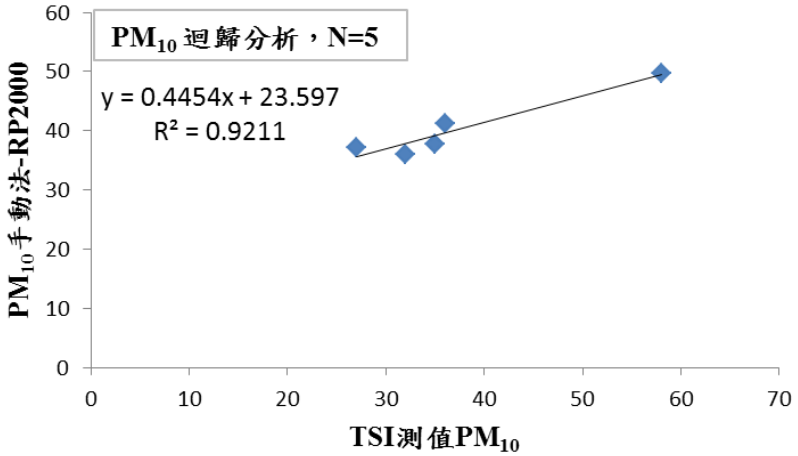


圖 2　2018 年 9 月至 10 月花蓮 PM_{10}-TSI-8530 自動監測值與 PM_{10}-RP2000 手動採樣測值迴歸分析圖(以校正 2018 年 PM_{10} 自動監測數值)

表1　2018年花蓮 TSI-8530自動監測數據與 RP2000手動採樣數據的迴歸式(關係式)統計

年份	縣市	自動測站	迴歸式 [y(手動)=mx(自動)+b]	判定係數(R^2)	迴歸手動測站	距離(公里)
2018	花蓮縣	$PM_{2.5}$-TSI-8530	y=0.3187x+3.23	0.9873	$PM_{2.5}$-RP2000	0
2018	花蓮縣	PM_{10}-TSI-8530	y=0.4454x+23.6	0.9211	PM_{10}-RP2000	0

3.2營建工地逸散性粒狀污染物特性探討結果

營建工地主要以定點式量測怪手開挖時所產生的 $PM_{2.5}$ 逸散性微粒污染狀況，以短時間 6 分鐘為測量測基準，每 10 秒紀錄 1 筆濃度值，探討短時間內污染源產生的時間點及污染程度，並以灑水作為進行逸散性微粒污染之防制效果。測得分析結果如下：

圖 3-1 為營建工地怪手開挖之防制前曲線圖，由圖中得知防制前 $PM_{2.5}$ 質量濃度介於 15μg/m^3~51μg/m^3 區間，平均質量濃度為 21μg/m^3，低濃度平均值 18μg/m^3，高濃度平均值 45μg/m^3；顯示開挖過程中出現 4 筆尖峰值，高尖峰濃度依序分別為 51μg/m^3、49μg/m^3、32μg/m^3、46μg/m^3，且於短短 10~20 秒內濃度瞬間增加了 15μg/m^3~31μg/m^3，而高濃度平均值與平均值相差 24μg/m^3(2.1 倍)，濃度平均值與低濃度平均值則相差 27μg/m^3(2.5 倍)。

圖 3-2 為營建工地怪手開挖之防制後曲線圖，由圖中得知防制後 $PM_{2.5}$ 質量濃度介於 15μg/m^3~25μg/m^3 區間，平均質量濃度為 17μg/m^3，低濃度平均值 17μg/m^3，高濃度平均值 22μg/m^3；顯示開挖過程中出現 4 筆尖峰值，高尖峰濃度依序分別為 25μg/m^3、22μg/m^3、21μg/m^3、20μg/m^3，濃度僅增加了 2μg/m^3~8μg/m^3，而平均值與低濃度平均值同為 17μg/m^3，而高濃度平均值與低濃度平均值僅相差 5μg/m^3(1.3 倍)。

由此可知，防制前的 4 筆尖峰值應為怪手開挖時產生的主要逸散性污染源，若以平均值 21μg/m^3 作為環境參考依據，則無法充份表達實際逸散性污染的現況，而本研究使用即時監測儀在掌握污染源的時間點及污染程度後做適當的防制，防制前、後高濃度平

均值則相差了 23μg/m^3(2 倍)，防制效率達 73.3%，說明施工時灑水有達到防制效果。

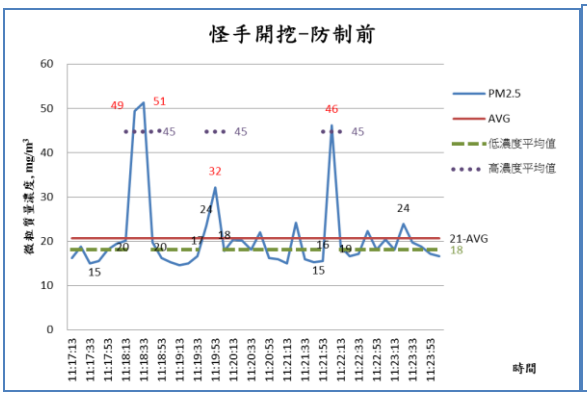


圖3-1　營建工地怪手開挖之防制前曲線圖

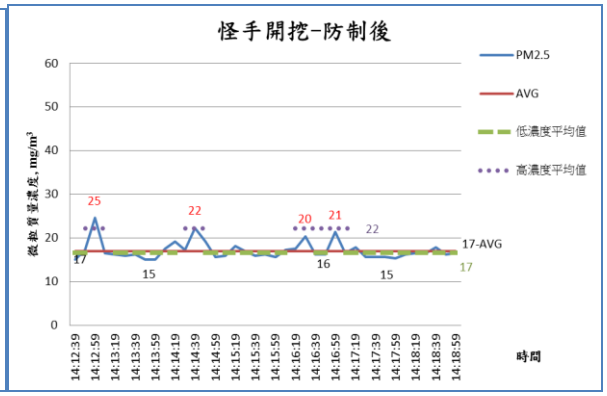


圖3-2　營建工地怪手開挖之防制後曲線圖

3.3車行揚塵逸散性粒狀污染物特性探討結果

車行揚塵採用定點式量測一台車輛行經時瞬間擾動塵土所產生 $PM_{2.5}$ 逸散性污染狀況，以 1 分鐘為測量測基準，每 2 秒紀錄 1 筆濃度值，探討車輛行經時所產生尖峰濃度及持續時間，了解一台車輛所帶來的污染過程。測得分析結果如下：

圖 3-3 為車行揚塵之一台車輛行經曲線圖，由圖中得知 $PM_{2.5}$ 質量濃度介於 13μg/m^3~86μg/m^3 區間，平均質量濃度 31μg/m^3，低濃度平均值 18μg/m^3，高濃度平均值 68μg/m^3；顯示車輛在行經時於 2~6 秒濃度瞬間增加了 24μg/m^3~67μg/m^3(2.2 倍~4.5 倍)，且維持了約 16 秒的時間，而高濃度平均值與平均值相差了 37μg/m^3(2.2 倍)，與低濃度平均值相差 50μg/m^3(3.7 倍)。

結果說明，短暫所產生的污染相當嚴重，若以平均值31μg/m^{3}作為車輛經過時的全程濃度參考依據，則無法充份表達車行揚塵帶來的瞬間污染；而說明車輛行經後短時間帶來的污染是非常劇烈。

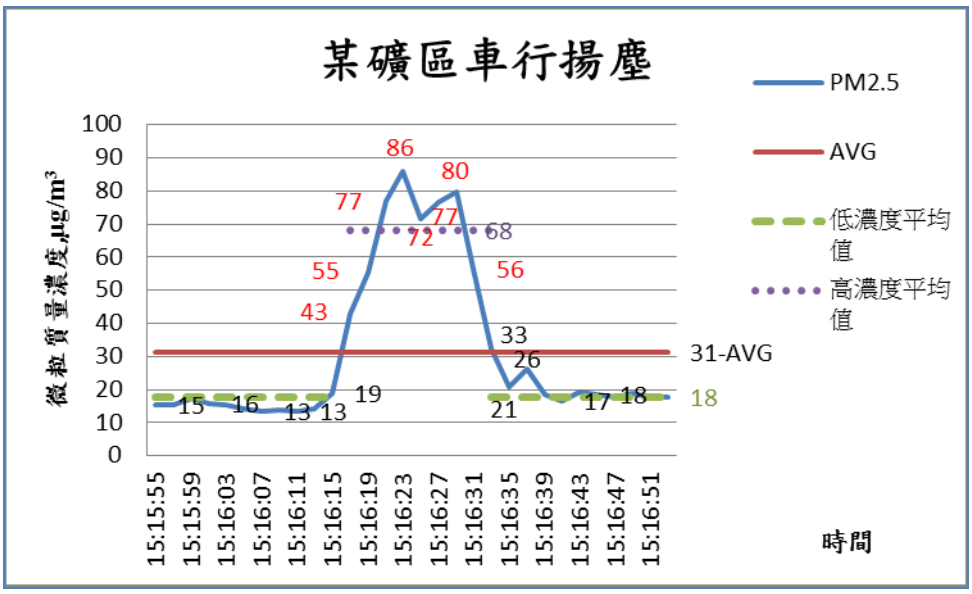


圖 3-3　車行揚塵之一台車輛行經曲線圖

3.4移動性污染源逸散性粒狀污染物特性探討結果

移動污染源則採用定點式量測柴油車怠速時所產生的 $PM_{2.5}$ 逸散性微粒污染狀況，以 10 分鐘為測量測基準，每 30 秒紀錄 1 筆濃度值，探討清潔隊之垃圾車於怠速時每分鐘 600 轉速運轉下，使用新、舊濾煙器後廢氣排放之削減效果。測得分析結果如下：

圖 3-4 為移動性污染源之舊濾煙器曲線圖，由圖中得知舊濾煙器 $PM_{2.5}$ 質量濃度介於 225μg/m^3~347μg/m^3 區間，平均質量濃度為 296μg/m^3，低濃度平均值 266μg/m^3，高濃度平均值 327μg/m^3；顯示在使用舊濾煙器時濃度由 225μg/m^3 不段攀升至 347μg/m^3，10 分鐘內濃度增加了 122μg/m^3(1.5 倍) ，表示舊濾煙器過濾廢氣時完全沒有發揮效能。

圖 3-5 為移動性污染源之新濾煙器曲線圖，由圖中得知新濾煙器 $PM_{2.5}$ 質量濃度介於 10μg/m^3~27μg/m^3 區間，平均質量濃度為 19μg/m^3，低濃度平均值 15μg/m^3，高濃度平均值 23μg/m^3；顯示在使用新濾煙器時濃度趨於平穩，表示新濾煙器在怠速過濾廢氣時有達到效能。

結果說明，新、舊濾煙器低濃度平均值則相差了 251μg/m^3(17 倍) ，高濃度平均值則相差了 304μg/m^3(14 倍)，削減率達 84.4%；說明新、舊濾煙器在廢氣排放過濾的效能有明顯差異，新濾煙器的廢氣過濾效果相當良好。

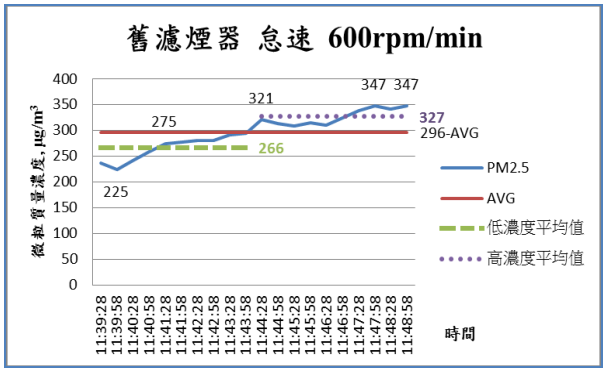


圖3-4 移動性污染源之舊濾煙器曲線圖

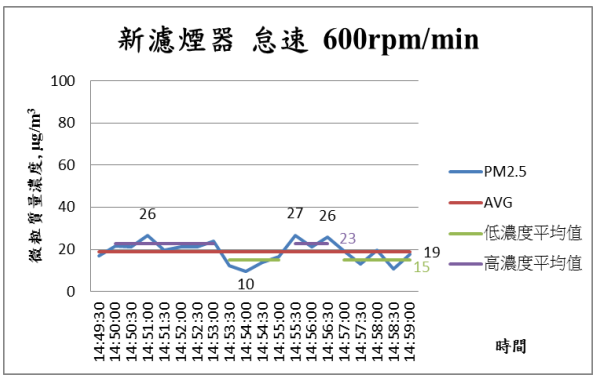


圖3-5 移動性污染源之新濾煙器曲線圖

3.5空氣盒子與TSI-8530兩種即時監測儀器的準確性及差異性之探討結果

即時監測儀器之空氣盒子與 TSI-8530 進行比對實驗，以 1 小時為量測基準，每 7 分鐘紀錄 1 筆濃度值，將儀器放置於東大門夜市旁進行實測比較，探討兩種即時監測儀器的準確性及差異性。測得分析結果如下：

圖 3-6 為空氣盒子之東大門比對實驗圖，由圖中得知空氣盒子 $PM_{2.5}$ 質量濃度介於 12μg/m^3~22μg/m^3 區間，平均質量濃度為 16μg/m^3，低濃度平均值 13μg/m^3，高濃度平均值 20μg/m^3。

圖 3-7 為 TSI-8530 儀器之東大門比對實驗圖，由圖中得知 TSI-8530 $PM_{2.5}$ 質量濃度介於 9μg/m^3~14μg/m^3 區間，平均質量濃度為 12μg/m^3，低濃度平均值 11μg/m^3，高濃度平均值 13μg/m^3。

結果顯示，兩者濃度變化具有相同向量的趨勢反應，濃度變化趨勢類似，濃度值在同一時間點一起變高或變低，惟空氣盒子較 TSI-8530 儀器高濃度平均值高估 7μg/m^3(1.5 倍) ，說明空氣盒子可能因長期置放於室外受混合物干擾亦或是感測元件老化等因素所

造成測值偏離形情。

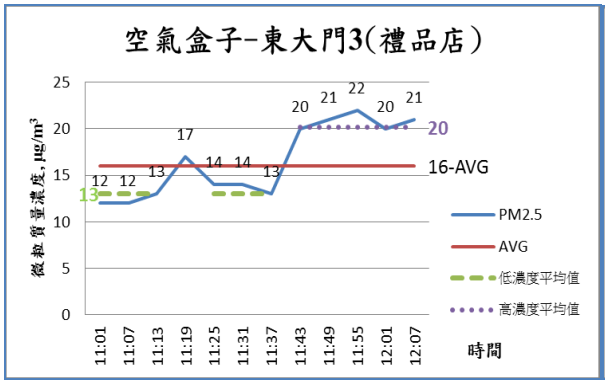


圖3-6　空氣盒子之東大門比對實驗圖

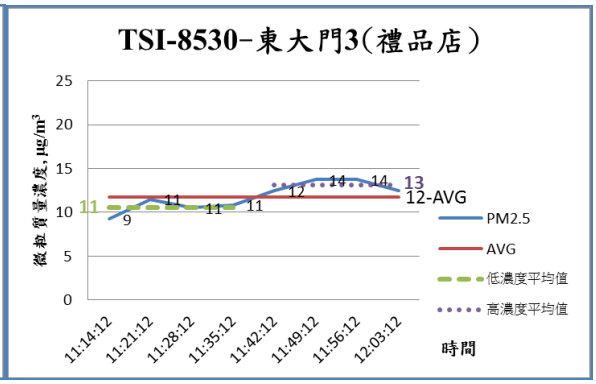


圖3-7　TSI-8530儀器之東大門比對實驗圖

肆、結 論

本研究針對營建工地怪手開挖、車行揚塵、移動污染源及空氣盒子之案例，探討即時性微粒逸散性粒狀污染物排放特性，所得結論說明如下：

1. 營建工地在使用即時監測儀下掌握了污染源的時間點及污染程度並做適當的防制，防制前、後高濃度平均值則相差了23μg/m^3(2倍)，防制效率達73.3%，說明施工時灑水有達到防制效果。

2. 車行揚塵的逸散性微粒污染的特性在片刻之間，本研究案例車輛行經時擾動塵土的逸散性污染程度可在2~6秒濃度瞬間增加了24μg/m^3~67μg/m^3(2.2倍~4.5倍)，且維持了約16秒的時間，而高濃度平均值與平均值相差了37μg/m^3(2.2倍)，與低濃度平均值相差50μg/m^3(3.7倍)，說明車輛行經後短時間帶來的污染是非常劇烈。

3. 移動污染源柴油車怠速每分鐘600轉速運轉下，新、舊濾煙器低濃度平均值則相差了251μg/m3(17倍) ，高濃度平均值則相差了304μg/m3(14倍)，削減率達84.4%；說明新、舊濾煙器在廢氣排放過濾的效能有明顯差異，新濾煙器的廢氣過濾效果相當良好。

4. 探討空氣盒子與TSI-8530兩種即時監測儀器，兩者濃度變化具有相同向量的趨勢反應，濃度變化趨勢類似，濃度值在同一時間點一起變高或變低，惟空氣盒子較TSI-8530儀器高濃度平均值高估7μg/m^3(1.5倍)情形，說明空氣盒子可能因長期置放於室外受混合物干擾亦或是感測元件老化等因素所造成測值偏離形情。。

5. 本研究結果發現，逸散性污染源發生的時間都非常的短暫，且期間所產生的尖峰質量濃度往往是平均質量濃度之數倍，極有可能是污染源之所在，若採用平均質量濃度作為污染源的依據則較無法察覺短時間內污染源的存在；而TSI-8530即時監測儀器可掌握污染源的時間點及污染程度，故運用即時監測儀作為污染管制的輔助工具，則可察覺短時間或瞬間污染源之所在，並可提前做好適當防制措施作為改善依據及預防的效果，也能減少民眾的陳情。

誌謝

本研究首要感謝指導老師許文昌 博士以及土環系侯宥琳學姊與同學李恆班長不吝於研究上的協助與幫忙，感謝花蓮縣環境保護局的計畫及空污實驗室提供相關數據參考，謹致由衷謝忱。

參考文獻

[1] 行政院環境保護署(2019) ：空氣污染物排放資料庫 TEDS9.0版，摘取日期2018年6月25日，摘自 http://teds.epa.gov.tw/new_main2-0-1.htm。

[2] TSI DUST-TARKⅡ8530氣溶膠監測儀使用手冊。

[3] 李聯雄(2014) ：「職業衛生領域對於量測技術的未來需求」，職業衛生研討會，摘自 http://2014toha.rulingcom.com/files/archive/151_d4cbd3df.pdf

[4] 洪千喬(2018) ：「簡易型 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 感測器之效能比對與校正方法建立研究」，交通大學環境工程研究所碩士論文。

[5] 行政院環境保護署(2019): 細懸浮微粒($PM_{2.5}$)自動監測數據發布校正原則，摘自 https://taqm.epa.gov.tw/pm25/tw/PM25A.aspx

運用透地雷達與地電阻之多種排列法調查地下掩埋物研究
A Study of Applying Ground Penetrating Radar and Geoelectrical Resistivity Method in Survey of Underground Landfills

簡立凱[1*]王新光[2]王銘源[3]

Li-Kai Chien[1*] Xing-Guang Wang[2] Ming-Yuan Wang[3]

1大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 助理教授

Assistant Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resource Management, Institute of Dahan Technology

2大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 碩士

Master, Department of Civil Engineering & Environmental Resource Management, Institute of Dahan Technology

3大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 研究生

Graduate Student, Department of Civil Engineering & Environmental Resource Management, Institute of Dahan Technology

* Corresponding author: akai@ms01.dahan.edu.tw

摘 要

運用透地雷達法(GPR)與地電阻影像剖面法(RIP)，調查已知深度與性質不同之掩埋物，可求得掩埋物上方岩層的電磁波傳遞速度，與比較各種地電阻電極排列法之調查結果並得到以下結果：

(1) 經計算得知電磁波在掩埋物上方傳遞速度 0.075 m/ns，與實驗室量測在粉沙質組成的傳遞速度接近。
(2) GPR 的施測剖面中，金屬良導體之掩埋物截面積大，反射訊號明顯，不良導體之掩埋物，反射訊號弱。
(3) 地電阻施測剖面中，掩埋物上方岩層電阻率可分為東西兩區:西側(A 層)電阻率為 105 Ω-m、寬度 14 m、深度 1.5 m，判斷為回填較鬆散之岩層組成；東側(B 層)電阻率為 135-200 Ω-m，判斷為回填較緊實之岩層成。掩埋物下方為未受到擾動之岩層(C 層) ，電阻率為 200-77 Ω-m，判斷其組成最為緻密。
(4) 地電阻之四中排列法，電極間距 0.5 m，1 m 之施測剖面均呈現隨深度增加，電阻率增加高之趨勢，顯示開挖後，地層組成鬆散，孔隙增加含水之情況提高，導致電阻率降低。雙極排列法電極間距 0.5 m 施測剖面中，掩埋物之上方之電阻率分佈較電極間距 1 m 的解析度能力高。
(5) 欲提高地電阻法之探測深度，可增加量測層數或電極間距。

關鍵字:透地雷達法、地電阻影像剖面法

壹、 前言

非破壞性檢測(Non-destructive surveying)一直為工程界人員所喜愛使用，因其具有經濟，快速，效率佳等之優點，而透地雷達(Ground-penetrating radar, GPR)為非破壞性檢測方法之一，其原理與反射震測法(Reflection seismic method)類似，此乃利用電磁波藉由發射短脈衝之高頻電磁波(80-1200 MHz)進入地表後在不同介質面有著穿透與反射之特性，以探求地下土層之異物與性質。本研究針對已知掩埋物深度，儀器量測到時間可求電磁波在地層中傳遞速度，與實驗室測量之各種地層傳遞速度作比較。

利用地球物理探勘方法，地電阻影像面法(Resistivity Image Profiling method, RIP method)，初步勘查在壽豐地區地下地層電性的電阻率分佈，由於地電阻影像剖面可以反映出施測區地下電阻率的分佈情形，結合地質上的調查與研究，以及對於岩石岩性的基本了解，依據電阻率的不同差異呈現出來的電阻率分佈圖，可以了解此區域得地下電性分佈。東華大學附近九富路為第四紀沉積層，主要是礫石，砂及黏土等構成。由於不同性質之掩埋物與地層組成不同，嘗試使用地電阻之不同排列法於表進行調查，施測結果是否出現電性不連續帶而判讀掩埋物之存在。

貳、 研究原理與方法

2.1 透地雷達(Ground Penetrating Radar, GPR)

本研究採用之透地雷達系統為美國 GSSI 公司 SIR SYSTEM-2000 主機，頻率為 400 MHz。天線組以包覆效果良好電纜線與控制台相連，對於來自地面上的雜訊有較好的濾除效果。 因為接收器為靈敏度極高的設計，對微弱訊號及雜訊均會接收進來，為提高訊號與雜訊比（S/N ratio），每條描線（trace）可由多次重覆發射時接收之重合訊號組成類似震測的同支距同炸點信號重合法，因此除規則性雜訊外，大部份不規則雜訊可大幅減弱。疊加次數的多寡會影響到測勘的速度，通常視測區地表及地質情形加以斟酌。

2.1.1電磁波特性

平面之電磁波在均質、均向的介質中傳播，則電場與磁場可以式（2.1）、式（2.2）表示：

$$E_x = E_0 e^{j(\omega t - kz)} \tag{2.1}$$

$$H_y = H_0 e^{j(\omega t - kz)} \tag{2.2}$$

其複數形態的波數（Wave number）可以式（2.3）表示：

$$k = \omega\sqrt{\mu\left(\varepsilon + \frac{\sigma}{j\omega}\right)} = \beta - j\alpha \tag{2.3}$$

其中

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}\sqrt{\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2}+1\right)}$$

$$\alpha = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}\sqrt{\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2}-1\right)}$$

式中

ω：角頻率（Angular frequency）

σ：導電率（Electric conductivity）

ε：電容率（Electric permittivity）

μ：磁導率（Magnetic Permeability）

其衰減常數α為式（2.3）中的波數之虛數部分，而電磁波訊號的速度即將波數的實數部分轉換為如式（2.4）所示：α與V即為控制電磁波在地下傳播的因子。其中α為地層之衰減常數，β為波數。

$$V=\omega/\beta \qquad (2.4)$$

2.1.2低損耗介質

GPR要在低損耗介質中，才會得到較好的結果。本節就電磁波速度在低損耗介質、高頻率的情況，即位移電流密度遠大於傳導電流密度的情況下，將電磁波速度及衰減因子與頻率的關係作說明，而低損耗介質作數學定義如式（2.5）

$$\frac{|J_C|}{|J_D|} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon} << 1 \qquad (2.5)$$

（1）頻率與速度關係

電磁波在低損耗介質中，在頻率10～1000 MHz間之速度如式(2.6)，其中K：相對電容率、C：光速、$K=\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ (ε_0為自由空間的電容率)。

$$V = \frac{c}{\sqrt{K}} \tag{2.6}$$

此速度為一常數，不因為頻率而改變，即無頻散效應，故可適用的頻率較廣，但當在高損耗介質中，即高導電度的介質內，可使用之頻率分佈極窄且侷限在高頻率區域，因此 GPR 在選擇操作頻率時必須考慮介質是否為高損耗介質。

（2）頻率與衰減常數關係

一般電磁波的衰減係數如式（2.7）表示，其中 K：相對電容率，頻率愈高衰減常數愈大，在頻率高於 100 MHz 時，衰減常數有急速增加的趨勢。

$$\alpha = 1.69\frac{\sigma}{\sqrt{K}} \tag{2.7}$$

（3）解析能力與穿透能力

解析度為分辨二緊連訊號的能力，在震測中通常定義為四分之一波長為解析極限，因此入射波頻率愈高，其波長愈短，則解析度愈高，而電磁波亦如此定義解析度。入射電磁波在介質傳播一段時間之後，高頻訊號容易衰減，因此收到的主要訊號其頻率將遠小於中心頻率，因此GPR大致以中心頻率的二分之一波長為解析極限。由此可知，GPR的解析能力與發射天線的頻率有很大的關係，其頻率愈高，則電磁波波長較小，故其解析能力就愈高；反之則相反。電磁波的頻率愈高，其衰減係數就會愈大，而探測深度就會受到限制。故高頻的使用增加解析能力，但相對的降低了穿透深度，因此解析能力和穿透深度間的取捨將視探測目的需要情況而定。

（4）反射係數

當電磁波由介質 A 進入介質 B 在界面之反射係數R（Reflection coefficient），定義如式(2.8)所示，其中K_a：物質A的相對電容率、K_b：物質B的相對電容率，由式可知電磁波在經過不同介質時，會把訊號反射至地表，反應在雷達波測剖面中。

$$R = \frac{\sqrt{K_a} - \sqrt{K_b}}{\sqrt{K_a} + \sqrt{K_b}} \tag{2.8}$$

2.1.3野外施測方式

透地雷達探測工法係藉由高頻電磁波天線罩(頻率從15 MHz至3 GHz)向地下或結構體內發射出電磁波束，此電磁波經地層或結構體之傳遞，當遇到不同電性介質之交界面處發生反射而傳回為表面之電磁波天線罩接收，由發射與接收之電磁波信號走時差、

波型、振幅等特徵與電磁波在介質中傳遞速度計算地層厚度，同時由接收之電磁波信號強弱亦得以以概估目標體之材質。

透地雷達的探測深度受到地層衰減係數與雷達波發射能量的影響，一般不超過三十公尺，為本項技術的主要限制之一，雖然探測深度受到限制，但透地雷達產生連續之高頻電磁波，能探出地下或結構體內連續之高解析度剖面。此外本工法不僅檢測速度快，探測深度與精度也多能鍥合工程上淺層探測的需求。近年來被廣泛地應用於工程方面，包括道路鋪面厚度、維生管線、結構體背填或基礎情況、藏埋物(如地下油槽)、地下水分佈、河床地形與地質構造等領域之調查均具有相當良好的效果，野外施測方式如圖 1。

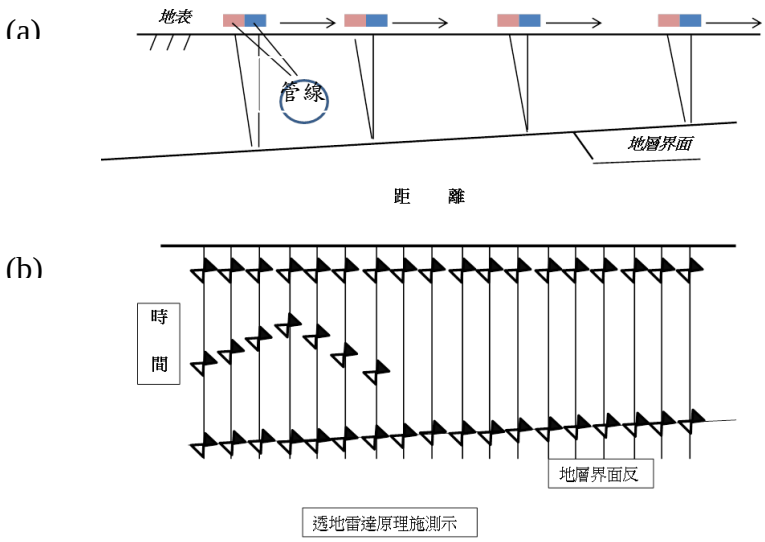


圖 1. (a)GPR 野外施測示意圖 (b)電磁波遇到不同介質產生反射訊號之時間式樣

2.2 地電阻影像剖面法(Resistivity Image Profiling, RIP)

直流電阻法乃是利用直流或低頻交替直流電經由一對電極（電流極 C_1 與 C_2）通入地層中建立人為電場。藉由地表上另一對電極（電位極 P_1 與 P_2）量測其間的電位差，計算各半展距所對應之視電阻率，利用此視電阻率進行逆推，求得地下地層真實電阻率。

電流極 C_1、C_2 通入電流，電位極 P_1、P_2 量度電位差值，其電位差關係式如下：

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi}\left\{\left(\frac{1}{C_1P_1}-\frac{1}{C_2P_1}\right)-\left(\frac{1}{C_1P_2}-\frac{1}{C_2P_2}\right)\right\} \tag{2.9}$$

式中 ΔV 為電位極間的電位差、ρ 為介質的電阻率、I 為通入地下的電流強度。C_1P_1、C_2P_1、C_1P_2、C_2P_2 為電流極與電位極間的距離，式(2.9)可改寫如式(2.10) 。

$$\rho = K\frac{\Delta V}{I} \tag{2.10}$$

其中式(2.10)之 K

$$K = \frac{2\pi}{\left\{\left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1}\right) - \left(\frac{1}{C_1P_2} - \frac{1}{C_2P_2}\right)\right\}} \tag{2.11}$$

其中，式(2.11)K 稱為幾何因子（geometry factor），與電極相對排列位置有關。

上式推導假設地下電性地層是一電性均質半空間介質，但實際上，地下電性地層多為層狀非均質介質。因此由式(2.12)計算出的電阻率稱為「視電阻率」 ρ_a (apparent resistivity)，即

$$\rho_a = K\frac{\Delta V}{I} \tag{2.12}$$

視電阻率通常不代表地下各地層之實際電阻率，而是表示在對應電極排列之下，所有小於此深度之地層電性綜合效應。電流極展距愈大，愈能反應較深地層之性質。利用此種原理，經適當的逆推與資料處理，可求得地下各層之實際電阻率及厚度。直流電阻法在野外施測排列法有許多種，依據現場之地物、地形與探測目標而定。

電阻率影像剖面探測是採用雙極排列法，屬於二極排列法，參考電流極和參考電位極固定於無限遠處如圖 2.(a），於野外施測時，參考電極與測線間距離為最大測深的十倍以上，另外兩極將其中一極當作電流極 C_1，另一極為電位極 P_1，置於施測剖面上，稱為量測電極。

野外施測時測線與電極配置圖 2.(b)，在欲探測位置的一條直線上以等間距列置多支電極，依次作為 C_1 電流極與 P_1 電位極之用其施測步驟如下：

步驟一：施測時先以第 1 支做 C_1 電流極，第 2 支、第 3 支……第 N+1 支逐次做 P_1 電位極，就可以測得以第 1 支電極為 C_1 電流極之由淺而深的地層訊號。

步驟二：接著改以第 2 支電極為 C_1 電流極，第 3 支、第 4 支……第 N+2 支逐次做 P_1 電位極，如此就可以測得以第 2 支電極為 C_1 電流極之由淺而深的地層訊號。

步驟三：以此方式逐次改變 C_1 與 P_1 電極而測得整個剖面的訊號。N 稱為探測的層數，N 越大測得越深，通常以 Nl 為探測深度，l 為電極間距。

將測點以等間距排列在一直線上，測點間距小，分析得的電阻率分布如同照相一般，因此稱為影像剖面探測（Image Profiling）。雙極排列法所受到的地形限制較小，並且在施測時可以減少更換電極的數目，以達到節省施測時間的效果(Griffith and Barker，1993)。

電阻率影像剖面探測之觀測資料點的位置分布就如圖 2.(b)一般，計算出視各資料點之電阻率並繪成量測視電阻率擬似剖面（measured apparent resistivity pseudosection），因此就像相片一般展現地層電阻率分布。電阻率影像剖面探測之資料解釋使用二維逆推法。逆推解釋程式之順演使用有限元素法（Finite element method）做

數值計算，得到計算視電阻率擬似剖面（calculated apparent resistivity pseudosection）。逆演使用平滑限制最小平方法（smoothness-constrained least-squares method）（Loke, 1998）。資料解釋程式將地形一併納入元素區塊，消除水平地表模型需作地形效應修正的困擾。順演與逆演作多次疊代運算達到結果收斂至穩定，而得到解釋剖面(model resistivity with topography)。

地電阻影像剖面法係將電流通入地層並於固定展距量測其電位變化，以推估地層某一深度的視電阻值，透過電流與電位極的移動，達到施設的目的。現地檢測時需視側勘目標,側身與地質狀況來決定合適的電極排列方式，本次用的電極排列方式有(1)溫奈排列(Wenner Array)、(2)雙極排列(Pole-Pole Array, Pole-Dipole Array)、(3)雙偶極排列(Dipole-Dipple Array)等。

一般而言，溫奈排列較常應用於地層平緩區域做垂直測勘，雙偶極排列法與雙極排列法較常應用於剖面測勘。應用於地層勘探測時，垂直測深因受限於設點分佈，對於側向解析能力稍嫌不足，而純粹的剖面探測方式，對於垂直方向的解析能力則較弱，地電阻影像剖面法便是兼具垂直與側向解析能力的一種探測方式。

地電阻影像坡面法其現場施測配置與反射振側法類似，係沿著一個既定的測線配置多波道之電極，收集涵蓋側向及垂直方向之信號，以有效測量剖面上各深度點上之電性分佈。地電阻影像剖面法，除能達到如垂直測深的目的之外，由於沿測線方向的測點較密，因此更易於反應出地層側向的變化情形，利用橫向及縱向大量重疊信號，有效提高剖面之解析能力。

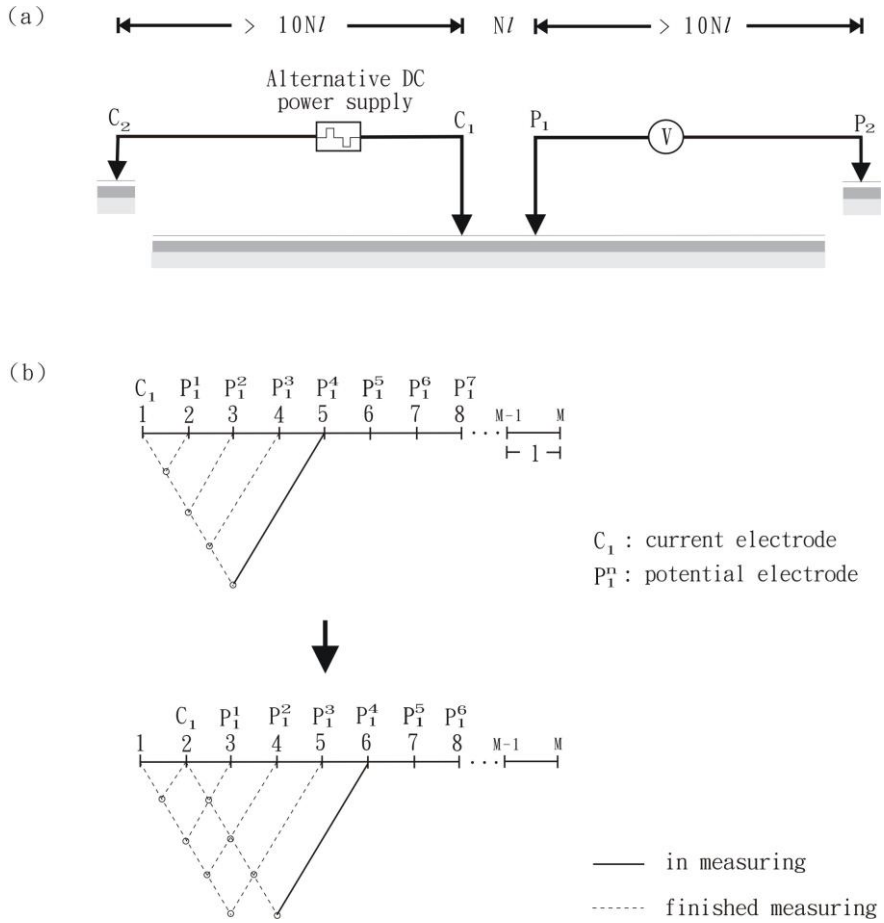


圖 2. 地電阻影像剖面法野外施測示意圖(a) C_1、P_1 量測電流極，C_2、P_2 參考電位極 (b) 自動量測示意圖

參、 研究結果

3.1 測區地質概述

測區地層下之掩埋物，深度大約在地表下 1.2 -1.5 m，用透地雷達法與利用直流電阻法中四種不同電極之方式，其中包括溫奈排列法(Wenner Array)、雙極排列法(Pole-Pole Array)和(Pole-Dipole Array)、雙偶極排列法 (Dipole-Dipole Array)，利用不同的施測參數和幾何，對於地下管線的探測結果來分析。

東華大學附近久富路之地層年代為第四紀沉積層，主要是礫石、砂、及黏土等構成，表面覆蓋 1-2 m 的紅土層，本研究之地下掩埋物位於紅土中，如圖 3。

3.2 測線規劃

現場開挖，約挖寬度 2 m，深度約 1.5 m 左右，長度 32 m，呈東西向，由西向東，間距約 2-3 m，分別擺放掩埋物，(1)金屬管束，截面積半徑 8 cm(2) PVC 油漆桶(無水)，截面積半徑 30 cm (3) PVC 管(有水)，截面積半徑 30 cm(4)PVC 管(無水)，截面積半徑 14 cm (5) PVC 管(有水)，截面積半徑 14 cm(6)PVC 空保溫冰箱，截面積半徑 60 cm(7) 空罐製機油桶，截面積半徑 58 cm，完成後，回填覆土夯實，如圖 4。

掩埋物上方規劃一條 18 m，天線頻率 400 MHz，透地雷達測線與地電阻之四種電極排列法，電極間距 0.5-1 m 之測線。

3.3 透地雷達施測結果

透地雷達是利用發射電磁波能量傳送地下，因電磁波在不同介電常數產生反射訊號，當訊號傳至掩埋物時，產生反射訊息傳至接收天線，主機可記錄時間，因已知掩埋物之深度，則可求出電磁波於掩埋物上方岩層之傳遞速度進而判讀此速度值為電磁波在何種介質之傳遞速度。

施測剖面，如圖 5 顯示： (1)水平標尺 7.5 m 處，深度 1.5 m 反射強列訊號，判斷為埋設之鐵製機油空罐，(2)水平標尺 10 m 處，深度 1.5 m 反射較弱訊號，判斷為埋設之 PVC 空保溫冰箱，(3)水平標尺 12 m 處，深度 1.5 m 反射強列訊號，判斷為埋設之 PVC 油漆桶(有水)，(4)水平標尺 15 m 處，深度 1.5 m 反射較弱訊號，判斷為設埋設之 PVC 油漆桶(無水)，(5)水平標尺 17.5 m 處，深度 1.5 m 反射強列訊號，判斷是埋設管徑為 5 英吋 PVC 管(有水)，(6)水平標尺 19.5 m 處，深度 1.5 m 反射較弱訊號，判斷是埋設管徑 5 英吋 PVC 管(無水)，(7) 水平標尺 22.5 m 處，深度 1.5 m 反射強列訊號，判斷是埋設管徑 1 英吋金屬管束。

施測剖面中發現四處明顯反射訊號分別為編號:(1)鐵製機油空罐掩埋物 (3) PVC 油漆桶(有水) (5) 5 英吋 PVC 管(有水) (7) 1 英吋金屬管束反射明顯訊號，判斷為上述掩埋物為金屬材質或含水，電阻率較低與其上下之岩層電阻率組成高，介電常數差異大所造成

3.4 地電阻法施測結果

3.4.1 溫奈排列法

溫奈排列法之電阻率剖面，如圖 6，呈西向東，電極間距 1 m，電極個數 32，RMS=1.96%，總長 31 m。深度 0-1.5 m、水平標尺 17 m 處呈現電性不連續帶，西側(A 層)，電阻率為 45-75 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較鬆軟，空隙空洞多且可能含水。東側(B 層)，電阻率為 105-135 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較緊實。深度 1.5-3.19 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1285 Ω-m，判斷其組成最為緻密。

3.4.2 Pole-Pole Array 雙極排列法(1 m)

雙極排列法的電阻率剖面，如圖 7，呈西向東，電極間距 1 m，電極個數 32，RMS=2.8%，總長 31 m。深度 0-1.5 m、水平標尺 17 m 處呈現電性不連續帶，西側(A 層)，電阻率為 45-75 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較鬆軟，空隙空洞多且可能含水。東側(B 層)，電阻率為 105-135 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較緊實。深度 1.5-3.94 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1000 Ω-m，判斷其組成最為緻密。

3.4.3 Pole-Pole Array 雙極排列法(0.5 m)

雙極排列法的電阻率剖面，如圖 8，呈西向東，電極間距 0.5 m，電極個數 32，RMS=1.13%，總長 15.5 m。深度 0-1.5 m、水平標尺 15 m 處呈現電性不連續帶，西側(A 層)，電阻率為 45-75 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較鬆軟，空隙空洞多且可能含水。東側(B 層)，電阻率為 105-200 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較緊實。深度 1.5-5.99 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1285 Ω-m，判斷其組成最為緻密。

3.4.4 Pole-Dipole Array 排列法

Pole-Dipole Array 排列法的電阻率剖面。如圖 9，呈西向東，電極間距 1 m，電極個數 32，RMS=2.6%，總長 31 m。深度 0-1.5 m、水平標尺 17 m 處呈現電性不連續帶，西側(A 層)，電阻率為 45-75 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較鬆軟，空隙空洞多且可能含水。東側(B 層)，電阻率為 105-200 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較緊實。深度 1.5-3.19 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1285 Ω-m，判斷其組成最為緻密。

3.45 Dipole-Dipole Array 排列法

Dipole-Dipole Array 排列法的電阻率剖面。如圖 10，呈西向東，電極間距 1 m，電極個數 32，RMS=1.44%，總長 170 m。深度 0-1.5 m、水平標尺 17 m 處呈現電性不連續帶，西側(A 層)，電阻率為 45-75 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較鬆軟，空隙空洞多且可能含水。東側(B 層)，電阻率為 105-200 Ω–m，判斷為開挖放置掩埋物後回填之土質較緊實。深度 1.5-7.88 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1285 Ω-m，判斷其組成最為緻密。

3.5 綜合解釋

3.5.1 透地雷達法(GPR)與地電阻影像剖面法(RIP)比較如下:

(1) 深度 0-1.5 m 處，透地雷達法(GPR)可判讀先前放置的七個掩埋物，地電阻影像剖面法(RIP)可判讀掩埋物上方之岩層電阻率構造，西區(A 層)電阻率較低，東區(B 層)電阻率較高。深度 3-6 m 處，地電阻影像剖面可判讀掩埋物下方之岩層電阻率(C 層)較(B 層)為高。

(2) 透地雷達法可判讀深度 0-1.5 m 處之掩埋物位置，地電阻影像剖面法可判讀掩埋物周圍及較深處之岩層電阻率構造。

3.5.2 Pole-Pole Array 雙極排列法電極間距(1 m)與(0.5 m)比較:

雙極排列法電極間距(1 m)的電阻率剖面，如圖 7，水平標尺 7-22 m、深度 0.25-3.96 m 與雙極排列法電極間距(0.5 m)之電阻率剖面，如圖 8，呈現相似的電阻率構造，西側(A 層)電阻率為 45-75 Ω–m，東側(B 層)電阻率為 105-135 Ω–m，而雙極排列法電極間距的(0.5 m)電阻率剖面，淺層中間位置即西側(A 層)，電阻率變化較細微，解析度高；因探測層數多，可判斷深度 3.96-5.99 m 處之電阻率構造。

3.5.3 Pole-Pole Array 雙極排列法電極間距(0.5 m)與 Dipole-Dipole Array 排列法比較如下:

雙極排列法電極間距(1 m)的電阻率剖面，如圖 10，水平標尺 0-17 m、深度 0.25-6 m 與雙極排列法電極間距(0.5 m)之電阻率剖面，如圖 8，呈現相似的電阻率構造，西側(A 層)電阻率為 45-75 Ω–m，東側(B 層)剖面電阻率為 105-135 Ω–m，而雙極排列法電極間距的(1 m)電阻率剖面，淺層中間部分即西側(A)電阻率變化較細微，解析度高，且探測層數多，可判斷深度 7.88 m 處之電阻率構造。

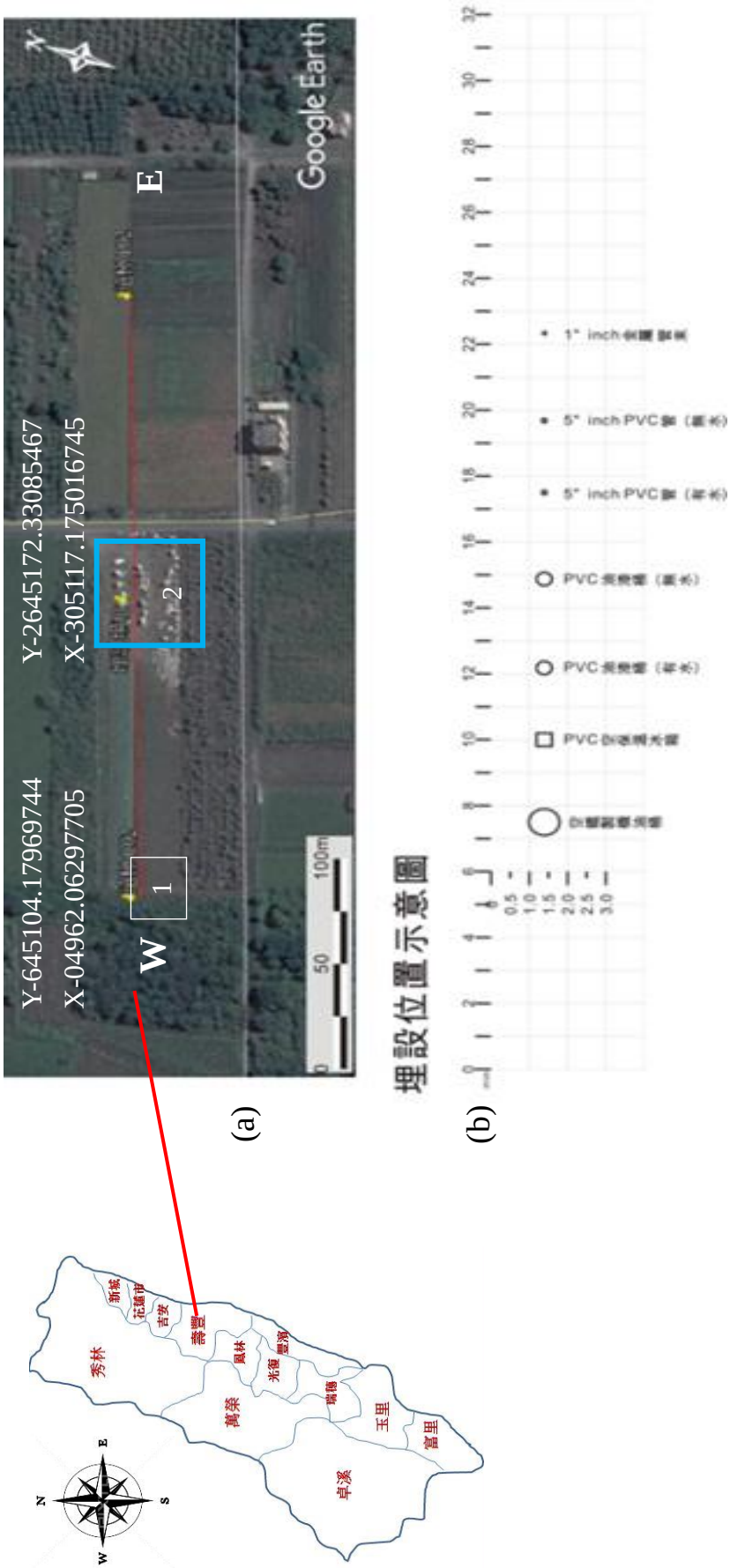


圖 3 . a:測區位置圖(1.遠距離座標、2.測線中點座標)

b:掩埋物埋設位置圖

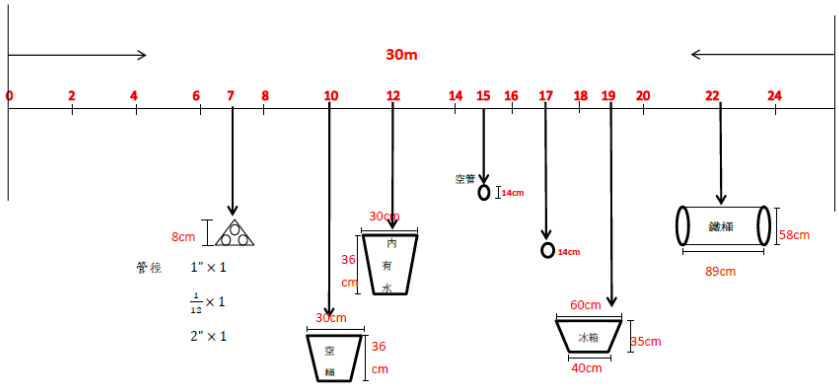


圖 4. 已知埋設深度之掩埋物位置圖

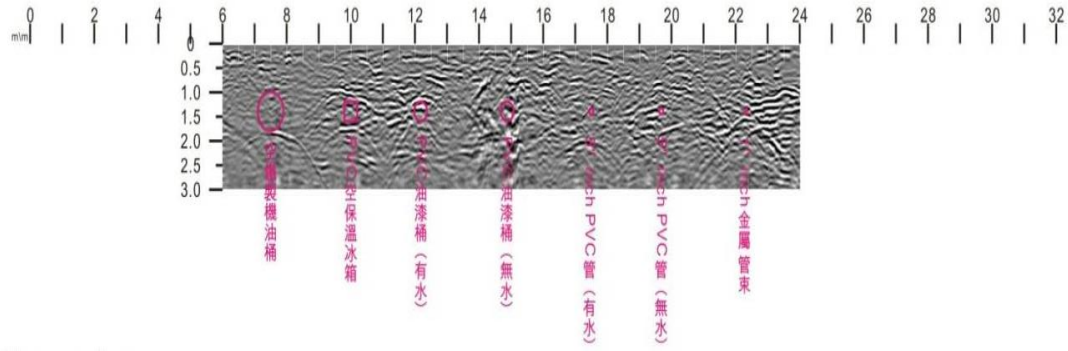
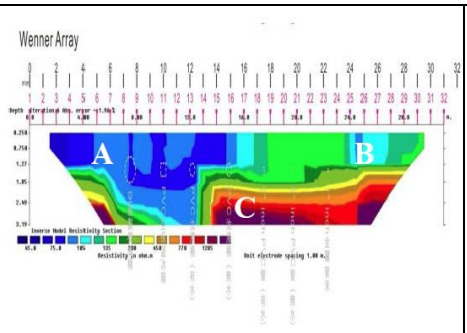
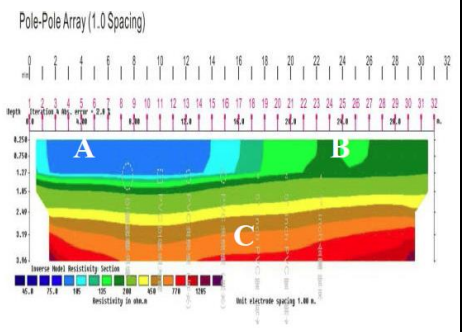
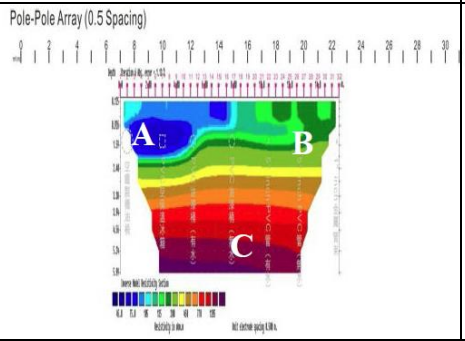
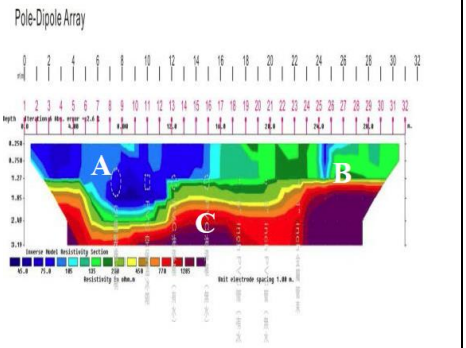
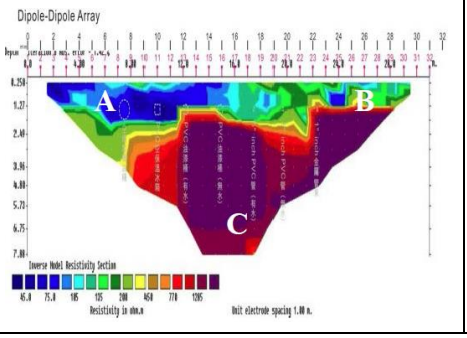


圖 5. 透地雷達施測剖面圖

表 1. 研究結果

電極排列	施測剖面	資料解釋

Wenner Array (圖 6.)		溫奈排列法之電組率剖面，如，呈西向東，電極間距 1 m，電極個數 32，深度 0-3 m，RMS=1.96%，總長 31 m。 A：測線水平 0-15 m 及深度 0-3 m，顯示電阻率偏低，電阻率為 45-75 Ω-m，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較鬆軟。 B：測線水平 15-30 m 及深度 0-1.5 m，為電阻率 105 至 135 Ω-m，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較緊實。 C：深度 1.5-3.19 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1285 Ω-m，判斷其組成最為緻密。
Pole-Pole Array (圖 7.)		雙極排列法的電阻率剖面，如圖 7，呈西向東，電極間距 1 m，電極個數 32，深度 0-4 m，RMS=1.96%，總長 31 m。 A：測線水平 0-17 m 及深度 0-1.3 m，顯示電阻率偏低，電阻率為 45-75 Ω-m，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較鬆軟。 B：測線水平 17-31 m 及深度 0-2 m，為電阻率 105 至 135 Ω-m，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較緊實。 C：深度 1.5-4 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1000 Ω-m，判斷其組成最為緻密。
Pole-Pole Array (圖 8.)		雙極排列法的電阻率剖面，如圖 8，呈西向東，電極間距 0.5 m，電極個數 32，深度 0-6 m，RMS=1.96%，總長 15.5 m。 A：測線水平 0-8 m 及深度 0-2 m，顯示電阻率偏低，電阻率為 45-75 Ω-m ，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較鬆軟。 B：測線水平 8-15.5 m 及深度 0-2 m，為電阻率 105 至 135 Ω-m，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較緊實。 C：深度 1.5-6 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1285 Ω-m，判斷其組成最為緻密。
Pole-Dipole Array (圖 9.)		Pole-Dipole Array 排列法的電阻率剖面。如圖 9，呈西向東，電極間距 1 m，電極個數 32，深度 0-3.2 m，RMS=1.96%，總長 31 m。 A：測線水平 0-17 m 及深度 0-1.5 m，顯示電阻率偏低，電阻率為 45-75 Ω-m ，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較鬆軟。 B：測線水平 17-31 m 及深度 0-1.5 m，為電阻率 105 至 135 Ω-m，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較緊實。 C：深度 1.5-3.19 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1285 Ω-m，判斷其組成最為緻密。
Dipole-Dipole Array (圖 10.)		Dipole-Dipole Array 排列法的電阻率剖面。如圖 10，呈西向東，電極間距 1 m，電極個數 32，深度 0-8 m，RMS=1.96%，總長 27 m。 A：測線水平 2.5-17 公尺及深度 0-2 m，顯示電阻率偏低，電阻率為 45-75 Ω-m，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較鬆軟。 B：測線水平 17-27 m 及深度 0-2 m，為電阻率 105 至 135 Ω-m，判斷為開挖放置掩埋物後填土之土質較緊實。 C：深度 2-7.88 m 處為掩埋物下方未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-1285 Ω-m，判斷其組成最為緻密。

結論

本研究透地雷達與地電阻之多種排列法調查已知深度之掩埋物，獲得以下結論:

(1) 經計算得知電磁波在掩埋物上方傳遞速度為 0.075 m/ns，與實驗室量測在粉沙質組成的傳遞速度接近。

(2) GPR 的施測剖面中，金屬良導體之掩埋物截面積大，反射訊號明顯，不良導體之掩埋物，反射訊號較弱，深度 0-1.5 m 處，透地雷達法(GPR)可判讀七種掩埋物，地電阻影像剖面法(RIP)可判讀分上方 (A 層、B 層)、下方(C 層)兩區塊顯示低、高電阻率。

(3) 地電阻施測剖面中，掩埋物上方岩層電阻率可分為東西兩區:西側(A 層)電阻率為 105 Ω-m，寬度 14 m、深度 1.5 m，判斷為回填較鬆散之岩層組成；東側(B 層)電阻率為 135-200 Ω-m，判斷為回填較緊實之岩層組成。掩埋物下方為未受到擾動之岩層(C 層)，電阻率為 200-770 Ω-m，判斷其組成最為緻密。深度 3-6 公尺處，地雷達法(GPR)無法判讀掩埋物，地電阻影像剖面可判讀下方(C 層)高電阻率。

(4) 地電阻之四種排列法，電極間距 0.5 m、1 m 之施測剖面均呈現隨深度增加，電阻率增高之趨勢，顯示開挖後，地層組成鬆散，孔隙增加含水之情況提高，導致電阻率降低。

(5) Pole-Pole Array 電極間距 0.5 m 施測剖面中，掩埋物之上方之電阻率分佈較電極間距 1 m 的解析度能力高。地雷達法可判讀深度 0-1.5 m 淺層之掩埋物，地電阻影像剖面可判讀較深掩埋物電阻率。

(6) 欲提高地電阻法之探測深度，可增加量測層數或電極間距。

(7) 透地雷達法可判讀深度 0-1.5m 淺層之掩埋物位置，地電阻影像剖面法可判讀由淺至深岩層之電阻率構造。

參考文獻

[1] 董倫道 (1988) 地電阻法與電磁法之綜合解釋，國立中央大學地球理研究所博士論文，共 249 頁。

[2] 董倫道（1992）地表探測雷達技術應用研究，工業技術研究院能源與資源研究所，第四屆地球物理研討會論文集，315-323。

[3] 廖國彰（1993）透地雷達應用於淺地層之個案分析，國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 82 頁。

[4] 鄧文中（1995）透地雷達應用於管線偵檢模擬與應用研究，國立中央大學應用地質所碩士論文，共 134 頁。

[5] 洪翊翔（1995）透地雷達及地電法於淺層構造調查之研究，國立中央大學應用地質所碩士論文，共 89 頁。

[6] 董倫道、楊潔豪、陳平護，1996，濁水溪沖積扇地球物理探測與地層對比，經濟部中央地質調查所，110-128 頁

[7] 曹正宇(1997)，併和地球物理法再斷層及管線的研究，碩士論文，國立中央大學地球物理研究所，第 12-13，35-40 頁。

[8] 段偉宗 (2000)，併合二維三維地電阻影像法及透地雷達應用估計電石渣總量上之研究，碩士論文，國立中央大學地球物理研究所，第 1-2 頁

[9] 紀昭銘(2001)，應用透地雷達在土中異物探測之初步研究，碩士論文，成功大學土木工程學系。

[10] 許程翔(2003)，透地雷達對地下管線探查之應用研究，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所。

[11] 林瑞騏(2014)，應用地電阻法初勘池上斷層在電光地區地下電信分佈，碩士論文，國立中央大學地球科學系，第 25-27 頁。

[12] 簡立凱(2015)，花東縱谷斷層之的電研究，博士論文，國立中央大學地球科學系，第 12-15 頁。

防災公園與校園結合之可行性研究
Feasibility Study on Combining Disaster Prevention Parks with Campus

翁林謙[1] 王世忠[2]

Lin-Cian Wong[1] Shin-Jhong Wang[2]

1.大漢技術學院土木工程與環境資源管理系碩士班研究生

Postgraduate, Department of Civil Engineering & Environmental Resource Management, Institute of Dahan Technology

2.大漢技術學院土木工程與環境資源管理系助理教授

Associate Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resource Management, Institute of Dahan Technology

* Corresponding author: jxuauap@gmail.com

摘要

於全球環境氣候快速變遷，異常氣候狀況頻頻造成大型災難，肇生人命及財產嚴重損失，我國(臺灣)與日本同樣位處於環太平洋地震帶，地震、颱風、豪雨等天然災害發生頻繁，由於災害類型與人文背景相似，因此我國災害防救與都市防災做法大多參考學習日本相關政策制度來制定國內相關法規，「防災公園」這名詞起源於日本，經過多年來的演變，防災公園功能已具多樣性主要發揮三方面的作用：一是提供避難場所、二是作為抗震防災的據點、三是防止災害，減輕災害，此外，防災公園還有助於消防、救災、情報收集與傳遞、運輸等活動的發展。我國對於防災公園之定義，是都市設施中為都市生活環境的保全、景觀形成、休閒活動、防災等目的之利用，其中具有防災據點、避難地、避難路等功能的稱之為防災公園。唯現行國內針對「防災公園」各項規劃，仍屬起步階段，相關準則手冊規定並不明確，加上中央補助經費有限，地方若遇財政困窘，對防災公園設計規劃與相關防救災設施，皆無法籌措設置到定位。

根據921大地震事後調查研究報告，災區各級學校於災害搶救、避難、復原期間，除有賦予避難收容作用外，亦有校區擔任救災物資集散樞紐，外部支援大型救災機具集散管制停放用地、醫療救護中心、緊急應變指揮中心開設處所、直升機起降場等，可說於救災期間發揮極大功用，然而檢討我國各重要都會區(人口稠密區)，各式學校遍佈其間，加上校區設施多可轉換成防救災設備，無須再投注大量資金設置，對地方政府不會肇生太大的財政負擔，亦可有效管理管制物資先期囤放，只要災害一旦發生，就可馬上投入救災避難行列，也可達到設置防災公園的主要目的，迅速達成我防救災所設定的目標作為，可做為未來的替代方案。

關鍵字:防災公園、校園防災

壹、前言

天然災害一般而言是地球運轉的正常現象，而這種現象會給周圍的生物和人類社會造成災害；近年來由於全球環境氣候快速變遷，異常氣候狀況頻頻造成大型災難，肇生人命及財產嚴重損失，根據聯合國附屬組織統計，全球災害趨勢有逐漸攀升現象，在水文、氣象性災害指標上，更是攀升迅速，顯示針對災害防範所實施的應變措施，已成為世界各國需要嚴肅面對的課題。因此各國對地區性災害均積極投入人力研究防範，以減少災害帶來之各項傷害。我國(臺灣)與日本同樣位處於環太平洋地震帶，地震、颱風、豪雨等天然災害發生頻繁，由於災害類型與人文背景相似，因此我國災害防救與都市防災做法大多參考學習日本相關政策制度來制定國內相關法規。

貳、防災公園起源

「防災公園」這名詞起源於日本，其產生的起因來自於 1923 年日本發生的關東大地震。這次地震後火災延燒面積 34.6 平方公里，東京和橫濱地區的建築物約 40%被摧毀夷為平地，60%左右家庭和人口受災，約 10 萬 5 千人死亡，其中 9 成係因為都市火災(二次災害)死亡。都市公園綠地在日本江戶時代即被認為具有延緩火災延燒的作用，關東地震當時有 157 萬人逃到公園開放空間避難，相當於 70%東京市人口在都市公園成功保全了性命。

1956 年日本政府推出的《城市公園法》中，首次出現了有關公園建設必須考慮防災功能的條款，並在 1973 年的《城市綠地保全法》中明確規定將城市公園納入城市綠地的防災體系。隨後於 1986 年又制定了《緊急建設防災綠地計劃》，把城市公園確定為具有“避難功能”的場所。1993 年，日本在《城市公園法實施令》中，把公園提到“緊急救災對策所需要的設施”的高度，首次把震災時用作避難場所和避難通道的城市公園稱作“防災公園”。

1995 年 1 月日本阪神再度發生大地震，而在這次震災當中，城市內的各式公園再次在救災方面顯示了巨大作用。約有 31 萬多人被分散在 1100 個避難所中避難，其中神戶市的 27 個公園都成了居民的緊急避難所，避難人數僅少於各類學校，位居避難第二高。這使日本進一步提高了對城市公園防災救災功能的認識，同時提供了許多關於建設防災公園的有益啟示。至此「防災公園」的概念在日本人的災害防救思維中，深深地烙下了印並積極投入資金挹注研究發展。

參、日本防災公園分類

日本經過多年來的演變，防災公園功能已具多樣性。簡言之防災公園主要發揮三方面的作用：一是提供避難場所：臨時避難場所、最終避難場所和避難道路；臨時避難場所包括緊急避難場所、臨時集合場所或避難中繼場地；最終避難場所，也稱固定避難場所，是居民較長時間避難的場所，能夠給避難者提供基本的生活條件和安全保障；避難道路為居民避難提供安全通道。二是作為抗震防災的據點：震後開展救援活動和指揮恢復重建活動的據點，進行防災演習與抗震減災知識教育的場所。三是防止災害，減輕災害：減輕或防止火災的發生與蔓延，減輕或防止易燃易爆物品發生爆炸造成的災害，減輕或防止山崩等引發的災害。此外，防災公園還有助於消防、救災、情報收集與傳遞、運輸等活動的發展。

日本公園一般可以分為都市公園、自然公園及其他公園，並於 1956 年通過都市公園法，依據該法第 2 條所設立之都市公園，以保障都市的生活環境、景觀構成、遊憩及防災等用途為目的，其分類如下表 1 所示[1]。

表 1 日本都市公園分類表

種類	類別	說明
居住區公園	街區公園	面積 0.25 公頃，在城市街區 250 公尺範圍內設置 1 處。（街區指由 1 公里街道所包圍的住宅街廓）
	近鄰公園	面積 2 公頃，鄰近住宅區 500 公尺範圍內設置 1 處。
	地區公園	面積 4 公頃，供地區步行距離 1 公里範圍內使用。
都市核心公園	綜合公園	面積 10～50 公頃，提供全市居民休息、觀賞、散步、遊戲及運動等綜合使用之大型綠地。
	運動公園	面積 15～75 公頃，供市民運動使用。
大規模公園	都道府營廣域公園	面積 50 公頃以上，供市町村、地方生活圈等廣域地區使用。
	娛樂城	全體規模 1000 公頃，為大都市地區提供多元娛樂空間。
緩衝綠地等	特殊公園	景觀公園、動植物公園、歷史公園、墓園等，具保留自然文化遺產目的。
	緩衝綠地	隔離住宅、商業區與重工業區之空氣污染、噪音、振動、火勢蔓延的綠化隔離帶。
	城市綠地	改善美化市容的保留綠地，於多個區域配置 0.1 公頃綠地，但建成地區每處至少 0.05 公頃。
	綠道	標準寬度 10 公尺～20 公尺，在災難發生時的安全疏散路線，以近鄰住區之間的植栽帶區、人行步道或自行車道為主，與公園、學校、購物中心等綠帶相互銜接通往車站廣場。
公　營	面積 300公頃以上供一個以上都道府縣廣域地區居民使用，或國家所指定的大型公園	

	廣域災害救援活動據點都市公園	由國土交通省指定都道府縣設置，供災害時物資集散、分配與輸送等廣域救災活動基地。
	其他國營都市公園	國家所指定面積 300 公頃以上，具歷史意義或良好自然條件的大型公園。

資料來源：從日本防災公園實施經驗探討我國都市公園之防災分工與建置方針-內政部建所 研究報告

另外日本依據公園於災害中所擔負的主要功能性質之不同，實施相關分類，原則上將防災公園劃分為八種類型(如表 2)[7]，各類型防災公園在避難行動方面的相互關係如圖 1 所示[1][7]。

表 2　日本防災公園類別劃分說明

防災公園種類	都市公園分類	規模	功能性質說明
廣域防災據點機能	廣域公園	50 公頃以上	作為的城市公園，發生大災害時，成為急救、各種減災活動的據點(如消防或救助、救援、復原等各活動的廣域性支援據點)
廣域避難收容機能	都市核心公園 廣域公園	10 公頃以上	作為具有廣域避難場地機能的城市公園，在發生災害時收容附近地區居民，使其免受傷害。依據災害的狀況、防災設施的配置，有時也起廣域防災據點的作用
一次避難地機能	鄰近公園、地區公園	1 公頃以上	具有緊急避難場所功能的城市公園，在發生災害時，主要作為附近居民的緊急避難場所或中繼轉運站
避難道路機能	綠道	道寬10 米以上	具有避難道路機能的城市公園，用作去廣域避難場地或其他安全場所避難的綠色通道
緩衝綠地	緩衝綠地		阻隔石化工業所在地帶等與一般城區的緩衝綠色地帶，防止火災或其他災害、或是減輕受災程度
臨近防災活動據點	街區公園	500 平方米左右	屬在地公園，作為鄰近防災活動據點，可作為臨時避難、以及初期救援活動支援
地區防災據點機能 （2015 年新增）	都市核心公園		具地區防災據點機能的都市公園，可作為消防隊、志願者等的救援救護活動前線基地，以及廣域防災據點或由其他地區送來之救援物資運送的中繼站。
步行返家援助服務站機能的 （2015 年新增）	街區公園		具步行返家援助服務站機能的都市公園

資料來源：2015年-防災公園計畫與設計指導手冊(草案)、本研究整理

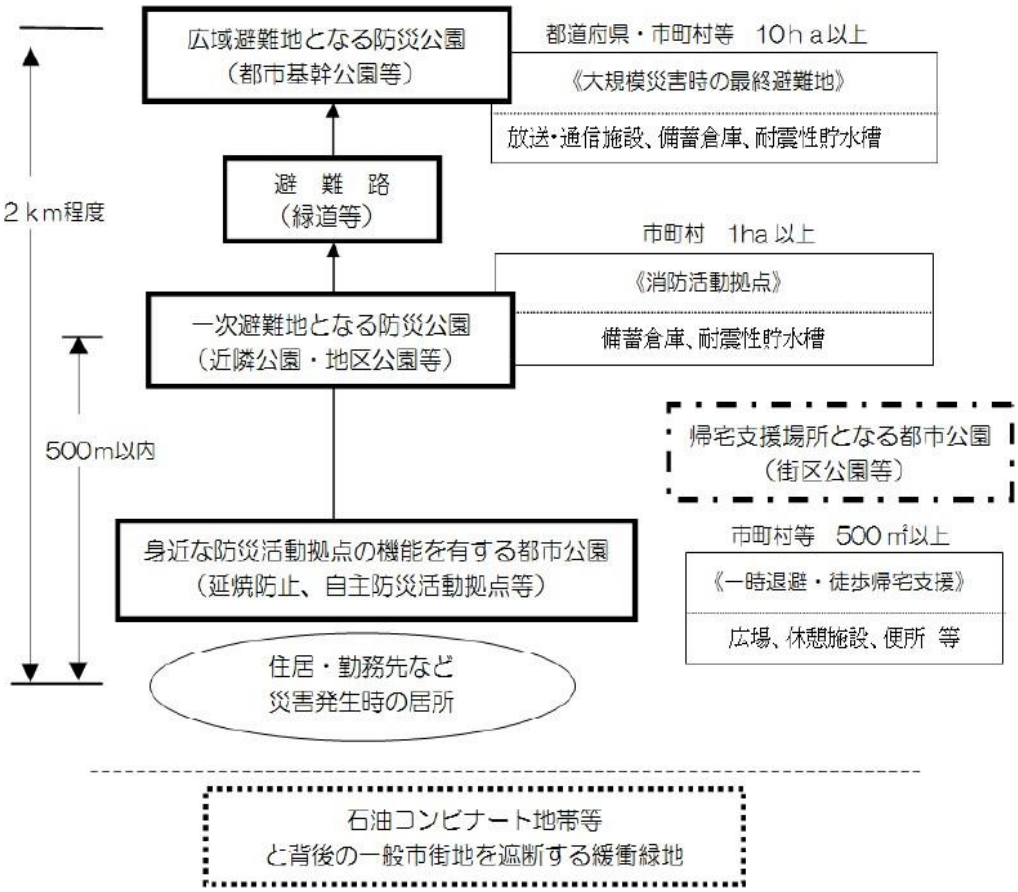


圖1 各類型防災公園在避難行動方面的相互關係圖
(資料來源：2015年-防災公園計畫與設計指導手冊(草案))

肆、現行我國防災公園作法

我國都市防災相關規定主要涉及「災害防救法」、「國土計畫法」及「都市計畫法」等規定，「國土計畫法」於 105 年 1 月 6 日公布，並自 105 年 5 月 1 日施行。「都市計畫法」以「國土計畫法」為上位計畫，自 100 年起修訂都市計畫必須包含「都市防災計畫」，都市防災規劃則須參照地區災害防救計畫，以落實合於災害防救需求之空間配置。而我國公園綠地系統除針對國家公園訂有「國家公園法」外，其餘都市公園綠地系統均納為都市計畫之一環，並無專法規定。

現行我國有關都市公園之防災整備，始於 921 地震後，近年來有關防災公園相關研究，大多參考營建署「都市開放空間防災避難系統建立之研究-防災公園綠地系統規劃與設置探討」以及日本「防災公園計畫與設計指導手冊（1999）」、「防災公園技術手冊（2000）」等資料進行分析探討。

我國對於防災公園之定義，王秀娟(2001)提到都市公園是都市設施中為都市生活環境的保全、景觀形成、休閒活動、防災等目的之利用，其中具有防災據點、避難地、避難路等功能的稱之為防災公園。不同層級之防災公園綠地，在發生因地震所引起諸如火災之二次災害時，所發揮之效用不同，相應對之防災能力也有所差異[2]。依日本制定之「防災公園規劃和設計指導分針」以及國內學者潘國雄(2001 年)針對防災公園評估基準之研究，針對本研究可能探討之對象，就其種類、定義、規模比較劃分如表 3 [3]。而就具防災機能之公園而言，應具備以下 8 項防災公園機能，包括避難、防止及減輕火災、資訊收集傳達及支援消防救援、避難生活、防疫、清潔、重建活動與為達上述支援之運輸[5]。

表 3 防災公園種類、定義對照表

種類	定義	公園類別	規模	道路寬度	服務半徑
具廣域防災據點機能之都市公園	主要作為廣域復舊、重建活 動據點之都市公園	廣域公園、全市型公園	50ha	15m 以上	2000m 以上
具廣域避難地機能之都市公園	發生地震大火時，提供廣域 避難之用的都市公園	都市基礎公園、廣域公園(區域公園、地區公園)	10ha	10~12m	2000m 以內
具緊急避難地機能之都市公園	發生地震大火時提供緊急(臨時)避難之都市公園	鄰里公園、地區公園等	1~2ha	5~10m	500m

資料來源：潘國雄(2001)

唯現行國內針對「防災公園」各項規劃，仍屬起步階段，相關準則手冊規定並不明確，加上中央補助經費有限，地方若遇財政困窘，對防災公園設計規劃與相關防救災設施，皆無法籌措設置到定位，雖依據內政部消防署推動多年的「災害防救深耕計畫」期程中，有將「防災公園」納入推動的工作事項之一，但各縣市均只流於形式，在各鄉鎮中選出一處設置防災公園看板(如圖 2)，並完成相關設施初步規劃(如圖 3)，但也就僅止於此，後續並再無任何經費支助籌建相關設備，使得「防災公園」整體推動停滯不前。

圖 2 防災公園看板設置實景

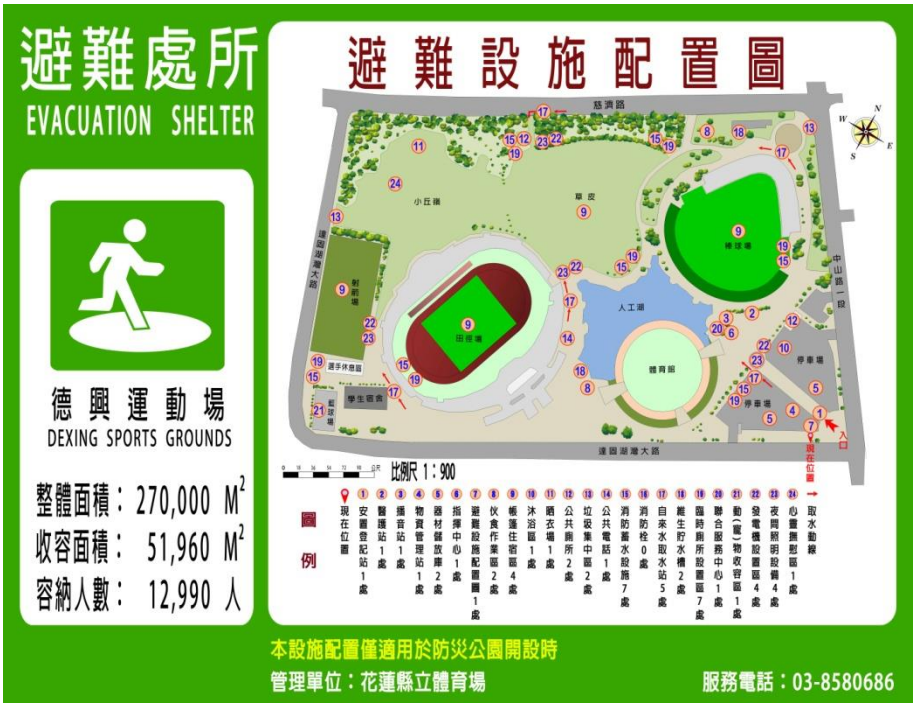


圖 3 防災公園避難設施配置規畫圖

伍、日本與我國防災公園相關法令計畫比較

日本廣域型防災公園係規定於「都道府縣廣域綠地計畫」與「都道府縣都市綱要計畫」，對應到我國空間計畫法系相當於「直轄市、縣（市）國土計畫」，惟目前直轄市、縣（市）國土計畫計畫內容並無防災計畫規定。此外，國內都市計畫通盤檢討之都市防災空間操作主要針對鄉鎮區層級，仍欠缺縣市層級都市防災空間系統之規劃指導。若參考日本「空間計畫（規劃面）先行於災防計畫（執行面）」原則來看，國內目前仍欠缺因應廣域型災害的公園綠地防災網絡系統之空間計畫基礎。然而，災害管理涉及複雜的人、事、時、地、物層面，不同於日本以防災空間計畫領導規劃的概念，國內鄉鎮區層級都市防災計畫主要以地區災害防救計畫內容為基礎進行規劃。日本在都道府縣層級訂有廣域綠地計畫（防災系統綠地配置）及都道府縣都市綱要計畫（都市防災計畫），而我國目前直轄市、縣（市）國土計畫仍欠缺與之對應之防災空間計畫，此外國內有關防災公園法令規定相對顯得比較缺乏。其兩國相關法令計畫比較如下表 4 所示[1]。

表 4 日本與我國防災公園相關法令規定比較表

計畫	行政區	日本規定	國內規定	對應日本防災公園類型
防災空間計畫	都道府縣 / 直轄市、縣市	**都市綠地法** 都道府縣廣域綠地計畫：防災系統綠地配置 **都市計畫法** 都道府縣都市綱要計畫：都市防災計畫	**國土計畫法** 直轄市、縣（市）國土計畫:欠缺與之對應之防災計畫內容。	具廣域防災據點機能的都市公園、廣域避難收容機能的都市公園
	市町村 / 鄉鎮市區	**都市綠地法** 市町村綠地基本計畫：防災系統綠地配置 **都市計畫法** 市町村都市綱要計畫：都市防災計畫	**都市計畫法** 市（鎮）計畫、鄉（街）計畫： 1.依都市計畫通盤檢討實施辦法第 7 條辦理生態都市發展策略。 2.依都市計畫通盤檢討實施辦法第 6 條辦理都市防災計畫。	具一次避難地機能的都市公園、避難道路機能的都市公園、斷開石油工業區等與後方一般市街地區的緩衝綠地、臨近防災活動據點機能的都市公園、具地區防災據點機能的都市公園、具步行返家援助服務站機能的都市公園

地區防災計畫	都道府縣 / 直轄市、縣市	**災害對策基本法** 都道府縣地區防災計畫 1.防災都市營造計畫（含公園整備計畫） **2** 災害應變措施之避難事項	**災害防救法** 縣（市）地區災害防救計畫 1.歸屬於第二編災害預防之減災與整備、第四編災後復原重建之第三章計畫性復原重建之第二節耐震城鄉之營造 2.歸屬於第三編災害緊急應變之第三章地震災害緊急應變之第三節避難收容	具廣域防災據點機能、廣域避難收容機能的都市公園
	市町村 / 鄉鎮市區	**災害對策基本法** 市町村地區防災計畫 1.防災都市營造計畫（含公園整備計畫） 2.災害應變措施之避難事項	**災害防救法** 鄉（鎮、市、區）地區災害防救計畫 1.歸屬於第二編災害預防之減災與整備、第四編災後復原重建之第三章計畫性復原重建之第二節耐震城鄉之營造 2.歸屬於第三編災害緊急應變之第三章地震災害緊急應變之第三節避難收容	具一次避難地機能的都 市公園、避難道路機能的都市公園、斷開石油工業區等與後方一般市街地區的緩衝綠地、臨近防災活動據點機能的都市公園、具地區防災據點機能的都市公園、具步行返家援助服務站機能的都市公園

資料來源：從日本防災公園實施經驗探討我國都市公園之防災分工與建置方針-內政部建研所研究報告

陸、校園防災作為

我國自 1999 年發生 921 大地震之後，發現現有之都市避難空間嚴重不足，同時考量學子學習環境的安全性，由教育部門統一做了全國性學校建築物健檢作業，並撥款協助補強或改建校舍，以便強化各級校園建築物之抗震性，以確保各級學子的安全。另從日本阪神大地震事後調查報告中指出，地震發生當晚前往防災公園避難人數僅占全部人數的 6%，在家中避難佔 41.5%、面前道路 4.5%、學校 9.4%、公共場所 1.9%、其他方式 36.7%，而災後各種避難收容場所中，民眾使用率最高的是中、小學校區，其利用率高達八成左右。而我國 921 大地震之研究調查當中(如表 5)[6][2]，亦發現學校是一般民眾在災難發生之際，選擇當作避難的主要場所之一，因此我國防救災體系中已予明確訂定，學校應予納入所在區域之災害防救計畫之一環加以規劃討論。

表 5　921 大地震南投縣、台中縣各避難場所收容人數一覽表

災區		百分比(%)及排序							收容人數
		1	2	3	4	5	6	7	
台中縣	大里市	學校 (31.2)	機關 (28)	市場 (8.1)	公園 (7.2)	運動場 (2.1)	活動中心 (2)	寺廟 (1.4)	18435
	東勢鎮	公園 (56.3)	學校 (24.8)	機關 (7.7)	停車場 (5)	車站 (5)	市場 (1.3)	—	23305
南投縣	草屯鎮	學校 (71.1)	公園 (19.2)	市場 (5.3)	其他 (2.5)	停車場 (0.6)	廣場 (0.6)	—	9365
	南投市	學校 (33.9)	公園 (24.2)	其他 (16)	停車場 (12)	廣場 (5.5)	道路 (2.2)	活動中心 (2.7)	23991
	埔里鎮	學校 (48.7)	活動中心 (10.6)	其他 (10.4)	道路 (9.3)	公園 (8.1)	停車場 (6.8)	體育機關 (6.2)	12950

資料來源：陳建忠，2000

根據 921 大地震事後調查研究報告，災區各級學校於災害搶救、避難、復原期間，除有賦予避難收容作用外，亦有校區擔任救災物資集散樞紐，外部支援大型救災機具集散管制停放用地、醫療救護中心、緊急應變指揮中心開設處所、直升機起降場等，可說於救災期間發揮極大功用，如表 6 所示。

表 6　921 大地震各級學校投入救災效能統計說明-以南投縣及台中縣為例

鄉鎮	學校	據點功能	鄉鎮	學校	據點功能
南投縣草屯鎮	南開工專	◎ ▲	南投市	南投國中	◎ ▲ ○
	草屯國中	◎ ▲ ■		南崗國中	◎
	草屯國小	◎ ▲		南投高中	◎
	炎峰國小	◎ ▲ ○		南投高商	◎ ▲
	虎山國小	◎ ▲	南投縣埔里鎮	大成國小	◎ ▲ ■
	敦和國小	◎ ▲		育英國小	◎ ■
	橋光國小	◎ ▲		埔里國小	◎ ▲
	新庄國小	◎ ▲		南光國小	◎ ▲ ■
	中原國小	◎		宏仁國小	◎ ▲ ■ ◆
	土城國小	◎		埔里國中	◎ ▲ ■ ★ ◆ ○
	坪頂國小	◎		大成國中	◎ ▲
	坪林國小	◎		埔里高中	◎ ▲
	雙冬國小	◎	大縣	草胡國小	◎ ▲ ■

南投市	新豐國小	◎ ▲		大元國小	◎ ▲ ■ ★
	南投國小	◎ ▲		內新國小	◎ ▲
	康壽國小	◎ ▲		崇光國小	◎
	光華國小	◎ ▲ ★		瑞城國小	◎
	嘉和國小	◎		大里國中	◎ ▲ ■ ○
	南投國小	◎		成功國中	◎ ▲ ★
	和平國小	◎ ▲ ★	台中縣東勢鎮	東勢國小	◎ ▲ ■ ★
	光榮國小	◎		中山國小	◎ ▲
	光復國小	◎		新盛國小	◎ ▲ ■
	德興國小	◎ ▲		東勢國中	◎ ▲ ■ ★
	漳興國小	◎ ▲ ○		東新國中	◎ ▲
	中興國中	◎ ▲		東勢高工	◎ ▲ ■ ★

據點功能：◎ 避難收容　▲物資集散樞紐　■醫療救護中心　★指揮中心
◆外部支援大型機具集散管制地　○其他用途
備註說明：1.炎峰國小第二校區預定地於災後為臨時住宅興建
2.漳興國小、南投國中、中興高終於災後亦為臨時派出所
3.埔里國中於災時為鎮公所臨時辦公處、衛生所臨時服務處
4.台中縣大元國小、成功國中為軍方兵力調派指揮中心

資料來源：內政部建研所-學校作為防災避難據點之規劃建置推動計畫（一）

從上述的分析說明我們不難發現，學校在地區的防救災效能，可說佔了舉足輕重的地位，其功能大致上可歸納如下[4]：

一、避難及收容場所

現行學校校舍的功能接近 90%集中在於收容與避難功能，而 921 大地震中很慶幸的並沒有發生類似日本的都市火災(主要是日本建築物大都以木造磚瓦為主(容易燃燒擴散而形成二次災害)，而我國建築物則大多是以鋼筋混泥土建成，較不易燃燒和擴散，所以導致於避難與收容的急迫性因而大幅降低，同時一般民眾的心態經調查約有 48%係等到地震過後才會進行避難作為；而在避難的場所中，又約有 48%的民眾亦會先選擇自家周邊較為空曠的場所或道路進行避難，其這樣做的原因均為可就近看顧自家狀況，而等到災害擴大到無法迅速消滅時，群眾才漸漸移往學校校區或公園等處實施避難，而校園一般民生設施均有，如廁所、廚房、教室等空間，可迅速轉變成簡易收容處所，無須再花費調度太多資源來開設。

二、救災物資物流集散發放的場所

從 921 大地震的經驗，我們可以清楚的知道，地震剛開始的階段，為各式救災工作最混亂的時期，各項災害資訊如雪花般的湧入，機具、資源及救災人力亦從四面八方進入，此時急需一處可以迅速囤放分配的場所，因此一般都選擇交通便利的大型公園或運動場館為主，但物資囤放與人員休息等問題，若遇天候狀況不佳時確會產生諸多不便，而校園在既有校舍建築及空曠場地，卻可馬上運作，因此以校區作為物資囤放集散的場所，是一個不錯的選擇。

三、救災指揮中心或緊急醫療中心設置場所

自 921 大地震後，全國各校舍建築均完成抗震健檢與補強，因此其建築物較一般來得安全與抗震，加上資訊網路設施齊備，亦有夜間照明設施及保健室，因此作為第一線指揮中心開設場所或醫療中心均極其方便迅速，加上學校周邊通常交通網絡完整，對指揮調度與醫療後送均能發揮最大效能。

四、其他防救機能

除了前述功能外，由於校園空地及運動操場等空間較大，亦可方便直升機起降、人員活動、救援機具放置管理，甚至難民遺體暫放處理等功效，可說是多功能場地。

柒、結論

根據日本多年的防災經驗與研究，防災公園的設置，可有效達到減災避難效果，因此由台北市政府率先將其引進國內加以學習，並併入防災體系與規劃，且從日本多次災難中各項數據驗證，確有其相關功效，故中央在近十年的「災害防救深耕計畫」推動中，將其納入推動工作要項之一，但檢討防災公園設置的場址，是以都會人口稠密區為主(其鄉下或人口較為稀疏的區域，其田野空間遍佈，無須緊急避難處所，僅需物資集散囤放場所及收容處所，故防災公園效能就較不顯著)，才能有效發揮其避難救災功能，因此日本花費數十年時間，檢討建置各類型防災公園；然我國國情不同，國土規劃之初亦未將其納入，現行都會區土地開發發展迅速，可說是寸土寸金，因此取得土地不易，需要相當冗長的時間，重新縝密規劃予以獲得，同時亦須投注異常資金建設各項防救災設施，可說是一項耗費時間金錢的大工程，亦緩不濟急。然而檢討我國各重要都會區(人口稠密區)，各式學校遍佈其間，加上校區設施多可轉換成防救災設備，無須再投注大量資金設置，對地方政府不會肇生太大的財政負擔，亦可有效管理管制物資先期囤放，

只要災害一旦發生，就可馬上投入救災避難行列，也可達到設置防災公園的主要目的，迅速達成我防救災所設定的目標作為，可做為未來的替代方案。

誌謝

終於完成了，這一切要感謝的人實在太多，首先要感謝的人是我的指導老師王世忠教授，他給予我相關多的指導與建議，並督促著我完成全篇的研究與寫作，此外感謝系裡的各位老師，給予我各方面的指導，還有學長、姊，給予我各方的意見，另外要感謝班上的同學，給予我鼓勵與刺激，當然還要感謝我的家人支持，沒有妳們的支持，讓我無後顧之憂，是不可能順利完成學業與研究，總之，感謝一切幫助過我的所有人，謝謝你(妳)們。

參考文獻

[1]白櫻芳(2017)，從日本防災公園實施經驗探討我國都市公園之防災分工與建置方針，內政部建築研究所研究報告。

[2]王秀娟(2001)，都市防災公園綠地系統建立之探討，公園綠地季刊(3)。

[3]潘國雄(2001)，大規模地震災害時防災公園評估基準之研究，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。

[4]張景周(2008)，學校避難據點在地震災害中之防災機能研究，中國科技大學建築研究所碩士論文。

[5]曾詩婷 (2014)，防災公園選址之初探，全國災害危機處理學術研討會。

[6]陳建忠(2000)，921 集集大地震都市防災調查與建議，內政部建研所。

[7]日本都市緑化技術開発機構公園緑地防災技術共同研究会，“防災公園技術手冊（防災公園技術ハンドブック）”， 日本， 2000。

農產品真空包裝配送之研究
Research on Vacuum Packaging Distribution of Agricultural Products

王偉驎 [1] 黃詩涵 [2*] 陳宗意 [3] 邱睿靖 [4]

Wei-Ling Wang[1] Shih-Han Huang [2] Tsung-Yi Chen[3] Ruei-Jing Qiu[4]

1 國立勤益科技大學工業工程與管理系 助理教授

Assistant professor, National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

2 國立勤益科技大學工業工程與管理系 學生

Student, National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

3 國立勤益科技大學工業工程與管理系 學生

Student, National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

4 國立勤益科技大學工業工程與管理系 學生

Student, National Chin-Yi University of Technology Industrial Engineering & Management

*Corresponding author: hng101100 @gmail.com

摘要

目前市面上販售的產品，大多只有肉類食品使用真空包裝，本研究在探討新鮮農作物如何因應現代社會的市場需求，將蔬果農產品進行真空包裝應用的結合並與物流配送供應商合作，使用一種透過高氣密性的塑膠或者是鋁箔袋等密封物進行包裝封口，將食物與空氣隔絕，來防止食物產生變質的技術應用，希望蔬菜、水果也能透過真空包裝的方式，讓品嘗期限能延長，讓消費者能享用到如同剛採收下來，有著新鮮口感的蔬菜、水果農產品，並與物流供應商進行配合，透過研究探討如何降低成本、人員安排及車輛配送排程等問題。

關鍵字:農產品、真空包裝、物流配送

壹、前言

由於台灣位於季風氣候的範圍內，而季風大於信風西風帶等行星風系的主要影響，台灣在 5 月到 9 月為台灣最為炎熱的時候，也就是夏季，在夏季前期台灣受到西南季風的影響而帶來溫暖潮濕的氣流，而之後又受到副熱帶高壓的影響，因此在夏季的時候，平均氣溫均可達到 27 度到 35 度範圍的氣溫，而且濕度也非常的高，正是會讓人感到不

舒服的溼熱，而在 7 到 8 月時平均溫度更達到 28 度以上甚至更高，這使得農產品在一般的環境下更容易腐壞，而即便沒有腐壞也會因在這樣不適於農產品保存的環境下讓蔬果農產品產生變質，讓消費者吃到不新鮮甚至是壞掉的蔬果農產品，這對消費者來說，除了對自身身體可能會造成各種不良的影響也對消費者在食用時的口感不佳，而除了對消費者的影響外，對供應商也會造成因為品質的不良，消費者不再進行購買而所造成的虧損，這種造成雙方損失的局面並非大家想看到的，因此為了能夠使消費者能夠繼續享用到如同剛採收下來的新鮮蔬果般清脆香甜的口感，我們決定透過所謂的真空包裝應用來與農產品進行結合，我們得知，真空包裝的應用非常的廣泛，不論是食品的保存或者是一些物品，都能夠看到這項技術的身影，透過具有高氣密性的塑膠或者是鋁箔袋內進行包裝封口，來進行隔絕造成食物發生變化的氣體及液體或者是陽光。而我們發現，真空包裝的技術在食品方面大多用於防止肉類腐壞以及延長其食用期限，相對於蔬果及農產品類卻很少在市面上看到，為此，為了使得農產品得到保護而不受到種種因素的影響而產變質以及為了能夠有效的延長農產品的食用期限而進行研究。

隨著時代的變遷，人們的生活習慣也逐漸地在改變，過去的人們常常因為需要某樣物品或者是為了要品嘗某樣美食而到處奔波，這極有可能造成消費者得到的滿足與付出的代價不成正比，舉個例子來說明，我們為了想吃淡水的鐵蛋和阿給，特地從屏東跑到了台北淡水，然而只是為了當地有名的鐵蛋和阿給，這就是所謂滿足與付出的代價不成正比，在這其中除了目標物品所帶來的消費成本，其中也包含了汽機車的燃料費，以及輪胎的折舊損耗或者是身心靈上的疲憊等等所帶來的隱藏成本。而為了因應現代社會的市場需求，我們希望能透過真空包裝，一種透過高氣密性的塑膠或者是鋁箔袋等等密封物進行包裝的封口，來進行食物與空氣的隔絕，防止食物產生變質的技術應用，將我們的蔬果農產品進行真空包裝的結合，並且與物流業者進行配合，根據資料中顯示，真空包裝後的食品在保存時的溫度與一般未進行任何真空包裝的食物相比，大部分真空包裝的食品可以不用進行冷凍來確保食品的新鮮度，相較之下也可以降低物流運輸些許的成本，且減少不必要的資源浪費。

根據季節的不同，各種類的蔬果農產品在常溫之下也都有不同的保存期限，在一般的環境下，過高的溫度容易使蔬果農產品發生變質，尤其是在 7 月到 8 月正當是炎熱夏季的時候，在這個季節由於溫度普遍高於 27 度以上，因此相對於冬季來說，夏季的炎熱氣溫更容易造成農產品的腐壞，保存也較為不容易，再用來進行冷凍保存等等的成本上也會大幅提升，因此我們透過藉由真空包裝的應用，讓農產品能夠長時間持續的保持它原有的新鮮程度，並且大幅的延長蔬果及農產品的食用期限，避免蔬果農產品在短時間內發生變質，即便是在夏季也能夠省下不少的成本，當然最重要的是能夠讓不是當地的住戶居民，也能夠讓消費者享用到如同剛採收下來，有著新鮮口感的蔬菜、水果農產品！

貳、實驗方法

一、　真空包裝技術起源於 20 世紀 40 年代，自 1950 年聚酯、聚乙烯塑膠薄膜成功套用於商品包裝，真空包裝機就得到迅速的發展。真空包裝是為了保護產品不受環境污染與延長食品保存期限的包裝，能夠提高產品的價值和品質；人們在生活和工

作領域上，有各式各樣的材質，包含輕便、密封、保鮮、防腐、防鏽的塑膠真空包裝遍及從食品到藥品、針織品，再從精密產品製造到金屬加工廠及實驗室等許多領域，塑膠真空包裝的套用很廣泛，並且推動了塑膠真空包裝機的發展，真空包裝機最重要的目的是為了減少包裝內氧氣含量，將蔬菜、水果分類再進行分裝，利用真空包裝的方法將產品放在具有高氣密性的包裝袋內，再將包裝內裡的氣體抽出後再進行密封，將主要包裝內的氣體抽出後再封口，讓袋子內的空氣減少到微生物無法生存，由於包裝內的空氣非常少，可以使產品本身不會因為氧氣的氧化而變色，使蔬菜及水果的產品呼吸率下降，這樣才能防止食品氧化活動和食品發霉腐爛變質，並能有效地保持食品的色、香、味、新鮮和延長食品的保質期限。〔1〕

二、 真空包裝的主要作用是除去氧氣，有利於防止食品變質，因食品發霉腐壞變質主要由微生物的活動造成，而大多數微生物如黴菌和酵母菌的生存是需要氧氣的，而真空包裝就是運用這個原理，把包裝內和食品細胞內的氧氣抽掉，使微生物失去生存的環境。實驗證明：當包裝內的氧氣濃度≤1%時，微生物的生長和繁殖速度就急速下降，氧氣濃度≤0.5%時，大多數微生物將受到抑制而停止繁殖，但真空包裝不能抑制厭氧菌〔2〕的繁殖和酶反應引起的食品變質和變色，因此還需與其它輔助等方法結合，如冷藏、急速冷凍、脫水、高溫殺菌、微波殺菌、鹽醃製等；真空除氧除了抑制微生物的生長和繁殖以外，另一個重要功能是防止食品氧化，因為油脂類食品中含有大量不飽和脂肪酸，受到氧氣的作用而氧化，使食品變味、變質，此外氧化還會損失維生素 A 和 C，食品色素中的不穩定物質受到氧氣的作用，會使顏色變暗沉，所以除去氧氣能有效地防止食品變質，保持原本的色、香、味及營養價值。真空包裝除了具備除去氧氣保質功能外，主要還有抗壓及保鮮等作用，能夠更有效地使食品長期保持原有品質及營養價值，另外也有許多食品不適合採用真空包裝，如鬆脆易碎、易結塊、易變形、尖銳稜角或硬度較高會刺破包裝袋等的食品，食品經由真空包裝後，包裝內的氣壓大於包裝外大氣壓，能夠有效地防止食品受壓破碎變形並不影響包裝外觀及印刷。而真空包裝再充入氮氣、二氧化碳、氧氣單一氣體或二三種氣體的混合氣體，其氮氣是惰性氣體，起充填作用，使包裝袋內保持正壓氣體，防止包裝外空氣進入袋內，對食品有一個保護作用；二氧化碳能夠溶於水或各類脂肪，引起酸性較弱的碳酸，有抑制黴菌、腐敗細菌等微生物的活性；氧氣則具有抑制厭氧菌〔2〕的生長繁殖，高濃度氧氣可使新鮮肉類保持鮮紅色，保持蔬菜、水果的新鮮及色彩讓營養不流失。〔3〕

三、 真空包裝是一種能夠有效延長食品保存期限的方法，可以有效的隔絕空氣，讓食品不會直接接觸到空氣，也能夠保護在不受外部因素影響，由於空氣和空氣中的氧氣被隔離，微生物氧氣量不足就無法生存，就不能再破壞食物，而且可以隔絕氣體、液體、日光進入和高度抗韌性，雖然不能 100%完全隔絕細菌，但確實可以將保存期限延長許多，避免食物氧化減緩營養素的流失，所以越早食用可以吃到越多的營養，不過要注意魚、肉等生鮮食材，就算使用真空包裝，還是要注意保存的溫度，生鮮類食材只要在室溫下，就很容易滋生細菌，讓食品腐敗，不論包裝的材質為何都是一樣的，所以盡速冷凍保存，才是明智的選擇。此外真空包裝內的食材如果含有水分，會比一般乾燥產品更易腐壞，建議買回家後，如不食用應該立刻冰放

置冷凍保存，並盡早食用完畢，另外家中常見的白米、豆類等食物，在市場買回來都是一大包，保存不當的話很容易長蟲、發芽，最後只好丟掉，可以自行 DIY 把食物真空包裝保存，也可以購買坊間販售的真空盒、真空罐，只要將白米、豆類等分別放置後再將空氣抽走，就可以達到延長食物的保存期限，並且能減少包裝的體積，減少儲放空間，降低包裝成本，還可以隔絕外部灰塵等。〔4〕

四、　使用真空包裝的幾項好處〔5〕:

(一)降低氧化速度：就像人體需要抗氧化以抗老一樣的道理，食物內的成分慢慢與空氣中的氧氣結合，就會產生化學結構的反應，造成食物的變質與老化，例如最常見的就是將削皮後的蘋果放置在室溫下，蘋果就很快地變色，不僅造成蘋果的口感及味道都改變，蘋果內部的營養成分也會逐漸流失，但透過真空包裝處理，就可以直接阻擋隔離造成氧化元凶的空氣，有效的延長保存期限。

(二)抑制細菌的增殖：若新鮮食物接觸到空氣的話，食物就會成為細菌孳生的溫床，且細菌孳生會加速造成食物腐壞的速度，使用真空包裝方法能防止細菌進入，也能夠有效保障食物的品質

(三)防止乾燥：不管是置放在常溫或者冷凍庫，食物內部的水分都會隨著時間而慢慢蒸發，一但水分蒸發，就會造成外觀乾癟、變色，原本多汁的口感也會流失，就像放太久乾癟的橘子一樣，而使用冷凍庫保存食物的話，容易因為溫度過低或是置放時間太久，導致食物凍傷、脫水，但真空包裝方式可以隔絕外部溫度的波動跟防止凍傷的情況發生，還可以封住食物的水份，使水份不蒸發，而且有效避免乾燥、凍傷的問題。

(四)避免食材凍傷：若用冷凍庫保存食材的話，容易因溫度過低或是置放時間太長導致食材凍傷。凍傷將導致脫水、油脂酸化，使食材再也無法作為商品販賣。真空包裝可以隔絕外部溫度的波動跟太直接的接觸，防止凍傷的情況發生。

(五)真空包裝能延長的保存期限：雖然各種食材依據成分不同，能保存的時間也不一樣。但以真空包裝冷藏的話，保存期限能延長 1.5 倍以上，真空包裝加上冷凍則能延長 2-5 倍(如圖 1)。能將保存期限延長數倍以上的原因在於，傳統的冷凍方式易造成凍傷、變色，真空包裝則能夠防止這些問題。

冷凍	一般儲存	真空包裝
牛肉與家禽肉	6個月	2至3年
魚	6個月	2年
湯類或燉菜	3至6個月	1至2年
咖啡豆	6至9個月	2至3年
蔬菜類	8個月	2至3年
面包	6至12個月	1至3年
冷藏	**一般儲存**	**真空包裝**
奶酪	1至2個星期	4至8個月
生菜	3至6天	2個星期
漿果類	1至6天	1至2個星期
一般存放	**一般儲存**	**真空包裝**
麵粉與糖	6個月	1至2年
大米与意式面食	6個月	1至2年
餅乾	1至2個星期	3至6個星期

圖 1 食品保存圖〔6〕

五、 過去的農業社會比較重視生產技術，很少去重視經營管理的技術，結果農民都只會生產而不會包裝產品，導致最後利益外流或剝消，而如今市場已經發展到「生產技術」與「管理技術」並重，農民不但要會生產產品，更要學會包裝產品，這樣才能真正從農業的經營之中獲利。農產品包裝的方式是有特定格式，包含品種、數量、規格、用途等，每個包裝單位的大小、材料、輕重都要按照顧客需求以及包裝原則進行包裝，以減少損耗並保護農產品，且方便節省運輸成本，並美化商品擴大行銷，提高農產品市場行銷效率。而「品牌是品質的保障，品質是品牌的後盾」，我國有良質米、吉園圃蔬果、豬肉、雞蛋、鮮乳等農產品以及加工食品建立的品質認證制度，能提昇國產農產品之形象，並給予消費者保障，如(圖 2) CAS（Chinese Agriculture Standards）是優良農產品標誌，提高國產農產加工品的市場競爭力及保障消費者權益，自從民國 78 年推行 CAS 優良農產品標誌，已經有肉品、冷凍食品、良質米、醃漬蔬果、米飯調製品、冷藏調理食品、生鮮食品、釀造食品、點心食品及生鮮蛋品等大類產品使用。(圖 3)吉園圃蔬果標章，吉園圃圖案中的綠葉代表農業，3 個圈圈有兩種意義，一個是強調農民要把握適時、適地、適種，合理病蟲害防治以及遵守安全採收期等 3 個原則，達到優良農業操作，另一個意義是在整個標章之推行上需要輔導、檢驗及管制三個方面進行配合，因此消費者可以藉由此標章，認明市場上售價蔬果是否為優良農業操作者之產品。(圖 4)產銷履歷農產品標章（簡稱 TAP 標章），綠葉的意象是代表 TAP 農產品是大自然的恩賜；雙向箭頭代表 TAP 農產品可以追溯產品的來源，也能從源頭追蹤產品去向；G 字形代表 TAP 農產品是 Good Product 農產界的模範生；心形形狀代表農民的用心以及 TAP 農產品讓您能有信心、安心、放心的特質；豎起的大拇指代表 TAP 農產品的口碑形象，以及追求一等一的信念。(圖 5) CAS 台灣有機農產品標章，是一種有機農業比較不污染環境、不破壞生態，並能夠提供消費者不使用農藥及化學肥料生產方式的農產

品，通過驗證及經過轉型期才能使用「CAS 台灣有機農產品標章」，並依法標示生產者名稱、電話及地址，以提供追溯。〔7〕

圖 2 CAS 優良農產品〔7〕

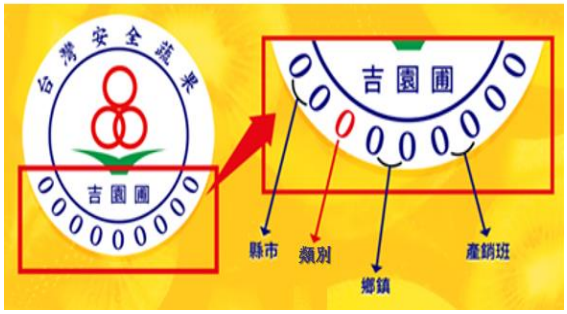


圖 3 吉園圃蔬果〔7〕

圖 4 產銷履歷農產品〔7〕

圖 5 CAS 台灣有機農產品〔7〕

新鮮的蔬菜、水果從農夫採收到運送的過程幾乎都沒有包裝，因此在運輸和銷售的過程中耗費許多的時間，直接將水淋上蔬菜的做法又會使蔬菜容易腐壞，有些菜販的銷售方式，是將直接採收的蔬菜及水果清洗乾淨，然後將變黃、腐壞的部分直接去除，再以定量的方式包裝，讓消費者買回家就可以直接煮食，節省了很多時間，但這樣的做法保存期限也不久，大約只有短短 2 至 3 天的時間，蔬菜就會腐壞；以較遠的地區來說，通常農夫採收農產品到達消費者手上就至少需要 2 天的時間，而且有的蔬菜很容易就腐壞，根本沒有辦法放置，所以採用真空包裝的方式，首先把蔬菜水果清洗乾淨，再進行分類，將蔬菜、水果放在具有高氣密性的塑膠或鋁箔袋內，再將包裝內裡的氣體抽出後再進行密封，在正常情況需要與真空包裝機配合一起使用，並且以低溫冷藏保存 (如圖 6、圖 7、圖 8) 。

圖 6 蔬菜水果清洗分類〔8〕

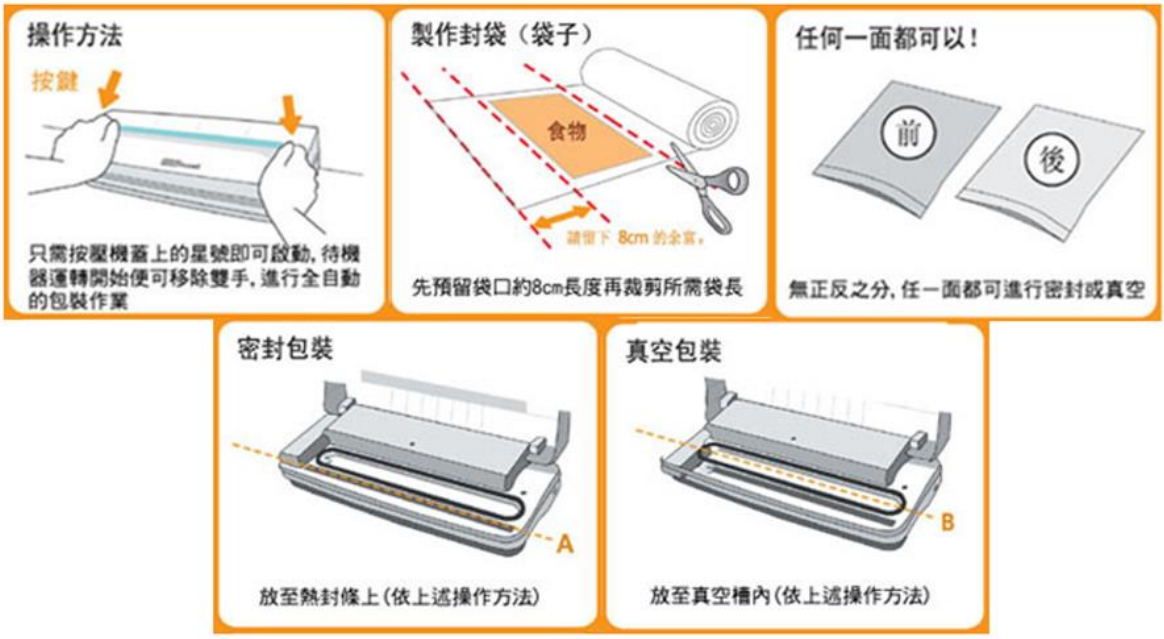


圖 7 真空包裝機操作方法〔9〕

圖 8 蔬菜水果真空包裝完成圖〔10〕

六、　物流配送涵蓋的種類範圍很廣泛，包含著「物」盡其用，貨暢其「流」的理想。廣義物流包含原材料物流、工廠內生產物流、販賣物流及廢棄物流四種；狹義物流僅僅是販賣需求，也就是從工廠生產製造出成品，透過集貨、理貨、庫存、配送等具專業運作的單位，配送至零售單位，以求降低後勤作業的成本，並提高後勤支援的效益，而和物流倉儲及物流運輸有關連的相關產業，都統稱為物流業，而物流系統可以分為七大功能〔11〕

(一)運輸功能

運輸是物流的核心業務之一，也是物流系統的重要功能。選擇使用哪種運輸方式對於物流效率具有十分重要的意義，在決定運輸方法時，必須衡量運輸系統要求的運輸服務和運輸成本，可以從運輸機具的服務特性做為判斷的基準。

(二)倉儲功能

進入物流系統的貨物進行儲存、管理、保管、保養維護等活動；主要表現在兩個方面，第一個是完好地保證貨物的使用價值，第二個是為將貨物配送給用戶，在物流中心進行必要的加工活動而進行的保存。物流由品種少、批量大進入到品種多、批量小或批次多、批次小的物流時代，倉儲功能從重視保管效率逐漸變為重視如何順利進行發貨和配送作業。

(三)包裝功能

物流運送過程中的貨物完好的送達用戶手中，並滿足客戶和服務對象的要求，需要對商品進行不同方式及不同程度的包裝，包裝可分為工業包裝和商品包裝，工業包裝作用是按照單位分開產品，以方便於運輸；商品包裝目的是便於最後的銷售，因此包裝的功能主要目的是在保護商品、便利化和商品廣告等。

(四)裝卸搬運功能

裝卸搬運是運輸和貨物保管而產生的必要物流活動，是對運輸、保管、包裝、流通加工等物流活動進行銜接的中間環節，在貨物保管等活動中進行檢驗、維護、保養時所實施的裝卸活動，如貨物的裝上卸下、移送、揀選、分類等，而裝卸作業的代表形式是集裝箱和托盤，使用的裝卸機械設備有吊車、傳送帶和各種臺車等。

(五)流通加工功能

流通加工是在物品從生產領域向消費領域流動的過程中，促進產品銷售、維護產品質量和實現物流效率化，對物品進行加工處理，使物品發生物理或化學性變化的功能；流通加工包含包裝、定量化小包裝、拴牌子、貼標籤、配貨、挑選、混裝、刷標記等，功能主要是表現在進行初級加工、提高原材料利用率、提高加工效率及設備利用率、充分發揮各種運輸手段的最高效率，改變產品品質提高收益。

(六)配送功能

配送功能的設置，可以採取物流中心集中庫存、共同配貨的形式，使客戶或服務對象實現零庫存，依靠物流中心的準時配送，而無需保持自己的庫存或保持少量的保險儲備，減少物流成本的投入。

(七)信息服務功能

現代物流是需要依靠信息技術來保證物流體系正常運作的，功能包含進行與上述各項功能有關的計劃、預測、動態、運量、收、發的情報以及相關的費用情報、生產情報、市場情報等活動。

七、 物流配送的運輸區域地點過於廣泛，會造成出貨速度慢且沒有效率，為了滿足客戶的需求，經常以最短的時間配送，因此這樣一來還需增加額外的運輸成本，為了避免配送範圍廣大而造成配送成本增加，在出車前就事先選定好路線以及配送車輛大小，並將時間規劃好；在物流配送路線及時間規劃上，車隊可以依照車輛出勤

的時間階段劃分為出車前、出車中及出車後三個不同階段的管理重點，車隊管理對出車中時段沒有適當的管理工具，車輛一出發就如野馬般不受控管，管理的強度僅於出車前及出車後時段，出車前管理是指排車，事先依照訂貨單所需時間及車種的安排車輛；出車後管理則指單據整理、績效管理與車輛維護等。出車中管理問題一直是車隊管理的漏洞，針對出車中時段加強管理，因為最常遇到的問題為：車開到哪去、即時調度派遣車輛、超速車輛控管、未照指定路線開車、司機出車時摸魚、送貨遲到、客訴等問題，但經由衛星車隊管理服務在車輛裝上衛星定位車機後，透過網路服務平台就能馬上掌握車輛即時位置、行車記錄、車速等資料，此外還可將車輛上感應器及外接設備資訊即時回傳給車隊管理人員，而且管理人員出勤、車輛油耗、送貨時間，可依照異常狀況做設定，突發事件發生時以簡訊即時通知車隊管理人員，大幅降低車隊管理的風險及成本。〔12〕

八、 商品配送人員從物流公司接到出貨指示後安排配送車次，貨品整理出來，經過確認無誤就裝貨上車送達給客戶，這時配送人員在整個貨品保管配送的循環周期，擔任相當重要角色，如果在配送過程中有任何閃失或損壞，那之前大部份的服務以及所花費的人力、物力將完全化為烏有，還需花費額外的成本來彌補損失，有時也很難再恢復到原先客戶的滿意度；另外配送人員代表公司，反映出公司的服務品質，甚至影響公司聲譽，所以配送人員的服裝儀容、態度修養、專業知識會給予客戶以及消費者深刻的印象。運輸調度人員從客戶出貨訊息確定開始，到配送人員完成送貨作業回到公司這之間都是值勤時段，工作內容包含配送路線的規劃、車輛車次與配送人員的安排分配、擔任機動的調度與咨詢聯絡中心、配送人員的稽查、外包車輛與駕駛的管理等等，因為配送人員是依調度人員的配送指示出車調派單為準則，所以調度人員對於交通路況、客戶收貨時間、送達地點以及上下貨的狀況、送達地點車輛的限制，都要能夠完全了解掌握，並要秉持公平的精神來制作出車調派單。〔13〕

九、 物流配送受到很多因素影響，導致產生許多各種成本，例如運輸技術裝備落後、配送線路不合理、管理技術不完善、車輛保養維護等等因素，而降低運輸成本是降低物流成本最有效的途徑。

(一)控制運輸成本的方法〔14〕

1. 強化運輸成本的核算和考核

   建立現代物流理念，引進先進的物流運輸管理和優化方法，尋找改善運輸管理，降低運輸成本的最佳途徑。強化成本管理意識，實施定額管理和目標成本管理，進行成本控制目標分解，明確責任，加強成本核算和考核。

2. 提高企業物流運輸管理水平

   運用系統觀點不斷優化運輸資源配置，提高管理技術及企業運輸管理水平，建立物流戰略成本管理理念，讓整個流通過程的物流運輸成本最小化，且不斷發掘運輸成本降低的潛力，持續降低物流運輸成本水平。

3. 消除運輸中不合理現象

   物流運輸不是一個孤立的環節，在組織運輸時，要對運輸活動及其他環節要規劃並統籌安排，儘量壓縮不必要的環節，減少環節所占用的成本，減少二

次運輸，同時更要消除隱含運輸、重複運輸、過遠運輸等不合理的現象。

4. 合理選擇運輸方式，提高運輸效率

在目前多種運輸工具並存的情況下，必須注意不同貨物的特點及物流時效的要求，做出合理選擇運輸工具的策略，採用貨櫃以擴大每次運輸批量，減少運輸次數；採用合裝整車運輸，有效降低運輸成本，改善車輛的裝載技術和裝載方法，使運輸工具裝載最多的貨物，提高運輸工具的使用效率。

5. 科學設計運輸網絡，實現優化運輸

在運費、運送距離及生產力和消費量都確定的情況下，充分運用線性和非線性規劃技術以及網絡技術等方式解決運輸的組織問題，制定科學合理的運輸計劃和方案；運用 GPS 先進技術，對過程進行跟蹤、監控和調度，實現車輛和線路的最佳化，提高運輸效率及安全性，減少損失降低成本。

十、 藉由物流運輸的包裝作業，我們導入真空包裝的包裝流程，將剛採收下來且未進行任何延長食用期限及保持新鮮度的蔬菜、水果運送至當地物流業進行真空包裝的作業流程，這個作業程序主要是降低即將要進行販售的蔬菜、水果農產品因環境或其他人為或是非人為因素所造成的損壞，在加工真空包裝的作業完成後，我們將蔬菜、水果農產品運送至物流中心透過倉儲功能利用在物流中心的 (如圖 9)，將蔬菜、水果農產品放置在攝氏 7 度以下進行冷藏保存，而在真空包裝下的蔬菜、水果比起未進行任何包裝的蔬菜、水果來說，更大幅延長了他的保存期限，也可以降低在冷藏時可能造成的變質，也降低了因為庫存品質不良損壞而造成的成本。在確認各方面需求後，我們利用裝卸搬運的功能，將需要進行配發的蔬菜、水果農產品進行移送、篩選、分類，再透過集裝箱和台車等各種設備進行配送，在這個過程中也算是物流活動進行銜接的中間環節，完成後我們也將蔬菜、水果產品從生產領域向消費領域流動，依據消費者不同的需求，進行流通加工的作業，包含拴牌子、貼標籤、挑選、混裝、刷標記等，每種蔬果的級別並不盡相同，透過這種貼標籤及挑選的作業，我們也更能確保蔬菜、水果農產品的品質，依照不同級別的蔬菜、水果進行分類、分配，提高效率以及產品品質，而且最重要能提高整體收益；完成以上敘述的程序後，我們接著依據客戶的訂單或是合作廠商的不同需求安排貨物配送，以訂單的順序安排出貨時間，再以數量為基礎以及送達地點，從大型批發商所採用大車轉運的大型運輸車或者是零售商以及部分單一客戶所進行的宅配等等，安排不同車輛大小的配送，確定好配送的時間以及車輛大小後，進行規劃配送路線，以運送時間最短的路線做為優先可量，利用推車將準備出貨的蔬菜、水果裝上貨車進行配送，到達運送目的地則使用人工搬運卸貨再以推車方式儲放至放置地點，而且需適時因應各個階層的需求，以降低在運送方面上的成本(如圖 10)。

圖 9 物流配送流程作業圖

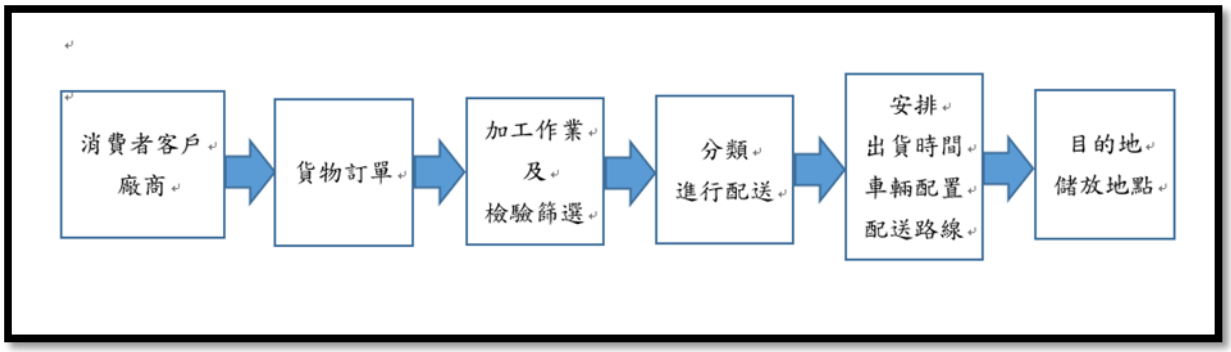


圖 10 訂單出貨流程作業圖

參、結果與討論

經過了長久以來，人們不斷的精進以及創新改善，我們讓蔬菜、水果農產品能夠在長時間的保持它原本應有的新鮮度。我們知道，讓食物保持新鮮度、食用壽命的方法有非常的多種，不論是冷凍、醃製、加工製成罐頭食品等等諸多方法，但是有一些保存的方式並不適用於每一種食物，就蔬菜、水果農產品而言，我們知道的保存方法有冷藏或是冷凍，但這並非是能夠使蔬菜、水果的保存得到最大延長期限的方法，在秉持著能夠讓顧客享受到如同剛採收下來般的蔬菜、水果那種會使人想在無限回味的新鮮口感，我們想到了使用真空包裝的技術的應用，利用隔絕空氣的塑膠等進行封口來進行隔絕造成食物發生變化的氣體及液體或者是陽光。由物流運輸的包裝作業導入真空包裝的方法，使蔬菜、水果能夠大幅延長食用期限及保持新鮮度，我們將蔬菜、水果農產品運送至物流中心透過物流中心的倉儲功能，確認各方面需求後，進行蔬菜、水果農產品篩選、分類，透過集裝箱和台車等各種設備進行配送，事先規劃好出貨時間、車輛排置與配送路線，提高效率，並依各個階層的需求，以降低在運送方面上的成本，最重要還能夠節省掉一些不必要的運輸成本、人力成本，使得真空包裝後的農產品能夠在價格不調漲的情

況下進行販售，讓顧客能夠吃得安心的同時也能夠吃的開心。

而我們也經由物流配送的方式來讓當地的蔬菜、水果農產品銷售至其他的外縣市，由於消費型態逐漸改變，整體行銷通路體系轉變，傳統多層次且複雜的經銷通路逐漸轉由物流中心，藉由物流中心的運作來提升競爭的優勢且降低整體的運輸成本，而根據不同顧客的需求，從大型運輸到小型的宅配都有；與傳統物流業不同的是，過去傳統物流運輸通常為一單獨的個體，是單純的貨物運輸，它的貨源也主要是由自己自行尋找或者是經由托運取得，也比較缺乏固定的貨源及資源分散缺乏管，這樣也變成供應商在販售蔬果時必須花費更大的精力及成本來進行買賣，而這種買賣的範圍也非常的有限，通常會侷限在知道門路或者是本身與供應商有認識的內部銷售，因此，透過物流中心在商品中扮演的集中分配腳色，來進行訂單處理、倉儲管理、揀貨配送，甚至兼具尋找客源、零售諮詢、開發自有品牌商品，使得銷售的範圍從一縣市轉為到全國性甚至全球。

我們通過我國的各項品質合格標準規範，除了有大家耳熟能知的 CAS 台灣有機農產品標章及 CAS 台灣優良農產品標章之外也有其他像是吉園圃蔬果標章、TAP 產銷履歷農產品標章等等各種品質保障，我們強調「品牌是品質的保障，品質是品牌的後盾」，為的就是能夠讓顧客吃的安心在能夠提昇國產農產品之形象時也能夠讓消費者得到足夠的保障這都是我們非常重視的，尤其是在食物上，更是不可忽視。

肆、結論

透過真空包裝配合物流配送的概念，使得我們在不提高成本的情況下將蔬菜、水果農產品銷售至其他地區，並且保留原來的新鮮程度，就如同上述所言，我們希望能夠讓更多人享受到當地的新鮮農產品，讓這些農產品不再只是拘限於一個小小的範圍，而是讓他拓展至整個國內甚至國外地區，讓更多的顧客知道，農民辛苦栽種出來的蔬菜、水果農產品是多麼的美味可口，且打響國內蔬菜、水果農產品的知名度，並利用物流運送在配送現有的允許範圍內，滿足客戶對貨物品種、規格、數量以及時間的要求，配合配送路線和貨物量載重的限制，以效益最高為目標得到最佳解決方案，不斷提升物流品質，可以降低各種不必要的支出費用，並保持良好的信譽，吸引更多的客戶，提高效率，從根本上降低物流運輸成本，而更重要的也是能夠藉此帶動社會經濟的發展，也讓這個領域邁向一大步。

誌謝

終於順利完成專題，我們從選擇要進行研究的題目到最後專題的完成，這過程中我們跨越了重重的困難，我們面臨了許許多多令人懊惱的問題，但是並不氣餒，而是更加積極地去尋找問題的答案，在尋求解答的過程中，除了專題的進展，我們也學習到了相當多的經驗，不論是在知識方面上還是在研究方法的學習上，多多少少都得到了成長。而這次的專題製作能夠得以完成，最重要的還是要感謝我們的指導教授，王偉驎教授，謝謝教授在一開始我們甚麼都不懂的時候指引我們，讓我們了解到我們適合研究的題目是何種類型，並在研究過程中遇到瓶頸時給予我們建議，讓我們知道接下來該往哪個方向來深入研究，找尋所需要的答案，在訓練及相關學習上更是不厭其煩地教導、指引，並且適時地督促著我們，讓我們的專題能夠朝著正確的方向順利完成，我們在此鄭重地

感謝王偉驎教授，感謝教授的教導與帶領，這份情意我們將永遠銘記在心。此外在專題完成的過程中，也非常謝謝另外兩位一同參與的同學，陳宗意同學及邱睿靖同學，讓專題得以順利完成，也是組員們無私地提供他們的想法與經驗，有了這些寶貴的經驗及想法，在經過不斷的討論與修改後，使得我們專題最後能夠更加的完整、充實，在專題的製作過程中，我們彼此互相幫助，突破各種難關，也讓我們之間的團隊默契更佳的扎實，在最後我們要再次的王偉驎感謝教授，我們都謹記在心，我們一定會更加的努力，讓自己所學能夠充分發揮，為社會帶來貢獻。

參考文獻

〔1〕 真空包裝機之應用技術，百科知識，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自:_ https://www.easyatm.com.tw/wiki/%E7%9C%9F%E7%A9%BA%E5%8C%85%E8%A3%9D%E6%A9%9F

〔2〕 厭氧菌，維基百科 2018 年 1 月 26 日，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B0%88%E6%80%A7%E5%8E%AD%E6%B0%A7%E8%8F%8C

〔3〕 真空包裝概念與作用原理 ，百科知識，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: https://www.easyatm.com.tw/wiki/%E7%9C%9F%E7%A9%BA%E5%8C%85%E8%A3%9D

〔4〕 真空包裝的食品新鮮無菌？該如何食用才安全,大家健康雜誌 2017 年 5 月 5 日，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: https://healthforall.com.tw/?action=article_in&id=1735

〔5〕 食品真空包裝 5 點好處很實用，每日頭條 2018 年 7 月 13 日，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: https://kknews.cc/zh-tw/food/k2r48yv.html

〔6〕 真空包裝食品保存，FoodSaver(2019)，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: http://www.foodsaver.com.tw/why_foodsaver.php

〔7〕 行政院農業委員農會產品標章，行政院農業委員農會，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: https://www.coa.gov.tw/tag_query/index.php

〔8〕 蔬菜水果清洗分類圖，google 2017 年 4 月 19 日，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: https://is.gd/2TOqQU

〔9〕 FoodSaver 家用真空包裝機使用方法，慶通灣商有限公司，摘取日期 2019 年 5 月 10 日,摘自:http://my.so-net.net.tw/rick0421/web-2006/web/q-a/qa.htm

〔10〕 蔬菜水果使用真空包裝，google，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: https://is.gd/LCik61

〔11〕 倉儲規劃改善之物流系統的七大功能，川能 倉儲規劃 2015 年 9 月 15,摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: https://rack-104.com.tw/4010/7-logistics-system/

〔12〕 主題報導-衛星車隊管理服務（Fleet management）在台灣的發展，RITI 銳俤科技，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自:http://www.riti.com.tw/support/main4-01.aspx

〔13〕 物流業商品配送及運輸調度人員，物流業，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自:

http://w3.tpsh.tp.edu.tw/organization/shcool/introl/workinrto/001/006/a084/45.htm

〔14〕 物流運輸成本居高不下? 每日頭條 2019 年 3 月 14 日，摘取日期 2019 年 5 月 10 日，摘自: https://kknews.cc/zh-tw/tech/rjkm4lo.html