

2020資源與環境學術研討會

日期：中華民國109年10月30日

時間：9:00~17:00

地點：大漢技術學院

主辦單位：大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系

協辦單位：國立成功大學奈米粉體科技研究中心

國立宜蘭大學環境工程學系

花蓮縣環境保護局

台泥企業集團

亞洲水泥股份有限公司花蓮製造廠

康廷工程顧問企業有限公司

日揚環境工程有限公司

綠信環境科技股份有限公司

亞太環境科技股份有限公司

祥威環境科技有限公司

春迪企業股份有限公司

衛宇檢驗科技股份有限公司

太吉佳環境科技有限公司

承晏環境科技股份有限公司

新翊環境有限公司

目 錄

2020 資源與環境學術研討會 程序表	I
2020 資源與環境學術研討會論文發表分組議程表	III
專題演講 【一】：「台泥在循環經濟的實踐」	
演講者：邱鈺文 資深經理	1
專題演講 【二】：「亞泥花蓮廠推動循環經濟實務分享」	
演講者：張志鵬 總廠長	3
論文集	
Session I-1 (11:00~12:00, B208)	5
Session I-2 (11:00~12:00, B204)	85
Session I-3 (11:00~12:00, B219)	161
Session I-4 (11:00~12:00, B215)	217
研討會論文查詢 (QR-Code)	287

2020 資源與環境學術研討會 程序表

109 年 10 月 30 日 (星期五)

時間	議 程				引言人 (主持人)
08:30 至 09:00	報到(土木館川堂)				
09:00 至 09:20	開 幕 貴賓致詞				何志軒 主任
09:20 至 10:20	專題演講 【一】 台灣水泥公司循環經濟實務專題演講 演講者：邱鈺文 資深經理 演講題目：「台泥在循環經濟的實踐」 【二】 亞洲水泥公司循環經濟實務專題演講 演講者：張志鵬 總廠長 演講題目：「亞泥花蓮廠推動循環經濟實務分享」				胡紹華 教授
10:20 至 10:40	專家學者與談				
10:40 至 11:00	茶 敘(2F 走廊)				
11:00 至 12:00	Session I-1 (B208)	Session I-2 (B204)	Session I-3 (B219)	Session I-4 (B215)	
12:00 至 13:30	午 餐(B215、B204、B219、B208)				
13:30 至 17:00	DAKA 資源再利用園區觀摩				
期待再重逢！					

2020 資源與環境學術研討會論文發表分組議程表

109 年 10 月 30 日 (星期五) 09:20~10:20

專題演講 B215

主持人：胡紹華 教授

【一】台灣水泥公司循環經濟實務專題演講

演講者：邱鈺文 資深經理

演講題目：「台泥在循環經濟的實踐」.....1

【二】亞洲水泥公司循環經濟實務專題演講

演講者：張志鵬 總廠長

演講題目：「亞泥花蓮廠推動循環經濟實務分享」.....3

Session I-1 (11:00~12:00) B208

主持人：王世忠 教授 (大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系)

1. 王錦華、林志明 (大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系)
斷層對橋樑安全之影響-以玉富自行車道舊鐵路橋為例.....7
2. 徐勝明、郭錦崑 (大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系)
開口契約採評分及格最低標決標方式之可行性研究.....21
3. 劉翔明、王錦華 (大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系)
橋樑載重試驗探討.....37
4. 黃文鴻、王世忠 (大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系)
防火宣導與火災統計之分析研究-以花蓮市為例.....51
5. 吳照雄、劉佳欣 (大葉大學 環境工程學系)
廢鋁箔複合材料熱裂解研究.....61
6. 吳照雄、劉佳欣 (大葉大學 環境工程學系)
廢電鍍鋁複合材料熱裂解研究.....73

Session I-2 (11:00~12:00)

B204

主持人：余炳盛 教授 (國立台北科技大學 資源工程系)

1. 朱家恩、邱求三、吳友平 (國立宜蘭大學 化學工程與材料工程學研究所)
利用濕式及乾式氧化法以去除空氣中氮氧化物.....87
2. 張鈞璋、邱求三 (國立宜蘭大學 環境工程學研究所)
利用鐵鋁錳氧化物吸附水中磷酸鹽.....99
3. 林凱隆、林雅雯、陳巧穎、鄭大偉 (國立宜蘭大學 環境工程研究所、國立台北
科技大學 資源工程研究所)
TFT-LCD 廢玻璃調質廢噴砂水熱合成中孔 Al-MCM-41 對環境調濕性能之研
究.....109
4. 王俊方、陳維佑、郭宇婷、江漢全 (國立宜蘭大學 環境工程學系)
蘭陽平原地下水鐵錳結垢潛勢研析.....121
5. 陳炫均、張章堂 (國立宜蘭大學 環境工程學系)
利用靜電紡絲技術製備二氧化鈾纖維進行過濾與光降解之研究.....135
6. 魏千茵、陳翰禹、吳照雄 (大葉大學 環境工程學系)
木屑及造紙廠廢棄物之 RDF 能量密度分析.....145

Session I-3 (11:00~12:00)

B219

主持人：何志軒 教授 (大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系)

1. 何志軒、蔡大勇、徐惠萱、黃建宏 (大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系)
化學法與電化學法改善山區水質殺菌效果之研究.....163
2. 邱天佑 (大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系)
近十年空氣品質污染物濃度變化趨勢之探討-以臺中地區為例.....175
3. 何志軒、楊芳綺 (大漢技術學院 土木工程與環境資源管理系)
花蓮國強社區之老舊農村再造與永續發展案例探討.....183
4. 吳紀賢、孫偉碩、林憶茹 (祥威環境科技股份有限公司)
探討餐飲業油煙防制設備於自主管理維護後效能評估-以花蓮東大門夜市燒
烤、油炸類店家為例.....191
5. 鍾曜濬、孫偉碩、廖昭傑 (祥威環境科技股份有限公司)
花蓮縣室內空氣品質檢測-以醫療機構二氧化碳檢測為例.....199
6. 吳照雄、劉佳宓 (大葉大學 環境工程學系)
彰化縣國小教師對節能減碳之認知、行為及週一無肉日之支持度.....207

Session I-4 (11:00~12:00)

B215

主持人：顏富士 榮譽教授（國立成功大學 資源工程學系）

1. 顏富士、黃婉文、黃雯巧、黃啓原（國立成功大學 資源工程研究所）
奈米級晶粒 α -Al₂O₃ 生坯的節能製程.....219
2. 陳智成、吳俊毅、吳伶芳（遠東科技大學 機械工程系）
以廢鋁電解液製作多晶藍寶石之研究.....225
3. 蔡志達、李昂軒、施承璋、戴佳雄、羅嚮盛、張祖恩（國立成功大學 永續環境
實驗所、中華紙漿股份有限公司）
利用冷壓技術開發紙廠無機副產物作為再生粗粒料之可行性研究.....237
4. 蔡志達、李昂軒、施承璋、戴佳雄、羅嚮盛、張祖恩（國立成功大學 永續環
境實驗所、中華紙漿股份有限公司）
透過冷壓技術資源化紙廠無機副產物作為普通磚.....251
5. 吳照雄、陳惠緣（大葉大學 環境工程學系）
國小教師對目前電力供應現況之認知及廢核行為意向調查—以彰化市為例..265
6. 吳照雄、王毓懋（大葉大學 環境工程學系）
永續水資源教學對國小學童「水資源」認知與使用行為影響之研究—以彰化縣
大興國小為例.....275

專題演講 【一】

演講者：邱鈺文 資深經理

演講題目：「台泥在循環經濟的實踐」

專題演講 【二】

演講者：張志鵬 總廠長

演講題目：「亞泥花蓮廠推動循環經濟
實務分享」

Session I-1
(11:00~12:00 , B208)

斷層對橋樑安全之影響-以玉富自行車道舊鐵路橋為例
The effects of fault on bridge safety- A case study of the old railway bridge of Yufu
Bicycle Lane

王錦華¹ 林志明²

Chin-Hua Wang¹, Chih-Ming Lin²

1 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 副教授

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

2 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 and Environmental Resources Management,
Dahan Institute of Technology

* Corresponding author: lin04290108@yahoo.com.tw

摘要

台灣位處於歐亞板塊及菲律賓海板塊交界，而花蓮縣玉里鎮玉富自行車道舊鐵路橋(前東部鐵路玉里段秀姑巒溪大橋)更是橫跨歐亞板塊及菲律賓海板塊斷層帶建造的一座橋梁，兩大板塊的運動長期以來對於該座橋梁是否有安全的方面的影響，如何在檢測及改善下維持橋梁壽命這是刻不容緩的議題。本研究分別進行橋樑檢測、載重試驗、結構安全分析及橋面高程監測，以判斷橋梁之安全性及承載能力。本橋經檢查預力梁主要之劣化情況有：(1)、預力梁底部分縱向裂紋或鋼筋少部分裸露生鏽；(2)、預力梁上翼板之下緣鋼筋或鋼線部分裸露生鏽；(3)、橫隔梁少部分鋼筋保護層不足造成裸露生鏽；(4)、橫隔梁外側橫向預力鋼線處少部分之鋼線裸露生鏽。橋墩主要之劣化情況有：(1)、橋墩南面防撞鋼板少部分鬆脫；(2)、少數橋墩有縱向或橫向裂紋或鋼筋裸露生鏽。這些劣化情況影響橋梁之耐久性，尚不至於影響橋梁之承載能力及安全。從橋梁載重試驗之結果來評估該橋樑尚能達到規範所規定之活載重 300kgf/m²。橋面高程監測顯示橋墩 P20 至 P24 有較顯著之上升，但橋梁尚無顯著之變化與影響，建議持續進行監測。

關鍵詞：斷層、橋樑檢測、橋梁載重試驗

壹、前言

臺灣位處環太平洋地震帶，地震發生頻繁，時常受到地震災害，如1999年9月21日發生芮氏規模7.3之集集大地震、2016年2月6日發生芮氏規模6.4美濃大地震及2018年2月6日花蓮地震等。在大地震災害發生所造成的建築物倒塌、道路中斷及人員的傷亡，往往亟需人員救援或物資、材料的運送，而橋梁是交通路網不可或缺的一環，更是災害發生時重要的維生線。

2016年2月6日凌晨發生於高雄美濃規模6.6的地震，對台南部分地區造成相當大的災情，而在距離震央約24公里之省道台86線24號橋，大梁結構在P7伸縮縫處向外錯位最大達到59cm，且多處支承受損。24號橋盤式支承因採用舊規範的設計標準，且本次地震力亦超過舊規範的規定值，故有明顯的破壞發生[1]。2017年2月6日花蓮地震造成花蓮市吉安鄉尚志橋、國福大橋，3號橋、七星潭大橋及花蓮大橋等損壞，其中花蓮大橋 P9、P10 橋墩左移形式錯動約70公分[2]。這些橋梁大都是靠近斷層或是跨過斷層，因此造成較大損害。

對於橋梁的檢測，國內目前已有公路相關養護、檢測及補強規範，同時橋梁管理位也制訂相關的養護手冊，如交通部103年12月頒布之「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」[3]、101年2月頒布之「公路養護規範」[4]及97年12月頒布之「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」[5]、公路總局101年3月「公路養護手冊」[6]及高公局102年2月修訂之「高速公路養護手冊」[7]。「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」是對於公路鋼筋混凝土結構一般性橋梁之檢測、評估、維修與補強作業，內容包括檢測準備作業、檢測一般規定、目視及儀器檢測、結構安全評估以及維修與補強對策與工法。

玉富自行車道舊鐵路橋約在民國68年東線鐵路拓寬時興建，全長540公尺，橋面總寬3.8公尺，淨寬3.1公尺，位於花蓮縣玉里鎮跨越秀姑巒溪，為全長10公里玉富自行車道之一小段。由於橋面橫跨了「菲律賓海板塊」與「歐亞大陸板塊」，兩大板塊的運動造成陸地抬升，長年來因為地層擠壓造成第17、18、19號橋墩隆起落差嚴重，影響行車安全。台鐵局在民國78年左右規劃花東線改線計劃，在玉里之東里間截彎取直，工程於民國96年完工通車。舊鐵橋則是在民國98年改建成自行車道。起初自行車道只從玉里通至舊安通車站，被稱為安通鐵馬道，後來又延伸到富里鄉的舊東里車站，改稱為玉富自行車道，為「世界唯一」橫跨兩個板塊的自行車道，沿途視野非常遼闊，適合親子出遊騎鐵馬，也是在地人運動的好地方。不過兩大板塊的運動造成陸地抬升，長年來造成第18至26號橋墩明顯隆起(圖1.1~圖1.2)。

橋梁耐震性能需求可由三項要素組成：安全性、使用性與修復性。設計單位著重於安全性的考量，以相關規範之規定為主；而道路養護主管機關則對橋梁的使用性與修復性較關心。如就道路養護主管機關觀點來看補強策略，則有不同之考量：(一)維持服務機能：對養護主管機關而言，如何使橋梁在震災時損壞最少，將破壞控制在可修復範圍，避免拆除重建影響交通。(二)易於修復：從修復的觀點，損壞若可控制在容易修復之橋梁構件上，例如伸縮縫、支承及橋台背牆等附屬構件。如需在主要結構桿件發揮消能機制，例如橋墩墩底，除應滿足設計規範所規定之主筋不得挫屈、不得發生剪力破壞，更需考量破壞模式，以縮短修復橋梁所需時程。(三)具備經濟性：經濟性是道路養護主管機關的重要考量因素。目前一般常見之補強工法多採橋墩包覆補強來增加韌性。

我國「公路橋梁耐震設計規範」[8]及「鐵路橋梁耐震設計規範」[9]均特別強調垂直地震力對於橋梁上部結構的影響必須作一審慎的檢查。張志超[10]以國內最常見的預力混凝土橋梁為例，並將該規範所規定的『絕對最大垂直向地震力』納入結構分析，其分析結果顯示：現有設計規範所規定的最大垂直向設計地震力，經初步研判，應當不至於危害過去所大量興建的簡支預力混凝土梁橋。

本研究為瞭解玉里斷層之隆起對玉富自行車舊鐵路橋梁之影響，進行橋樑檢測，以精密水準測量量測橋面高程變化，並利用載重試驗及結構分析，評估該橋樑之承載能力。



圖1.1 玉富自行車道舊鐵路橋



圖1.2 玉里斷層經過，P18~P26橋梁隆起

貳、橋樑檢測

2.1 橋梁、橋墩檢測

玉富自行車道舊鐵路橋之平面示意圖如圖2.1-1所示。橋梁及橋墩檢查結果劣化情形彙整如表2.1-1。混凝土結構物中之上部結構、下部結構、橋台、基礎及引道與其他附屬設施劣化程度之評估主要係以裂縫、剝落(剝離)、蜂窩、孔洞、彎曲、變形、鋼筋或鋼腱銹蝕、錨碇部位外露銹蝕、滲水、白華、銹水流出等項目為主。

本橋梁之預力樑主要劣化情況有：

- (1)、預力梁底縱向裂紋或鋼筋少部分裸露生鏽(圖2.1-2)；
- (2)、預力梁上翼板之下緣鋼筋或鋼線裸露生鏽(圖2.1-3)；
- (3)、橫隔梁少部分鋼筋保護層不足造成裸露生鏽(圖2.1-4)；
- (4)、橫隔梁外側橫向預力鋼線處之鋼線裸露生鏽(圖2.1-5)。

橋墩主要之劣化情況有：

- (1)、橋墩南面防撞鋼板鬆脫(圖2.1-6)；
- (2)、少數橋墩有縱向或橫向裂紋或鋼筋裸露生鏽(圖2.1-7)。
- (3)、A2橋台之南側夾牆有裂紋，翼牆有水平裂紋(圖2.1-8)，正面有水平裂縫(圖2.1-9)，可能是鋼筋生鏽所造成。A1橋台之南翼牆混凝土有蜂窩。

由於預力橋梁之撓曲強度主要是由包圍在混凝土內縱向預力鋼線提供，剪力強度由垂直向之剪力鋼筋及混凝土提供，上述劣化情況影響橋梁之耐久性，尚不至於影響橋梁之承載能力及安全。

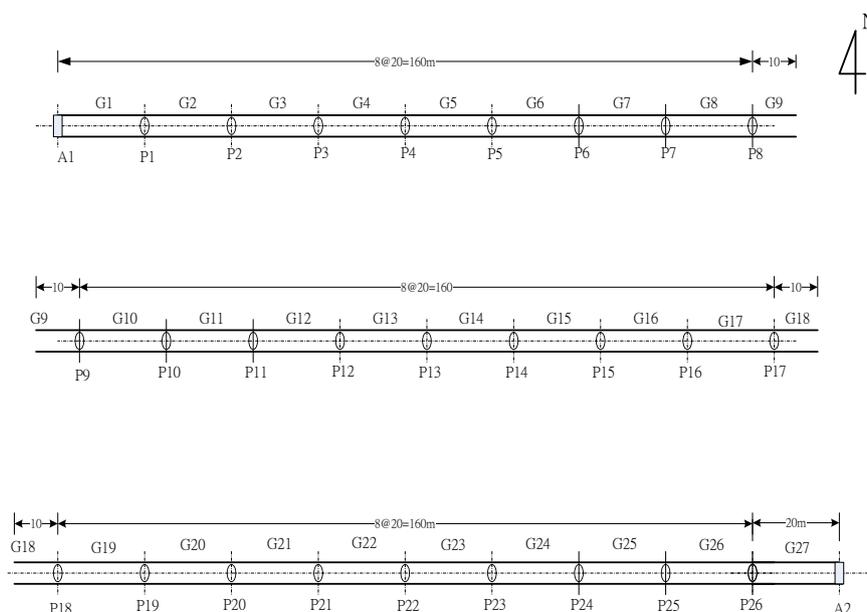


圖2.1-1 玉富自行車道舊鐵路橋之平面示意圖

表2.1-1 橋梁及橋墩檢查結果劣化情形彙整表

構件名稱	說明
G1梁	(1)上翼板之下緣鋼筋或鋼線裸露生鏽。 (2)梁底有輕微縱向裂紋。
P1橋墩	情況尚屬良好。
G2梁	(1)梁端隔梁處鋼筋生鏽造成混凝土開裂。(2)梁下翼板有輕微裂紋。(3)梁底縱向裂紋，梁底鋼筋生鏽。
P2橋墩	情況尚屬良好。
G3梁	(1)梁上翼板之下緣輕微鋼筋裸露生鏽。(2)梁底有輕微縱向裂紋。
P3橋墩	橋墩狀況良好。
G4梁	(1)梁上翼板之下緣輕微鋼筋裸露生鏽。(2)梁底有輕微縱向裂紋。 (3)隔梁鋼筋少量裸露生鏽。(4) G4梁之橫隔梁處預力鋼線裸露生鏽。
P4橋墩	P4橋墩，防撞鋼板鬆脫。
G5梁	(1)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(2)梁底有輕微縱向裂紋。 (3)隔梁鋼筋少量裸露生鏽。(4)橫隔梁處之預力鋼線裸露生鏽。
P5橋墩	防撞鋼板脫落。
G6梁	(1)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(2)梁底有輕微縱向裂紋。 (3)隔梁鋼筋少量裸露生鏽。(4)橫隔梁處之預力鋼線裸露生鏽。
P6橋墩	情況尚屬良好。
G7梁	(1)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(2)梁底有輕微縱向裂紋。 (3)隔梁鋼筋少量裸露生鏽。(4)橫隔梁處之預力鋼線裸露生鏽。
P7橋墩	橋墩三面有補強，厚度40CM。
G8	(1)梁上翼板之下緣鋼筋輕微裸露生鏽。(2)梁底有輕微縱向裂紋。 (3)橫隔梁處之預力鋼線裸露生鏽。
P8橋墩	防撞鋼板鬆脫。
G9	(1)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(2)梁底有縱向裂紋。(3) 橫隔梁之外側鋼筋裸露生鏽，有混凝土脹裂現象

P9橋墩	橋墩三面有補強，厚度40CM。
G10	(1)梁上翼板之下緣輕微鋼筋裸露生鏽。(2)梁底鋼筋輕微鋼筋裸露生鏽，梁底有縱向裂紋。
P10橋墩	(1)橋墩三面有補強，厚度40CM。(2)橋墩鋼筋裸露生鏽。
G11	(1)梁上翼板之下緣鋼筋輕微裸露生鏽。(2)梁底有縱向裂紋。
P11橋墩	南側有混凝土補強，厚度40CM。
G12梁	(1)梁上翼板之下緣鋼筋輕微裸露生鏽。(2)梁底有輕微縱向裂紋。(3)橫隔梁鋼筋輕微裸露生鏽。
P12橋墩	(1)防撞鋼板底部輕微鬆脫。(2)橋墩輕微水平裂紋。
G13梁	(1)梁上翼板之下緣鋼筋輕微裸露生鏽及橫向預力鋼線裸露生鏽。(2)梁底有輕微縱向裂紋，鋼筋裸露生鏽。(3)橫隔梁鋼筋輕微裸露生鏽。
P13橋墩	情況尚屬良好。
G14梁	(1)梁之底面有輕微縱向裂紋，橫隔梁底面鋼筋裸露輕微生鏽。梁之上翼板下緣鋼筋裸露生鏽。G14梁與G15梁之間，幾乎沒有伸縮縫，G14、G15梁之上翼板邊緣鋼筋裸露生鏽。
P14橋墩	(1)橋墩有垂直裂紋。(2)P14橋墩有1支鋼筋裸露生鏽。(3)P14橋墩上之G14、G15梁發生擠壓，梁之上翼板壓碎。
G15梁	(1)梁底有輕微縱向裂紋。(2)梁上翼板下緣鋼線裸露生鏽。
P15橋墩	(1)橋墩西面，防撞鋼板鬆脫。(2)橋墩垂直裂紋、輕微水平裂紋。
G16梁	(1)梁上翼板下緣輕微鋼筋裸露生鏽。(2)梁底有縱向裂紋。(3)橫隔梁處輕微鋼筋裸露生鏽。
P16橋墩	情況尚屬良好。
G17梁	(1)梁上翼板之下緣輕微鋼筋裸露生鏽。(2)橫隔梁鋼筋輕微裸露生鏽。
P17橋墩	橋墩有縱向及橫向裂紋，箍筋裸露生鏽，防撞鋼板鬆脫。
G18梁	(1)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽，混凝土蜂窩，梁側面有雜草。(2)梁底有縱向裂紋，橋面板下之模板部分未拆除。(3)梁上翼板之下緣鋼線裸露生鏽。
P18橋墩	P18橋墩頂，邊緣局部混凝土破損，止震塊局部破損
G19梁	(1)G19梁與G20梁因擠壓，造成梁上翼板邊緣混凝土破損，鋼筋裸露。(2)梁底有縱向裂紋，梁底鋼筋少量裸露生鏽。(3)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽，鋼架輕微生鏽。
P19橋墩	P19橋墩底部防撞鋼板鬆脫。
G20梁	(1)G20梁與G21梁上翼板碰撞，混凝土破損。(2)梁底有縱向裂紋，輕微鋼筋裸露生鏽，梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(3)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。
P20橋墩	情況尚屬良好。
G21梁	(1)梁端支承處之上翼板外緣混凝土蜂窩。(2)梁底有輕微縱向裂紋，梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(3)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽，橫隔梁外側輕微鋼筋裸露生鏽。
P21橋墩	P21橋墩防撞鋼板局部鬆脫。
G22梁	(1)梁底縱向裂紋，橫隔梁輕微鋼筋裸露生鏽。(2)梁上翼板之下緣輕微鋼筋裸露生鏽。

P22橋墩	P22橋墩防撞鋼板鬆脫。
G23梁	(1)G23與G24梁端因擠壓混凝土破損，梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(2)梁底輕微縱向裂紋。(3)梁底輕微鋼筋裸露。
P23橋墩	P23橋墩底部防撞鋼板局部鬆脫。
G24梁	(1)梁橫隔梁處鋼筋輕微裸露生鏽，梁端上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(2)梁底輕微縱向裂紋，鋼筋輕微裸露。(3)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽，橫隔梁處鋼線裸露生鏽。
P24橋墩	(1)局部鋼筋裸露。(2)橋墩之沉箱基礎裸露，刷深2.4M。
G25梁	(1)梁端上翼板混凝土剝落，蜂窩，鋼筋裸露生鏽。(2)G24與G25梁端因擠壓混凝土破損，梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(3)梁底輕微縱向裂紋。(4)梁底縱向裂紋，橫隔梁處鋼線裸露生鏽。
P25橋墩	情況尚屬良好。
G26梁	(1)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽。(2)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽，梁中央下翼板混凝土破損，鋼筋裸露，橫隔梁處鋼筋裸露生鏽。(3)梁底輕微裂紋。
P26橋墩	P26橋墩西面縱向及橫向裂紋。
G27梁	(1)梁底縱向裂縫及翼板下緣輕微鋼筋裸露生鏽。(2)梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽，梁端上翼板混凝土破損。
A2橋台	(1)橋台之南側夾牆有裂紋，翼牆有水平裂紋。(2)橋台之正面有水平裂縫，可能是鋼筋生鏽所造成
A1橋台	橋台之南翼牆混凝土有蜂窩，其他情況尚屬良好。



圖2.1-2 縱向裂紋或鋼筋少部分裸露生鏽



圖2.1-3 梁上翼板之下緣鋼線裸露生鏽



圖2.1-4 梁之橫隔梁底面鋼筋裸露輕微生鏽。



圖2.1-5 梁上翼板之下緣鋼筋裸露生鏽，橫隔梁處鋼線裸露生鏽



圖2.1-6 橋墩有縱向及橫向裂紋，箍筋裸露生鏽，防撞鋼板鬆脫。



圖2.1-7 橋墩混凝土支承墊局部破裂，橋墩頂混凝土局部破裂



圖2.1-8 A2橋台之南側夾牆有裂紋，翼牆有水平裂紋



圖2.1-9 A2橋台之正面有水平裂縫，可能是鋼筋生鏽所造成

2.2 靜態載重試驗

靜態載重試驗是以車輛加載方式進行，施加载重之順序如圖2-2-1所示，每次施加载重後，量測橋梁在中央之高程變化，進而計算撓度，並與理論變位比較，同時觀察梁底是否有裂紋出現。以了解變位是否在安全之範圍及橋梁之行為。

靜態載重試驗時，測試車輛緩慢移動至規劃之位置，靜待一段時間約5至10分鐘，待橋梁充分反應施加载重之效應後，再進行相對變位之量測。為確保橋梁加載試驗之安全，車輛逐步駛至橋梁中央，並觀察試驗加載過程中，橋梁結構是否有發生任何裂紋，確保試驗不會造成橋梁損壞。

載重試驗時程規劃如表2.2-1所示。測量採用Leica Sprinter 250M電子水準儀，配合條碼水準尺量測監測點之高程，其讀數可達0.1mm，該儀器每公里往返測量標準偏差為1mm。測量監測點之變位與理論值差異是否在安全合理之範圍，同時觀察梁是否有裂紋及橋梁之行為。

表2.2-1 載重試驗預定時程規劃

加載及卸載順序	估計時間(分)	備註
(1)加載順序1	10	1.加載之同時，需觀察橋梁底端是否有裂紋產生。有輕微之裂紋(依規範規定0.3mm~0.4mm)及停止載重試驗。
(2)量測監測點之高程，檢查橋梁之狀態。	10	
(3) 加載順序2	10	
(4)量測監測點之高程，檢查橋梁之狀態。	10	
(5) 加載順序3	10	
(6)量測監測點之高程，檢查橋梁之狀態。	10	
(5) 加載順序4	10	
合計	70	

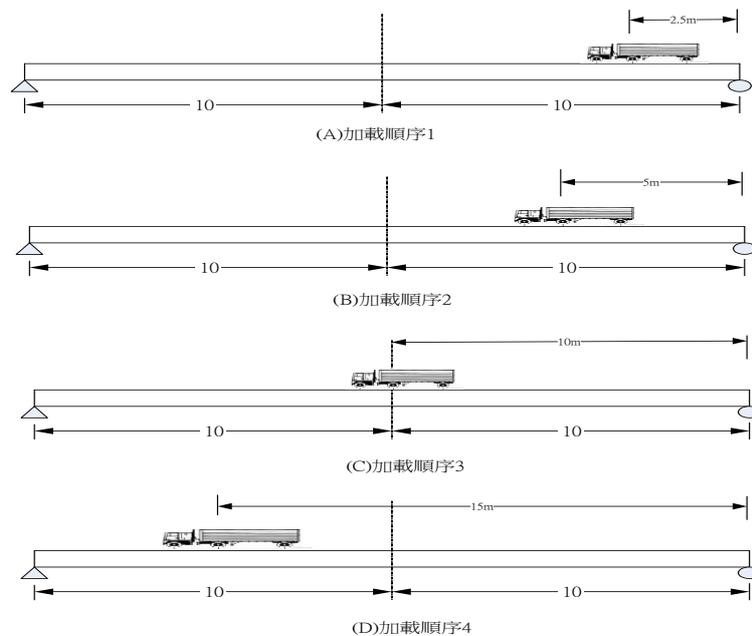


圖2.2-1 靜態載重試驗橋跨之活載重佈置示意圖

參、檢測結果

3.1 橋樑檢測結果

由於預力橋梁之撓曲(彎曲)強度主要是由包圍在混凝土內縱向預力鋼線提供，剪力強度由垂直向之剪力鋼筋及混凝土提供，上述劣化情況影響橋梁之耐久性，尚不至於影響橋梁之承載能力及安全。

3.2 載重試驗結果

載重試驗之車輛寬度為2M，經地磅秤重為12.28公噸。選擇距離A2最近之G27梁來進行，試驗結果(表3.1-1)顯示當車輛停在跨度中央時之最大撓度(即下陷)為0.5mm。同時檢查梁之底面，並無新增加之橫向裂紋。理論分析撓度為0.69mm。因此本橋靜態載重試驗之承載力評估係數為

$$RF = \frac{12.28}{11.25} = 1.09 > 1.0$$

又理論分析集中載重作用在跨度中央時，梁之最大撓曲拉應力為 5.61 kgf/cm^2 ，遠低於橋梁規範所規定之開裂應力為 $2.0(fc')^{0.5} = 2.0(350)^{0.5} = 37.4 \text{ kgf/cm}^2$ ，因此玉富自行車舊鐵路橋之大梁可很安全的乘載規範所規定之 300 kgf/m^2 活載重。既使活載重為 400 kgf/m^2 ，梁之最大撓曲拉應力為 7.47 kgf/cm^2 ，亦遠低於橋梁規範所規定之開裂應力。

雖然本橋之各橋梁有許多縱向裂縫，這些裂縫僅與橋梁之耐久性有關。根據載重試驗結果及理論分析，評估本橋做為自行車道使用，可以安全的承載 400 kgf/m^2 活載重。

表3.1-1 載重試驗結果

載重車輛位置	水準測量讀數 (m)	撓度(mm) (試驗值)	撓度(mm) (理論值)
在引道，未在G27梁上時	1.5920	-	-
在G27梁之1/4跨度時	1.5922	0.2	0.39
在G27梁之1/2跨度時	1.5925	0.5	0.69

3.3 耐洪能力評估

依據經濟部水利署第九河川局105年5月之秀姑巒溪水系治理規劃檢討報告[11]，秀姑巒溪在玉里大橋洪峰流量 Q_{100} 為12100CMS，平均流速為3.88m/sec。在斷面39-1(自行車橋(上))之計畫洪水位為131.9m，目前之堤頂高為132.21m，略高於計畫洪水位。該報告謂：「河道變遷依秀姑巒溪水系治理規劃檢討報告，民國99年以後其中下游段平均河床呈現為淤積」，因此對本橋之基礎無沖刷之現象，目前只有P24橋墩可看見沉箱頂面，其沖刷深度為2.4公尺，其他橋墩之沉箱頂面均在河床之下。105年7月8日尼伯特颱風的中心於臺東太麻里登陸，玉里大橋之洪水位如圖3.3所示，洪水位在橋墩帽梁下，而本橋梁並無橋墩傾斜基礎沖刷情形，因此評估本橋之耐洪能力是安全。



圖3.3-1 105年7月8日尼伯特颱風的中心於臺東太麻里登陸時玉里大橋之洪水位

3.4 耐震能力評估

依公路橋梁耐震設計規範，設計地震下之水平設計地震力 V_D 應依下式計算：

$$V_D = \frac{I}{1.2\alpha_y} \left(\frac{S_{aD}}{F_{uD}} \right)_m W$$

(3.1)

經計算地震力係數如下

縱向設計水平地震力係數	$K_{hx} =$	0.222	
縱向最大考量水平地震力係數	$K_{hx(m)} =$	0.184	
縱向最小水平地震力係數	$K_{hx*} =$	0.217	
			Use $K_{hx} =$ 0.222
橫向設計水平地震力係數	$K_{hy} =$	0.222	
橫向最大考量水平地震力係數	$K_{hy(m)} =$	0.227	
橫向最小水平地震力係數	$K_{hy*} =$	0.217	
			Use $K_{hy} =$ 0.227

垂直地震力 $K_{hz} = 0.198 * (\text{上部結構重}) + 0.188 * (\text{下部結構重})$

現地測量橢圓形橋墩之尺寸，周長 960cm，短徑 180cm，長徑 380cm，為簡化及保守起見，將橢圓形短面以等面積之矩形面積如圖 3.4-1 所示，來分析橋墩之耐震能力。

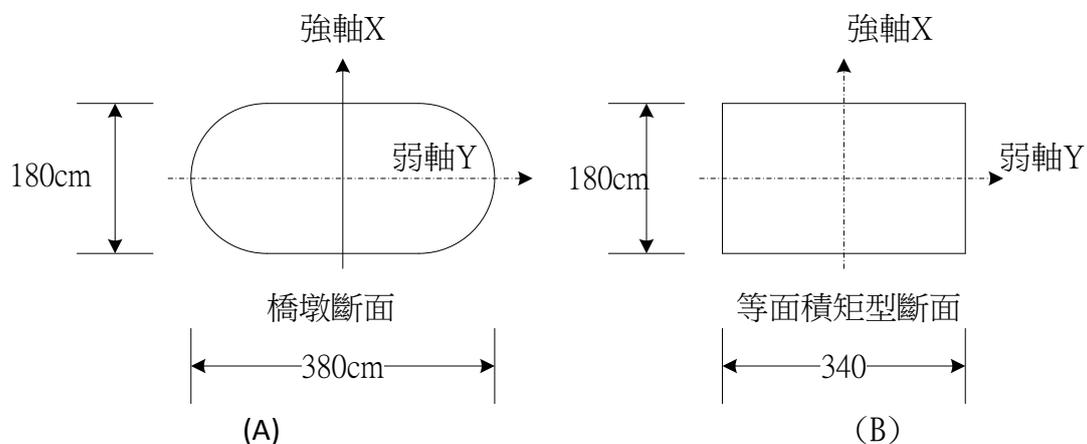


圖 3.4-1 橋墩之橢圓形斷面及等面積之矩形斷面

假設橋墩之混凝土抗壓強度為 $f_c' = 210 \text{kgf/cm}^2$ ，縱向鋼筋之降伏強度 $f_y = 4200 \text{kgf/cm}^2$ ，橫向鋼筋之降伏強度 $f_y = 2800 \text{kgf/cm}^2$ ，經 P15 橋墩鋼筋掃描結果顯示縱向鋼筋為 D32，間距為 20 公分，箍筋為 D13，間距 18 公分。因此假設採用縱向鋼筋用 50-D32 鋼筋，橫向鋼筋用 D13@18cm 來分析，其 $A_s = 50 * 8.143 = 407.15 \text{cm}^2$ ，以 SAP2000 軟體分析， $P = 300 \text{tf}$ 時，由內插法求得 $M_{ny} = 1491.3 \text{tf-m}$ ， $M_{nx} = 2845 \text{tf-m}$ 。橋墩高度取 $H = 8.4 \text{m}$ ，假設橋墩底端發生塑性鉸時，橋墩之設計剪力 $V_{ux} = 1.3 * M_{ny} / H = 1.3 * 1491.3 / 8.4 = 231 \text{tf}$ 。 $V_{uy} = 1.3 * M_{nx} / H = 1.3 * 2845 / 8.4 = 440 \text{tf}$ 。

X 方向之剪力強度 $V_{ny} = V_s + V_c$ ，橫向鋼筋假設為 D13@18cm，

$$V_s = 2 * 1.267 * 2800 * (180 - 1.3 - 3.22 / 2 - 10) / 18 = 65863 \text{kgf} = 65.9 \text{tf}$$

$$V_c = 0.53 * (0.33 + 300000 / 140 / 61200) (210)^{0.5} * 61200 * 0.8 / 1000 = 137.3 \text{tf}$$

$$\Phi V_n = 0.85 * (65.9 + 137.3) = 172.7 \text{tf} < V_{ux} = 231 \text{tf} \text{ (不合格)}$$

Y 方向之剪力強度 $V_{nx} = V_s + V_c$ ，橫向鋼筋假設為 D13@18cm，

$$V_s = 2 * 1.267 * 2800 * (340 - 1.3 - 3.22 / 2 - 10) / 18 = 128932 \text{kgf} = 128.9 \text{tf}$$

$$V_c = 0.53 * (0.33 + 300000 / 140 / 61200) (210)^{0.5} * 61200 * 0.8 / 1000 = 137.3 \text{tf}$$

$$\Phi V_n = 0.85 * (128.9 + 137.3) = 226.3 \text{tf} < V_{uy} = 440 \text{tf} \text{ (不合格)}$$

因此橋墩需要做剪力補強。撓曲強度之應力比為 $0.297 < 1.0$ (合格)

傳統之預力剪支橋梁之支承，一端為固定端另一端活動端，依公路及鐵路橋梁耐震設計規範之規定，梁端置於活動支承者，其防落長度 L_N 須符合下式之規定：

$$L_N \geq L_{Nmin} \text{ 且 } L_N \geq u_R + u_G \quad (3-2)$$

其中

$$L_{Nmin} = (50 + 0.25L + 1.0H) (1 + S^2 / 8000)$$

$$u_R = \sqrt{u_{R1}^2 + u_{R2}^2} \quad (3-3)$$

$$u_G = \varepsilon_G \times L_e \times S_{MS} / S_{DS}$$

式中 L_N ：梁端防落長度，(cm)。

u_R ：最大考量地震作用下所引致梁端與橋墩頂部之相對變位，(cm)。

u_G ：地震引致相鄰橋墩間表層地盤之水平相對變位，(cm)。

L_{Nmin} ：最小梁端防落長度，(cm)。

L ：跨徑，(m)。

H ：基面起算下部結構之高度，(m)。對橋台而言，採用鄰近橋墩之橋墩高度，但單跨橋時， $H = 0$ ；對橋墩而言，採用該橋墩高；對懸臂式伸縮接頭言，取接頭前後鄰近橋墩之平均高度。

S ：橋墩之斜角，為橋墩橫向支承的連線與垂直橋軸方向之夾角，(度)。

u_{Ri} ：振動單元 i 之最大變位， $i = 1, 2$ ，(cm)。

ε_G ：地盤變位係數，其值隨地盤種類而異。第一類地盤時 $\varepsilon_G = 0.0025$ ；第二類地盤時 $\varepsilon_G = 0.00375$ ；第三類地盤時 $\varepsilon_G = 0.005$ ；台北盆地時 $\varepsilon_G = 0.00625$ 。

L_e ：影響梁端防落長度之下部結構間距，(cm)。

茲橋梁高度為 8.4m，跨徑 20m，因此最小梁端防落長度為 $L_{Nmin} = 50 + 0.25 * 20 + 1 * 8.4 = 63.4 \text{cm}$ ，橢圓形橋端短向之長度為 180cm，扣除梁端之間距 10cm，尚可提供約 85cm 之防落長度，大於規範之最小梁端防落長度。橋梁橫向之防落長度約為 90cm，也大於規範之最小梁端防落長度，另外也提供止震塊防落設施(圖 3.4-2~3.4-3)。



圖3.4-2 縱向梁端防落長度

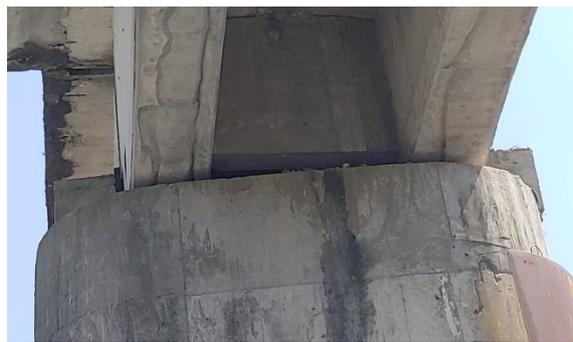


圖3.4-3 橫向梁端止震塊及防落長度

3.5 精密水準測量結果

橋梁長期監測之水準測量成果表3-3-1，第一次施測為108年11月7日，第2次施測為109年3月10日，比較兩次施測結果顯示橋墩 P20至 P24有較顯著之上升，上升量約在1cm至1.3cm之間。但橋面並無顯著之變化(圖3.5-1~3.5-2)，應持續監測。

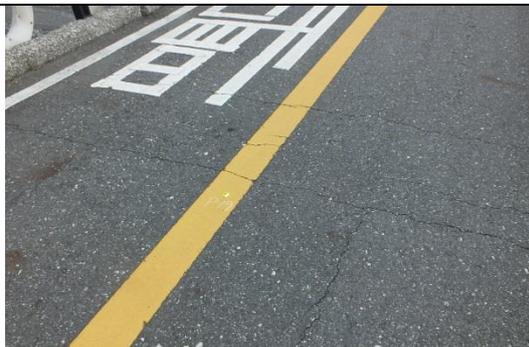


圖3.5-1 108年11月7日 P19測點之橋面



圖3.5-2 109年3月10日 P19測點之橋面



圖3.5-3 108年11月7日 P21測點之橋面



圖3.5-4 109年3月10日 P21測點之橋面

表3.5-1 水準測量成果表

測站點號	高程(m)		高程變化(m)	備註
	日期			
	1081107	1090310		
A1	135.1192	135.1192	0.0000	1.測站 A1、A2 為橋台，A3 為引道。 2.P1~P26 為橋墩。 3.高程變化負號為下陷，正號為上升。
P1	135.2214	135.2209	-0.0005	
P2	135.3137	135.3125	-0.0012	
P3	135.3516	135.3510	-0.0006	
P4	135.377	135.3751	-0.0019	
P5	135.4213	135.4214	0.0001	
P6	135.4387	135.4439	0.0052	
P7	135.4516	135.4563	0.0047	
P8	135.4646	135.4705	0.0059	
P9	135.4609	135.4648	0.0039	
P10	135.4563	135.4574	0.0011	
P11	135.4729	135.4787	0.0058	
P12	135.4634	135.4669	0.0035	
P13	135.5129	135.5122	-0.0007	
P14	135.5498	135.5546	0.0048	
P15	135.58395	135.5901	0.0061	
P16	135.639	135.6365	-0.0025	
P17	135.7055	135.7057	0.0002	
P18	135.7514	135.7514	0.0000	
P19	136.3087	136.3130	0.0043	
P20	136.3352	136.3484	0.0132	
P21	136.3331	136.3451	0.0120	
P22	136.2982	136.3084	0.0102	
P23	136.2706	136.2826	0.0120	
P24	136.2985	136.3099	0.0114	
P25	136.26775	136.2753	0.0075	
P26	136.2558	136.2632	0.0074	
A2	136.2404	136.2468	0.0064	
A3	136.2656	136.2689	0.0033	

肆、結 論

本橋經檢查預力梁主要之劣化情況有：(1)、預力梁底部分縱向裂紋或鋼筋少部分裸露生鏽；(2)、預力梁上翼板之下緣鋼筋或鋼線部分裸露生鏽；(3)、橫隔梁少部分鋼筋保護層不足造成裸露生鏽；(4)、橫隔梁外側橫向預力鋼線處少部分之鋼線裸露生鏽。橋墩主要之劣化情況有：(1)、橋墩南面防撞鋼板少部分鬆脫；(2)、少數橋墩有縱向或橫向裂紋或鋼筋裸露生鏽。這些劣化情況影響橋梁之耐久性，尚不至於影響橋梁之承載能力及安全。

玉富自行車舊鐵路橋之橋面是在原鐵軌及道渣上澆灌混凝土之後，再鋪設瀝青混凝土路面。路面及欄杆損壞情況主要有：(1)、橋梁伸縮縫處AC路面、緣石開裂；(2)、扶手支座挫曲、斷裂或扶手分離；(3)、護欄之欄杆續接觸損壞、或分離；(4)、欄杆支架斷裂或挫曲。這些損壞尚不影響橋梁之安全。

載重試驗之車輛重為12.28公噸。選擇G27梁來進行，試驗結果顯示當車輛停在跨度中央時之最大撓度(即下陷)為0.5mm。同時檢查梁之底面，並無新增加之橫向裂紋。理論分析撓度為0.69mm。理論分析集中載重作用在跨度中央時，梁之最大撓曲拉應力為 5.61kgf/cm^2 ，遠低於橋梁規範所規定之開裂應力為 37.4kgf/cm^2 ，因此玉富自行車舊鐵路橋之大梁可很安全的承載規範所規定之 300kgf/m^2 活載重。既使活載重為 400kgf/m^2 ，梁之最大撓曲拉應力為 7.47kgf/cm^2 ，亦遠低於橋梁規範所規定之開裂應力。雖然本橋之各橋梁有許多縱向裂縫，這些裂縫僅與橋梁之耐久性有關。根據載重試驗結果及理論分析，評估本橋做為自行車道使用，可以安全的承載 400kgf/m^2 活載重。

依據經濟部水利署第九河川局105年5月之秀姑巒溪水系治理規劃檢討報告，該報告謂：「至於河道變遷依秀姑巒溪水系治理規劃檢討報告，民國99年以後其中下游段平均河床呈現為淤積」，因此對本橋之基礎無沖刷之現象。105年7月8日尼伯特颱風的中心於臺東太麻里登陸，玉里大橋之洪水位達到橋墩帽梁下，本橋梁並無橋墩傾斜基礎沖刷情形，因此評估本橋之耐洪能力是安全。

本橋之橋齡約40年，屬於老舊橋梁，因此其橋墩之抗剪強度不符合現行橋梁規範之規定，建議補強來改善。目前橋面高程監測顯示橋墩P20至P24有較顯著之上升，但橋面尚無顯著之變化與影響，建議持續進行監測。

參考文獻

- [1] 陳嘉盈、陳新之、吳弘明、林勤福、陳彥豪、美濃地震橋梁災害之調查與修復設計以台86線 24號橋為例，中華技術，第111期，2016年6月，第136-147頁。
- [2] 經濟部中央地質調查所，20180206 花蓮地震地質調查報告，107年3月。
- [3] 交通部頒布，「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」，103年12月。
- [4] 交通部頒布，「公路養護規範」，101年 2月。
- [5] 交通部頒布，「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」，97年12月。
- [6] 交通部公路總局頒布，「公路養護手冊」， 101年3月。
- [7] 交通部臺灣區國道高速公路局技術規範， 「高速公路養護手冊」，100年2月。
- [8] 交通部頒佈，公路橋梁耐震設計規範，民國 98 年 6 月。
- [9] 交通部頒佈，鐵路橋梁耐震設計規範，民國 95 年 12 月。
- [10] 張智超，垂直向地震對於既有簡支預力混凝土梁安全性的探討，臺灣公路工程第 39 卷第 2 期，民國 102 年 2 月。
- [11] 經濟部，秀姑巒溪水系治理規劃檢討，105年5月。

開口契約採評分及格最低標決標方式之可行性研究
A Feasibility Study on the Application of Qualified Low Bidding for Open Contracts

徐勝明^{1*} 郭錦崑²

Sheng-Ming Hsu¹, Chin-Kun Kuo²

¹ 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 and Environmental Resources Management,

Dahan Institute of Technology

² 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 副教授

Associate Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management,

Dahan Institute of Technology

* Corresponding author: ssm6422@hotmail.com

摘要

在政府採購法施行多年來，「最低標」一直是政府公共工程採購最常採用之決標方式。在合理的產業環境及市場條件下，這種方式固然可以很有效率的節省公帑，但在廠商為維持生存及同業競爭壓力，往往造成低價搶標、履約糾紛及工程品質不佳等情事發生。有效的採行「最有利標」，而非一昧的盲目使用最低標決標，才是能夠實行政府採購法的精神所在。而採用「評分及格最低標」之決標方式，期能藉由評分機制，淘汰部分不合於所訂標準之廠商，以增進採購品質，並藉由價格競爭機制，發揮與最低標決標方式相近之降低決標金額以節省經費之作用。

本研究係開口契約採購為核心，探討採評分及格最低標決標方式的效益及面臨之癥結，期望能釐清並整合法規與實務，促進廠商在政府採購開口契約的機制下公平自由競爭。

關鍵詞：開口契約、評分及格最低標

壹、前言

政府採購法施行前，機關均以合於招標文件規定要件之最低標為決標原則。這種決標方式，雖能符合公開、公平、透明之精神，反易造成廠商以品質良莠不齊之採購標的，進行所謂之低價搶標，致使機關欲採購功能佳及品質優良之標的受到限制，有鑒於此乃訂定政府採購法，提供不同類型之採購機制或決標方式，供各機關辦理採購時之選擇。

依政府採購法第 52 條規定，機關辦理採購之決標原則分有「訂於底價之最低標決標」、「未訂底價在預算內之最低標決標」、「最有利標決標」、「複數決標」等四種。機關辦理採購的決標方式主要分為「最低標決標」和「最有利標決標」等二種，其中最有利標決標方式，旨在避免因廠商惡性削價競爭，降低採購標的之品質，依政府採購法第 56 條規定，機關辦理採購之最有利標決標，應依招標文件所規定之評審標準，就廠商投標標的之技術、品質、功能、商業條款或價格等項目，作序位或計數之綜合評選，評定最有利標。價格或其與綜合評選項目評分之商數，得做為單獨評選之項目或決標之標準。

108 年各機關採行最有利標（含準用及參考）決標原則之採購案件共 55,148 件，占年度總採購件數比率 28.11%，決標金額 5,284 億餘元，占年度總採購決標金額比率 28.23%。104 年至 108 年各機關採行最有利標之情形詳如表 1 所示，由此可看出近 5 年間最有利標之決標件數比率是逐年成長，決標金額大致上也呈現逐年成長的趨勢。

表1 104至108年最有利標之決標件數及金額一覽表

年	決標件數	比率	決標金額	比率
104年	42,282件	23.75%	1,766億元	17.21%
105年	44,739件	24.81%	2,421億元	20.09%
106年	48,980件	26.18%	3,396億元	24.75%
107年	53,846件	27.17%	6,173億元	34.99%
108年	55,148件	28.11%	5,284億元	28.23%

資料來源：行政院公共工程委員會。

政府採購法施行長久以來，各機關常圖作業方便或唯恐限制競爭，均以低價發包公共工程。致廠商只注重價格，而忽略「效率」及「品質」的提升。最低標決標制度對公共工程之負面影響，國人是目共睹的，也就是所謂一分錢、一分貨，價格低、工程品質就是不行。但最低標決標卻仍是政府機關辦理採購、選擇決標制度的最愛。表象上，這樣的機關決策模式看似不合理，但其實是非不得已的選擇。機關不選擇低價廠商，就表示願意用更高的代價將承攬的機會給別的廠商，非但納稅人會質疑浪費公帑，未得標的較低價廠商也要向機關表達嚴正抗議（謝定亞，2012）。

而國內鼓吹「最有利標」人士常以一些失敗工程案例作為施工標不宜以「最低標」決標之理由。但問題並不在「最低標」，而是未嚴格審格投標廠商資格，工程失敗原因在於由不具標案執行能力廠商得標的結果，應與「最低標」無關。

施工標案若採取「最有利標」，也極易產生弊端。自施行最有利標決標方式以來，因部分採購案之評審委員專業不足、法令幾經修改及部分採購人員對相關法令不夠熟悉，種種因素造成諸多弊端，如評選委員收受不當利益、官商勾結等種種弊案時有所聞。由於施工標案之金額常極為龐大，而最有利標決標較為「主觀」，評選委員會評選最有

利標時很可能受到各級長官及民意代表之壓力，影響評選結果。就算沒有政治力介入，金額龐大的重要標案由只有兩千元左右的審查費，無暇深入了解工程特性與重點，或由缺乏相關實務經驗，將來也不負任何專案成敗責任之學術界人士所組成之評選委員會決定也令人有所顧慮。

行政院公共工程委員會於 95 年 5 月 23 日函頒「機關異質採購最低標作業須知」，雖然提供機關辦理異質性低、最低標決標案件之依據，惟因上開作業須知屬行政規則位階，以異質採購最低標決標亦為決標方式之一而言，位階似顯過低。工程會乃於 99 年 11 月 30 日增訂政府採購法施行細則第 64 條之 2，明訂機關辦理異質之工程、財物或勞務採購，得於招標文件訂定評分項目、各項配分、及格分數等審查基準，並成立審查委員會及工作小組，採評分方式審查，就資格及規格合於招標文件規定，且總平均評分在及格分數以上之廠商得以開價格標，而以最低標決標，使法規制度較為完備。

審計部 98 年 10 月 14 日台審部五字第 0980004108 號函，關於該部調查各級政府 96 年及 97 年度異質採購最低標辦理情形，該函曾敘明：「採用異質採購最低標決標方式，除可藉由評分機制，淘汰部分資格與規格不合於所訂標準之廠商，以增進採購品質，亦可藉由價格競爭機制，發揮與最低標決標方式相近之降低決標金額以節省經費之作用。」對於採用異質採購最低標決標方式持正面看法。

惟因行政院公共工程委員會 105 年 7 月 29 日工程企字第 10500239540 號函停止適用「機關異質採購最低標作業須知」，政府採購法施行細則於民國 108 年 11 月 8 日修正公布刪除第 52 條第 2 項採最有利標以異質為條件之規定，及刪除與「異質」相關之文字及條文（修正條文第 64 條之 2、第 66 條）。依最新政府採購法施行細則第 64 條 2 規定，將「異質採購最低標」修正名稱為「評分及格最低標」。

綜合上述分析，目前政府採購法中公共工程採購之決標方式有三種，即最低標、最有利標及評分及格最低標，各機關在辦理工程採購時，絕大多數案件的決標方式仍是採最低標，僅有少部分採購案件為確保廠商具有製造、供應或承做能力，以避免履約能力不佳之廠商得標，日後衍生出工程糾紛、工期延宕或品質不良等履約爭議，冀望以最有利標之決標方式辦理工程採購，以期評選較優良廠商，以利工程順利執行。

開口合約為一種採用預約式之採購合約，計價採實作實算方式，使工程預算在編列後能有效利用；另可將不同區域或同性質工程多件合併成一標發包，並採用年度發包方式降低發包次數以節省人力物力；或可利用合約中隨報隨修之條文模式，提升設施維護之時程效率等，諸多對政府單位有利之採購特性，使開口合約逐漸盛行於公共設施維護及搶修工程（劉宛陵，2006）。在各類因履約地點、時間及數量之不確定性，定期或不定期維護保養、零配件供應更換擴充或故障維修等採購，各地方政府若正確辦理開口契約與應用，將能因應緊急性採購、減輕機關單位人力負荷，也可避免分批辦理與採小額採購之疑慮，減少重複簽辦採購行政程序，提升採購效率與節省採購成本。

開口契約則得標廠商之相關經驗、財務健全度與專案管理能力就會影響專案之成敗。所謂評分及格最低標決標方式，依採購法施行細則第 64-2 條規定，機關以最低標決標方式辦理採購，得辦理最有利標評選辦法，總平均評分在及格分數以上之廠商開價格標，採最低標決標。亦即分段開標，採評分方式審查，但評分項目不包括價格，最後

一段為價格標。也就是對此類標案一般採取「資格預審」制度，通過「資格預審」的廠商均被認定為有能力執行該採購案，也才有資格在第二階段投標，在第二階段則採取「最低標」方式決標。

然而，在政府採購法並無直接條文來規範開口合約，目前開口契約中多以最低標為主，開口契約工期長至一年，對於投標者組織能力、設備能力與品質保證皆應採事先嚴格規範。因此，各機關應宜研究改變目前採最低標決標方式，研議採行其他較佳決標模式。評分及格最低標決標之方式，其係綜合最有利標及最低標之各別優點，於資格、規格審查後，篩選出合於機關需求標準之較優廠商進入價格標，以達最有利標擇優汰劣之效果，兼顧有「擇優」、「低價」之要求。導入評分及格最低標決標方式，將可改善有意投入開口契約工程廠商之惡性競標，致得標價金不具合理利潤，而潛在的根本問題，以及改善廠商履約情形，防範其有關竣工驗收、估驗計價不實的問題。

因有著實務之困境與癥結，復以法制變革的適用，促發個人對此依採購方式深入探究之動機，期能經此研究而使實務與法制更臻善境。本文之研究動機為開口契約採評分及格最低標決標方式，有無實質功能，及探討評分及格最低標決標方式於機關採購於法制及執行現況所遭遇問題。

因此本研究目的希望透過相關文獻探討開口契約採評分及格最低標之優缺點分析，並提供具體改善建議。希望能對採購的公平公正和公共工程品質的提升提供正向改善建議，以提高採購效益，俾利公共工程之推行。

貳、開口契約

一、開口契約之介紹與定義

開口契約在政府採購法中並無明文規定，是由行政院主計處推動的採購方案，主要是為應付天然災害造成的損害。依據行政院主計處訂定的「各級地方政府訂定災害搶險搶修開口契約應行注意事項」、以及行政院訂定發布的「各級政府災害救助、緊急搶救及復建經費處理作業要點」和「中央對各級地方政府重大天然災害救災經費處理辦法」中都提及，開口契約係指在一定期間內，數量不確定並以一定金額為上限之採購，以價格決標，視實際需要隨時通知廠商履約之契約。

屏東縣政府「災害搶險搶修開口契約防貪指引手冊」指出，所謂「開口契約」(Open Contract)，或稱開口合約，或稱預約式契約，是指：「機關在一定期間內，以一定金額或數量為上限之預定採購，其發包時係以「各項單價」及其「預估需求數量」之乘積加總計算決標(決定最低標)。至廠商得標後於何時及如何履約，則具有執行彈性，須視機關之實際需要，以交辦單通知廠商施作或供應，其價金之給付採實作實算方式(即依簽約項目單價及實際施作或供應之數量)估驗計價，並於達到約定總金額或合約期間屆滿時結束之契約」。內政部消防署委託研究報告「災害防救開口契約之研究」中，定義開口契約(Open Contract，亦可稱為「開口合約」或「預定性契約」)有別於以總價承攬方式之發包作業，在採購上具有相當大的彈性，估驗計價得在契約總價範圍內依實作數量調整工作數量。

所謂「開口合約」，是機關在年度工程預算內，依政府採購法公開招標方式，徵選

一家設計監造公司及施工包商。「設計監造開口合約」係採建造費百分比最低者得標，「施工開口合約」係採「單價計算法」最低者獲選。得標之設計公司及施工包商於每次災害發生後，由機關通知指示在第一時間共同前往現場勘災、緊急搶通道路及後續整治復建之設計與施工（徐振煌，2000）。廣義而言，開口合約為「機關與廠商訂定採購契約（契約數量不確定）後，廠商並不須立即履行，而待機關需要時再執行契約（費用依完成數量而定）」（林金面，2005）。而開口合約實務上之作法，業主將一定期間內可能之採購項目與預估數量列出來，並透過政府採購招標程序進行發包，在契約成立後，依契約內容規定，業主有權要求廠商於履約期限內不限次數履行其工作項目，直至該項目計價達契約總金額，而當累計計價達契約總金額或約定之總金額成數時，契約便結束，通常合約期間為一年（張智元等，2005）。

劉宛陵（2006）將其定義為「不定期履行、不確定數量之契約，其有效期間通常以年為單位，契約價金採實作實算方式計算。在契約期限內，甲方得不限次數，隨時以通知單方式將工作項目、數量、以及完成期限，通知乙方履行。」廖恒德（2009）指出開口契約為「機關與承商訂定採購契約（契約數量不確定）後，承商並不須立即履行，而待機關需要時由機關通知再執行契約（費用依完成數量而定）」。其研究在探討公共設施應用開口契約作施工、維護及技術服務（設計、監造）之作業，並將其定義為不定期履行、不確定數量之契約，其有效期間通常以年為單位，契約價金採實作實算方式計算為多。

二、開口契約之主要特性與應用

開口契約的設定主因政府在救災階段資源不足，故希望藉助民間力量進行災時搶救與災後復建等需求，故有開口契約採購行為的發生。開口契約的運作模式具有相當彈性，並有分散風險、高時效性、降低成本、降低人力負荷等優點。因為開口契約諸多對政府單位有利之採購特性，使開口契約逐漸盛行於公共設施維護及緊急搶修工程。

內政部消防署委託研究報告「災害防救開口契約之研究」指出，近年來開口契約已成為採購發包作業選項之一，希望藉此達到快、省、好之目標，其主要特性可歸納為以下三點：

- (1) 工程施作不定時、不定量；
- (2) 以價格決標，工程結算依照實作實算方式計算，有效利用公帑；
- (3) 隨報隨修方式，提昇施作時程效率。

也因為這樣的特性非常符合災害發生後眾多不確定性狀況的需求，因此成為災後緊急應變甚至緊急復原重建時非常重要的工具之一。

開口契約以標的物區分，可分成：(1) 工程搶修、搶險（工程類）；(2) 民生物資類；(3) 技術服務。以應用方式區分，包括：

- (1) 一般維護型（常態性作業）。

意指例行性維護工作（例如：裂縫修補、伸縮縫積土清除、局部瀝青填補等），或常態性的提供服務，業主可即時通知廠商進行修繕或依據固定數量提供產品，節省每次辦理維修標案之行政程序。

- (2) 緊急搶修型（緊急應變作業）

緊急作業是在平時整備的作業中，針對可能發生的天然災害預先簽訂契約，一旦發生緊急需求（例如：颱風災害修繕案件的保護工程或物資供應），即通知廠商就工作項目、內容及時程進行告知與確認，要求廠商立即進行履約（施工維修或物資供給），以解決緊急需求。

(3)兩者混合型

兩者混合使用之契約通常使用在工程方面，且以一般維護為主，納入部分緊急搶修條文。廠商除執行一般維護工作外，有緊急修繕需求時，必須接受業主要求執行緊急搶修之工作。此類型開口契約的簽訂一般是為節省業主臨時辦理緊急修繕標案之行政程序，但緊急搶修工作的指派較少發生。

三、開口契約之相關研究

目前國內開口契約相關之研究文獻多以維護性質為探討主題，相關研究之整理簡單介紹如下：

莊惠芳 (2019)認為風景區的設施修繕工程因需顧及遊客對於設施安全性、完整性、方便性的需求，且為不中斷提供設施服務，其修繕工程需於短時間內完成，故同樣具有開口契約不定時不定量之條件。該研究係針對東部海岸國家風景區的維修工程開口契約進行研究，探討此濱海型風景區的維修工程採購於採用開口契約時，其預算、工項之編列的合理性及相關檢討及改進。

劉家銘 (2019)觀察到政府機關為紓解人力短缺問題及提升監造與工程品質，通常亦將此類監造技術服務工作以開口契約型式委外辦理。但因故工期展延或逾期時，機關與監造廠商間對於此類相對展延監造履約期限是否得以隨之追加服務費，常發生履約爭議之情事。該研究以國內各直轄市當前執行的監造技術服務開口契約進行問題探討及提出改善建議，並提出一公平合理之開口契約型式之監造技術服務追加監造服務費之計算與契約模式及管控與執行機制。

吳易儒 (2019)表示目前於醫院辦理之開口契約，往往於招標時遭遇多次流（廢）標，導致招標不順利，以致影響醫院修繕工程之執行。該研究旨在探討醫學中心醫院建築工程修繕開口契約，整理歸納出醫院辦理和施工廠商參與建築工程開口契約之招標、履約等問題，進而研擬相關解決對策，以提高廠商投標開口契約之意願，與減少履約執行上之爭議及困難。

吳孝智 (2018)則在進行橋梁維修開口契約精進作法之研究，該研究先從法規面進行分析，進而拓展至技術面與監造人員監工時的執行面，探究我國現行之橋梁維修開口契約對於橋梁維護之利弊。研究並以當前桃園市政府橋梁養護發包策略進行分析，比較不同策略下所節省之人員調度與施工品質績效。

熊格致 (2017)認為開口契約亦是未來機關學校在辦理一般例行性之小額經常性採購之趨勢，該研究係蒐集國立大學採用開口契約之採購資訊作為研究對象，並針對國立臺灣科技大學實際辦理開口契約之採購案例進行探討。以研擬學校總務單位在辦理土木建築修繕類、其他設施設備維護及財務類等項目採購時，採用開口契約案件之發包策略。

洪文榮 (2017)表示雖然以開口契約來執行公共工程的設計與監造技術服務案，具有

後續擴充的特性，與高機動性、高執行效率之優勢，但當前針對技術服務開口契約的規定是少之又少，很多主辦機關在擬訂招標文件時，並無相關法令與標準可供依循參考，以致於履約階段易衍生爭議與問題，甚至違反政府採購公平合理原則。於是該研究旨在分析及探討當前開口技術服務執行所發生的問題，並提出建議對策。

鄭平忠 (2015)從避難需求探討嘉義縣物質儲備與開口契約能量，研究透過地震災損評估之軟體運算物資整備之避難需求，用以檢討地方現有之儲備資源與開口契約檢核物資之供需問題。針對避難收容及物資整備之問題提出建議之對策，並就開口契約應具備之項目及內容研擬改善策略及決定資源配置之程序。

楊雅清 (2014)則以新北市公共工程開口契約承包商為研究對象，研析新北市開口契約經營現況與執行策略。研究發現開口契約多採最低標決標，而同業低價搶標競爭激烈，使得工程利潤有減少趨勢；承包商與業主及設計監造單位三方若充分合作，可使工程如期進行；執行開口契約面臨的困難主要是在人力方面（工資上漲、人力斷層、工時工期不定造成調度不易）和政策方面（奔走於業主及設計監造單位之間，凡彼此間必須擁有信任感及良好的溝通，方可降低施工誤差）；面對競爭逐年增加，承包商競爭策略主要採「區域性策略」（集中承攬特定地區或特定工程項目）及「降低成本策略」。

曾靖媛 (2014)表示學校校舍限於經費短缺與設施老舊、維護費用之需求逐年攀升的狀況下，必須妥善分配固定額度的維護經費，和訂定出相關的維護管理標準，才能使校舍建築在修繕後延長使用期限。該研究透過個案研究法來探討開口契約應用於大學校舍建物修繕可能帶來之正面影響績效。研究發現開口契約之執行不分公營機關學校或民營機關、業務單位或是行政單位，其在以平衡計分卡為理論基礎的「品質」、「成本」、「內部程序」與「成長」四個指標，並無顯著差異性，也代表對於各構面有一致性的相關與認同性。

廖恒德 (2009)指出基層鄉鎮市公所為解決作業績效與效率問題，將常態性小型工程、年度計畫工作及經常性的維護、維修等工作以開口契約方式來尋求承商辦理，然當前無開口契約之範本，機關皆以傳統契約之範本為基礎補以本身經驗及觀摩別機關之作法來管理與執行開口契約作業，遂有契約管理、工作品質、業主與承商權益問題之衍生。該研究透過契約資料的搜集，並補以中壢市公所開口契約之應用，分析契約之相關問題並提出對策。

胡文婷 (2011)研究旨在探討道路橋梁管理關機災後搶修工程之採購發包機制，研究首先蒐集交通部公路總局及縣市政府各道路橋梁管理單位與災害防救相關之契約，針對目前道路橋梁之災後搶修執行現況作一探討，比較其中之優缺點並提出相關之建議。該研究彙整出執行現況問題包括災後搶修工程含於一般例行性維護開口契約內、開口契約採用工程採購契約範本、單一廠商多區得標、災前動員條款規定不清、施工人員安全考量不足、跨區支援易生界面問題、竣工驗收易生爭議等七點。在緊急採購作業方面，研究亦發現執行現況具有迅速度不足、多採用政府採購法之限制性招標、未應用災害防救法等特性。研究結果並就在執行面、契約面及法規面提出改善建議。

叁、評分及格最低標

一、評分及格最低標介紹

依據政府採購法第 52 條第 1 項第 1 款或第 2 款機關辦理最低標決標之工程、財物或勞務採購，但採用最低標的方式，恐未能達到先行刪除劣質廠商的目的。若機關採用評分及格最低標，將可避免廠商低價搶標、削價競爭的情況。

所謂的「評分及格最低標」，乃依政府採購法施行細則第 64 條之 2 於招標文件訂定評分項目、各項配分、及格分數等審查基準，並成立審查委員會及工作小組，採評分方式審查，就資格及規格合於招標文件規定，且總平均評分在及格分數以上之廠商開價格標，採最低標決標。

二、評分及格最低標決標之作業程序說明

依據行政院公共工程委員會「採購業務標準化作業流程及控制重點」，評分及格最低標決標之相關作業程序如下：

(一)成立審查委員會，其組成、任務及運作，準用採購評選委員會組織準則、採購評選委員會審議規則及最有利標辦法之規定：

1、人數為 5 人至 17 人，其中外聘專家、學者人數不得少於三分之一，委員應就具有與採購案相關專門知識之人員派兼或聘兼之，並注意其操守。通知聘（派）委員時，一併檢附「採購評選委員會委員須知」。

2、一併成立 3 人以上之工作小組，其中至少 1 人具有採購專業人員資格，且與審查委員不重複。

3、除經全體委員同意於招標文件中公告委員名單者外，其審查委員會委員名單，於開始審查前應予保密。

4、召開審查委員會，訂定或審定評分項目（不包括價格）、各項配分、及格分數等審查基準。但審查基準有前例或條件簡單者，得由機關自行訂定或審定。

5、委員會會議召開時，應有委員總額二分之一以上出席，其決議應經出席委員過半數之同意行之。出席委員中之外聘專家、學者人數應至少二人且不得少於出席人數之三分之一。會議進行中，出席委員人數不符上揭情形者，議案不得提付表決。

6、會議結束，應製作紀錄，由出席委員全體簽名。

(二)訂定招標文件，辦理招標：

1、審查基準由機關首長或其授權人員核定後載明於招標文件。

2、除訂定底價確有困難之特殊或複雜案件外，均應依政府採購法第 46 條規定訂定底價。

3、採分段開標，最後一段為價格標。

4、依案件性質及廠商備標所需時間，訂定合理之等標期限。

5、辦理招標。

(三)確認投標廠商家數符合規定（例如：公開招標第 1 次需 3 家以上廠商投標）後，依招標文件規定之時間及地點開標審查。審標結果與招標文件規定不合者，不得參與後續階段之審查。合格者，由工作小組依據審查項目或審查委員指定之項目，就受評廠商資料擬具初審意見。

(四)工作小組擬具初審意見，以記名方式秘密為之，其內容載明：(1)採購案名稱；(2)工作小組人員姓名、職業及專長；(3)受評廠商於各評分項目所報內容是否符合招標文件規定；及(4)受評廠商於各評分項目之差異性，連同廠商資料送審查委員會供審查時參考。

(五)擇日召開審查委員會會議，辦理評分審查事宜：

1、會議前，應先確認出席委員人數符合規定，同上開(一)、5。

2、有簡報程序者，應一併通知參與審查廠商到場辦理簡報及詢答，且不得利用簡報更改廠商投標文件內容。廠商另外提出變更或補充資料者，該資料應不予納入審查。投標廠商未出席簡報及現場詢答者，不影響其投標文件之有效性。

3、審查委員會辦理審查時，應就各評分項目、參與審查廠商資料及工作小組初審意見，逐項討論後為之。

4、審查委員會或個別委員審查結果與工作小組初審意見有異時，應敘明理由列入會議紀錄。不同委員之審查結果有明顯差異者，召集人應提交審查委員會議議決或依委員會決議辦理複評。複評結果仍有明顯差異時，由審查委員會決議之。

5、各委員審查結果應彙整製作總表；會議結束並應製作紀錄，由出席委員全體簽名。

6、審查結果於簽報機關首長或其授權人員核定後，方得就資格及規格合於招標文件之規定，且總平均評分在及格分數以上之廠商，辦理價格標之開標。

(六)對於合於招標文件規定但未得標之廠商，通知其得標廠商之標價與評分審查結果，及該未得標廠商之評分審查結果；對不合於招標文件規定之廠商，並應通知其原因。

(七)決標後 30 日內刊登決標公告，載明得標廠商之標價及評分審查結果、審查委員會全部委員姓名及職業，及辦理評分審查會議之出席委員姓名。

(八)簽辦文件，參考工程會訂頒之「機關辦理最有利標籤辦文件範例」。

三、評分及格最低標決標之控制重點

依據行政院公共工程委員會「採購業務標準化作業流程及控制重點」，評分及格最低標決標之相關控制重點如下：

(一)確認屬於依政府採購法第 52 條第 1 項第 1 款或第 2 款辦理最低標之工程、財物或勞務採購。

(二)準用政府採購法第 94 條及採購評選委員會組織準則第 3 條、第 4 條規定，簽報成立審查委員會，並一併成立工作小組。其人數符合規定，且成員無同時擔任審查委員會委員及工作小組成員之情形。

(三)遴選審查委員，考量其專業；通知聘(派)時已一併檢附「採購評選委員須知」。除全體委員同意於招標文件中公告委員名單者外，開始審查前，就審查委員會委員名單比照「採購評選委員會委員名單保密措施一覽表」執行保密措施。

(四)評選項目、評審標準及評定方式，除有前例或條件簡單者外，已由採購評選委員會訂定或審定，且其權重及配分設定合理(例如簡報不得高於 20%；評分項目不包括價格)。

(五)確認招標文件應載明事項及等標期均符合規定，辦理招標，且投標廠商家數符

合規定始辦理開標。

(六)工作小組於評分審查會議召開前擬具初審意見，且其內容已包含所有應載明事項。

(七)除符合政府採購法第 47 條第 1 項規定得不訂定底價者外，均應訂定底價。

(八)審查委員會議召開時：

1、確認委員出席人數與出席外聘專家、學者人數及其占出席委員人數之比率符合規定，無應辭職或予以解聘情形，且委員全程參與，並親自評分審查。

2、委員如有因故未能繼續擔任委員，致委員總額或外聘專家、學者人數未達規定者，有無另行遴選委員補足之。3、有簡報程序者，不允許廠商利用簡報更改其投標文件內容；廠商另外提出變更或補充資料者，該資料不納入評選。4、依招標文件規定辦理審查，並就審查項目、受評廠商資料、工作小組擬具之初審意見，逐項討論後再進行評分。5、審查結果與初審意見有異時，應敘明理由列入會議紀錄。不同委員之審查結果有明顯差異者，由召集人提交委員會議議決或依決議辦理複評。6、工作小組擬具初審意見、審查委員會審查、議決等作業，以記名方式秘密為之。7、依規定就委員評分結果彙整製作總表及製作審查會議紀錄，並由出席委員簽名。(九)審查結果於簽報機關首長或其授權人員核定後，方得就資格及規格合於招標文件之規定，且總平均評分在及格分數以上之廠商，辦理價格標之開標。

(十)機關對於審查委員會違反政府採購法之決議，不得接受；發現審查作業有足以影響採購公正之違法或不當行為者，應依政府採購法第 48 條第 1 項第 2 款規定不予開標決標。其涉及違法失職行為者，應依相關規定懲處。

(十一)通知投標廠商評分審查結果，並於決標後刊登決標公告。(十二)不可有「評分及格最低標錯誤行為態樣」之情形。(十三)簽辦文件，參考工程會訂頒之「機關辦理最有利標簽辦文件範例」。

四、評分及格最低標錯誤行為態樣

因評分及格最低標之招標方式目前較少為機關使用，且「機關異質採購最低標作業須知」已於 105 年 7 月 29 日停止適用，行政院公共工程委員會依政府採購法施行細則第 64 條之 2 規定，函頒「評分及格最低標錯誤行為態樣」，供各機關參考，以免違反相關規定。詳細內容說明如表 2：

表2 評分及格最低標錯誤行為態樣

	錯誤行為態樣
招標準備作業	涉及審查委員會委員名單之簽辦公文及開會通知單，未註明為密件或分繕發文。
	未成立工作小組，或成員人數未達3人，或成員中未包括一位具採購專業人員資格者；部分工作小組成員同時兼任審查委員會委員。
	審查委員會主席未由委員擔任。
	招標文件所訂評定合格廠商之程序不符規定，例如價格標開標對象限總平均前3名之合格廠商；已達及格分數之廠商尚須過半數審查委員會委員評定方開啟其價格標；招標文件未明定採分段開標。
資格規格審查作業	工作小組未擬具初審意見，或初審意見應記載事項有遺漏或內容有欠嚴實。
	審查委員會辦理廠商資格與規格審查，未就各審查項目、廠商資料及工作小組初審意見，逐項討論後為之。

	審查委員會委員出席會議，未親自為之，或雖出席但未參與評分。
	審查委員未逐項評分。
	將廠商投標標價納入審查評分項目。
	審查委員會或個別委員審查結果與工作小組初審意見有異時，未由委員會或該個別委員敘明理由，或未提交委員會召集人處理，並列入會議紀錄。
	不同委員之審查結果有明顯差異者，未提交委員會召集人處理，並列入會議紀錄。
	辦理審查作業之承辦人員未全程出席審查會議。
	辦理資格及規格審查會議未製作紀錄。
價格標開標決標作業	未依資格、規格(資格及規格可合併為一段或分為二段)及價格之順序分段開標。
	訂定底價作業或時機不符規定，例如公開招標未於開標前定之，而於開標後參考審查合格廠商之標價訂定底價。

五、評分及格最低標與最有利標之相關研究

黃麗玲 (2020)針對目前台灣對於省道巡查預約養護工程省道巡查預約養護工程的招標制度中，最低標、評分及格最低標以及最有利標此三種招標方式加以分析，及其效益進行探討。最終評估對於提升道路鋪面工程品質維護之招標方式，評估結果建議以最有利標之方式進行招標，並利用前述針對各種招標方式之分析，決定道路巡查最有利標評分項目之選定。

賴晨菲 (2019)以臺灣目前對於道路鋪面工程品質維護招標方式以及其效益進行探討，探討最低標、評分及格最低標以及最有利標此三種招標方式之成效後，最終評估對於提升道路鋪面工程品質維護之招標方式，評估結果建議以最有利標之方式進行招標，並利用前述針對各種招標方式之分析，決定道路巡查最有利標評分項目之選定。

在最有利標的相關研究很多以探討評選機制的弊端和爭議為主，如李瀚良 (2019)以政府採購法最有利標爭議問題為研究，就最有利標最易產生爭議之評選階段，從政府採購公、私法定性學說與實務見解分析評選決議之性質，探究現行評選制度之疏漏，並批判現行制度致生各項弊端之處。羅天昀 (2019)認為政府採購法放寬最有利標決標適用條件，最有利標不以價格為唯一考量，機關多有彈性選擇得標廠商的同時，也增加了人為操縱評選的可能性，在有利可圖的情況下最有利標採購弊案亦層出不窮。

劉清安 (2016)提出以最有利標方式決標之案件發生弊端不斷，並試圖從執法者防弊之角度，來探討評選制度實際運作可能發生弊端之原因並提出改進意見。陳敏裕 (2014)認為機關辦理採購應以高效用低價格之產品為決標對象，以符合機關最大利益及社會期待。曾廣彧 (2011)進行政府採購法決標之研究，從實務面除了探究最低標決標底價訂定、標價偏低等主要爭議問題外，對於最有利標決標有關評選委員會之組成及運作亦為研究之重點。李志平 (2009)研究「最有利標決標採購犯罪」探究其犯罪之歷程，其犯罪動機為何、在如何情境下犯罪、為何選擇犯罪等心理認知因素。鄭福順 (2009)表示最有利標由於作業程序之複雜度明顯高於傳統最低標之招、決標方式，以至於實務適用上問題叢生，該研究旨在協助機關採購專業及從事採購稽核監辦人員認識最有利標及解決實務適用最有利標目前所存在或衍生之問題。

肆、評分及格最低標執行實質功能之檢討

一、評分及格最低標優缺點分析

評分及格最低標可以減少異質性採購浪費公帑的問題，可以排除不肖承攬廠商，增加優良廠商的投標意願，提升採購效率及品質，提高廠商的競爭力，有助於如期完成履約，減少爭議發生的頻率。評分及格最低標藉由評分機制，淘汰部分資格與規格未符標準之廠商，確保採購品質。發揮與最低標決標相近之價格競爭方式，降低決標金額節省經費。可兼顧採購案之一定品質及以最低價節省公帑。又辦理採購應有新思維，評分及格最低標似乎為較好的選擇，有助廠商良性競爭同時亦可提升品質。評分及格最低標較最有利標具價格競爭性、且品質較同質性高。

評分及格最低標不容易判定採購的異質性，參與審查的委員認知有別，很難達到一致性未必能夠淘汰問題廠商，公平性審查浮濫有可能使評分及格最低標淪為同質最低標決標，審查要做到客觀並不容易，承攬廠商需要額外時間成本來準備審查資料，造成廠商作業加重及整體採購時間的延遲，評分及格最低標有可能造成圍標情形。評分及格最低標異質性高低程度，不易訂定明確規範。投標程序繁複，仍以最低標決標，廠商投標意願較低。因通過審查標準後仍需開價格標，可能降低經營營成本較高，但施工品質及能力較佳廠商之投標意願。程序較複雜費時費力。被評不合格廠商易生疑義，又審查委員會評分時，對於廠商採微調方式給分，所有投標廠商均及格，無形中將評分及格最低標淪為同質最低標決標情形（陳淑麗，2018）。

二、最低標、最有利標、評分及格最低標決標方式優缺點分析

面臨市場多樣化的條件，機關對決標方式選擇，應依據採購標的性質妥善規劃，若單僅以價格高低之決標方式挑選廠商，而忽略產品異質效能條件，將無法滿足市場多樣化需求，選擇對於廠商和機關都有利的決標方式，才能得到雙贏之結果。

表3 最低標、最有利標、評分及格最低標決標作業方式分析

	最低標	最有利標	評分及格最低標
依據法規	政府採購法第 52 條第 1 項第 1 款或第 2 款。	1.政府採購法第 52 條第 1 項第 3 款、第 56 條。 2.最有利標評選辦法。	政府採購法施行細則第 64-2 條。
作業方式	1.訂有底價之採購，以合於招標文件規定，且在底價以內之最低標為得標廠商。 2.未訂底價之採購，以合於招標文件規定，標價合理，且在預算數額以內之最低標為得標廠商。	1.以合於招標文件規定之最有利標為得標廠商。 2.應依招標文件所規定之評審標準，就廠商投標標的之技術、品質、功能、商業條款或價格等項目，作序位或計數之綜合評選，評定最有利標。	機關依本法第 52 條第 1 項第 1 款或第 2 款辦理採購，得於招標文件訂定評分項目、各項配分、及格分數等審查基準，並成立審查委員會及工作小組，採評分方式審查，就資格及規格合於招標文件規定，且總平均評分在及格分數以上之廠商開價格標，採最低標決標。

監察院為期落實政府採購制度，依公平公開採購程序，提升採購效率，確保採購品質，於 100 年 6 月於政府採購法公布施行 10 年來，「關於限制性招標、最有利標、最

低標之成效檢討專案調查研究報告」，就公共工程委員會、內政部及臺北市政府等就決標方式進行分析彙整如表 4：

表4 最低標、最有利標、評分及格最低標決標方式優缺點分析

		最低標	最有利標	評分及格最低標
公共工程委員會	優點	1.自由競爭。 2.招決標程序作業簡便。 3.節省公帑。	1.非以價格為唯一決標條件。 2.多目標評選，可考量廠商實績經驗、履約能力、技術能力及管理能力等因素，選擇最優廠商。	1.藉由評分機制，淘汰部分資格與規格未符標準之廠商，確保採購品質。 2.發揮與最低標決標相近之價格競爭方式，降低決標金額節省經費。
	缺點	1.廠商低價搶標。 2.只考量價格，忽略廠商履約能力與合理利潤，信譽優良廠商參標意願低。	1.資格審查及評選原因標準訂定不易，容易引發爭議。 2.招標作業冗長，易受限於評選委員之主觀判斷。	投標程序繁複，仍以最低標決標，廠商投標意願較低。
內政部	優點	1.流程簡單，節省作業時間。 2.節約公帑。 3.無評分爭議。	1.可獲得一定水準之較優質廠商或標的。 2.避免廠商低價搶標，影響履約品質。 3.評分項目由廠商發揮創意，減少限制競爭。 4.既有預算可發揮最大效益。	1.可獲得一定水準之較優質廠商或標的。 2.節約公帑。 3.評分項目由廠商發揮，避免限制競爭。
	缺點	1.如廠商低價搶標，影響履約品質。 2.不易獲得較優質廠商或標的。 3.易造成技術規格限制競爭。 4.機關訂定底價如對市場行情不熟悉，易使廠商得到超額利潤。	1.作業流程較繁複費時。 2.未得標廠商易提出評分爭議。 3.評選委員如未無法全盤了解標案內涵，易影響評選結果。 4.廠商與評選委員有不當聯結之情形，影響評選結果。 5.標案前置作業尚難客觀。	1.作業流程較繁複費時。 2.異質性之客觀標準難以認定。 3.易造成技術規格限制競爭。 4.可能無法覓得最優質廠商。
臺北市政府	優點	1.作業簡便。 2.節省公帑。 3.較無爭議。	1.可選擇相對最優之廠商。 2.避免廠商低價搶標，影響履約品質。 3.可藉評選項目之設計，由廠商表意，提升採購品質，並可避免限制競爭。	1.可淘汰一定水準以下之劣質廠商。 2.節省公帑。 3.可藉審查項目之設計，由廠商提供履約標的，除可發揮創意，提升採購品質，並可避免限制競爭。
	缺點	1.廠商低價搶標，影響履約品質。 2.無法擇優選商廠商。	1.規定繁複，作業程序較複雜、費時。 2.較易引發質疑或爭議。 3.提供不肖廠商與評選委員或機關人員勾串之平台。	1.作業規定比照最有利標，較繁複、費時。 2.評分不及格之廠商，易提出異議。

資料來源：監察院100年6月專案調查研究報告

伍、結論

一、強化評選委員遴選

招開評選審查時，廠商所提之服務建議書等資料內容往往相當龐大且繁瑣，常使評

選委員未能詳閱廠商投標文件，加上機關內部的評選委員均為無給職，外聘委員也僅能支領些微酬勞（出席費、交通費），其支領的報酬顯難與專業技術服務付出不對稱，而廠商所提之服務建議書和簡報往往內容過於空洞或不切實際，加上委員對評選結果不須負責，致使部分學者專家在擔任評選職責上並未認真審核。另外，也有產生評審委員固定化、區域化等不正常現象，評選素質不佳也易生弊端。

二、採購底價訂定合理性

採購招標人員往往不瞭解市場行情，在估價和預算上存有資訊不對稱問題。招標個案往往涉及不同技術、工法、功能、效益等，機關採購人員並不具有個案成本估算的專業能力和經驗，難以估算標的成本以訂定合乎市場行情的底價一般作法都是由採購人員尋求多家該產業的廠商報價做參考，而廠商往往不會提供以真實成本價格，採購招標人員通常也無能以確認廠商的報價是否合理、是否符合行情，致使底價容易失真或由廠商所掌控。但若底價訂得過低，也會造成廠商無投標意願，流標機率高，浪費行政資源和工程無法進行等問題。因此，機關對於如何訂定合理的底價、如何掌握市場價格行情，確實常常困擾採購相關作業人員。

三、防範廠商低價搶標問題

機關採購普遍對於廠商投標標金合理性判斷有一定困難，當而最低標廠商標金遠低於底價，而依據採購法規定提出無「降低品質、不能誠信履約之虞」之說明時，當機關無成本估算能力判斷其說明是否合理，且對影響工程品質或無法履約有所隱憂，進而提出該說明並不合理而不予決標，再而決標予次低標廠商。如此，往往會遭到原最低標廠商提出申訴和檢舉，甚至也會被其他單位人員質疑機關有所弊端，導致機關對此顧忌，而不敢引用該規定，寧願選擇面對工程品質低落的問題，決標予該最低標廠商，造成標價偏低。另機關依規定請廠商提出合理說明，若最低標原已與其他廠商串通合作，不配合提出說明或刻意提出不合理之說明時，機關也難以防止廠商之間串通瓜分利益的弊端。

參考文獻

- [1] 吳孝智 (2018):「橋梁維修開口契約精進作法之研究 -以桃園市市區道路為例」, 國立中央大學土木工程學系在職專班碩士論文。
- [2] 吳易儒 (2019):「醫學中心醫院建築工程修繕開口契約之研究」, 國立成功大學建築學系碩士在職專班碩士論文。
- [3] 李瀚良 (2019):「政府採購法最有利標爭議問題之探討 —以評選階段為中心」, 國防大學法律學系碩士論文。
- [4] 李志平 (2009):「公務員最有利標決標採購犯罪歷程之研究」, 中央警察大學犯罪防治研究所碩士論文。
- [5] 林金面 (2005): 營建管理學, 文笙書局。
- [6] 洪文檠 (2017):「公共工程技術服務以開口契約型式執行之問題探討」, 國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [7] 胡文婷 (2011):「道路橋梁災後搶修工程採購發包機制之探討」, 國立中央大學營建管理研究所碩士論文。

- [8]徐振煌 (2000):「開口合約」以提昇災害搶修及復建效率,技師報,第 209 期。
- [9]張智元、陳德誠、郭斯傑 (2005a):「臺灣大學校舍維護經驗談開口合約 -創造建築維管績效(上)」,營建知訊,第 272 期,第 68-72 頁。
- [10]張智元、陳德誠、郭斯傑 (2005b):「臺灣大學校舍維護經驗談開口合約 -創造建築維管績效(下)」,營建知訊,第 273 期,第 67-73 頁。
- [11]莊惠芳 (2019):「風景區維修工程運用開口契約之研究 -以東部海岸國家風景區管理處為例」,國立屏東科技大學土木工程系所碩士論文。
- [12]陳敏裕 (2014):「最低標與最有利標適用之探討」,義守大學管理碩博士班博士論文。
- [13]陳淑麗 (2018):「評分及格最低標法制與實務問題之研究 -以財物採購為核心」,國立中正大學法律學系研究所碩士論文。
- [14]曾靖媛 (2014):「開口契約應用於校舍修繕工程適性化之探討 -以某大學之個案分析為例」,國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
- [15]曾廣彧 (2011):「政府採購法決標之研究 —以最有利標爭議個案為例」,中原大學財經法律研究所碩士論文。
- [16]黃麗玲 (2020):「以省道巡查預約養護工程為例導入最有利標之研究」,國立中央大學土木工程學系在職專班碩士論文。
- [17]楊雅清 (2014):「新北市公共工程開口契約經營現況與策略研究 -以承包商角度探討為例」,國立交通大學土木工程系所碩士論文。
- [18]廖恒德 (2009):「鄉鎮市公所開口契約之應用 -以中壢市公所為例」,國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
- [19]熊格致 (2017):「國立大學採用開口契約之研究 -以國立臺灣科技大學為例」,國立臺灣科技大學建築系碩士論文。
- [20]劉宛陵 (2006):「公共工程開口合約之研究 -以公路維護為例」,國立中央大學營建管理研究所碩士論文。
- [21]劉家銘 (2019):「開口契約型式之監造技術服務追加服務費合理性研究」,國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [22]劉清安 (2016):「我國政府採購法最有利標制度之探討」,逢甲大學公共政策研究所碩士論文。
- [23]鄭平忠 (2015):「從避難需求探討物質儲備與開口契約能量之評估 -以嘉義縣為例」,高苑科技大學土木工程研究所碩士論文。
- [24]鄭福順 (2009):「我國政府採購法最有利標制度問題之研究—以實務現狀為中心」,國立中正大學法律所碩士論文。
- [25]賴晨菲 (2019):「提升道路鋪面工程品質維護導入最有利標分析」,國立中央大學土木工程學系碩士論文。
- [26]謝定亞 (2006):「繼續在最低標與最有利標之間徘徊?」,財團法人國家政策研究基金會國政研究報告。
- [27]羅天昀 (2019):「複數投標者決策行為探討最有利標評選」,國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士班碩士論文。

橋樑載重試驗探討 The Study of Loading Test for Highway Bridges

劉翔明^{1*} 王錦華^{2*}

Liu, Hsiang-Ming^{1*}, Wang, Chin-Hua^{2*}

1 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 and Environmental Resources Management,

Dahan Institute of Technology

2 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 副教授

Associate Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management,

Dahan Institute of Technology

* Corresponding author: wangchin@ms01.dahan.edu.tw、jackoelu@gmail.com

摘要

本文以公路橋梁載重試驗為研究分析案例，依車輛載重現地試驗量測成果，瞭解橋梁之結構安全。其中白沙一號橋靜態載重試驗之每台卡車總重 32.85 公噸，8 部卡車總重為 277.3 公噸。橋梁長 110m，平均每車道每公尺之活載重為 1.26tf/m。8 部卡車全部加載至橋面，監控點橋梁 22 點之撓度，試驗結果雖然有部分監控點之撓度大於理論值，但於載重試驗完成後兩天再測量橋梁無卡車時監控點高程，並與載重試驗前比較，顯示橋梁在彈性範圍。本橋尚符合橋梁規範之規定，無安全疑慮。

尚志橋為連結市區與美崙的主要道路，橋齡超過 20 年，全長 195 公尺，共有 5 跨橋梁，由於沒有橋的原始設計圖說，因此在進行載重測試來了解其程載能力，(1)試驗結果，活載重之最大撓度為 1.4mm，顯示橋梁之撓度低於理論分析值，可安全承載規範所規定之載重。(2)兩部重量分別為 33.44 公噸及 36.32 公噸，開至相鄰兩跨度之橋梁中央，檢查兩跨間之鉸接板之開裂情形，發現鉸接板並無裂紋，經試驗驗證尚志橋無安全疑慮。

關鍵詞：橋樑載重試驗、橋梁安全評估、橋梁

壹、前言

鋼筋混凝土結構橋梁結構安全評估[1]包括承载力評估、耐震能力評估及耐洪能力評估等。鋼筋混凝土結構橋梁承载力評估之目的係為確定現存橋梁承载力，並評估橋梁承载力是否符合載重需求。承载力評估方法分為分析計算評估法及載重試驗評估法。若分析計算評估法尚不足以鑑定橋梁承载力時，可對橋梁進行載重試驗評估。載重試驗評估法一般可分為靜態載重試驗及動態載重試驗兩種。靜態載重試驗是將靜載重作用在指定之橋梁結構位置，測試結構的應力分布、結構變形以及其他試驗項目，進而推斷橋梁在載重作用下的受力行為和承载力。橋梁結構靜態載重試驗之載重可分為車輛加載和重物直接加載兩種形式。實施橋梁靜態載重試驗時，試驗載重形式之選擇，加載及記錄之方式應依結構試驗目的、現場條件而定。

靜態載重試驗之判定標準如下：

$$RF = \frac{\text{靜態載重試驗評估之活載重能力}}{\text{活載重需求}} \quad (5.2.2)$$

當

$RF \geq 1$ ：橋梁容許活載重能力符合需求。

$RF < 1$ ：對橋梁採取限重、補強、封閉、進一步現地檢測試驗或改建等措施。

我國橋梁規範規定[2]，簡支或連續梁受服務活載重及衝擊力所產生之撓度應小於跨徑之1/800。在市區，部分提供人行之橋梁撓度應小於跨徑之1/1000。因此要了解活載重下，靜態載重試驗如何進行值得進一步探討。又現行實務上為了增加行車上的舒適性將兩跨簡支樑間之伸縮縫拆除，改用連續板，但其配筋採用鉸接式，理論上該處會發生裂縫，對橋面板的影響值得進一步探討。

白沙一號橋位於台8線181k+400，橋型為單跨系鋼拱橋，計算跨徑為110m(細部設計詳圖SA-1)，車道全寬9.5m，淨寬8.5m。拱肋及主梁均採用鋼箱型梁。鋼拱橋拱肋與主梁上設置22束吊索。施工期間於民國106年10月11日豪雨造成溪水暴漲，沖倒臨時支撐，使已組裝之下弦鋼梁產生下垂，最大值為691mm。經鑑定結果：(1)下弦鋼梁之鋼板應力尚未產生永久變形；無明顯側向扭轉挫屈。(2)C9L鋼纜根據撓度量測推估之應力值為17,149kgf/cm²，應已超過鋼纜容許應力8550(0.45x1900)kgf/cm²，建議該鋼纜應予置換。(3)現場勘查未發現高張力螺栓有斷裂情形，建議後續進行鎖斷其他螺栓或檢查發現有異常或損傷，更換新品。(4)鋼梁各部銲道之外表雖未發現損壞，建議鋼梁內部銲道之檢查，應委託非破壞檢驗公司至現場施作銲道非破壞檢測之目視檢查(VT)、並配合監造或業主隨機指定位置檢驗鋼梁填角銲道施作磁粒檢測(MT)，全滲透銲之銲道施作超音波檢測(UT)。(5)橋台支撐墊已破壞之構件建議置換，支撐墊下之混凝土建議補強修護。為了解橋梁之承载力進行載重試驗。

尚志橋於107年2月6日受地震影響，出現橋面龜裂、伸縮縫擴張及位移等災損，因尚志橋為連結市區與美崙的主要道路，橋齡超過20年，全長195公尺，共有5座跨橋梁、總計4車道，全寬20米、淨寬15米，有9支I型預力梁，由於沒有橋的原始設計圖說，因次在進行載重測試時，選擇其中兩跨橋梁進行試驗，了解預力大梁的承载力。此外尚志橋修建時將部分橋面板之伸縮縫取消，而以鉸接板代替，形成預力梁為簡支承，但橋面板為連續板，雖然可以增加行車之舒適性，但理論上鉸接板在活載重作用下，其行為會造成在鉸接板有開裂情況發生，進而造成鋼筋生鏽，因此值得進一步探討。

貳、實驗方法

2.1 白沙一號橋試驗載重

公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範[1]第六章橋梁結構安全評估規定，鋼結構橋梁承載力評估之目的係為確定現存橋梁承載能力，並評估橋梁承載能力是否符合載重需求。承載力評估方法分為分析計算評估法及載重試驗評估法。載重試驗評估法一般又可分為靜態載重試驗及動態載重試驗兩種。靜態載重試驗是將靜載重作用在指定之橋梁結構位置，測試結構的應力分布、結構變形以及其他試驗項目，進而推斷橋梁在荷載作用下的受力行為和承載能力。車輛加載具有便於調整載重、加卸載迅速之優點；重物直接加載具有加載位置固定、容易控制之優點，但試驗週期長、必須完全控制交通。實施橋梁靜態載重試驗時，試驗載重形式之選擇，加載及記錄之方式應依結構試驗目的、現場條件而定。

白沙一號橋該橋之設計活載重為HS20-44之活載重再增加30%。橋跨之總活載重估計採用AASHTO HS20-44 +30%標準貨車及車道載重。車道全寬9.5m，淨寬8.5m。車道數為兩車道。因橋梁跨徑為110m，故採用HS20-44車道活載重，其均佈活載重為0.96tf/m，集中載重為8.2tf。橋跨之總活載重估計如下表2.1所示。

表2.1 橋跨之總活載重估計

項目	靜態載重試驗橋跨之總活載重估計
橋梁跨徑	110m
衝擊力係數	0.1029
單車道活載重(tf/m)	$(0.96 \times 110 + 8.2) \times 1.1029 = 125.5$
車道數	2
規範車道數載重折減	1.0
活載重超載加乘30%	1.3
橋跨總活載重(tf)	$125.5(2) \times 1.3 = 326.3$
一部卡車重(tf)	30
需求卡車數(部)	約10部

2.2、靜態載重試驗計畫

前述橋跨總活載重為326.3tf，約10部標準貨車載重(32.85t)。由於本橋之交通量不高，通車後之實際載重並不至於達到設計活載重。本橋之設計活載重採用AASHTO HS20-44+30%標準貨車及車道載重，衝擊力係數0.1029。以往橋梁設計活載重僅採用AASHTO HS20-44，亦足以承受各型車輛之載重，並未降低橋梁之服務水準。基於考量試驗之主要目的在了解本橋施工期間因豪雨造成溪水暴漲，沖倒臨時支撐，使已組裝之鋼梁產生下垂，是否影響鋼梁之承載能力，進而推估全橋之服務載重，故試驗載重並不須以最大設計活載重為考量對象，可適度地折減，唯須確認外載重足以引起可供判讀之量測值。同時本鋼橋之構件細部結合點甚多，現場載重試驗通常都具潛在危險，因此載重試驗採用8部標準貨車載重(32.85t)，試驗總載重為263tf，分8次施加载重，如圖2.1、2.2所示，8部卡車平均分佈在兩車道上，施加順序如圖2.2上之編號所示。實際之總載重可視監測點之垂直撓度及橋量各構件之狀況，做安全之調整。

靜態載重試驗時，測試車輛緩慢移動至規劃之位置，靜待一段時間約5至10分鐘，待橋梁充分反應施加载重之效應後，再進行相對撓度之量測。為確保橋梁加載試驗之安全，採用逐步靜態加載方式，並觀察試驗加載過程中，橋梁結構是否有任何損壞，確保

試驗不會造成橋梁損壞。由於溫度變化會造成纜索及鋼梁之應力變化及橋梁之撓度，於目前施工期間同時量測橫梁在錨定纜索附近22個固定點之撓度及氣溫。

預定載重試驗時程規監測點共37點，位於錨定纜索附近橫梁上22點，對應在橋梁中央11點，兩支縱梁之支承處橋面4點，如圖2.3所示。測量是利用電子水準儀配合條碼水準尺量測監測點之高程，電子水準儀可顯示公尺以下4位數，精度1mm。檢查各監測點之撓度與理論值差異是否在安全合理之範圍，載重施加可視監測點之垂直撓度與理論值差異是否在安全合理之範圍及橋量各構件之狀況做調整。

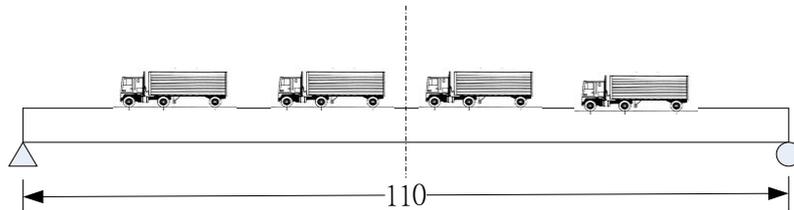


圖2.1 靜態載重試驗橋跨之活載重佈置立面圖

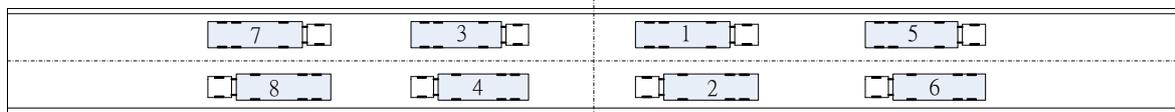


圖2.2 靜態載重試驗橋跨之活載重佈置平面圖(編號為加載順序)

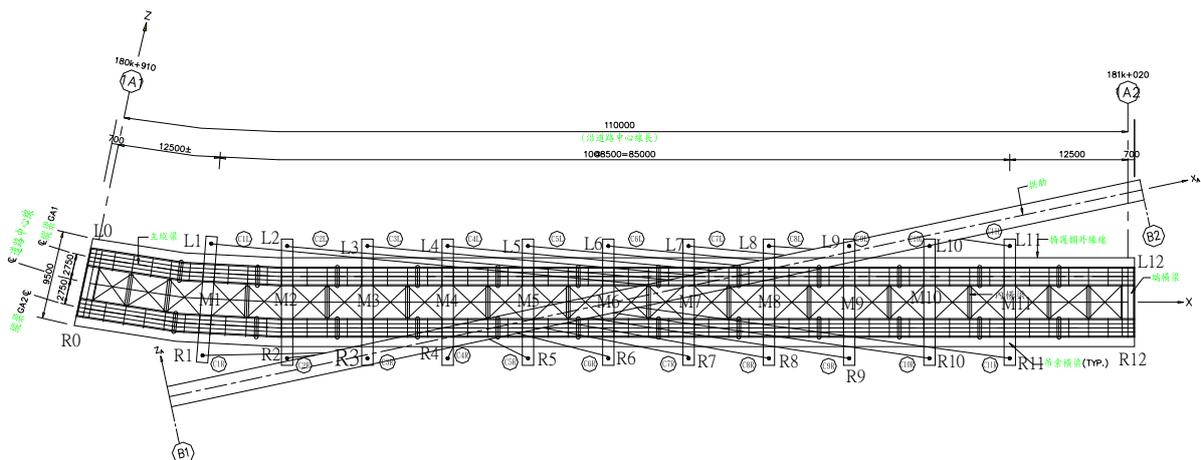


圖2.3 監測點在錨定纜索附近之橫梁上(靠近護欄)及橫梁中央之橋面(L0、R0、L12及R12位於梁兩端伸縮縫處)

2.3、載重試驗過程、結果與討論

載重試驗前預先測量主要監控點之高程。載重試驗時選擇L3及R9兩處理論撓度最大之點做為主要控制試驗之進行，其他點做為輔助監控點，試驗前各控制點之高程如表2.1所示。以下依載重試驗之順序說明載重試驗過程及測量成果。

- 1、載重試驗之卡車係於試驗前至工地待命。由於未預先指示卡車停留位置，試驗前已有6部卡車停留在橋梁之單邊車道上(照片2.1)。因此請卡車司機將卡車退離橋梁上。8台卡車之編號及總重如表2.3所示。每車道有4部卡車，8部卡車總重為277.3公噸。橋梁長110m，平均每車道每公尺之活載重為1.26 tf/m，未超過前述橋跨總活載重為326.3tf所定之均佈載重1.483 tf/m。試驗時卡車中央在預先標記於護欄上之記號。
- 2、由於橋梁坡度約6%，前後高程差約6.8m，監測點達37點，高程測量相當費時，因此安排兩組測量人員進行測量，以節省測量時間，並以橫梁中央橋面預先標記11處

鋼釘之部分監控點，校核兩組之測量誤差。第 1 部卡車駛至計畫位置(照片 2.2)，熄火、煞車後，俟橋梁無振動現象後開始進行監控點之高程測量，並量氣溫。主要監控點 L3 之撓度為 16.4mm，R9 之撓度為 14.7mm。

- 3、第 2 部卡車駛至計畫位置後(照片 2.3)。主要監控點 L3 之撓度為 17.9mm，R9 之撓度為 13.9mm。設計單位所提供理論分析值詳表 2.4。
- 4、由於前述第 2 部卡車之撓度增加量很小，且 2 部卡車之撓度比設計單位所提供理論分析值低很多，因此將第 3、4 部卡車同時駛至計畫位置(照片 2.4)。主要監控點 L3 之撓度為 19.2mm，R9 之撓度為 19.8mm。
- 5、第 5、6 部卡車同時駛至計畫位置(照片 2.5、2.6)。主要監控點 L3 之撓度為 14.1mm，R9 之撓度為 28.9mm。6 部卡車之試驗撓度比理論分析值(表 2.4)低。同時監控點 L3 有變位向上現象。
- 6、第 1~6 部往前駛至計畫位置，第 7、8 部從隧道內駛至比計畫位置略微前面。此時 8 部卡車全部加載至橋面(照片 2.7、2.8)。主要監控點 L3 之撓度為 30.9mm，R9 之撓度為 34.9mm。
- 7、從 8 部卡車卸載最前面兩部卡車後，剩下 6 部卡車(照片 2.9、2.10)。主要監控點 L3 之撓度為 16.1mm，R9 之撓度為 40.3mm。
- 8、從 6 部卡車卸載最前面兩部卡車後，剩下 4 部卡車(照片 2.11)。主要監控點 L3 之撓度為 $147.4879-147.4737=0.0142\text{m}=14.2\text{mm}$ ，R9 之撓度為 27.5mm。
- 9、從 4 部卡車卸載最前面兩部卡車後，剩下 2 部卡車(照片 2.12)。主要監控點 L3 之撓度為 2.1mm，R9 之撓度為 22.1mm。
- 10、橋梁無卡車時(照片 2.13、2.14)，主要監控點 L3 之撓度為 0.3mm，R9 之撓度為 6.3mm。另為了解橋梁是否於載重卸載後之行為，於載重試驗後兩天再測量橋梁無卡車時監控點高程，並與試驗當天之高程比較，如表 2.2 所示，顯示橋面有微量之再反彈，表示施加於橋梁之載重尚在彈性範圍。

白沙一號橋靜態載重試驗之 8 部卡車過試驗磅總重為 277.3 公噸。橋梁長 110m，平均每車道每公尺之活載重為 1.26tf/m。8 部卡車全部加載至橋面時，各主要監控點之撓度實驗值與理論值比較如表 2.4 所示，表 2.4 中監控點之試驗撓度，除了 L7(比理論撓度大 7.4mm)、L8(比理論撓度大 3mm)及 L9(比理論撓度大 6.7mm)略微比理論撓度大一些外，其原因為實驗之卡車為集中載重，其撓度比理論之均佈載重略微大一些，其他監控點撓度均比理論撓度小。為了解橋梁是否於加載重及卸載重後之行為是否為彈性，於載重試驗完成後兩天再測量橋梁無卡車時監控點高程，並與載重試驗當天比較，整座橋梁有微量之再反彈，表示施加於橋梁之載重尚在彈性範圍。故本橋尚符合橋梁規範之規定，無安全疑慮。

表 2.1 載重試驗前各控制點之高程

點名	後視	前視	高程差	高程	備註
BM	2.1133			148.7290	溫度28°C
TP1	0.7412	0.8853	1.2280	149.9511	
L1		2.3823	-1.6411	148.3100	
R1		1.8929	-1.1517	148.7994	
M1		1.7606	-1.0194	148.9317	
L2		2.7653	-2.0241	147.9270	
R2		2.4212	-1.6800	148.2711	
M2	1.2752	2.2245	-1.4833	148.4678	
L3		2.2551	-0.9799	147.4879	
M3		1.7723	-0.4971	147.9707	
R3		2.0514	-0.7762	147.6916	
L4		2.7633	-1.4881	146.9797	
R4		2.6377	-1.3625	147.1053	
M4		2.2786	-1.0034	147.4644	
L5		3.2710	-1.9958	146.4720	
R5		3.2237	-1.9485	146.5193	
M5		2.7997	-1.5245	146.9433	
L6		3.7755	-2.5003	145.9675	
R6		3.7573	-2.4821	145.9857	
M6	1.1991	3.3230	-2.0478	146.4200	
L7		2.1505	-0.9514	145.4686	
R7		2.1592	-0.9601	145.4599	
M7		1.6938	-0.4947	145.9253	
L8		2.6455	-1.4464	144.9736	
R8		2.6657	-1.4666	144.9534	
M8		2.2121	-1.0130	145.4070	
L9		3.1404	-1.9413	144.4787	
R9		3.1779	-1.9788	144.4412	
M9		2.7117	-1.5126	144.9074	
L10		3.6577	-2.4586	143.9614	
R10		3.7048	-2.5057	143.9143	
M10	1.2807	3.2373	-2.0382	144.3818	
L11		2.2419	-0.9612	143.4206	
R11		2.2830	-1.0023	143.3795	
M11		1.8277	-0.5470	143.8348	
L12		2.9337	-1.6530	142.7288	
R12	3.5480	2.9393	-1.6586	142.7232	
M7	3.8390	0.3448	3.2032	145.9264	
M1		0.8309	3.0081	148.9345	

表 2.2 試驗完成卸載後之橋面高程與卸載兩天後橋面監控點高程比較

測點	橋面無車輛載重時之高程(M)			試驗兩天後橋面高程(M)			高程比較 (M)
	甲測量員	乙測量員	平均值	乙測量員	甲測量員	平均值	
R0	149.7125	149.7118	149.7122	149.7135	149.7104	149.7120	0.0002
L0	149.2888	149.2891	149.2890	149.2908	149.2885	149.2897	-0.0007
R1	148.8032	148.8032	148.8032	148.8028	148.8022	148.8025	0.0007
L1	148.3139	148.3149	148.3144	148.3231	148.3175	148.3203	-0.0059
M1	148.9285	148.9291	148.9288	148.9333	148.9281	148.9307	-0.0019
R2	148.2672	148.2614	148.2643	148.2639	148.2676	148.2658	-0.0015
L2	147.9287	147.9261	147.9274	147.9423	147.9307	147.9365	-0.0091
M2	148.4656	148.4663	148.4660	148.4707	148.4648	148.4678	-0.0018
R3	147.6954	147.68	147.6877	147.6943	147.6937	147.6940	-0.0063
L3	147.4876	147.4884	147.4880	147.5000	147.4947	147.4974	-0.0093
M3	147.9674	147.9684	147.9679	147.9732	147.9679	147.9705	-0.0026
R4	147.1039	147.0979	147.1009	147.1071	147.0995	147.1033	-0.0024
L4	146.9732	146.9722	146.9727	146.9820	146.9744	146.9782	-0.0055
M4	147.46	147.4608	147.4604	147.4664	147.4608	147.4636	-0.0032
R5	146.5129	146.5117	146.5123	146.5180	146.5075	146.5127	-0.0004
L5	146.466	146.4646	146.4653	146.4762	146.4683	146.4722	-0.0069
M5	146.9388	146.9401	146.9395	146.9457	146.9397	146.9427	-0.0032
R6	145.9804	145.9861	145.9833	145.9856	145.9781	145.9819	0.0014
L6	145.9657	145.9728	145.9693	145.9730	145.9704	145.9717	-0.0024
M6	146.4177	146.4181	146.4179	146.4231	146.4175	146.4203	-0.0024
R7	145.4533	145.4514	145.4524	145.4651	145.4540	145.4595	-0.0072
L7	145.472	145.468	145.4700	145.4780	145.4727	145.4754	-0.0054
M7	145.9207	145.9225	145.9216	145.9275	145.9219	145.9247	-0.0031
R8	144.948	144.9471	144.9476	144.9556	144.9500	144.9528	-0.0053

L8	144.9673	144.9724	144.9699	144.9798	144.9704	144.9751	-0.0053
M8	145.4061	145.4076	145.4069	145.4130	145.4069	145.4099	-0.0031
R9	144.4349	144.4319	144.4334	144.4390	144.4289	144.4339	-0.0005
L9	144.4727	144.4745	144.4736	144.4850	144.4758	144.4804	-0.0068
M9	144.9043	144.9057	144.9050	144.9106	144.9044	144.9075	-0.0025
R10	143.9129	143.9127	143.9128	143.9134	143.9037	143.9085	0.0043
L10	143.9662	143.9599	143.9631	143.9714	143.9575	143.9645	-0.0014
M10	144.3797	144.3814	144.3806	144.3857	144.3794	144.3826	-0.0020
R11	143.3839	143.3867	143.3853	143.3844	143.3757	143.3801	0.0053
L11	143.4282	143.4275	143.4279	143.4354	143.4256	143.4305	-0.0026
M11	143.8342	143.8361	143.8352	143.8405	143.8341	143.8373	-0.0021
R12	142.9482	142.9484	142.9483	142.9507	142.9445	142.9476	0.0007
L12	142.9874	142.9903	142.9889	142.9935	142.9869	142.9902	-0.0014

附註:R0、L0、R12及L12監控點位於橋梁兩端伸縮縫。最後一欄負值表示監測點卸載後仍有反彈。

表2.3 各部卡車重量表

編號	總重(tf)
1	34.5
2	34.4
3	35.1
4	34.8
5	33.8
6	33.9
7	35.1
8	35.7
合計	277.3

表2.4 各主要監控點之撓度試驗值與理論值比較

測點	試驗撓度(m)	設計活重之撓度(m)	監控點理論分析之代號
R1	0.0036	0.020	C1R
L1	0.0133	0.041	C1L
M1	0.0129		
R2	0.0186	0.021	C2R
L2	0.0205	0.055	C2L
M2	0.023		
R3	0.0127	0.019	C3R
L3	0.0309	0.058	C3L
M3	0.021		
R4	0.0193	0.019	C4R
L4	0.0377	0.054	C4L
M4	0.0246		
R5	0.0283	0.025	C5R
L5	0.0311	0.047	C5L
M5	0.0287		
R6	0.0287	0.034	C6R
L6	0.0372	0.038	C6L
M6	0.0266		
R7	0.0305	0.044	C7R
L7	0.0374	0.03	C7L
M7	0.0293		
R8	0.0343	0.053	C8R

L8	0.028	0.025	C8L
M8	0.025		
R9	0.0349	0.057	C9R
L9	0.0297	0.023	C9L
M9	0.0254		
R10	0.0282	0.053	C10R
L10	0.0168	0.022	C10L
M10	0.0215		
R11	0.0167	0.039	C11R
L11	0.0153	0.018	C11L
M11	0.0157		



照片 2.1 試驗前 6 部卡車停放在橋梁上



照片 2.2 第 1 部卡車停在橋梁上



照片 2.3 兩部卡車停在橋梁上



照片 2.4 四部卡車停在橋梁上



照片 2.5 共 6 部卡車在橋梁上



照片 2.6 共 6 部卡車在橋梁上



照片 2.7 共 8 部卡車停放在橋梁上，每車道 4 部。



照片 2.8 共 8 部卡車停放在橋梁上，每車道 4 部。



照片 2.9 卸載留置 6 部卡車在橋梁上。



照片 2.10 卸載留置 6 部卡車在橋梁上



照片 2.11 卸載留置 4 部卡車在橋梁上。



照片 2.12 卸載留置 2 部卡車在橋梁上。



照片 2.13 卸載，無卡車在橋梁上。



照片 2.14 卸載，無卡車在橋梁上。



照片 3.1 鉸接板鋼筋綁紮



照片 3.2 鉸接板澆置混凝土完成後，在中央放置三角型木條，形成 V 型凹槽。



照片 3.3 車輛 2(36T)定位，量測預力大樑中央撓度之載重位置



照片 3.4 車輛定位後，觀察鉸接板開裂情況之載重位置

叁、尚志橋載重試驗

3.1 尚志橋載重試驗之載重

尚志橋橋齡超過20年，研判原設計活載重為HS20-44+25%。橋全長195公尺，共有5跨。全寬20m，淨寬15m，四個車道，有9支I型預力梁，由於無原始設計圖說，因此選擇其中兩跨來進行載重試驗。試驗目的是(1)了解預力大梁之承載能力；(2)了解鉸接板在活載重作用下之開裂情況。橋跨之總活載重如果依橋梁規範估計如下表3.1所示，應可承受36.98公噸之貨車載重。

表3.1 橋跨之總活載重估計

項目	靜態載重試驗橋跨之總活載重估計
橋梁跨徑	34m
衝擊力係數	0.21
單車道活載重(tf)	$(32.85*1.25)*1.2=49.3$
車道數	4
規範車道數載重折減	25%
橋跨總活載重(tf)	$49.3*(1-25\%)=36.98$

3.2 載重試驗計畫、試驗結果與討論

靜態載重試驗時車道需暫時封閉，停止使用。安全措施，僅有橋梁本身之安全及載重試驗時相關工作人員之安全。靜態載重試驗當天如果天候不佳或風速大，足以影響工作人員安全，則停止試驗。測量時為確保手持水準尺作業手之安全，作業手原則站在護欄內，監測點須先做記號。

試驗進行中，相關之工作人員應戴安全帽、穿反光背心。載重試驗時，無相關之人員禁止在橋梁上。載重試驗時，司機並留在卡車上，並熄火，以免造成橋梁之震動。

靜態載重試驗施加载重位置如圖3.1(A)所示，同時量測橋梁中央之撓度變化。以了解變位是否在合理及安全之範圍內。

靜態載重試驗時，測試車輛緩慢移動至規劃之位置，靜待一段時間約5至10分鐘，待橋梁充分反應施加载重之效應後，再進行相對變位之量測。為確保橋梁加載試驗之安全，採用逐步移動車輛加載方式，並觀察試驗加載過程中，橋梁結構是否有任何損壞，確保試驗不會造成橋梁損壞。測量是利用電子水準儀，配合條碼水準尺量測監測點之高程，電子水準儀可顯示公尺以下4位數，精度1mm。載重施加時可視監測點之垂直變位與理論值差異是否在安全合理之範圍及橋量各構件之狀況做調整，靜態載重試驗過程詳照片3.3、照片3.4。

如圖3.1(A)所示，施加車輛載重前，橋梁跨度中央監測點水準尺之讀數為1.5270M，載重車輛36.32公噸開到跨距1/2處，第1點位監測點水準尺之讀數為1.5280M，第2點位水準尺之讀數為1.5284M，第3點位水準尺之讀數為1.5280M。表示梁跨度中央之撓度為0.14cm。根據理論分析標準貨車載重32.85公噸加21%衝擊係數所造成之撓度為0.8cm。此理論值與試驗值比較，顯示試驗值遠低於理論分析值。其原因(1)理論分析時所假設預力梁之剛性(彈性係數E及慣性矩I)與實際預力梁之剛性不盡相符；(2)理論分析是假設橋面板為簡支承於預力梁，且將輪重視為集中載重作用。車輛載重放置於車道上，但實際橋面板與所有預力梁為一整體，共同抵抗車輛載重，因此車輛之載重會傳遞分布於其他預力梁。(3)傳統之理論分析是假設預力梁為均勻斷面之線桿件，其支承為一點。實際預力梁之斷面為局部變斷面，且有橫隔梁，且支承有一定之寬度。因此載重試驗之撓度均比理論值低。

尚志橋鉸接板之施工如照片3.1~3.2 所示。為了解鉸接板完成後在活載重作用下開

裂情形，試驗時載重車輛1(重33.44T)及車輛2(重36.32T)分別開至相鄰兩跨之中央，如照片3.3~3.4及圖3.1(B)之第1、2位置，靜置1小時(照片)，觀察鉸接板中央及其附近有無開裂。試驗結果均無開裂情形。其原因是預力梁之撓度試驗值遠低於理論值，因此橋面板之彎矩很小，未超過混凝土之開裂彎矩，因此在鉸接板處未出現裂紋。

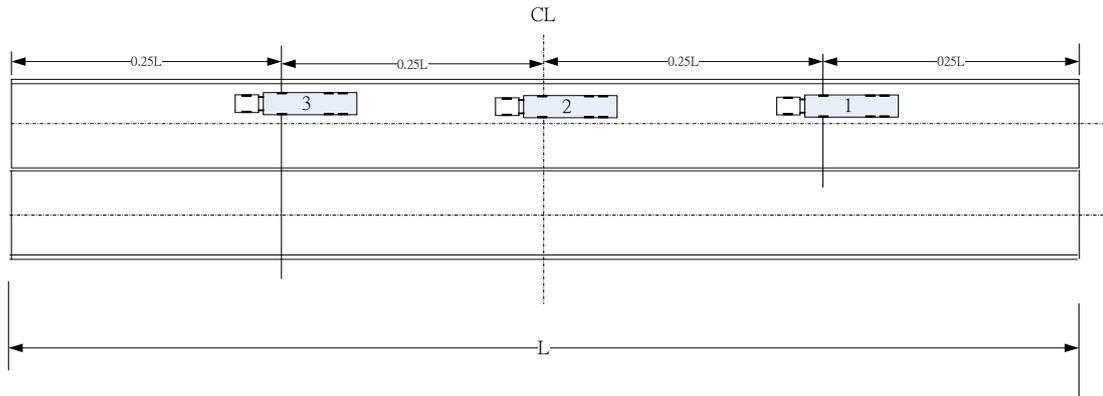


圖3.1(A) 靜態載重試驗量測預力梁中央撓度之車輛載重位置順序示意圖

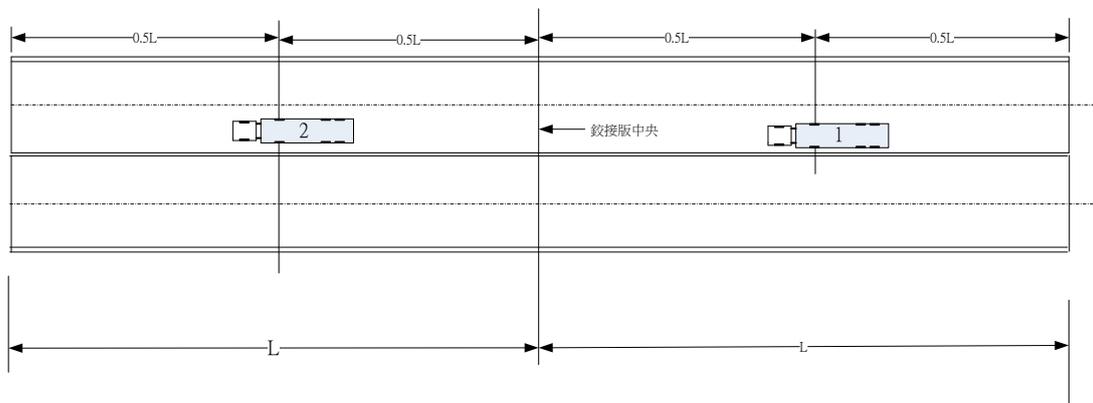


圖3.1(B) 觀察鉸接版開裂情況之載重試驗車輛預定位位置示意圖

3.3 預力簡支梁橋面連接橋板(link slab)之設計

目前花蓮縣有幾座橋梁，例如北岡大橋、箭瑛大橋及尚志橋等，在簡支預力梁上採用鉸接板，如下圖 3.2 所示，將橋面板形成連續板的構造，可以減少伸縮縫及其日後之維修費，同時提高行車的舒適度。理論上鉸接板就是在該處形成混凝土會開裂的鉸接，因此在該處填上填縫材，並塗刷防水膜，以避免日後鋼筋生鏽。由於簡支預力樑受到載重作用後，梁之端點會有傾角(slope)，亦稱撓角。如果將橋面板採用連續構造，則該連接橋面板(link slab)如果能夠承受該傾角所產生之彎矩，則可控制該處之撓曲裂縫在容許範圍內。連接橋面板之彎矩其大小為 $(4EI/L)\theta$ ，此處 E 為連接橋面板之混凝土彈性係數，I 為其慣性矩，L 為連接橋面板全部長度之半，其長度根據文獻[3]之建議約為梁長度之 5%。文獻[4]以兩跨簡支鋼梁及混凝土梁，兩個跨度長 20ft，形成一個長 40.67ft 之連續板。並將連續處之兩支鋼梁各保留 1ft 長沒有與橋面板之混凝土黏接，以便在該處之橋面板可以發展簡支預力樑所需要之撓角。試驗結果顯示兩跨簡支鋼梁達到極限強度 40% 時，連接橋面板之裂縫寬度為 0.3mm，達到極限強度 67% 時，連接橋面板之裂縫寬度為 0.74mm，達到極限強度時，連接橋面板之裂縫寬度為 6.1mm。在前述之三個載重階段，橋面板鋼筋之應力分別為 19.1、30.4 及 63.6ksi。改用兩跨簡支混凝土梁時，當

達到極限強度 37% 時，連接橋面板之裂縫寬度為 0.254mm，達到極限強度 78% 時，連接橋面板之裂縫寬度為 0.61mm，達到極限強度 90% 時，連接橋面板之裂縫寬度為 0.97mm。在前述之三個載重階段，橋面板鋼筋之應力分別為 18.6、40.2 及 56.5ksi。因此只要控制在載重下橋面板鋼筋之應力即可控制裂縫寬度。

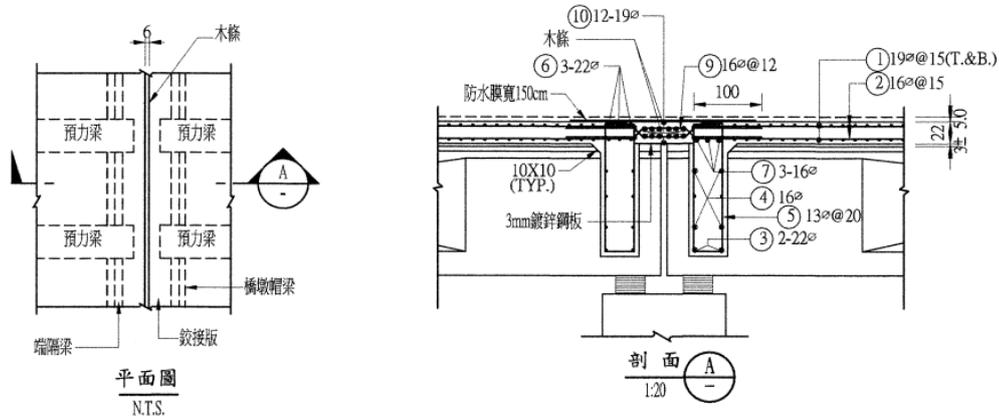


圖 3.2 在簡支預力梁上之伸縮縫改採用鉸接板之設計圖

如圖 3.3 所示，橋面板厚度為 h ，寬度為 b ，拉力側之鋼筋量為 A_s ，拉力鋼筋之有效深度為 d ，圖 3.3(C) 為應力圖，中性軸之位置 c ，可由下式求得。

$$\frac{1}{2}bc^2 = nA_s(d - c) \quad (1)$$

解得 c 為

$$c = d\sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} - \rho nd \quad (2)$$

上式中 $\rho = A_s/bd$ ， $n = E_s/E_c$ ，

$$E_s = \text{鋼筋之彈性係數} = 2.04 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2, E_c = \text{混凝土之彈性係數} = 15000\sqrt{f'_c} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$$

作用在橋面板之彎矩 M_a 為

$$M_a = f_s A_s \left(d - \frac{c}{3}\right) \quad (3)$$

開裂斷面之慣性矩 I_{cr} 為

$$I_{cr} = \frac{1}{3}bc^3 + nA_s(d - c)^2 \quad (4)$$

開裂彎矩 M_{cr} 為

$$M_{cr} = \frac{bh^2}{6} f_r \quad (5)$$

上式中 $f_r = \text{混凝土之破裂模數} = 2\sqrt{f'_c}$ (kgf/cm^2)，鋼筋之拉應力 f_s 為

$$f_s = \frac{M_a}{A_s(d - c/3)} \quad (6)$$

混凝土之壓應力 f_c 為

$$f_c = \frac{2M_a}{bc(d - c/3)} \quad (7)$$

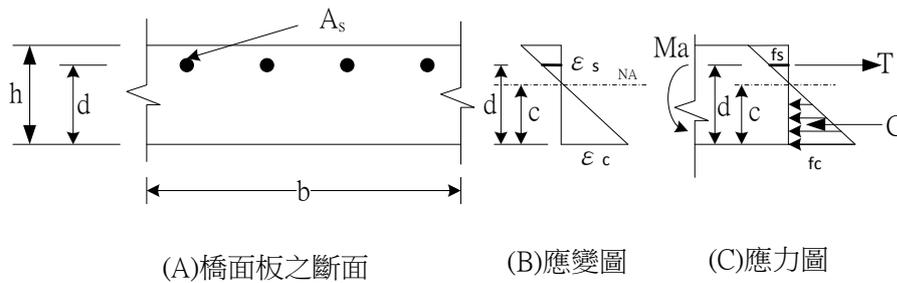


圖 3.3

至於上述公式中之作用在橋面板之彎矩 M_a ，可由簡支預力梁端之傾角求得，如下式所示，

$$M_a = \frac{4EI\theta}{L} \quad (8)$$

此處 E 為連接橋面板之混凝土彈性係數， I 為其慣性矩， L 為連接橋面板全部長度之一半，其長度根據文獻 1 之建議約為梁長度之 5%。

茲以跨度為 38.1m 之簡支預力梁為例，梁之間距為 2.2m，橋面板之厚度為 20cm。混凝土之抗壓強度 $f_c' = 210 \text{ kgf/cm}^2$ ，鋼筋降伏應力 $f_y = 2800 \text{ kgf/cm}^2$ 。由橋面板及橫隔梁等靜載重所造成之梁端傾角為 0.0022，由其他靜載重所造成之傾角為 0.0003，由活載重所造成之傾角為 0.001，合計總傾角為 0.0035。連接橋面板之全部長度用 4.4m，其上層鋼筋每公尺寬之用量為 D19 @ 10cm， $A_s = 28.7 \text{ cm}^2$ 。在設計載重下其裂縫寬度為 0.025cm。

肆、結論與建議

本研究對橋梁之載重試驗得到如下之結論，

1. 白沙一號橋位於台 8 線 181k+400，橋型為單跨系鋼拱橋，計算跨徑為 110m，車道全寬 9.5m，淨寬 8.5m。拱肋及主梁均採用鋼箱型梁。鋼拱橋拱肋與主梁上設置 22 束吊索。依規範計算橋跨總活載重為 326.3tf，約 10 部標準貨車載重(32.85t)。由於本橋之交通量不高。基於考量試驗之主要目的在了解本橋施工期間因豪雨造成溪水暴漲，沖倒臨時支撐，使已組裝之鋼梁產生下垂，是否影響鋼梁之承載能力，進而推估全橋之服務載重，故試驗載重並不須以最大設計活載重為考量對象，可適度地折減。同時本鋼橋之構件細部結合點甚多，現場載重試驗通常都具潛在危險，因此載重試驗採用 8 部標準貨車載重。8 部卡車過磅之實際總重為 277.3 公噸(平均每部 34.66 公噸)，因此平均每車道每公尺之活載重為 1.26tf/m。8 部卡車全部加載至橋面時，各主要監控點之撓度實驗值與設計理論值比較，除了 L7(比理論撓度大 7.4mm)、L8(比理論撓度大 3mm)及 L9(比理論撓度大 6.7mm)略微比理論撓度大一些外，其原因為實驗之卡車為集中載重，其撓度比理論之均佈載重略微大一些，其他監控點撓度均比理論撓度小。為了解橋梁是否於加載重及卸載重後之行為是否為彈性，於載重試驗完成後兩天，再測量橋梁無卡車時監控點高程，並與載重試驗當天比較，整座橋梁有再反彈，表示施加於橋梁之載重尚在彈性範圍，故該橋承載能力尚符合橋梁規範之規定。

2.尚志橋是傳統預力混凝土橋，為連結市區與美崙的主要道路，橋齡超過 20 年，全長 195 公尺，共有 5 跨橋梁，由於沒有橋的原始設計圖說，因此在進行載重測試來了解其承載能力，試驗結果，活載重之最大撓度為 1.4mm，低於傳統分析預力梁之活載重撓度之理論值 8.0mm。其原因(1)理論分析時所假設預力梁之剛性(彈性係數 E 及慣性矩 I)與實際預力梁之剛性不盡相符；(2)理論分析是假設橋面板為簡支承於預力梁，且將輪重視為集中載重作用。車輛載重放置於車道上，但實際橋面板與所有預力梁為一整體，共同抵抗車輛載重，因此車輛之載重會傳遞分布於其他預力梁。(3)傳統之理論分析是假設預力梁為均勻斷面之線桿件，其支承為一點。實際預力梁之斷面為局部變斷面，且有橫隔梁，支承有一定之寬度。因此載重試驗之撓度均比理論值低。

3.尚志橋修建時將部分橋面板之伸縮縫取消，而以鉸接板代替，形成預力梁為簡支承，但橋面板為連續板，雖然可以增加行車之舒適性，理論上鉸接板在活載重作用下，會造成在鉸接板有開裂情況發生。載重試驗時，將兩部卡車重量分別為 33.44 公噸及 36.32 公噸，分別開至尚志橋相鄰兩跨度之橋梁中央，並放置 1 小時，檢查兩跨間之鉸接板之開裂情形，試驗結果鉸接板並無裂紋。其原因是預力梁之撓度試驗值遠低於理論值，造成傳到橋面板之彎矩減小，未超過鉸接板處混凝土之開裂彎矩，因此在鉸接板處未出現裂紋。

4.在簡支預力梁上之伸縮縫改採用連接板，使橋面板形成連續的構造，可以減少伸縮縫及其日後之維修費，同時提高行車的舒適度。從本研究之試驗結果，建議將該連接板設計為可抵抗彎矩之橋面板，因此在該處不用填上填縫材，及塗刷防水膜。由於簡支預力樑受到載重作用後梁之端點會有傾角(slope) θ 。如果將橋面板採用連續構造，則該連接橋面板(link slab)需設計能夠承受該傾角 θ 所產生之彎矩，其大小為 $(4EI/L)\theta$ ，此處 E 為連接橋面板之混凝土彈性係數，I 為其慣性矩，L 為連接橋面板全部長度之半，其長度建議約為梁長度之 4%。

伍、參考文獻

- [1]交通部，「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」，台北（2014.12）。
- [2]交通部，「公路橋梁設計規範」，台北（2009.12）。
- [3] EI-Safty, A. K., "Analysis of Jointless Bridge Decks with Partially Debonded Simple Span Beams," Ph.D. Dissertation, North Carolina State University, Raleigh, NC, 1994.
- [4] Caner, A., Zia, P., "Behavior and Design of Link Slabs for Jointless Bridge Decks", https://www.pci.org/PCI_Docs/Publications/PCI%20Journal/1998/May-June/Behavior%20and%20Design%20of%20Link%20Slabs%20for%20Jointless%20Bridge%20Decks.pdf

防火宣導與火災統計之分析研究-以花蓮市為例 Analysis and Research on Fire Prevention and Fire Statistics with Hualien City as an example

黃文鴻¹ 王世忠^{2*}

Wen-Hung Huang¹, Shih-Chung Wang^{2*}

1 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 碩士

Master of Engineering, Department of Civil Engineering & Environmental Resources Management,

Dahan of Institute 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 Resources Management,

Dahan of Institute Technology

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

摘要

台灣地區近年來因生活品質與物質享受需求提升，使得用火用電情形增加，因此火災發生率亦隨之提高，依據內政部消防署 108 年火災案件統計資料，火災類別中以建築物火災發生 8,003 件(佔 35%)最多，而建築物火災類別中又以住宅火災(集合+獨立住宅)發生 6,164 件所佔比例最高(26.95%)。為降低火災所造成生命財產上之損失，法規要求各縣市定期舉辦防火教育及宣導，並成立防火宣導組織進行防火宣導及家戶訪視，但防火宣導活動是否能降低火災發生率？歷年發生之火災資料是否能提供火災防治對策上之參考？特定節日進行之宣導活動是否能降低與節日有關之火災發生率？因此蒐集花蓮縣消防局防火宣導與受理火災案件資料，並加以彙整分析，作為日後執行防火宣導與防火政策推行之參考。

本研究以縣內人口數與密度最高之花蓮市為範圍，運用CORREL函數對 100-108 年防火宣導及火災次數資料分析其相關性，並彙整火災資訊找尋發生時間上之關聯性，以及使用Google Map及Excel 3D地圖製作火災發生地圖與熱區圖，了解火災發生較密集之區域。研究結果顯示 100-108 年火災發生數與建築物火災發生數有下降趨勢，但防火宣導與火災發生次數間相關性並不明顯，針對清明期間防火宣導活動則有降低公墓火警發生之相關性，而火災發生月份部分發現 6 月份的火災發生次數明顯高於其他月份，發生火災時間以 9-19 時最多，2-6 時最少；在火災發生熱區經由製作之火災發生熱區圖發現花蓮市建築物火災熱區有 13 處，且大部分熱區所在區域以人口相對密集之住宅區為主，並發現越接近花蓮市早期開發區域，火災發生熱區有越密集之情形。

關鍵詞：防火宣導、統計分析、火災發生次數、花蓮市

壹、前言

台灣地區近年來因生活品質與物質享受需求提升，使得用火用電情形增加，因此火災發生率亦隨之提高，現行消防法及相關法令係針對公共場所火災預防而制訂，相對住宅火災之發生卻因為法令所不及，導致火災發生率居高不下，依據內政部消防署 108 年火災案件統計資料^[1]，全國總火災次數為 22,866 件，火災類別中以建築物火災發生 8,003 件（佔 35%）最多，而建築物火災類別中又以住宅火災（集合住宅+獨立住宅）發生 6,164 件所佔比例最高（26.95%）。消防單位最常受理之災害類別為火災，為降低火災所造成生命財產上之損失，法規要求各縣市政府定期舉辦防火教育及宣導，並結合志工進行防火宣導家戶訪視等宣導活動，但防火宣導活動是否能降低火災發生率？歷年發生火災類型、發生次數及地點是否能提供火災防治對策上之參考？因此蒐集花蓮縣消防局執行防火宣導與受理火災案件資料，並加以彙整分析，以作為日後執行防火宣導與防火政策推行之參考。

為瞭解防火宣導與火災發生次數是否有相關性，本研究以縣內人口數與人口密度最高之花蓮市為範圍^[2]，蒐集花蓮縣消防局 100-108 年有關防火宣導活動與受理火災案件資料進行彙整分析，在特定節日防火宣導活動部分，則為統計清明節前後（統計當年度 3-4 月）針對清明節進行之防火宣導與掃墓可能導致發生之雜草火警次數，並探討其相關性。

貳、實驗方法

本研究之目的在於了解防火宣導是否具有降低火災發生之功效，並找尋火災發生之熱區，故利用以下方法進行研究：

一、資料分析法:於蒐集 100-108 年花蓮市轄內防火宣導次數及火災發生次數並彙整後，分別以月份及年度，使用 Excel 內建 CORREL 函數^[3]進行統計分析，找出其相關性並分析出花蓮市火災特性。

二、數據可視化:依據蒐集之火災資料，利用谷歌地圖（Google Maps）內「我的地圖」功能^[4]及微軟公司（Microsoft）試算表軟體 Excel 中「3D 地圖」功能^[5]（2016 年以後版本新增功能），將相關數據呈現於地圖上，以期找出火災發生之熱區。

有關本研究蒐集之資料與分析內容如下：

一、家戶訪視、宣導場人數與火災發生次數統計：

防火宣導計算方式主要以每月家戶訪視次數及辦理宣導活動了解各年度家戶訪視與宣導活動執行頻率與宣導人數變化，再與火災發生次數進行比對分析，找出其關聯性。

二、特定節日防火宣導分析：

平日防火宣導除執行家戶訪視與宣導活動外，對重要節慶另訂有防火宣導計畫執行相關宣導作為，本研究對清明節期間執行宣導次數與清明節掃墓常發生之雜草火警次數進行統計分析，以其了解節慶執行防火宣導成效。

三、火災發生類別、時間統計及發生地點熱區圖：

每次火災發生場所類別、時間及地點均不相同，經由統計各年度發生火災場所類別、時間、及地點，歸納出花蓮市火災發生趨勢，並利用電腦軟體製作各年度火災發生地點熱區圖。

參、結果與討論

(一) 防火宣導與建築物火災發生次數分析

將 100 年至 108 年花蓮市宣導資料數據 (如表 1) 與受理火災案件件數 (如圖 2)，利用 CORREL 函數協助判斷，分析各月份火災數與宣導作為之數據相關性，其中相關係數負數部分以紅色進行標示，其結果彙整如表 2。在表 2 中，除 100 年總火災及建築物火災發生次數與宣導相關作為之 CORREL 函數關係係數 (後稱相關係數) 均為正值，表示數據間有正相關，宣導作為並未對火災發生數有降低作用，以及 101 年相關係數均為負值，表示數據間有負相關，宣導作為對火災發生數有降低作用外，102-108 之相關係數正負值出現次數大致相等，未有明顯之傾向，依據計算所得數據表示宣導作為並無明顯降低火災發生之相關性。

表 1 100-108 年花蓮市執行防火宣導次數統計表

年度	100	101	102	103	104	105	106	107	108	總計
家訪家數	678	836	625	520	381	560	564	612	503	5972
宣導場次	168	111	88	70	77	76	71	109	124	895
宣導場次人數	27838	21546	13441	25847	12116	12782	11121	12191	23842	160774

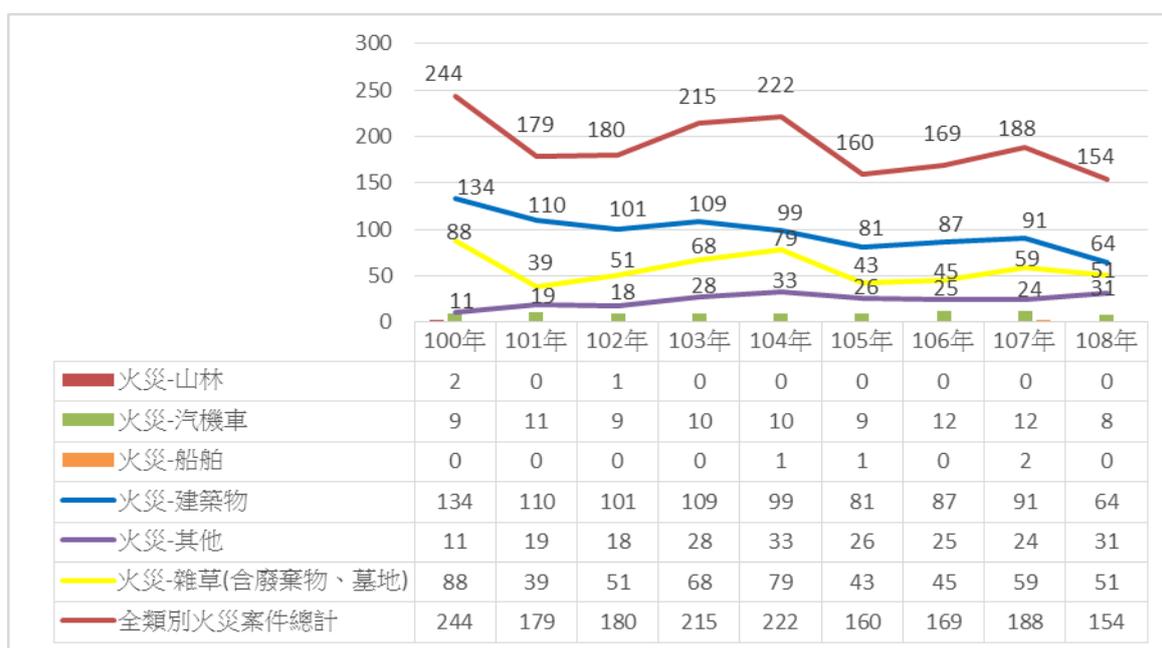


圖 2 100-108 年受理花蓮市火災案件統計表

表 2 100-108 年火災發生次數與宣導作為之相關係數

年度/項目	總火災數與家訪相關係數	總火災數與宣導場次相關係數	總火災數與宣導活動人數相關係數	建物火災數與家訪相關係數	建物火災數與宣導場次相關係數	建物火災數與宣導活動人數相關係數
100	0.145921026	0.172737938	0.185834704	0.303634898	0.167480048	0.282731238
101	-0.120748461	-0.034074237	-0.068114863	-0.2205835	-0.049150811	-0.144337298
102	0.218653867	-0.167937124	-0.108718446	0.627640593	0.123241682	-0.199099862
103	-0.041776035	0.096184424	0.169011484	0.155200492	-0.232259444	0.101529267
104	0.251415012	0.287310366	0.234290321	-0.068073269	0.293621495	0.209447011
105	0.155904712	-0.100133311	-0.192485793	0.282694278	0.155565159	-0.128681287
106	-0.435305029	-0.171844821	-0.493677493	-0.147645553	0.366791465	-0.282043782
107	0.614236131	0.193982013	0.19360072	0.372025729	-0.082955716	-0.291057243
108	-0.241464213	-0.362661661	-0.24866142	0.285616586	0.140759366	-0.313279695

(二) 特定節日防火宣導活動與相關火災發生次數資料分析

在統計清明節公墓火警次數部分，因花蓮市內各族群（客家人、閩南人、原住民等）掃墓時間因習俗不同故有差異，但集中在3月1日至4月6日，故統計3月1日至4月6日公墓火警次數作為分析數據，而在統計清明節期間防火宣導次數部分，依防火教育及宣導計畫與清明節期間防火宣導執行計畫內容，宣導期間為3月22日至4月6日，並可視需要調整，考量掃墓期間因人而異，3月1日到清明節之宣導作為，已包含對清明掃墓注意事項進行宣導，故計算100-108年3月1日至4月6日之宣導做為執行次數，彙整相關資料後以長條圖呈現，並使用CORREL函數協助判斷與分析後製作出圖3。在圖3中，CORREL函數計算相關係數部分均為負數，表示針對清明期間進行之宣導作為與墓地雜草火災有負相關，證明宣導作為可降低墓地雜草火災發生，其中墓地雜草火警與家訪相關係數值接近-0.5，顯示較墓地雜草火警與宣導場次及宣導活動之相關性較高，意即家戶訪視對降低清明期間墓地雜草火災之效益高於宣導場次及宣導人數。

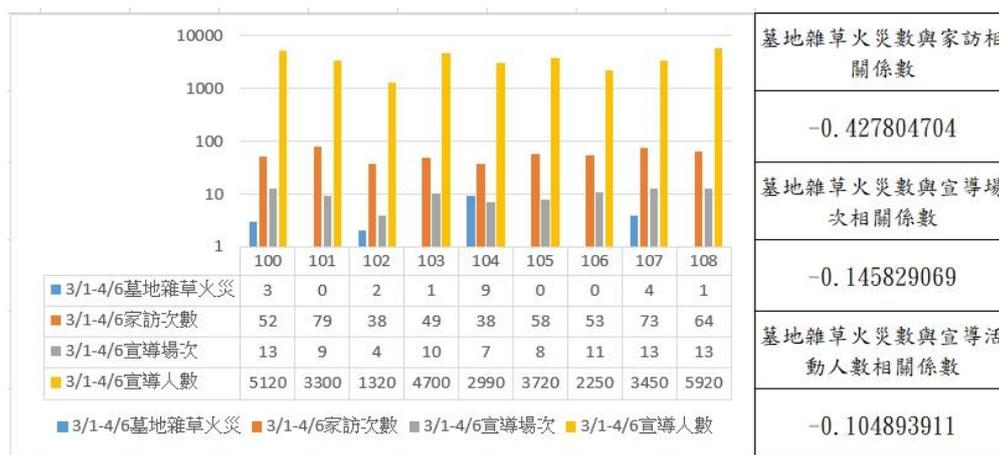


圖 3 100-108 年公墓雜草火災案件數與清明節防火宣導關係圖

(三) 建築物火災發生時間與熱區分析

一、建築物火災發生時間分析：

將 100-108 年受理花蓮市建築物火災案件資料，依發生月份、時間進行分類彙整，並以各年度為範圍，使用色階標註表中數值，數值為該數列中越高者則越偏向紅色，越低者則偏向綠色，接近中間值則為白色，彙整結果如表 3 及表 4，有關表 3 之說明如下：

- (1) 100-108 年建築物火災發生數最多之月份並未集中於某一月份，表示月份與火災發生數多寡並無明顯之關聯性。
- (2) 100-108 年建築物火災發生數各月份合計值中，6 月份合計值最高，且 6 月發生數標註之色階除 103 年外均偏向紅色，表示 6 月為建築物火災發生次數較多之月份，未來可針對各月份建築火災案件進行起火原因分析，以瞭解各月份火災發生原因之數量變化。

表 4 為歸納建築物火災發生時間，有關表 4 之說明如下：100-108 年建築物火災發生時間中，8-19 時發生火災件數大於各時段之平均值，但發生件數較集中於 9-19 時，2-6 時發生件數最少，顯示一般人上班工作到下班返家時段火災發生機率較高，推測原因為 9-19 時是人類活動最為頻繁時段，使用之電器火源次數增加致使火災發生機率提高，而 2-6 時是一般人休息睡眠時段，也是人類活動最低之時段，發生火災機率相對較低。

表 3 100-108 年各月份建築物火災發生次數彙整表

建築物火災發生次數彙整表													
年度/月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	總計
100	21	14	7	16	7	13	2	14	9	11	10	10	134
101	18	8	7	7	6	10	9	6	13	14	4	8	110
102	8	11	4	7	6	15	8	9	9	10	4	10	101
103	6	11	11	6	8	8	12	12	7	12	8	8	109
104	1	6	7	8	6	12	8	18	15	3	9	6	99
105	2	9	4	5	8	10	6	6	10	8	8	5	81
106	8	7	4	12	5	14	5	2	5	9	7	9	87
107	8	7	7	9	10	10	7	4	6	11	6	6	91
108	4	8	5	5	9	8	2	5	3	5	9	1	64
各月小計	76	81	56	75	65	100	59	76	77	83	65	63	876

表 4 100-108 年建築物火災發生時間彙整表

年度/發生時間	0-1 時	1-2 時	2-3 時	3-4 時	4-5 時	5-6 時	6-7 時	7-8 時	8-9 時	9-10 時	10-11 時	11-12 時
100	2	6	2	2	3	3	4	3	7	9	6	10
101	3	5	2	1	2	1	4	2	2	3	5	8
102	5	2	1	0	0	4	1	3	5	6	7	8
103	1	1	4	1	0	1	1	4	8	3	7	7
104	10	2	2	0	0	0	4	3	5	4	4	7
105	3	2	2	1	1	0	1	2	2	5	8	2
106	4	5	2	0	3	0	3	3	2	9	4	4
107	3	2	1	3	2	1	2	2	3	8	3	9
108	1	1	1	2	0	2	3	3	3	6	1	5
時段小計	32	26	17	10	11	12	23	25	37	53	45	60

年度/發生時間	12-13 時	13-14 時	14-15 時	15-16 時	16-17 時	17-18 時	18-19 時	19-20 時	20-21 時	21-22 時	22-23 時	23-24 時
100	7	5	6	5	6	9	14	4	6	6	6	3
101	9	11	4	2	3	6	7	3	4	11	6	6
102	3	6	5	12	6	1	4	4	6	3	5	4
103	8	2	7	8	5	12	8	6	5	3	5	2
104	2	8	6	7	5	1	12	3	4	4	2	4
105	4	1	6	6	6	10	4	3	2	6	3	1
106	4	5	7	1	3	4	6	5	5	1	4	3
107	8	7	5	3	6	6	2	2	4	4	2	3
108	4	3	3	2	2	0	2	6	4	6	3	1
時段小計	49	48	49	46	42	49	59	36	40	44	36	27

二、建築物火災發生熱區分析：

藉由 Google Map 我的地圖功能，將 100-108 年建築物火災發生地點分別匯入地圖後(如圖 4~圖 12)，可以將相關資訊視覺化，判斷火災發生較集中地點(紅圈標示處)，其中發現若以地圖中花蓮市中正路至中美路為分界(圖 4~12 紅色虛線處)，可看出 100-108 年火災發生集中區域在分界以北部分之分布較為隨機無規律性，分界以南部分則較集中於花蓮市中山路與長安街之間，推測可能原因為分界以北區域跟分界以南區域相比，大部分屬開發較晚期之區域，人口密度與住宅戶數較分界以南區域低，故火災發生集中區域較為分散，而分界以南區域則大部分為花蓮市早期開發時建築物較為集中區域，人口密度與住戶數相對較多，且房屋較為老舊，屋內電路老化程度高，不符現今用電線路相關規定與用電習慣，導致火災發生機率相對較高，致使火災發生集中區域在分界以南區域較為集中。

若將 100-108 年全部火災地點資訊匯入地圖(如圖 13)判定近幾年火災發生熱區，會因顯示於地圖上之地點太多而難以斷定，故使用 Excel 3D 地圖-熱力圖並匯入 100-108 年建築物火災發生地點，其中單一火災發生地點顏色標註為綠色，當 2 處建築物火災發生地點越相近，其熱點顏色會由綠色變為黃色及紅色(最相近時)，故可由火災發生熱區圖找出火災發生較頻繁之區域(如圖 14)有 13 處(圖中圈起有數字編號處)，且大部分熱區所在區域以人口相對密集之住宅區為主，並發現越接近花蓮市早期開發區域，火災發生熱區有越密集之情形。

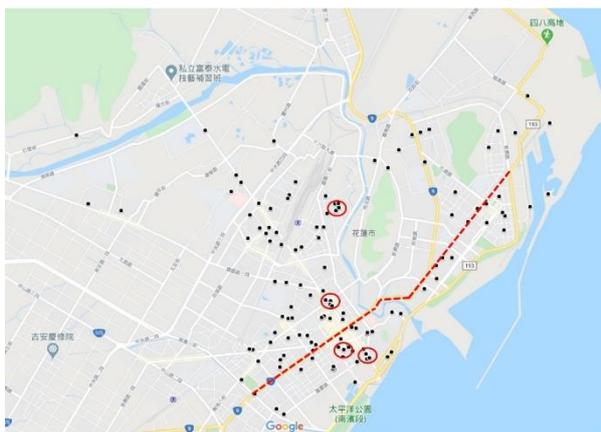


圖 4 100 年火災地圖

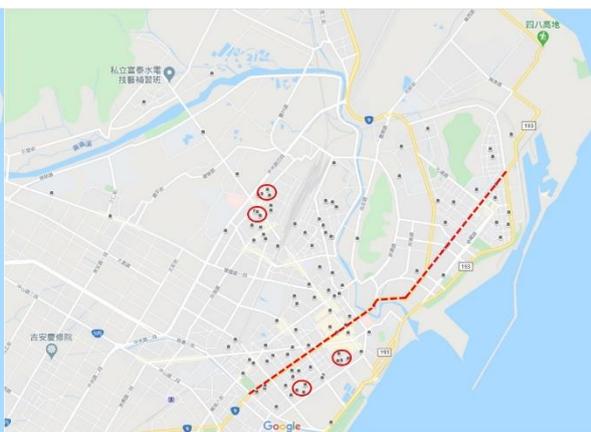


圖 5 101 年火災地圖

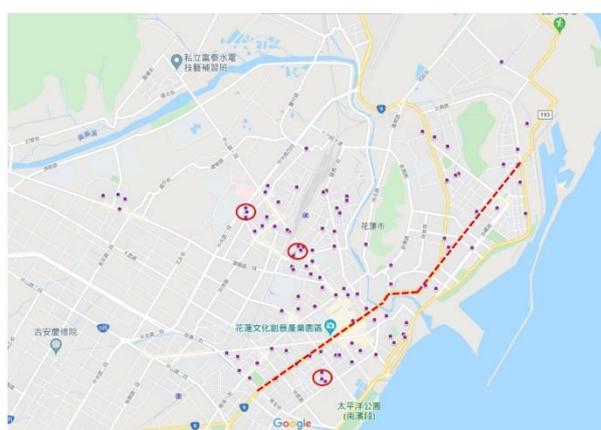


圖 6 102 年火災地圖

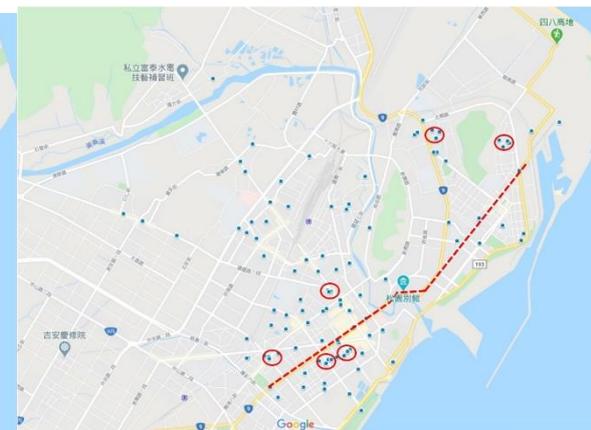


圖 7 103 年火災地圖

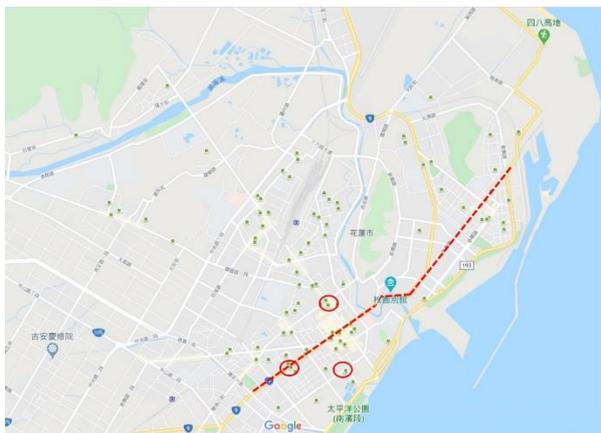


圖 8 104 年火災地圖

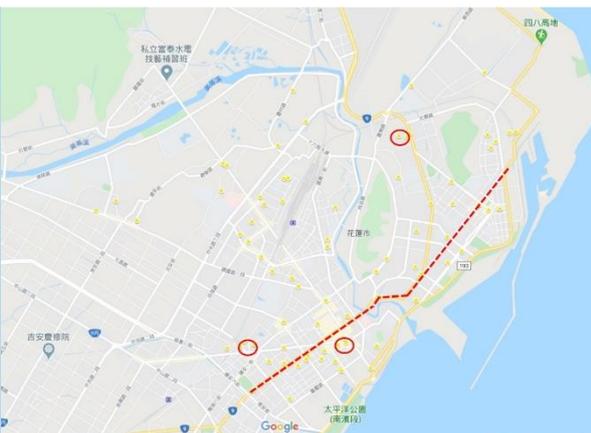


圖 9 105 年火災地圖

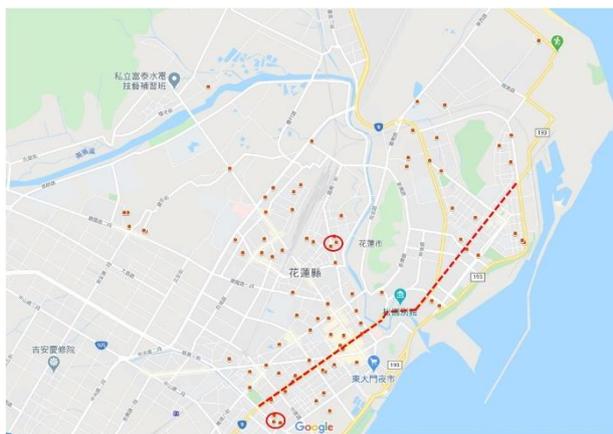


圖 10 106 年火災地圖

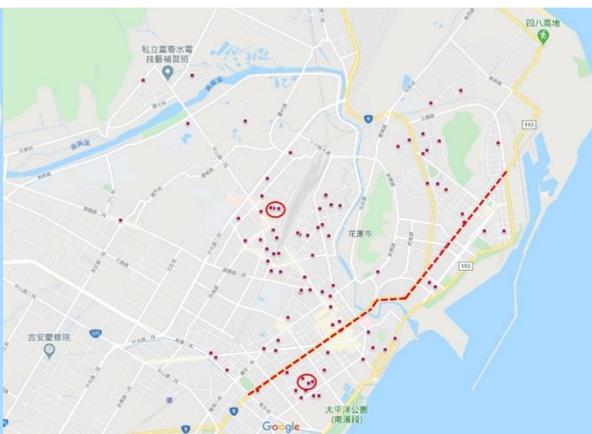


圖 11 107 年火災地圖

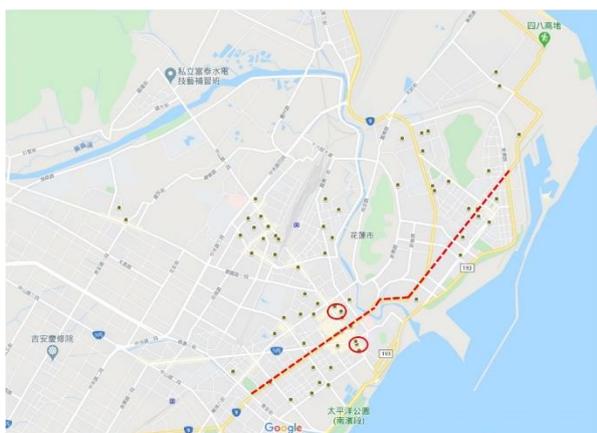


圖 12 108 年火災地圖

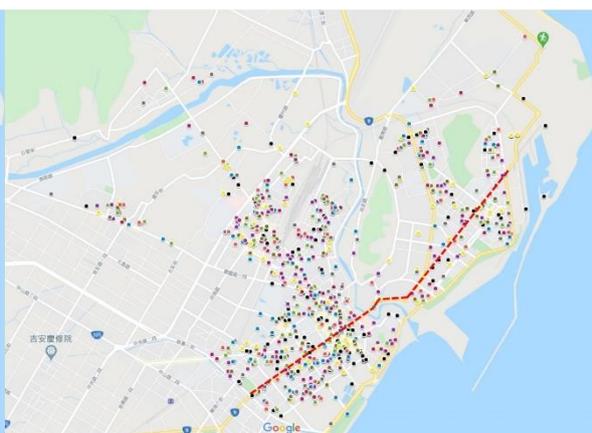


圖 13 100-108 年火災地圖

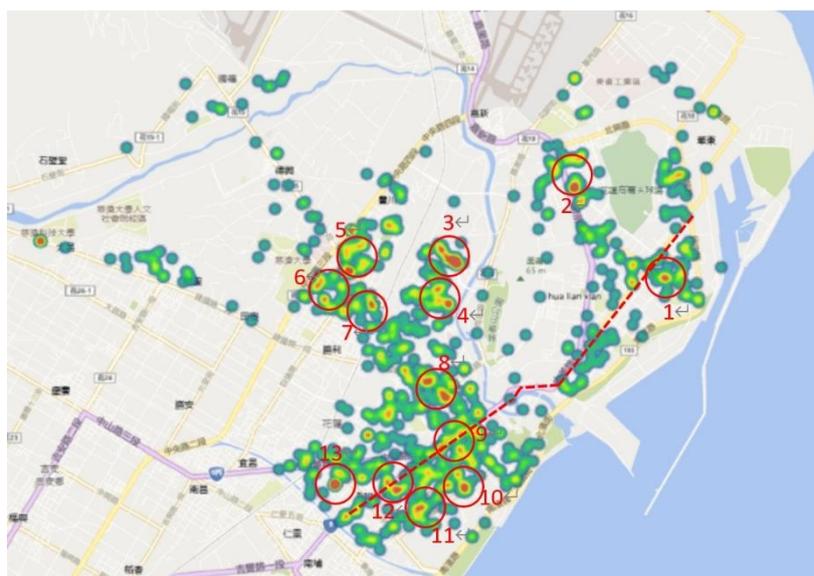


圖 14 100-108 年火災發生熱區地圖

肆、結論

- 一、分析 100-108 年受理花蓮市火災案件數，在火災發生次數方面，總火災與建築物火災發生次數有明顯下降趨勢，其他類別火災發生趨勢較不明顯，比較各年度火災類別發生次數，以建築物火災居冠，其次為雜草火警。
- 二、使用 CORREL 函數分析 100-108 年花蓮市各月份火災發生次數及防火宣導作為數據之相關性，發現火災發生次數與防火宣導數據呈現正相關與負相關之次數大略相等，顯示兩者間相關性並不明顯。
- 三、在特定節日防火宣導活動與相關火災發生次數資料分析方面，選擇火災發生原因較單純之清明節期間公墓雜草火警與清明節防火宣導作為數據作為分析內容，使用 CORREL 函數分析出之數值得出兩者間有負相關，證明清明節防火宣導作為確實可降低清明節期間因掃墓導致之雜草火警發生次數。
- 四、針對 100-108 年花蓮市建築物火災發生時間進行分析部分，由彙整資料得知，火災發生次數最多之月份並未集中在某一月份發生，表示月份與火災發生次數多寡並無明顯之關聯性；在 100-108 年花蓮市建築物火災各月份發生數合計值中，6 月為合計值最高之月份，顯示 100-108 年之 6 月份建築物火災發生次數較其他月份頻繁；在建築物火災發生時間分析方面，以 9-19 時火災發生次數明顯高於其他時段，2-6 時火災發生次數最少，顯示一般人上班工作到下班返家時段火災發生機率較高，休息睡眠時段發生火災機率較低。
- 五、依據 100-108 年花蓮市建築物火災發生地點，使用 Excel 3D 地圖-熱力圖製作火災發生熱區圖，得知建築物火災發生熱區集中於 13 處區域，且大部分熱區所在區域以人口相對密集之住宅區為主，並發現越接近花蓮市早期開發區域，火災發生熱區有越密集之情形。

參考文獻

- [1] 內政部消防署全球資訊網，資訊公開-統計資料-108 年火災概況，
<https://www.nfa.gov.tw/cht/index.php?code=list&ids=220>。
- [2] 花蓮縣民政處，人口統計各式列表-2020 年 3 月份，
<https://ca.hl.gov.tw/List/52a6dfc9d0cf425488e22f947be8827a>。
- [3] Microsoft 網站，CORREL 函數，
<https://support.microsoft.com/zh-tw/office/correl-%e5%87%bd%e6%95%b8-995dcef7-0c0a-4bed-a3fb-239d7b68ca92?ns=excel&version=90&syslcid=1028&uilcid=1028&appver=zx1900&helpid=xlmain11.chm60355&ui=zh-tw&rs=zh-tw&ad=tw>。
- [4] 維基百科，Google 地圖，
https://zh.wikipedia.org/wiki/Google_%E5%9C%B0%E5%9B%BE。
- [5] Microsoft 網站，Office 支援-開始使用 3D 地圖，
<https://support.microsoft.com/zh-tw/office/%e9%96%8b%e5%a7%8b%e4%bd%bf%e7%94%a8-3d-%e5%9c%b0%e5%9c%96-6b56a50d-3c3e-4a9e-a527-eea62a387030?ui=zh-tw&rs=zh-tw&ad=tw>。

廢鋁箔複合材料熱裂解研究

Study on the Pyrolysis of the Waste Aluminum Foil Composite Materials

吳照雄^{1*} 劉佳欣²

Chao-Hsiung Wu¹, Chia-Hsin Liu²

1大葉大學環境工程學系 教授

Professor, Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

2大葉大學環境工程學系碩士班 學生

Student, Graduate Program, Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

* Corresponding author: chwu@mail.dyu.edu.tw

摘要

含鋁複合材包裝材質依組成特性及功能包括，主材(印刷層，如PET、OPP)、副材(功能層，分為電鍍鋁EAC、AFC及鋁箔)、熱封層(與包裝內容物品直接接觸，如PE或CPP)、貼合層(貼合主材、副材及熱封層，如PE)。鋁箔複合材(Aluminum foil composite, AFC)是常用的複合包裝材料之一，具有防濕、防水、防氣、耐久、保香等功能，使食物或物品保存時間延長。由於廢棄後不易分解，使得廢棄量日益增加，造成環境莫大的負荷。AFC中塑料與鋁料的比例約87~99%與1~13%，具回收金屬鋁及裂解油品之潛力。有鑑於此，本研究以熱裂解方式處理廢AFC，以評估製成液體燃料及回收鋁之可行性。

研究內容包括AFC基本物化性質分析，主要項目有：三成分及固定碳分析、熱值分析、元素分析、全鋁含量、反應熱量測分析、場發射掃描式電子顯微鏡分析及常壓熱裂解分析。研究結果顯示，(1) AFC含水分0.2%、可燃分99.32%、灰分0.48%、固定碳5.18%、熱值約9,102kcal/kg。(2) AFC元素分析得知，所含元素主要為C、H、O，C、H、N、O、S元素分別為77.75%、10.65%、0.2%、13.65%、0.08%，未測到氯元素。(3)以高溫掃描量熱儀進行分析(HT-DSC)AFC反應熱，結果顯示AFC主要特徵峰值為485.2°C，吸熱值為3236kJ/kg。(4)樣品在氮氣中熱裂解產率之組成百分比，固體、液體、氣體產物分別為27.98%、11.54%、60.48%；在5%氧氣中熱裂解，固體、液體、氣體產物分別為20.73%、27.01%、52.27%。(5)在氮氣中及在5%氧氣中裂解固體產物熱值分別為8,784kcal/kg及8,357kcal/kg。(6)以微波消化分析樣品、氮氣中及5% O₂中裂解固體產物全鋁含量，分別為1.64%、2.59%及1.96%；以場發射掃描式電子顯微鏡(EDS)分析固定碳及灰分中之含鋁量，分別為3.66%與19.24%；利用XRPD分析AFC在氮氣中及5% O₂中裂解固體產物之繞射圖，分別在38.15°、44.44°、64.92°及77.99°左右與純鋁之圖譜重疊，即在有氧情況下裂解，鋁並未被氧化，極具有回收價值。(7)AFC在氮氣中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為11,567 kcal/kg及11,597 kcal/kg，在5% O₂中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為11,116 kcal/kg 及10,729 kcal/kg。(8)AFC在氮氣中裂解液體產物各類別所占百分比分別為，烷類18.99%、烯類19.6%、醇類0.92%、酮類4.47%、酯類6.97%、腈類26.37%、苯環類0.66%、其他22.03%；AFC在5% O₂中裂解液體產物各類別所占百分比分別為，烷類13.55%、烯類39.07%、醇類8.04%、酸類25.51%、酮類7.53%、酯類4.61%、苯環類1.69%。 **關鍵詞：鋁箔複合材、熱裂解、鋁回收、熱裂解產物**

壹、前言

隨著塑膠工業的發展及市場的需要，包裝材料種類愈來愈多，材質功能的講究也變的更加多元化。就食品類包裝而言，可依商品特性來採用適合包裝材料，常見包裝材料有：(1)易撕盒蓋膜：一般產品的包裝，提供完整保鮮。密封性優良、耐水性佳、熱封容易、易撕開方便性。(2)真空包裝袋：須低溫殺菌的狀態下，保持不容易變性、變質、韌性強，減少輸送中破裂。具有透明、阻隔性、可冷凍、冷藏、抽真空等特性。(3)真空高溫殺菌袋：因須高溫殺菌與蒸煮的狀態下，保持不容易變性、變質、韌性強，減少輸送中之破裂。功能：高溫殺菌、阻隔性、抽真空、常溫保存…等。(4)複合膠膜/袋：單層或多層透明塑膠膜包材積層而成，價格較便宜。功能：透明、強韌、耐油、防濕、防氣、能熱封…等。(5)複合鋁箔膠膜/袋：塑膠材質單層與鋁箔或多層積層製成的。功能：高度防濕、防水、防氣、遮光性、耐寒、耐久、保香，能使食物保存較長久時間。因應塑膠工業的發展及市場的需要，包裝材料種類愈來愈多，材質功能也變的更加多元化。然而大量使用的結果，也造成環境莫大的負荷。

含鋁複合材包裝廢棄物中已公告為應回收廢棄物及執行機關應回收項目者，僅鋁箔包(即無菌紙盒包)容器，而袋膜類尚未公告為應回收廢棄物或執行機關應回收項目，主要原因是含鋁複合材包裝廢棄物之回收處理技術因材質組成不同而異，惟材質種類繁多且不易分類辨識，國內目前尚無膜袋類含鋁複合材包裝廢棄物之專業處理廠，致使國內現階段尚未推動膜袋類及含鋁複合材包裝袋之回收處理工作。

台灣廢鋁進口量約16萬公噸/每年、進口單價約55-60元/公斤、進口值約88億/每年^[1]；台灣中油股份有限公司2014年12月份燃料油參考牌價表約為20,000元/公秉，顯示金屬鋁及油品的重要性。電鍍鋁複合材(EAC)為常用的包裝材料之一，常見塑料與鋁料的比例約99%與1%，極具回收金屬鋁及裂解油品之潛力。陳嘉勳等人^[2]曾針對廢電鍍塑膠以解電鍍回收再利用方式回收金屬及塑膠，部分研究者利用塑膠與鋁的熔點差異特性，將塑膠熔融後與鋁箔分離^[3-5]，或以熱裂解方式處理廢塑膠^[6]。

日本含鋁複合材包裝袋(塑料占比>50%者)被歸類為塑膠類容器包裝，除須標示塑膠容器包裝標誌，屬公告應回收項目之一。含鋁複合材包裝容器回收後須遵從「日本容器包裝再商品化法」第3條第1項所制定之「容器包裝廢棄物排出抑制與分類收集及促進再商品化等基本方針」，進行處理及再利用。處理技術見圖1^[6]。

中國之處理再利用技術主要以分離鋁箔及塑膠為主，包括：(1)強酸分離：硝酸或甲酸等強酸性溶液浸泡，再透過酸鹼中和，分離塑料和鋁箔。(2)有機溶劑浸泡分離：有機溶劑浸泡分離再利用，溶劑則可重複使用。(3)鹼液加熱分離：利用氫氧化鈉與水調配後，於反應釜加熱鹼液加速分離鋁塑時間。(4)熱裂解：透過塑膠與鋁的熔點差異特性，將塑膠熔融後與鋁箔分離^[3-5]。



圖 1、熱裂解法回收金屬鋁^[6]

含鋁複合材包裝材質依組成特性及功能包括，主材(印刷層，如PET、OPP)、副材(功能層，分為電鍍鋁EAC、AFC及鋁箔)、熱封層(與包裝內容物品直接接觸，如PE或CPP)、貼合層(貼合主材、副材及熱封層，如PE)。其中塑膠材質PET、PP、PE，也有一些相關研究。Diaz Silvarrey and Phan[7]探討都市垃圾中塑膠物質熱裂解動力學，包括聚對苯二甲二乙酯(Polyethyleneterephthalate, PET)、高密度聚乙烯(High Density Polyethylene, HDPE)、低密度聚乙烯(Low Density Polyethylene, LDPE)、聚丙烯(Polypropylene, PP)、聚苯乙烯(polystyrene, PS)。熱裂解實驗之加熱速率為5, 10, 20及40 °C/min，溫度範圍為30-700 °C，樣品大小為1-4 mm。研究結果顯示，熱裂解至少經過三個不同的串聯或平行反應而產生液體及氣體產物。PET, HDPE, LDPE, PP, PS熱裂解反應活化能分別為47.23, 89.77, 63.96, 62.43, 46.03 kcal/mol，反應級數分別為2.8, 1.7, 0.95, 0.75, 0.9。熱穩定度為HDPE > LDPE > PP > PET > PS，此與Wu et al.[8]研究結果相似。塑膠物質低溫裂解主要產物為蠟(C13-C28)，在更高溫度下蠟分解為固體、液體與氣體產物，部分液體分解為氣體產物。另外，PET熱分解會產生對苯二甲酸(Terephthalic Acid, TPA)及苯甲酸(Benzoic acid)，PET分子中含氧元素，與PE及PP相較PET熱裂解會產生較多的固體產物。

Dimitrov et al.[9]以Py-GC/MS探討純PET、受污染PET(PET K)及回收之PET (PET R)熱裂解情形。結果顯示，最大反應速率所對應之溫度依序為PET K (452 °C), PET R (446 °C)及PET (443 °C)。熱分解主要產物為低分子量物質(如CO₂)、乙醛、苯甲酸(Benzoic acid)、4-(乙烯氧基羰基)苯甲酸(4-(vinylloxycarbonyl) benzoic acid)。三種PET熱裂解主要產物比例亦有所差異，PET主要產物: 4-(乙烯氧基羰基)苯甲酸(27%)、低分子量物質(如CO₂)及乙醛(21%)、苯甲酸(10%)；PET K及PET R主要產物: 低分子量物質(如CO₂)(44%)、乙醛(34%)、苯甲酸(17%)、4-(乙烯氧基羰基)苯甲酸(4%)。

Williams and Slaney[10]探討五種塑膠(PE, PP, PS, PET, PVC)及兩種形態塑膠混合物之液化反應，塑膠是取自都市垃圾。熱裂解器為蒸汽釜，反應係在氮氣環境或通入氫氣條件下進行，反應溫度500 °C、加熱速率為5 °C/min、停留時間1小時。研究結果顯示，氣體產物主要為甲烷、乙烷、丙烷及少量之烯類物質。油品產物主要物質為含單一苯環之芳香化合物。而塑膠混合物氣、液體產物種類可由單一塑膠熱裂解物種預測。

本研究以熱裂解方式處理含鋁複合材包裝物質，以建立熱回收處理技術，包括裂解後金屬鋁純度及含量，熱裂解產物及熱值等。

貳、研究方法

本研究取得之樣品(鋁箔複合材)，經乾燥後剪、破碎至粒徑1mm以下備用。分析項目包括三成分、元素(C、H、N、O、S)、熱值及反應動力學參數等。

一、樣品基本性質

本研究以鋁箔複合材作為探討之標的，經初步分析其基本性質如表1所示。

表1、鋁箔複合材基本性質

材質組成(厚度) (μ)	總厚度 (μ)	單位重量 (g/m^2)	單位鋁料重量 (g/m^2)	單位塑料重量 (g/m^2)	鋁料比例 (%)	塑料比例 (%)
PET12 μ /AL6 μ /CPP107 μ	125	128	16.19	111.81	12.7	87.3

二、三成分、元素、反應熱及熱值分析方法

依據中華民國行政院環境保護署環境檢驗所(www.niea.gov.tw)於2004年公告之廢棄物檢測方法「廢棄物中灰分、可燃分測定方法(NIEA R205.01C)」進行三成分分析。元素以元素分析儀量測(Perkin Elmer, 2400 Series II)。委託台灣大學貴重儀器中心使用HT-DSC高溫掃描量熱儀進行分析，分析後所得到的曲線稱為HT-DSC曲線，由HT-DSC曲線可得知樣品在熱裂解時的吸放熱情形。熱值以熱卡計分析(德國IKA, C 2000)。

三、熱裂解

熱裂解(Pyrolysis)，又可以稱為裂解、熱解、高溫裂解等，係為最有效和最具潛力之熱化學轉化技術，透過無氧加熱將生質物轉化為焦炭、生物油及氣態產物。將樣品放入高溫常壓熱裂解爐系統中，在特定溫度及氮氣、 O_2 條件下，進行裂解實驗，可得固體、液體產物百分比組成，高溫常壓熱裂解爐系統配置如圖2所示。

四、場發射掃描式電子顯微鏡分析

委託大葉大學貴重儀器中心使用多功能掃描式電子顯微鏡(Multi-Function Scanning Electron Microscope，簡稱SEM)，由於接受物體表面所釋出的電子作為顯像的依據，對於物體表面三度空間顯像之微細結構的觀察非常，最大倍率20萬倍，最小倍率20倍，可做生物、金屬、陶瓷等材料破斷面、金相面之觀察，此外並可利用能量分散光譜儀(Energy Dispersive Spectrometer，簡稱EDS)對各種化學元素微量分析之定性及半定量(原子序在11，即Na以上之元素)具有掃描及穿透功能，可作各種固體材料晶體結構及微細組織做觀察，即成分分析。

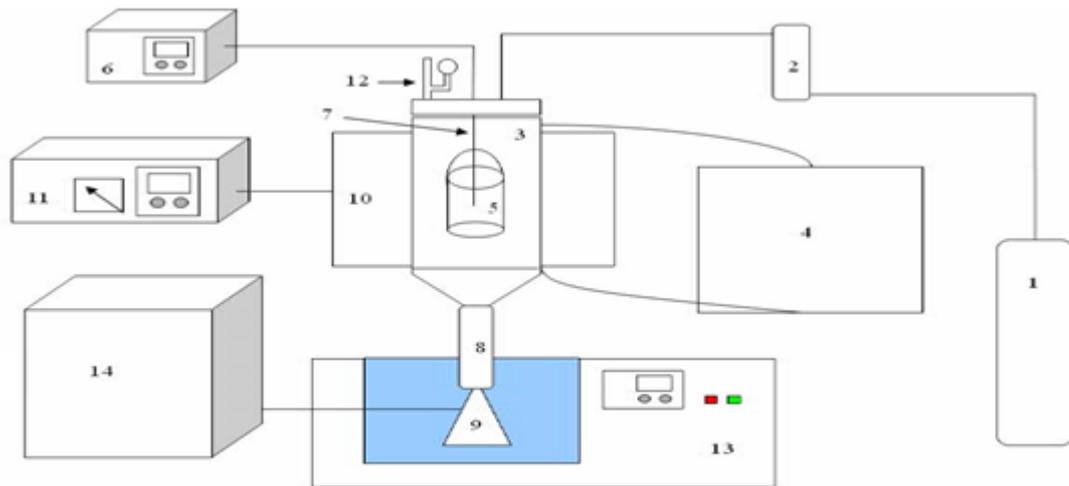


圖 2 高溫常壓熱裂解系統配置圖(1.氮氣鋼瓶, 2.浮子流量計, 3.反應管, 4.恆溫水槽, 5.吊杯, 6.溫度指示器, 7.熱電偶, 8.冷凝管, 9.收集瓶, 10.加熱爐, 11.溫度控制器, 12.釋壓閥及壓力錶, 13.冷卻水槽, 14.抽氣櫃)

五、全鋁含量分析

依據行政院環保署公告之NIEA W313.52B「水中金屬及微量元素檢測方法-感應耦合電漿質譜法」進行鋁含量檢測。需先利用微波消化法，將樣品由固相轉為液相；約取0.5 g之樣品致微波消化管後，加入3 mL硝酸與9 mL鹽酸，以溫度160 °C、加熱時間15 min、恆溫時間15 min、功率600 W之條件放入Mar5Xpress進行微波消化，冷卻後將消化液於0.45 μm濾膜過濾，以去離子水潤洗消化管內壁數次，並將濾液定量至50 mL，即可利用感應耦合電漿質譜儀(Inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)檢測水樣中金屬及微量元素。

六、金屬鋁之純度分析

此實驗委託大葉大學工學院貴重儀器中心使用X光粉末繞射儀(X-Ray Powder Diffractometer, XRPD)進行分析，藉此得知樣品金屬鋁之純度分析。

七、液體產物分析

- (一) 採樣：實驗時將樣品置於反應管吊杯內，反應管末端則接上冷凝管及收集瓶，收集瓶置於7 °C冷卻水槽中，反應管每分鐘通入100毫升的氮氣，當加熱達到設定之裂解溫度500 °C時，恆溫裂解2小時，並以冷卻水槽及冷凝管收集液體產物於收集瓶中，將瓶內所收集的液體產物取出後，以離心機轉速10,000 rpm震盪10分鐘進行離心。
- (二) 分析：為了防止液態產物中有殘存裂解時的固體殘餘物，因此將熱裂解實驗所產生的液體以離心方式將固體殘渣剔除，上、中、下層液委託成功大學貴儀中心以GC-MS進行成分的定性分析。

參、結果與討論

一、三成分、固定碳、熱值及元素分析結果

將樣品經前處理後，依據環檢所公佈之分析方法進行分析。結果顯示，AFC含水分0.2%、可燃分99.32%、灰分0.48%、固定碳5.18%、熱值約9,102 kcal/kg。

AFC樣品之C、H、N、O、S組成百分比，分別為77.75、10.65、0.20、13.65、0.08，樣品中未測到氯元素。

二、熱裂解反應熱

以高溫掃描量熱儀進行分析(HT-DSC)記錄樣品之熱流率，並與溫度作圖得知反應熱，由HT-DSC曲線可得知樣品在熱裂解時的吸放熱情形，其結果如圖3所示AFC於升溫速率10 °C之熱量分析主要特徵峰值為485.2 °C，485.2 °C之吸熱值為3,236 kJ/kg。

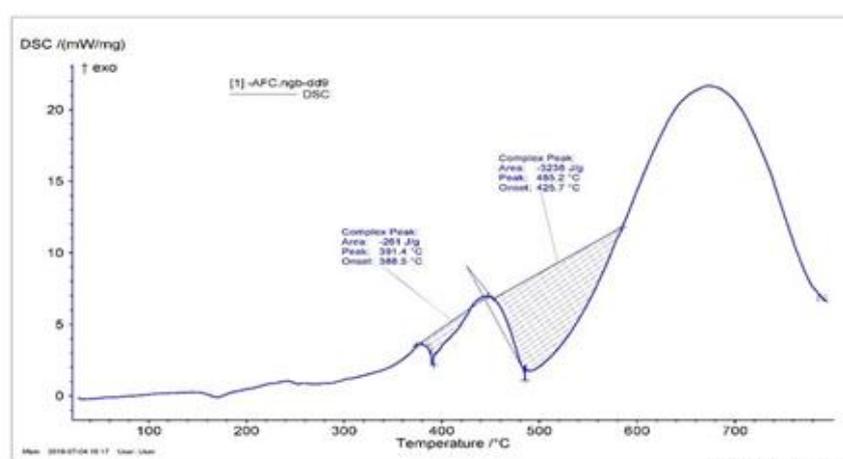


圖3、AFC之HT-DSC曲線

三、熱裂解組成百分比

利用高溫常壓熱裂解系統進行實驗，實驗後收集固體殘餘物及液體產物進行產物分析，以了解實驗中的生成產物組成及百分比。裂解固體、液體、氣體產物的組成百分比如表2所示，AFC在氮氣中熱裂解固體、液體、氣體產物的組成百分比分別為27.98%、11.54%、60.48%；在含氧量為5%的情形下，AFC裂解固體、液體、氣體產物的組成百分比分別為20.73%、27.01%、52.27%。

四、固體產物熱值分析

裂解後產物經過全自動熱卡計分析，其固體產物熱值如表3所示。在氮氣中，AFC裂解固體產物平均熱值分別為8,784 kcal/kg；在5%氧氣中，AFC裂解固體產物平均熱值分別為8,357 kcal/kg。

表2、AFC樣品熱裂解產率之組成百分比

載氣	成分	固體(%)	液體(%)	氣體(%)
N ₂	RUN1	33.71	12.61	53.68
	RUN2	23.03	5.41	71.56
	RUN3	27.20	16.61	56.19
	平均	27.98	11.54	60.48
5%O ₂	RUN1	21.24	28.11	50.65
	RUN2	20.21	25.91	53.88
	平均	20.73	27.01	52.27

表 3、AFC熱裂解 固體產物之熱值分析結果

載氣	熱值(kcal/kg)	
N ₂	RUN1	8,933
	RUN2	8,539
	RUN3	8,784
	平均值±標準差	8,784±198.93
5%O ₂	RUN1	8,396
	RUN2	8,324
	RUN3	8,352
	平均值±標準差	8,357±36.29

五、全鋁含量分析

樣品經裂解所得的固體產物的全鋁含量分析結果如表4所示。AFC樣品在N₂中裂解固體產物含鋁量及相對標準偏差為2.59 %及1.33 %；AFC樣品在5 % O₂中固體產物裂解產物含鋁量及相對標準偏差為1.96 %及1.51 %。

六、場發射掃描式電子顯微鏡分析結果

由EDS簡單分析各元素分布比例，結果顯示AFC在氮氣中裂解固體產物所含元素如表5，C、O、Na、Al、Si、K、Ca、Cu及Pt元素平均值分別為70.50 %、23.75 %、0.70 %、2.49 %、1.23 %、0.15 %、0.20 %、0.04 %及0.95 %，碳元素占比較高，其次為氧元素；AFC在5 % O₂中裂解固體產物分析結果如表6所示，C、O、Al、Si、Ti、Cu、Zr元素平均值分別為50.64 %、13.44 %、3.84 %、0.05 %、28.03 %、2.46 %及1.54 %，碳元素占比較高，其次為鈦元素。

表 4、AFC 樣品及固體產物全鋁含量分析結果

		Al(%)	RSD(%)
原樣品	平均	1.64	1.30
裂解固體產物 (N ₂)	RUN1	2.39	0.51
	RUN2	2.79	2.14
	平均	2.59	1.33
裂解固體產物 (5 % O ₂)	RUN1	1.97	1.63
	RUN2	1.95	1.38
	平均	1.96	1.51

表5、AFC在氮氣環境中裂解固體產物之EDS分析結果

RUN	C (%)	O(%)	Na(%)	Al (%)	Si(%)	K(%)	Ca(%)	Cu(%)	Pt (%)
1	80.55	13.05	n.d	2.83	0.39	n.d	n.d	0.3	2.88
2	27.66	50.11	2.57	7.21	8.13	0.9	1.98	n.d	1.44
3	66.36	27.8	2.23	3.4	0.21	n.d	n.d.	n.d.	n.d.
4	87.61	10.83	n.d	1.56	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
5	66.51	29.63	0.41	3.36	n.d	n.d	n.d	0.09	n.d
6	77.32	20.7	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	1.98
7	79.84	17.83	1.77	n.d	0.27	n.d	n.d	n.d	0.29
8	78.61	18.45	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	2.94
9	66.72	23.93	n.d	6.51	2.84	n.d	n.d	n.d	n.d
10	73.79	25.18	n.d	n.d	0.42	0.61	n.d	n.d	n.d
平均	70.50	23.75	0.70	2.49	1.23	0.15	0.20	0.04	0.95

表6、AFC在5 %氧氣環境中裂解固體產物之EDS分析結果

RUN	C (%)	O (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cu (%)	Zr (%)
1	40.67	24.53	1.35	n.d.	30.26	n.d.	3.18
2	58.37	8.6	8.12	n.d.	22.31	n.d.	2.59
3	23.28	35.86	n.d.	n.d.	36.35	1.89	2.62
4	10.75	7.24	1.91	n.d.	80.1	n.d.	n.d.
5	15.86	4.1	1.65	n.d.	70.1	4.83	3.46
6	22.88	n.d.	n.d.	n.d.	67.13	9.99	n.d.
7	68.59	21.11	n.d.	n.d.	n.d.	10.31	n.d.
8	77.34	15.89	4.21	0.53	0.43	n.d.	1.6
9	79.4	7.39	13.21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

10	81.89	13.99	2.49	n.d.	1.64	n.d.	n.d.
11	77.97	9.16	9.32	n.d.	n.d.	n.d.	3.54
平均	50.64	13.44	3.84	0.05	28.03	2.46	1.54

n.d.:低於偵測極限值

七、金屬鋁之純度分析

利用XRPD分析AFC在氮氣中及5 % O₂中裂解固體產物之繞射圖(見圖4、5)，分別在38.15°及38.34°、44.44°、64.92°及64.94°、77.99°及77.98°與純鋁之圖譜重疊，即在有氧情況下裂解，鋁並未被氧化，極具有回收價值。

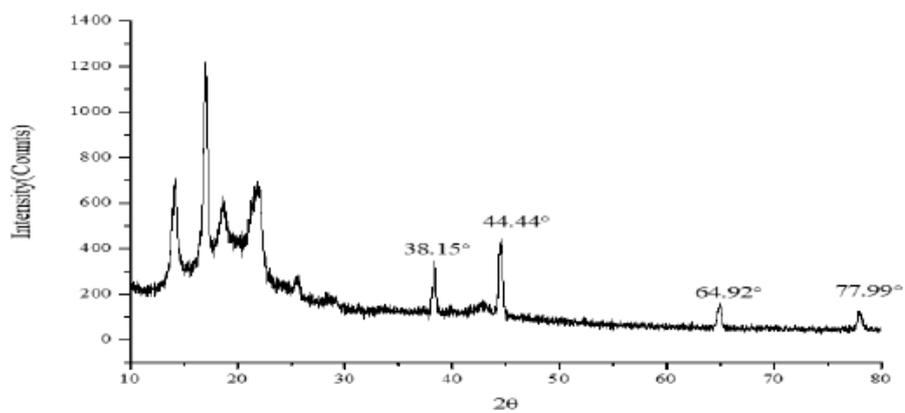


圖4、AFC在氮氣中裂解固體產物XRPD分析圖譜

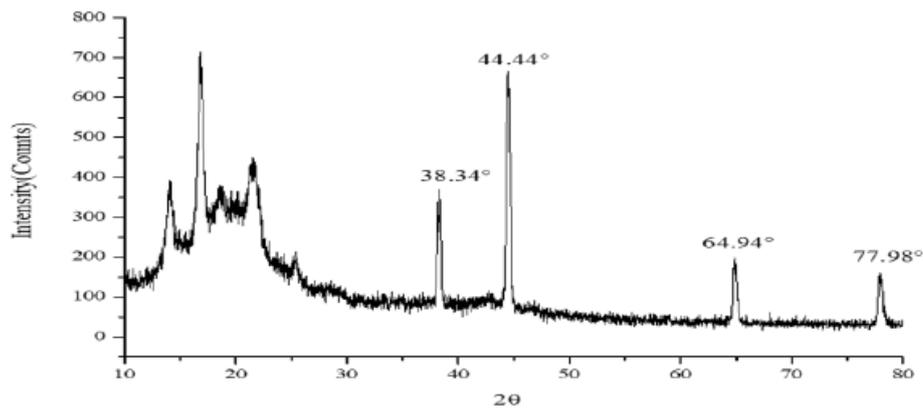


圖5、AFC在5 %氧氣中裂解固體產物XRPD分析圖譜

八、液體產物之熱值分析

鋁箔複合材(AFC)熱裂解後經冷凝後產物為蠟及液體產物，其熱值分析結果如表6所示，AFC在氮氣中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為11,567 kcal/kg及11,591 kcal/kg；AFC在5 %氧氣中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為11,116 kcal/kg及10,729 kcal/kg。

表6、AFC熱裂解液體產物之熱值分析結果

樣品	載氣	RUN	蠟 (kcal/kg)	液體產物 (kcal/kg)
AFC	N ₂	1	10,522	11,201
		2	11,879	11,987
		3	12,300	11,587
		平均值±標準差	11,567±929	11,591±393
	5 %O ₂	1	10,264	11,373
		2	11,426	10,620
		3	11,659	10,195
		平均值±標準差	11,116±747	10,729±596

九、液體產物成分分析

AFC樣品在氮氣中及不同含氧中恆溫熱裂解的液體產物以GC/MS進行分析如表7及圖6、7所示，AFC在氮氣中裂解液體產物裂解所占比例類別及百分比，分別為烷類18.99 %、烯類19.6 %、醇類0.92 %、酮類4.47 %、酯類6.97 %、腈類26.37 %、苯環類0.66 %、其他22.03 %；AFC在5 %中裂解液體產物所占比例類別及百分比，分別為烷類13.55 %、烯類39.07 %、醇類8.04 %、酸類25.51 %、酮類7.53 %、酯類4.61 %、苯環類1.69 %。

表7、AFC熱裂解液體產物各類別所占比例

樣品	載氣	烷類 (%)	烯類 (%)	醇類 (%)	酸類 (%)	酮類 (%)	酯類 (%)	腈類 (%)	苯環類 (%)	其他 (%)	總計 (%)
AFC	N ₂	18.99	19.6	0.92	n.d.	4.47	6.97	26.37	0.66	22.03	100
	5 % O ₂	13.55	39.07	8.04	25.51	7.53	4.61	n.d.	1.69	n.d.	100

n.d.:低於偵測極限值

肆、結論

包裝材料種類愈來愈多，材質功能的講究也變的更加多元化。鋁箔複合材(Aluminum foil composite, AFC)係由塑膠材質單層與鋁箔或多層積層製成的。其功能包括高度防濕、防水、防氣、遮光性、耐寒、耐久、保香等功能，其廢棄量也愈來愈多。本研究透過熱裂解方式處理廢AFC，藉以評估製成液體燃料及回收鋁之可行性。

AFC含可燃分高達99.32%，熱值約9,102 kcal/kg。經無氧裂解後，液體產物為11.54%，在5%氧氣中熱裂解，液體產物產率亦有27.01%；蠟及液體產物熱值為11,567 kcal/kg及11,591 kcal/kg(氮氣中裂解)，在5%氧氣中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為11,116 kcal/kg 及10,729 kcal/kg，顯示具回收裂解油之潛力。

以微波消化分析樣品、氮氣中及5% O₂中裂解固體產物全鋁含量，分別為1.64%、2.59%及1.96%；以場發射掃描式電子顯微鏡(EDS)分析固定碳及灰分中之含鋁量，分別為3.66%與19.24%；顯示以熱裂解方式處理，可以有效提升鋁之含量。利用XRPD分析EAC在氮氣中及5% O₂中裂解固體產物之繞射圖，分別在38.15°、44.44°、64.92°及77.99°左右與純鋁之圖譜重疊，即在有氧情況下裂解，鋁並未被氧化，極具有回收價值。

參考文獻

1. 劉文海，鋁金屬，金屬材料月報，金屬工業研究發展中心，100年7月刊，pp.13-17。
2. 陳嘉勳、鐘明吉、王振興、葉彥良、許丕明、李明峻、丁永強、沈佳興，廢電鍍塑膠解電鍍回收再利用新製程，行政院環境保護署九十四年度「環保科技育成中心計畫」期末報告，EPA-94-U1U1-04-009。
3. 熊曉莉、李寧，鋁塑紙複合包裝的分離研究，包裝工程，29，2008年。
4. 王可，鋁塑複合包裝材料，湖南工業大學，2011年。
5. 黃妍，廢舊複合軟包裝回收利用概述，內蒙古科技與經濟，第2期，2011年。
6. 財團法人台灣產業服務基金會，含鋁複合材包裝廢棄物回收計畫，含鋁複合材包裝產品友善化製造技術研商會會議資料，103年11月18日，台中市。
7. Diaz, S., Phan, A.N., Kinetic study of municipal plastic waste, *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(37), 16352-16364 (2016).
8. Wu, C.H., Chang, C.Y., Hor, J.L., Shih, S.M., Chen, L.W., Chang, F.W., On the thermal treatment of plastic mixtures of MSW: pyrolysis kinetics, *Waste Management*, 13, 221-235 (1993).
9. Dimitrov, N., Krehula, L.K., Sirocic, A.P., Hrnjak-Murgic, Z., Analysis of recycled PET bottles products by pyrolysis-gas chromatography, *Polymer Degradation and Stability*, 98, 972-979 (2013).
10. Williams, P.T., Slaney, E., Analysis of products from the pyrolysis and liquefaction of single plastics and waste plastic mixtures, *Resources, Conservation and Recycling*, 51, 754-769 (2007).

廢電鍍鋁複合材料熱裂解研究

Study on the Pyrolysis of the Waste Electroplated Aluminum Composite Materials

吳照雄^{1*} 劉佳欣²

Chao-Hsiung Wu¹ Chia-Hsin Liu²

1 大葉大學環境工程學系 教授

Professor, Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

2 大葉大學環境工程學系碩士班 學生

Student, Graduate Program, Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

* Corresponding author: chwu@mail.dyu.edu.tw

摘要

電鍍鋁複合材(Electroplated aluminum composite, EAC)是常用的複合包裝材料，具有防濕、防水、防氣、耐久、保香等功能，使食物或物品保存時間延長。由於廢棄後不易分解，使得廢棄量日益增加，造成環境莫大的負荷。EAC 中塑料與鋁料的比例約 87~99% 與 1~13%，具回收金屬鋁及裂解油品之潛力。有鑑於此，本研究以熱裂解方式處理廢 EAC，以評估製成液體燃料及回收鋁之可行性。

研究內容包括 EAC 基本物化性質分析，主要項目有：三成分及固定碳分析、熱值分析、元素分析、全鋁含量、反應熱量測分析、場發射掃描式電子顯微鏡分析及常壓熱裂解分析。研究結果顯示，(1) EAC 含水分 0.23 %、可燃分 98.27 %、灰分 1.5 %、固定碳 3.7 %、熱值約 9,273 kcal/kg。(2) EAC 元素分析得知，所含元素主要為 C、H、O、C、H、N、O、S、Cl 元素分別為 78.42 %、11.34 %、0.11 %、11.69 %、0.14 %、0.01 %。(3)以高溫掃描量熱儀進行分析(HT-DSC)EAC 反應熱，結果顯示 EAC 主要特徵峰值為 390.3 °C，吸熱值為 492.8 kJ/kg。(4)樣品在氮氣中熱裂解產率之組成百分比，固體、液體、氣體產物分別為 18.47%、36.25%、45.68%；在 5 % 氧氣中熱裂解，固體、液體、氣體產物分別為 17.71%、29.63%、52.67%。(5)在氮氣中及在 5 % 氧氣中裂解固體產物熱值分別為 5747kcal/kg 及 7523kcal/kg。(6)以微波消化分析樣品、氮氣中及 5 % O₂ 中裂解固體產物全鋁含量，分別為 1.2%、2.42%及 1.55%；以場發射掃描式電子顯微鏡(EDS)分析固定碳及灰分中之含鋁量，分別為 2.53%與 2.87%；利用 XRPD 分析 EAC 在氮氣中及 5 % O₂ 中裂解固體產物之繞射圖，分別在 38.43°、44.61°、64.92°及 78.14°左右與純鋁之圖譜重疊，即在有氧情況下裂解，鋁並未被氧化，極具有回收價值。(7)EAC 在氮氣中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為 10,920 kcal/kg 及 11,080 kcal/kg，在 5 % 氧氣中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為 12,045 kcal/kg 及 8,219 kcal/kg。(8) EAC 在氮氣中裂解液體產物各類別所占百分比分別為，烷類 36.61 %、烯類 25.82 %、醇類 14.46 %、酸類 3.12 %、酮類 2.66 %、酯類 6.21 %、腈類 1.79 %、苯環類 2.37 %、其他 7 %；EAC 在 5 % O₂ 中裂解液體產物各類別所占百分比分別為，烷類 24.21 %、烯類 40.1 %、醇類 1.85 %、酸類 28.48 %、酮類 0.56 %、其他 4.82 %。

關鍵詞：電鍍鋁複合材、熱裂解、鋁回收、熱裂解產物

壹、前言

隨著塑膠工業的發展及市場的需要，包裝材料種類愈來愈多，材質功能的講究也變的更加多元化。就食品類包裝而言，可依商品特性來採用適合包裝材料，常見包裝材料有：(1)易撕盒蓋膜：一般產品的包裝，提供完整保鮮。密封性優良、耐水性佳、熱封容易、易撕開方便性。(2)真空包裝袋：須低溫殺菌的狀態下，保持不容易變性、變質、韌性強，減少輸送中破裂。具有透明、阻隔性、可冷凍、冷藏、抽真空等特性。(3)真空高溫殺菌袋：因須高溫殺菌與蒸煮的狀態下，保持不容易變性、變質、韌性強，減少輸送中之破裂。功能：高溫殺菌、阻隔性、抽真空、常溫保存…等。(4)複合膠膜/袋：單層或多層透明塑膠膜包材積層而成，價格較便宜。功能：透明、強韌、耐油、防濕、防氣、能熱封…等。(5)複合鋁箔膠膜/袋：塑膠材質單層與鋁箔或多層積層製成的。功能：高度防濕、防水、防氣、遮光性、耐寒、耐久、保香，能使食物保存較長久時間。因應塑膠工業的發展及市場的需要，包裝材料種類愈來愈多，材質功能也變的更加多元化。然而大量使用的結果，也造成環境莫大的負荷。

含鋁複合材包裝廢棄物中已公告為應回收廢棄物及執行機關應回收項目者，僅鋁箔包(即無菌紙盒包)容器，而袋膜類尚未公告為應回收廢棄物或執行機關應回收項目，主要原因是含鋁複合材包裝廢棄物之回收處理技術因材質組成不同而異，惟材質種類繁多且不易分類辨識，國內目前尚無膜袋類含鋁複合材包裝廢棄物之專業處理廠，致使國內現階段尚未推動膜袋類及含鋁複合材包裝袋之回收處理工作。

台灣廢鋁進口量約16萬公噸/每年、進口單價約55-60元/公斤、進口值約88億/每年^[1]；台灣中油股份有限公司2014年12月份燃料油參考牌價表約為20,000元/公秉，顯示金屬鋁及油品的重要性。電鍍鋁複合材(EAC)為常用的包裝材料之一，常見塑料與鋁料的比例約99%與1%，極具回收金屬鋁及裂解油品之潛力。陳嘉勳等人^[2]曾針對廢電鍍塑膠以解電鍍回收再利用方式回收金屬及塑膠，部分研究者利用塑膠與鋁的熔點差異特性，將塑膠熔融後與鋁箔分離^[3-5]，或以熱裂解方式處理廢塑膠^[6]。

日本含鋁複合材包裝袋(塑料占比>50%者)被歸類為塑膠類容器包裝，除須標示塑膠容器包裝標誌，屬公告應回收項目之一。含鋁複合材包裝容器回收後須遵從「日本容器包裝再商品化法」第3條第1項所制定之「容器包裝廢棄物排出抑制與分類收集及促進再商品化等基本方針」，進行處理及再利用。處理技術見圖1^[6]。

中國之處理再利用技術主要以分離鋁箔及塑膠為主，包括：(1)強酸分離：硝酸或甲酸等強酸性溶液浸泡，再透過酸鹼中和，分離塑料和鋁箔。(2)有機溶劑浸泡分離：有機溶劑浸泡分離再利用，溶劑則可重複使用。(3)鹼液加熱分離：利用氫氧化鈉與水調配後，於反應釜加熱鹼液加速分離鋁塑時間。(4)熱裂解：透過塑膠與鋁的熔點差異特性，將塑膠熔融後與鋁箔分離^[3-5]。



圖 1、熱裂解法回收金屬鋁^[6]

含鋁複合材包裝材質依組成特性及功能包括，主材(印刷層，如PET、OPP)、副材(功能層，分為電鍍鋁EAC、AFC及鋁箔)、熱封層(與包裝內容物品直接接觸，如PE或CPP)、貼合層(貼合主材、副材及熱封層，如PE)。其中塑膠材質PET、PP、PE，也有一些相關研究。Diaz Silvarrey and Phan[7]探討都市垃圾中塑膠物質熱裂解動力學，包括聚對苯二甲二乙酯(Polyethyleneterephthalate, PET)、高密度聚乙烯(High Density Polyethylene, HDPE)、低密度聚乙烯(Low Density Polyethylene, LDPE)、聚丙烯(Polypropylene, PP)、聚苯乙烯(polystyrene, PS)。熱裂解實驗之加熱速率為5, 10, 20及40 °C/min，溫度範圍為30-700 °C，樣品大小為1-4 mm。研究結果顯示，熱裂解至少經過三個不同的串聯或平行反應而產生液體及氣體產物。PET, HDPE, LDPE, PP, PS熱裂解反應活化能分別為47.23, 89.77, 63.96, 62.43, 46.03 kcal/mol，反應級數分別為2.8, 1.7, 0.95, 0.75, 0.9。熱穩定度為HDPE > LDPE > PP > PET > PS，此與Wu et al.[8]研究結果相似。塑膠物質低溫裂解主要產物為蠟(C13-C28)，在更高溫度下蠟分解為固體、液體與氣體產物，部分液體分解為氣體產物。另外，PET熱分解會產生對苯二甲酸(Terephthalic Acid, TPA)及苯甲酸(Benzoic acid)，PET分子中含氧元素，與PE及PP相較PET熱裂解會產生較多的固體產物。

Dimitrov et al.[9]以Py-GC/MS探討純PET、受污染PET(PET K)及回收之PET (PET R)熱裂解情形。結果顯示，最大反應速率所對應之溫度依序為PET K (452 °C), PET R (446 °C)及PET (443 °C)。熱分解主要產物為低分子量物質(如CO₂)、乙醛、苯甲酸(Benzoic acid)、4-(乙烯氧基羰基)苯甲酸(4-(vinylloxycarbonyl) benzoic acid)。三種PET熱裂解主要產物比例亦有所差異，PET主要產物: 4-(乙烯氧基羰基)苯甲酸(27%)、低分子量物質(如CO₂)及乙醛(21%)、苯甲酸(10%)；PET K及PET R主要產物: 低分子量物質(如CO₂)(44%)、乙醛(34%)、苯甲酸(17%)、4-(乙烯氧基羰基)苯甲酸(4%)。

Williams and Slaney[10]探討五種塑膠(PE, PP, PS, PET, PVC)及兩種形態塑膠混合物之液化反應，塑膠是取自都市垃圾。熱裂解器為蒸汽釜，反應係在氮氣環境或通入氫氣條件下進行，反應溫度500 °C、加熱速率為5 °C/min、停留時間1小時。研究結果顯示，氣體產物主要為甲烷、乙烷、丙烷及少量之烯類物質。油品產物主要物質為含單一苯環之芳香化合物。而塑膠混合物氣、液體產物種類可由單一塑膠熱裂解物種預測。

本研究以熱裂解方式處理含鋁複合材包裝物質，以建立熱回收處理技術，包括裂解後金屬鋁純度及含量，熱裂解產物及熱值等。

貳、研究方法

本研究取得之樣品(鋁箔複合材)，經乾燥後剪、破碎至粒徑1mm以下備用。分析項目包括三成分、元素(C、H、N、O、S)、熱值及反應動力學參數等。

一、樣品基本性質

本研究以鋁箔複合材作為探討之標的，經初步分析其基本性質如表1所示。

表1、鋁箔複合材基本性質

材質組成(厚度) (μ)	總厚度 (μ)	單位重量 (g/m^2)	單位鋁料重量 (g/m^2)	單位塑料重量 (g/m^2)	鋁料比例 (%)	塑料比例 (%)
PET12 μ /AL6 μ /CPP107 μ	125	128	16.19	111.81	12.7	87.3

二、三成分、元素、反應熱及熱值分析方法

依據中華民國行政院環境保護署環境檢驗所(www.niea.gov.tw)於2004年公告之廢棄物檢測方法「廢棄物中灰分、可燃分測定方法(NIEA R205.01C)」進行三成分分析。元素以元素分析儀量測(Perkin Elmer, 2400 Series II)。委託台灣大學貴重儀器中心使用HT-DSC高溫掃描量熱儀進行分析，分析後所得到的曲線稱為HT-DSC曲線，由HT-DSC曲線可得知樣品在熱裂解時的吸放熱情形。熱值以熱卡計分析(德國IKA, C 2000)。

三、熱裂解

熱裂解(Pyrolysis)，又可以稱為裂解、熱解、高溫裂解等，係為最有效和最具潛力之熱化學轉化技術，透過無氧加熱將生質物轉化為焦炭、生物油及氣態產物。將樣品放入高溫常壓熱裂解爐系統中，在特定溫度及氮氣、O₂條件下，進行裂解實驗，可得固體、液體產物百分比組成，高溫常壓熱裂解爐系統配置如圖2所示。

四、場發射掃描式電子顯微鏡分析

委託大葉大學貴重儀器中心使用多功能掃描式電子顯微鏡(Multi-Function Scanning Electron Microscope，簡稱SEM)，由於接受物體表面所釋出的電子作為顯像的依據，對於物體表面三度空間顯像之微細結構的觀察非常，最大倍率20萬倍，最小倍率20倍，可做生物、金屬、陶瓷等材料破斷面、金相面之觀察，此外並可利用能量分散光譜儀(Energy Dispersive Spectrometer，簡稱EDS)對各種化學元素微量分析之定性及半定量(原子序在11，即Na以上之元素)具有掃描及穿透功能，可作各種固體材料晶體結構及微細組織做觀察，即成分分析。

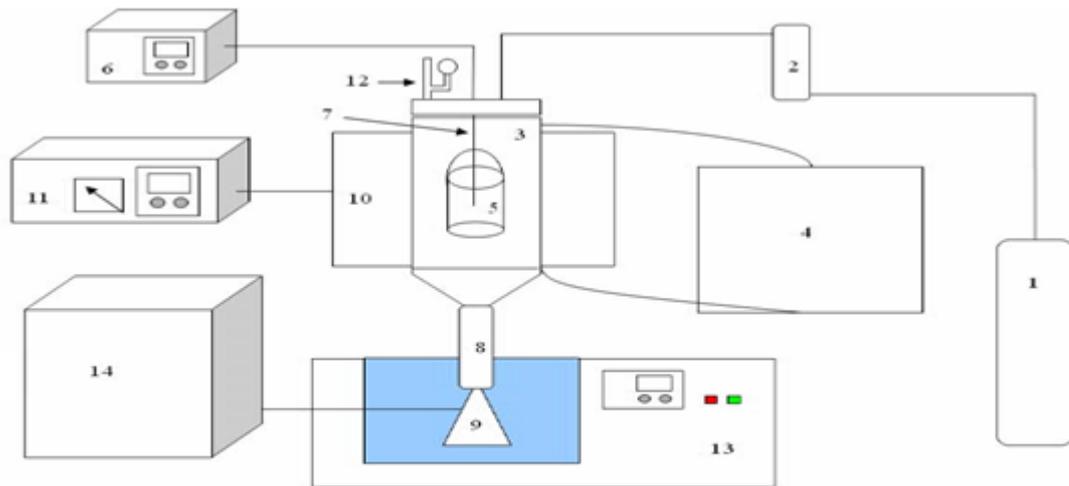


圖 2 高溫常壓熱裂解系統配置圖(1.氮氣鋼瓶, 2.浮子流量計, 3.反應管, 4.恆溫水槽, 5.吊杯, 6.溫度指示器, 7.熱電偶, 8.冷凝管, 9.收集瓶, 10.加熱爐, 11.溫度控制器, 12.釋壓閥及壓力錶, 13.冷卻水槽, 14.抽氣櫃)

五、全鋁含量分析

依據行政院環保署公告之NIEA W313.52B「水中金屬及微量元素檢測方法-感應耦合電漿質譜法」進行鋁含量檢測。需先利用微波消化法，將樣品由固相轉為液相；約取0.5 g之樣品致微波消化管後，加入3 mL硝酸與9 mL鹽酸，以溫度160 °C、加熱時間15 min、恆溫時間15 min、功率600 W之條件放入Mar5Xpress進行微波消化，冷卻後將消化液於0.45 μm濾膜過濾，以去離子水潤洗消化管內壁數次，並將濾液定量至50 mL，即可利用感應耦合電漿質譜儀(Inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)檢測水樣中金屬及微量元素。

六、金屬鋁之純度分析

此實驗委託大葉大學工學院貴重儀器中心使用X光粉末繞射儀(X-Ray Powder Diffractometer, XRPD)進行分析，藉此得知樣品金屬鋁之純度分析。

七、液體產物分析

(三) 採樣：實驗時將樣品置於反應管吊杯內，反應管末端則接上冷凝管及收集瓶，收集瓶置於7 °C冷卻水槽中，反應管每分鐘通入100毫升的氮氣，當加熱達到設定之裂解溫度500 °C時，恆溫裂解2小時，並以冷卻水槽及冷凝管收集液體產物於收集瓶中，將瓶內所收集的液體產物取出後，以離心機轉速10,000 rpm震盪10分鐘進行離心。

(四) 分析：為了防止液態產物中有殘存裂解時的固體殘餘物，因此將熱裂解實驗所產生的液體以離心方式將固體殘渣剔除，上、中、下層液委託成功大學貴儀中心以GC-MS進行成分的定性分析。

參、結果與討論

一、三成分、固定碳、熱值及元素分析結果

將樣品經前處理後，依據環檢所公佈之分析方法進行分析。結果顯示，EAC 含水分 0.23 %、可燃分 98.27 %、灰分 1.5 %、固定碳 3.7 %、熱值約 9,273 kcal/kg。

樣品之 C、H、N、O、S、Cl 組成百分比，分別為 78.42、11.34、0.11、11.69、0.14、0.01%。

二、熱裂解反應熱

以高溫掃描量熱儀進行分析(HT-DSC)記錄樣品之熱流率，並與溫度作圖得知反應熱，由 HT-DSC 曲線可得知樣品在熱裂解時的吸放熱情形，其結果如圖 3 所示 EAC 於升溫速率 10 °C 之熱量分析主要特徵鋒值為 390.3 °C，390.3 °C 之吸熱值為 492.8 kJ/kg。

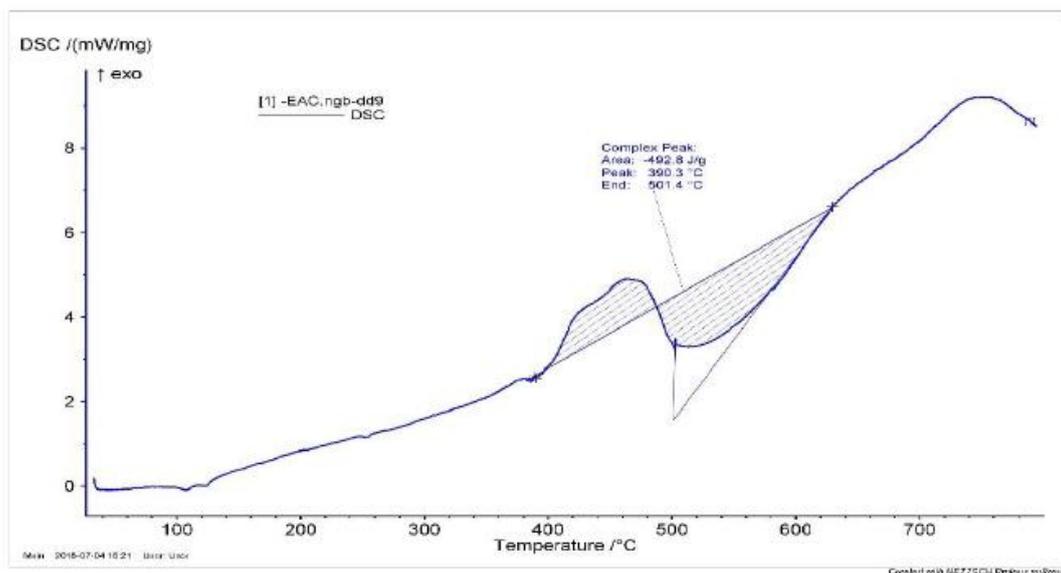


圖3、EAC之HT-DSC曲線

三、熱裂解組成百分比

利用高溫常壓熱裂解系統進行實驗，實驗後收集固體殘餘物及液體產物進行產物分析，以了解實驗中的生成產物組成及百分比。裂解固體、液體、氣體產物的組成百分比如表 2 所示，EAC 在氮氣中熱裂解固體、液體、氣體產物的組成百分比分別為 18.47 %、36.25 %、45.28 %；在含氧量為 5 % 的情形下，EAC 裂解固體、液體、氣體產物的組成百分比分別為 17.71 %、29.63 %、52.67 %。

四、固體產物熱值分析

裂解後產物經過全自動熱卡計分析，其固體產物熱值如表 3 所示。在氮氣中，EAC 裂解固體產物平均熱值分別為 5,747 kcal/kg；在 5 % 氧氣中，EAC 裂解固體產物平均熱值分別為 7,523 kcal/kg。

表 2、EAC 樣品熱裂解產率之組成百分比

載氣		成分	固體(%)	液體(%)	氣體(%)
		N ₂	RUN1	20.27	31.99
RUN2	14.16		37.25	48.59	
RUN3	20.97		39.52	39.51	
平均	18.47		36.25	45.28	
5%O ₂	RUN1	24.73	27.26	48.01	
	RUN2	10.68	31.99	57.33	
	平均	17.71	29.63	52.67	

表 3、EAC 熱裂解固體產物之熱值分析結果

載氣	熱值(kcal/kg)	
	N ₂	RUN1
RUN2		6,129
RUN3		5,889
平均值±標準差		5,747±469
5%O ₂	RUN1	7,428
	RUN2	7,814
	RUN3	7,329
	平均值±標準差	7,523±256.26

五、全鋁含量分析

樣品經裂解所得的固體產物的全鋁含量分析結果如表 4 所示。EAC 樣品在 N₂ 中裂解固體產物含鋁量及相對標準偏差為 2.42 % 及 1.22 %；EAC 樣品在 5 % O₂ 中固體產物裂解產物含鋁量及相對標準偏差為 1.55 % 及 0.7 %。

六、場發射掃描式電子顯微鏡分析結果

由 EDS 簡單分析各元素分布比例，結果顯示 EAC 在氮氣中裂解固體產物所含元素如表 5，C、O、Al、Si、S、Ti、Pt、Cu、Zr 元素平均值分別為 47.79 %、8.61 %、1.19 %、1.63 %、1.27 %、36.17 %、0.57 %、0.65 % 及 2.13 %，碳元素佔比較高，其次為鈦元素；EAC 在 5 % O₂ 中裂解固體產物分析結果如表 6 所示，C、O、Na、Al、Si、K、Ca、Ti、Cu、Zr、Sb 元素平均值分別為 80.97 %、10.72 %、0.18 %、3.59 %、0.76 %、0.01 %、0.23 %、1.29 %、1.41 %、0.77 % 及 0.07 %，碳元素佔比較高，其次為氧元素。

表 4、EAC 樣品及裂解固體產物全鋁含量分析結果

		Al(%)	RSD(%)
原樣品	平均	1.20	1.04
裂解固體產物 (N ₂)	RUN1	2.56	1.04
	RUN2	2.27	1.40
	平均	2.42	1.22
裂解固體產物 (5 % O ₂)	RUN1	1.30	0.89
	RUN2	1.81	0.51
	平均	1.55	0.7

表 5、EAC 在氮氣環境中裂解固體產物之 EDS 分析結果

RUN	C (%)	O (%)	Al (%)	Si (%)	S (%)	Ti (%)	Pt (%)	Cu (%)	Zr (%)
1	27.44	2.78	1.86	1.51	1.65	59.48	n.d.	1.95	3.33
2	54.14	16.53	0.49	0.59	0.74	25.79	1.72	n.d.	n.d.
3	61.79	6.53	1.21	2.78	1.42	23.23	n.d.	n.d.	3.05
平均	47.79	8.61	1.19	1.63	1.27	36.17	0.57	0.65	2.13

n.d.:低於偵測極限值

表 6、EAC 在 5% 氧氣環境中裂解固體產物之 EDS 分析結果

RUN	C (%)	O (%)	Na (%)	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Cu (%)	Zr (%)	Sb (%)
1	93.86	6.14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2	74.92	16.4	n.d.	6.94	0.29	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.45	n.d.
3	83.97	9.83	n.d.	5.18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.02	n.d.
4	89.92	10.08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
5	100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
6	88.49	11.51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
7	90.13	9.11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.75	n.d.
8	90.75	6.6	n.d.	2.65	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
9	100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
10	81.54	8.53	n.d.	9.93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
11	79.89	12.54	n.d.	7.58	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
12	83.17	10.01	n.d.	4.88	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.93	n.d.
13	81.93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18.07	n.d.	n.d.
14	30.14	43.71	3.16	7.21	12.53	0.25	1.92	n.d.	n.d.	1.08	n.d.
15	45.29	15.69	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.3	23.19	7.33	6.21	n.d.
16	86.76	9.63	n.d.	3.61	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

17	77.81	12.55	n.d	7.02	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	1.4	1.22
18	78.96	10.56	n.d	9.69	0.79	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
平均	80.97	10.72	0.18	3.59	0.76	0.01	0.23	1.29	1.41	0.77	0.07

n.d.:低於偵測極限值

七、金屬鋁之純度分析

利用 XRPD 分析 EAC 在氮氣中及 5 % O₂ 中裂解固體產物之繞射圖(見圖 4、5)，分別在 38.43°、44.61°、64.92°、78.17°與純鋁之圖譜重疊，即在有氧情況下裂解，鋁並未被氧化，極具有回收價值。

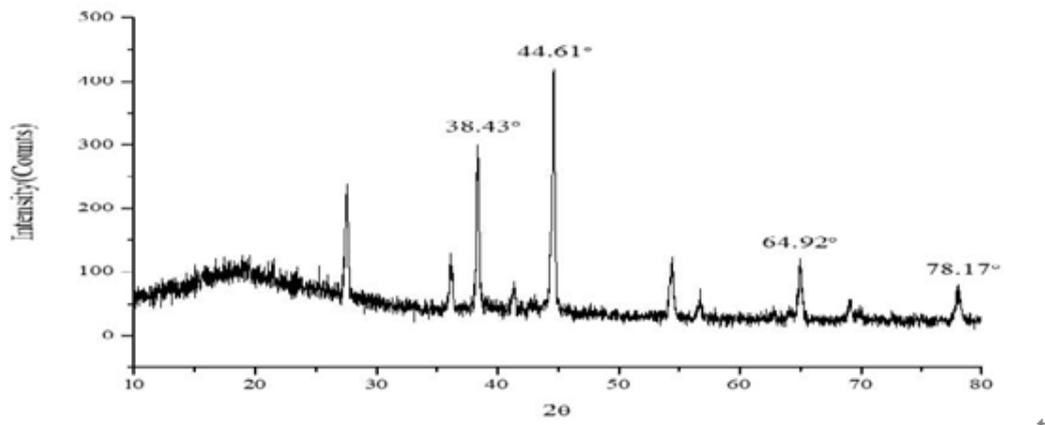


圖 4、EAC 在氮氣中裂解固體產物 XRPD 分析圖譜

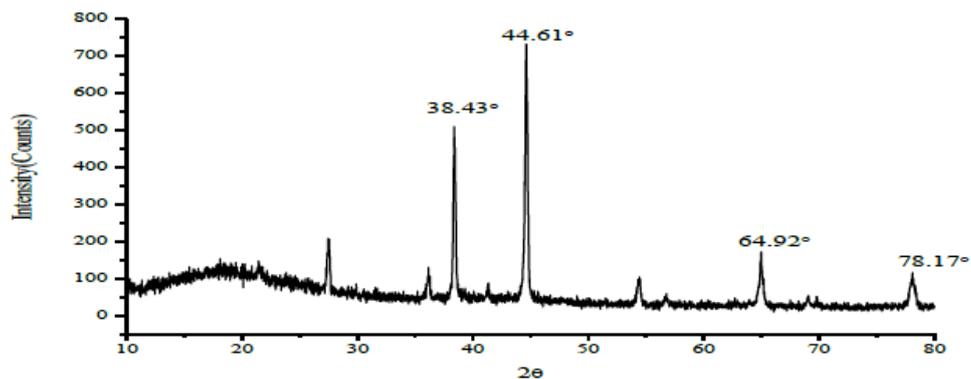


圖 5、EAC 在 5 % 氧氣中裂解固體產物 XRPD 分析圖譜

八、液體產物之熱值分析

電鍍鋁複合材(EAC)熱裂解後經冷凝後產物為蠟及液體產物，其熱值分析結果如表 6 所示，電鍍鋁複合材(EAC)在氮氣中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為 10,920 kcal/kg 及 11,080 kcal/kg；EAC 在 5 % 氧氣中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為 12,045 kcal/kg 及 8,219 kcal/kg。

表 6、EAC 熱裂解液體產物之熱值分析結果

樣品	載氣	RUN	蠟 (kcal/kg)	液體產物 (kcal/kg)
EAC	N ₂	1	11,592	11,552
		2	10,470	10,432
		3	10,700	11,258
		平均值±標準差	10,920±593	11,080±580
	5 %O ₂	1	9,841	8,546
		2	11,898	8,194
		3	14,397	7,919
		平均值±標準差	12,045±2,282	8,219±314

九、液體產物成分分析

EAC 樣品在氮氣中及不同含氧中恆溫熱裂解的液體產物以 GC/MS 進行分析如表 7 及圖 6、7 所示，EAC 在氮氣中裂解液體產物裂解所占比例類別及百分比，分別為烷類 36.61 %、烯類 25.82 %、醇類 14.46 %、酸類 3.12 %、酮類 2.66 %、酯類 6.21 %、腈類 1.79 %、苯環類 2.37 %、其他 7 %；EAC 在 5 % 中裂解液體產物所占比例類別及百分比，分別為烷類 24.21 %、烯類 40.1 %、醇類 1.85 %、酸類 28.48 %、酮類 0.56 %、其他 4.82 %。

表 7、熱裂解液體產物各類別所占比例

樣品	載氣	烷類 (%)	烯類 (%)	醇類 (%)	酸類 (%)	酮類 (%)	酯類 (%)	腈類 (%)	苯環類 (%)	其他 (%)	總計 (%)
EAC	N ₂	36.61	25.82	14.46	3.12	2.66	6.21	1.79	2.37	7	100
	5 % O ₂	24.21	40.1	1.85	28.48	0.56	n.d.	n.d.	n.d.	4.82	100

n.d.: 低於偵測極限值

肆、結論

電鍍鋁複合材(Electroplated aluminum composite, EAC)是常用的複合包裝材料，具有防濕、防水、防氣、耐久、保香等功能，然而廢棄後不易分解，使得廢棄量日益增加，造成環境莫大的負荷。本研究透過熱裂解方式處理廢 EAC，藉以評估製成液體燃料及回收鋁之可行性。

EAC 含可燃分高達 98.27 %，熱值約 9,273 kcal/kg。經無氧裂解後，液體產物為 36.25%，即使在 5 % 氧氣中熱裂解，液體產物產率亦有 29.63%；蠟及液體產物熱值為 10,920 kcal/kg 及 11,080 kcal/kg(氮氣中裂解)，在 5 % 氧氣中裂解之蠟及液體產物熱值分析結果分別為 12,045 kcal/kg 及 8,219 kcal/kg，顯示具回收裂解油之潛力。

以微波消化分析樣品、氮氣中及 5 % O₂ 中裂解固體產物全鋁含量，分別為 1.2%、2.42% 及 1.55%；以場發射掃描式電子顯微鏡(EDS)分析固定碳及灰分中之含鋁量，分別為 2.53% 與 2.87%；顯示以熱裂解方式處理，可以有效提升鋁之含量。利用 XRPD 分析 EAC 在氮氣中及 5 % O₂ 中裂解固體產物之繞射圖，分別在 38.43°、44.61°、64.92° 及 78.14° 左右與純鋁之圖譜重疊，即在有氧情況下裂解，鋁並未被氧化，極具有回收價值。

參考文獻

1. 劉文海，鋁金屬，金屬材料月報，金屬工業研究發展中心，100 年 7 月刊，pp.13-17。
2. 陳嘉勳、鐘明吉、王振興、葉彥良、許丕明、李明峻、丁永強、沈佳興，廢電鍍塑膠解電鍍回收再利用新製程，行政院環境保護署九十四年度「環保科技育成中心計畫」期末報告，EPA-94-U1U1-04-009。
3. 熊曉莉、李寧，鋁塑紙複合包裝的分離研究，包裝工程，29，2008 年。
4. 王可，鋁塑複合包裝材料，湖南工業大學，2011 年。
5. 黃妍，廢舊複合軟包裝回收利用概述，內蒙古科技與經濟，第 2 期，2011 年。
6. 財團法人台灣產業服務基金會，含鋁複合材包裝廢棄物回收計畫，含鋁複合材包裝產品友善化製造技術研商會會議資料，103 年 11 月 18 日，台中市。
7. Diaz, S., Phan, A.N., Kinetic study of municipal plastic waste, *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(37), 16352-16364 (2016).
8. Wu, C.H., Chang, C.Y., Hor, J.L., Shih, S.M., Chen, L.W., Chang, F.W., On the thermal treatment of plastic mixtures of MSW: pyrolysis kinetics, *Waste Management*, 13, 221-235 (1993).
9. Dimitrov, N., Krehula, L.K., Sirocic, A.P., Hrnjak-Murgic, Z., Analysis of recycled PET bottles products by pyrolysis-gas chromatography, *Polymer Degradation and Stability*, 98, 972-979 (2013).
10. Williams, P.T., Slaney, E., Analysis of products from the pyrolysis and liquefaction of single plastics and waste plastic mixtures, *Resources, Conservation and Recycling*, 51, 754-769 (2007).